

 SpringerWienNewYork

Paul Haber

Leitfaden zur medizinischen
Trainingsberatung

Rehabilitation
bis Leistungssport

2., aktualisierte und erweiterte Auflage

SpringerWienNewYork

Ao. Univ.-Prof. Dr. Paul Haber
Klinische Abt. Pulmologie, Abt. Sport- und Leistungsmedizin
Klinik für Innere Medizin IV, Medizinische Universität Wien, Österreich

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

© 2005 Springer-Verlag/Wien · Printed in Austria
Springer-Verlag Wien New York ist ein Unternehmen von
Springer Science+Business Media
springer.at

Produkthaftung: Sämtliche Angaben in diesem Fachbuch erfolgen trotz sorgfältiger Bearbeitung und Kontrolle ohne Gewähr. Insbesondere Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall an Hand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden. Eine Haftung des Autors oder des Verlages aus dem Inhalt dieses Werkes ist ausgeschlossen.

Umschlagbild: Corbis/Seniors working out with weights/Dann Tardif
Satz: H. Meszarics • Satz & Layout • 1200 Wien
Druck: Gutenberg GmbH, 2700 Wiener Neustadt
Gedruckt auf säurefreiem, chlorfrei gebleichtem Papier – TCF
Mit 24 Abbildungen
SPIN: 10990131

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie, detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN 3-211-21105-5 Springer-Verlag Wien New York

VORWORT ZUR 2. AUFLAGE

Erfreulicherweise ist die erste Auflage auf so großes Interesse gestoßen, dass eine zweite Auflage sinnvoll erschien. Daraus und aus vielen einzelnen persönlichen Rückmeldungen darf ich schließen, dass dieses Buch den Bedürfnissen vieler Menschen, die sich mit Training befassen, entgegen gekommen ist. Es waren überwiegend Mediziner und Sportwissenschaftler, was ich, in aller Unbescheidenheit, als Beleg für die fachliche Qualität interpretiere. Dass aber auch viele Trainer und interessierte Laien, meist selbst Trainierende, darunter waren, darf ich als Kompliment für die sprachliche Gestaltung auffassen (die vereinzelt von akademischer Seite kritisiert worden ist). Meine Hoffnung, dass dieses Buch eine Brücke schlagen möge zwischen der manchmal etwas verwirrenden Vielfalt der leistungsmedizinischen Wissenschaften einerseits und dem Wunsch konkrete praktische Trainingsanweisungen zu geben andererseits, hat sich durchaus erfüllt.

Ich habe mich daher in der vorliegenden zweiten Auflage wieder bemüht, ohne Abstriche an der wissenschaftlichen Qualität, eine Sprache zu finden, die auch von Nicht-Medizinern verstanden werden kann.

Das bewährte Konzept einer straffen, systematischen Darstellung, unter Berücksichtigung didaktischer Gesichtspunkte, wurde beibehalten. Überarbeitungen und Ergänzungen wurden eingearbeitet, um die Erfahrungen der Trainingswissenschaften und der Leistungsmedizin in Leistungssport, Prävention und Rehabilitation der letzten Jahre zu berücksichtigen, was sich auch in einem umfangreicheren Literaturverzeichnis niederschlägt. Wenn die publizierten Erfahrungen aus tatsächlich durchgeführtem, erfolgreichen Training mit den Interpretationen aus kurzfristigen leistungsmedizinischen Experimenten nicht übereinstimmten, dann habe ich mich stets an die Erfahrungen des wirklichen Trainings gehalten.

Ich hoffe, dass auch diese zweite Auflage vielen Ärztinnen und Ärzten Anregung und Hilfe sein wird Training als „Fortsetzung der Medizin mit einem anderen Mittel“ in die tägliche Praxis zu integrieren und auch vielen Nicht-Ärzten hilft Training für verschiedene Zielstellungen systematisch und angemessen anzuwenden.

Wien, im Dezember 2004

Paul Haber

VORWORT ZUR 1. AUFLAGE

Dieses Buch befasst sich nur mit einem, allerdings wesentlichen Aspekt der internistischen Sportmedizin, nämlich mit den Grundlagen und der Praxis der leistungsmedizinischen Trainingsberatung (viele Aspekte der Sportmedizin werden daher nicht behandelt). Training wird hier, durchaus verkürzt, nur als eine Möglichkeit zur zielgerichteten Beeinflussung wichtiger Organfunktionen verstanden, in Analogie zu anderen in der Medizin etablierten Möglichkeiten, wie z.B. mit Medikamenten. Ein Hauptanliegen ist daher die Präsentation einer medizinischen Trainingslehre, als Grundlage der ärztlichen Verordnung von therapeutischem Training, bzw. als Grundlage des gestaltenden Eingreifens in einen sportlichen Trainingsprozess. Im Rahmen des Sports gibt es natürlich breite Überlappungen mit der Trainingslehre des Sports, obwohl der sportliche Trainingsprozess ganz andere Zielstellungen hat: im Sport ist das im obigen Sinn verstandene Training nur eine von vielen Möglichkeiten zur Verbesserung einer sportlichen Leistung. Im Rahmen der medizinischen Anwendung von Training, in Therapie und Rehabilitation, sind wiederum sportliche Leistungen irrelevant. Es geht primär um Therapieziele oder um Lebensqualität, wobei vor allem bei letzterer auch die allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit eine wichtige Rolle spielt.

Die Darstellung des Themas beruht auf einer naturwissenschaftlichen Sicht und fasst das Training grundsätzlich als biologischen Prozess auf und nicht als primär pädagogischen, wie das in der Regel die Sichtweise der Sportwissenschaften ist. Daher basiert auch die Terminologie auf Physik, Biochemie und Physiologie und unterscheidet sich von der gelegentlich blumigen Terminologie der Sportwissenschaften (die sogar in den verschiedenen Ausdauersportarten unterschiedlich ist).

Dennoch muss ich festhalten, dass keineswegs alle der dargestellten Regeln der medizinischen Trainingslehre durch medizinisch-experimentelle Forschungen abgesichert sind. Viele leiten sich von den rein empirischen Erfahrungen der Trainingswissenschaften und einzelner hervorragender Trainer ab, die, eigentlich nicht weiter erstaunlich, immer zu den gleichen Prinzipien des Trainings gelangen, wann immer und wo immer derartige Erfahrungen präsentiert werden (z.B. schon im antiken Griechenland). Obwohl in vielen Büchern festgehalten, sind sie in der Sportmedizin leider weithin unbekannt (eine moderne Darstellung der allgemeinen Trainingslehre des Sports ist z.B.: Bompa, T. O.: Theory and methodology of training,

3rd edition. Kendall/Hunt Publishing Company, Iowa 1994). Diese empirischen Erfahrungen und Erkenntnisse sind aber ohne Zweifel richtig, da sich praktisch alle international erfolgreichen Trainer an sie halten. Da es nicht notwendig erscheint das Rad zweimal zu erfinden und das Experiment nicht die einzige Quelle der Erkenntnis ist (wie z.B. auch in der Akupunktur), habe ich diese Erfahrungen ausgiebig berücksichtigt. Ich habe mich aber sehr bemüht, sie in die naturwissenschaftliche Systematik einzuordnen. Training ist immer, auch in Therapie und Rehabilitation, ein komplexer, langfristiger Prozess, der ausschließlich durch kurzfristige Einzelexperimente in seiner Ganzheit nicht erfasst werden kann. Manche etablierten Empfehlungen der Sportmedizin, die sich von solchen Einzelexperimenten ableiten, halten daher der Praxis des Trainings nicht stand. Andere Aspekte des Trainings, wie z.B. die mehrjährige Entwicklung des Umfanges oder die Periodisierung, werden stiefmütterlich oder gar nicht behandelt.

