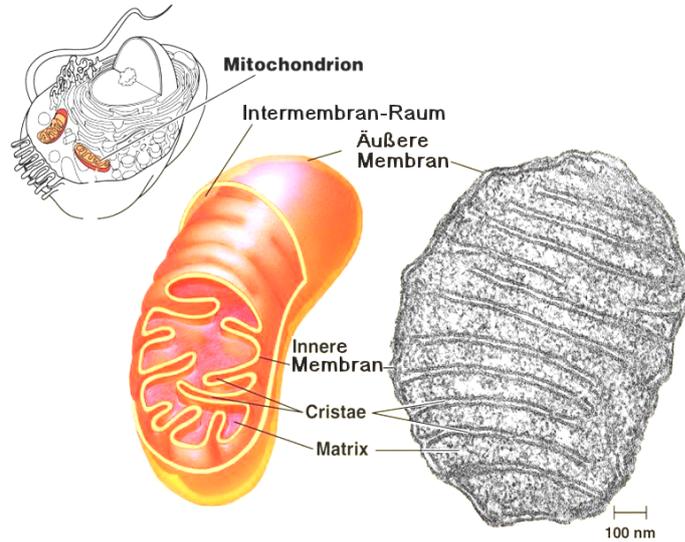
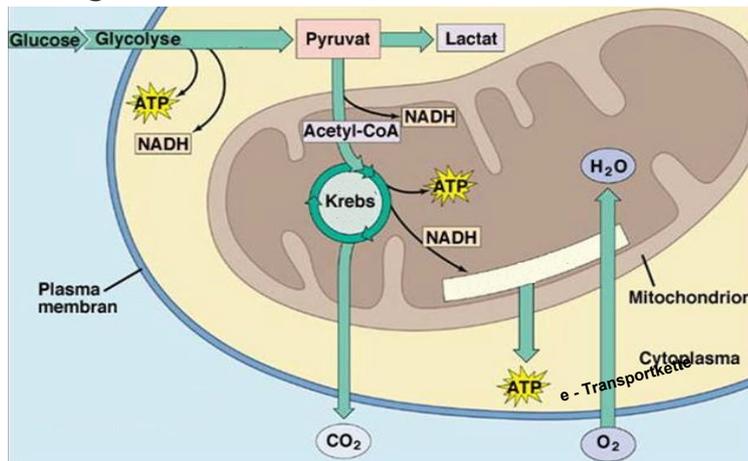


Atmung der Mitochondrien

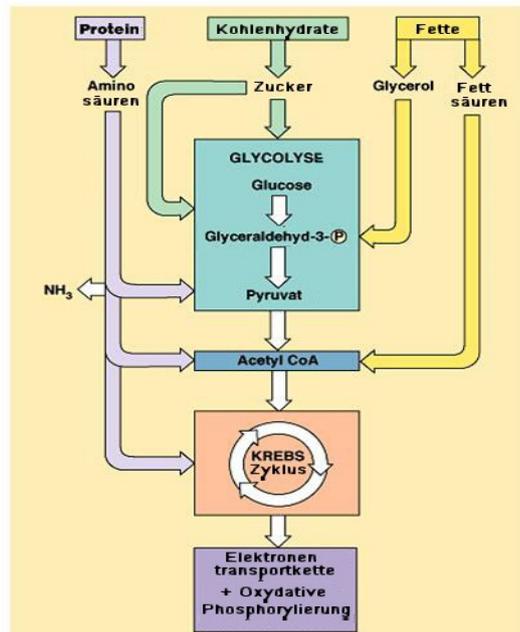


Atmung Übersicht



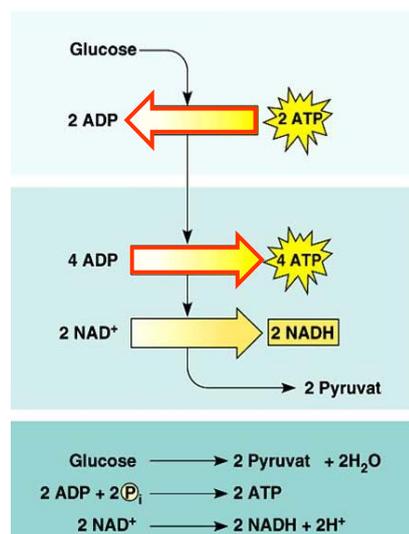
- Nur ca. 40% der Energie wird zu ATP
- Der Rest geht als Stoffwechsel-Wärme verloren
- 1 ATP Molekül besitzt ca. 1% der chemischen Energie der Glucose.

