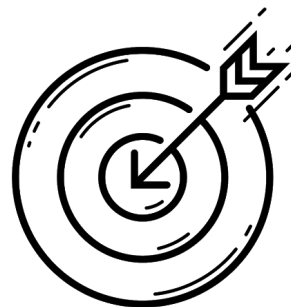


Energiebereitstellung



Ziele des Kurses



In diesem Kurs werden die Grundlagen des Energiestoffwechsels erläutert. Dabei werden sowohl chemische Prozesse als auch praktische Bewegungsbeispiele aus dem Sport behandelt.

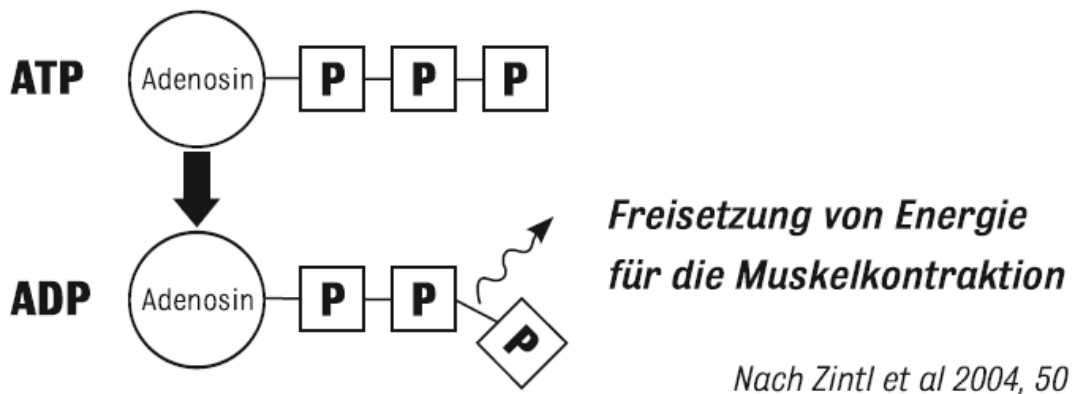
Du sollst nach diesem Kurs in der Lage sein, den Weg der Nahrung als Energielieferant nachvollziehen und auf verschiedene Erscheinungsformen im Sport anwenden zu können.

Chemische Energie (ATP)

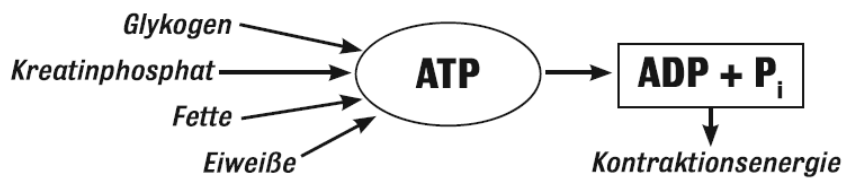


Mechanische Energie
Wärme

Woher kommt die Energie?

