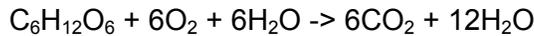


## 1 Zellatmung: Übersicht

- (a) Unter dem Begriff Zellatmung versteht man den vollständigen Abbau von Glucose zu Wasser und Kohlendioxid:

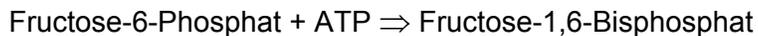


Die Energie, die bei diesem Prozess frei wird, wird zur Bildung von ATP genutzt, dem Energieträger jeder Zelle. Ausserdem werden verschiedenste Intermediate dieses Abbauweges als Ausgangssubstrat für die Biosynthese diverser Zellbausteine verwendet.

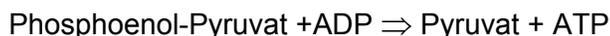
- (b) (a)  $O_2$  wird in der Atmungskette zu  $H_2O$  reduziert  
(b) ADP wird durch die Bindung eines Phosphates zu ATP  
(c) Glucose wird vollständig zu  $H_2O$  und  $CO_2$  abgebaut  
(d)  $NAD^+$  wird zu NADH reduziert.  
(e) Pyruvat wird decarboxyliert. Diese exergonische Reaktion ist gekoppelt mit der Bindung von Coenzym A an Pyruvat. Das entstehende energiereiche Acetyl-CoA gelangt dann in den Citratzyklus.  
(f) NADH wird in der Atmungskette zu  $NAD^+$  oxidiert. Dabei wird ein Protonengradient aufgebaut.
- (d) Aminosäuren, Nukleinsäuren und Fettsäuren

## 2 Produktion von ATP

- (a) Während der Glycolyse werden zuerst zwei ATP verbraucht:



Dann werden aber pro Glucosemolekül 4 ATP Moleküle gebildet:



Macht unter dem Strich zwei gebildete ATPs pro Glucosemolekül.

Im Citratzyklus wird bei der Umwandlung von Succinyl CoA zu Succinat ein GTP gebildet, was dann aber für die Bildung eines ATPs verwendet wird. Das heisst im Citratzyklus werden pro Glucosemolekül zwei ATPs gebildet.

In der Atmungskette stellt die ATP-Synthase, die durch den Protonengradienten angetrieben wird, aus ADP und Phosphat ATP her. Pro Glucosemolekül sind dies ungefähr 34 ATP's.

Es werden also insgesamt 38 ATP's pro Glycosemolekül hergestellt. Den Hauptanteil des ATPs wird dabei durch die ATP-Synthase gebildet.

- (b) Die ATP-Synthase nützt den Protonengradienten, der durch die Oxidation von NADH entsteht, als Energiequelle. Die zurückfliessenden Protonen treiben die ATP-Synthase an, ähnlich wie das Wasser aus einem Staudamm die Turbine. Diese Energie kann die ATP-Synthase für die Herstellung von ATP brauchen. In diesem Fall spricht man von oxidativer Phosphorylation, da die Oxidation eines Substrates mit der Synthese von ATP gekoppelt ist.

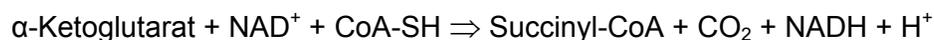
In der Glycolyse oder dem Citratzyklus wird eine exergonische Reaktion direkt mit der Bildung von ATP gekoppelt. Man spricht in diesem Fall von „substrat-level phosphorylation“. Die ATP-Synthase ist in diesem Fall nicht involviert.

### 3 Produktion von NADH

- (a) In der Glycolyse wird ein NADH gebildet:



Der Hauptanteil NADH wird aber im Citratzyklus gebildet, wo die eingespeisten Acetylgruppe vollständig zu CO<sub>2</sub> oxidiert werden:



Dabei handelt es sich um Redoxreaktionen.

- (c) Durch die Oxidation von NADH in der Atmungskette werden Protonen über die Membran gepumpt. Die Energie wird somit in einen Protonengradienten umgewandelt. Dieser Gradient versetzt eine Untereinheit der ATP-Synthase in Rotation. Der Protonengradient wird in Rotationsenergie umgewandelt. Diese Rotationsenergie wird schliesslich zur Herstellung von ATP gebraucht.

**4 Atmungskette**

- (a) Die Elektronen vom oxidierten Substrat (z.B. Isocitrat im Citratzyklus) werden auf  $\text{NAD}^+$  übertragen, das somit zu NADH reduziert wird. NADH speist dann die Elektronen in die Atmungskette ein. Dort wandern sie von einem Protein zum nächsten, wobei das darauf folgende Protein jeweils ein positiveres Redoxpotential aufweist. Schlussendlich werden jeweils zwei Elektronen auf ein  $\text{O}_2$  Molekül übertragen, das somit zu  $\text{H}_2\text{O}$  reduziert wird.
- (b) Die Reaktion wird in viele kleine Teilschritte zerlegt. Anstatt die Elektronen von NADH direkt auf  $\text{O}_2$  zu übertragen, werden sie zuerst auf Quinon übertragen, von Quinon auf Cytb, usw. Bei diesen Einzelschritten wird viel weniger Energie frei, die dann auch effizienter genutzt werden kann.
- (d) Bei Substanzen wie DNP, die den Protonengradienten über der mitochondrialen Membran aufheben, spricht man von Entkopplern. Glucose wird zwar immer noch vollständig zu  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  abgebaut, aber die Energie kann nicht mehr für den ATP Aufbau durch die ATP-Synthase (oxidative Phosphorylation) genutzt werden. Die Energie wird in Form von Wärme frei. ATP wird nur noch durch die sogenannte „substrate-level phosphorylation“ in der Glycolyse und dem Citratzyklus aufgebaut. Aus Aufgabe 2.a wissen wir, dass somit nur 4 ATP pro Glucosemolekül aufgebaut werden. Mit intaktem Protonengradienten kämen wir aber auf 38! Somit muss die Zelle ihren Stoffwechsel beschleunigen um genügend ATP bereitzustellen. Es muss also sehr schnell viel Glucose abgebaut werden, was dann schliesslich zu Gewichtsverlust führen kann.