

# Sportmedizin 1 WS 2008/2009

## Lektion 3 Sauerstoff

Der aerobe Energiegewinn (also Verbrennung mit Sauerstoff) ist ein lebenslanger, eigentlich pausenloser Vorgang.

Seine Zutaten sind Zucker (vorwiegend Glukose), Fettsäure und Aminosäure, dazu Sauerstoff.

Die Hauptenergieträger Zucker und Fett liegen bei Gesundheit und ausreichender Ernährung genügend in Lagern. Das Fett als Triglycerid in den bekannten Fettlagern, der Zucker als Glykogen in den Muskeln (400g), der Leber (150g) und als Zuckerpool im Blut (5g). Der berühmte Zuckerspiegel von 100mg%.

Da in der Regel immer beide verbrannt werden müssen, zeigt das begrenzte Lager von Glykogen an, dass es bei langen Belastungen zu einem Zuckermangel kommen kann, der ohne Kompensation zu Leistungsabfall führen würde. Fett ist reichlich da, man sagt „unbegrenzt“.

(Eiweiß ist im Ruhezustand nur zu etwa 1% am Energiegewinn beteiligt, bei Belastungen bis zu 8%. Ein vergleichbares Lager gibt es nicht, nur der Aminosäurespiegel im Blut steht als Pool zur Verfügung, andernfalls muss Bausubstanz benutzt werden, d. h. Substanzzerstörung).

Beim entscheidenden Verbrennungsvorgang in den Mitochondrien gehen die 3 einen identischen Weg der Verstoffwechslung – alle 3 bestehen aus C, H und O! Nur die Aminosäure muss den N loswerden.

Wie gesagt, an der Energiegewinnung zur Wiederherstellung des ATP sind alle genannten Lieferprozesse beteiligt - das KP, die Glykolyse (anaerob-lactazid), so wie die Verbrennung von Kohlenhydrat und/oder Fett. Es hängt von der Belastung ab, wo die Schwerpunkte für die Lieferanten sind.

Beim Sprint auf dem KP-Konto ist nur noch 5% aerobe Energiebeteiligung zu finden, 95 % anaerobe ( KP und anaerobe/lactazide Glykolyse -- s. später bei der anaeroben Lektion)

**Bei ausgesprochener Langstrecke sind nur noch bis zu 10% anaerobe Prozesse beteiligt, der Rest ist aerob. Langsame Ausdauer hat eine betonte Fettverbrennung, schnelle Ausdauer eine Zuckerbetonung. Etwa bei 65%  $O_2$ max sind Fett und Zucker je zur Hälfte dabei.**

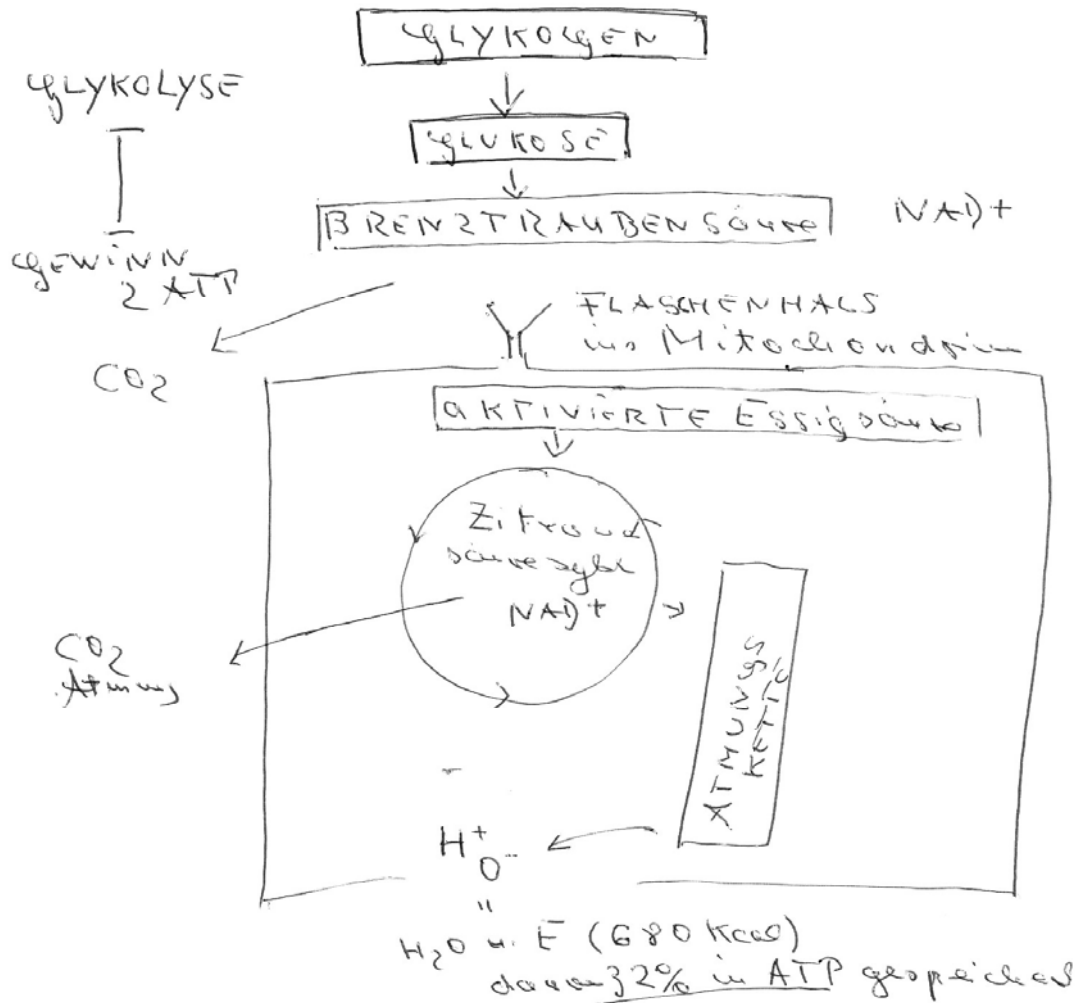
**Trainierte Ausdauer hat eine verbesserte Fettverwertung (Enzyme). Hier bei der Verteilung auf die Energieträger denke man an die Energieflussraten (s. o.).**