In viele Aspekte dieses Buches sind auch meine persönlichen Erfahrungen mit der in diesem Buch geschilderten Theorie und Praxis der Trainingsberatung eingeflossen. Sie gehen bereits über mehrere Jahrzehnte und reichen von der Rehabilitation schwerkranker Patienten über den Hobbysport bis zum Leistungs- und Hochleistungssport (Olympiamedaillengewinner). Sie umfassen die Beratung einzelner Trainierender (Patienten und Sportler aller Kategorien) sowie einzelner Trainer bis hin zur Beratung eines ganzen Sportverbandes. Die konsequente Anwendung der medizinischen Trainingslehre in der in diesem Buch geschilderten Form ist auf allen Ebenen außerordentlich erfolgreich. Ich habe daher, im Interesse der Systematik und der didaktischen Klarheit auf eine ausgewogene Darstellung verschiedener Lehrmeinungen der Sportmedizin verzichtet und präsentiere im Wesentlichen meine persönliche Sicht der Dinge.

Die Zielgruppe dieses Buches sind in erster Linie ÄrztInnen, die leistungsmedizinische Trainingsberatung betreiben wollen, wobei der Schwerpunkt eindeutig auf der Beratung liegt. Leistungspysiologisches Grundlagenwissen und Leistungsdiagnostik sind dabei nur Hilfsmittel für diesen Zweck. Die zielorientierte Beeinflussung von Organfunktionen ist seit jeher eine der wesentlichen ärztlichen Aufgaben. Neu ist lediglich das Mittel, nämlich das Training, und der Umstand, dass die zu Beratenden nicht mehr ausschließlich Kranke sind, sondern auch Gesunde bis hin zu Hochleistungssportlern. Training wird in dieser Schrift daher auch als ärztliche Aufgabe aufgefasst, als Fortsetzung der Medizin mit anderen Mitteln. Dies möge nicht als der

Versuch einer Monopolisierung aufgefasst werden. Ich bin mir der Rolle und Bedeutung der nichtärztlichen TrainerInnen bei der praktischen Umsetzung des Trainings durchaus bewusst. Insbesondere im Leistungssportlichen Training sind die eigenständigen und eigenverantwortlichen TrainerInnen unverzichtbar. Es hat sich aber bei entsprechender Bereitschaft zur Kooperation gezeigt, dass vor allem bei Ausdauersportarten durch eine möglichst konsequente Beachtung der hier dargestellten Regeln das Training und damit die sportlichen Leistungen wirklich entscheidend verbessert werden können. Hinzu kommt, dass vor allem im Hobbysport TrainerInnen in der Regel nicht verfügbar sind. Für viele Hobbysportler, deren Training durchaus leistungssportliche Dimensionen erreichen kann, ist der Kontakt mit einem/r leistungsmedizinisch beratendem/n Arzt/Ärztin die einzige Chance, dass dieses Training in systematische Bahnen gelenkt werden kann.

Die Zielgruppe der zu Beratenden sind die „in Entwicklung befindlichen“ Trainierenden, bei denen die Verbesserung von Kraft und Ausdauer im Vordergrund steht, unabhängig von Alter und Geschlecht. Wirkliche Hochleistungssportler, deren motorische Grundeigenschaften auf höchstem Niveau stabil sind, haben die in diesem Buch behandelten Probleme schon gelöst und haben daher andere Probleme, die in diesem Buch nicht behandelt werden. Derartige Sportler sind allerdings, zumindest in Österreich, sehr selten. Hingegen befinden sich manche der SportlerInnen, die in eine Nationalmannschaft berufen wurden, funktionell eigentlich noch in der Aufbauphase und haben ihre weitere Entwicklung durch Nichtbeachtung der im Folgenden präsentierten Regeln blockiert.

Ich habe in diesem Buch wegen der leichteren Lesbarkeit durchwegs die männliche Form verwendet. Die Damen unter den (hoffentlich zahlreichen) LeserInnen können natürlich einwenden, dass ich genauso gut auch durchwegs die weibliche Form hätte anwenden können, was für die Lesbarkeit den gleichen Effekt gehabt hätte. Ich gebe zu, dass ich diesem Argument nichts entgegenzusetzen habe und kann zu meiner Entschuldigung nur anführen, dass mir als Mann die männliche Form eben leichter aus der Feder fließt.

Wien, im August 2001

Paul Haber

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| 1. TEIL: EINIGE LEISTUNGSPHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN | 1 |
| 1. ENERGIESTOFFWECHSEL | 3 |
| 1.1. Physikalische Grundbegriffe | 3 |
| 1.1.1. Kraft | 3 |
| 1.1.2. Arbeit | 3 |
| 1.1.3. Energie | 4 |
| 1.1.4. Leistung | 4 |
| 1.1.5. Sauerstoffverbrauch | 6 |
| 1.2. Biologische Energie | 9 |
| 1.3. Energiebereitstellung | 11 |
| 1.3.1. Energiebereitstellung aus Kohlenhydraten | 11 |
| 1.3.2. Energiebereitstellung aus Fetten | 15 |
| 1.3.3. Energiebereitstellung aus Protein | 18 |
| 1.4. Energieumsatz | 21 |
| 1.4.1. Der Grundumsatz | 21 |
| 1.4.2. Energieumsatz unter Belastung | 24 |
| 1.5. Anpassung des Energiestoffwechsels an Training | 41 |
| 1.5.1. Die Kreatinphosphatspaltung | 42 |
| 1.5.2. Die Glykolyse | 43 |
| 1.5.3. Die oxydative ATP-Resynthese | 44 |
| 1.6. Zusammenfassung | 52 |
| | |
| 2. DIE MUSKELKRAFT | 55 |
| 2.1. Die Elektromechanische Koppelung | 56 |
| 2.2. Die Arbeitsweise der Muskelzelle | 58 |
| 2.3. Kontraktionsformen | 60 |
| 2.3.1. Die isometrische Kontraktion | 60 |
| 2.3.2. Die isotonische Kontraktion | 60 |
| 2.3.3. Die Unterstützungszuckung | 61 |
| 2.3.4. Die Anschlagzuckung | 61 |
| 2.3.5. Die auxotonische Kontraktion | 61 |
| 2.4. Rote und weiße Muskelfasern | 62 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 2.4.1. Rote Muskelfasern | 62 |
| 2.4.2. Weiße Muskelfasern..... | 63 |
| 2.5. Die Anpassung an unterschiedlichen Kraftbedarf | 66 |
| 2.5.1. Die motorischen Einheiten | 66 |
| 2.5.2. Die intramuskuläre Synchronisation..... | 67 |
| 2.5.3. Die intramuskuläre Koordination | 68 |
| 2.6. Langfristige Anpassung der Muskelkraft an Training | 69 |
| 2.6.1. Synchronisation | 69 |
| 2.6.2. Hyperplasie..... | 70 |
| 2.6.3. Die Hypertrophie | 70 |
| 2.7. Zusammenfassung | 73 |
| | |
| 3. DER KREISLAUF | 75 |
| | |
| 3.1. Das Blut | 76 |
| 3.1.1. Die Fließeigenschaften des Blutes (Hämo-Rheologie) | 76 |
| 3.1.2. Der Sauerstofftransport | 79 |
| 3.1.3. Der CO ₂ -Tansport | 80 |
| 3.1.4. Die Pufferung | 80 |
| 3.1.5. Langfristige Anpassungen des Blutes | 81 |
| 3.1.6. Zusammenfassung | 82 |
| 3.2. Das Gefäßsystem | 83 |
| 3.2.1. Die Reaktion auf Muskeltätigkeit | 84 |
| 3.2.2. Die Anpassung an Ausdauertraining | 84 |
| 3.2.3. Zusammenfassung | 85 |
| 3.3. Das Herz | 85 |
| 3.3.1. Die Reaktion auf Muskeltätigkeit | 86 |
| 3.3.2. Die langfristige Anpassung an Ausdauertraining | 89 |
| 3.3.3. Zusammenfassung | 91 |
| | |
| 4. DIE LUNGE | 93 |
| | |
| 4.1. Die Ventilation | 94 |
| 4.1.1. Die Reaktion der Ventilation auf Muskeltätigkeit | 95 |
| 4.2. Die Diffusion | 95 |
| 4.2.1. Die Diffusion unter Belastung | 96 |
| 4.3. Die Perfusion | 97 |
| 4.4. Die langfristige Anpassung an Ausdauertraining | 97 |

