

➔ **«Ausdauertraining»**  
Naturwissenschaftliche Aspekte

## Inhalte

Was verstehen wir

- unter «Leistung» im pädagogischen Sinne?
- unter «Leistung» im physikalischen Sinne: Power (in Joule/s; Watt)?
- unter «Leistung» im physiologischen Sinne: Critical Power?

Wie stellen wir uns eine Muskelfaser vor?

→ Strukturelle und funktionelle Eigenschaften der Muskelfasern:  
Wie Muskelfasern biochemische Energie in biomechanische Energie verwandeln.

Welche Bedeutung hat der Energiestoffwechsel?

→ das Kreatin-Phosphat-System, die Glykolyse, die oxidative Phosphorylierung:  
Wie jede Muskelfaser selber für den Energienachschub sorgt.

Inwiefern sind die Enzyme leistungsbestimmend?

→ Erhöhung der Bio-Synthese-Rate als Voraussetzung jeder Leistungssteigerung  
Wie sich Training auswirkt.

Ergänzungen siehe: Hegner, J. : Training fundiert erklärt  
6. Auflage (2015)

- Leistungen im Sport
- **Körperliche Grundlagen** (S. 30 – 95; Stoffwechsel S. 78 - 88)
- **Training** (S. 98 – 125)
- Koordination und Technik
- Kraft
- Schnelligkeit
- **Ausdauer** (S. 196 – 234)
- Beweglichkeit
- Aufwärmen und regenerieren
- Leistungsdiagnostische Verfahren
- Glossar: natur- & trainings- resp. sportwissenschaftliche Begriffe
- Verzeichnisse:  
Literatur / Stichwörter / Abbildungen (Quellen) / Tabellen



### Leistungen im Sport:

Herausforderungen annehmen,  
Fortschritte erzielen,  
hochgesteckte Erwartungen erfüllen,  
die Fairness über den Wettkampferfolg  
stellen.



### Leistungen im Sport:

$$P = \text{Kraft} \times \text{Weg} / \text{Zeit}$$

$$P = \text{Arbeit} / \text{Zeit}$$

$$P = \text{Kraft} \times \text{Geschwindigkeit}$$

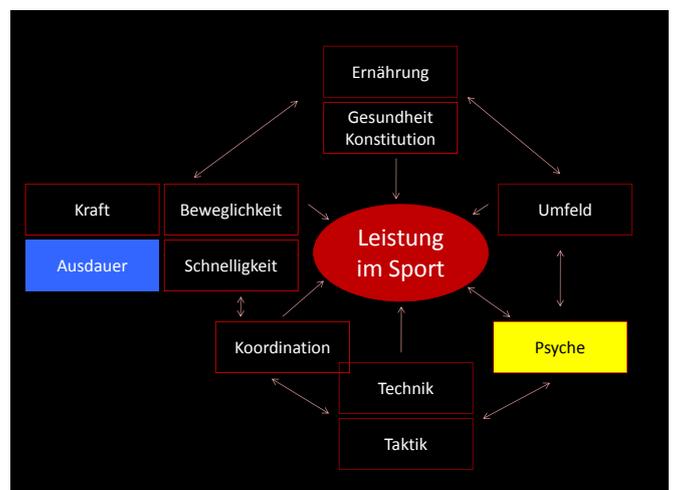
Masseinheit: Joule/s = Watt

## Ausdauer

= Fähigkeit, eine „bestimmte Leistung“  
über eine „bestimmte Dauer“ zu generieren.

= **Critical Power**

(Siehe Hegner, J. (2015): Training fundiert erklärt, S. 204



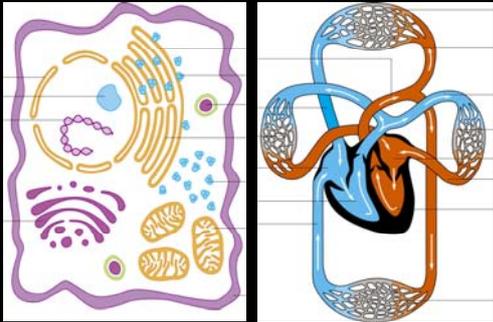
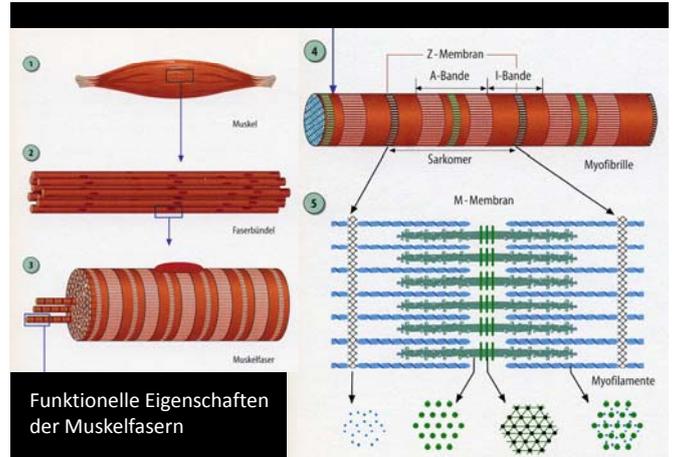


