



Kurs: 11 Bi G1

Biologie

Lehrer: BT

Liebe Schülerinnen und Schüler,

hier findet ihr die Arbeitsmaterialien für die nächsten drei Wochen. Viel Erfolg bei der Bearbeitung.

Bleibt gesund!

Die Zellatmung

Unser Thema für die nächsten drei Wochen ist die Zellatmung. Zellatmung wird auch als **innere Atmung** bezeichnet. Es ist der Prozess, bei dem organische Stoffe aus der Nahrung oxidiert werden. Dabei wird Energie in Form von ATP für den Organismus bereitgestellt.

Ein komplizierter Prozess....

Die Zellatmung läuft größtenteils in den **Mitochondrien** ab. Höchste Zeit, diese Zellorganellen wieder genau unter die Lupe zu nehmen (z.B. Buch Seite 38).

Im folgenden stelle ich euch einige **Materialien und Quellen** zusammen, mit deren Hilfe ihr euch die Abläufe der Zellatmung selbst erarbeiten sollt. Erstellt euch dazu ein eigenes Skript. Macht euch Notizen, Skizzen und Zusammenfassungen... Seid kreativ!

Im Buch:

Seite 94: **Zellatmung im Überblick**

Die Zellatmung besteht im Wesentlichen aus drei Schritten:

- der Glykolyse
- dem Citratzyklus (auch Krebszyklus genannt)
- der oxidativen Phosphorylierung (auch Atmungskette genannt)



Zu Beginn bietet es sich an, eine Tabelle zu erstellen, um einen guten Überblick zu erhalten:

	Glykolyse	Citratzyklus	Atmungskette
Wo? (Ort in der zelle)			
Was passiert? (in Kürze)			

Seite 95/96: Wiederholung ATP/ NAD⁺

Seite 97: **Die Glykolyse**

Die folgenden Strukturformeln stellen die Zwischenprodukte der Glykolyse dar. Sie sind allerdings nicht in der richtigen Reihenfolge.

- Schneide die Formeln aus.
- Von Schritt zu Schritt ändert sich immer nur eine Kleinigkeit. Finde diese und bring die Formeln somit in die richtige Reihenfolge.
- Zusätzliche Übung: Markiere und benenne funktionelle Gruppen, z. B. die Hydroxyl- oder Carboxylgruppen.
- Benenne die Strukturen (Hilfe im Buch S. 97)



1. Glucose $ \begin{array}{c} \text{H} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H} \end{array} $
$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $
$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H} \end{array} $
$ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{C}-\text{O}-\text{P} \\ \\ \text{H}-\text{C} \\ \\ \text{H} \end{array} $	11. Brenztraubensäure $ \begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} $	

Seite 98: **Der Citratzyklus**

Leitfragen zum Thema Citratzyklus

- 1 Nenne die Orte, an denen oxidative Decarboxylierung und Citratzyklus ablaufen.
- 2 Erläutere die Funktion des Coenzyms A.
- 3 Nenne das Akzeptor-Molekül des Citratzyklus und erkläre, weshalb es am Ende des Zyklus regeneriert werden muss.
- 4 Berechne, wie viel ATP/ NADH+H⁺/FADH₂ am Ende des Citratzyklus gewonnen wurden.



Seite 100: Die Atmungskette

In der Atmungskette wird der Großteil des ATPs gebildet.

Um die Abläufe zu verstehen, muss man den Weg der **Elektronen** (e^-) und der **Protonen** (H^+) nachvollziehen. Dabei kann euch auch der folgende Text helfen:

Die Atmungskette

In der **Glycolyse**, der **oxidativen Decarboxylierung** und im **Citratzyklus** wurde das Kohlenstoffgerüst der Glucose vollständig abgebaut. Die Ausbeute an verwertbarer Energie ist aber gering: nur 4 ATP pro Molekül Glucose. Andererseits steht in den ebenfalls gewonnenen 10 $NADH+H^+$ und 2 $FADH_2$ eine große Anzahl von Wasserstoffatomen zur Verfügung, die in einer exothermen Reaktion unter Abgabe von Energie mit Sauerstoff reagieren und Wasser bilden können. In der Zelle wird der Wasserstoff aber nicht direkt auf Sauerstoff übertragen, da diese Reaktion (Knallgasreaktion) explosionsartig unter hoher Energieabgabe verläuft und damit die Zelle schädigen würde. Da diese Übertragung in den Mitochondrien schrittweise geschieht, spricht man von biologischer Knallgasreaktion. Der Wasserstoff wird zunächst auf die Enzyme der Atmungskette übertragen, so dass die Energie schrittweise freigesetzt wird.