| | |
|---|-----|
| 4.5. Zusammenfassung | 99 |
| 5. ANDERE ORGANE | 101 |
| 5.1. Die Leber | 101 |
| 5.2. Die Nebenniere | 101 |
| | |
| 2. TEIL: DIE MEDIZINISCHE TRAININGSLEHRE | 103 |
| | |
| 1. STRESSTHEORIE DES TRAININGS | 109 |
| | |
| 1.1. Was ist Stress | 109 |
| 1.2. Die Stressreaktion | 111 |
| 1.3. Der Ablauf der Stressreaktion in vier Phasen | 112 |
| 1.3.1. Die Alarmphase | 112 |
| 1.3.2. Die Phase der Anpassung | 115 |
| 1.3.3. Die Phase der Ermüdung und/oder Erschöpfung | 116 |
| 1.3.4. Die Phase der Wiederherstellung und Erholung | 119 |
| 1.4. Gesundheit und Leistungsfähigkeit als ausgewogenes Verhältnis von Gegensätzen | 121 |
| 1.4.1. Die Gegensätze | 121 |
| 1.4.2. Die Verhältnismäßigkeit | 121 |
| 1.4.3. Das Missverhältnis | 122 |
| 1.5. Der Zyklus als Grundmuster für die Gestaltung des Lebens | 126 |
| 1.5.1. Die zyklische Gestaltung der physischen Belastung | 126 |
| 1.5.2. Die zyklische Gestaltung der psycho-emotionellen Belastung .. | 127 |
| 1.5.3. Berücksichtigung der zirkadianen Rhythmik | 127 |
| 1.5.4. Die Berücksichtigung des Monatszyklus der Frau | 128 |
| 1.6. Exkurs: Stressmanagement | 128 |
| 1.6.1. Verminderung der Belastung | 128 |
| 1.6.2. Vermehrung der Erholung | 130 |
| 1.6.3. Steigerung der Pauseneffizienz | 130 |
| 1.6.4. Steigerung der Erholungsfähigkeit | 131 |
| 1.7. Die Phase der Überkompensation | 131 |
| 1.7.1. Einige Anmerkungen zum Überkompensationszyklus | 132 |
| 1.7.2. Einige Anmerkungen zum Trainingsprozess | 133 |
| 1.7.3. Einige Anmerkungen zur Trainingsbelastung | 135 |
| 1.8. Zusammenfassung | 137 |

| | |
|--|-----|
| 2. DIE MOTORISCHEN GRUNDEIGENSCHAFTEN | 139 |
| 2.1. Ausdauer | 139 |
| 2.1.1. Aerobe Ausdauer | 141 |
| 2.1.2. Anaerobe Ausdauer | 145 |
| 2.2. Kraft | 147 |
| 2.2.1. Die Maximalkraft..... | 147 |
| 2.2.2. Kraftausdauer..... | 149 |
| 2.3. Koordination | 152 |
| 2.4. Schnelligkeit | 152 |
| 2.5. Flexibilität | 153 |
| 2.6. Zusammenfassung | 155 |
| | |
| 3. ZEHN ALLGEMEINE GRUNDREGELN DES TRAININGS | 157 |
| 3.1. Die Quantifizierung der Trainingsbelastung | 158 |
| 3.1.1. Intensität | 158 |
| 3.1.2. Dauer | 159 |
| 3.1.3. Häufigkeit | 159 |
| 3.1.4. Die wöchentliche Netto-Trainingsbelastung (WNTB)..... | 159 |
| 3.2. Die Beachtung von Minimalbelastungen | 162 |
| 3.2.1. Für das aerobe Ausdauertraining..... | 162 |
| 3.2.2. Für das Krafttraining..... | 166 |
| 3.3. Die Angemessenheit der Trainingsbelastung | 170 |
| 3.3.1. Zu niedrige Trainingsbelastung | 171 |
| 3.3.2. Zu hohe Trainingsbelastung | 171 |
| 3.4. Die Ganzjährigkeit des Trainings | 172 |
| 3.5. Die systematische Steigerung der Trainingsbelastung | 173 |
| 3.5.1. Die systematische Steigerung im Ausdauertraining | 174 |
| 3.5.2. Die systematische Steigerung im Krafttraining | 180 |
| 3.6. Die zyklische Gestaltung des Trainings | 182 |
| 3.6.1. Die Hierarchie der Zyklen..... | 182 |
| 3.6.2. Die Terminplanung des Trainingsjahres | 189 |
| 3.6.3. Typische Beispiele der Terminplanung bei Ein- und Mehrfachperiodisierung | 191 |
| 3.7. Die Auswahl der richtigen Bewegungsform | 196 |
| 3.8. Das Definieren von Trainingszielen | 197 |
| 3.8.1. Leistungssportliche Ziele | 198 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| 3.8.2. Nicht-leistungssportliche Ziele | 198 |
| 3.9. Das Individualisieren des Trainings | 200 |
| 3.10. Die Information des Trainierenden | 200 |
| 3.11. Zusammenfassung | 201 |
| | |
| 4. TRAININGSMETHODEN | 203 |
| | |
| 4.1. Trainingsmethoden der Ausdauer | 203 |
| 4.1.1. Aerobe Ausdauer | 203 |
| 4.1.2. Anaerobe Ausdauer | 208 |
| 4.2. Trainingsmethoden der Kraft | 209 |
| 4.2.1. Maximalkraft | 209 |
| 4.2.2. Kraftausdauer | 211 |
| 4.3. Zusammenfassung | 213 |
| | |
| 5. DIE PLANUNG DES MEHRJÄHRIGEN TRAININGS VON KRAFT UND AUSDAUER IM LEISTUNGSSPORT | 215 |
| | |
| 5.1. Der österreichische Ruderlehrplan..... | 217 |
| 5.1.1. Das 1. Trainingsjahr (14. Lebensjahr) | 218 |
| 5.1.2. Das 2. Trainingsjahr (15. Lebensjahr) | 219 |
| 5.1.3. Das 3. Trainingsjahr (16. Lebensjahr) | 222 |
| 5.1.4. Das 4. Trainingsjahr (17. Lebensjahr) | 225 |
| 5.1.5. Das 5. Trainingsjahr (18. Lebensjahr) | 230 |
| 5.1.6. Das 6. Trainingsjahr (19. Lebensjahr) | 231 |
| 5.1.7. Das 7. Trainingsjahr (20. Lebensjahr) | 234 |
| 5.2. Das 4-Jahres-Projekt „Susanne Pumper Sydney 2000“ | 235 |
| 5.2.1. Die Entwicklung der Jahres-Nettotrainingszeit | 238 |
| 5.2.2. Die Entwicklung der mittleren und schnellen Dauerläufe | 240 |
| 5.2.3. Die Entwicklung des intensiven Trainings | 241 |
| 5.2.4. Die Leistungsentwicklung..... | 242 |
| 5.2.5. Kontrolle und Regelung des Trainings..... | 245 |
| 5.3. Zusammenfassung | 249 |
| | |
| 6. DIE GRENZEN DER SPORTLICHEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT | 251 |
| | |
| 6.1. Kraft | 251 |
| 6.2. Ausdauer | 252 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| 6.3. Passiver Bewegungsapparat | 253 |
| 6.4. Zusammenfassung | 254 |
| | |
| 3. TEIL: DIE LEISTUNGSDIAGNOSTIK | 255 |
| | |
| 1. DIE TRAININGSANAMNESE | 259 |
| | |
| 1.1. Angaben zur Person | 259 |
| 1.2. Allgemeine Angaben zum Training | 259 |
| 1.2.1. Das Trainingsalter | 259 |
| 1.2.2. Die gegenwärtige Trainingsperiode | 260 |
| 1.2.3. Die Summe aller Trainingseinheiten pro Woche | 260 |
| 1.3. Angaben zum Ausdauertraining | 260 |
| 1.3.1. Der Trainingsumfang des Vorjahres | 260 |
| 1.3.2. Das Training vor 10 Wochen und vorher | 261 |
| 1.3.3. Das Training der letzten 10 Wochen vor dem Test | 261 |
| 1.3.4. Die Struktur des Trainings | 261 |
| 1.4. Angaben zum Krafttraining | 262 |
| 1.5. Das sportliche Ziel | 262 |
| 1.6. Kurzfristige Einflussfaktoren | 262 |
| 1.7. Die Persönlichkeit des Sportlers | 263 |
| 1.8. Zusammenfassung | 265 |
| | |
| 2. DIE LEISTUNGSDIAGNOSTISCHE UNTERSUCHUNG (TEST) | 267 |
| | |
| 2.1. Die absolute Leistungsfähigkeit | 267 |
| 2.2. Die relative Leistungsfähigkeit | 268 |
| 2.2.1. Die Körpermasse | 268 |
| 2.2.2. Die Körperoberfläche | 271 |
| 2.3. Der Bezug auf einen Referenzwert (Trainingszustand) | 271 |
| 2.4. Die Beurteilung des Trainingszustandes | 273 |
| 2.4.1. Die Relation zum Trainingsaufwand | 273 |
| 2.4.2. Die Relation zum angestrebten sportlichen Ziel | 273 |
| 2.4.3. Trainingscontrolling | 273 |
| 2.5. Trainingsmittelüberprüfung | 274 |
| 2.6. Zusammenfassung | 275 |

