

**Josef Tomasits  
Paul Haber**

# **Leistungsphysiologie**

**Grundlagen für Trainer,  
Physiotherapeuten und Masseure**

**Zweite, neu bearbeitete Auflage**

**SpringerWienNewYork**

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Grundlagen .....</b>  | <b>1</b> |
| 1.1      | Woher beziehen wir Energie? .....  | 1        |
| 1.1.1    | ATP-Menge und Kreatinphosphatgehalt des Menschen.....                          | 3        |
| 1.2      | Welche Energiequellen werden im Muskelstoffwechsel genutzt?.....               | 4        |
| 1.2.1    | Energiebereitstellung aus Glukose .....  | 4        |
| 1.2.2    | Unterschiede der anaeroben und aeroben Energiebereitstellung..                 | 7        |
| 1.2.3    | Energieversorgung mit Kohlenhydraten aus der Nahrung .....                     | 8        |
| 1.2.4    | Energiebereitstellung aus Fetten.....  | 12       |
| 1.2.5    | Vergleich der Kohlenhydrate mit Fett.....                                      | 14       |
| 1.2.6    | Wunschvorstellung „fat burning“ .....  | 15       |
| 1.2.7    | Energiebereitstellung aus Proteinen .....                                      | 15       |
| 1.3      | Was ist Ausdauer? .....  | 19       |
| 1.3.1    | Anaerobe Ausdauer .....  | 19       |
| 1.3.2    | Aerobe Ausdauer.....   | 20       |
| 1.4      | Muskelkraft.....   | 22       |
| 1.4.1    | Maximalkraft, Absolutkraft, Relativkraft .....                                 | 23       |
| 1.4.2    | Bedeutung der Muskelkraft .....  | 24       |
| 1.4.3    | Ziele des Krafttrainings im Sport .....  | 27       |
| 1.4.4    | Wie ist die Muskelzelle aufgebaut? .....                                       | 28       |
| 1.4.5    | Welche Muskelfasertypen gibt es? .....   | 28       |
| 1.4.6    | Wie funktioniert die elektromechanische Koppelung? .....                       | 31       |
| 1.4.7    | Wie arbeitet der Muskel? .....   | 33       |
| 1.4.8    | Was ist eine isometrische Kontraktion?.....                                    | 34       |
| 1.4.9    | Was versteht man unter isotonischer Kontraktion?.....                          | 34       |
| 1.4.10   | Die Unterstützungszuckung .....  | 35       |
| 1.4.11   | Die Anschlagszuckung .....   | 35       |
| 1.4.12   | Was ist eine auxotonische Kontraktion? .....                                   | 35       |
| 1.4.13   | Intramuskuläre Synchronisation .....   | 36       |
| 1.4.14   | Intramuskuläre Koordination.....   | 37       |
| 1.4.15   | Langfristige Anpassungen an das Krafttraining .....                            | 37       |
| 1.4.16   | Welche Auswirkungen hat Krafttraining auf den passiven Bewegungsapparat? ..... | 39       |