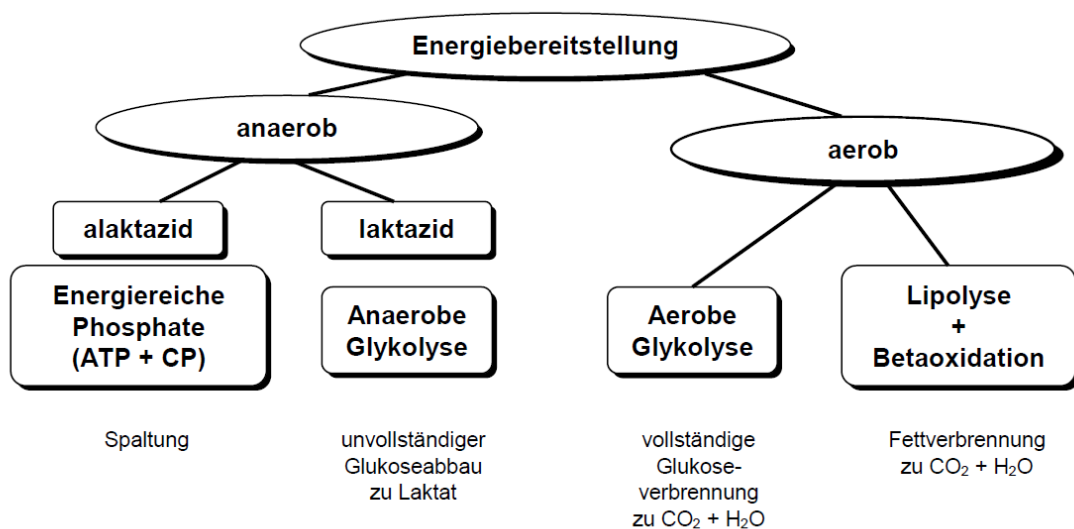


Woher kommt die Energie?



Nach Zintl et al 2004, 51

Mechanismen der Energiegewinnung



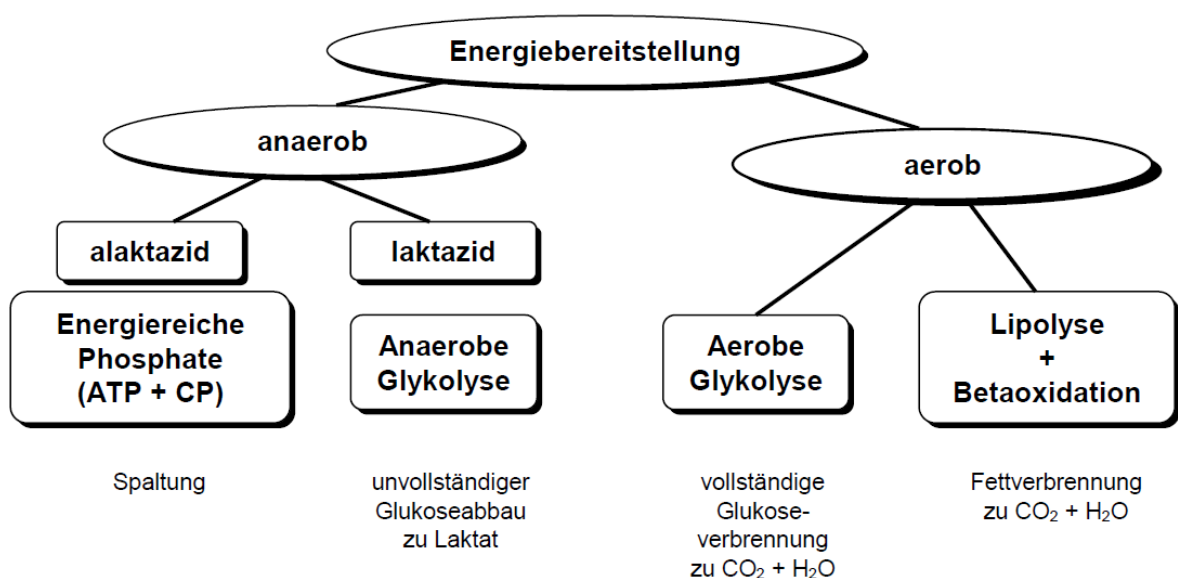
Mechanismen der Energiegewinnung

Die aerobe (=oxidative) Energiebereitstellung:

Bildung von ATP unter Verbrauch von Sauerstoff. Dieser Vorgang findet in den *Mitochondrien* statt.

Die anaerobe Energiebereitstellung:

Bildung von ATP ohne Verbrauch von Sauerstoff. Dieser Vorgang findet im *Zytosol* (Zellplasma) statt.



Die aerobe Energiebereitstellung

erfolgt durch vollständige Verbrennung (= *Oxidation*) von
a) **Kohlenhydraten** (genauer: Glukose = Traubenzucker)
und

b) **Fetten** (genauer: Fettsäuren) = *Betaoxidation*
jeweils zu Kohlendioxid und Wasser ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$),

wobei die Glukose durch Glykogenabbau (**Glykolyse**)
und die Fettsäuren durch Fettspaltung (**Lipolyse**) zur
Verfügung gestellt werden.

