

## Fettstoffwechsel, Gewichtsreduktion und körperliche Aktivität

Tegtbur U

Sportmedizinisches Zentrum, Medizinische Hochschule Hannover und Agnes-Karll-Krankenhaus Laatzen

### Zusammenfassung

**Fragestellung:** Maßnahmen zur Reduktion des Körpergewichts sollten neben diätetischen Maßnahmen grundsätzlich körperliche Trainingsprogramme umfassen. Diäten allein führen zu einer Reduzierung von Körperfett und Muskelmasse in etwa gleichen Anteilen. Es wird dabei ferner der Grundumsatz abgeregelt, so daß eine unverändert geringe Energieaufnahme zur Stagnation der Gewichtsreduktion führt, eine weniger konsequente Diät sogar zur Gewichtszunahme. Dagegen wird durch hinreichend intensives Training in Kombination mit einer Diät eine Gewichtsreduktion erzielt, die ausschließlich durch die Reduktion der Körperfettmasse erreicht wird. Die Muskelmasse dagegen wird sogar aufgebaut. Es erhöht sich in der Folge der Grund-, Ruhe- und Arbeitsumsatz, was eine weitere Gewichtsreduktion erleichtert und der Gewichtszunahme nach Ende der Diät entgegenwirkt.

In der vorliegenden Arbeit wird dargestellt, welche Intensitäten, Trainingsumfänge und Sportarten zur Verbesserung des Fettstoffwechsels und zur Gewichtsreduktion geeignet sind. Die Trainingssteuerung mittels Herzfrequenz- und Blutlaktatverhalten innerhalb der Programme wird untersucht.

**Effekte von körperlicher Aktivität:** Körperliches Training führt direkt zu einer Gewichtsreduktion über den erhöhten Energieumsatz. Wichtiger sind aber die Langzeiteffekte von regelmäßigem und umfangreichem Training auf den Fettstoffwechsel: Die Adipozyten der Fettdepots setzen vermehrt freie Fettsäuren frei. Die Aufnahme von freien Fettsäuren in die Muskelzellen ist erhöht. Dabei steigt die Energiegewinnung aus freien Fettsäuren und auch intramuskulären Lipidspeichern an. Daher haben ausdauertrainierte im Vergleich zu untrainierten Personen bei gleicher absoluter Belastung eine höhere Fettoxidationsrate und können so Muskelglykogenreserven sparen.

**Trainingsintensität:** Bei untrainierten Personen wird der höchste Umsatz an freien Fettsäuren bei 45-50%  $VO_{2max}$  erreicht. Mit verbessertem Trainingszustand steigt dieser Wert auf 60-70% der  $VO_{2max}$  an. Für Untrainierte wie auch für Trainierte gilt, dass der Bereich des größten Fettstoffwechselumsatzes bei einer Intensität 0-10% unterhalb der individuellen Ausdauerleistungsgrenze liegt.

**Trainingsdauer:** Mit zunehmender Dauer der Trainingseinheit nimmt der Fettstoffwechsel und damit der Umsatz an freien Fettsäuren pro Zeiteinheit linear zu. Eine zeitliche Schwelle für die optimale Trainingsdauer besteht nicht. Je länger die Trainingseinheit dauert, umso größer sind folglich die Effekte für die Fettverbrennung.

**Sportarten:** Es eignen sich primär Sportarten, bei denen relativ große Muskelmassen dynamisch eingesetzt werden. Trainingsempfehlungen sind aus den o.g. Werten der fahradergometrischen Belastungen nur bedingt für andere Sportarten abzuleiten. Für z.B. das Lauftraining liegen Herzfrequenz und Intensität etwa 10 S/min bzw. 10% höher. Krafttraining hat allenfalls geringe Effekte und sollte nur als Ergänzung zum Ausdauertraining eingesetzt werden.

**Fazit:** Zur Fettverbrennung und für die bestmögliche Anpassung des Fettstoffwechsels gilt insgesamt:

1. Trainingsintensität: Trainierte ca. 65% der Maximalleistung bzw. ca. 75% des maximalen Herzfrequenzanstiegs  
Untrainierte ca. 45% der Maximalleistung bzw. ca. 60% des maximalen Herzfrequenzanstiegs
2. Trainingsdauer: Trainierte 90 bis 120 Minuten  
Untrainierte 45 bis 90 Minuten
3. Sportarten: Die oben genannten Leistungswerte gelten für Fahrradbelastungen, die Herzfrequenzen können mit Einschränkung auch auf andere Sportarten übertragen werden.