Abb. aus Hegner, J. (2015) S. 33 und S. 94

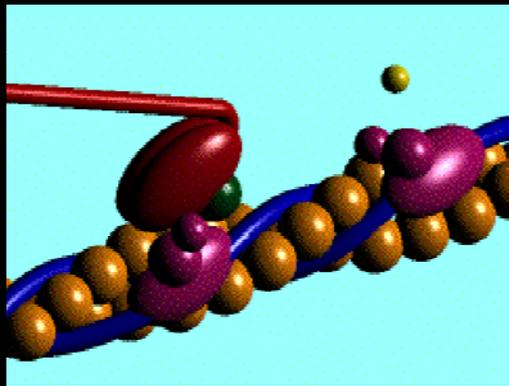
### Voraussetzungen für körperliche (Dauer-)Leistung:

Lokal: Energiestoffwechsel in den Muskelfasern  
Global: O<sub>2</sub>-Aufnahme- und Transportsystem

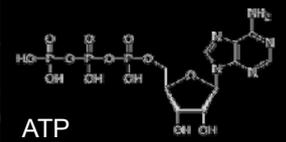


### Funktionelle Eigenschaften der Muskelfasern

Abb. Aus Löffler / Perides (1998), S. 951



Die Myosinköpfe wandeln biochemische Energie (ATP) in biomechanische Energie um.

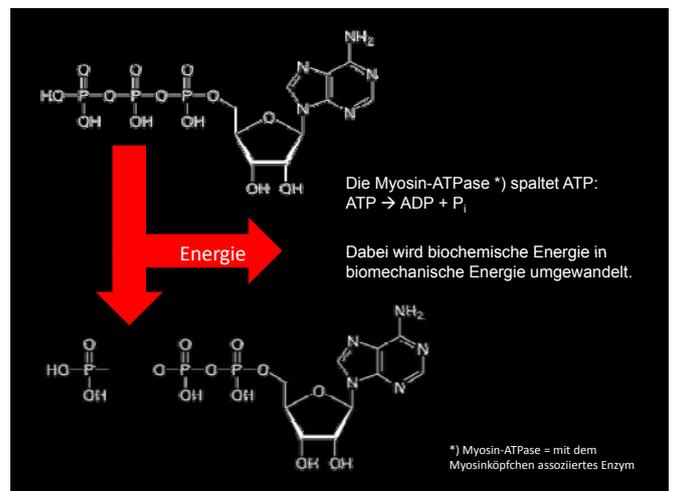


Ob wir sprinten oder spazieren:  
die Muskelfasern  
machen „es“ immer mit ATP.

Die Myosinköpfe  
(bzw. das Enzym Myosin-ATPase) spaltet  
ATP zu ADP+P<sub>i</sub> und setzt dadurch Energie  
frei für die „Kontraktion“.