Die aerobe Energiebereitstellung

Dauert die körperliche Belastung einer größeren Muskelgruppe länger als 90 Sekunden, beginnt die aerobe Energiegewinnung die entscheidende Rolle zu spielen.

Es werden **immer die beiden Nährstoffe Kohlenhydrate und Fette** als Energielieferanten herangezogen („Die Fette verbrennen im Feuer der Kohlenhydrate“), wobei je nach Belastungsintensität ein fließender Übergang in der anteilmäßigen Energiebereitstellung besteht, der vor allem vom Trainingszustand abhängt.

Die aerobe Energiebereitstellung

Bei sehr **intensiven aeroben Anforderungen** (z.B. 5000m-Lauf) werden so gut wie ausschließlich **Kohlenhydrate**,

bei **extensiveren, längerdauernden Belastungen** (z.B. im Straßenradrennsport) umso mehr **Fettsäuren** verbrannt.

Die vollständige Verbrennung...

- von 1 mol Glukose liefert 31 mol ATP.
- von 1 mol Fettsäure liefert 130 mol ATP.

Die anaerobe Energiebereitstellung

erfolgt durch

a) Spaltung der gespeicherten energiereichen Phosphate
ATP und **Kreatinphosphat** = **anaerob-alaktazide
Energiebereitstellung**

b) unvollständigen Abbau von Glukose unter Bildung von
Laktat: **anaerobe Glykolyse = anaerob-laktazide
Energiebereitstellung**

Die anaerob-alaktazide Energiebereitstellung

Dieser Weg arbeitet bei hochintensiven Belastungen mit hoher Energieanforderung. Dabei wird kein Sauerstoff benötigt und es fällt kein Blutlaktat an. Die mittels der „energiereichen Phosphate“ (ATP, Kreatinphosphat) direkt verfügbare chemische Energie kann am schnellsten umgesetzt werden und ermöglicht damit die höchstmögliche Leistung.

Die anaerob-alaktazide Energiebereitstellung

Jedoch ist diese Energiequelle sehr klein und reicht nur für kurze Zeit, nämlich 6 bis 10 (max. 15) Sekunden. Sie ist entscheidend für Maximal- und Schnellkraft sowie Schnelligkeit.

Beispiele: 100m-Sprint, Gewichtheben, Kugelstoßen, Hochsprung, usw.

Der Wiederaufbau der energiereichen Phosphate ATP und KrP läuft sehr schnell ab. Der Wiederauffüllungsprozess ist in der Regel innerhalb von 30 Sekunden zu ca. 70%, und nach 3-5 Minuten zu fast 100% vollendet.

Die anaerob-laktazide Energiebereitstellung

Wird eine hochintensive Belastung länger als 10-15 Sekunden aufrechterhalten, schaltet der Organismus auf den Abbau von Kohlenhydraten um. Hierbei werden die Kohlenhydrate ohne Verbrauch von Sauerstoff unvollständig unter Bildung von Laktat abgebaut. Es kommt zu einer Übersäuerung, die nicht nur schmerzhaft, sondern letztendlich leistungslimitierend ist, da im sauren Milieu durch eine Enzymhemmung die Muskelkontraktion gehemmt wird - man ist „blau“, wie es im Fachjargon heißt.