|  |    |
|--|----|
| 2 Wie reagiert der Körper auf Belastungen? .....                             | 41 |
| 2.1 Energieumsatz unter Belastung .....                                      | 41 |
| 2.2 Submaximale Belastung .....  | 45 |
| 2.2.1 Verhalten der Sauerstoffaufnahme bei Belastung .....                   | 46 |
| 2.3 Die anaerobe Schwelle.....   | 47 |
| 2.3.1 Produktion und Elimination von Laktat; Nettolaktatproduktion ...       | 48 |
| 2.3.2 Laktatleistungstest, max. Laktat-steady-state MLSS.....                | 48 |
| 2.3.3 Was bedeutet das MLSS und liegt es immer<br>bei 4 mmol/l? .....        | 50 |
| 2.3.4 Was bedeutet eine niedrige ANS?.....                                   | 51 |
| 2.3.5 Was bedeutet eine hohe ANS? .....                                      | 51 |
| 2.4 Maximale Belastung .....   | 52 |
| 2.4.1 Die Kreatinphosphatspaltung .....                                      | 52 |
| 2.4.2 Die Glykolyse .....  | 53 |
| 2.4.3 Die aerobe Leistungsfähigkeit .....                                    | 53 |
| 2.5 Trainingsanpassung des Energiestoffwechsels.....                         | 54 |
| 2.5.1 Die Kreatinphosphatspaltung .....                                      | 55 |
| 2.5.2 Die Glykolyse .....  | 55 |
| 2.5.3 Die oxidative ATP-Resynthese.....                                      | 56 |
| 2.5.4 Kennzahlen von Weltklasseathleten<br>im Ausdauersport.....             | 56 |
| 2.5.5 Zusammenhang zwischen Belastungsdauer und<br>Belastungsintensität..... | 57 |
| 2.5.6 Was passiert bei chronischem Bewegungsmangel? .....                    | 57 |
| 2.6 Blutkreislauf.....   | 58 |
| 2.7 „Blut ist ein besonderer Saft“ .....                                     | 59 |
| 2.7.1 Die Fließeigenschaften des Blutes (Hämo-Rheologie).....                | 60 |
| 2.7.2 Der Sauerstofftransport.....   | 62 |
| 2.7.3 Der Kohlendioxid-Transport.....  | 63 |
| 2.7.4 Die Pufferung .....  | 63 |
| 2.7.5 Trainingsanpassungen des Blutes .....                                  | 64 |
| 2.7.6 Höhenanpassung des Blutes.....   | 64 |
| 2.8 Gefäßsystem .....  | 65 |
| 2.8.1 Reaktion der Blutgefäße auf Muskeltätigkeit .....                      | 65 |
| 2.8.2 Anpassungen des Gefäßsystems auf Ausdauertraining .....                | 66 |
| 2.9 Das Herz.....  | 67 |
| 2.9.1 Reaktion des Herzens auf Muskeltätigkeit .....                         | 67 |
| 2.9.2 Die Herzfrequenz.....  | 68 |
| 2.9.3 Steigerung des Schlagvolumens .....                                    | 70 |
| 2.9.4 Zunahme des Herzminutenvolumens .....                                  | 71 |
| 2.9.5 Steigerung des Koronarkreislaufs.....                                  | 71 |
| 2.9.6 Der Ventilebenenmechanismus.....                                       | 72 |
| 2.9.7 Langfristige Trainingsanpassungen des Herzens .....                    | 72 |
| 2.9.8 Rückbildungen kardialer Anpassungen .....                              | 75 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 2.10   | Lunge .....   | 75  |
| 2.10.1 | Bedeutung der Lunge in der Organkette:<br>Lunge – Herz/Kreislauf – Muskel .....             | 75  |
| 2.10.2 | Die Ventilation.....  | 76  |
| 2.10.3 | Die Diffusion.....  | 78  |
| 2.10.4 | Die Perfusion.....  | 81  |
| 2.10.5 | Die langfristige Anpassung der Lunge an das Ausdauertraining...<br>81                       |     |
| 2.11   | Andere Organe.....  | 82  |
| 2.11.1 | Leber.....  | 83  |
| 2.11.2 | Nebennieren .....   | 83  |
| 3      | Wirkungen des Ausdauertrainings bei Erkrankungen .....                                      | 85  |
| 3.1    | Hypertonie .....  | 85  |