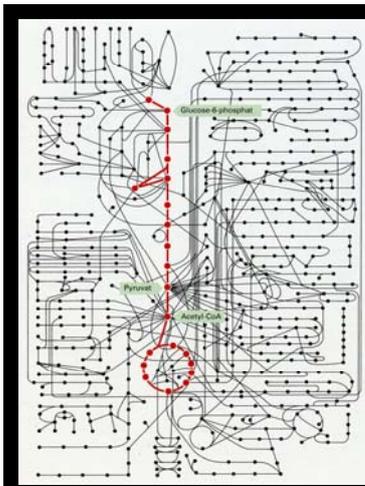


### Lineare Beziehung zwischen der Leistung und dem ATP-Bedarf



### 3 Möglichkeiten ATP zu generieren

- 1 **Das Kreatin-Phosphat-System (anaerob):**  
Kreatin-Phosphat hält jederzeit eine Phosphat-Gruppe bereit, um diese auf ADP zu übertragen:  $KrP + ADP \rightarrow Kr + ATP$ .
- 2 **Die Glykolyse (anaerob)**  
In einer Folge von biochemischen Prozessen wird Glukose ( $C_6H_{12}O_6$ ) zu Pyruvat ( $C_3H_6O_3$ ) verwandelt. Dabei wird Energie frei, die für das Recycling von  $ADP+P_i$  zu ATP genutzt wird.
- 3 **Die oxidative Phosphorylierung (aerob):**  
Pyruvat und Lipide werden zu aktivierter Essigsäure (Acetyl-CoA) umgewandelt. Diese wird in den Mitochondrien mit Hilfe von Sauerstoff zu  $H_2O$  und  $CO_2$  abgebaut. Die frei werdende Energie dient dem Recycling von  $ADP+P_i$  zu ATP.



Der Stoffwechsel liefert die Energie zur Herstellung von ATP aus ADP + P<sub>i</sub>  
 Glykolyse & Zitronensäurezyklus  
 (rot) : Herzstück des Metabolismus

Die andern (etwa 460) Reaktionen münden entweder in diese beiden zentralen Abläufe oder haben hier ihren Anfang.

**Jede biochemische Reaktion wird durch ein spezifisches Enzym ermöglicht und reguliert.**

Grafik aus Alberfs, B. et al. (1999): Lehrbuch der molekularen Zellbiologie. S. 138.

Enzyme sind Bio-Katalysatoren  
 Sie ermöglichen und regulieren alle biochemische Prozesse.

Die Enzyme arbeiten substrat- und reaktions-spezifisch sowie temperatur- und pH-abhängig

Die Enzymaktivität limitiert die Leistungsfähigkeit der Muskelfasern

Die meisten Trainingseffekte beruhen auf der Erhöhung der Aktivität der leistungsbestimmenden Enzyme

Für höhere Leistungen benötigen die Muskelfasern eine höhere Enzymaktivität: mehr Enzyme.

**Beispiele:**

Mehr Myosinköpfe  
 = mehr Myosin-ATPase = höhere Leistung

Mehr Kreatinkinase  
 = Höhere ATP-Bildungsrate beim Sprinten

Mehr Phosphofruktocinase (Schlüssel-Enzym der Glykolyse)  
 = Höhere Glykolyserate = höhere ATP-Bildungsrate im «anaeroben Bereich»

Mehr Mitochondrien  
 = Höhere ATP-Bildungsrate im «aeroben Bereich»

**Durch (adäquates) Training wird die Biosynthese der leistungsbestimmenden Enzyme stimuliert.**

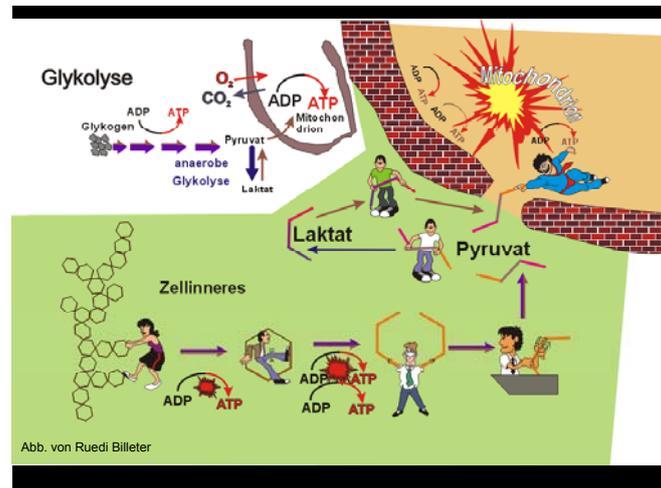
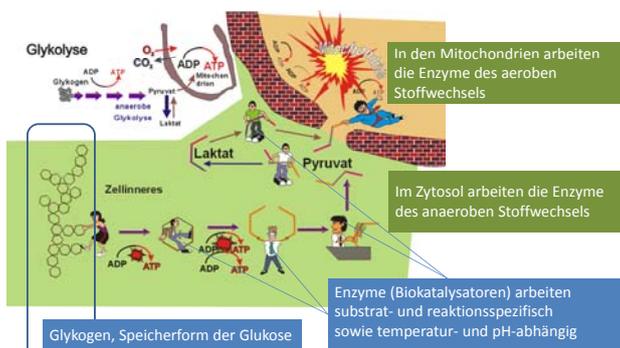
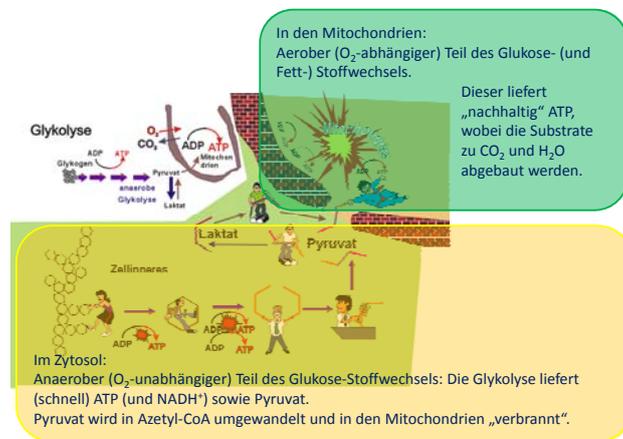


