

GEORG NEUMANN

# ERNÄHRUNG IM SPORT



MEYER  
& MEYER  
VERLAG

## Ernährung im Sport

Eine Anmerkung zum Sprachgebrauch: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit haben wir uns entschlossen, durchgehend die männliche (neutrale) Anredeform zu benutzen, die selbstverständlich die weibliche mit einschließt.

Georg Neumann

# ERNÄHRUNG IM SPORT

Meyer & Meyer Verlag

## **Ernährung im Sport**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Details sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie das Recht der Übersetzung,  
vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein  
anderes Verfahren – ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung  
elektronischer Systeme verarbeitet, gespeichert, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 1996 by Meyer & Meyer Verlag, Aachen  
7., überarbeitete Auflage 2014  
Auckland, Beirut, Budapest, Cairo, Cape Town, Dubai, Hägendorf,  
Indianapolis, Maidenhead, Singapore, Sydney, Tehran, Wien

 Member of the World Sport Publishers' Association (WSPA)  
ISBN 978-3-8403-1040-9  
[www.dersportverlag.de](http://www.dersportverlag.de)  
E-Mail: [verlag@m-m-sports.com](mailto:verlag@m-m-sports.com)

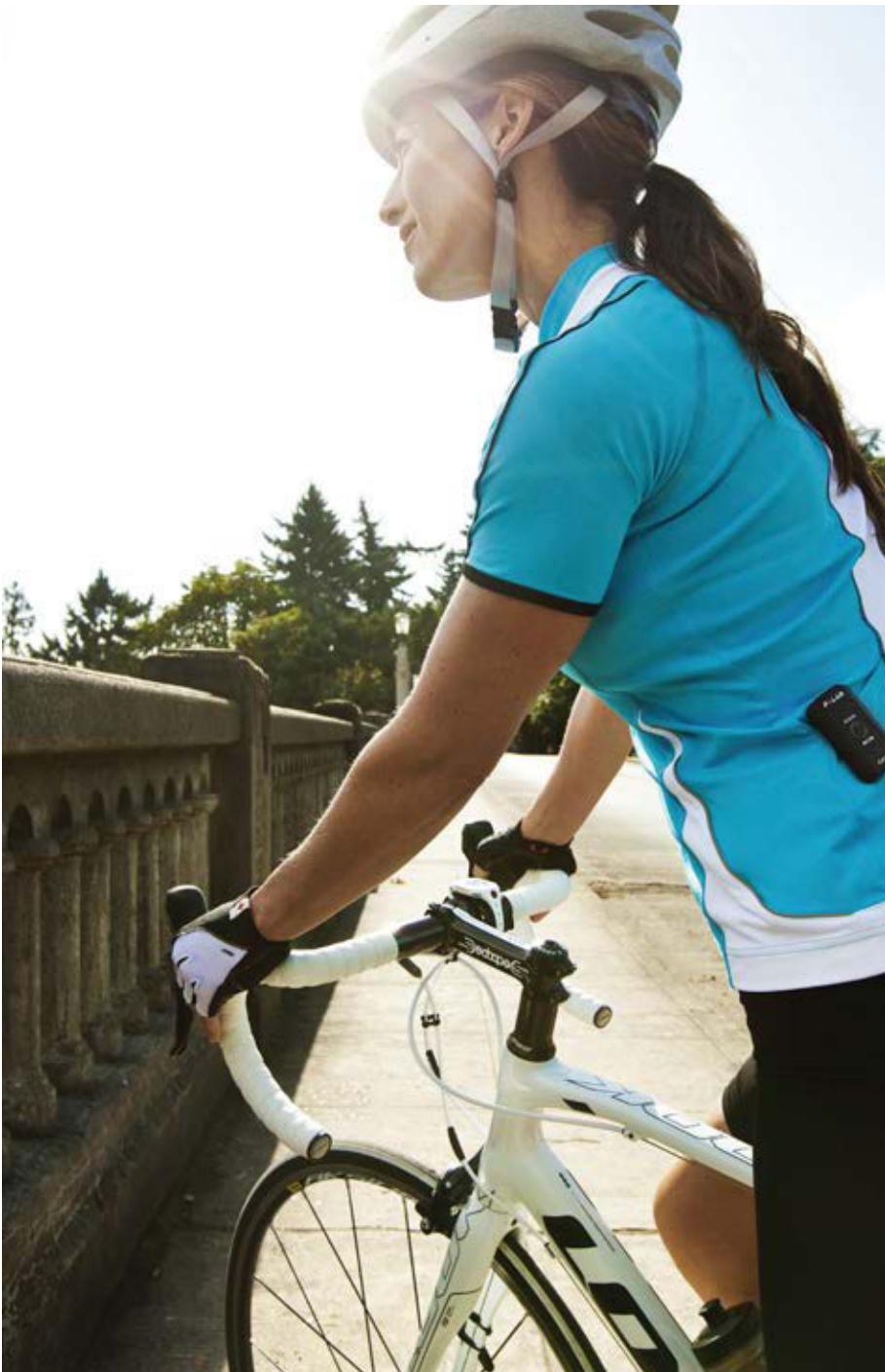
# INHALT

1	Einleitung	12
2	Energiestoffwechsel	20
2.1	Kohlenhydrate	28
2.2	Fette	30
2.3	Proteine	35
3	Ernährungsformen und Energieaufnahme im Sport	40
3.1	Risikogruppen in der Sporternährung	41
3.1.1	Halten niedriger Körpermasse	43
3.1.2	Muskelaufbau (Bodybuilding, Gewichtheben, Kraftsport)	53
3.1.3	Langzeitausdauerleistungsfähigkeit	56
3.1.4	Häufige Massenveränderungen	64
3.2	Ernährungsweisen in Sportartengruppen	66
3.2.1	Fitnesssport	67
3.2.2	Sportartengruppen	71
a)	Ausdauersportarten	71
b)	Schnellkraftsportarten	73
c)	Zweikampfsportarten	75
d)	Sportspielarten	79
e)	Technische Sportarten	81
3.3	Kohlenhydrat- und Proteinaufnahme im Sport	82
3.3.1	Kohlenhydrataufnahme vor Belastungen	83
3.3.2	Kohlenhydrataufnahme während Training und Wettkampf	86
3.3.3	Kohlenhydrataufnahme nach Belastung (Regeneration)	90
3.3.4	Kohlenhydratanteil in Trinklösungen	93
3.3.5	Leistungssteigerung durch Kohlenhydrataufnahme?	96
3.3.6	Proteinaufnahme während Belastungen	98