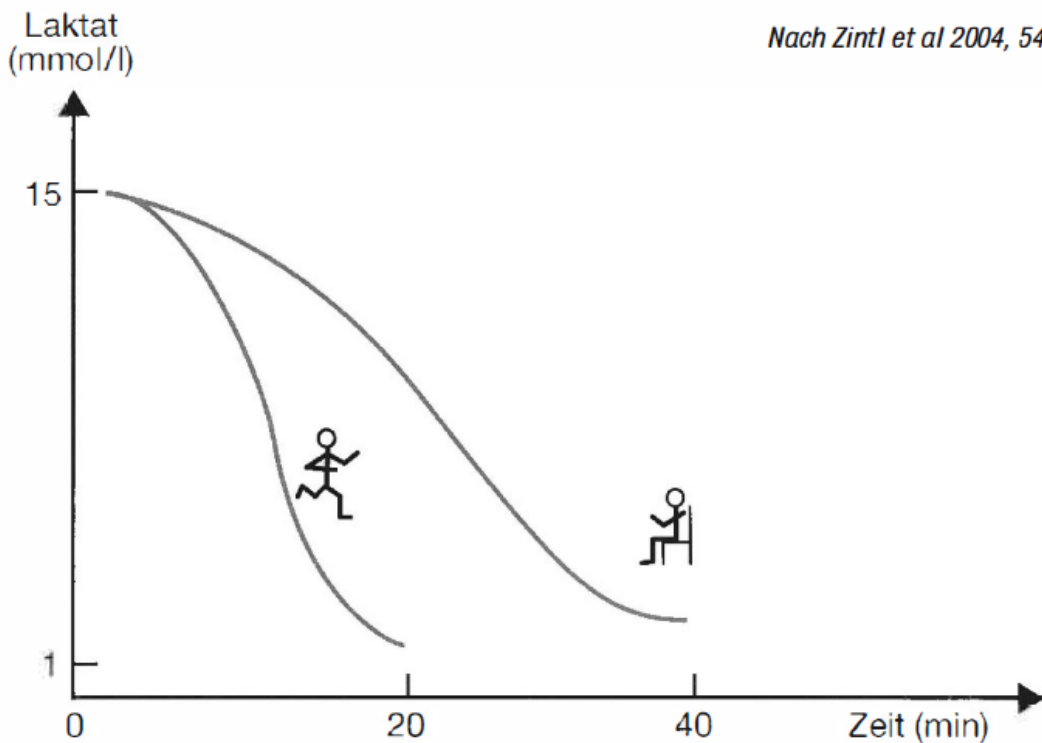
Die anaerob-laktazide Energiebereitstellung

Bei der anaeroben Glykolyse werden aus dem Abbau von 1 mol Glukose zu 2 mol Laktat nur 3 mol ATP gewonnen. Beispiel: bei kurzdauernden Belastungen wie dem 100-, 200-, 300-, 400- und 800-m-Lauf und anderen hochintensiven Aktivitäten zwischen 2 und 3 Minuten.

Das in den Blutkreislauf ausgeschwemmte Laktat wird einerseits von der Herzmuskulatur und auch vom Gehirn (!) zur Energiegewinnung herangezogen, andererseits in der Leber und in unbelasteter Muskulatur über Glukose zu Glykogen aufgebaut.