Alternativ kommen in Frage: Laufen, Rudern, Gehen mit Steigung bzw. Walking.

**Schlüsselwörter:** Fettstoffwechsel, Energieumsatz, Training, Gewichtsreduktion

### Allgemein

Für körperliches Training zur Gewichtsreduktion und zur Verbesserung des Fettstoffwechsels werden niedrig dosierte Intensitäten empfohlen. Besonders im Fitnessbereich werden oft allgemeine Formeln zum sog. „Fatburning“ angewandt wie z.B.: Die Blutlaktatkonzentration soll nicht über Ruhe-Werte ansteigen; lokales Krafttraining zum Fettverbrennen in „Problemzonen“; oder Belastungen mit einer Herzfrequenz nicht über 130 S/min. Hintergrund dieser „Formeln“ ist, dass der Gewichtsverlust überwiegend über die Verbrennung von Fetten mit nur geringer Verbrennung der Kohlenhydrate erreicht werden soll. Der für die Gewichtsreduktion entscheidende absolute Energieverbrauch wird dabei nicht berücksichtigt. Auf der Basis eigener und neuer wissenschaftlicher Untersuchungen soll die Gültigkeit für die im Sport weit verbreiteten

Empfehlungen überprüft und ggf. die Empfehlungen für individuell optimale Trainingsprogramme zur Gewichtsreduktion und Verbesserung des Fettstoffwechsels aktualisiert werden.

Maßnahmen zur gezielten Reduktion des Körpergewichts und des Körperfettanteils sollen neben der Beeinflussung des Ernährungsverhaltens grundsätzlich ein körperliches Trainingsprogramm umfassen. Körperliches Training ohne diätetische Modifikation führt nur dann zur Gewichtsreduktion, wenn die Trainingsumfänge und -intensitäten wie z.B. in der Vorbereitung für einen Marathon oder für ein Radrennen sehr, sehr hoch sind. Bei einer Diät ohne Training wird die Gewichtsreduktion durch den Abbau von Körperfett und durch den unerwünschten Abbau von Skelettmuskulatur erreicht. In der Folge führt die Reduktion der Körpermuskelmasse zu verringerten Grund-, Ruhe- und Arbeitsumsätzen. Bei Wiederaufnahme der üblichen Ernährung tritt daher eine durch die negative Energieumsatzdifferenz bedingte verstärkte Gewichtszunahme ein (Jojo-Effekt). Wiederholte Diäten beschleunigen dabei den fortschreitenden, durch Bewegungsmangel induzierten Abbau der Muskelmasse und führen in der Folge zu einer erheblichen Reduktion der Leistungsfähigkeit, zur zunehmenden Verfettung des Organismus und zum stetigen Anstieg des Körpergewichts.

### Fettstoffwechsel bei Belastung

Im Ausdauertraining mit Belastungsdauern von über 1 Stunde muß ATP für die muskuläre Arbeit ausschließlich aerob bereitgestellt werden. Die Speicher an Blutglucose, Leber- und Muskelglykogen reichen als Energiequelle für anhaltende Belastungen nicht aus. Daher ist Fett als Energiequelle für Ausdauerbelastungen essentiell. Die Fettreserven in Adipozyten und in Muskelzellen sind mit ca. 120000-250000 kcal etwa 100-200 mal größer als die Reservoirs der körpereigenen Kohlenhydratspeicher (Tab. 1).