Ausgangssubstrate



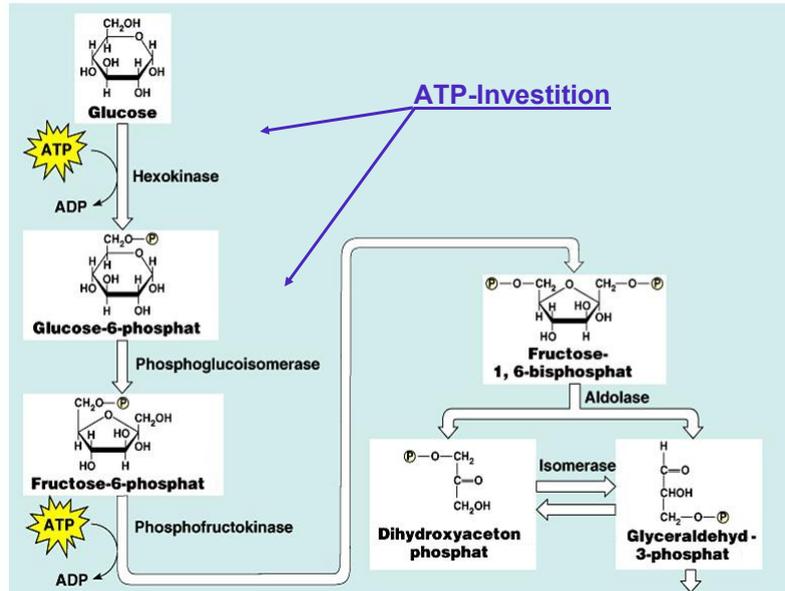
Glycolyse: Energie- Investitionsphase

- ATP aktiviert Glucose durch Phosphorylierung, 2 ATP per Molekül

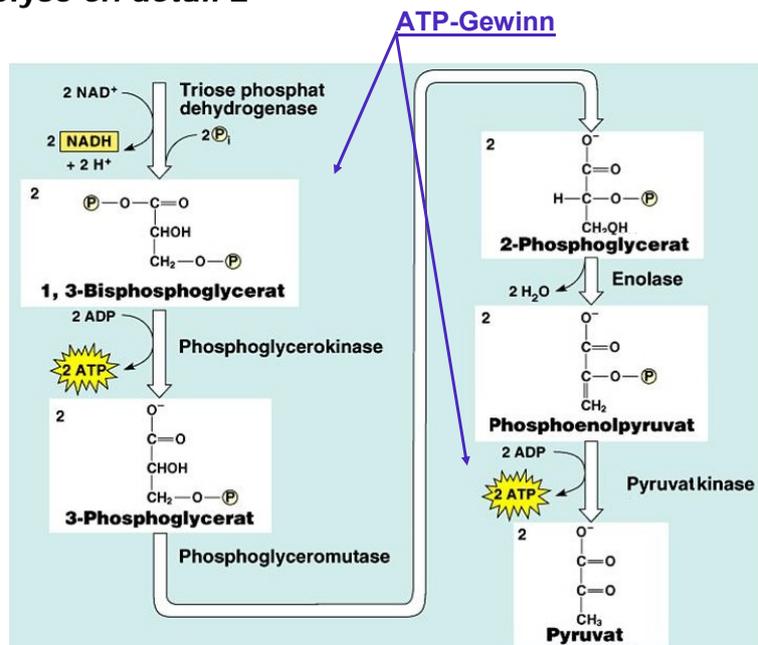


- pro Glucosemolekül werden
- 2 ATP verbraucht und
- 4 ATP hergestellt sowie
- 2 NADH hergestellt