3.4	Förderung der Regeneration durch Ernährung .....	99
3.4.1	Belastung und Regeneration .....	99
3.4.2	Sportmethodische Maßnahmen zur Verbesserung der Regeneration .....	102
3.4.3	Sportmedizinische Maßnahmen .....	103
3.4.4	Diätetische Maßnahmen .....	104
3.5	Regeneration und Magnetfeldtherapie .....	106
<b>4</b>	<b>Umwelteinflüsse und Ernährung .....</b>	<b>110</b>
4.1	Höhentraining .....	111
4.2	Training bei Kälte .....	115
4.3	Training bei Hitze .....	119
4.3.1	Hitzeakklimatisation und Schweißbildung .....	119
4.3.2	Hitzeschäden .....	122
4.3.3	Übertrinkphänomen bei Belastung .....	124
4.3.4	Wettkampfverhalten bei Hitze .....	126
4.3.5	Bekleidung bei Hitze .....	132
4.4	Klimafaktor Luftverschmutzung .....	134
4.5	Wechsel der Zeitzonen .....	138
<b>5</b>	<b>Flüssigkeitsaufnahme im Sport .....</b>	<b>142</b>
5.1	Flüssigkeitsaufnahme und Leistungsfähigkeit .....	144
5.2	Flüssigkeitsaufnahme bei Hitzebelastungen .....	147
5.3	Flüssigkeitsaufnahme und Temperaturregulation .....	150
5.4	Flüssigkeitsaufnahme in Sportartengruppen .....	152
a)	Ausdauersportarten .....	152
b)	Schnellkraftsportarten .....	154
c)	Kampfsportarten .....	155
d)	Sportspielarten .....	156
e)	Technische Sportarten .....	156

5.5	Flüssigkeitsaufnahme beim Höhentraining .....	158
5.6	Flüssigkeitsaufnahme bei Hitze .....	162
<b>6</b>	<b>Vitamine und Sport</b> .....	<b>168</b>
6.1	Vitamine A, D, E, K .....	173
6.2	Vitamine B1, B2, B6, B12, Biotin, Folsäure, Niacin, Pantothenäsäure, Vitamin C .....	182
<b>7</b>	<b>Mineralien und Sport</b> .....	<b>200</b>
7.1	Natrium, Kalium, Magnesium, Kalzium, Eisen, Zink .....	203
7.2	Spurenelemente: Kupfer, Selen, Chrom, Vanadium, Bor, Jod .....	224
<b>8</b>	<b>Wirkstoffe und Leistungsfähigkeit</b> .....	<b>232</b>
8.1	Aminosäuren .....	235
8.2	L-Carnitin .....	248
8.3	Ubichinon (Coenzym Q <sub>10</sub> ) .....	254
8.4	Taurin .....	255
8.5	Coffein .....	256
8.6	Alkalische Salze .....	262
8.7	Kreatin .....	264
8.8	Glycerol .....	273
8.9	Stoffwechselzwischenprodukte .....	275
8.9.1	Pyruvat .....	276
8.9.2	Hydroxymethylbutyrat (HMB) .....	277
8.10	Mittelkettige Fettsäuren (MCT) .....	278
8.11	Omegafettsäuren .....	279
8.12	Ginseng .....	282

8.13	Ballaststoffe .....	283
8.14	Inosin .....	284
8.15	Carnosin .....	285
8.16	Beta-Alanin .....	286
<b>9</b>	<b>Sekundäre Pflanzenstoffe .....</b>	<b>290</b>
<b>10</b>	<b>Säure-Basen-Haushalt und Leistungsfähigkeit .....</b>	<b>298</b>
<b>11</b>	<b>Unerlaubte Substanzen im Leistungssport (Doping) .....</b>	<b>304</b>
11.1	Geschichte des Dopings .....	304
11.2	Definition des Dopings im Leistungssport .....	307
11.3	Im Wettkampf verbotene Wirkstoffe und Methoden .....	313
11.4	Juristische Aspekte .....	316
<b>12</b>	<b>Außenseiterdiäten .....</b>	<b>322</b>
<b>13</b>	<b>Abweichende Ernährungsformen .....</b>	<b>332</b>
13.1	Vegetarische Ernährungsweisen und Sport .....	332
13.2	Ernährung und Sport bei Diabetes mellitus .....	343
<b>14</b>	<b>Optimales Körpergewicht .....</b>	<b>352</b>
<b>Anhang .....</b>		<b>362</b>
Literatur .....	362	
Abkürzungsverzeichnis .....	386	
Verzeichnis wichtiger Fachbegriffe .....	388	
Sachwortverzeichnis .....	396	
Bildnachweis .....	408	





# KAPITEL 1

# EINLEITUNG



1



Zur Aufrechterhaltung des Lebens ist eine ständige Nahrungsaufnahme notwendig. Noch ernährt sich die Mehrzahl der Menschen im mitteleuropäischen Raum normal. Doch die Zunahme der Übergewichtigkeit, bis in das Kindesalter, stellt ein Signal für die zunehmende **Fehl- und Überernährung** dar.

Die Neigung zum Übergewicht ist wahrscheinlich ein genetisches Relikt aus der Steinzeit. Durch die unsichere Ernährungslage haben nur die Menschen überlebt, welche die Fähigkeit zur Fettspeicherung hatten. Mit Fettdepots konnten Hungerperioden überwunden werden. Der fettspeichernde Genotyp bringt heute Nachteile, weil es keine Nahrungskarenzzeiten mehr gibt und die tägliche Bewegung von vier Stunden außerhalb des Sports entfällt.

Das Übergewicht ist mit zahlreichen gesundheitlichen Risiken behaftet. Zu den bekannten Risiken gehören Blutdruckerhöhung, Herz-Kreislauf-Krankheiten, Diabetes Typ II, Gicht, Fettstoffwechselstörungen u. a. Wenn auf der einen Seite die auffallende Zunahme der Körpermasse bei 30-40 % der erwachsenen Population in Deutschland steht, bahnt sich auf der anderen Seite eine Entwicklung an, die das Gegenteil anstrebt, die Untergewichtigkeit. Das Schönheitsideal von Modellen wurde von den Medien bereits so in das Unterbewusstsein transportiert, dass immer mehr junge Mädchen mit großem

Aufwand versuchen, schlank zu werden. Die Folgen sind die bekannten Essstörungen mit *Magersucht* (Anorexia nervosa) und *Ess-Brechsucht* (Bulimia nervosa). Das Problem ist insofern tragisch, da trotz Klinikbehandlung etwa 5 % der essgestörten Mädchen versterben.

Auch im Sport ist eine neue Form Gewichtsverminderung bekannt geworden (Anorexie athletica). Sportler beiderlei Geschlechts werden in Gewichtsklassensportarten, technisch-akrobatischen Sportarten oder Ausdauersportarten, meist durch ihr Betreuerumfeld, motiviert, ihre Leistungen durch die Massenabnahme zu steigern. Die Konsequenz ist meist eine Leistungsabnahme und das Karriereende.