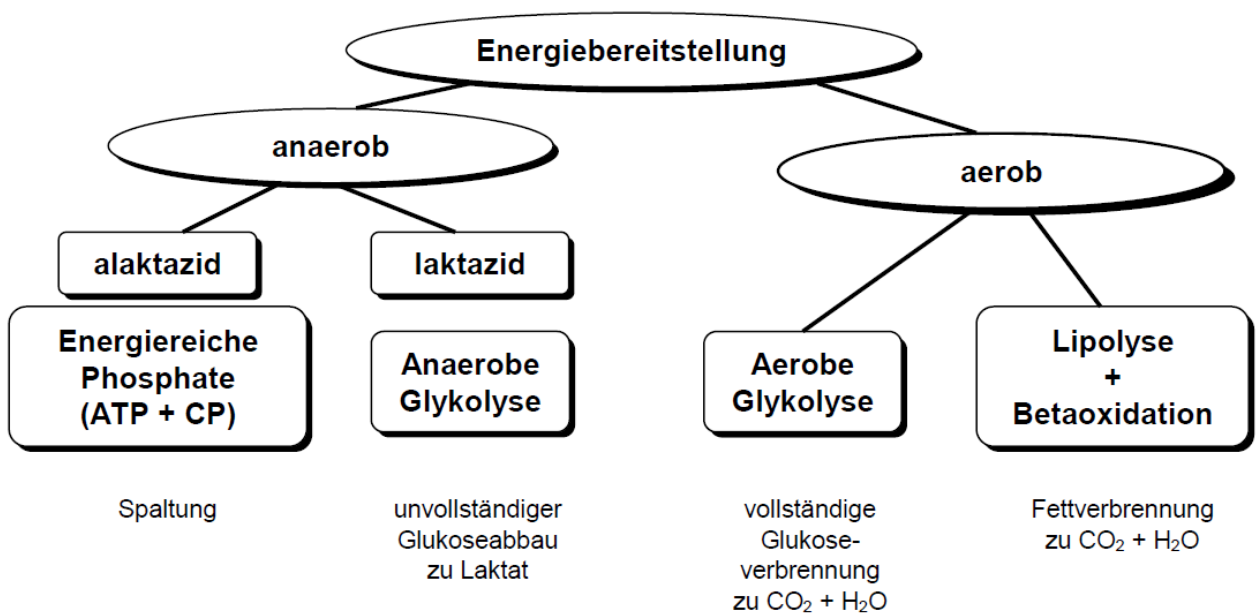
Laktat

Laktat („Milchsäure“) ist somit kein „Abfallprodukt“, sondern dient sowohl der Energiespeicherung als auch als Energielieferant. Deshalb ist es wichtig, nach einer intensiven anaeroben Belastung diese für mehrere Minuten langsam ausklingen zu lassen. Z.B. durch Auslaufen, Ausradeln, etc. Damit wird der Laktat- bzw. Säureabbau und damit die muskuläre Erholung wesentlich rascher bewerkstelligt als im Falle körperlicher Ruhe. Man nennt dies aktive Erholung.



Mechanismen der Energiegewinnung

Somit stehen dem Muskelstoffwechsel 4 Mechanismen der Energiegewinnung zur Verfügung, die je nach Intensität und Dauer der körperlichen Belastung beansprucht werden.