Im Gegensatz zu Kohlenhydraten, die auch anaerob in den weißen, schnellen Muskelfasern abgebaut werden können, werden Fette mit langsamerer Geschwindigkeit in den Mitochondrien der roten, langsamen Muskelfasern oxidiert. Im Vergleich zu den weißen haben rote Muskelfasern einen höheren Anteil an Mitochondrien und können hiermit 10 mal höhere Fettumsatzraten erzielen.

|                        | Menge<br>(gr) | Menge<br>(kj) | Menge<br>(kcal) | O <sub>2</sub> -Verbrauch<br>(l) | Verbrennungs-<br>dauer (min) |
|------------------------|---------------|---------------|-----------------|----------------------------------|------------------------------|
| Leberglykogenspeicher  | 110           | 1892          | 452             | 90                               | 35                           |
| Muskelglykogenspeicher | 270           | 4644          | 1108            | 426                              | 164                          |
| Blutglucose            | 16            | 254           | 61              | 23                               | 9                            |
| Gesamt-Kohlenhydrate   | 396           | 6790          | 1621            | 540                              | 208                          |
| Körperfettdepots       | 14000         | 544600        | 129976          | 27786                            | 10687                        |
| Muskelfettspeicher     | 170           | 6613          | 1578            | 3571                             | 1374                         |
| Gesamt-Fette           | 14170         | 551213        | 131554          | 31357                            | 12060                        |

**Tabelle 1** Kohlenhydrat- und Fettspeicher (70kg Körpergewicht und 20% Körperfettanteil). Die Verbrennungsdauer ist für eine Fahrradergometerbelastung bei 55% der maximalen Leistungsfähigkeit angegeben (Mittelwert für 15 Trainierte entsprechend einer Leistung von 188 Watt oder 2600 ml/min O<sub>2</sub>-Verbrauch). Um die gesamten Fettspeicher zu verbrennen, müsste theoretisch ca. 200 Std. ununterbrochen mit 188 Watt gefahren werden.

Ausdauertraining erhöht die Fähigkeit zur Fettverbrennung. Mit einer gesteigerten Rate der Fettverbrennung bei gleichen absoluten Belastungen kann der Organismus Kohlenhydrate sparen, die er in den weißen Muskelfasern für Endspurts, für die Aufrechterhaltung hoher Intensitäten oder für die Versorgung der Nervenzellen benötigt.

Mit steigender Serumkonzentration der freien Fettsäuren als wichtigster Größe erhöht sich die Rate der Fettverbrennung. Für eine möglichst hohe absolute Fettverbrennungsrate spielt das Verhältnis Fett zu Kohlenhydratverbrennung keine Rolle. Der respiratorische Quotient, der zur Ermittlung des Verhältnisse Fett- zu Kohlenhydratoxidation herangezogen wird, kann daher nicht zur Bestimmung der im Training gewünschten höchstmöglichen Fettverbrennungsrate herangezogen werden. Hierfür eignet sich die quantitative Bestimmung der Durchsatzrate von freien Fettsäuren, von der Mobilisation in den Adipozyten bis hin zur Oxidation in den Mitochondrien sowie das Glycerol, das aus Adipozyten oder aus Muskelzellen freigesetzt wird, und während körperlicher Belastung nur sehr gering reesterifiziert werden kann.

*Effekte des Ausdauertrainings auf den Fettstoffwechsel sind:*

1. die Erhöhung der Serumkonzentration an freien Fettsäuren durch eine gesteigerte Lipolyserate aus den Adipozyten
2. das erhöhte Angebot an freien Fettsäuren im Muskel durch eine verbesserte Muskelkapillarisation und -durchblutung, höheres Herzzeitvolumen und verringerte Diffusionsstrecke zwischen Gefäß und Muskelzelle
3. eine gesteigerte Aufnahme der freien Fettsäuren in die Muskelzelle und in die Mitochondrien durch erhöhte Anzahl der Membran-Transporter für freie Fettsäuren (Sarcolemm-Fettsäure-Bindungs-Protein)

4. eine erhöhte Fettoxidationsrate der Muskelzellen durch einen höheren Mitochondriengehalt, mehr spezifische Fettstoffwechsellzyme und höhere Umsatzrate der Carnitin-Acyl-Transferase
5. Erhöhte Fettspeicherung in den Muskelzellen