**Es kommt für die Leistungsfähigkeit darauf an, viel Sauerstoff zu den Muskeln (und auch Organen) zu transportieren. Es geht weniger darum, wie viel Luft die Lungen einholen können, sondern wie viel die Lungen davon in den Kreislauf bringen, wie viel Blut der Kreislauf zum Muskel bringt und wie viel der Muskel dem Angebot abnimmt. (Dabei natürlich die Minutenförderung). Dieser Wert heißt  $O_2$ max, er soll möglichst hoch sein und ist trainierbar (s. dazu die Lektionen über Atmung, Herz, Blut und Kreislauf).**

**Natürlich ist dieser Wert z. B. vom Körpergewicht abhängig. Suche ich meinen eigenen Wert, dann kann ich nicht eine Durchschnittszahl aus dem Lehrbuch nutzen, ich muss ihn zu meinem kg-Körpergewicht in Beziehung setzen. Statistisch für junge Männer um 70 kg mag er bei 2,5-3 l liegen, leistungssportlich kommen Werte von oberhalb 4l bis sogar 5l vor.**

**Nun bitte den Blick auf eine kleine eingefügte Skizze werfen, damit der rote Faden des komplizierten Stoffwechselforgangs der aeroben Energiegewinnung mal überblickt wird. Was ist der Sinn des Komplizierten?**

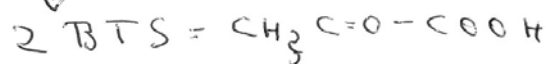
# AEROBER Energiegewinn



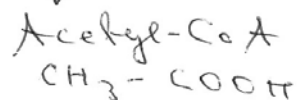
$C_6H_{12}O_6 = C_6\text{-Körper}$



daraus ↓



daraus ↓



**In der Muskelfaser liegt ein Glykogenvorrat (insgesamt in allen Muskeln 450g). Das sind Zuckermoleküle, die in langen Ketten über Phosphor verbunden sind. Bei ATP-Mangel, bei Adrenalinschüben zur Mobilisation und bei Ca-Konzentration in**

der Muskelfaser (s. Ca-Rolle bei Muskelkontraktion) werden endständige Zucker mit dem zugehörigen Phosphorrest abgespalten, nun hat die Muskelfaser Glukose. Anders als die Speicherform ist sie im Stoffwechsel einzusetzen. Nachschub gibt es aus dem Blut und aus dem Lebevorrat des Glykogens. Hier nun knüpft die Glykolyse an.

Ziel von allem ist es, in einem stufenweisen Abbauvorgang, letztlich den Kohlenstoff aus dem Zucker herauszuholen und ihn über das Blut dann schließlich abzuatmen. Übrigbleiben muss der Wasserstoff, denn der erst wird im letzten Schritt des ganzen Vorgangs mit dem eingeatmeten Sauerstoff zu Wasser, und der gesuchten Energie, die aus ADP wieder ATP macht. Das heißt erneute Leistungsfähigkeit des Muskels.

