



DIE ZELLATMUNG

Q2 Bio GK, GiK

PROZESS DER ZELLATMUNG ALS STOFFWECHSELPROZESS

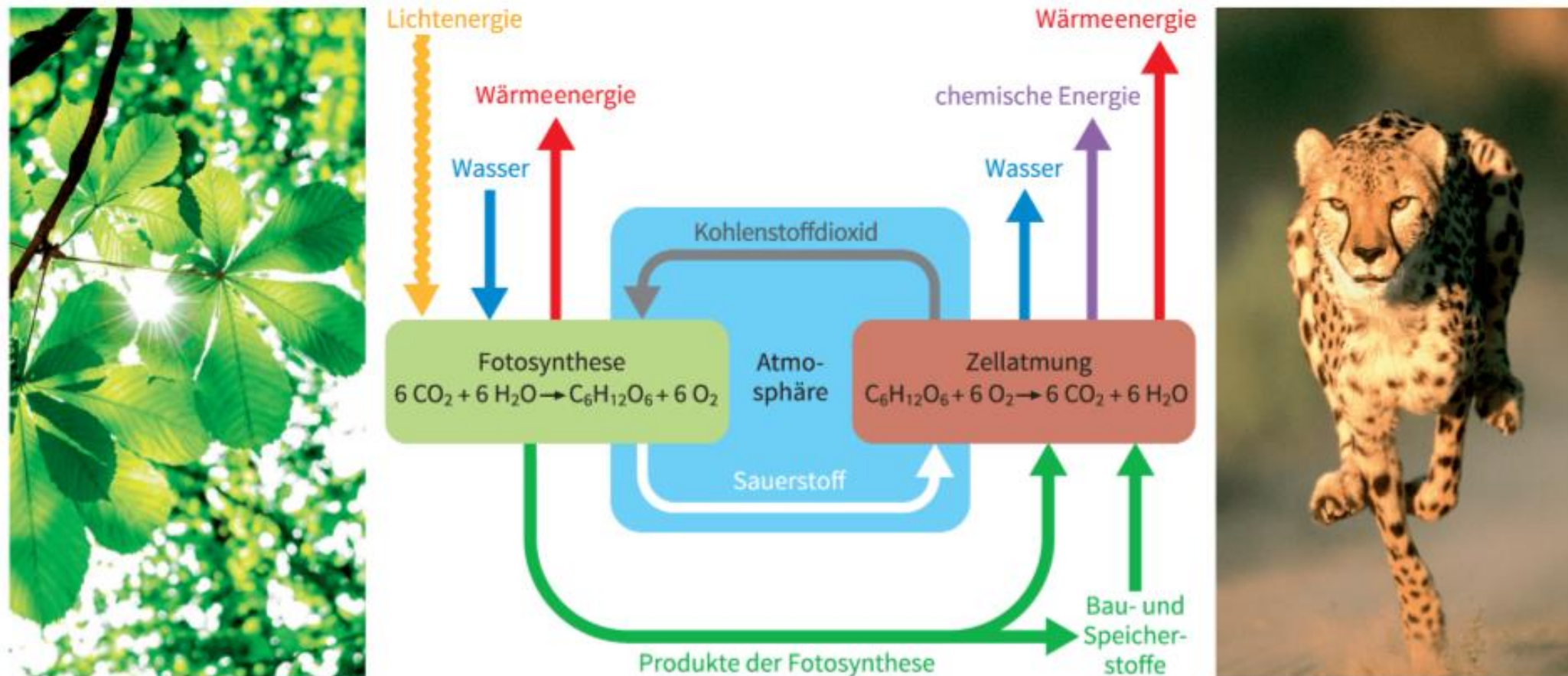


Abb. 100.1 Zusammenhang zwischen Fotosynthese und Zellatmung

AUFBAU MITOCHONDRIUM – KRAFTWERK DER ZELLE

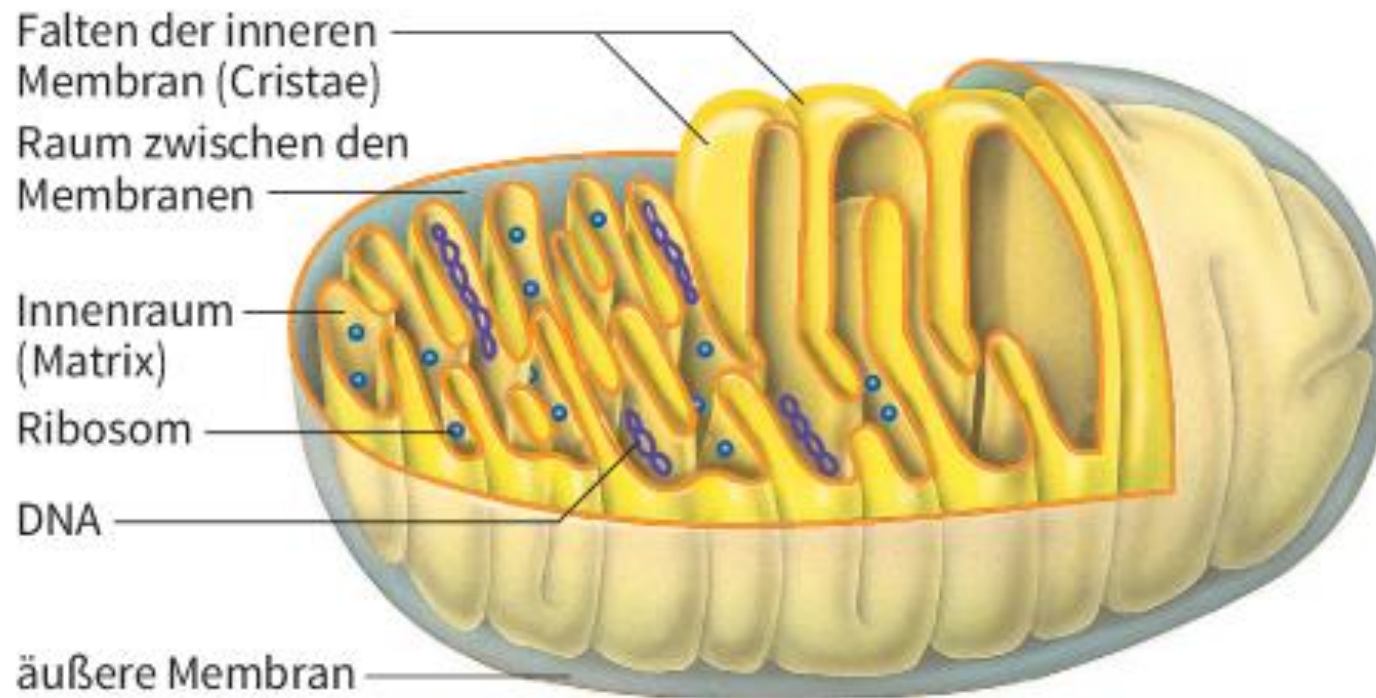


Abb. 40.2 Mitochondrium (Schema)

- Ort der Zellatmung
- Energiegewinnung aus Kohlenhydraten durch ATP-Produktion
- stark vergrößerte Oberfläche durch eingefaltetes Membransystem

