

## **Belastungsintensität und Fettverbrennung – Theoretische Grundlagen und praktische Überlegungen**

### **Zusammenfassung**

Es gibt viele Methoden, um grosse Mengen an Subkutanfett zu entfernen. Neben medikamentösen, diätetischen oder gar chirurgischen Verfahren dürfte ein Ausdauertraining langfristig die billigste und effizienteste Methode sein. Da Fette nur aerob abgebaut werden können, ist die Höhe der Belastungsintensität von entscheidender Bedeutung. Obwohl bei tiefen Intensitäten relativ am meisten Fett oxidiert wird, sind sehr gut trainierte Athleten in der Lage, im Bereich der ventilatorischen Schwelle die höchsten Fettverbrennungswerte zu erreichen. Eine Übertragung der Daten für Empfehlungen bei Untrainierten ist schwierig. Somit müssen für Untrainierte und Trainierte verschiedene Intensitätsbereiche festgelegt werden. Die Bestimmung von Laktatwerten scheint dabei die beste Methode zu sein.

**Schlüsselwörter:** Fett – Kohlenhydrate - Oxidation – Intensität - Laktat

### **Summary**

There are several methods to eliminate unnecessary subcutaneous adipose tissue. Aerobic exercise seems to be the cheapest and most efficient method compared to diets, pills or even surgery. Subcutaneous adipose tissue can only be reduced by lipolysis and oxidation in the working muscles. The intensity of exercise is the most relevant factor in fat oxidation. Even though fat oxidation is highest at low to moderate intensities, well trained athletes have their highest fat oxidation at the ventilatory threshold. Therefore, different intensities for trained compared to untrained persons have to be recommended in order to burn fat. The determination of concentrations of lactate seems to be of important practical use.

**Keywords:** Fat – carbohydrates – oxidation – intensity – lactate

### **Résumé**

Beaucoup de méthodes existent pour éliminer le tissu gras en surplus. En comparaison avec une diète, des médicaments ou la chirurgie, l'entraînement d'endurance semble d'être la méthode la plus efficace et la moins coûteuse. La dégradation du gras est seulement possible par une activité aérobie. L'intensité de l'activité devient donc le facteur limitatif. A des intensités basses, l'oxidation des gras est relativement haut. Mais les athlètes bien entraînés sont capables de brûler de plus grandes quantités de gras au niveau du seuil ventilatoire. Il faut donc fixer des différentes intensités pour des personnes entraînés en comparaison avec des personnes mal entraînés. La détermination de l'acide lactique semble la meilleure méthode.

**Mots clés:** Gras – hydrates de charbon – oxidation – intensité – acide lactique

## Einleitung

Grosse Mengen an Subkutanfett sind eine moderne Zeiterscheinung. Um diesem Übel Herr zu werden, können Diäten, Nahrungsergänzungspräparate oder gar plastisch-chirurgische Verfahren eingesetzt werden. Im Zeitalter des vorwiegend sitzenden Lebensstils steht die körperliche Aktivität um Fett abzubauen nicht unbedingt im Vordergrund. Aus medizinischer Sicht dürfte aber ein Ausdauertraining die billigste und effizienteste Methode zu diesem Zwecke sein. Die vorliegende Übersicht soll Hinweise über den Einfluss von Ausdauertraining auf den Fettabbau liefern und versucht, die ideale Belastungsintensität für ein Ausdauertraining mit dem Ziel des Fettabbaus zu definieren.

## Theoretische Grundlagen

Den Begriff Ausdauer hat Neumann [1] in die Bereiche Kurzzeit-, Mittelzeit- und Langzeitausdauer unterteilt. Mit zunehmender Dauer einer Belastung nimmt der Energieverbrauch zu und die Glykogenreserven werden weitgehend entleert. Aus energetischer Sicht sind für längerdauernde Belastungen die Fettreserven praktisch unerschöpflich (Tabelle 1), während die körpereigenen Glykogenreserven limitierend werden [2].

Die Quellen für die Energieproduktion während einer körperlichen Leistung sind das Muskelglykogen, die Plasmaglukose aus Leberglykogen oder Nahrung, die freien Fettsäuren (FFS) im Plasma aus der Lipolyse des Subkutanfettgewebes oder der Nahrung sowie die intramuskulären Triglyzeride [3,4]. Die FFS sind ausschliesslich langkettige FFS mit einer Kettenlänge von C14 und länger. Eiweisse spielen im Energiestoffwechsel der Muskulatur grundsätzlich nur eine untergeordnete Rolle, bei sehr langen Belastungen steigt ihr Anteil an der Energiebereitstellung jedoch auf bis zu 10 %.

