

---

Lieber Sportkurs,

**ihr habt weiterhin die Aufgabe anhand des Trainingsplanes den 30-Minuten-Lauf zu trainieren. Bereits Fortgeschrittene sollten vorwiegend nach der Dauer Methode trainieren (ohne Pause laufen) und dabei das Tempo steigern.**

**Aber auch in der Sporttheorie müssen wir weitergehen und das Thema *Energiebereitstellung*, was Celina in ihrem Vortrag schon angeschnitten hat, vertiefen.**

---

**Ausdauer**

**Was versteht man unter dem Begriff Ausdauer(Leistungsfähigkeit)?**

Ausdauer ist die physische und psychische Widerstandsfähigkeit gegenüber Ermüdung bei relativ lang anhaltenden Belastungen und die rasche Wiederherstellungsfähigkeit nach der Belastung (**wichtig!**)

Jemand mit guter Ausdauer ermüdet weder körperlich noch geistig (ist motiviert zur körperlichen Leistung) und erholt sich nach einer körperlichen Belastung sehr schnell wieder.

Der Erholungspuls – 1 Minute nach Belastungsende – liegt bereits sehr deutlich unter dem Belastungspuls.

**Aerobe** Ausdauer bedeutet grob, dass für die zelluläre Energieproduktion (ATP-Bildung) in den Mitochondrien ein **Sauerstoffgleichgewicht** vorliegt. Die **aufgenommene Sauerstoffmenge reicht** aus, um die für die Leistung benötigte Energiemenge (durch Abbau der Energiespeicher Glykogen (= tierische Stärke) und Fett) sicherzustellen.

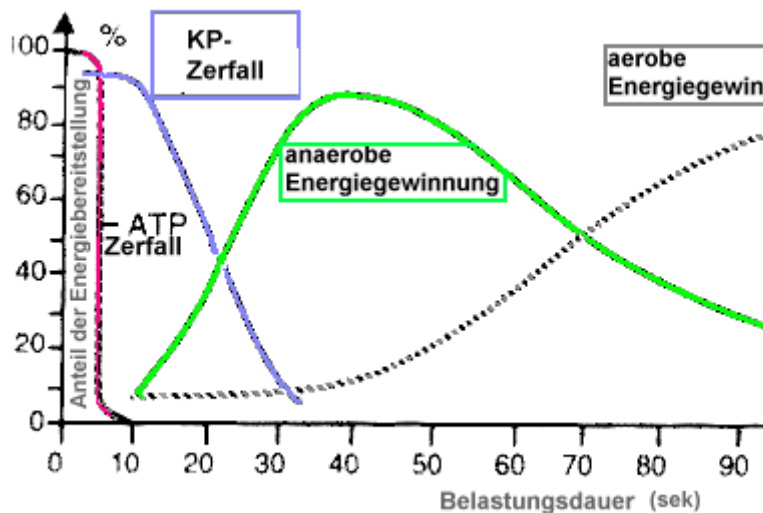
Wird mit höherer Belastungsintensität (vor allem mit höherem Lauftempo) trainiert, so besteht dieses Gleichgewicht nicht mehr. Die Zellen benötigen mehr Energie, als sie mithilfe des angelieferten Sauerstoffs in den Mitochondrien (Ort der Zellatmung) herstellen können.

Diese zusätzliche Energie gewinnt die Zelle durch die Milchsäuregärung. In den Zellen fällt dann zunehmend Milchsäure (**Lactat**) an, die auch ins Blut abgegeben wird.