| 3.2    | Fettstoffwechselstörungen .....   | 86  |
| 3.3    | Koronare Herzerkrankung.....  | 86  |
| 3.4    | Insulinresistenz und Diabetes mellitus Typ 2 .....  | 87  |
| 3.5    | Depression .....  | 89  |
| 4      | Leistungsdiagnostik.....  | 91  |
| 4.1    | Begriffserklärung.....  | 91  |
| 4.2    | Anwendungsbeispiele.....  | 92  |
| 4.3    | Was ist Ergometrie? .....   | 96  |
| 4.4    | Die Leistungsfähigkeit .....  | 96  |
| 4.5    | Einflussfaktoren auf ergometrische Messergebnisse .....                                     | 99  |
| 4.5.1  | Temperatur und Luftfeuchte .....  | 99  |
| 4.5.2  | Tageszeit .....   | 99  |
| 4.5.3  | Erholungszustand .....  | 99  |
| 4.5.4  | Ernährungszustand .....   | 99  |
| 4.5.5  | Menstruationszyklus.....  | 99  |
| 4.6    | Verhalten von Messgrößen bei der Ergometrie.....  | 100 |
| 4.6.1  | Die Herzfrequenz.....   | 101 |
| 4.6.2  | Der Blutdruck.....  | 103 |
| 4.6.3  | Arterieller Sauerstoffpartialdruck und<br>Kohlendioxidpartialdruck.....                     | 104 |
| 4.6.4  | Base Excess, Laktat.....  | 104 |
| 4.6.5  | Die Atemgasanalyse.....   | 105 |
| 4.7    | Kraftmessung.....   | 112 |
| 5      | Training und Regeln der medizinischen Trainingslehre .....                                  | 115 |
| 5.1    | Regel Nr. 1: Es muss eine geeignete Sportart ausgewählt werden .....                        | 115 |
| 5.2    | Regel Nr. 2: Quantifizierung des Trainings und die<br>Beachtung von Mindestbelastungen..... | 116 |
| 5.2.1  | Ausbautraining .....  | 116 |
| 5.2.2  | Krafttraining .....   | 118 |
| 5.3    | Regel Nr. 3: Angemessenheit des Trainings.....  | 122 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 5.4       | Regel Nr. 4: Systematische Steigerung der Belastung .....   | 122        |
| 5.4.1     | Systematisches Krafttraining .....  | 126        |
| 5.5       | Regel Nr. 5: Zyklische Gestaltung.....  | 127        |
| 5.6       | Regel Nr. 6: Ganzjährigkeit des Trainings.....  | 128        |
| <b>6</b>  | <b>Trainingsmethoden .....</b>  | <b>129</b> |
| 6.1       | Trainingsmethoden der Ausdauer.....   | 129        |
| 6.1.1     | Aerobe Ausdauer.....  | 129        |
| 6.1.2     | Anaerobe Ausdauer .....   | 132        |
| 6.2       | Trainingsmethoden der Kraft .....   | 135        |
| 6.2.1     | Maximalkraft.....   | 135        |
| 6.2.2     | Kraftausdauer.....  | 137        |
| <b>7</b>  | <b>Ermüdung .....</b>   | <b>139</b> |
| 7.1       | Mögliche Ermüdungsursachen.....   | 139        |
| 7.1.1     | Aufbrauch von Energiereserven .....   | 139        |
| 7.1.2     | Verlust von Wasser und Elektrolyten .....   | 140        |
| 7.1.3     | Belastungen über der anaeroben Schwelle mit<br>fortschreitender Änderungen des inneren Zellmilieus..... | 141        |
| 7.1.4     | Zentrale Ermüdung .....   | 141        |
| 7.1.5     | Modifizierende Faktoren.....  | 141        |
| 7.1.6     | Psychische Folgen der Ermüdung .....  | 142        |
| <b>8</b>  | <b>Übertraining.....</b>  | <b>143</b> |
| 8.1       | Definition.....   | 143        |
| 8.2       | Ursachen .....  | 143        |
| 8.3       | Diagnostik .....  | 144        |
| 8.4       | Therapie .....  | 145        |
| <b>9</b>  | <b>Regeneration .....</b>   | <b>147</b> |
| <b>10</b> | <b>Training nach Verkühlung bzw. Verletzung.....</b>  | <b>149</b> |
| 10.1      | Training nach grippalem Infekt .....  | 149        |
| 10.2      | Training bei und nach Verletzung.....   | 149        |
| <b>11</b> | <b>Muskelkrämpfe.....</b>   | <b>151</b> |
| 11.1      | Ursachen .....  | 151        |
| 11.2      | Vorbeugende Maßnahmen .....   | 151        |