Fett enthält ungefähr zweimal mehr Energie als Kohlenhydrate, denn in 1 g Fett ist die Energie von 38 kJ (9.45 kcal) gespeichert, während es in 1 g Kohlenhydrate nur 18 kJ (4.3 kcal) sind. Unter den Energieträgern stellt deshalb Fett im Körper die grösste Energiereserve dar als vorwiegend im Fettgewebe gespeicherte Triglyzeride (Tabelle 1).

Allgemein gilt die Ansicht, dass bei tiefen bis mittleren Intensitäten am meisten Fett abgebaut wird und entsprechend bei diesen Intensitäten trainiert werden sollte. Relativ ist auch bei 25 – 40 % der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2max$ ) der Anteil des Fettes an der Energielieferung am höchsten [4,5,6]. Eine Studie mit Trainierten zeigte nun aber, dass bei  $57 \pm 1$  %  $VO_2max$  absolut die höchste Fettoxidation liegt [7]. Dies konnte auch bei einer Studie mit Übergewichtigen nachgewiesen werden [8]. Andere Studien zeigen aber, dass absolut eher bei 65 - 75 %  $VO_2max$  die höchste Fettverbrennung liegen dürfte [6,9], wobei relativ zwischen Männern und Frauen kein Unterschied in der Fettverbrennung vorliegt [5,6]. Beide Geschlechter haben bei 65 - 75 %  $VO_2max$  die absolut höchste Fettoxidation, Frauen weisen aber höhere absolute Werte auf als Männer [4,5]. Die Abbildung 1 zeigt schematisch den Zusammenhang des Substratverbrauchs mit der Belastungsintensität.

Ein Grund für die Diskrepanzen der erhaltenen Intensitäten der höchsten Fettoxidationsrate könnten methodische Unterschiede in den Studien sein. Entweder werden Männer [4,7] oder Frauen [5,6] untersucht, oder es wird auf dem Veloergometer [4,5,7] oder auf dem Laufband [6] belastet. Zudem kommen unterschiedliche Messmethoden zum Einsatz. Die Methoden der Messung des Fettumsatzes mit stabilen Isotopen [4,5,7] gegenüber der alleinigen Messung mit der indirekten Kalorimetrie [6] könnten aus methodischen Gründen ebenfalls zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Eine entscheidende Bedingung, dass bei hohen Intensitäten von 65 – 75 %  $\text{VO}_2\text{max}$  am meisten Fett verbrennt werden kann, ist unabhängig vom Geschlecht ein sehr guter Trainingszustand. Das  $\text{VO}_2\text{max}$  liegt bei Männern bei  $67 \pm 3 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , [4] und bei  $47.2 \pm 2.57 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  bei Frauen [6].

Da in der Praxis selten  $\text{VO}_2\text{max}$  bestimmt wird, kann anhand von Tabellen [10] der Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme gezeigt werden (Tabelle 2). Bei einer Intensität von 70 %  $\text{VO}_2\text{max}$  liegt entsprechend eine Herzfrequenz von 80 %  $\text{Hfmax}$  vor. Das liegt etwa bei 150 bpm bei einer maximalen Herzfrequenz von 190 bpm. Diese Intensität liegt deutlich über der allgemeinen Empfehlung, eine Ausdauerbelastung bei einer Herzfrequenz von 120 bpm zu absolvieren. Somit können auch Empfehlungen für Belastungsintensitäten aus diesen Studien nur für sehr gut trainierte Athleten abgegeben werden.

## **Fettstoffwechsel unter Belastung**

Um diese Ergebnisse aus leistungsphysiologischen Studien interpretieren und in den Alltag integrieren zu können, muss der Fettstoffwechsel bei Trainierten näher betrachtet werden.