Nach wie vor wird die Ernährung stark von Glauben, Philosophie, Mythos, Extremvarianten, Trends u. a. Faktoren beeinflusst. Auch die Ernährung im Sport ist nicht frei von diesen Einflüssen. Nachdem die Nützlichkeit der Kohlenhydrataufnahme im Leistungssport durch wissenschaftliche Daten bestärkt wurde, hat dieser Aspekt eine gewisse Eigendynamik entwickelt, bis hin zu industriell hergestellten und zahlreich angebotenen Kohlenhydratprodukten. Erst die Untersuchungen der Ernährung bei mehrtägigen Extrembelastungen (z. B. Mehrfachlangtriathlon, Etappenläufe von über 1.000 Meilen (1.609 km) bis über 5.000 km, Extremradfahrten von 4.000-12.000 km u. a.) und die Auswertung der Erfahrungen der Athleten, führten wieder zur Einsicht, dass zum Standard der menschlichen Ernährung das ausgewogene Verhältnis von Kohlenhydrat-, Protein- und Fettaufnahme gehört. Zumindest sind nur so Dauerleistungen möglich. Diese Extremausdauerathleten verzichteten weitgehend auf Ernährungskonzentrate.

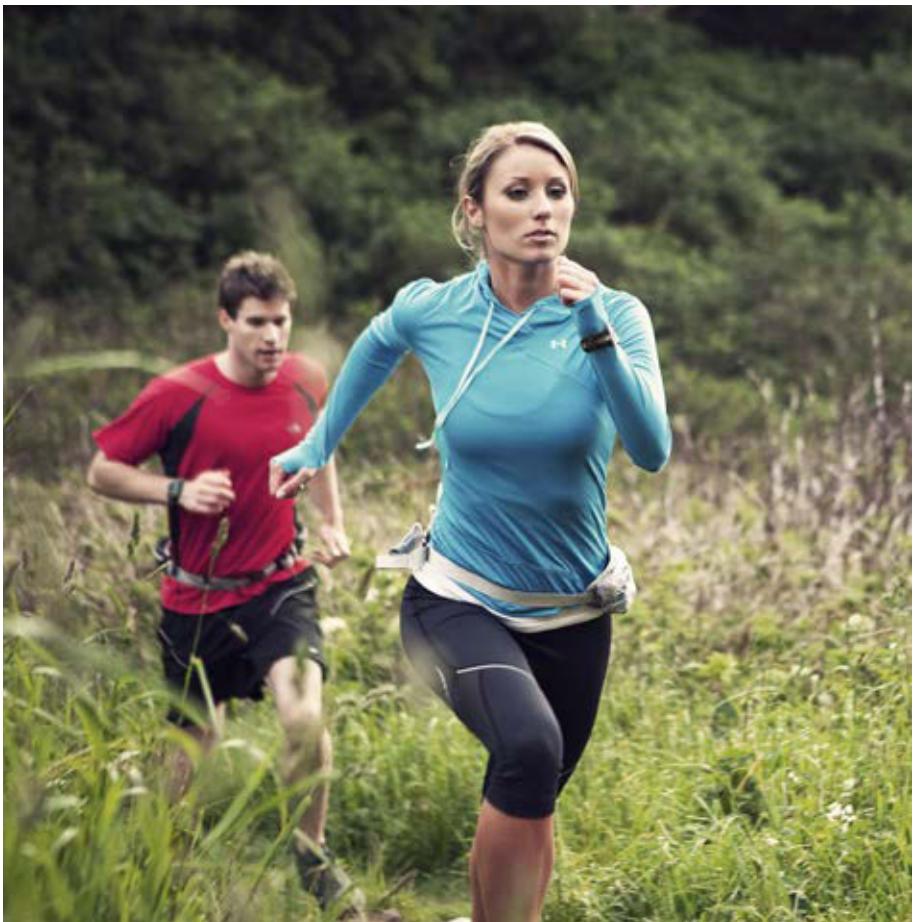
Erstaunlich war bei den Ernährungsanalysen der „Dauerleister“, dass sie eine große Spannbreite in der Verteilung der Grundnahrungsmittel aufwiesen. In der Wettkampfernährung verteilten sich die zugeführten Energieprozentwerte der Kohlenhydrate von 50-80 %. Damit wurde klar, dass die Spannbreiten individueller Ernährung groß sind.

In diesem Zusammenhang ist die Auswertung der Ernährung unserer Vorfahren in der jüngeren Steinzeit, als vor 10.000 Jahren, von Interesse. Durch die Untersuchung von Speiseresten an Lagerfeuern und Vergleichen mit jetzt noch lebenden Urvölkern kamen interessante Befund zu Tage. Der angenommene Proteinmangel bei unseren Altvorfahren war ein Trugschluss, da schlichtweg die Fische als wichtiger Proteinträger vergessen wurden. Ernährungsvergleiche mit Steinzeitmenschen und der heutigen Ernährung der Industrienationen ergaben, dass damals die Proteinaufnahme doppelt so hoch war wie heute und die Kohlenhydratzufuhr aber nur halb so reichlich wie heute ausfiel. Zudem

## Ernährung im Sport

wiesen die Kohlenhydrate damals einen niedrigen glykämischen Index auf, da sie aus Wildfrüchten mit vielen Ballaststoffen bestanden. Der Fettkonsum hat sich, abgesehen von bestimmten regionalen Schwankungen, nicht wesentlich verändert.

Damit ist belegt, dass die Spannbreite in der Ernährung entwicklungsgeschichtlich viel größer war, als so mancher Ernährungsexperte derzeit mit seinen Idealrezepten empfiehlt.



Als entscheidend wurde erkannt, dass die Balance zwischen aufgenommener Energie und Umsatz durch Bewegung eine Schlüsselfunktion für den Gesundheitserhalt einnimmt.

Fast alle Strategien, dem Übergewicht in großen Bevölkerungskreisen mit einer Ernährungsumstellung zu begegnen, waren bislang wenig erfolgreich. Die Varianten für Abmagerungskuren haben meist den Inauguratoren vorübergehend genutzt, nicht aber so sehr

den Betroffenen. Belegt ist für die Massenreduktion, ohne größere körperliche Belastung, dass sich bisher nur zwei Medikamente und der chirurgische Eingriff zur Magenverkleinerung bewährt haben.

