

# Ermüdung durch Akkumulation



## Arbeitsauftrag

---

### Hinweise zum Vorgehen

- Lest zunächst einzeln den folgenden Theorietext zum Thema Energiebereitstellung & Laktatakkumulation mit den dazugehörigen Abbildungen, aufmerksam durch.
- Versucht gemeinsam mit diesen Informationen und eurem Vorwissen zu erklären, wie genau körperlich Ermüdung durch Akkumulation physiologisch zustande kommt.
- Schreibt dies in eigenen Sätzen und Stichworten auf der letzten Seite des Arbeitsblattes auf.
- Fasst anschliessend eure Erkenntnisse und wichtigsten Punkte auf einem Flipchart zusammen.
- Bereitet euch auf eine kurze 2-minütige Präsentation mit dem Flipchart im Plenum vor.
- Überlegt euch, wo im physiologischen Übersichtsmodell ihr die Ermüdung durch Akkumulation lokalisieren würdet.

### Ziel

- Ihr könnt euren Mitstudenten, mittels Flipchart und kurzem mündlichem Vortrag erklären, wie es zur Ermüdung durch Akkumulation im Körper kommt

### Hilfsmittel

- Theorietext
- Flipchart & Stifte

**Verfügbare Zeit:** 15min

**Sozialform:** Partnerarbeit

## Repetition der Energiebereitstellung

---

Damit eine sportliche Leistung, zum Beispiel Laufen, ausgeführt werden kann, benötigt der Körper Energie. Diese Energie liegt im menschlichen Körper als Adenosintriphosphat (ATP) vor. ATP muss resynthetisiert werden damit eine kontinuierliche Energiebereitstellung gewährleistet ist. Auch bei hohen Muskelleistungen sinkt die ATP-Konzentration kaum ab, weil vier Stoffwechselforgänge im menschlichen Organismus genügen und ATP resynthetisieren können.

Folgende Abbildung soll euch helfen die Energiebereitstellung auf einfache Weise zu repetieren:

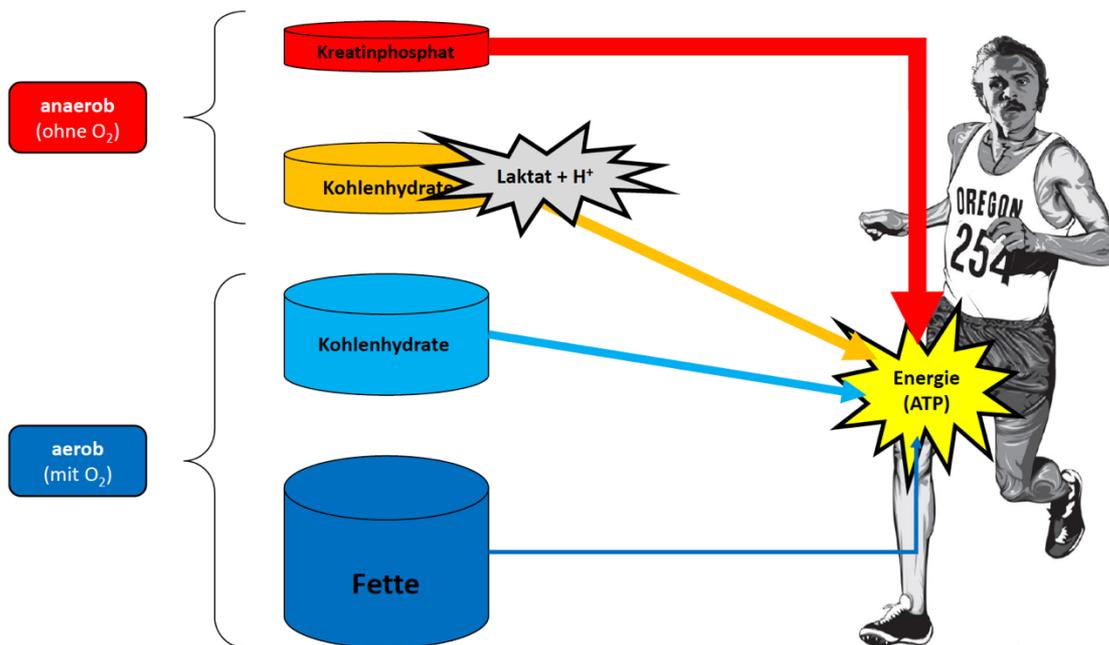


Abbildung 1: Vier Stoffwechsellagerungen für die Energiebereitstellung bei sportlicher Belastung.