Regelmässiges Ausdauertraining erhöht die Fähigkeit der Muskulatur, während der Belastung vermehrt Fett als Energiequelle zu nutzen. Die ausdauertrainierte Muskulatur gewinnt mehr Energie aus der Oxidation der intramuskulären Triglyzeride [11,12] sowie aus den aus dem Subkutanfett freigesetzten FFS im Vergleich zur untrainierten Muskulatur [13]. Die Fasern der trainierten Muskulatur können vermehrt die FFS zur Oxidation in die Mitochondrien aufnehmen [14], so dass die Konzentration an FFS im Plasma bei Trainierten während der Belastung tiefer ist als bei Untrainierten [15]. Die Aufnahme der FFS in das Mitochondrium ist der limitierende Schritt in der Fettoxidation [16]. In der Muskelfaser von gut ausdauertrainierten Athleten werden die FFS schneller als bei Untrainierten in das Mitochondrium zur Oxidation eingeschleust [16].

Bei 65 - 75 %  $\text{VO}_2\text{max}$  ist der absolute Anteil an der Energiegewinnung durch die Fettoxidation am höchsten [4,5,6]. Die dabei oxidierten FFS stammen je zur Hälfte aus intramuskulären Triglyzeriden und aus den FFS im Plasma, welche aus dem Subkutanfett mobilisiert werden [4,5]. Während Belastungen in diesem Intensitätsbereich werden die im Muskel gespeicherten Vorräte an Triglyzeriden und Glykogen kontinuierlich abgebaut [17]. Bei der Erhöhung der Intensität auf 85 %  $\text{VO}_2\text{max}$  nimmt die absolute Menge an oxidiertem Fett gegenüber 65 %  $\text{VO}_2\text{max}$  wieder ab [6]. Die gesamte Menge an verbrauchtem Fett, um diese Intensität aufrecht zu erhalten, ist etwa gleich gross wie bei 25 %  $\text{VO}_2\text{max}$  [4].

An der ganzen Fettmenge ist der Anteil der intramuskulären Triglyzeride bei 85 %  $VO_2max$  deutlich höher als bei 25 %  $VO_2max$ . Bei 85 %  $VO_2max$  sinkt die Verfügbarkeit der FFS aus dem Subkutanfett im Plasma [18]. Das Problem ist, dass bei hohen Intensitäten der Turnover an langkettigen FFS im Vergleich zu tiefen Intensitäten um 40 % eingeschränkt wird [19]. Die Oxidation der langkettigen FFS ist reduziert [20], da sie nicht mehr ins Mitochondrium eingeschleust werden können [21]. Die Fettoxidation wird zu Gunsten der erhöhten Kohlenhydratoxidation bei hohen Intensitäten reduziert [4]. Die Kohlenhydrate machen dabei rund 50 - 80 % der Energie aus [17] und das Muskelglykogen ist nach 90 bis maximal 240 min vollständig aufgebraucht [22,23].

Bisher wurde angenommen, dass das unter zunehmender Intensität ansteigende Laktat der anaeroben Glykolyse die Lipolyse im subkutanen Fettgewebe hemmt. Ob diese Annahme stimmt, ist fraglich. Denn wie das Laktat die Lipolyse hemmen soll, ist noch nicht bekannt. Zudem wurde die antilipolytische Laktatwirkung im subkutanen Fettgewebe bei Trainierten widerlegt [24].

### **Liegt der Bereich der höchsten Fettverbrennung im Bereich der ventilatorischen resp. aeroben Schwelle?**

In einer aktuellen Studie wird die Frage aufgeworfen, ob die höchste Fettverbrennung bei Belastungen im Bereich der ventilatorischen Schwelle erreicht wird [6]. In Bezug auf die Bestimmung von Schwellen liegen verschiedene Konzepte in der Literatur vor, die näher betrachtet werden müssen.

Zuerst wurde die sogenannte anaerobe Schwelle 1964 von Wassermann & McIlroy beschrieben [25]. Sie wurde als oberste Intensität der noch im aeroben Bereich erbrachten Leistung betrachtet und initial als anaerobe Schwelle bei Laktatwerten von 2 mmol/l definiert. Anhand der Laktatwerte, die bei einer stufenförmigen Belastung ansteigen, wurden dann eine aerobe Schwelle, eine anaerobe Schwelle, ein individueller aerob-anaerober Übergang sowie ein Punkt der optimalen respiratorischen Effizienz unterschieden [26].

