**Der vollständige Abbau von Glucose (Zellatmung)**

**A Vollständige Oxidation des Kohlenstoffs**

Vollständige Oxidation

Glycolyse

**B Regeneration der energiearmen Formen der Redox-Energiespeicher**

Die bei der Oxidation des Kohlenstoffs freigesetzte Energie wird in Redox-Energiespeichern zwischengespeichert. Die Re­gene­ra­tion der energiearmen Formen der Redox-Energiespeicher er­folgt durch Übertragung der Elektronen und Wasserstoff­ionen auf Sauerstoff. Dabei wird im Mitochondrium ein Wasserstoff-Ionen-Gradient zwischen dem Matrix-Raum und dem Inter­membran-Raum aufgebaut. Ein partieller Ausgleich des Kon­zen­trationsunterschieds geschieht über ein Tunnelprotein (ATPase), das die dabei freiwerdende Energie zur ATP-Syn­these nutzt.

*Ergänzungen: Das FAD-System ist nicht Lernstoff für das Abi­tur. Die Blackbox „Vollständige Oxidation“ enthält die Stoff­wechselschritte „Oxidative Decarboxylierung“ und „Citrat­zyklus“. Der Regenerationsschritt heißt auch „Atmungskette“.*

Regenerations-schritt

Bio 11 AB oxidativer Abbau / Nickl 1.157

**Der vollständige Abbau von Glucose (Zellatmung)**

**A Vollständige Oxidation des Kohlenstoffs**

 2 ADP + 2 Pi 2 NAD+ 6 H2O 2 ADP + 2 Pi 8 NAD+ 2 FAD

Vollständige Oxidation

Glycolyse

C6H12O6 2 C3H4O3 6 CO2

Glucose Brenztraubensäure

 2 ATP 2 NADH/H+ 2 ATP 8 NADH/H+ 2 FADH2

**B Regeneration der energiearmen Formen der Redox-Energiespeicher**

Die bei der Oxidation des Kohlenstoffs freigesetzte Energie wird in Redox-Energiespeichern zwischengespeichert. Die Re­gene­ra­tion der energiearmen Formen der Redox-Energiespeicher er­folgt durch Übertragung der Elektronen und Wasserstoff­ionen auf Sauerstoff. Dabei wird im Mitochondrium ein Wasserstoff-Ionen-Gradient zwischen dem Matrix-Raum und dem Inter­membran-Raum aufgebaut. Ein partieller Ausgleich des Kon­zen­trationsunterschieds geschieht über ein Tunnelprotein (ATPase), das die dabei freiwerdende Energie zur ATP-Syn­these nutzt.

*Ergänzungen: Das FAD-System ist nicht Lernstoff für das Abi­tur. Die Blackbox „Vollständige Oxidation“ enthält die Stoff­wechselschritte „Oxidative Decarboxylierung“ und „Citrat­zyklus“. Der Regenerationsschritt heißt auch „Atmungskette“.*

 6 O2 ca. 36 ADP + ca. 36 Pi

Regenerations-schritt

10 NADH/H+ 10 NAD+

 2 FADH2 2 FAD

 12 H2O ca. 36 ATP

*Hinweis: statt Pi kann auch P im Kreis geschrieben werden.*

*Dieses Arbeitsblatt ist für Lehrkräfte gedacht, die sich nicht dazu überwinden können, den Stoffabbau so knapp zu unterrichten, wie das der G8-Lehr­plan vorsieht, aber einsehen, dass sie auf die Einteilung in Glycolyse, oxidative Decarboxylierung, Citratcyclus und Atmungskette verzichten – ein Kompromiss-Vorschlag also, bei dem die vollständige Oxidation der Glucose und die Regeneration von NAD+ getrennt dargestellt sind. Dabei ist aber nicht zu vermeiden, dass das FAD-System auftaucht. Beim Regenerationsschritt ist hier die Bruttoausbeute von 36 ATP pro Glucose angesetzt: ggf. ab­ändern, damit in allen Kursen der selbe Wert verwendet wird.*

**Didaktik:**

**A Vollständige Oxidation des Kohlenstoffs**

Zunächst wird die Blackbox der Glycolyse wiederholend beschriftet.

Ausgehend von der bekannten Bruttogleichung der Zellatmung werden rechts die 6 CO2 ergänzt.

Dann werden die 8 NAD+ vorgegeben, aus denen sich die 8 NADH/H+ ergeben. (Alternativ: Die Menge der Redox-Energiespeicher insgesamt wird aus dem Unterschied der Oxidationszahlen ermittelt: 6∙4 = 24 Elektronen entsprechen 12 Redox-Energiespeichern mit je 2 Elektronen.)

Dann wird das FAD-System kurz eingeführt (wenn auch nicht als dauerhafter Lernstoff) und in der Blackbox ergänzt.

Durch Abzählen der Wasserstoffatome in den Redox-Energiespeichern (2∙8 + 2∙2 = 20) und dem Vergleich mit den Wasserstoffatomen in den 2 BTS (C3H4O3 => 2∙4) ergibt sich ein Defizit von 12 Wasserstoffatomen, die aus 6 H2O stammen, was ergänzt wird.

Vorteil: Doppelt so viel ATP pro Glucose (bis hierher) wie bei der Gärung

Probleme: Regeneration der energiearmen Formen der Redox-Energiespeicher (im Vergleich zur Gärung in sehr großem Umfang)

 Nutzung der enormen Energiemenge in den energiereichen Formen der Redox-Energiespeicher

**B Regeneration der energiearmen Formen der Redox-Energiespeicher**

löst beide Probleme:

Links werden die energiereichen Formen der Redox-Energiespeicher aufsummiert, rechts deren energiearme Formen.

Übertragung der Elektronen und Wasserstoffionen auf Sauerstoff: Die Schüler ermitteln die Koeffizienten von Sauerstoff und Wasser.

Die Menge des dabei entstehenden ATP kann unterschiedlich ausfallen.

Die Information im Textkasten verweist auf einen chemiosmotischen Mechanismus der ATP-Gewinnung beim Regenerationsschritt (Parallele zum Chloroplasten).