Glycolyse en detail 1



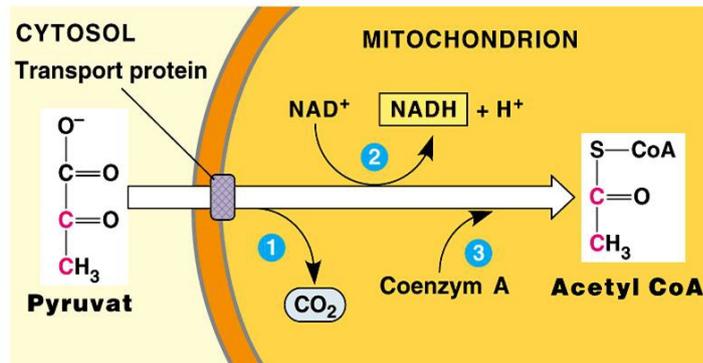
Glycolyse en detail 2



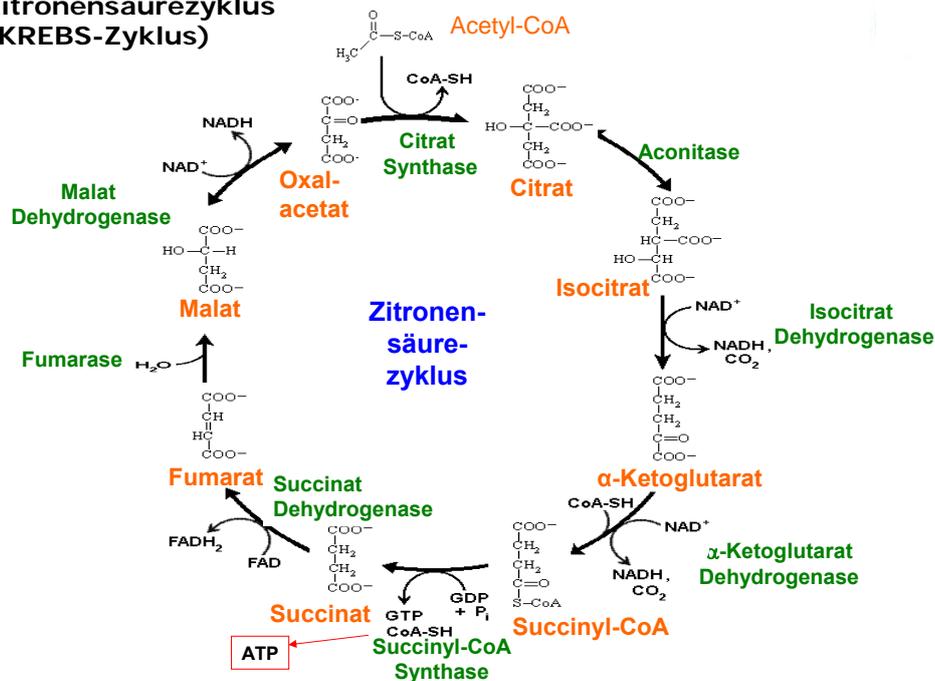
Ende der Glycolyse

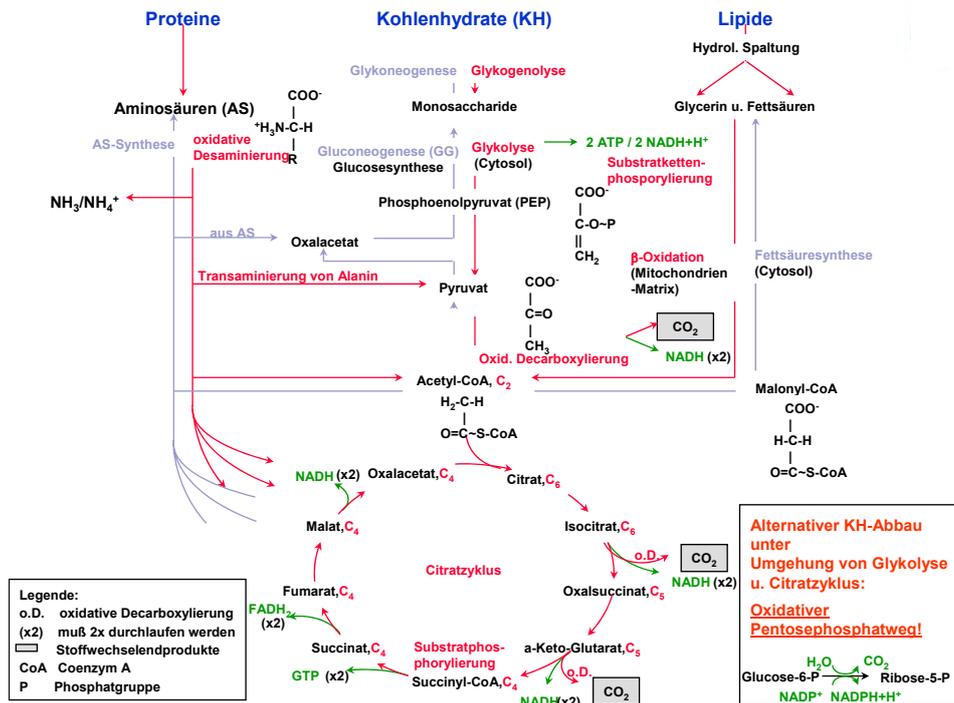
- Netto Ertrag der Glycolyse: 2 ATP und 2 NADH/Glucose
 - Ausmass der Glycolyse hängt vom O₂ Angebot ab: aerob oder anaerob
- **Krebs oder Krebs' s Zyklus** benannt nach **Hans Krebs** (1930er Jahre)
- Zu Beginn des Krebs Zyklus im Mitochondrium:
 - immer noch 75% der ursprünglichen Energie der Glucose in den 2 Pyruvat Molekülen.
- Bei Anwesenheit von Sauerstoff geht das Pyruvat in das Mitochondrion, wo es die Enzyme des Krebs Zyklus zu Kohlendioxid oxidieren.

- Schritt 1:**
Wenn Pyruvat in die Mitochondrien geht, wird es zu Acetyl-CoA umgewandelt, eine Carboxylgruppe wird in Form von CO₂ entfernt. Bei dieser Reaktion wird auch NADH gebildet.

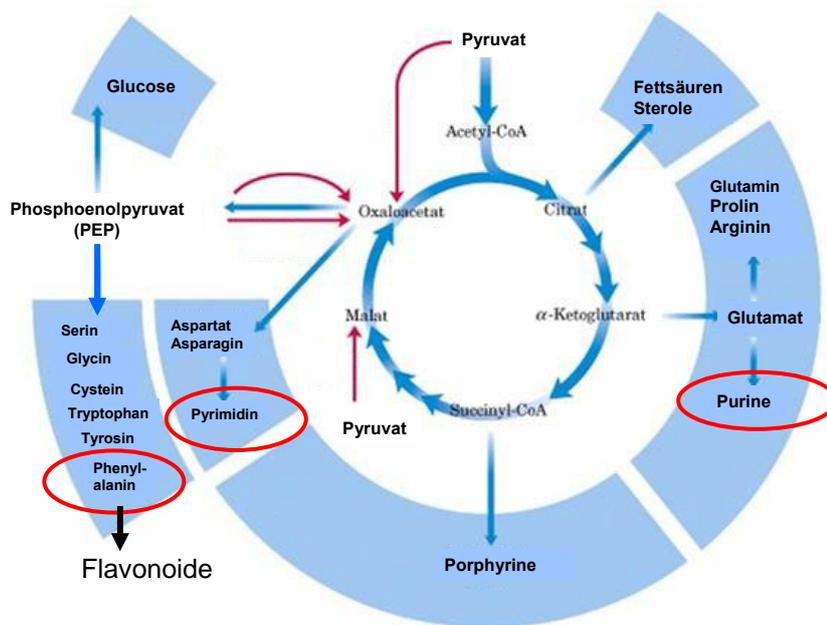


Zitronensäurezyklus (KREBS-Zyklus)