PROZESS DER ZELLATMUNG ALS STOFFWECHSELPROZESS

In 4 Teilschritte untergliedert:

- Glykolyse
- Oxidative Decarboxylierung (Pyruvatoxidation/-abbau)
- Citratzyklus (Zitronensäurezyklus)
- Endoxidation (Atmungskette, oxidative Phos.)

Glucose + Sauerstoff → Kohlenstoffdioxid + Wasser

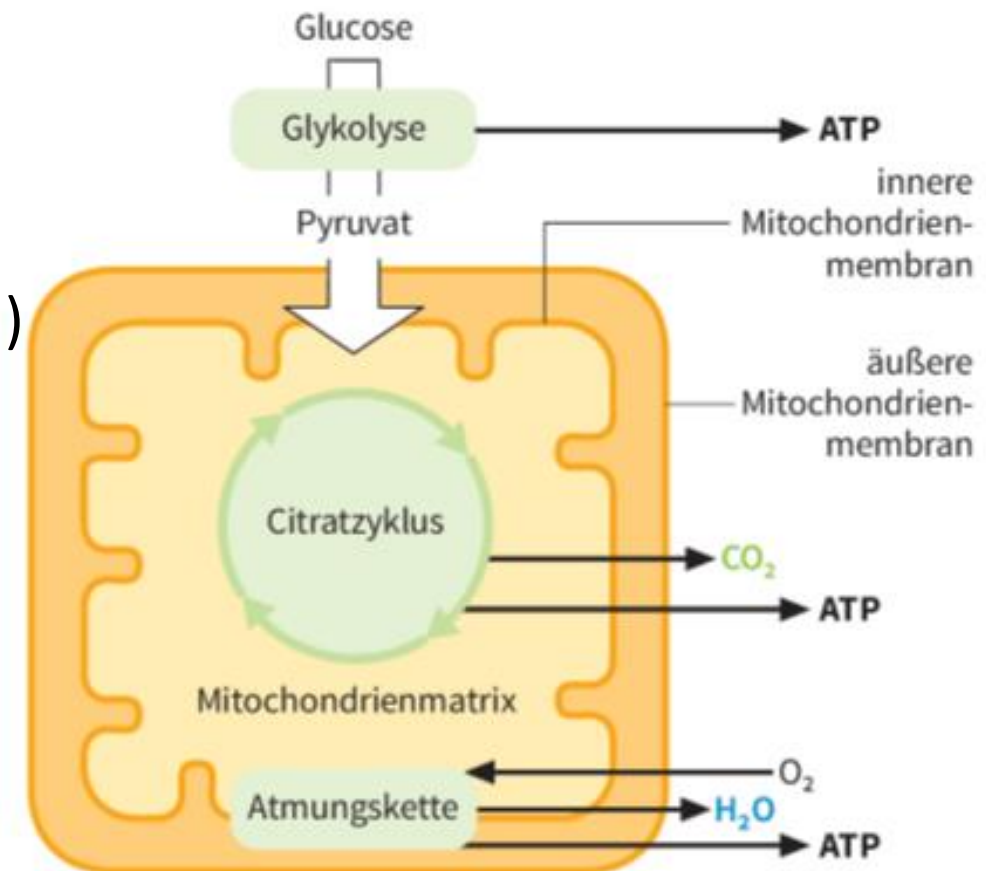
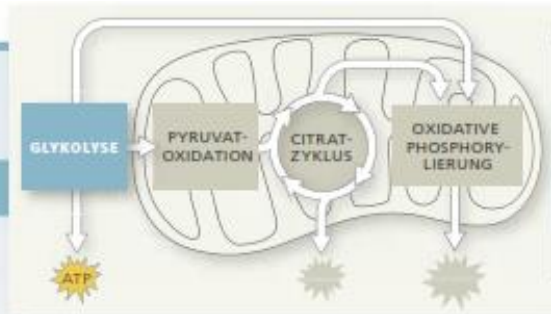
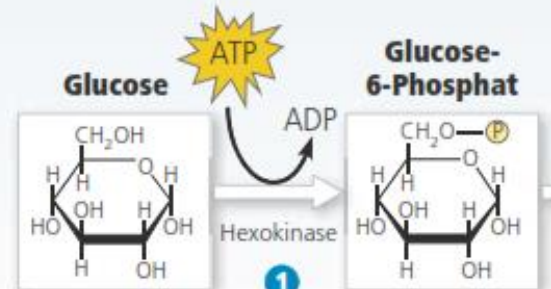