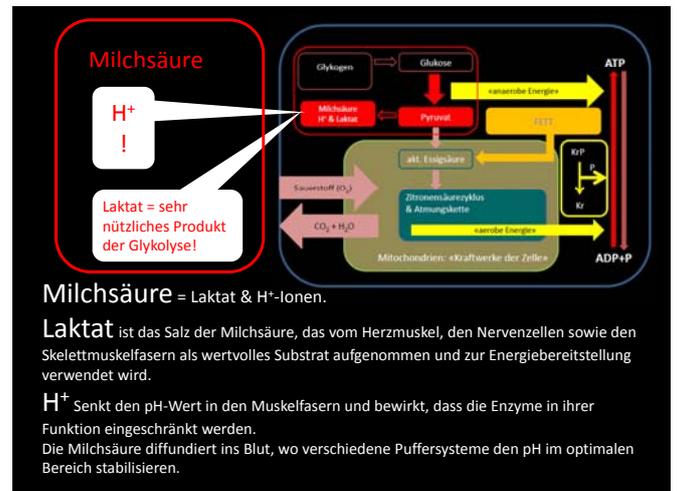
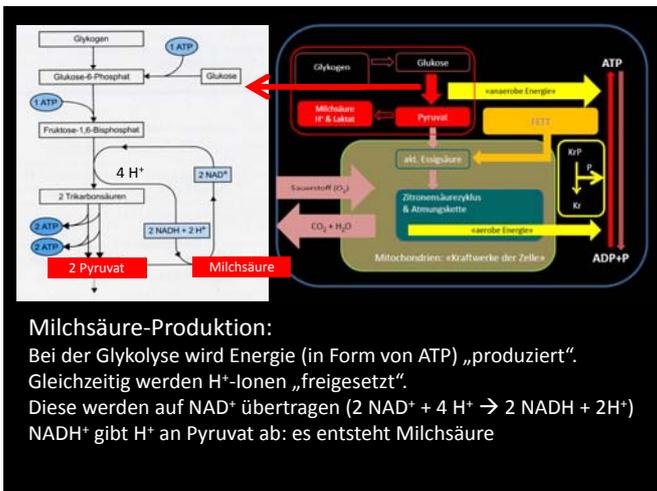
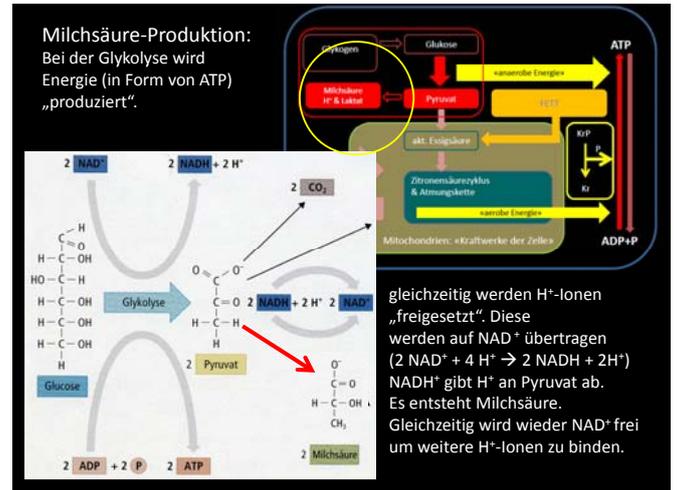
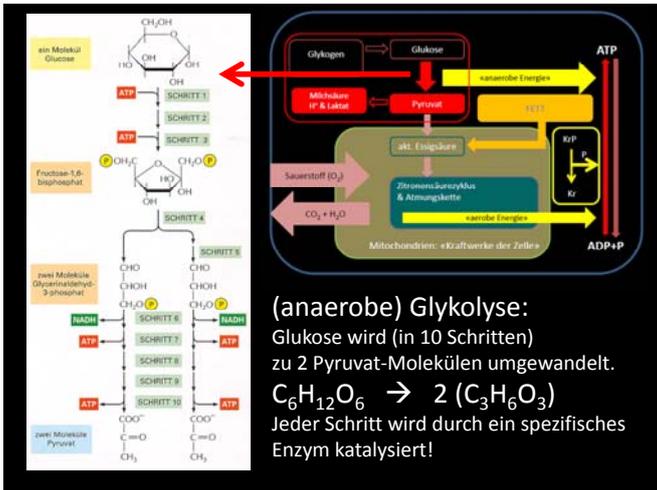
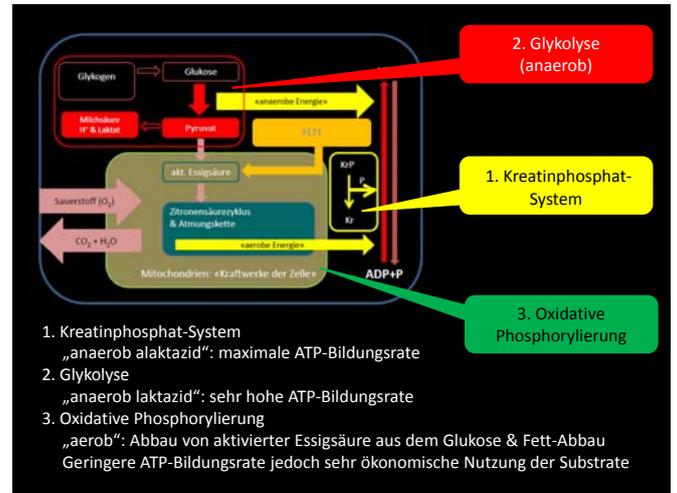
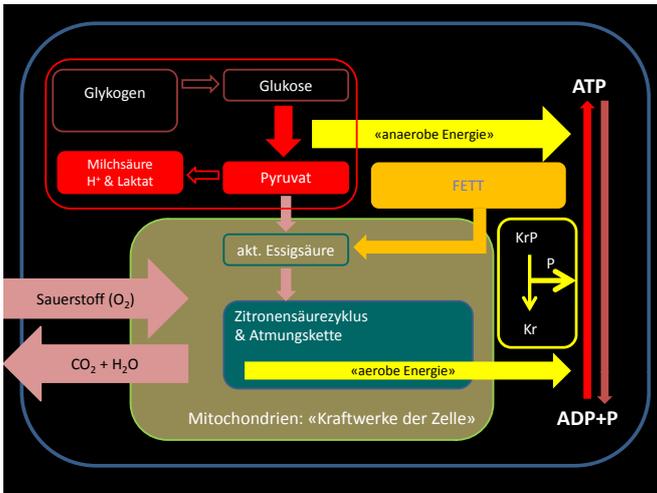
Abb. von Ruedi Billeter