Die Ernährung oder Fehlernährung scheint nicht der alleinige Grund für die Gewichtszunahme zu sein. Noch wird die Bewegungsarmut als Mitauslöser der Gewichtszunahme gesellschaftlich unterbewertet. Die allgemeine Unterschätzung der Bewegung in Beruf und Freizeit ist ein bedeutender Schlüssel zur Lösung der Übergewichtsproblematik. Der *Energiemehrverbauch* durch Bewegung, von etwa 2.000 kcal/Woche, ist, wie große epidemiologische Studien wiederholt auswiesen, ein entscheidender Ansatz, das Gewicht zu halten oder eine weitere Gewichtszunahme nach dem 40. Lebensjahr zu stoppen.

Um den Body-Mass-Index (BMI) unter 25 oder den Bauchumfang unter 102 cm bei Männern oder 88 cm bei Frauen zu halten, muss das körperliche Belastungsmaß in der Freizeit bedeutend erhöht werden. Für die Vorbeugung von späteren Gesundheitsstörungen, haben ausdauerorientierte Sportarten eine entscheidende Bedeutung.

Die Ernährung bildet für den Sporttreibenden ein wichtiges Bindeglied zur Sicherung der Belastbarkeit und Regeneration. Hierbei geht es zunehmend um qualitative Aspekte, wie wissenschaftliche Erkenntnisse ausweisen.

Das Wesen der Sporternährung besteht nicht in der Empfehlung von Nährstoffrationen, d. h. wie viel Kohlenhydrate, Proteine und Fette am Gesamtenergiegewinn (Energieprozente) beteiligt sind. Wichtiger ist für das Training die bedarfsgerechte Ernährung und die Sicherung der Wiederbelastbarkeit (Regeneration) bei den vielfältigen Anforderungen in den Sportartengruppen.

Bei den *technisch-akrobatischen Sportarten* (z. B. Turnen, Gymnastik, Ballett) geht es um das Halten einer niedrigen Körper-



## Ernährung im Sport

masse über längere Lebenszeiträume. In den *Kraftsportarten* steht die Zunahme der Muskelmasse im Vordergrund. *Ausdauersportler* benötigen die meiste Energie und zählen bei einem Tagesbedarf von 4.000-6.000 kcal zu den besten Nahrungsverwertern. Zum Abschluss seien die *Kampfsportarten* erwähnt (z. B. Judo, Ringen, Boxen, Taekwondo), die ständig vor dem Wettkampf ihr Gewicht um 2-6 kg vermindern, um in der niedrigeren Gewichtsklasse erfolgreicher zu sein.

Im Leistungssport können nicht die üblichen Rituale in der Nahrungsaufnahme eingehalten werden, da die Probleme der Verdauung nach reichlicher Nahrungsaufnahme das Training stören würden. Bei Rundfahrten im Radsport nehmen die Athleten über 60 % ihres Energiebedarfs auf dem Fahrrad auf. Demnach müssen sich Auswahl und Zubereitung der Lebensmittel verändern.



Um den qualitativen Ansprüchen in der Ernährung besser gerecht zu werden, hat sich ein großer Sektor für die Herstellung von Nahrungsergänzungsmitteln entwickelt. Der Markt für den Vertrieb von Vitaminen, Mineralien und weiteren Wirkstoffen ist riesig. Allein in den USA wird ein Umsatz von über 40 Milliarden Dollar pro Jahr geschätzt. Da Nahrungsergänzungsmittel oder diätetische Lebensmittel nicht dem Arzneimittelgesetz unterliegen, gab es bisher große Freiräume für die Hersteller. Eine Verpflichtung zur exakten Deklaration der Inhaltsstoffe bestand bisher nicht. Neu ist jetzt, dass die Europäische Lebensmittelbehörde in ihrer „Health-Claims-Verordnung“, ab 2013 alle nährwert- und gesundheitsbezogenen Aussagen der angebotenen Nahrungsergänzungsmittel untersagt. Damit erfolgt eine weitere Abgrenzung zu Arzneimitteln und dämmt den Produktwildwuchs ein.

Unseriöse Hersteller vertrieben bisher, meist über das Internet, Nahrungsergänzungsmittel und mischten in diese, nicht im Leistungssport erlaubte Substanzen hinein. Die Häufung von Dopingfällen zu Beginn des Jahres 2000, die auf der Einnahme von Prohormonen (z. B. Nandrolon) beruhten, war Ausdruck dieser Entwicklung. In der Endkonsequenz wurde der Athleten bestraft. Nach gegenwärtiger Rechtslage trägt der im Leistungssport trainierende Athlet selbst die Verantwortung für die gekauften und aufgenommenen Supplemente. Entsprechende Warnungen sind in den Sportverbänden ausgesprochen worden. Für die Freizeitsportler gilt diese Reglementierung derzeit noch nicht, obgleich hier eine große Grauzone besteht.

Das Anliegen dieses Ernährungsbuches in nun aktualisierter 7. Auflage besteht darin, auf wesentliche und für den Sportler nützliche Tipps bezüglich der Ernährung beim Training und Wettkampf aufmerksam zu machen. Die Praxisempfehlungen zur Ernährung im Sport erfolgen weitgehend auf der Grundlage verfügbarer wissenschaftlicher Daten und eigener Erfahrungen.