Abb. 101.1 Zellatmung im Überblick

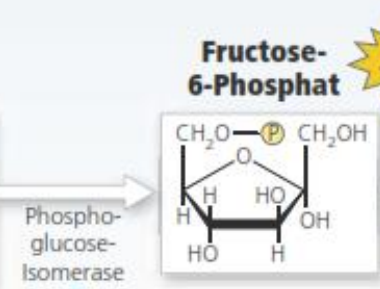
GLYKOLYSE



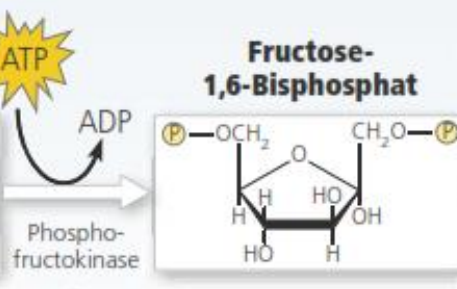
GLYKOLYSE: Energieinvestitionsphase



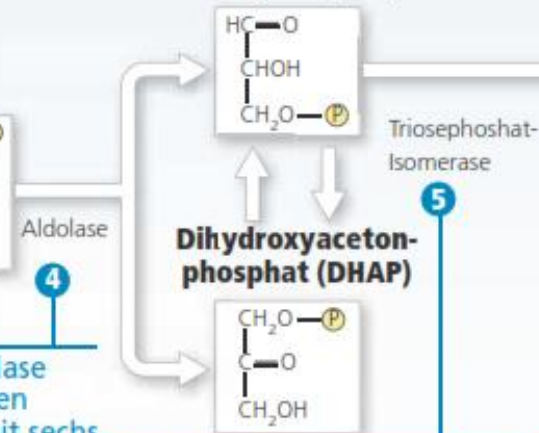
1 Die Hexokinase überträgt eine Phosphatgruppe vom ATP auf Glucose, wodurch diese reaktionsfreudiger wird. Die Ladung der Phosphatgruppe hält Glucose-6-Phosphat in der Zelle zurück (geladene Moleküle können Membranen nicht ohne weiteres durchqueren).



2 Die Aldose Glucose-6-Phosphat wird in die Ketose Fructose-6-Phosphat umgewandelt.

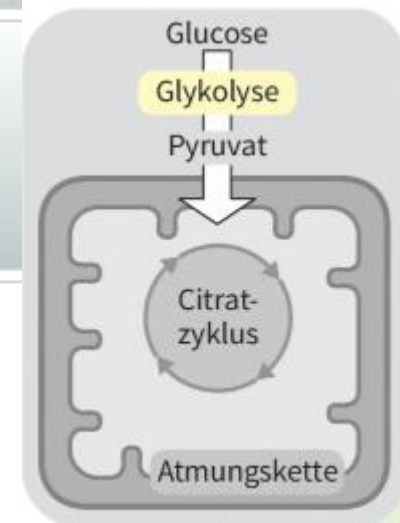


3 Die Phosphofructokinase überträgt eine weitere Phosphatgruppe vom ATP auf das andere Ende des Fructose-6-Phosphat-Moleküls. Diese Reaktion ist für die Regulation der Glykolyse von zentraler Bedeutung.



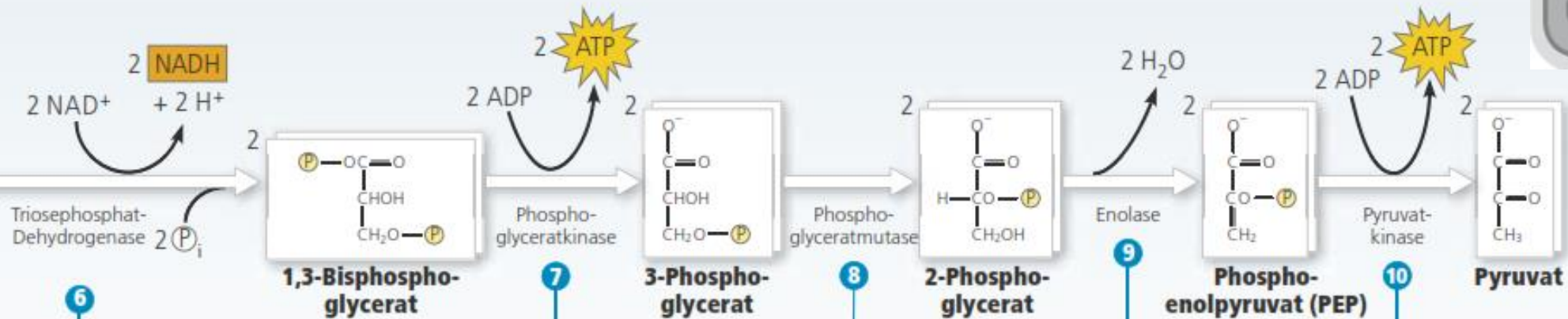
4 Die Aldolase spaltet den Zucker mit sechs in zwei unterschiedliche Zucker mit drei Kohlenstoffatomen.

5 Die Isomerisierung von DHAP und G3P erreicht niemals das Gleichgewicht, da G3P im Folgeschritt ebenso schnell verbraucht wird, wie es entsteht.