Die aerobe Schwelle – auch als ventilatorische Schwelle bezeichnet – wird als die Intensität in einem stufenförmig ansteigenden Belastungsprotokoll bezeichnet, bei der die Laktatkonzentration erstmals über den Ruhewert ansteigt [27]. Allgemein wird im Schrifttum nun die aerobe Schwelle bei 2 mmol/l und die anaerobe Schwelle bei 4 mmol/l definiert [28], wobei die aerobe Schwelle bei 2 mmol/l jetzt der früher beschriebenen anaeroben Schwelle nach Wassermann entspricht [29].

Somit könnte nun eigentlich gefolgert werden, dass bei Intensitäten im Bereich von 65 – 75 %  $VO_2max$  trainiert werden kann - um Fett abzubauen – wenn die Laktatwerte im Bereich von 2 mmol/l liegen. Diese Intensität liegt im Bereich der ventilatorischen resp. der aeroben Schwelle [18] und somit noch eindeutig im aeroben Stoffwechselbereich. Wohl sind gut trainierte Athleten in der Lage, Intensitäten von 60 - 70 %  $VO_2max$  mit Laktatwerten im Bereich von 1.5 – 2.5 mmol/l über längere Zeit aufrecht zu erhalten [6], bevor es dann bei ansteigender Intensität zu einem exponentiellen Anstieg der Laktatwerte kommt [30,31]. Aber auch übergewichtige Untrainierte sind in der Lage, bei 75 %  $VO_2max$  Laktatwerte von rund 2.5 mmol/l zu halten [8].

Der Anstieg der Laktatwerte im Bereich von etwa 1.5 – 2.5 mmol/l hingegen beginnt bei gut trainierten Athleten bei einer stufenförmigen Belastung deutlich später als bei Untrainierten [32]. Bei übergewichtigen Untrainierten sind die Laktatwerte bereits in Ruhe höher als bei Trainierten [33], unter Belastung scheint aber kein Unterschied zu liegen [8].

## Praktische Überlegungen

Die folgenden Überlegungen basieren auf Studien der Leistungsphysiologie mit Ausdauerathleten und können nur bedingt auf Untrainierte und Übergewichtige übertragen werden.

Bei tiefen Intensitäten von 40 – 55 %  $VO_{2peak}$  werden 3 – 4 kcal · min<sup>-1</sup> aus der Fettoxidation geliefert. Der Verbrauch an Kohlenhydraten liegt dort bei 2 – 3 kcal · min<sup>-1</sup>. Wird die Intensität in den Bereich der höchsten Fettoxidation von 65 – 75 %  $VO_{2peak}$  erhöht, so steigt der Energieanteil des Fettes auf 4 – 5 kcal · min<sup>-1</sup> an und der Anteil der Kohlenhydrate auf 5 – 6 kcal · min<sup>-1</sup> [6].

Der Energiegehalt von 1 g Fett wird mit 9.45 kcal und von 1 g Kohlenhydrate mit 4.3 kcal angenommen. Umgerechnet werden bei tiefen Intensitäten von 40 – 55 %  $VO_{2peak}$  etwa 0.35 g Fett und 0.6 g Kohlenhydrate pro Minute verbraucht, bei höheren Intensitäten von 65 – 75 %  $VO_{2peak}$  steigt der Verbrauch auf etwa 0.45 g Fett und 1.3 g Kohlenhydrate pro Minute [6].

Bei einem durchschnittlichen Glykogengehalt von 500 g im Körper [2] reichen die körpereigenen Reserven an Kohlenhydraten bei 55 %  $VO_{2peak}$  rein rechnerisch für rund 800 Minuten (13 Stunden), bei 75 %  $VO_{2peak}$  nur etwa 400 Minuten (7 Stunden). Bei einem totalen Fettgehalt des Körpers von etwa 12'300 g reicht diese Menge bei 55 %  $VO_{2peak}$  für eine Belastung von 35'000 Minuten (rund 24 Tage), bei 75 %  $VO_{2peak}$  immerhin noch für 28'000 Minuten (rund 20 Tage).

Um sich einen Begriff über den enormen Energiespeicher des Subkutanfettes zu machen, müsste eine übergewichtige Person mit 10 kg überschüssigem subkutanem Fett eine Ausdauerbelastung ohne Unterbruch über rund 20 Tage aufrechterhalten, um das Fett vollständig abzubauen. Die Glykogenreserven dürften in diesem Zeitraum zum entscheidenden limitierenden Faktor werden.