| | |
|---|-----|
| 3. QUALITÄTSKRITERIEN EINES TESTS | 277 |
| 3.1. Gültigkeit, Validität | 277 |
| 3.2. Zuverlässigkeit, Reliabilität | 277 |
| 3.3. Objektivität | 278 |
| 3.4. Standardisierung | 278 |
| 3.5. Zusammenfassung | 281 |
| | |
| 4. LEISTUNGSDIAGNOSTISCHE TESTS, GEORDNET NACH ZUNEHMENDEM APPARATIVEM AUFWAND | 283 |
| 4.1. Ruhepuls und Körpermasse | 283 |
| 4.2. Das sportartspezifische Testsystem | 283 |
| 4.3. Standardisiertes Testtraining | 284 |
| 4.4. Der Feldtest | 285 |
| 4.4.1. Annahme 1 | 286 |
| 4.4.2. Annahme 2 | 287 |
| 4.5. Maximalkrafttest | 289 |
| 4.5.1. Sportarten für die Beine | 290 |
| 4.5.2. Sportarten für die Arme | 291 |
| 4.5.3. Krafttest in Prävention und Rehabilitation | 293 |
| 4.6. Kraftausdauerterest | 293 |
| 4.7. Zusammenfassung | 296 |
| | |
| 5. DIE ERGOMETRIE | 299 |
| 5.1. Das Prinzip | 299 |
| 5.2. Ergometrieformen | 300 |
| 5.2.1. Die sportartunspezifische Fahrradergometrie | 300 |
| 5.2.2. Die sportartspezifische Ergometrie | 301 |
| 5.3. Belastungsverfahren (Ergometrieprotokolle) | 302 |
| 5.3.1. Rektanguläre Rechteckbelastung, Einstufentest | 302 |
| 5.3.2. Trianguläre, kontinuierlich ansteigende Belastung, Rampentest | 302 |
| 5.3.3. Stufenförmig ansteigende, rektangulär-trianguläre Belastung | 302 |
| 5.3.4. Steady state-Belastung | 303 |
| 5.3.5. Symptomlimitierte, maximale Ergometrie | 303 |
| 5.3.6. Die submaximale Ergometrie | 304 |
| 5.4. Ergometrische leistungsdiagnostische Messwerte | 306 |

| | |
|---|------------|
| 5.4.1. Die maximale, symptomlimitierte Leistungsfähigkeit | 306 |
| 5.4.2. EKG, Herzfrequenz (HF) | 309 |
| 5.4.3. Der Blutdruck (RR) | 311 |
| 5.4.4. Die maximale Laktatkonzentration | 313 |
| 5.4.5. Die anaerobe Schwelle bei 4 mmol/l | 313 |
| 5.4.6. Der Herzgrößenleistungsquotient (HGLQ) | 313 |
| 5.5. Zusammenfassung | 315 |
| 4. TEIL: DIE LEISTUNGSMEDIZINISCHE TRAININGSBERATUNG | 317 |
| 1. LEISTUNGSMEDIZINISCHE TRAININGBERATUNG IM BEREICH DES LEISTUNGSSPORTS | 323 |
| 1.1. Das Wesen der Trainingsberatung | 323 |
| 1.1.1. Der Ist-Zustand entspricht dem Erwartungswert | 323 |
| 1.1.2. Der Ist-Zustand ist größer als der Erwartungswert | 323 |
| 1.1.3. Der Ist-Zustand ist kleiner als der Erwartungswert | 324 |
| 1.2. Die systematische Trainingsberatung | 324 |
| 1.2.1. Gibt es eine Trainingsanamnese? | 324 |
| 1.2.2. Sind die Angaben plausibel? | 325 |
| 1.2.3. Prüfung auf Einhaltung der Grundregeln des Trainings | 326 |
| 1.2.4. Prüfung der Effektivität des gesamten aeroben Ausdauertrainings | 327 |
| 1.2.5. Einschätzung der Erreichbarkeit des sportlichen Zieles auf Grund des Ausdauertrainingszustandes | 333 |
| 1.2.6. Prüfung der Effektivität des intensiv-aeroben Ausdauer- trainings | 334 |
| 1.2.7. Prüfung der Effektivität des laktazid-anaeroben Ausdauertrainings (Wiederholungstraining) | 336 |
| 1.2.8. Prüfung der Effektivität des alaktazid-anaeroben Ausdauertrainings (= Schnelligkeit) | 337 |
| 1.2.9. Beurteilung der Effektivität des Trainings der Maximalkraft .. | 338 |
| 1.2.10. Prüfung der Effektivität des Trainings der Kraftausdauer | 338 |
| 1.2.11. Überprüfung der Erreichbarkeit des sportlichen Zieles auf Basis der Kräfteigenschaften | 339 |
| 1.2.12. Überprüfung der Effektivität des gesamten Trainings | 339 |
| 1.3. Zusammenfassung | 342 |