GLYKOLYSE

GLYKOLYSE: Energiegewinnphase



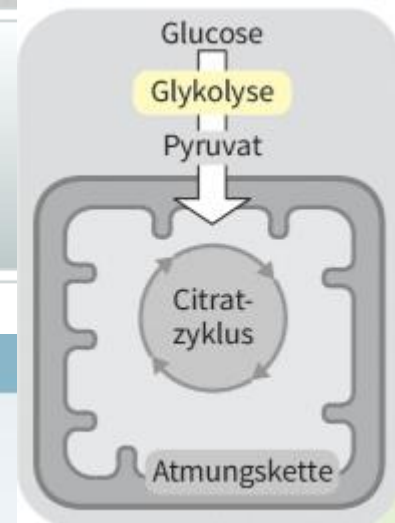
Zwei aufeinander folgende Reaktionen. (1) Der Zucker wird oxidiert und überträgt Elektronen auf NAD⁺, wobei sich NADH bildet. (2) Mit der Energie aus dieser exergonen Redoxreaktion wird das oxidierte Substrat gleichzeitig phosphoryliert und so zu einer Verbindung mit hohem Phosphatgruppen-Übertragungspotenzial.

In einer exergonen Substratketten-Phosphorylierung wird die zuvor angehängte Phosphatgruppe auf ADP übertragen. Die Carbonylgruppe des G3P wird zur Carboxylgruppe der organischen Säure 3-Phosphoglycerat oxidiert.

Dieses Enzym verschiebt die verbleibende Phosphatgruppe innerhalb des Moleküls.

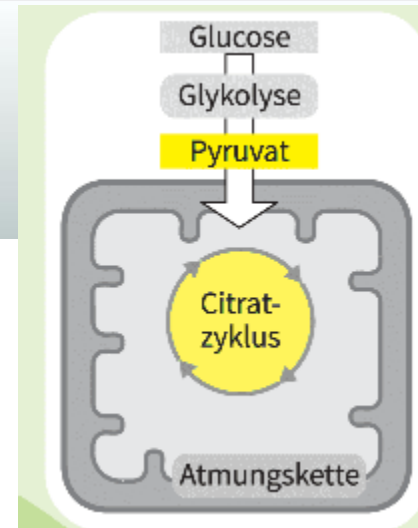
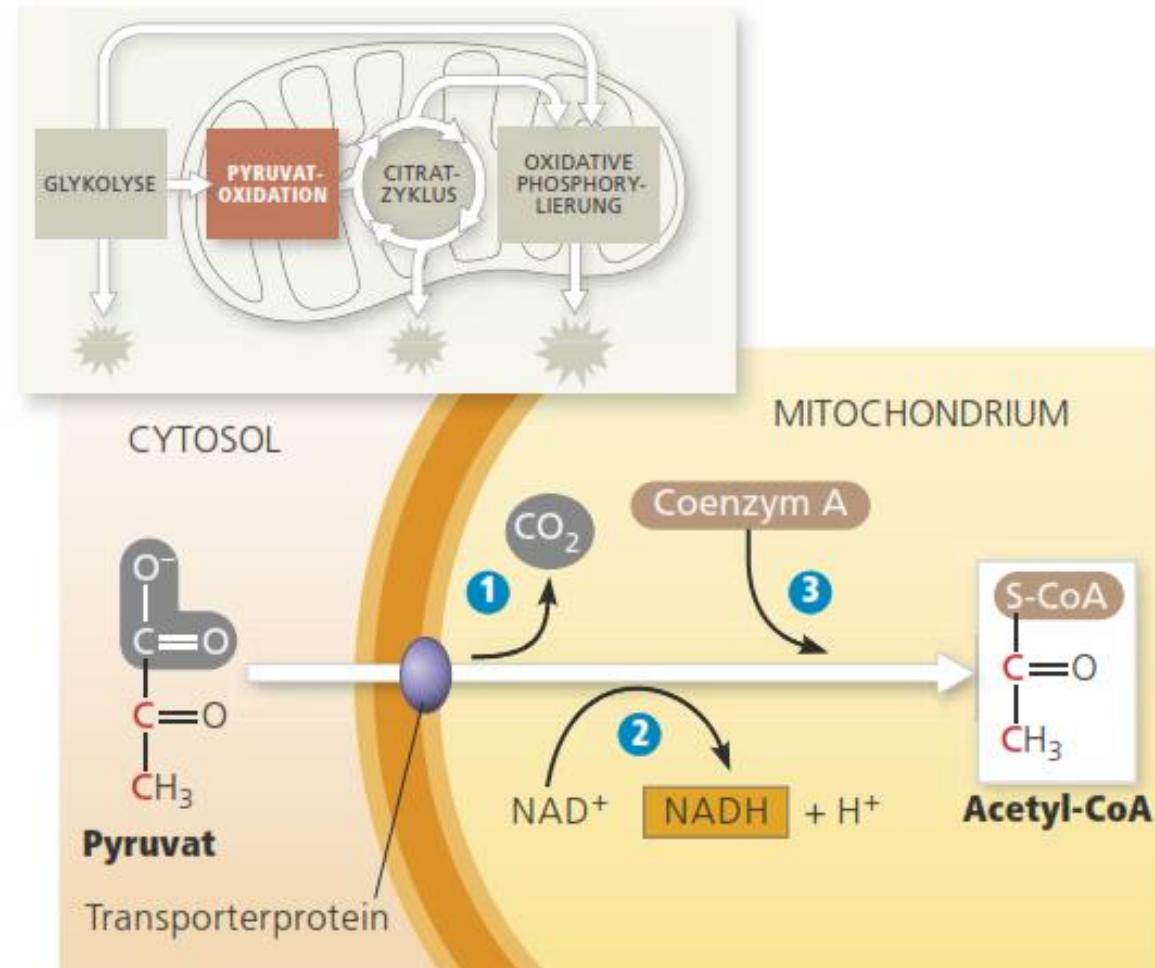
Enolase extrahiert ein Wassermolekül und erzeugt so eine Doppelbindung im Substrat 2-Phosphoglycerat. Dadurch entsteht das Phosphoenolpyruvat, eine weitere Verbindung mit einem (sehr hohen) Phosphatgruppen-Übertragungspotenzial.