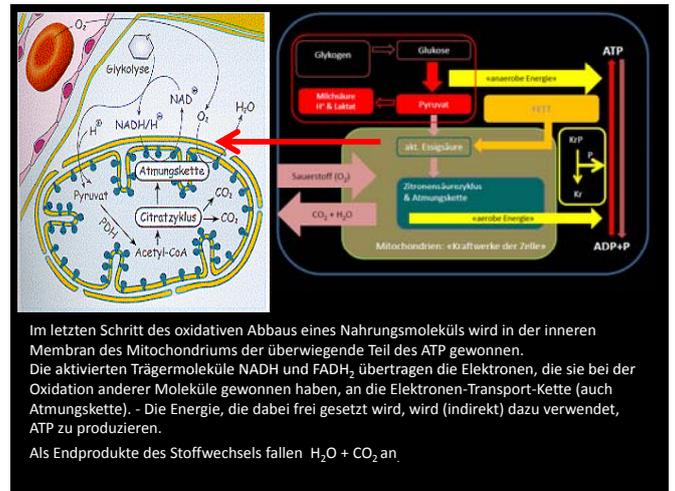
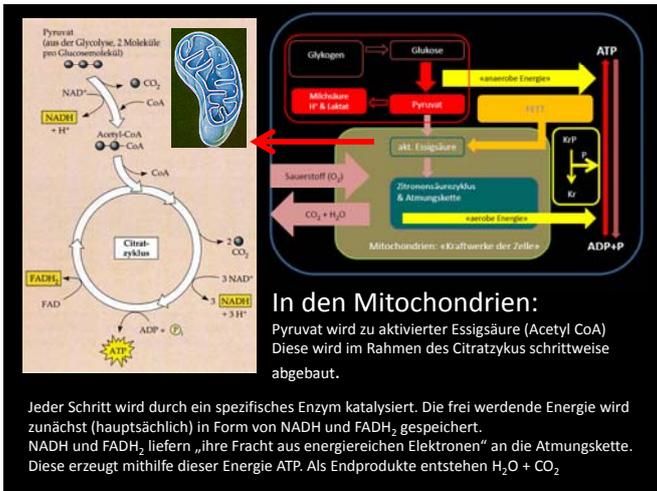