| | |
|--|-----|
| 2. BERATUNG VON SPORTTREIBENDEN MIT ERHÖHTEM RISIKO UND/ODER CHRONISCHEN ERKRANKUNGEN | 345 |
| 2.1. Fünf allgemeine Regeln, die bei der sportärztlichen Beratung zu beachten sind | 346 |
| 2.1.1. Die chronische Erkrankung | 346 |
| 2.1.2. Die Schulung | 346 |
| 2.1.3. Der Notfall | 347 |
| 2.1.4. Die Planung | 347 |
| 2.1.5. Die körperlichen Voraussetzungen | 348 |
| 2.2. Der Ablauf der Beratung | 348 |
| 2.2.1. Die Anamnese | 348 |
| 2.2.2. Festlegen des Zielwertes der LF%Ref | 349 |
| 2.2.3. Feststellung des Ist-Zustandes | 349 |
| 2.2.4. Abgleichung des Zielwertes mit dem Ist-Zustand | 350 |
| 2.3. Zusammenfassung | 354 |
| 3. DIE MEDIZINISCHE TRAININGSTHERAPIE | 355 |
| 3.1. Indikationen für die medizinische Trainingstherapie | 355 |
| 3.1.1. Die verminderte Leistungsfähigkeit | 355 |
| 3.1.2. Hypertonie | 358 |
| 3.1.3. Fettstoffwechselstörungen | 359 |
| 3.1.4. Diabetes mellitus II | 360 |
| 3.1.5. Adipositas | 361 |
| 3.1.6. Arteriosklerose, koronare Herzkrankheit | 362 |
| 3.1.7. Depressive Verstimmung | 362 |
| 3.1.8. Rücken- und Schulterschmerzen | 362 |
| 3.1.9. Osteoporose | 363 |
| 3.2. Zur Sicherheit der Trainingstherapie | 364 |
| 3.2.1. Das Verletzungsrisiko | 364 |
| 3.2.2. Die Gefahr der Überforderung | 365 |
| 3.3. Kontraindikationen | 367 |
| 3.4. Kontrollen | 368 |
| 3.5. Verschiedene Fragen | 369 |
| 3.5.1. Sport und Spiel? | 369 |
| 3.5.2. Wie lange Trainingstherapie? | 370 |
| 3.5.3. Wann soll trainiert werden? | 371 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| 3.5.4. Ist das Training bei verschiedenen Erkrankungen verschieden? | 372 |
| 3.6. Zusammenfassung | 373 |
| 4. TRAINING BEI ALTEN MENSCHEN | 375 |
| 4.1. Der Altersgang der Leistungsfähigkeit | 375 |
| 4.2. Der Altersgang der Trainierbarkeit | 377 |
| 4.3. Der Einfluss von regelmäßigem Training auf die Lebenserwartung | 379 |
| 4.4. Beachtenswertes beim Training alter Menschen | 383 |
| 4.4.1. Der Wasserhaushalt | 383 |
| 4.4.2. Die motorische Lernfähigkeit | 384 |
| 4.4.3. Abnahme der Konzentrations- und Reaktionsfähigkeit | 384 |
| 4.5. Zusammenfassung | 385 |
| 5. FRAUEN BETREIBEN SPORT | 387 |
| 5.1. Leistungsrelevante Unterschiede zwischen Mann und Frau | 387 |
| 5.1.1. Die Körperzusammensetzung | 388 |
| 5.1.2. Das Fettverteilungsmuster | 390 |
| 5.1.3. Die Wärmeabstrahlung | 391 |
| 5.2. Spezielle Probleme des Frauensports | 391 |
| 5.2.1. Die Menstruation | 391 |
| 5.2.2. Die Schwangerschaft | 392 |
| 5.2.3. Anderes Training | 392 |
| 5.3. Zusammenfassung | 394 |
| 6. KINDER BETREIBEN SPORT | 395 |
| 6.1. Die Entwicklungsphasen | 395 |
| 6.2. Die drei Hauptentwicklungslinien | 396 |
| 6.2.1. Das Wachstum des Gehirns | 396 |
| 6.2.2. Das Längenwachstum | 399 |
| 6.2.3. Die Trainierbarkeit | 400 |
| 6.3. Das Talent | 401 |
| 6.4. Zusammenfassung | 403 |
| 5. TEIL: ERNÄHRUNG | 405 |
| 1. STELLENWERT DER RICHTIGEN ERNÄHRUNG | 407 |

| | |
|--|-----|
| 1.1. Stellenwert der Ernährung für Leistungssportler | 407 |
| 1.2. Stellenwert der Ernährung für Hobbysportler und alle, die etwas leisten müssen | 408 |
| 1.3. Was ist eine richtige Ernährung? | 408 |
| 1.4. Was ist eine Ernährungsbilanz? | 409 |
| 1.4.1. Die positive Bilanz | 409 |
| 1.4.2. Die negative Bilanz | 410 |
| 1.4.3. Die ausgeglichene Bilanz | 410 |
| | |
| 2. FÜNF BILANZEN FÜR EINE AUSGEWOGENE ERNÄHRUNG | 411 |
| | |
| 2.1. Die Energiebilanz | 411 |
| 2.1.1. Der Grundumsatz (GU) | 411 |
| 2.1.2. Der Leistungsumsatz (LU) | 414 |
| 2.1.3. Zunehmen und Abnehmen | 416 |
| 2.1.4. Der Trainingsumsatz (TRU) | 427 |
| 2.1.5. Der gesamte Tagesumsatz (TU) des Sportlers | 430 |
| 2.2. Die Nährstoffbilanz | 431 |
| 2.2.1. Eiweiß | 432 |
| 2.2.2. Fette | 437 |
| 2.2.3. Kohlenhydrate | 440 |
| 2.3. Die Flüssigkeitsbilanz | 445 |
| 2.4. Elektrolytbilanz | 447 |
| 2.4.1. Kochsalz | 447 |
| 2.4.2. Kalium | 448 |
| 2.4.3. Magnesium | 448 |
| 2.4.4. Kalzium | 449 |
| 2.4.5. Eisen | 449 |
| 2.5. Die Bilanz der Vitamine und Spurenelemente | 450 |
| 2.6 Zusammenfassung | 452 |
| | |
| 3. NAHRUNGSERGÄNZUNGSSTOFFE | 457 |
| | |
| 3.1. Kreatin | 457 |
| 3.2. L-Carnitin | 458 |
| | |
| 4. ALLGEMEINE HINWEISE | 459 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-----------------------------------|------------|
| Literatur | 461 |
| Stichwortverzeichnis | 469 |

1. Teil

Einige leistungsphysiologische Grundlagen

Für eine vertiefte Einarbeitung in die Materie
sei auf die umfassenden Lehrbücher
der Leistungsphysiologie von
Åstrand u. Ma. [7], Hollmann und Hettinger [74],
McArdle u. Ma. [101] u. a.
verwiesen.

1. ENERGIESTOFFWECHSEL

1.1. Physikalische Grundbegriffe

1.1.1. Kraft

Die physikalische Definition von Kraft ist

$$\Rightarrow \text{Kraft} = \text{Masse (kg)} \times \text{Beschleunigung (m} \times \text{sek}^{-2}\text{)}$$

Die klassische Einheit der Kraft ist das *Kilopond (kp)*, das ist jene Kraft, die 1 kg Masse eine Beschleunigung von $9,81 \text{ m} \times \text{sek}^{-2}$ verleiht (im Schwerfeld der Erde)

$$\Rightarrow 1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m} \times \text{sek}^{-2}$$

Diese Kraft übt 1 kg nur auf der Erde aus; am Mond würde 1 kg, auf Grund der geringeren Schwerkraft, nur 1/6 dieser Kraft ausüben. Die *SI-Einheit* (system international) für die Kraft ist das *Newton (N)*, dessen Definition von Schwerfeldern unabhängig ist: es ist die Kraft, die 1 kg Masse die Beschleunigung von $1 \text{ m} \times \text{sek}^{-2}$ verleiht:

$$\Rightarrow 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m} \times \text{sek}^{-2}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N (näherungsweise: 10)}$$

1.1.2. Arbeit

Die physikalische Definition von Arbeit ist:

$$\Rightarrow \text{Arbeit} = \text{Kraft} \times \text{Weg.}$$

Die Einheit ist daher: $1 \text{ kp} \times \text{m}$ (*Kilopondmeter*), das ist jene Arbeit die erbracht wird, wenn 1 kp um einen Meter gehoben wird (im Schwerfeld der Erde). Die gleiche Arbeit von 1 kpm ist es aber auch, wenn 0,5 kp 2 m gehoben werden. Dabei spielt die Zeit, in der die Arbeit erbracht wird, keine Rolle. Die Arbeit ist immer gleich, egal ob das Kilopond in einer Sekunde (sek) oder in einer Minute (min) um einen Meter gehoben wird.

Die SI Einheit der Arbeit ist: $1 \text{ N} \times \text{m}$ (*Newtonmeter*), das 1 J (*Joule*) genannt wird und natürlich in kpm umgerechnet werden kann.

$$\Rightarrow 1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ J.}$$

1.1.3. Energie

Energie bedeutet soviel wie *gespeicherte Arbeit* oder *Arbeitsfähigkeit*. Daraus geht hervor, dass Energie und Arbeit physikalisch gleich sind, obwohl sie in verschiedenen Maßeinheiten angegeben werden und auch verschieden definiert werden. Die Einheit der Energie ist die *Kalorie (cal)*, die als Wärmeenergie definiert ist.