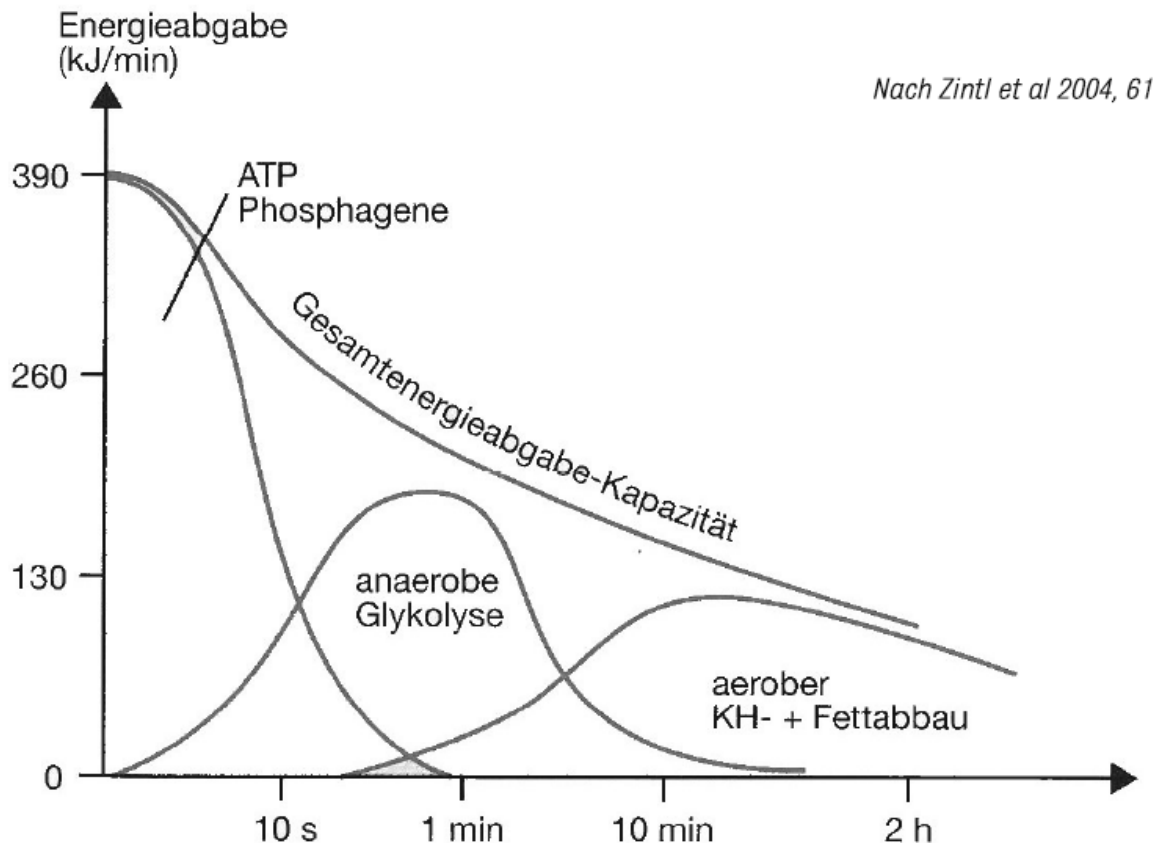


Mechanismen der Energiegewinnung

Primär bestimmt das **Ausmaß der Belastungsintensität** und nicht die Belastungsdauer, ob der alaktazide oder laktazide oder der aerobe Weg in der Energiebereitstellung eingeschlagen wird.