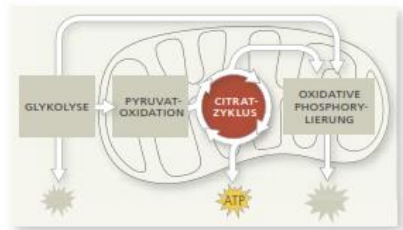
Die Phosphatgruppe des PEP wird in einer zweiten Substratketten-Phosphorylierung auf ADP übertragen, wobei außerdem Pyruvat entsteht.



OXIDATIVE CARBOXYLIERUNG

Abbildung 9.10: Oxidation von Pyruvat zu Acetyl-CoA, dem Bindeglied zwischen Glykolyse und Citratzyklus. Das elektrisch geladene Pyruvat-Anion kann die Membran nicht durchqueren und muss daher in Eukaryonten durch aktiven Transport in das Mitochondrium transportiert werden. Danach katalysiert ein Komplex aus mehreren Enzymen (der Pyruvatdehydrogenase-Komplex) die drei Teilreaktionen, die im Haupttext erläutert werden. Die Acetylgruppe des Acetyl-Coenzyms A tritt in den Citratzyklus ein. Das abgespaltene Kohlendioxid diffundiert aus der Zelle heraus. Coenzym A wird immer dann, wenn es an ein Molekül gebunden ist, als „S-CoA“ abgekürzt, um die Bindung über das Schwefelatom hervorzuheben.





CITRATZYKLUS

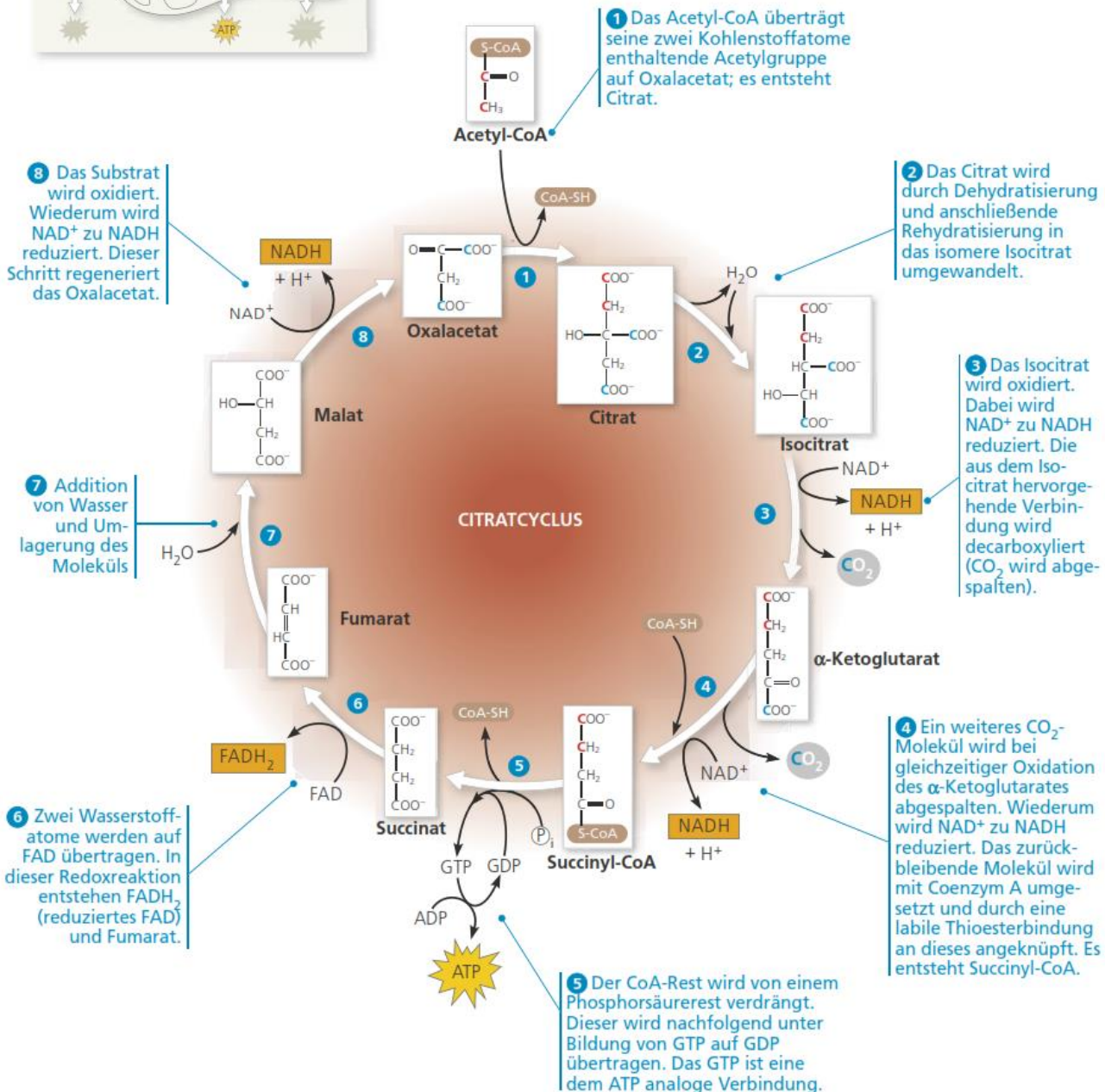
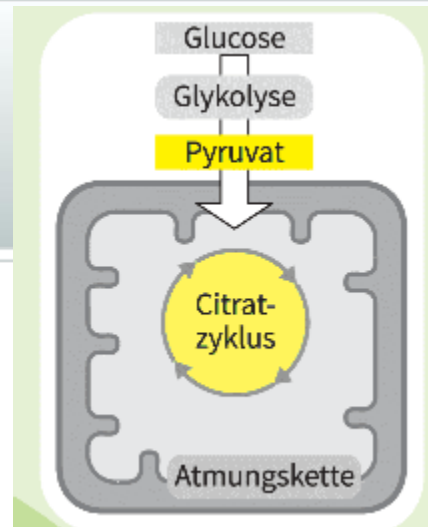
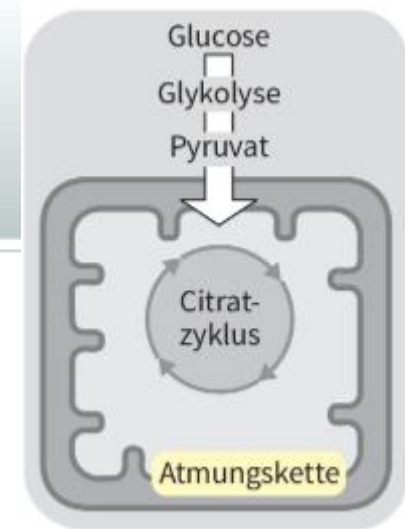
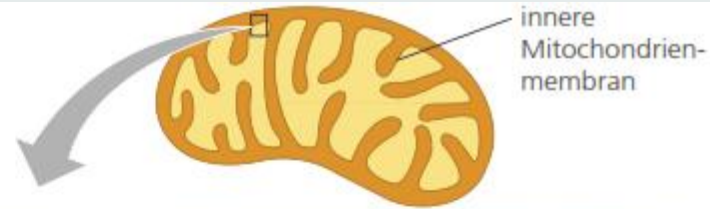
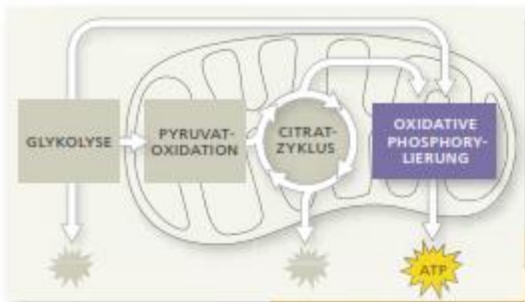