❖ *1 cal ist jene Wärmemenge, die 1 cm³ Wasser von 14,5 °C auf 15,5 °C erwärmt.*

In der Physiologie wird die vom Organismus umgesetzte Energie, ebenso wie die in den Nährstoffen enthaltene, in Kalorien angegeben, genauer gesagt in Kilokalorien (kcal). In SI Einheiten wird die Energie konsequenterweise ebenfalls in Joule bzw. *Kilojoule (kJ)* angegeben.

Da Energie und Arbeit im Wesen das Gleiche sind, können sie auch über das *mechanische Wärmeäquivalent* ineinander umgerechnet werden:

$$\Rightarrow 1 \text{ cal} = 0,426 \text{ kpm.}$$

Die Umrechnung von kpm auf J ergibt dann den Umrechnungsfaktor von Kalorien auf Joule:

$$\Rightarrow 0,426 \text{ kpm} \times 9,81 = 4,189 \text{ J} (= 1 \text{ cal}).$$

1.1.4. Leistung

Ein weiterer wesentlicher Begriff aus der Physik, der in der Leistungsphysiologie häufig verwendet wird ist die *Leistung*. Sie ist ebenfalls physikalisch definiert:

$$\Rightarrow \text{Leistung} = \text{Arbeit}/\text{Zeit},$$

also z.B. ein Kilopondmeter pro Minute (*kpm/min*). Das bedeutet, dass das Heben von einem Kilopond um einen Meter während einer Minute erfolgt. Meter pro Minute, also Weg durch Zeit, ist die Definition der *Geschwindigkeit*. Während also die Arbeit als Kraft mal Weg definiert ist, ist die Leistung Kraft mal Geschwindigkeit. Im Gegensatz zur Arbeit ist also für die Leistung nicht nur das gehobene Gewicht von Bedeutung, sondern auch die Geschwindigkeit, mit der das Gewicht gehoben wird. Daher kann durchaus beim raschen Heben eines kleinen Gewichtes in sehr kurzer Zeit eine größere Leistung erbracht werden als beim langsamen Bewegen eines größeren Gewichtes. Werden z.B. 0,25 kp in 1 Sekunde um einen Meter gehoben, so sind das:

$$\Rightarrow 1 \text{ m} \times 0,25 \text{ kp}/1 \text{ sek} = 0,25 \text{ kpm}/\text{sek} = 15 \text{ kpm}/\text{min}.$$

Eine bekannte technische Einheit der Leistung sind übrigens 75 kpm/sek, das ist die *Pferdestärke* (1 PS). Die SI Einheit der Leistung ist das *Watt (W)*, das heute, unter anderem, auch zur Angabe der mechanischen Leistung bei der Fahrradergometrie verwendet wird (*1 Watt = 1J/sek*).

Natürlich können kpm/min und kpm/sek in Watt umgerechnet werden und umgekehrt:

$$\Rightarrow \text{kpm}/\text{min} = 6,12 \times \text{Watt}; \text{Watt} = \text{kpm}/\text{min}/6,12$$

$$\Rightarrow \text{kpm}/\text{sek} = \text{Watt}/9,81; \text{Watt} = \text{kpm}/\text{sek} \times 9,81$$

$$\text{Daher ist 1 PS: } 75 \times 9,81 = 736 \text{ W (0,736 kW)}$$

In der Leistungsphysiologie spielt häufig weniger der Aspekt der mechanischen Arbeit eine Rolle, als der der im Organismus umgesetzten Energie. Daher wird Leistung auch folgendermaßen angegeben:

$$\Rightarrow \text{Leistung} = \text{Energieumsatz}/\text{Zeit} \text{ (kcal}/\text{min} \text{ oder } \text{kJ}/\text{min}).$$

Aus der erwähnten Definition der Leistung als Kraft \times Geschwindigkeit ergibt sich, dass bei gleicher Leistung das Produkt aus Kraft mal Geschwindigkeit konstant ist. Dieses reziproke Verhältnis von Kraft und Geschwindigkeit bei gleicher Leistung ist z.B. wesentlich für das Verständnis eines Aspektes der Fahrradergometrie, nämlich der *Trittfrequenz* (= Umdrehungszahl/min), die die Geschwindigkeit repräsentiert. In vielen Lehrbüchern wird als Trittfre-

quenz für die Ergometrie 50–60/min empfohlen. Die Begründung ist unklar, insbesondere da bekannt ist, dass Radrennfahrer, die sicherlich besonders ökonomisch fahren, erheblich höhere Trittfrequenzen, nämlich 90–120/min anwenden. Möglicherweise beruht diese Empfehlung auf dem Umstand, dass bei einer Trittfrequenz von 50–60/min der biologische Wirkungsgrad der eingesetzten Energie am größten ist. Das heißt, dass von allen möglichen Varianten von Trittfrequenz und Bremskraft für die gleiche Leistung, bei einer Trittfrequenz von 50–60/min die Herzfrequenz und die O₂-Aufnahme am geringsten sind.

Ist die Bremskraft eine Konstante, wie das bei den meisten mechanisch gebremsten Fahrradergometern der Fall ist, dann ist die erbrachte Leistung **drehzahlabhängig**. Das heißt, die Leistung nimmt mit der Trittfrequenz (das ist die Geschwindigkeit) linear zu. Eine bestimmte Leistung, also z.B. 100 W, kann aber sehr variabel erbracht werden. Entsprechend der Formel: „Kraft × Geschwindigkeit“ kann dies entweder mit niedriger (Brems)kraft und hoher Trittfrequenz oder, umgekehrt, mit hoher Bremskraft und niedriger Trittfrequenz geschehen. Wie die Erfahrungen der Radrennfahrer zeigen, ist es für das Erbringen einer hohen Leistung vorteilhafter eine hohe Trittfrequenz mit geringerem Krafteinsatz zu wählen, da dabei die Leistung weniger durch lokale muskuläre Komponenten, sondern mehr durch die allgemeine Kapazität von Kreislauf und Stoffwechsel limitiert ist. Für die ergometrische Leistungsprüfung sollte daher immer eine hohe Trittfrequenz, etwa um 80/min, gewählt werden. Bei einem modernen elektrischen Ergometer geschieht die entsprechende Regelung der Bremskraft, in Abhängigkeit von der Umdrehungszahl, automatisch (*drehzahlunabhängig*).

1.1.5. Sauerstoffverbrauch

Im menschlichen Organismus wird die für die Lebensvorgänge und die Muskeltätigkeit erforderliche Energie durch die biologische Verbrennung der Nährstoffe Fett, Kohlenhydrate und Eiweiß (Protein) mit Sauerstoff bereitgestellt (*Oxydation*). Je nach dem verwendeten Nährstoff wird dabei pro Liter Sauerstoff eine ganz bestimmte Energiemenge gewonnen, das *energetische Äquivalent*:

- ❖ *bei Eiweiß* 4,5 kcal/Liter O₂;
- ❖ *bei Fetten* 4,7 kcal/Liter O₂;
- ❖ *bei Kohlenhydraten* 5,0 kcal/Liter O₂.

Leistungsphysiologisch kann Leistung daher auch so angegeben werden:

$$\Rightarrow \text{Leistung} = \text{O}_2\text{-Verbrauch/Zeit } (\dot{V}\text{O}_2, \text{l/min, ml/min}).$$

Man kann daher durch Messung der mit der Atmung aufgenommenen O₂-Menge (mit der spirometrischen Atemgasanalyse) auf die im Körper umgesetzte Energiemenge und somit auf die erbrachte Leistung schließen (*indirekte Kalorimetrie*). Bei sportlichen Belastungen kann mit guter Näherung das kalorische Äquivalent für Kohlenhydrat angenommen werden.