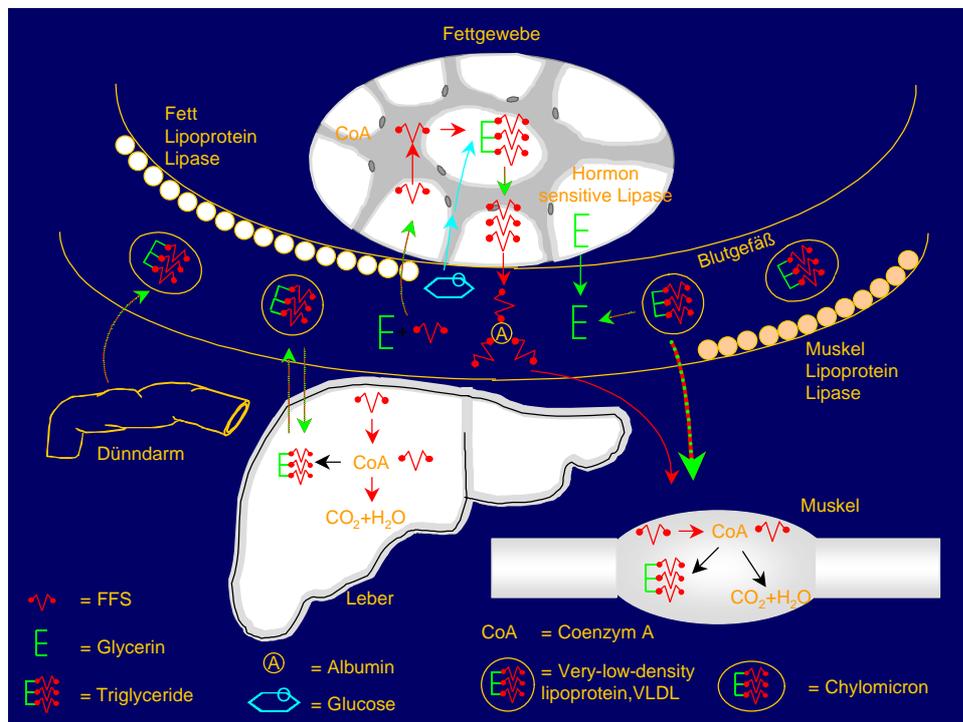


Abbildung. 1 Fettstoffwechsel bei Belastung (modifiziert nach [5])

### Trainingsziele

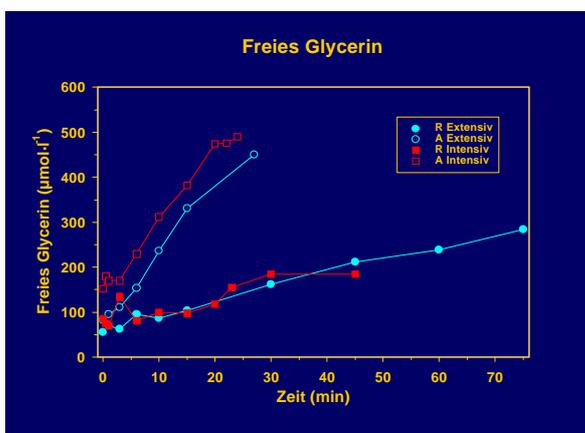
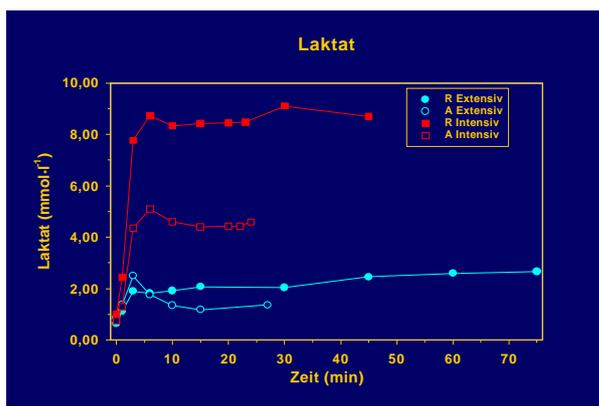
Die Ergebnisse neuester wissenschaftlicher Untersuchungen zeigen wesentliche Hinweise zum Fettstoffwechsel unter Belastung. Trainingsprogramme zur Gewichtsreduktion sollten sich grundsätzlich an zwei Zielen orientieren:

1. Effizienz jeder Trainingseinheit hinsichtlich Trainingsreiz und Energieumsatz, sowie
2. mittel- und langfristige Trainingsadaptationen zur Verbesserung des Fett- und Kohlenhydratstoffwechsels, zur Sekundärprävention gegen Folgeerkrankungen der Adipositas und zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit und damit Lebensqualität.