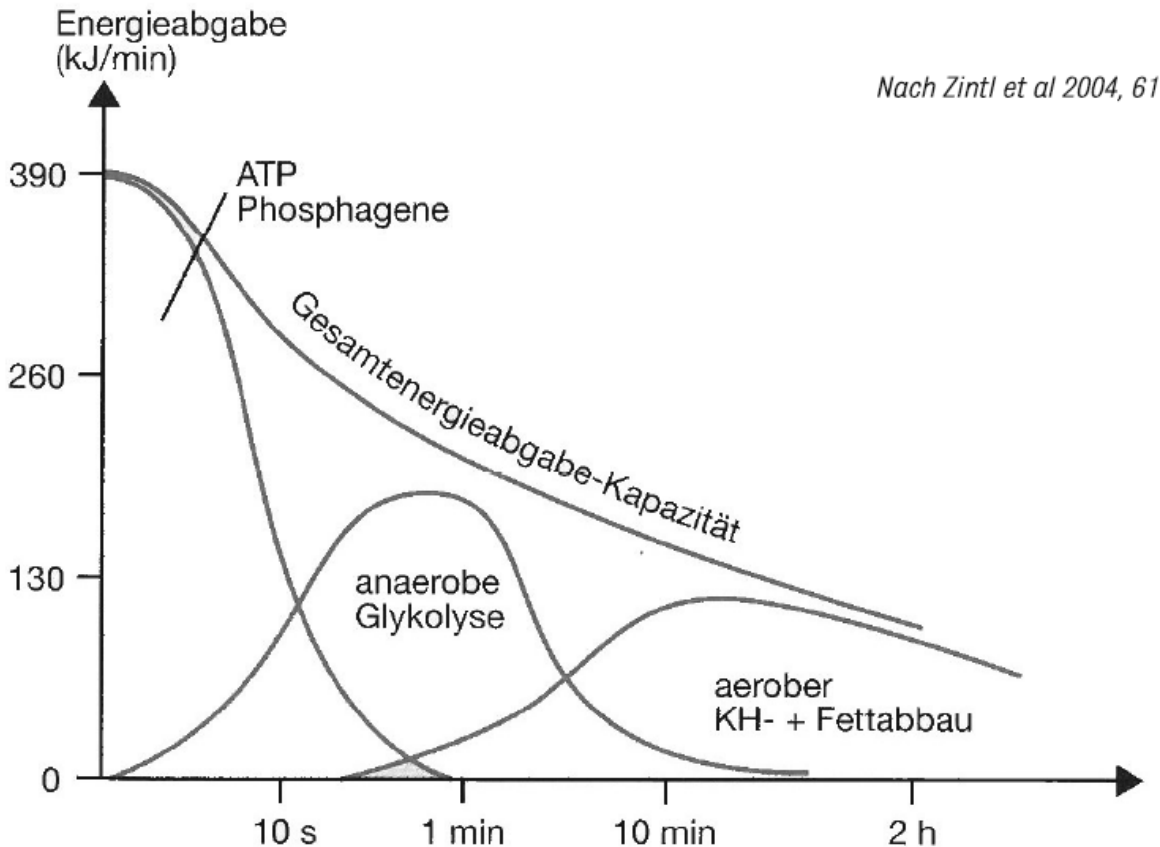
Da aber bei sportlichen Belastungen meist nicht nur ein Weg, sondern verschiedene gleichzeitig genutzt werden, können gewisse **Zeitbereiche mit dominanter Energiebereitstellung** festgestellt werden.