Zur Vereinfachung gehen wir von vier möglichen Wegen aus, die der menschliche Organismus für die Energiebereitstellung nutzen kann:

- Hydrolyse von Kreatin:  $KP + ADPP \rightarrow ATP + \text{Kreatin} + \text{Phosphat}$
- Anaerobe Glykolyse:  $\text{Glucose} + ADP + NAD^+ \rightarrow \text{Pyruvat} + ATP + NADH \rightarrow \text{Laktat} + H^+$
- Aerobe Glykolyse:  $\text{Glucose} + ADP + O_2 \rightarrow \text{Pyruvat} + ATP \rightarrow CO_2 + \text{Acetyl-CoA}$
- Oxidation von Fettsäuren: Fettsäuren werden via Beta-Oxidation dem Zitronensäurezyklus zugeführt mit zusätzlichem Acetyl-CoA wird NADH frei  
 $\rightarrow NADH$  wird für die oxidative Phosphorylierung zur Produktion von **ATP** genutzt.

Die Energiequellen für diese vier Stoffwechsellagerungen werden in Abbildung 1 als vier verschiedene Gefäße dargestellt. Zuunterst stehen die Fette, dann zweimal die Kohlenhydrate und zuoberst das Kreatinphosphat. Das sind die sogenannten Energiesubstrate. Aus diesen Substraten gewinnt der Körper Energie in Form von ATP, um eine sportliche Leistung zu erbringen. Die unterschiedliche Größe der Kanister ist proportional zur Gesamtspeichermenge an Energie im jeweiligen Substrat. Das heißt im Fett ist sehr viel Energie gespeichert und Fett ist daher ein hochenergetisches Energiesubstrat. Nach oben abnehmend sind Kohlenhydrate etwas weniger energetisch und das Kreatinphosphat, ganz zuoberst, hat sehr wenig Energie gespeichert. Genau umgekehrt proportional zu den Gefäßen ist die Pfeildicke zu interpretieren. Die Pfeile stehen für die Energieflussrate. Beim Fett haben wir einen sehr dünnen Pfeil und beim Kreatinphosphat einen sehr dicken Pfeil. Das bedeutet, dass obwohl im Fett sehr viel Energie gespeichert ist, nur wenig Energie pro Zeiteinheit aus diesem Gefäß genutzt werden kann. Der Energiefluss ist sehr klein für die Fette und vergleichsweise sehr groß für das Kreatinphosphat.

Eine wichtige Unterscheidung dieser Energiequellen ist in der Abbildung 1 ganz links dargestellt. Man unterscheidet zwischen aerober und anaerober Energiebereitstellung. Mit Hilfe des Sauerstoffs werden Fette und Kohlenhydrate zu verwendbarer Energie abgebaut. Kreatinphosphat als auch Kohlenhydrate werden durch den Stoffwechsel ohne Sauerstoff für die ATP-Resynthese genutzt. Kohlenhydrate können sowohl aerob als auch anaerob verstoffwechselt werden. Dabei unterscheidet man bei der Verwendung von Kohlenhydraten für die Energiebereitstellung zwischen der aeroben und anaeroben Glykolyse. Bei der anaeroben Glykolyse entsteht Laktat und ist daher immer ein Indikator für anaerobe Energiebereitstellung.