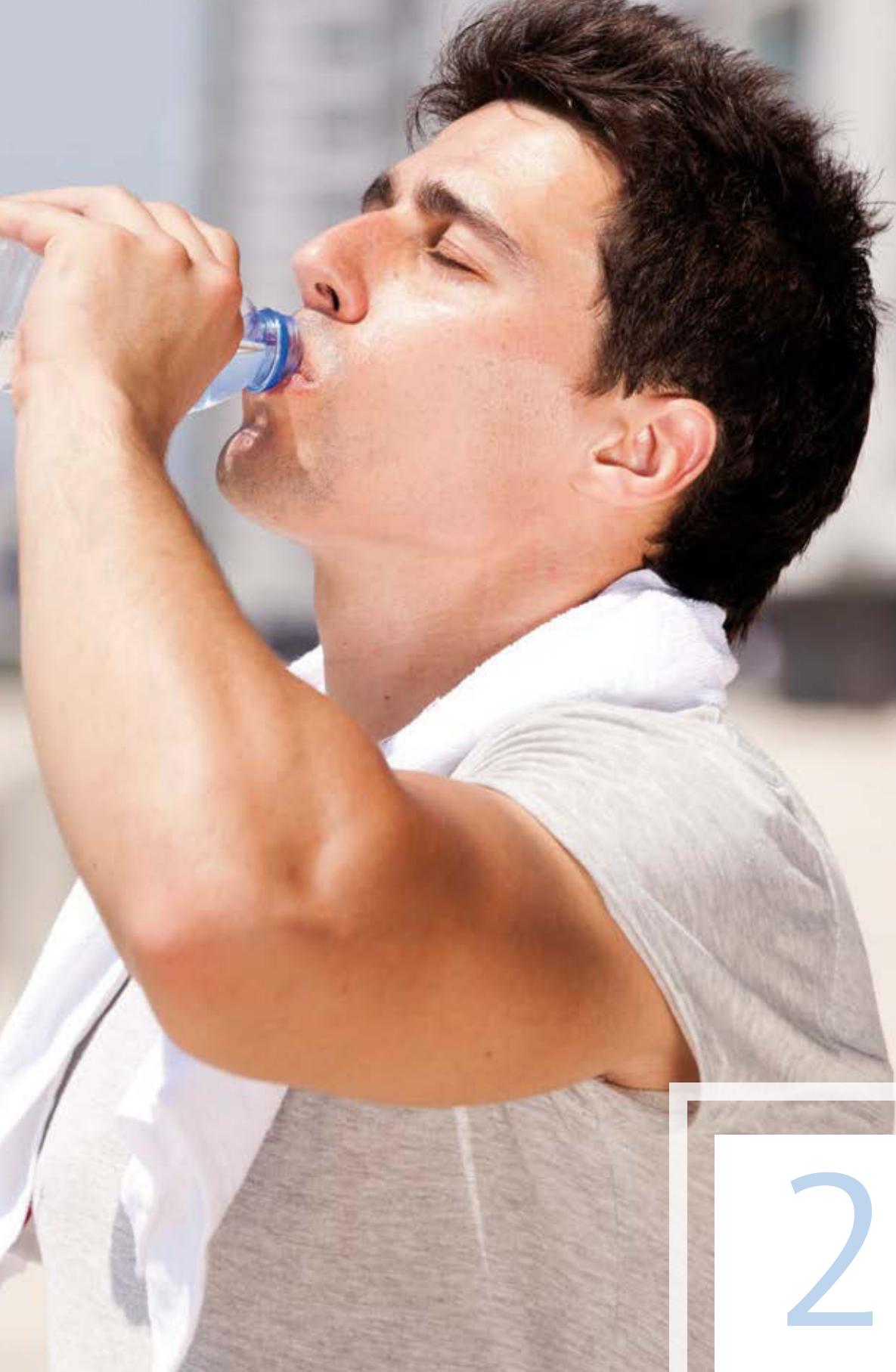
Unbestritten gibt es Vitamine, Mineralien sowie weitere Wirkstoffe, mit denen ein Sportler aufgrund des Schweißverlustes, des höheren Energieumsatzes oder der Zerstörung muskulärer Strukturen, unversorgt ist. Ihn darauf aufmerksam zu machen, ist Anliegen dieser Schrift. Die Zunahme der Wissensbestände zur Ernährung gab den Anlass, neue Erkenntnisse zur Ernährung im Sport einzuarbeiten. Neben dem Training ist die sportgerechte Ernährung eine Hauptsäule zum Erreichen persönlicher Leistungsziele.



A blurred background image of a person's hand holding a clear plastic water bottle. The bottle is positioned on the right side of the frame, with the person's fingers visible at the top. The background is a soft-focus indoor setting.

## KAPITEL 2

# ENERGIE- STOFFWECHSEL



2

### ENERGIESTOFFWECHSEL

Die muskuläre Leistungsfähigkeit hängt bei längeren körperlichen oder sportlichen Belastungen von einer ständigen Energieversorgung ab. Um im Bedarfsfall sofort reagieren zu können, hat jede Muskulatur eigene Energiereserven, die Energiespeicher (Tab. 1/2).

#### ENERGIESPEICHER

Der Energiegewinn aus Adenosintriphosphat (ATP) und Kreatinphosphat (CP) ist für Kurzzeitbelastungen unerheblich. Die ATP-Speicher sind so klein, dass sie nur für wenige Muskelkontraktionen oder 1-2 s Belastung alleine reichen. Mit dem CP-Speicher sind maximale Schnellleistungen bis etwa 6-8 s Dauer möglich. Der Abruf der Energiespeicher erfolgt bei Belastungsbeginn übergreifend parallel, in einer bestimmten zeitlichen Folge.

Tab. 1/2: Verfügbare Energiesubstrate und Energieproduktionsrate (70 kg Körpergewicht und 28 kg Muskelmasse). Nach HULTMAN & GRENHAFF (2000)

Energiespeicher und Abbau	Verfügbare Energiemenge (mol)	Energiebildungsrate (mol/min)
ATP, PCr → ADP, Cr	0,67	4,40
Muskelglykogen → Laktat	6,70* (~ 1,6)	2,35
Muskelglykogen → CO <sub>2</sub>	84	0,85-1,14
Leberglykogen → CO <sub>2</sub>	19	0,37
Fettsäuren → CO <sub>2</sub>	4.000*	0,40

\* Diese Stoffwechselwege sind während sportlicher Belastung nicht voll nutzbar.

Tab. 2/2: Nutzbare Energiespeicher bei Dauerbelastungen

Energiespeicher	Speichergröße (g)	Theoretischer Energiegewinn (kcal)
Glykogen (Muskel)	400	1.620
Glykogen (Leber)	120	492
Triglyceride (TG) im Muskel	200-300	1.860-2.790
TG im Unterhaut- und Organfett	8.000	74.400

Zuerst wird der Abbau der energiereichen Phosphatspeicher (ATP, CP) gestartet und dann beginnt sofort der Glykogenabbau. Ist die Belastung intensiv, dann muss das Glykogen anaerob, d. h. mit Laktatbildung verbunden, abgebaut werden. Bei moderaten Dauerbelastungen kommt keine Laktatbildung zu Stande, d. h. keine Glykolyse. Das Glykogen wird hierbei aerob abgebaut.

Da die muskulären Energiespeicher begrenzt sind, wird die Energiezufuhr bei längeren Belastungen von Substraten gestützt, die außerhalb der Muskulatur liegen und über das Blut antransportiert werden (Tab. 2/2). Dazu zählen das *Glykogen* in der Leber und dann die *freien Fettsäuren* aus dem Unterhautfettgewebe oder den Fettspeichern in den Körperorganen. Zudem hat die Muskulatur ihren eigenen Fettspeicher, die Triglyceride (Neutralfette). Die Aufgabe des Leberglykogens besteht darin, den Blutzuckerspiegel (Blutglukose) ständig auf einem Niveau von 4-5 mmol/l (72-90 mg/dl) zu halten. Ist das

bei längeren Belastungen nicht möglich, weil die Reserven aufgebraucht sind, dann kann es zur Unterzuckerung (Hypoglykämie) kommen. Die direkt im Blut umlaufende Menge an Glukose ist mit 5-7 g gering. Umgangssprachlich wird eine Hypoglykämie als „Hungerast“ bezeichnet, besonders im StraßenradSPORT. Die ständige Aufrechterhaltung der Blutglukosekonzentration in einem Normbereich ist deshalb so wichtig, weil Gehirn und Kleinhirn für ihre Funktion auf die Glukoseversorgung angewiesen sind.