Energieabgabe



- im Zeitbereich unter 10 Sekunden ist der ATP und KrP Speicher ausschlaggebend
- ab ca. 25 Sekunden bis 2 Minuten dominiert die anaerobe, laktazide Glykolyse und die aerobe Glykolyse gewinnt an Bedeutung
- zwischen 2 und 10 Minuten steht die aerobe Glykolyse im Vordergrund,
- oberhalb 10 Minuten dominiert der aerobe Weg, zunächst mit dominanter Glykogenverbrennung und ab 45 bis 60 Minuten mit steigender Fettverbrennung. Der anaerobe, laktazide Weg wird weiterhin zu einem kleinen Prozentsatz in Anspruch genommen.

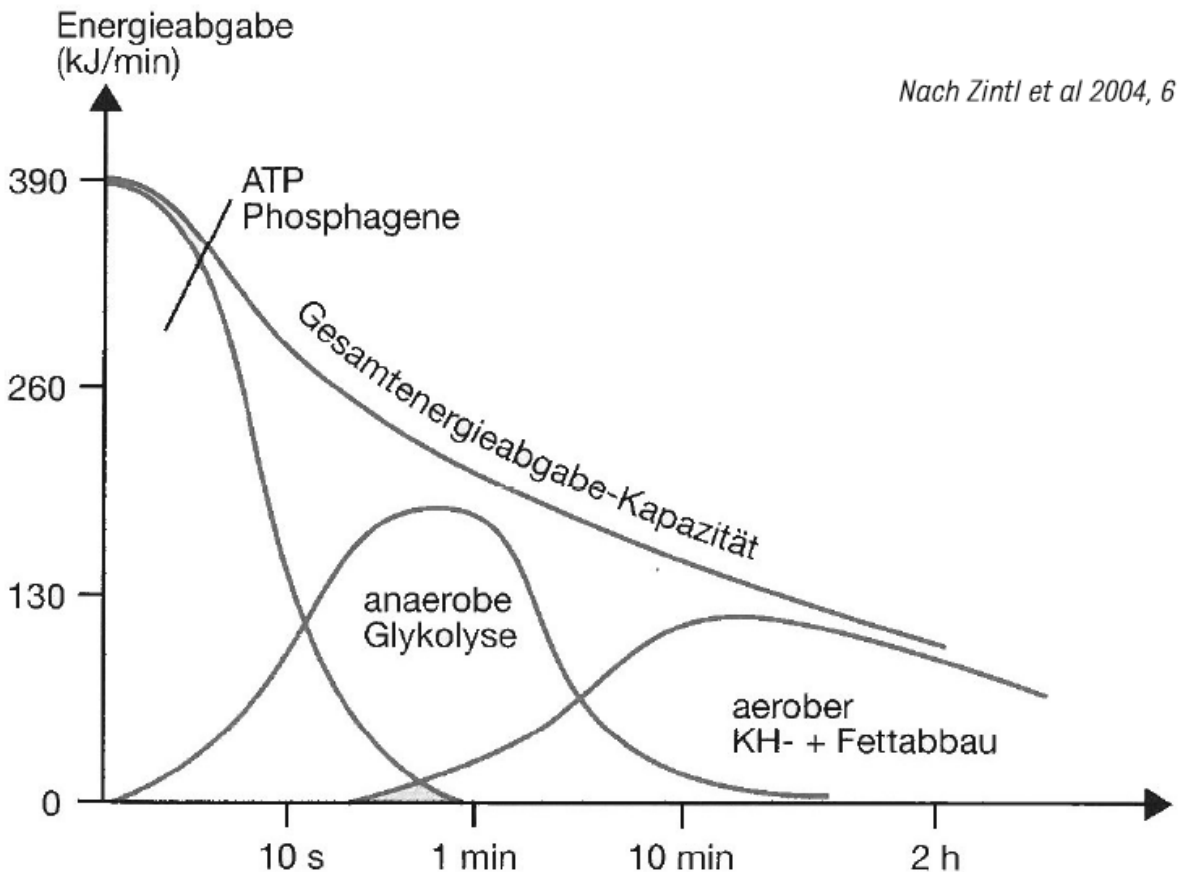
Energieabgabe



Es besteht prinzipiell immer ein “Nebeneinander” der einzelnen Mechanismen der Energiebereitstellung mit fließenden Übergängen in Abhängigkeit von der Belastungsintensität und kein “Nacheinander”, wie vielfach geglaubt wird.

Beispiel Joggen: niedrige Belastungsintensität, das bedeutet aerobe Energiebereitstellung durch vornehmlich Fettverbrennung, egal, ob nur für 5 Minuten oder 2 Stunden (Dies vorweg für alle, die dem weitverbreiteten Irrglauben unterliegen, die Fettverbrennung würde erst nach einer halben Stunde einsetzen).

Energieabgabe



- im Zeitbereich unter 10 Sekunden ist der ATP und KrP Speicher ausschlaggebend
- ab ca. 25 Sekunden bis 2 Minuten dominiert die anaerobe, laktazide Glykolyse und die aerobe Glykolyse gewinnt an Bedeutung
- zwischen 2 und 10 Minuten steht die aerobe Glykolyse im Vordergrund,
- oberhalb 10 Minuten dominiert der aerobe Weg, zunächst mit dominanter Glykogenverbrennung und ab 45 bis 60 Minuten mit steigender Fettverbrennung. Der anaerobe, laktazide Weg wird weiterhin zu einem kleinen Prozentsatz in Anspruch genommen.

Vor- und Nachteile aerober und anaerober Energiebereitstellung

aerobe Oxidation	anaerobe Glykose
– Energiebereitstellung erfolgt relativ langsam.	+ Energiebereitstellung erfolgt relativ schnell.
– Die pro Zeiteinheit freigesetzte Energiemenge ist relativ klein	+ Die pro Zeiteinheit freigesetzte Energiemenge ist relativ groß.
+ Die bereitgestellte Gesamtenergiemenge ist relativ groß. 31 mol ATP/mol Glukose aus Glykogen 130 mol ATP/mol Fettsäure	– Die Gesamtenergiemenge ist relativ klein. 3 mol ATP/mol Glukose aus Glykogen
+ keine Laktatbildung	– Laktatbildung
– in den Mitochondrien: Pyruvat und der Sauerstoff müssen in die Mitochondrien, das gebildete ATP, H ₂ O, CO ₂ verlassen die Mitochondrien wieder.	+ im Zellplasma: kein Transport der Stoffwechselprodukte.

Nach Zintl et al 2004, 59

Fazit

Aerobe und anaerobe Energiebereitstellung haben Vor- und Nachteile.

Beide Formen schließen sich nicht gegenseitig aus
- im Gegenteil - sie ergänzen sich gewissermaßen.

Welcher Weg gerade stärker bevorzugt wird, hängt von der Belastungsintensität und dem damit verbundenen Energiebedarf pro Zeiteinheit ab.