Die Atmungskettenenzyme sind jeweils zu vier Multienzymkomplexen (MEK) zusammengefasst. Sie sitzen in der inneren Mitochondrienmembran. Vorteil solcher Multienzymkomplexe ist, dass **Elektronen** oder andere Substrate über kurze Diffusionswege von einem Enzym zum nächsten weitergereicht werden können. Da die Innenmembran der Mitochondrien stark aufgefaltet ist, bietet sie mehreren Tausend Multienzymkomplexen Platz.

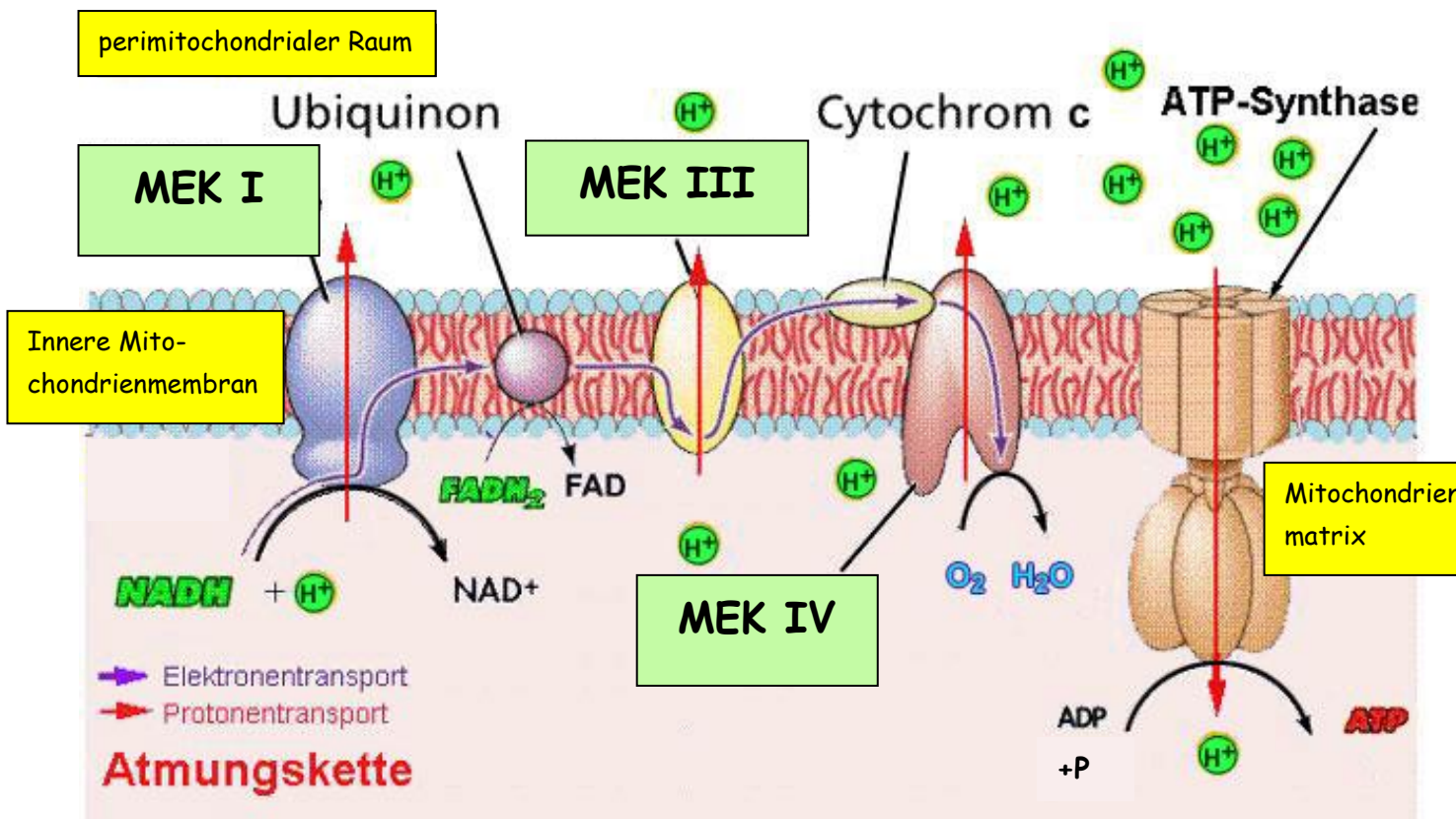
In der Zelle wird der an die Coenzyme $NADH + H^+$ und $FADH_2$ gebundene Wasserstoff in **Protonen** (H^+) und **Elektronen** (e^-) getrennt. Die **Elektronen** werden von den Atmungskettenenzymen aufgenommen. Bei Elektronenaufnahme werden die Atmungskettenenzyme reduziert und bei Elektronenabgabe wieder oxidiert. Es handelt sich um hintereinander geschaltete Redoxsysteme, deren Energieniveaus von einem zum nächsten abnehmen. Bei jeder Redoxreaktion wird Energie frei, die dazu dient, die **Protonen** gegen das Konzentrationsgefälle aus der Mitochondrienmatrix in den perimitochondrialen Raum zu pumpen.