Abbildung 9.12: Übersicht über den Citratzyklus. In den Strukturformeln sind die beiden Kohlenstoffatome rot hervorgehoben, die über das Acetyl-CoA in den Zyklus eintreten (Schritt 1). Die beiden Kohlenstoffatome, die als Kohlendioxid (CO_2) in den Schritten 3 und 4 den Zyklus verlassen, sind blau gekennzeichnet. Die rote Markierung ist nur bis zum Schritt 5 sinnvoll, da das Succinatmolekül symmetrisch ist und daher seine beiden Enden nicht unterschieden werden können. Man beachte, dass die beiden Kohlenstoffatome, die in den Zyklus eintreten, ihn nicht im gleichen Durchgang wieder verlassen. Sie verbleiben im Zyklus und nehmen beim nächsten Durchgang andere Positionen in den jeweiligen Molekülen ein, nachdem eine neue Acetylgruppe hinzugekommen ist. Daher besteht das in Schritt 8 regenerierte Oxalacetat aus Kohlenstoffatomen mit jeweils unterschiedlicher Herkunft. In eukaryontischen Zellen finden sich alle Enzyme des Citratzyklus in der mitochondrialen Matrix, jedoch mit einer Ausnahme: Das Enzym für Schritt 6, die Succinatdehydrogenase, ist in die innere Mitochondrienmembran integriert. Alle Carbonsäuren sind als deprotonierte Carboxylatanionen dargestellt ($\text{R}-\text{COO}^-$), weil sie infolge des pH-Wertes innerhalb des Mitochondriums in dieser Form vorliegen.