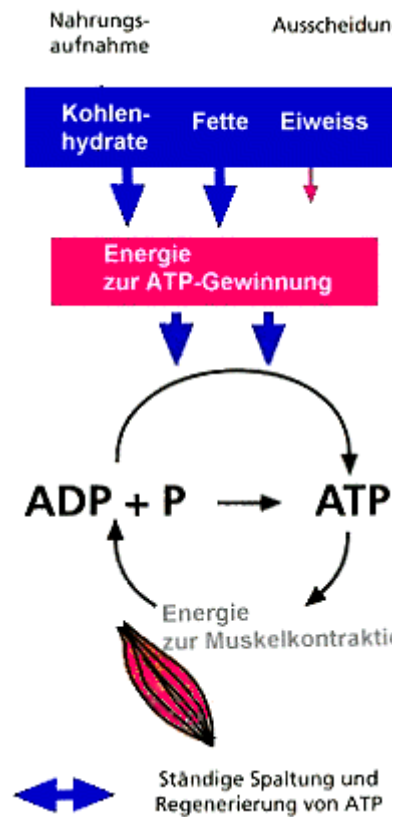
## Energiegewinnung in der Muskelzelle Bedeutung des Energiestoffwechsels bei Ausdauerleistungen

Die Energie für sportliche Leistungen wird nicht unmittelbar aus der Nahrung (Kohlenhydrate, Fette, Eiweiße) gewonnen. Das in allen Körperzellen gespeicherte **Adenosintri-phosphat (ATP)** liefert die notwendige Energie. Je nach Beanspruchung können dabei unterschiedliche Phasen der Energiebereitstellung durchlaufen werden.

Wichtig dabei ist, ob dies mit ausreichender Sauerstoffaufnahme (aerob) oder unzureichender Sauerstoffaufnahme (anaerob) geschieht und ob dabei Laktat (Milchsäure) entsteht oder nicht. Bei einem 800m-Lauf sieht dies ungefähr so aus:



(nach Keul u.a)



Voraussetzung für jede körperliche Arbeit ist ein reibungsloser **ATP-Nachschub**. Denn die in den Muskelzellen gelagerten Mengen reichen bei starker Beanspruchung gerade für ein bis drei Kontraktionen aus.

Und auch durch gezieltes Training wachsen die ATP-Depots im Vergleich zu Untrainierten und Ausdauerathleten nur um bis zu 20 Prozent.

Ist der Vorrat erschöpft, zapft die Zelle unterschiedliche Energiequellen an:

Zunächst greift sie auf einen Energie-Zwischenspeicher zurück, das **Kreatinphosphat (KP)**. Mit dessen Hilfe regeneriert sie Adenosintri-phosphat aus dem Vorläufermolekül **Adenosindiphosphat (ADP)**.

Bei voller Leistung geht allerdings auch der KP-Vorrat nach sechs bis acht Sekunden zur Neige - wobei Sportler ihn besser ausschöpfen als Untrainierte...

Dauerleistungen vermag die Muskulatur nur dank zweier Stoffwechselmechanismen zu vollbringen. Beim einen verbrennt sie den Traubenzucker Glukose sowie die aus Fetten stammenden Fettsäuren unter Sauerstoffverbrauch - "**aerob**".

Beim anderen baut sie Glukosemoleküle ohne Sauerstoff "**anaerob**" ab. Beide Prozesse laufen **immer**, allerdings auf unterschiedlich hohen Touren.

Fließt mit dem Blut genug Sauerstoff heran, hat das aerobe System in den Kraftwerken der Zelle, den Mitochondrien, Vorfahrt. Im Zusammenspiel einer großen Zahl biochemischer Reaktionen werden dort Kohlenhydrate und Fettsäuren zu Kohlendioxid abgebaut. Der dabei freigesetzte Wasserstoff wird zu Wasser verbrannt und die gewonnene Energie im ATP gespeichert.

Verbraucht die Muskulatur mehr ATP als der aerobe Energiegenerator liefern kann, tritt der anaerobe Stoffwechsel in den Vordergrund: Die Zellen gewinnen ATP, indem sie Glukose über mehrere Zwischenstufen in das "Abfallprodukt" **Laktat (Milchsäure)** verwandeln. Die Säure reichert sich in den Muskelfasern und schließlich im Blut an.

Die Folge: Der Organismus wird buchstäblich sauer, die im Stoffwechsel unentbehrlichen Enzyme werden gehemmt, und dem Sportler werden die Beine schwer.

## → Hauptziel des Ausdauertrainings

= aerobe Kapazität steigern und den Übergang vom aeroben zum anaeroben System so lange wie möglich hinauszögern

Den Effekt erreicht bereits, wer dreimal pro Woche jeweils für 30 bis 45 Minuten bei einem Puls von etwa 130 bis 150 läuft, schwimmt oder Rad fährt.