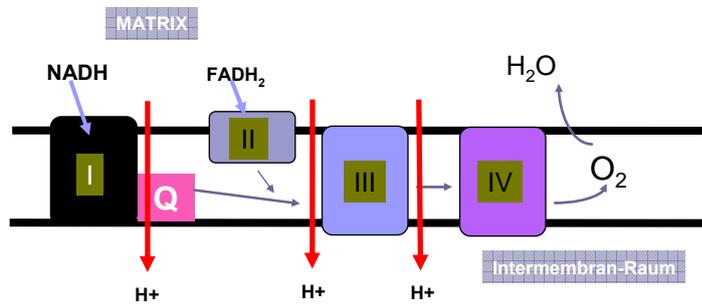




Produkte aus dem Citratzyklus (KREBS-Zyklus)



Zusammensetzung der Atmungsketten-Komplexe



Komplex	Name	Anzahl Proteine	Prosthetische Gruppen
Komplex I	NADH Dehydrogenase	46	FMN, 7 Fe-S zentren
Komplex II	Succinat-CoQ Reductase	5	FAD, cyt b_{560} , 3 Fe-S zentren
Komplex III	CoQ-cyt c Reductase	11	cyt b_H , cyt b_L , cyt c_1 , Fe-S _{Rieske}
Komplex IV	Cytochrom Oxidase	13	cyt a, cyt a_3 , Cu _A , Cu _B

CoQ= "Co Enzym Q" = Kein Enzym = Chinon

Elektronentransport und Oxidative Phosphorylierung

- Alle Komponenten können reversibel Elektronen aufnehmen und abgeben
- Die meisten sind Teil eines Proteinkomplexes in der mitochondrialen Membran
- Wichtigste Grundsritte:
 - Regeneration oxidierter Coenzyme
 - Elektronenübertragung auf O_2
 - Verbunden mit ATP Synthese

A. Die Komplexe des Elektronentransports

- **Komplex I NADH Dehydrogenase: transferiert e⁻ von NADH ans Coenzym Q**
 - Funktioniert auch als Protonenpumpe
 - Insetiert in der Membran
- **Komplex II Succinat-Dehydrogenase: transferiert e⁻ von FADH₂ ans Coenzym Q**
 - KEINE Protonenpumpe
 - Insetiert in der Membran
 - auch am Zitrat-Zyklus beteiligt (Succinat → Fumarat).
- **Coenzym Q (Ubichinon)**
 - Reicht Elektronen zur Cytochrom-Reductase weiter
 - frei beweglich in der Membran
 - nimmt Elektronen und Protonen auf
- **Komplex III Coenzym Q Oxidoreductase: transferiert e⁻ von Coenzym Q auf Cytochrom c**
 - Protonen-Pumpe
 - Membran-insetiert
- **Komplex IV Cytochrom C Oxidase: transferiert e⁻ von Cytochrom C an Sauerstoff**
 - Protonenpumpe
 - gibt Elektronen an O₂
 - Membran-insetiert

B. Funktion der prosthetischen Gruppen

Flavoproteine

- Membran-gebunden mit **FMN** oder **FAD** als prosthet. Gruppe
- transferiert Elektronen und Protonen

Fe-S Proteine

- Fe-S bindet Elektronen

Cytochrome: Proteine

- Prosthetische Gruppe: Häm mit Fe
- Einige integrale Membranproteine und mehrere Membran-assoziierte (locker)

Cu – enthaltende Cytochrome

- Fe/Cu bindend

Coenzym Q:

- KEIN Protein: Chinon
- Nimmt Elektronen und Protonen auf

C. Der Elektronenfluß

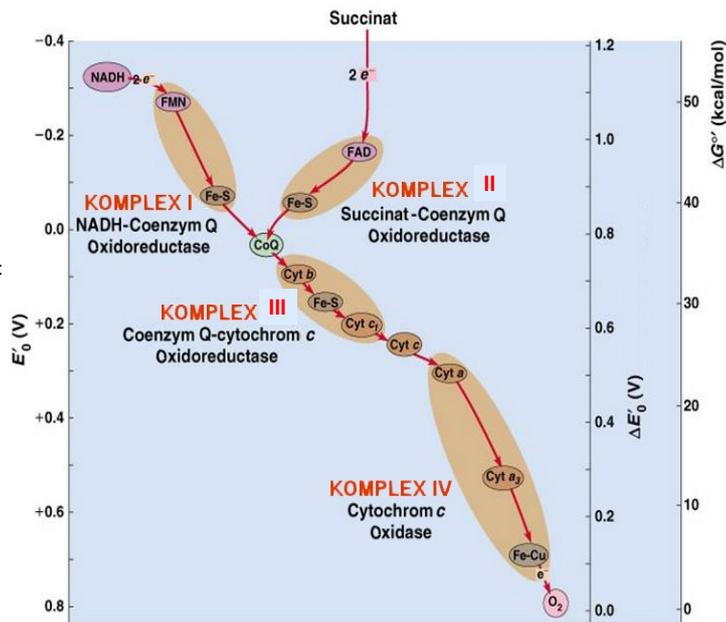
- ..wird durch das Reduktionspotential (E') eines jeden Redox-Paars bestimmt
- $\Delta E'$ (Elektronegativität)
 - ein Maß der thermodynamischen Spontaneität der Elektronen-Bewegung,
 - Ähnlich, wie ΔG mit anderem Vorzeichen
 - Negative E' : Guter Elektronen-Donor
 - Elektronen tendieren dazu, von Molekülen mit hohem $-E'$ Wert zu Molekülen mit positivem $+E'$ Wert zu wandern

Energiefluß der Oxidativen Phosphorylierung

Elektronen von $FADH_2$ haben geringere freie Energie:

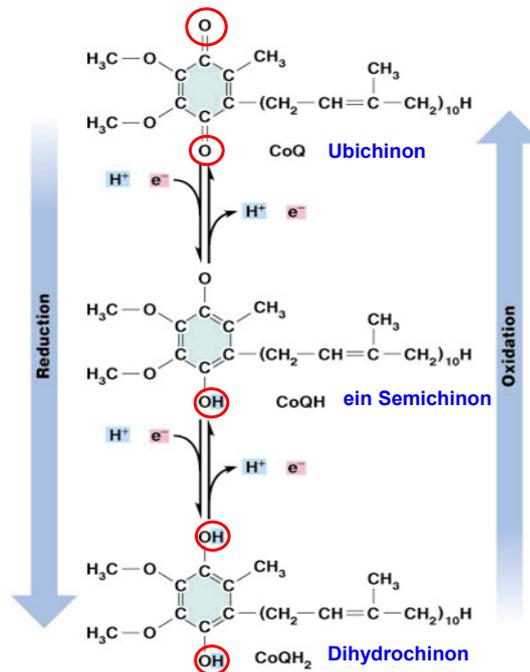
diese fließen später am Komplex-II in die Elektronentransportkette ein (\rightarrow ATP Synthese):

- \rightarrow Jedes NADH erzeugt 2,5 ATP,
- jedes $FADH_2$ erzeugt 1,5 ATP.

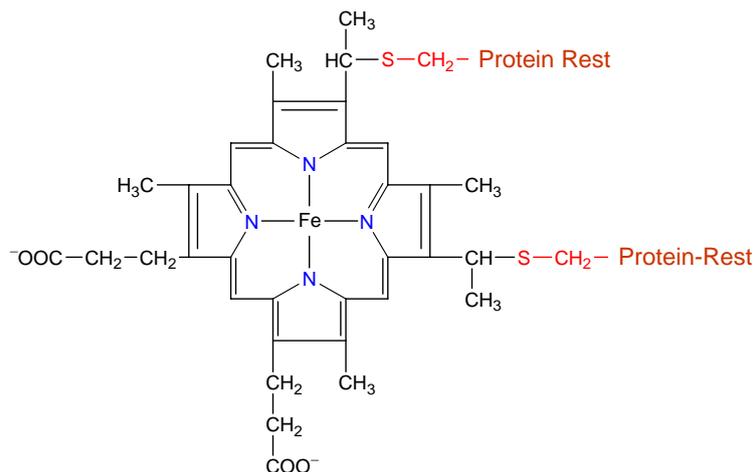


Ubichinon (=Coenzym Q)

- CoQ kann 1 e⁻ aufnehmen
- → ein "Semichinon"
- → CoQ kann daher zwischen Donoren/ Akzeptoren von 1 e⁻ u. 2 e⁻ vermitteln.