### Trainingsintensität und Trainingsdauer

Mehrere aktuelle Untersuchungen zeigen, dass bei Trainierten die höchste Fettoxidation bei etwa 65% der Maximalleistung liegt, obwohl der Kohlenhydratanteil an der Energieversorgung mit höherer Leistung stetig zunimmt [2,10]. Bei Dauerbelastungen mit 65% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , die etwa 10% unter der Intensität der Ausdauerleistungsgrenze liegen, steigen Serumglycerol und der Umsatz an freien Fettsäuren doppelt so viel an wie bei niedrigen Intensitäten mit 45% der  $\text{VO}_{2\text{max}}$  [1,6,7]. Die Ausdauerleistungsgrenze liegt bei Untrainierten etwa bei 50-60% der Maximalleistung, so dass sich der optimale Bereich zur Fettoxidation hier bei 40-55% der Maximalleistung findet [5] (die Ausdauerleistungsgrenze entspricht der Belastungsintensität, bei der die Laktatproduktion des Gesamtorganismus gerade noch nicht den Laktatkatabolismus überschreitet, sich also bei Dauerbelastungen noch ein Steady-State einstellt).

Der Anteil der Fette am Energieumsatz nimmt linear mit der Trainingszeit zu, der Anteil der Kohlenhydrate entsprechend ab. Nach 30 Minuten einer Ausdauerbelastung bei 65% der Maximalleistung hat sich die Fettoxidationsrate verdoppelt, nach 60 Minuten vervierfacht. Je länger also die Trainingsbelastung dauert, umso mehr Fette werden verbrannt und umso stärker ist der Reiz hinsichtlich einer Verbesserung des Fettstoffwechsels (Abb. 2).



**Abbildung 2** Laktat (oben) und Glycerol (unten) von zwei Sportlern in jeweils zwei Dauertest nach Glykogensuperkompensation (geschlossene Symbole) bzw. in glykogenverarmtem Zustand (offene Symbole). Auf dem Fahrradergometer wurde die Intensität der Ausdauerleistungsgrenze bis zur Erschöpfung gefahren. Das Laktatverhalten ist in allen 4 Tests konstant. Im glykogenangereicherten Zustand können beide Sportler bei doppelt so hohen Laktatkonzentrationen doppelt so lange fahren, Laktatkonzentrationen von 9 mmol/l werden problemlos über 45 Minuten durchgehalten. Als Zeichen der stetig ansteigenden Fettutilisation steigt das Glycerol im verarmten wie im angereicherten Zustand linear mit der Belastungsdauer an [pers. Mitteilung MW Busse].

Neben der höheren Fettverbrennungsrate ist bei 65% auch der Gesamtenergieverbrauch um 20% höher. Intensitäten deutlich über der Ausdauerleistungsgrenze bei im Mittel 65%  $VO_{2max}$  sind für ein auf hohen Energieverbrauch ausgelegtes Training weniger geeignet, da die erforderliche Dauer wegen rascher Ermüdung nicht erreicht werden kann (Tab. 2).

**Herzfrequenzverhalten:** Im Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer mit 65% der  $VO_{2max}$  steigen die Trainingsherzfrequenzen nach Anfangs  $145 \pm 15$  S/min auf etwa  $160 \pm 15$  S/min an (Gesunde  $32 \pm 5$  Jahre). Das entspricht etwa 80 bis 88% der maximalen Herzfrequenz.