### Empfehlung für euer Training:

- gleichmäßig laufen in einem für euch angemessenen Tempo
- nicht zu schnell starten (durch zu hohe Laufintensität werden mögliche gesundheitliche Anpassungen des Herz-Kreislaufsystems nicht optimal genutzt)
- Puls von etwa 130 - 150 Schlägen pro Minute (**bpm** – man kann mit **Musik** in entsprechendem Tempo die Laufgeschwindigkeit kontrollieren)

Die dann effizientere Energieversorgung durch regelmäßiges, optimales Training beruht auf vielen, kleinen **Anpassungen**

- Mitochondrien werden zahlreicher und größer
- Enzyme vor allem des aeroben, aber auch des anaeroben Stoffwechsels werden aktiver
- Muskelzelle synthetisiert mehr Myoglobin (Hämoglobin verwandte Molekül transportiert den Sauerstoff von der Zellhülle in die Mitochondrien)
- Glukosereservoir der Muskulatur wächst (auf den gesamten Körper bezogen von 300 auf 400 bis 500 Gramm)

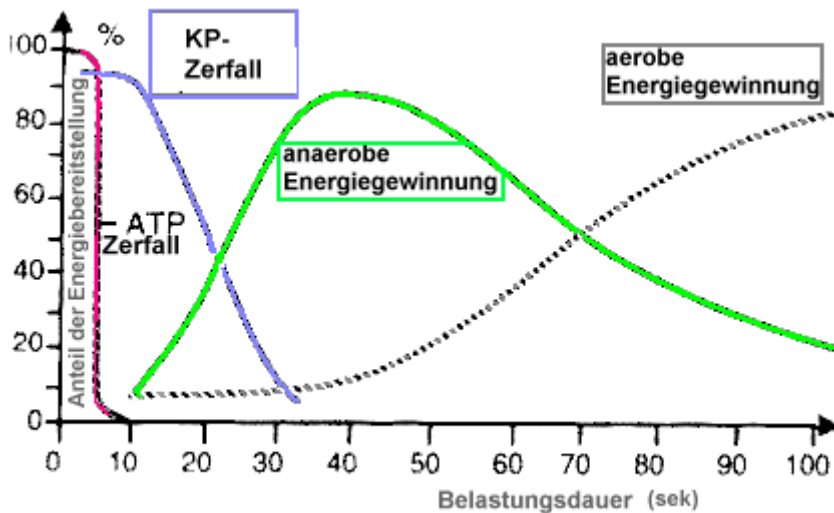
Eine ausdauertrainierte Muskelzelle schont diese Zuckerreserven so lange wie möglich. Bei Dauerbelastungen speist sie bevorzugt Fettsäuren in den Stoffwechsel ein. 70 bis 90 Prozent des Energiebedarfs einer leichten bis mittelschweren Tätigkeit deckt sie auf diesem Wege. Der Vorrang dieses Brennstoffs ist sehr sinnvoll: Die Fettvorräte des Körpers sind nahezu unerschöpflich!

## Sehr verwirrend?! Hier folgt nochmal die Erklärung des obigen Schemas:

### 1. Die **anaerob-laktazide** Phase der Energiebereitstellung

(= **kein Sauerstoff erforderlich**, **keine Milchsäure als Stoffwechselendprodukt**).

→ **rote** und **blaue** Kurve



Zunächst zerfällt das in den Mitochondrien vorhandene ATP. Das ATP zerfällt bei der Muskelkontraktion in das Adenosindiphosphat (ADP) und einen Phosphatrest P.