## Akkumulation von Laktat im Körper

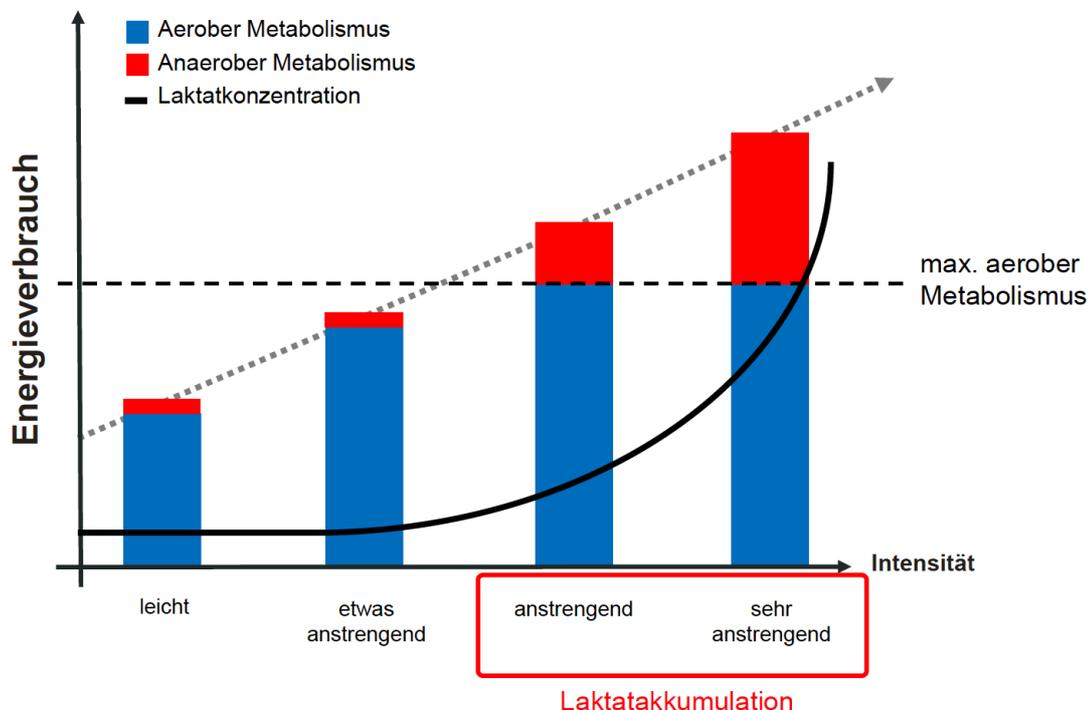


Abbildung 2: Laktatkurvenverlauf und Energieverbrauch in Abhängigkeit der Intensität bei einer sportlichen Belastung

Das Diagramm in Abbildung 2 zeigt auf der x-Achse die zunehmende Intensität bei einer sportlichen Belastung und auf der y-Achse den steigenden Energieverbrauch. Das heißt, je mehr geleistet wird, desto mehr Energie muss aufgewendet werden. Zusätzlich zeigt das Diagramm auf, wie die Energiebereitstellung bei der jeweiligen Anstrengung in aeroben und anaeroben Metabolismus aufgeteilt ist.

Der gesamte Energieverbrauch entspricht jeweils der Säulenhöhe, welche mit zunehmender Intensität immer höher wird. Dabei ist die Aufteilung von aerober Energiebereitstellung in Blau und die anaerobe Energiebereitstellung in Rot dargestellt.

Betrachtet man den Verlauf der aeroben Energiebereitstellung zeigt sich, dass dieser irgendwann nicht mehr ansteigt. Der blaue Balken nimmt nicht weiter zu. Bis zur Intensität von «etwas anstrengend», gibt es praktisch nur aerobe Energiebereitstellung. Steigt die Intensität jedoch weiter an, kann die Energiebereitstellung für diese Belastung nicht mehr nur mit Sauerstoff gedeckt werden. Die zusätzlich benötigte Energie muss über anaerobe Glykolyse bereitgestellt werden. Die Intensität der Leistung bestimmt daher den Stoffwechseleinsatz. Wenn die Energieflussrate, so gross ist, dass Kohlenhydrate anaerob abgebaut verwendet werden müssen, um die Leistung bei gegebener Intensität zu erbringen, akkumuliert Laktat. «Anstrengende» und «sehr anstrengende» Intensitäten während dem Sport werden daher nur über die zusätzliche anaerobe Energie Bereitstellung gewährleistet. Die Laktatkonzentration ist ein Indikator von anaerober Energiebereitstellung und wird in diesem Diagramm durch die schwarze Kurve dargestellt.

Die Laktatkonzentration nimmt proportional zur anaerobem Energiebereitstellung, dem roten Teil der Säule, zu. Der Wert ist zunächst sehr tief und die Kurve verläuft flach und nimmt zu, sobald die rote Fläche ansteigt. Die Laktatkonzentration steigt bei hoher und sehr hoher anstrengender Aktivität somit an. Dies führt zu einer metabolischen Azidose und kann zu einer Abnahme des pH-Wertes im Blut bis zu 6.4 führen.

## **Ermüdung durch Akkumulation**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---