Im MEK I am Anfang der Kette reagiert $NADH+H^+$ zu NAD^+ . Die freiwerdenden **Protonen** werden auf die andere Seite der Membran in den perimitochondrialen Raum gepumpt.



Die **Elektronen** werden weiter zum **Ubichinon** (Coenzym Q10) transportiert, einem mobilen Membranbestandteil, der zwischen dem MEK I und MEK III hin- und herwandert. Hier kann auch FADH_2 seine **Elektronen** abladen. Vom Ubichinon werden die **Elektronen** zum MEK III weitergegeben. Dieser kann ebenfalls **Protonen** auf die andere Membranseite transportieren.

Nun werden die **Elektronen** auf **Cytochrom c** übertragen, das ebenfalls ein mobiler Elektronentransporter ist und dann auf MEK IV, der je 2 **Elektronen** auf ein Sauerstoffatom überträgt. Mit 2 **Protonen** aus der Mitochondrienmatrix bildet sich so ein Wassermolekül: $\frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$



Auch der MEK IV pumpt **Protonen** in den perimitochondrialen Raum. Durch den Protonentransport entsteht an der Membran ein Konzentrationsgefälle, das wegen der positiven Ladung der **Protonen** auch ein Ladungsgefälle ist. Man spricht von einem **elektrochemischen Protonengradienten**.



Dieser elektrochemische Gradient führt dazu, dass die **Protonen** das Bestreben haben, in die Mitochondrienmatrix zurückzufließen. Jedoch ist die Innenmembran der Mitochondrien für fast alle Ionen und polaren Moleküle undurchlässig (im Gegensatz zur äußeren Membran). Der einzige Weg zurück in die Matrix führt durch die ATP-Synthase. Dies ist ebenfalls ein Enzymkomplex, die im Inneren einen Kanal besitzen, durch den die **Protonen** fließen können. Der durch den **elektrochemischen Protonengradienten** angetriebene Protonenrückfluss reicht aus, um aus ADP und Phosphat ATP zu synthetisieren. Man nennt diesen Prozess **Chemiosmose**.

Werden **Elektronen** von 1 Molekül $\text{NADH} + \text{H}^+$ an den MEK I übertragen, entstehen durch den oben beschriebenen Prozess jeweils 3 Moleküle ATP, gibt 1 Molekül FADH_2 seine **Elektronen** an Ubichinon ab, werden 2 Moleküle ATP gebildet.

Da beim Elektronentransport ATP gebildet wird, spricht man von **oxidativer Phosphorylierung** oder **Atmungskettenphosphorylierung**. Diese Übertragung liefert neben ATP noch Wärme als Verlustenergie, die wiederum für die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur dient.

Leitfragen zum Thema Atmungskette

- 1 Beschreibe in Stichworten die Vorgänge in der Atmungskette.
- 2 Gib die wesentlichen Unterschiede zwischen der Knallgasreaktion (mit Reaktionsgleichung) und der Atmungskette an.
- 3 In einem fiktiven Fall werden in der Atmungskette 20 mol $\text{NADH} + \text{H}^+$ und 4 mol FADH_2 umgesetzt. Berechne, wie viel mol Wasser und ATP dann gebildet werden.

Im Internet:

Videoclip: The simple club: Zellatmung: Wie funktioniert's?

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

Zusammenfassung: Chemie-Schule

<https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Zellatmung>



Übungen zur Zellatmung und die Lösungen dazu

<https://bridge.klett.de/DUA->

[QN1JTEKXN8/content/media/w711086_ab/068453_k_01_dd/020_zellatmung_gm_068444.pdf](https://bridge.klett.de/DUA-QN1JTEKXN8/content/media/w711086_ab/068453_k_01_dd/020_zellatmung_gm_068444.pdf)

Viel Erfolg und liebe Grüße!