Da mit der oxydativ bereitgestellten Energie auch die mechanische Leistung erbracht wird, besteht eine enge Beziehung zwischen der jeweiligen Leistung, z.B. Lauftempo oder Leistung am Ergometer, und der $\dot{V}\text{O}_2$, die, für die fahrradergometrische Belastung, mit folgender Regressionsgleichung beschrieben werden kann, unabhängig von Alter und Geschlecht [144]:

$$\Rightarrow \dot{V}\text{O}_2 = 6,3 \times \text{KM} + 10,2 \times \text{W} \quad (\text{KM} = \text{Körpermasse [kg]})$$

Wie hoch ist die $\dot{V}\text{O}_2$ bei einem Menschen mit 80 kg bei einer Belastung von 100 W?

$$\Rightarrow \dot{V}\text{O}_2 = 6,3 \times 80 + 10,2 \times 100 = 1524 \text{ ml/min}$$

Dies ist eine statistische Schätzung mit einer Streuung um den Schätzwert von $\pm 10\%$. Es ist eine Vielzahl ähnlicher Formeln publiziert worden, die im Detail leicht unterschiedliche Werte, insbesondere bei sehr niedriger und sehr hoher Leistung, ergeben. In diesem Buch wird durchgehend diese zitierte Formel verwendet.

Aufmerksame Rechner werden an Hand dieser Formel feststellen, dass eine zusätzliche $\dot{V}\text{O}_2$ von 1 l eine zusätzliche Leistung von 98 W ermöglicht. Andererseits entspricht eine $\dot{V}\text{O}_2$ von 1 l/min rein physikalisch einer Leistung von 349 W ($= 1 \times 5 \times 4,19 \times 1000/60$). Die erhebliche Differenz erklärt sich damit, dass, wie später noch besprochen wird, ca. 60% der aus der Oxydation bereitgestellten Energie als Wärme frei wird und von der verbleibenden, chemisch als ATP gebundenen Energie noch einmal fast die Hälfte für vitale Basisfunktionen, wie zelluläre Ionenpumpen, Herz- und Atemtätigkeit, aufgewendet wird, somit also für die mechanische Leistungserbringung nicht zur Verfügung steht. Die individuell stark unterschiedliche Geschicklichkeit beim Rad fahren erklärt die Streuung um den mittleren Schätzwert.

Mit diesen Kenntnissen können wir bereits jetzt die für viele Gesundheits-sportler so wichtige Frage beantworten:

❖ *Wie viele Kalorien verbrauche ich bei einer Stunde Joggen?*

Dazu brauchen wir eine individuelle Angabe, nämlich die maximale O₂-Aufnahmefähigkeit in Litern pro Minute (= $\dot{V}O_{2\max}$), wie sie bei der Spiroergometrie gemessen wird. Nehmen wir an, diese wäre 3 l/min (das ist ein Durchschnittswert für einen 20–30-jährigen Mann) und nehmen wir weiter an, dass beim Joggen davon 60% genutzt werden (das ist ein eher gemütliches Joggen), dann können wir folgende kleine Rechnung anstellen (der Einfachheit halber nehmen wir das energetische Äquivalent für Kohlenhydrate):

$$\Rightarrow 3 \text{ l/min} \times 0,6 \times 5 \times 60 \text{ (min)} = 540 \text{ kcal/Stunde.}$$

Das ist leider nicht mehr als der Nährwert von 1 Liter Fruchtsaft (der vielleicht nach dem Joggen konsumiert wird) und zeigt, dass der Energieumsatz beim Joggen, und damit die Möglichkeit damit Gewicht abzunehmen, in der Regel überschätzt wird.

Eine andere Frage aus der praktischen Beratung, die wir bereits jetzt beantworten können ist folgende: Eine alpinistische, von einem Reisebüro organisierte Fernfahrt nach Afrika, enthält die Besteigung eines 5000 m hohen Gipfels ausgehend von einem Basislager in 3000 m Höhe. Allerdings muss die Gipfelbesteigung und die Rückkehr ins Lager an einem Tag bewältigt werden, da es in der Wildnis zwischen Basislager und Gipfel keinerlei sichere Übernachtungsmöglichkeiten gibt. Die Frage des etwa 55-jährigen Mannes war: kann ich mir diese Tour zutrauen?

Dazu noch einige nähere Angaben:

- ❖ *der Tag dauert in Äquatornähe ziemlich genau 12 Stunden, von denen 2 Stunden für Rasten verbraucht werden, sodass 10 Stunden, das sind 36.000 Sekunden, für den Auf- und Abstieg zur Verfügung stehen.*
- ❖ *Der Höhenunterschied ist 2-mal 2000 m; allerdings wird beim bergab Gehen $\frac{1}{3}$ weniger Energie verbraucht als beim gleich schnellen bergauf Gehen. Deshalb rechnen wir für die Rückkehr nur 1300 m Höhenunterschied. In summa: 3300 m.*
- ❖ *Der Mann wiegt 75 kg, inklusive Kleidung und leichtem Gepäck 85 kg. Die normale, altersentsprechende Leistungsfähigkeit ist 2,1 W/kg Körpermasse.*

- ❖ *Der über 10 Stunden nutzbare Anteil der maximalen Leistungsfähigkeit ist höchstens 40%.*
- ❖ *In 3000–5000 m Höhe ist die Leistungsfähigkeit, wegen des schon deutlich niedrigeren O₂-Drucks, etwa 15% niedriger als auf Meeresebene.*

Jetzt können wir folgende Rechnung ansetzen:

- ⇒ $3300 \times 85 \times 9,81/36.000 = 76$ Watt, das sind 40% von 190 Watt.
- ⇒ Wegen des höhenbedingten Leistungsabfalls:
 $194 \times 1,15 = 218,5$ Watt.
- ⇒ $218,5/75 = 2,91$ Watt/kg, das sind 139% der normalen Leistungsfähigkeit.

Die leistungsmäßige Voraussetzung um diese Tour bewältigen zu können sind 2,91 Watt/kg (das ist übrigens vom Alter unabhängig). Für unseren Mann mit 55 Jahren bedeutet das allerdings eine Leistungsfähigkeit, die 40% über dem altersentsprechenden Durchschnitt liegt und nur durch entsprechendes Training erworben werden kann. Je mehr diese Leistungsfähigkeit unterschritten wird, desto größer wird das Risiko eines erschöpfungsbedingten Zusammenbruchs (bei dieser speziellen Tour heißt das: mitten im Urwald).

1.2. Biologische Energie

Der Ursprung aller biologisch verwertbaren Energie sowohl im Tier- als auch im Pflanzenreich ist zunächst die Sonne. Allerdings kann diese in Form von elektromagnetischen Wellen vorliegende *Strahlungsenergie* von Pflanzen nur teilweise und vom tierischen, und damit auch dem menschlichen Organismus überhaupt nicht direkt genutzt werden. Pflanzen können die Sonnenenergie verwenden um eine ganz bestimmte chemische Verbindung aufzubauen, wobei die Strahlungsenergie in den Atombindungen als *Bindungsenergie* gespeichert wird. Die chemische Substanz, die dabei durch Bindung von Phosphorsäureresten an Adenosin entsteht, ist das *Adenosin-Tri-Phosphat*, (*ATP*), wobei als Zwischenstufen Adenosin-Mono-Phosphat und Adenosin-Di-Phosphat (AMP und ADP) entstehen. Dieser Vorgang ist als *Photosynthese* bekannt und findet mit Hilfe des grünen Blattfarbstoffs *Chlorophyll* in den *Chloroplasten* in den Zellen der Blätter der grünen Pflanzen statt. Das ATP ist

also ein chemischer Energiespeicher, so wie eine gespannte Feder ein physikalischer Energiespeicher ist. Das ATP seinerseits stellt die Energie für alle nur denkbaren zellspezifischen Funktionen und Syntheseleistungen zur Verfügung, indem Phosphorsäure wieder hydrolytisch abgespalten wird. Die dabei freiwerdende Bindungsenergie wird für die eigentlichen Lebensvorgänge genutzt. Das bei der Spaltung von ATP entstehende ADP und die freie Phosphorsäure werden in den Chloroplasten wieder zu ATP resynthetisiert. Die Pflanze nutzt diese Energien um aus Kohlendioxyd (CO_2 aus der Luft), und Wasser (aus dem Boden), *Kohlenhydrate* (Zucker, Stärke, Zellulose), Fette und, zusätzlich mit Stickstoff, *Aminosäuren* und *Proteine* zu synthetisieren. Dabei wird der für die Synthese überflüssige Sauerstoff aus dem Wasser an die Luft abgegeben. Grundsätzlich besteht die Synthese im Aufbau von Ketten oder Ringen aus Kohlenstoffatomen, die das Grundgerüst aller dieser Verbindungen bilden, und dem zusätzlichen Einbau von substanzspezifischen Molekülgruppen, wie z.B. der Aminogruppe bei der Synthese von Aminosäuren. In diesen Stoffen ist daher ebenfalls sehr viel Bindungsenergie gespeichert, die indirekt, nämlich auf dem Umweg über die ATP-Synthese in den Chloroplasten, von der Sonne stammt.