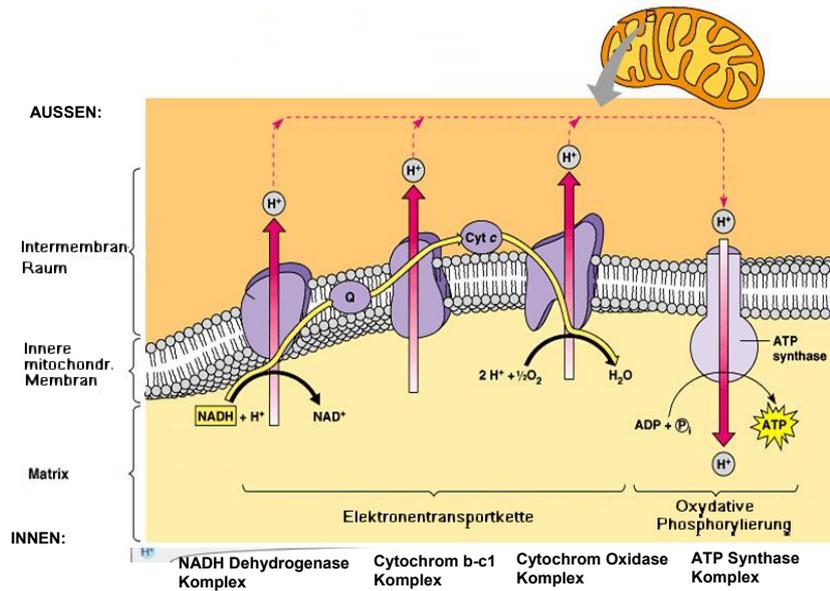


Häme der Cytochrome



- Die Häme in 3 Klassen der Cytochrome (a, b, c)
 - unterscheiden sich an ihren Substituenten des Porphyrinring-Systems.
 - Nur Häm c ist kovalent mit Thioester-Bindungen gebunden
 - (über Cystein-Reste von Proteinen).

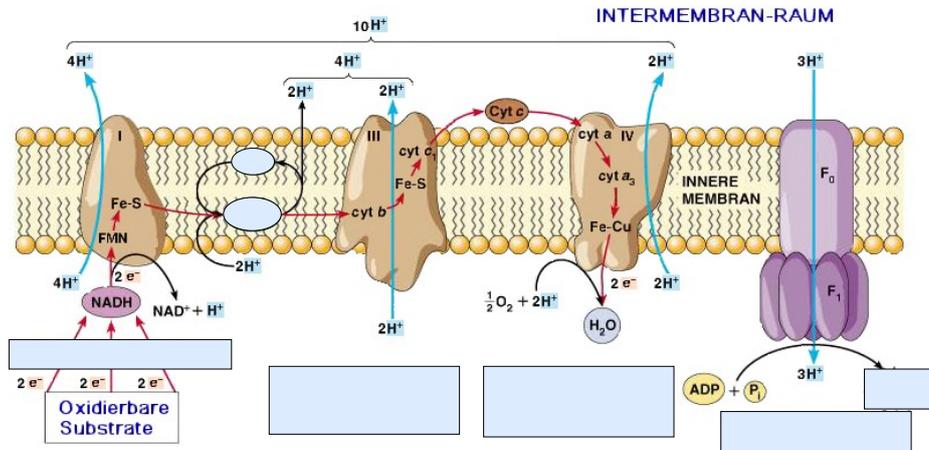
Elektronentransport-Kette (=ETC)