| 11.3      | Therapie .....  | 151        |
| <b>12</b> | <b>Dehnen .....</b>   | <b>153</b> |
| 12.1      | Die Bedeutung des Dehnungsreflexes .....  | 153        |
| 12.2      | Sinn und Unsinn des Dehnens im Sport .....  | 153        |
| 12.3      | Ausführung des Dehnens .....  | 154        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>13 Thermoregulation .....</b>  | <b>155</b> |
| 13.1 Thermoregulation bei Wärme .....                                       | 156        |
| 13.1.1 Drosselung der Wärmeproduktion .....                                 | 156        |
| 13.1.2 Steigerung der Wärmeabgabe .....                                     | 156        |
| 13.2 Hitzeschäden .....   | 160        |
| 13.2.1 Sonnenstich .....  | 160        |
| 13.2.2 Sonnenbrand.....   | 160        |
| 13.2.3 Exkurs: Erste-Hilfe-Maßnahmen bei Verbrennungen .....                | 161        |
| 13.2.4 Hitzeerschöpfung .....   | 162        |
| 13.2.5 Hitzeschlag (Hyperthermie) .....                                     | 163        |
| 13.3 Hitzeakklimatisation .....   | 164        |
| 13.3.1 Exkurs: Schneebblindheit.....  | 164        |
| 13.4 Thermoregulation bei Kälte .....                                       | 165        |
| 13.4.1 Steigerung der Wärmeproduktion.....                                  | 165        |
| 13.4.2 Verminderung der Wärmeabgabe .....                                   | 166        |
| 13.5 Unterkühlung, Hypothermie .....  | 167        |
| 13.5.1 Schweregrade der Unterkühlung.....                                   | 167        |
| 13.6 Lokale Erfrierungen .....  | 169        |
| 13.6.1 Behandlung von Unterkühlung und Erfrierungen.....                    | 170        |
| <b>14 Höhenexposition .....</b>   | <b>173</b> |
| 14.1 Folgen der Höhenexposition .....                                       | 175        |
| 14.1.1 Hyperventilation mit Auswirkungen auf den Säure-Basen-Haushalt ..... | 175        |
| 14.1.2 Auswirkungen auf das Blut .....                                      | 176        |
| 14.1.3 Auswirkungen der Höhenexposition auf die Leistungsfähigkeit... ..    | 176        |
| 14.2 Anpassungen an die Höhe .....  | 177        |
| 14.2.1 Adaptationsphase .....   | 177        |
| 14.2.2 Höhenakklimatisation .....   | 177        |
| 14.3 Lebensgefahren am Berg .....   | 178        |
| 14.3.1 Höhenkrankheit, Lungenödem, Hirnödem .....                           | 179        |
| <b>15 Ernährung .....</b>   | <b>181</b> |
| 15.1 Die 5 Ernährungsbilanzen .....   | 181        |
| 15.1.1 Was ist eine Ernährungsbilanz? .....                                 | 181        |
| 15.1.2 Energiebilanz .....  | 182        |
| 15.1.3 Nährstoffbilanz .....  | 199        |
| 15.1.4 Flüssigkeitsbilanz.....  | 207        |
| 15.1.5 Elektrolytbilanz.....  | 214        |
| 15.1.6 Vitamine- und Spurenelementbilanz.....                               | 217        |
| 15.2 Nährstoffzufuhr während und nach der Belastung .....                   | 218        |
| 15.2.1 Soll man vor und während des Trainings Energie zuführen?....         | 218        |
| 15.2.2 Wann soll man nach dem Training essen und was? .....                 | 219        |
| 15.2.3 Kohlenhydratladen .....  | 219        |

## Inhaltsverzeichnis

---

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| <b>16 Anhang .....</b>              | <b>223</b> |
| 16.1 Verwendete Abkürzungen .....   | 223        |
| 16.2 Formelsammlung .....           | 225        |
| 16.3 Weiterführende Literatur ..... | 226        |
| 16.4 Stichwortverzeichnis .....     | 229        |