Diese von den Pflanzen synthetisierten Stoffe mit ihrer gespeicherten Energie sind die Grundlage des Energiestoffwechsels der tierischen Organismen, inklusive des aus dem Tierreich stammenden Menschen. Die Pflanzenfresser nutzen die von den Pflanzen zur Verfügung gestellten Stoffe direkt als Nährstoffe. Dabei wird der Synthesevorgang der Pflanzen umgekehrt: die Kohlenstoffketten werden aufgespalten. Die Endprodukte sind wieder CO_2 und Wasser, die an die Umgebung (Luft oder Wasser) abgegeben werden. Dafür müssen tierische Organismen zur Bildung des Wassers jene Menge an O_2 aufnehmen, die zuvor von den Pflanzen abgegeben wurde. Dieser Vorgang, der chemisch eine *Oxydation* ist, läuft in jeder tierischen Zelle in den *Mitochondrien* ab und wird als *Gewebeatmung* bezeichnet. Da die Oxydation nur bei ausreichender Verfügbarkeit von O_2 ablaufen kann, wird sie *aerob* genannt. Die dabei freiwerdende Bindungsenergie wird auch von den tierischen Zellen zur Bildung von ATP verwendet, das dann der eigentliche universelle Energielieferant für alle energieumsetzenden Prozesse ist (darunter auch so exotische wie das Leuchten eines Glühwürmchens). Der menschliche Körper enthält insgesamt ca. 85g ATP, das entspricht einer Energiemenge von maximal 2 kcal, die aber keinesfalls total aufgebraucht werden kann. Ein Mensch, der pro Tag 2500 kcal umsetzt, produziert und verbraucht rund 65 kg ATP.

Das Leben ist unmittelbar von der ausreichenden Verfügbarkeit von ATP abhängig. Dabei wird bei aktiver Muskeltätigkeit nur etwa die Hälfte für die Erbringung der mechanischen Leistung verbraucht. Die andere Hälfte dient der Erhaltung der Zellstrukturen, der Aktivität von Ionenpumpen, und anderen vitalen Lebensvorgängen. Bereits ein Mangel an ATP, das heißt ein Abfall der Konzentration unter 40% des Ruhewertes, würde zum Zusammenbruch dieser Funktionen und damit zum Tod der Zelle führen. Um nun bei raschem Anstieg des Energiebedarfs ein kritisches Absinken des ATP-Gehaltes zu verhindern, gibt es in der Zelle noch einen weiteren Energiespeicher auf der Basis einer energiereichen Phosphatverbindung, das *Kreatinphosphat (KP)*. Der Gehalt an KP in der Zelle beträgt das 3–5-fache des Gehaltes an ATP und repräsentiert damit einen Energievorrat von ca. 8 kcal. Es kann, ebenfalls durch Abspaltung von Phosphorsäure, mit annähernd gleicher Geschwindigkeit Energie freisetzen und ATP resynthetisieren, wie letzteres zu ADP abgebaut wird. Damit wird bei einer raschen Steigerung des Energieumsatzes und damit des ATP-Verbrauchs ein kritischer Abfall verhindert. Nach der Belastung wird dann das KP, unter ATP-Verbrauch, das aber dann aus der Oxydation von Nährstoffen stammt, wiederaufgebaut. Da diese Form der ATP-Resynthese unmittelbar ohne Mitwirkung von Sauerstoff erfolgt, wird sie *anaerob* genannt.

1.3. Energiebereitstellung

Die Quellen der Energie sind die schon erwähnten Nährstoffe, Kohlenhydrate, Fette und Proteine, die, in Umkehrung des die Sonnenenergie nutzenden Assimilationsprozesses in den Pflanzenzellen, mittels der *biologischen Oxydation* wieder zu CO₂ und Wasser abgebaut werden. Für den Bedarf der Energiebereitstellung werden ganz überwiegend Kohlenhydrate und Fette herangezogen. Die Aminosäuren dienen zur Synthese körpereigener Proteine, die das beständig im Strukturstoffwechsel abgebaute Eiweiß ersetzen.

1.3.1. Energiebereitstellung aus Kohlenhydraten

Kohlenhydrate werden in Form von Zucker oder Stärke aufgenommen. Von den Körperzellen kann von allen Zuckerarten nur *Glukose* (Traubenzucker) verarbeitet werden. Daher werden alle anderen Zuckerarten, z.B. Fruktose

oder Sorbit, in der Leber in Glukose umgewandelt. Auf dem Blutweg gelangt die Glukose dann weiter in die Muskelzellen, wo sie entweder direkt zur Energiebereitstellung herangezogen wird oder, mit Hilfe der *Glykogensynthetase* (und ATP), zu *Glykogen* synthetisiert und gespeichert wird. Dabei muss für jedes Molekül Glukose, das an die Glykogenkette angehängt wird, ein ATP für die Bindungsenergie investiert werden. Normalerweise enthält 1 kg Muskel etwa 15 g Glykogen. Zur unmittelbaren Energiebereitstellung werden vom Glykogen wieder die einzelnen Glukosemoleküle abgespalten (*Glykogenolyse*). Dabei wird auf jedes Glukosemolekül, mit Hilfe des Enzyms *Phosphorylase*, eine Phosphatgruppe (vom ATP) übertragen, sodass die Glukose phosphoryliert als Glukose-6-Phosphat vorliegt. Insgesamt ist die Synthese und der Abbau von Glykogen energetisch neutral. Das Glukose-6-Phosphat kann nicht durch die Zellmembran transportiert werden und kann daher die Muskelzelle nicht verlassen. Erst nach Entfernung der Phosphatgruppe könnte die Glukose wieder die Zellmembran passieren. Das Enzym *Phosphatase*, das die Phosphatgruppe entfernen kann, kommt aber in der Muskelzelle nicht vor. Es ist daher nicht möglich, dass die nicht verbrauchten Glykogenvorräte aus der nicht arbeitenden Muskulatur via Kreislauf an die möglicherweise schon unter Glukosemangel leidende arbeitende Muskulatur transferiert werden. Allerdings ist die Phosphatase in den Leberzellen vorhanden. Daher kann die Leber durchaus aus ihren Glykogenvorräten Glukose ins Blut abgeben und so den Blutzuckerspiegel aufrecht erhalten und die Basisversorgung der Gehirn- und Nervenzellen sicherstellen, die für ihren Energiestoffwechsel ausschließlich auf Glukose angewiesen sind. Die Glukose hat unter den Nährstoffen insofern eine Sonderstellung, als sie als einziger der drei Nährstoffe nicht nur durch Oxydation mit O_2 , also aerob, Energie liefern kann, sondern, in einem ersten Schritt, auch ohne Mitwirkung von O_2 , also anaerob.

Glykolyse

Dieser erste Schritt ist die *Glykolyse*. Sie besteht im Prinzip darin, dass das phosphorylierte Glukosemolekül, das auf einer Kette aus 6 Kohlenstoffatomen (C) basiert, in zwei Moleküle mit je 3 C-Atomen gespalten wird. Als Zwischenprodukte fallen dabei *glyzerinähnliche* Substanzen an, als Endprodukt *Pyruvat* (*Brenztraubensäure*). Netto werden bei der Glykolyse 2 Moleküle ATP (aus ADP und Phosphorsäure) pro Molekül Glukose gebildet. Netto deswegen, weil bei der Glykolyse eigentlich 4 Moleküle ATP gebildet, durch