**Die Leistungsfähigkeit des Energiestoffwechsels wird beeinflusst durch das Substratangebot und die Enzymaktivität**

Abb. von Ruedi Billeter





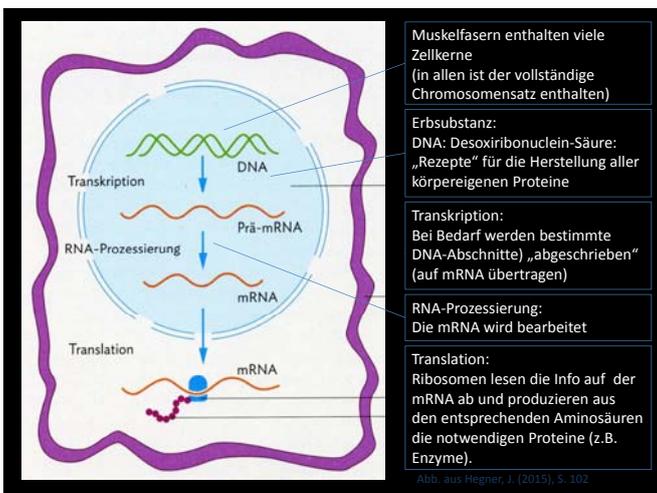
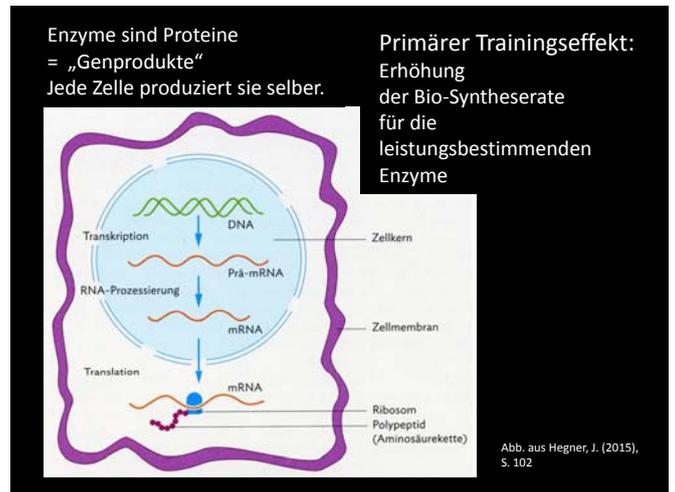


Unser Organismus gehorcht den Gesetzen der Natur.

Was beansprucht wird, entwickelt sich und bleibt erhalten, was nicht gebraucht wird, bildet sich zurück.

**Use it or lose it!**

Der Grundsatz gilt für alle biologischen Strukturen: Knochensubstanz, Muskelmasse, Synapsen im neuronalen Netzwerk des ZNS und auch für die Funktions-Eiweiße, z.B. die Enzyme



Wie müssen wir trainieren, damit die Biosyntheserate der leistungsrelevanten Enzyme erhöht wird,

→ damit wir «besser werden», das heißt damit wir unsere aerobe und anaerobe Leistungsfähigkeit, unsere Critical Power verbessern können?

**Siehe: «Ausdauertraining» Methodische Aspekte**