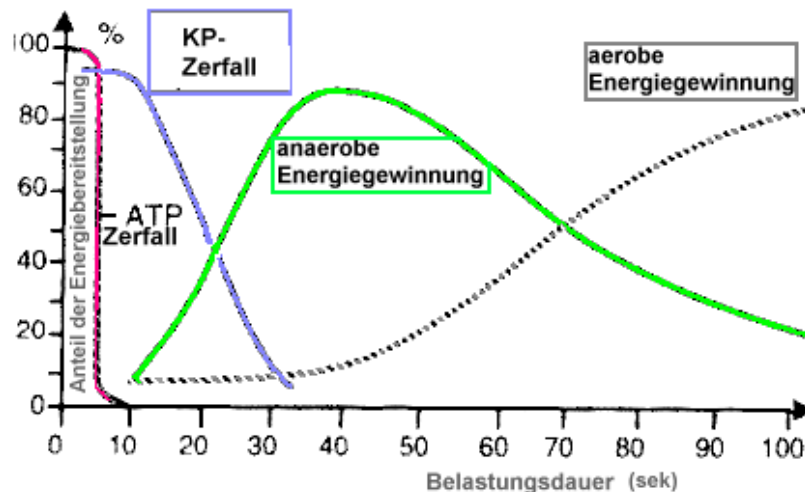
Der Körper muss dann dafür sorgen, dass neues ATP hergestellt wird. Die Energie eines weiteren Phosphats in der Muskelzelle, des Kreatinphosphats (KP), sorgt kurzfristig dafür, dass aus ADP und P wieder ATP entsteht (Resynthese von ATP).

### 2. Die **anaerob-laktazide** Energiebereitstellung

(= **kein Sauerstoff erforderlich**, **Milchsäure entsteht als Stoffwechselendprodukt**).

→ **grüne** Kurve

Noch bevor die Vorräte an energiereichen Phosphaten verbraucht sind, ist die nächstschnellere Variante des Energiestoffwechsels aktiv geworden, die **anaerob-laktazide Energiebereitstellung** durch den Abbau von Glukose. Bereits nach einigen Sekunden wird die anaerob-laktazide Energiebereitstellung genutzt. Dieser Weg wird immer dann bestritten, wenn nicht genug Sauerstoff zur Energiegewinnung zur Verfügung steht.



Die benötigte Energie steht dabei schnell zur Verfügung, die Energieausbeute ist aber gering, da das Zuckermolekül nicht vollständig zerlegt wird. Es entsteht Milchsäure (Laktat), die schnell zur Ermüdung führt, wenn sie sich verstärkt anhäuft.

Die Ausbeute von 2 Molekülen ATP aus einem Molekül Glukose ist gering; der anaerob-laktazide Stoffwechsel arbeitet also in Hinblick auf die Ausnutzung der Nahrungskohlenhydrate unökonomisch. Bei erschöpfenden Anstrengungen mit einer Belastungsdauer von etwa einer Minute wird der anaerob-laktazide Stoffwechsel ausgereizt; mit einem Anteil von maximal rund 70 % an der Gesamtenergieproduktion wird ein Höhepunkt etwa 45 Sekunden nach Beginn der harten zusätzlichen körperlichen Belastung erreicht. Im Spitzenbereich werden bei Auslastung des anaerob-laktaziden Stoffwechsels Laktatkonzentrationen bis zu 25 mmol/liter im Blut gemessen; in dieser Hinsicht Untrainierte erreichen 7-8 mmol/l.

### 3. **Der aerob-alaktazide Abbau von Glukose und Fett(säuren)** (=**Sauerstoff** erforderlich, **keine Milchsäure entsteht als Stoffwechselprodukt**).

→ graue Kurve

Nur wenn genug Sauerstoff zur Verfügung steht, kann die Glucose vollständig abgebaut werden. Dieser Vorgang dauert aber deutlich länger, wie man der Grafik entnehmen kann. Die Energieausbeute ist aber deutlich größer (38 Moleküle ATP aus einem Zuckermolekül). Auf aeroben Weg können zudem auch die Fettsäuren abgebaut werden.

Quelle: Sportunterricht.de

**Das alles nachzuvollziehen, ist auf Anhieb nicht so einfach, da die Energiebereitstellung ein sehr komplexes Thema ist. In diesem Video wird die Energiebereitstellung an praktischen Beispielen und verständlich erklärt:**

→ <https://www.youtube.com/watch?v=NvMHmN83pi0>