### WIRKUNGSGRAD

Der Quotient aus Arbeit und Energieverbrauch wird als **Wirkungsgrad** (Eta) bezeichnet. Für den Wirkungsgrad bei der Muskelarbeit gibt es zahlreiche Definitionen und Berechnungsverfahren (LUHTANEN et al., 1987). Der bei der Fahrrad-Ergometrie gebräuchliche Begriff des *Wirkungsgrads* lässt sich nicht direkt auf das Laufen übertragen. Beim Laufen ist keine direkte Leistung erfassbar, sondern nur die Laufgeschwindigkeit. Um trotzdem eine veränderte Laufökonomie zu kennzeichnen, wurde der Begriff *Wirkungsindex* vorge-

schlagen (CAVANAGH & KRAM, 1985; SIMON, 1998). Eine andere praktische Lösung schlägt DI PRAMPERO (1986) vor, der die Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) einfach zur Laufgeschwindigkeit (v) in Beziehung setzt und als *Energieverbrauchsmaß* kennzeichnet.

Demnach ist das *Energieverbrauchsmaß* der Quotient aus Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) und Laufgeschwindigkeit (km/h). Als Maßeinheit des Quotienten würde das  $VO_2$  ml min $^{-1}$  km $^{-1}$  h ergeben.

Die Zunahme des Wirkungsgrads einer Muskelarbeit äußert sich im höheren kalorischen Äquivalent, d. h., bei einer vergleichbaren submaximalen Leistung nimmt der Energieaufwand ab. Auf sportliche Belastungen übertragen, bedeutet das die Abnahme der Sauerstoffaufnahme bei submaximaler Leistung. Die Zunahme des Wirkungsgrads ist nicht nur an der Sauerstoffabnahme und am niedrigeren respiratorischen Quotienten (RQ) zu erkennen, sondern auch am veränderten Regulationsverhalten von Atmung, Herz-Kreislauf-System und Stoffwechsel.

Die dem Muskel angebotene Energie über die Energieträger Glukose und freie Fettsäuren (FFS) kann nur zu 18-23 % in mechanische Arbeit umgesetzt werden. Demnach wird der größere Teil (77-88 %) als Wärme frei. Die Wärmefreisetzung wird beim Sport als Schwitzen wahrgenommen. Durch Ausdauertraining verbessert sich der Wirkungsgrad der Muskelarbeit, er kann nach mehrjährigem Leistungstraining im Radsport von 19 % bis auf 23 % ansteigen (Abb. 1/2).

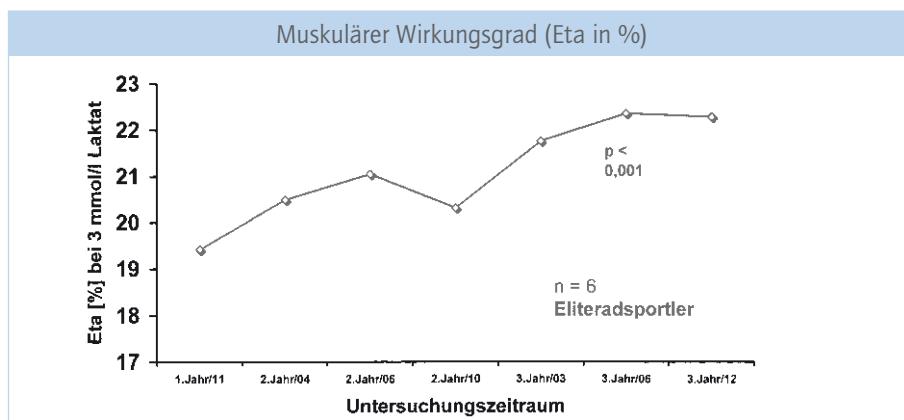


Abb. 1/2: Veränderung des muskulären Wirkungsgrads (Eta  $\eta$ ) bei Eliteradsportlern über drei Trainingsjahre. Im Untersuchungszeitraum kam es zur Verbesserung des Wirkungsgrads von 19 % auf 22 %. Eigene Daten.

Der Wirkungsgrad der Muskelarbeit verbessert sich bevorzugt beim sportartspezifischen Training, welches mit Widerstand (Kraft) ausgeführt wird. Bei unspezifischem Training oder häufigem Sportartenwechsel verändert sich der Wirkungsgrad kaum. Der muskuläre Wirkungsgrad eines Sportlers ist stets höher als der eines Untrainierten bei vergleichbarer Belastung. Die Verbesserung des Wirkungsgrades lässt sich bei Leistungsradsportlern an der Abnahme der Sauerstoffaufnahme auf submaximalen Belastungsstufen erkennen (Abb. 2/2).

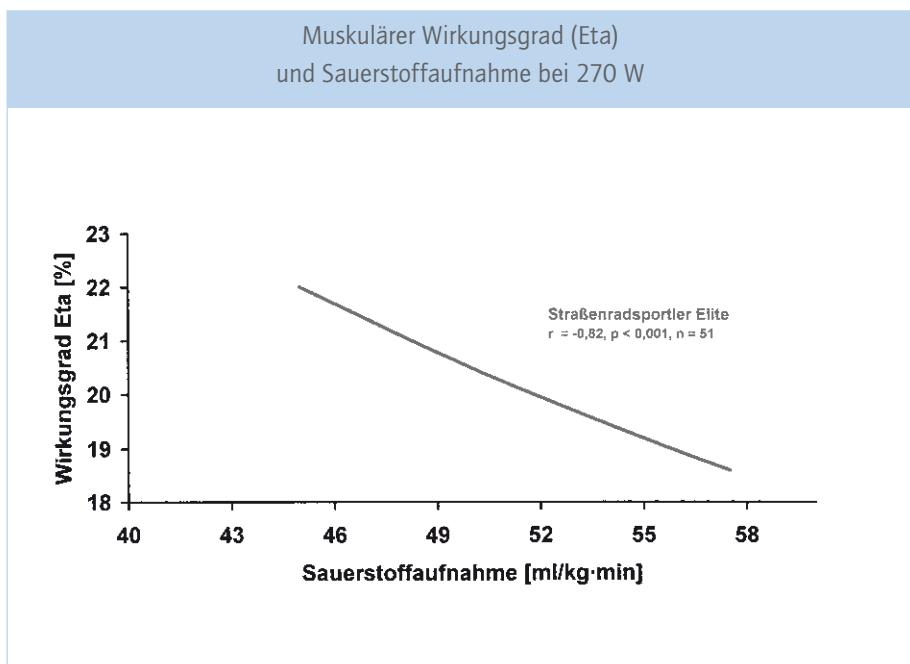


Abb. 2/2: Beziehung zwischen Wirkungsgrad ( $\eta$ ) und Sauerstoffaufnahme bei Eliteradsportlern. Mit der Verbesserung des Wirkungsgrads nimmt die Sauerstoffaufnahme bei 270 W Ergometerleistung ab. Eigene Daten