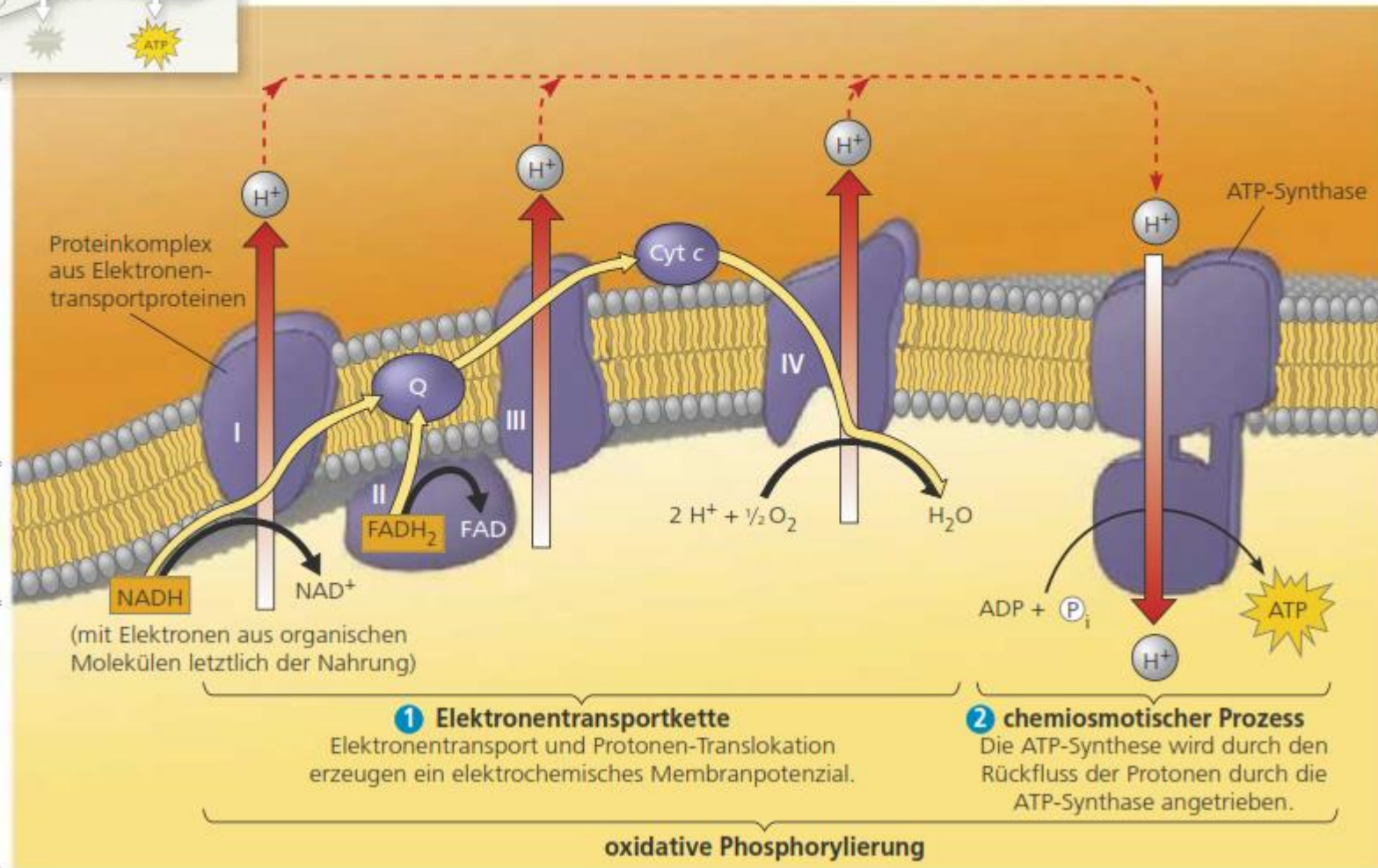
ENDOXYDATION



Intermembranraum

innere Mitochondrienmembran

Matrix des Mitochondriums



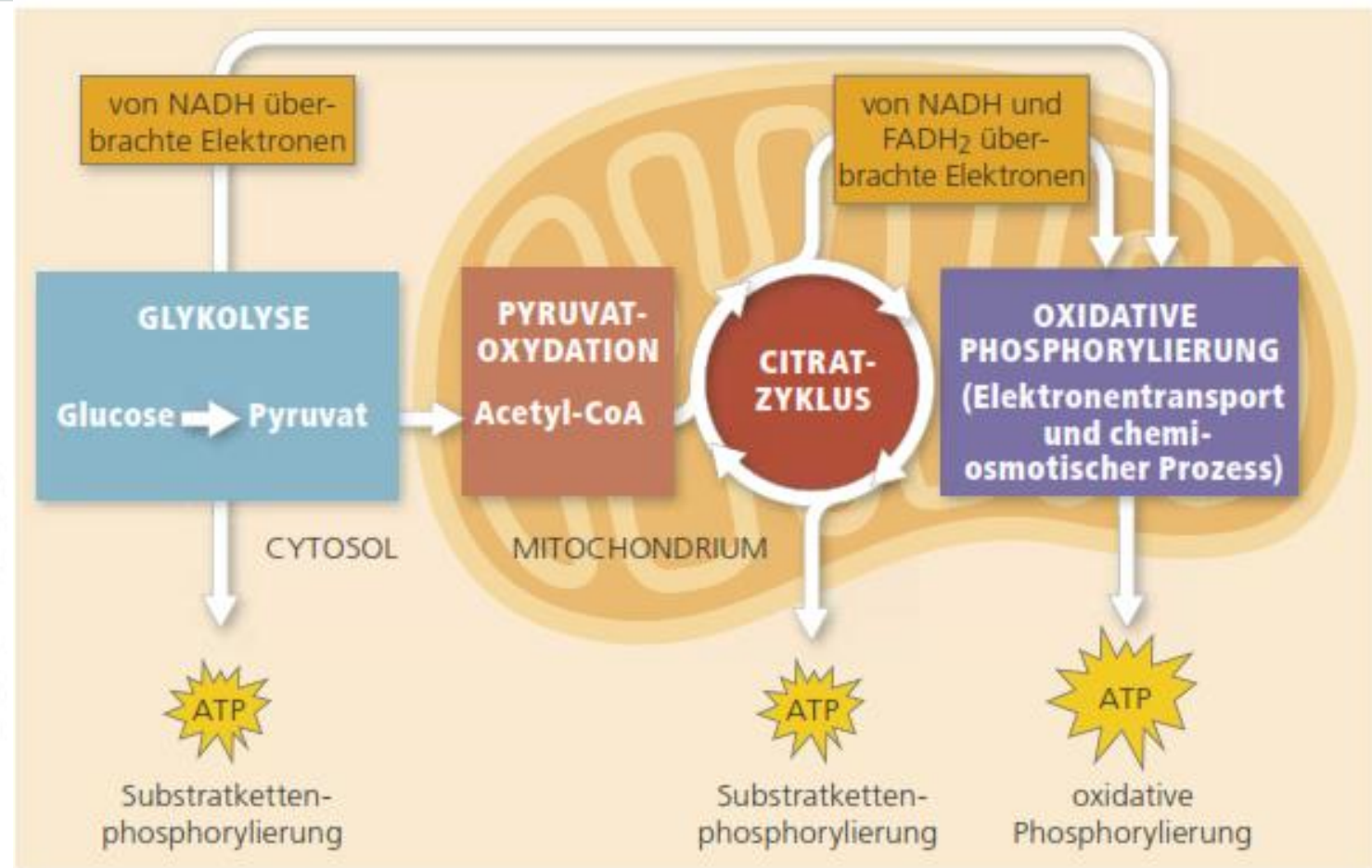
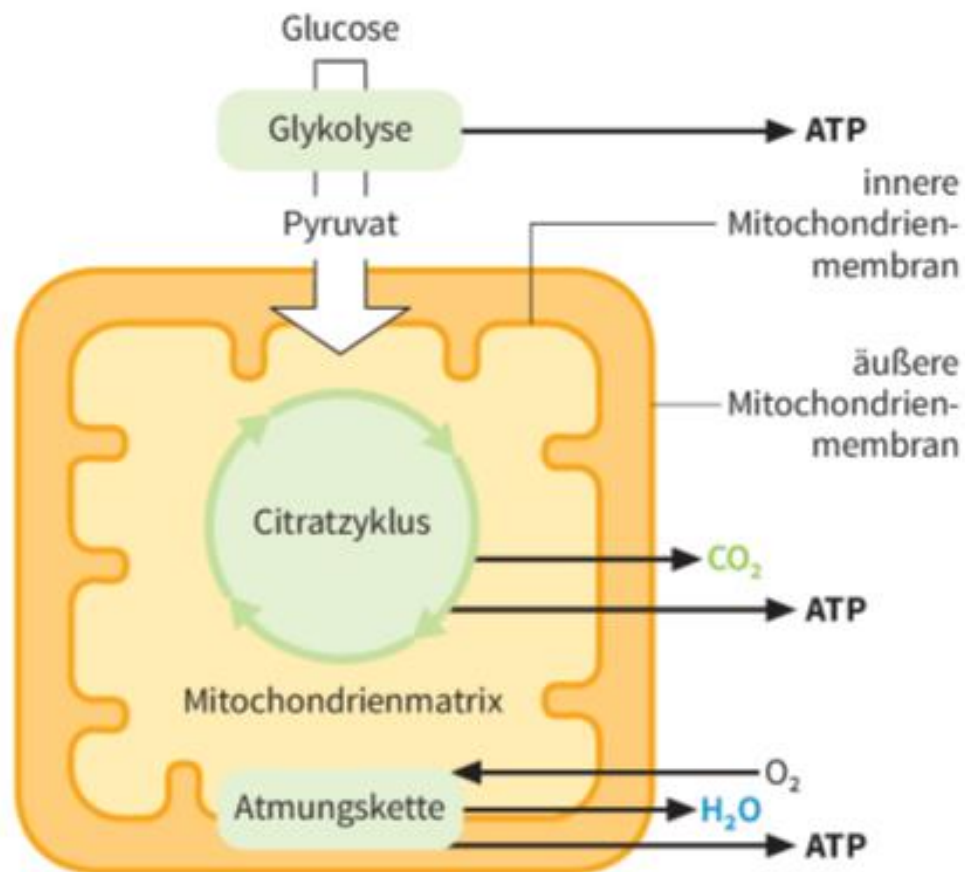


Abb. 101.1 Zellatmung im Überblick



Glykolyse (Gewinnung von 2 ATP)

- Glucose wird im Cytoplasma in Pyruvat umgewandelt:
 - Energieinvestition (- 2 ATP) um Fructose-1,6-biphosphat herzustellen
 - Energiegewinnung (+ 4ATP) durch Spaltung in C3-Körper und Oxidation zu Pyruvat

oxidative Decarboxylierung

- Oxidation von Pyruvat zu Acetyl-CoA (aktivierte Essigsäure) unter Abspaltung von CO_2

Citratzyklus (Gewinnung von 2 ATP)

- Reaktion von Acetyl-CoA mit Oxalacetat zu Citrat im Mitochondrium
- Oxidation von Citrat in mehreren enzymatischen Schritten zu Succinat
- Abspaltung von zwei Molekülen CO_2 und Gewinnung von ATP
- Rückgewinnung von Oxalacetat durch weitere Reaktionsschritte und erneuter Ablauf des Zyklus

Endoxidation (Gewinnung von 34 ATP)

- Elektronentransportkette an der Innenmembran durch Redoxkomplexe bauen einen Protonengradienten auf
- ATP-Synthase transportiert Protonen (H^+) zurück in die Matrix und stellt dabei ATP her

STOFFWECHSEL- PROZESSE DER ZELLATMUNG IM MITOCHONDRION

Gesamtenergiebilanz etwa 38 ATP pro Glucosemolekül



QUELLEN

- Markl, Biologie Oberstufe (2010)
- Campbell Biologie (2016)
- BiBox Linder Biologie SII Gymnasium (2019)
- [edupool Hessen](#) (GIDA Zellatmung)