Belastet sich ein Mensch während 30 Minuten, so verbraucht er die bescheidene Menge von knapp 10 g körpereigenem Fett in dieser Zeit. Bei einem wöchentlichen Trainingsaufwand von 3 x 30 Minuten ergäbe das einen Verbrauch von 30 g Fett. In einem Monat dürften dann etwa 120 – 150 g Fett verbraucht werden. In einem Jahr läge dann der Fettabbau bei 1.5 – 1.8 kg.

Somit bezieht sich letztlich die Frage, bei welcher Intensität am meisten Fett oxidiert wird, nicht auf die höchste Intensität der Fettoxidation, sondern eher darauf, wie hoch der Kohlenhydratverbrauch ist und wie lange die körpereigenen Speicher ausreichen, um die entsprechende Intensität über längere Zeit aufrecht zu erhalten.

## Konsequenzen

Ausdauertrainierte können den grössten Teil des Grundlagentrainings im Bereich von bis 75 %  $\text{VO}_2\text{max}$  absolvieren, sofern die Laktatwerte im Bereich von 1.5 bis maximal 2.5 mmol/l und somit unterhalb der aeroben Schwelle bleiben.

Für Untrainierte mit dem Ziel des Abbaus des subkutanen Fettes müssen die Belastungsintensitäten deutlich relativiert werden. **Die ideale Intensität dürfte bei 40 bis maximal 50 %  $\text{VO}_2\text{max}$  liegen, wo der prozentuale Anteil der Fettoxidation an der Energielieferung am höchsten ist. Steigt die Intensität auf 55 %  $\text{VO}_2\text{max}$  und höher an, so nimmt der Anteil des Fettes an der Energielieferung deutlich ab, während der Energieverbrauch durch die Kohlenhydratoxidation stark ansteigt.**

## Literatur

- 1 *Neumann, G.* Metabole Regulation bei Langzeitausdauerbelastungen. *Med Sport* 1983;23:169-175
- 2 *Jeukendrup AE, Saris WHM, Wagenmakers AJM.* Fat metabolism during exercise: a review. Part I: Fatty acid mobilization and muscle metabolism. *Int J Sports Med* 1998;19:231-244
- 3 *Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL.* Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 1986;61:165-172, 1986
- 4 *Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Ender E, et al.* Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol* 1993;265:E380-E391
- 5 *Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Rosenblatt J, Wolfe RR.* Substrate metabolism during different exercise intensities in endurance-trained women. *J Appl Physiol* 2000;88:1707-1714
- 6 *Astorino TA.* Is the ventilatory threshold coincident with submaximal fat oxidation during submaximal exercise in women? *J Sports Med Phys Fitness* 2000;40:209-216
- 7 *Van Loon, JC, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WHM, Wagenmakers AJM.* The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol* 2001;536.1:295-304
- 8 *Steffan HG, Elliott W, Miller WC, Fernhall B.* Substrate utilization during submaximal exercise in obese and normal-weight women. *Eur J Appl Physiol* 1999;80:233-239
- 9 *Knechtle B, Willmann F, Müller G, Eser P, Knecht H.* Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. Submitted *Int J Sport Nutr Exerc Metab*
- 10 *Londeree BR, Thomas TR, Ziogas G, Smith TD, Zhang Q.* %  $\text{VO}_2\text{max}$  versus %  $\text{Hrmax}$  regressions for six modes of exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1995;458-461
- 11 *Hurley BF, Nemeth PM, Martin III WH, Hagberg JM, Dalsky GP, Holloszy JO.* Muscle triglyceride utilization during exercise: effect of training. *J Appl Physiol* 1986;60:562-567
- 12 *Martin, WH, Dalsky GP, Hurley BF, Matthews DE, Bier DM, et al.* Effect of endurance training on plasma free fatty acid turnover and oxidation during exercise. *Am J Physiol* 1993;265:E708-E714
- 13 *De Glisezinski I, Crampes F, Harant I, Berland M, Hejnova J, et al.* Endurance training changes in lipolytic responsiveness of obese adipose tissue. *Am J Physiol* 1998;275 :E951-E956
- 14 *Turcotte LP, Richter EA, Kiens B.* Increased plasma FFS uptake and oxidation during prolonged exercise in trained vs. untrained humans. *Am J Physiol* 1992;262:E791-799
- 15 *Klein S, Coyle EF, Wolfe RR.* Fat metabolism during low-intensity exercise in endurance trained and untrained men. *Am J Physiol* 1994;267:E934-E940