Der Wirkungsgrad berechnet sich:

$$\text{Wirkungsgrad } \eta \text{ (Eta)} = \frac{\text{Fahrradleistung (W)} \times 60}{\text{VO}_2 \times \text{kalorisches Äquivalent (kJ)}}$$

Tab. 3/2: Beispiel für Wirkungsgradberechnung bei Ergometrie

Bei einer Ergometerleistung von 280 W/min werden bei einem kalorischen Äquivalent von 0,95 genau 3,83 l Sauerstoff aufgenommen. Das entspricht einem Energieverbrauch von 80,24 kJ (19,2 kcal).

280 W = 280 J/s entsprechen in 60 s (1 min) = 16.800 J (16,8 kJ).

Wirkungsgrad ( $\eta$ ) ist dann:  $16,8 : 80,24 \times 100\% = 20,94\%$

## ENERGETISCHE SICHERUNG DER MUSKELARBEIT

Bei der Muskelkontraktion wird das energiereiche ATP in die energieärmere Phosphatverbindung *Adenosindiphosphat* (ADP) abgebaut. Die dabei frei werdende Energie wird für die Muskelarbeit genutzt. Für den Wiederaufbau (Resynthese) des ADP zu ATP stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Bei den für die Resynthese vorhandenen Substraten handelt es sich um: Kreatinphosphat, Glukose, freie Fettsäuren und einige Aminosäuren, die zu Glukose umgewandelt werden können.

Dauer und Intensität (Geschwindigkeit) der Muskelbelastung bestimmen, welche von den Substraten zur ATP-Resynthese genutzt werden (Abb. 3/2).

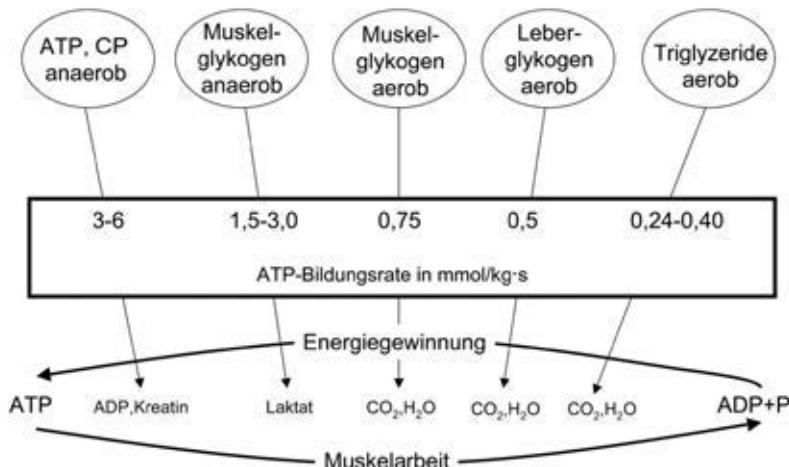


Abb. 3/2: Energiegewinn aus den verfügbaren Substraten. Die ATP-Bildungsraten für die Muskelarbeit erfolgen aus den verfügbaren Substraten unterschiedlich schnell. Sie sind aus ATP und Kreatinphosphat am höchsten und aus Fettsäuren am niedrigsten. Die Resynthese aus ADP und anorganischem Phosphat (Pi) zu ATP erfolgt unter anaeroben Bedingungen am schnellsten (höchste ATP-Bildungsrate). ATP-Bildungsraten modifiziert nach: Greenhaff, Hultman & Harris (2004).



Für die schnelle ATP-Resynthese eignet sich bei längeren Intensivbelastungen nur das Muskelglykogen, welches über die Glykolyse abgebaut wird.

Der Energiegewinn kann mit und ohne muskuläre Sauerstoffversorgung erfolgen, d. h. aerob und anaerob. Ohne ausreichende Sauerstoffversorgung kann die Muskelarbeit nur für wenige Sekunden mit Hilfe der energiereichen Phosphate ausgeführt werden. Stabile Ausdauerleistungen sind ohne kontinuierliche Sauerstoffversorgung nicht möglich. Mit Beginn der Muskelarbeit steigt der Sauerstoffbedarf stark an. Zum Ausgleich des Sauerstoffdefizits wird die Energie aus dem Kreatinphosphat (CP)-Speicher und über die Glykolyse (anaerober Glykogenabbau) gewonnen. Aus dem CP-Abbau kann die Muskulatur nur für 6-8 s intensiv belastet werden. Sinkt der CP-Speicher auf 50 %, dann erfolgt die weitere Energiegewinnung zur ATP-Resynthese aus dem anaeroben Glykogenabbau in Muskulatur und Leber (Glykolyse).

Die belastungsadäquate maximale Sauerstoffversorgung des Muskels ist erst nach einer Verzögerung von 30-90 s möglich. In der Sportpraxis wird diese Verzögerung durch die *Vorstarterwärmung* ausgeglichen. Durch die Vorbelastung wird der aerobe Stoffwechsel auf seinen Betriebszustand gebracht und um das Mehrfache seiner Kapazität in Ruhe gesteigert. Wird z. B. schneller als mit 75 % der individuellen maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2\text{max}}$ ) gelaufen, dann atmet der Sportler über 100 l/min Luft und unterlässt das Sprechen bei der Belastung.

Die Energiebildung in der Zeiteinheit entscheidet, welches Substrat genutzt werden kann (s. Abb. 3/2). Aus Abb. 3/2 ist zu entnehmen, dass in einer Minute etwa 10 x mehr

Energie aus der Verbrennung der Glukose (4,4 mmol/min) als aus Fettsäuren (0,4 mmol/min) zu gewinnen ist. Die Fettsäuren liefern in der Zeiteinheit die wenigste Energie, sie sind aber das unentbehrliche Substrat für die muskuläre Dauerbelastung, weil ihre Menge praktisch nicht erschöpfbar ist (Abb. 4/2). Bei langen Extrembelastungen werden bis zu 70 % der Energie aus der Fettverbrennung gewonnen. Die Fettverbrennung benötigt aber im Vergleich zur Kohlenhydratverbrennung 10 % mehr Sauerstoff. Dieser Umstand hat im Höhentraining Bedeutung (s. Kap. 4.1).