**Laktatverhalten:** Im Training mit der höchstmöglichen Fettverbrennung bei etwa 65% der  $VO_{2max}$  sollte das Laktatverhalten im Gleichgewicht bzw. Steady-State liegen, d.h. dass die vor allem in den schnellen Muskelfasern produzierte Menge an Laktat genau der Menge entspricht, die, vor allem von den langsamen Fasern, gleichzeitig wieder verbrannt werden kann. Die Laktatkonzentration kann dabei interindividuell zwischen 1 und 9 mmol/l variieren.

| Trainingsbereich | Leistung in     | $VO_2$ | Kalorisches  | Energie- | Trainings- | Energie-      |
|------------------|-----------------|--------|--------------|----------|------------|---------------|
|                  | % der $V_{max}$ |        | Äquivalent   | umsatz   | Dauer      | umsatz        |
|                  | %               | ml/min | kcal/l $O_2$ | Kcal/min | Min        | Kcal/Training |
| Hochintensiv     | 85              | 4350   | 5,05         | 22,0     | 15         | 330           |
| Intensiv         | 75              | 3800   | 5,00         | 19,0     | 45         | 855           |
| Extensiv         | 65              | 3200   | 4,95         | 15,8     | 120        | 1901          |
| Regenerativ      | 55              | 2600   | 4,85         | 12,6     | 120        | 1513          |

**Tabelle 2** Energieverbrauch typischer Trainingseinheiten auf dem Fahrradergometer (Mittelwerte für 15 Trainierte). Der angegebene Sauerstoffverbrauch ( $VO_2$ ) wurde bei Trainingsdauerbelastungen gemessen. Die Belastungsumfänge entsprechen realistischen Trainingsvorgaben im Leistungssport. Im intensiven und hochintensiven Trainingsbereich sind längere Belastungsdauern wegen der vorzeitig eintretenden Ermüdung nur bei sehr hoch trainierten Ausdauersportlern möglich. Fazit: Im extensiven Training als effektive, auf Dauer gerade nicht erschöpfende Belastung wird die höchste Energiemenge umgesetzt.

## Sportart

Für Auswahl der Sportart ist der höchste absolute Sauerstoffverbrauch an der Ausdauerleistungsgrenze maßgebend. Mit einer mobilen, tragbaren Ergospirometrieanlage wurden die am häufigsten genutzten Fitneßgeräte sowie Sportarten auf ihren Energieumsatz an der Ausdauerleistungsgrenze untersucht. 13 Personen absolvierten je einen doppelten Stufentest auf dem Stepper, Ruderergometer, Crossrobics, Fahrradergometer, Halbliegendergometer, als Walking und als Laufen auf einer Rundbahn. Beim Lauftest, gefolgt vom Walking mit Steigung, wurde der signifikant höchste Energieverbrauch im Bereich der Ausdauerleistungsgrenze erreicht. Obwohl bei der Ruderbelastung und beim Stepper ebenfalls große Muskelgruppen eingesetzt werden, liegt der Energieverbrauch im Bereich fettstoffwechselrelevanter Intensitäten 15-20% unter dem beim Laufen (Tab. 3). Ein Lauftraining bzw. Walking eignet sich jedoch für übergewichtige Untrainierte nur bedingt. Die leistungsschwache Beinmuskulatur kann die durch das erhöhte Körpergewicht bedingten vermehrten Belastungen auf den Stütz- und Halteapparat der unteren Extremität nicht ausreichend abfangen. Um Beschwerden oder Schäden an Sprung-, Knie-, Hüftgelenk, Bänder oder Sehnen zu vermeiden, sollte vor Beginn des Lauftrainings oder Walking-Programms ein 4- bis 12-wöchiges Fahrradergometerprogramm vorgeschaltet werden.

|                     | Fahrrad-<br>Ergometer | Ruder-<br>ergometer | Stepper | Crossrobics | Walking<br>mit Steigung | Laufen |
|---------------------|-----------------------|---------------------|---------|-------------|-------------------------|--------|
|                     | ml/min                | ml/min              | ml/min  | ml/min      | ml/min                  | ml/min |
| VO <sub>2max</sub>  | 44                    | 43                  | 46      | 40*         | 51**                    | 50**   |
| +/-SD               | 9                     | 8                   | 9       | 9           | 9                       | 8      |
| VO <sub>2 LSS</sub> | 30                    | 35                  | 33      | 28          | 35**                    | 41**   |
| +/-SD               | 8                     | 8                   | 6       | 6           | 9                       | 8      |

**Tabelle 3** Energieverbrauch als Sauerstoffaufnahme pro Minute bei 6 Sportarten. Bei 13 Freizeitsportlern wurde die Sauerstoffaufnahme maximal und bei der Intensität der Ausdauerleistungsgrenze gemessen (Laktat-steady-state: LSS) (\* p < 0.05; \*\* p < 0.01, gemessen zum Fahrradergometer).