Diese sogenannte Glykolyse vollzieht sich noch nicht im Mitochondrium sondern im Blutplasma. In 10 enzymatisch gesteuerten chemischen Prozessen, die zum einen aus dem C<sub>6</sub> – Körper des Zuckers 2 C<sub>3</sub>- Körper machen, dessen letzte Position die für uns bemerkenswerte ist: Brenztraubensäure oder Pyruvat – BTS.

Dann muss BTS durch eine Art Flaschenhals ins Mitochondrium, den eigentlichen „Verbrennungsofen“.

Dort wird daraus aktivierte Essigsäure (ein C<sub>2</sub>-Körper. Man sieht die verkleinernden Schritte, die dann beim herausgeholt und bereitgestellten Wasserstoff enden!).

Aktivierte Essigsäure ist deren Bindung an ein Co-Enzym A, =Acetyl-CoA.

Im Mitochondrium zunächst der Zitronensäurezyklus (Krebszyklus, ein deutscher Nobelpreisträger). Aus ihm sind z. B. nach durchlaufener Acetyl-CoA Zitronensäure oder Oxalessigsäure zu nennen. Dann bleibt für die folgende Atmungskette nur noch die schrittweise Verschiebung von Elektronen übrig. H<sup>+</sup> und O<sup>-</sup> finden sich zu Wasser zusammen. In fachlicher Sprache: Der Wasserstoff bekommt Elektronen entzogen, er wird oxydiert, der Sauerstoff bekommt Elektronen dazu und wird reduziert. (Oxydation ist der Entzug von

Wasserstoffatomen aus einem Substrat, z. B. aus BTS oder aus dem Zitronensäurezyklus, aber auch der Entzug von Elektronen aus dem Wasserstoff, die dabei von dem Molekül Sauerstoff aufgenommen werden.)

Und wie wird der Wasserstoff aus der Substanz abgezogen – zum einen auf der Station BTS, dann an verschiedener Stelle im Zitronensäurezyklus? Dort stehen Wasserstoffempfänger, deren für uns wichtigster das NAD ist (Nikotinamid-Adenin-Dinucleotid).

Es nimmt den Wasserstoff des Substrats auf und wird zu NADH und einem  $H^+$ . Das ist die Materie die dann in der Atmungskette unter Verschiebung von Elektronen verarbeitet wird.

NADH/ $H^+$  gibt in der Atmungskette alle  $H^+$  und Elektronen ab und kehrt als  $NAD^+$  zur Brenztraubensäure (oder in den Zitronensäurezyklus) zurück und kann wieder Wasserstoff nebst Elektronen aufnehmen. Der Energiegewinnungsprozess kann weitergehen.

Aus einer Glukose können 30 ATP gewonnen werden , d. h. dass nur etwa 30% der Energie der Glukose als ATP gespeichert werden, der große Rest erscheint als Wärme.

Man merke sich an dieser Stelle die BTS-Station genau, denn hier entscheidet es sich, ob das Substrat in das Mitochondrium geht oder ob aus BTS Milchsäure werden muss, also der anaerobe Weg zu beschreiten ist (s. anaerobe Lektion später).

Darauf hinzuweisen ist, dass der gleiche Vorgang ab Acetyl-CoA auch bei der Fettverbrennung stattfindet. Auch die Fettsäure muss in das Mitochondrium gebracht werden, um dort in der beta- Oxydation in die kleinen Essigsäuremoleküle –dann mit CoA aktiviert, zerlegt zu werden. Fett liefert pro g mehr Energie als Zucker, braucht aber mehr Sauerstoff!

Originalerklärung Rost: Am Eingang zum Mitochondrium stehen die Fett- und die Zuckerabkömmlinge sich konkurrierend gegenüber. Solange eine mäßige Aktivität der Muskeln vorherrscht, dominiert das Fett, BTS wird nicht reingelassen und kann sich stattdessen in Oxalessigsäure umwandeln und dient der

**Fettverarbeitung im Zitronensäurezyklus als verstärkendes Vehikel. „Die Fette verbrennen im Feuer der Kohlenhydrate“. Das abgespaltene Glycerin in der Lipolyse wird in Zucker umgewandelt.**

**Ein paar Bemerkungen zum Mitochondrium, 100e bis 1000e davon in der Muskelzelle, gekammert, mit allen nötigen Enzymen ausgestattet, für kurze Diffusionswege betont in den äußeren Schichten der Zelle lokalisiert. Nimmt bei Ausdauertraining an Zahl und Größe und an Aktivität der Enzyme zu, verbessert  $O_2$ max. Mit den Lebensjahren nimmt die Bildungsrate von neuen und Ersatz-Mitochondrien ab, Teilungsschwäche als genetisches Alterungsproblem. Leistungsnachlass im Alter, jedes Jahr 1% schlechter – wird auf diese Schwächung zurückgeführt.  
= Mitochondriale Dysfunktion**