Die Fettreserven lassen sich bei Dauerbelastungen nicht erschöpfen, weil der Sportler zuvor aus anderen Gründen muskulär ermüdet oder pausiert. Beobachtungen bei wiederholten Laufextrembelastungen ergaben, dass über 41 Tage 120,9 km/Tag gelaufen werden können. Das würde einem täglichen Fettabbau von etwa 1 kg entsprechen. Mit der Nahrung werden aber 250-300 g Fette pro Tag wieder aufgenommen. Die Fettreserven der Sportler bewegen sich, je nach Sportart, zwischen 6-20 kg. Die durchschnittlichen Fettreserven der Ausdauerathleten betragen bei 70 kg Körpermasse etwa 8 kg.

Der Fettabbau kann nur erfolgen, wenn ein bestimmter Kohlenhydratanteil zu Verfügung steht. Da bei Extrembelastungen die Glykogenspeicher erschöpft sind, besteht die Alternative in einer ständigen Nahrungsaufnahme bei der Belastung und im Abbau körpereigener Proteine zu Glukose.

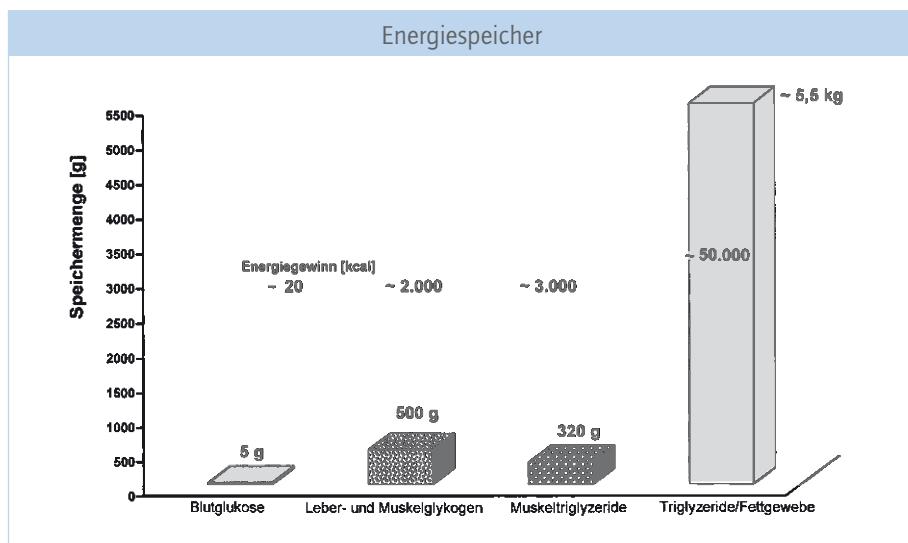


Abb. 4/2: Größe der Energiespeicher und der mögliche Energiegewinn (kcal)

## 2.1 KOHLENHYDRATE

Für die intensive Muskelarbeit bis zwei Stunden Dauer ist das Glykogen das maßgebliche energieliefernde Substrat. Wenn die Glykogenspeicher nach 90 min Wettkampfbelastung oder 120 min Trainingsbelastung weit gehend erschöpft sind, muss der Kohlenhydratbedarf durch Kohlenhydrataufnahme (30-60 g/h) während der weiteren Belastung ersetzt werden. Würde keine Kohlenhydrataufnahme erfolgen, dann käme es in kurzer Zeit zum Zusammenbruch des Energiestoffwechsels bei der ausgeführten Geschwindigkeit (Leistung).

Die Mitochondrien können nur die Glukose direkt verwerten. Alle Zuckerformen und auch das Glykogen, müssen vor der Verbrennung in den Mitochondrien („Energiefabriken des Muskels“) zu Glukose umgebaut werden. Der Abbau der Glukose ist unter aeroben Bedingungen effektiver als unter anaeroben. Aus dem Abbau des Glykogens kann unter aeroben Stoffwechselbedingungen (ohne Laktatbildung) 10 x mehr Energie gebildet werden als aus dem anaeroben Abbau (31 mol ATP zu 3 mol ATP). Allerdings ist beim anaeroben Glykogenabbau (Glykolyse) die ATP-Resynthese pro Zeiteinheit doppelt so schnell wie aus dem aeroben Glykogenabbau. Beim aeroben Glukoseabbau sind längere Belastungen mit hoher Geschwindigkeit oder Leistung als beim anaeroben Abbau möglich.

Erfahrene Sportler wissen, dass anaerob-aerobe Belastungen (> Laktat 4 mmol/l) die Glykogenspeicher schneller erschöpfen als die aeroben (< Laktat 2 mmol/l). Deshalb wird in der Trainingsmethodik zwischen Belastungen ohne Laktatbildung (GA I-Training) und Belastungen mit Laktatbildung (GA II-Training) genau differenziert und proportioniert.

Ein über längere Zeit durchgeführtes Ausdauertraining erhöht die Glykogenspeicher. Wenn bei Untrainierten die Muskelglykogenspeicher etwa 250 g betragen, können sie bei Ausdauertrainierten auf etwa 400 g ansteigen. Im Zustand der *Superkompensation* (Belastungsreduzierung und Kohlenhydratmast) können die Glykogenspeicher bis auf ~ 600 g ansteigen. Auch das Leberglykogen nimmt von 80 g bei Untrainierten auf 120 g bei Trainierten zu. Demnach können im Idealfall beide Speicher bei Trainierten eine Energie von ~ 2.000 kcal liefern (**Abb. 4/2**).

Allein mit diesen beiden Glykogenspeichern wären intensive Belastungen ohne Nahrungsaufnahme von 90-120 min möglich. Bei längeren Belastungen müssen, wie bereits erwähnt, Kohlenhydrate aufgenommen werden. Der Kohlenhydratstoffwechsel wird maßgeblich vom Hormon Insulin gesteuert. Insulin sorgt in Ruhe und teilweise bei Belastung dafür, dass die Glukose in die Muskelzelle gelangt.



Das Insulin steigert die Glykogenbildung, weil es ein sehr wirksames anaboles Hormon ist. Auch die Aminosäurenaufnahme in die Muskulatur wird durch Insulin gesteigert und damit die Zunahme der Proteinbiosynthese. Befinden sich Fettsäuren im Überschuss in der Ernährung, dann werden diese mit Hilfe des Insulins ins Fettgewebe befördert und gespeichert. Auch in der Leber steigert das Insulin die Bildung von Triglyceriden, Cholesterin und Lipoproteinen sehr niedriger Dichte (VLDL). Insulin hemmt die Freisetzung von FFS aus dem Fettgewebe und fördert die Glukoseaufnahme in die Fettzelle.