## Trainingsempfehlungen

Die geforderten Trainingseffekte sind umfangs- und intensitätsabhängig. Das Training zur Gewichtsreduktion sollte 4-7 Einheiten wöchentlich umfassen, davon 1 mal intensive Belastungseinheiten bei einer maximalen Sauerstoffaufnahme von 70-85% (Trainingsdauer unter 60min), 3-4 extensive Belastungseinheiten bei einer maximalen Sauerstoffaufnahme von 50-65% (Trainingsdauer zwischen 45 und 120 min) und 2-3 moderate, regenerative Belastungseinheiten bei einer maximalen Sauerstoffaufnahme von 50-65% (Trainingsdauer zwischen 45 bis 120min).

Trainingsplan mit 4-7 Trainingseinheiten pro Woche:

|             |               |   |                           |
|-------------|---------------|---|---------------------------|
| Intensiv    | 0-1 mal/Woche | Dauer/Intervallprogramme bis zu 60min Dauer | 65-80% VO <sub>2max</sub> |
| Extensiv    | 3-4 mal Woche | Dauer bis 120min                            | 50-65% VO <sub>2max</sub> |
| Regenerativ | 1-2 mal/Woche | Dauer bis 60min                             | < 50% VO <sub>2max</sub>  |

Prozentuale Angaben für trainierte Personen für das Fahrrad(ergometer)training. Je untrainierter der Zustand, umso niedriger ist der prozentuale Anteil der Ausdauerleistungsgrenze an der Maximalleistung (die Schwankungsbreite auf beträgt ca. 50-80%).

Idealerweise sollten verschiedene Sportarten wie z.B. Laufen oder Radfahren mit Rudern oder Schwimmen miteinander kombiniert werden, um die Gesamtkörpermuskulatur zu entwickeln und den Bewegungsapparat vor Überlastungen schützen.

## Literatur

1. Bergmann BC, Brooks GA (1999): Respiratory gas exchange ratios during graded exercise in fed and fasted trained and untrained men. *J Appl Physiol* 86: 479-487
2. Bergmann BC, Butterfield GE, Wolfel EE, Cassazza GA, Brooks GA (1999): An evaluation of exercise and training on muscle lipid metabolism. *Am J Physiol* 276: E106-E117
3. Bryner RW, Toffle RC, Ulrich IH, Yeater RA (1997): The effects of exercise intensity on body composition, weight loss, and dietary composition in women. *J Am Coll Nutr* 16(1): 68-73
4. Brouns F, van der Vusse GJ (1998): Utilization of lipids during exercise in human subjects: metabolic and dietary constraints. *Br J Nutr* 79(2):117-28
5. Brooks GA, Fahey TD, White TP, Baldwin KM (2000): *Exercise Physiology: Human bioenergetics and its applications*. Mayfield Publishing Company, Mountain View, USA.

6. Friedlander AL, Casazza MA, Horning MA, Brooks GA (1999): Plasma free fatty acid rate of appearance is increased in men following endurance training. *J Appl Physiol* 86: 2097-2105
7. Friedlander AL, Casazza MA, Horning MA, Budinger TF, Brooks GA (1998): Effects of exercise intensity and training on lipid metabolism in young women. *Am J Physiol* 275: E853-E863
8. Horowitz JF, Klein S (2000): Lipid metabolism during endurance exercise. *Am J Clin Nutr* 72(suppl): 558S-63S
9. Kiens B, Essen Gustavsson B, Christensen NJ, and Saltin B (1993): Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in men: effect of endurance training: *J Physiol* 469
10. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, Wolfe PR (2000): Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol* 88: 1707-1714

*Korrespondenzadresse:* Dr. Uwe Tegtbur  
Medizinische Hochschule Hannover  
Sportmedizinisches Untersuchungszentrum (OE 4252)  
Carl-Neuberg Str. 1  
30625 Hannover  
e-mail: uwe.tegtbur@t-online.de , Fax 0511 5328199, Tel.: 0511 5325499