- 16 *Sidossis LS, Wolfe RR, Coggan AA.* Regulation of fatty acid oxidation in untrained vs. trained men during exercise. *Am J Physiol* 1998;274:E510-E515
- 17 *Pirnay F, Scheen AJ, Gautier JF, Mosora MF, Lefebvre P.* Exogenous glucose oxidation during exercise in relation to the power output. *Int J Sports Med* 1995;16:456-460
- 18 *Kanaley JA, Mottram CD, Scanlon PD, Jensen MD.* Fatty acid kinetic responses to running above or below lactate threshold. *J Appl Physiol* 1995;79:439-447
- 19 *Jones NL, Heigenhauser GJF, Kuskis A, Matsos CG, Sutton JR et al.* Fat metabolism in heavy exercise. *Clin Sci* 1980;59:469-478
- 20 *Kiens B, Roemen THM, van der Vusse GJ.* Muscular long-chain fatty acid content during graded exercise in humans. *Am J Physiol* 1999;276:E352-E357
- 21 *Sidossis LS, Gastaldelli A, Klein S, Wolfe RR.* Regulation of plasma fatty acid oxidation during low- and high-intensity exercise. *Am J Physiol* 1997;272:E1065-E1070
- 22 *Coggan AR, Coyle EF.* Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. *Exerc Sport Sci Rev* 1991 ;19:1-40, 1991
- 23 *Bosch AN, Dennis SC, Noakes TD.* Influence of carbohydrate loading on fuel substrate turnover and oxidation during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 1993;74:1921-1927
- 24 *Trudeau F, Bernier S, de Glisezinsky I, Crampes F, Dulac F, Riviere D.* Lack of antilipolytic effect of lactate in subcutaneous abdominal adipose tissue during exercise. *J Appl Physiol* 1999;86: 1800 – 1804
- 25 *Wassermann K, McIlroy M.* Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J Cardiol* 1964;14:844-852
- 26 *Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W.* Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med* 1985;6:117-130
- 27 *Ribeiro JP, Hughes V, Fielding RA, Black A, Bochese MA, Knuttgen HG.* Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. *Int J Sports Med* 1985;6:220-224
- 28 *Kindermann W, Simon G, Keul J.* The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol* 1979;42:25-34
- 29 *Wassermann K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL.* Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 1973;35:236-243
- 30 *Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JE, Costill DL.* Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports* 1979;11:338-344
- 31 *Gollnick PD, Bayly WM, Hodgson DR.* Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood. *Med Sci Sports Exerc* 1986;18:334-340
- 32 *Powers SK, Riley W, Howley ET.* Comparison of fat metabolism between trained men and women during prolonged aerobic work. *Res Q Exerc Sport* 1980;51:427-431



- 33 *Van der Merwe MT, Schlaphoff GP, Crowther NJ, Boyd IH, Gray IP, Joffe BI, Lonroth PN. Lactate and glycerol release from adipose tissue in lean, obese, and diabetic women from South Africa. J Clin Endocrinol Metab 2001;86:3296-3303*

**Tabelle 1: Energiesubstrate bei einem 80 kg schweren Mann [2]**

<b>Substrat</b>	<b>Gewicht (kg)</b>	<b>Energie (kJ)</b>
Plasma Glukose	0.02	320
Leberglykogen	0.10	1600
Muskelglykogen	0.40	6400
<b>Total Kohlenhydrate</b>	<b>0.52</b>	<b>8320</b>
Plasma Fettsäuren	0.0004	14
Plasma Triglyzeride	0.004	140
Fettgewebe	12.0	450000
Muskeltriglyzeride	0.3	11000
<b>Total Fett</b>	<b>12.3</b>	<b>461154</b>

**Tabelle 2: Beziehung maximale Herzfrequenz und maximale Sauerstoffaufnahme [10]**

<b>% Hfmax</b>	<b>% VO<sub>2</sub>max</b>
50	28
60	40
70	58
80	70
90	83
100	100

**Abbildung 1: Verbrauch an Kohlenhydraten und Fett nach Belastungsintensität**

Substratverbrauch  
[kcal·min<sup>-1</sup>]