D. Chemiosmotisches Kopplungsmodell

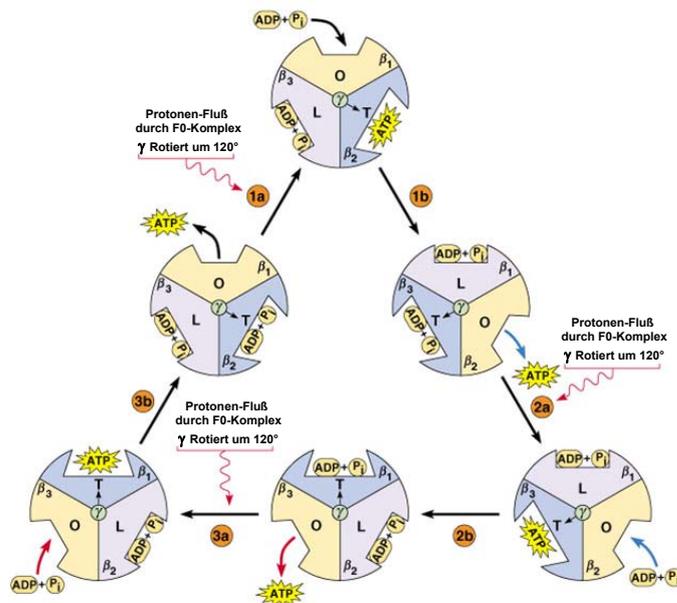
- Der Elektronenfluß ist durch den elektrochemischen Protonengradient mit der ATP-Synthese gekoppelt
 - 3 von den 4 Elektronentransport-Komplexen pumpen auch Protonen durch die Membran
 - Komplex I, III und IV
 - Unidirektionales Pumpen ist mit Elektronentransport verbunden
 - Verursacht durch :
 - a. physikalische Bewegung des Coenzym Q durch die Membran
 - b. Konformationsänderung des Proteins im Komplex
 - Bildung eines Gradienten von [H⁺] über die innere Membran
 - Höhere [H⁺] im Intermembran-Raum als in der Matrix
 - NADH: 3 Komplexe pumpen H⁺
 - FADH₂: 2 Komplexe pumpen H⁺

D. Zum Ausfüllen



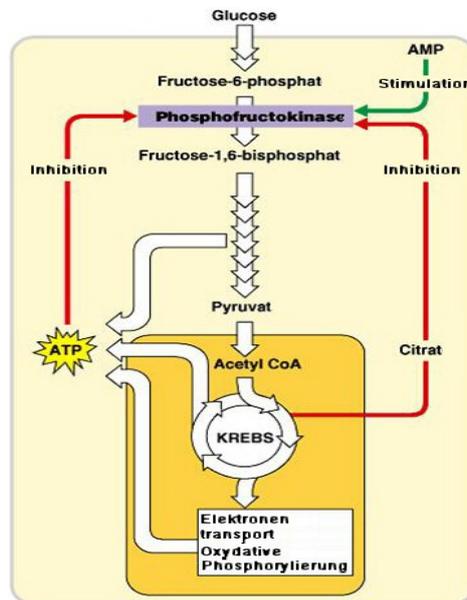
- $[H^+]$ fließen durch die innere Membran durch die F₀F₁ ATPase (=ATP-Synthase)
 - F₀ : Protein-Komplex formt einen Protonkanal: Protonentranslokator
 - F₁ : Komplex von Proteinen, welche ATP aus ADP + P_i synthetisieren
 - Modell eines sich drehenden Proteinkomplexes

Neues ATPase-Modell

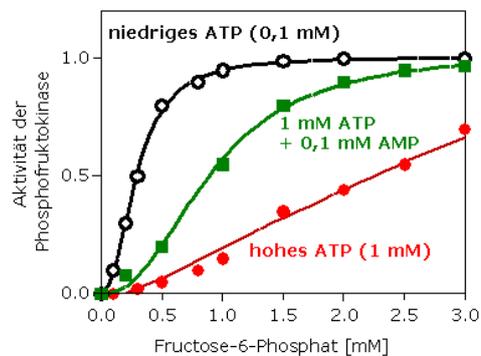
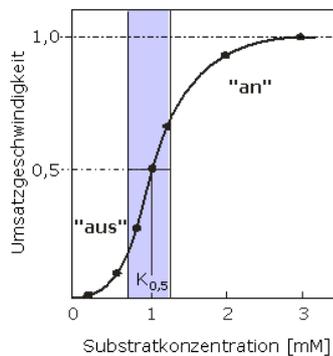
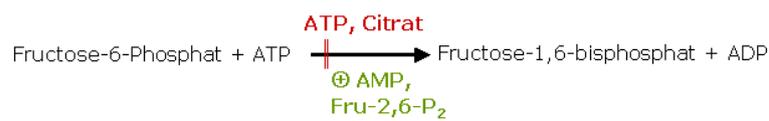


Kontrolle

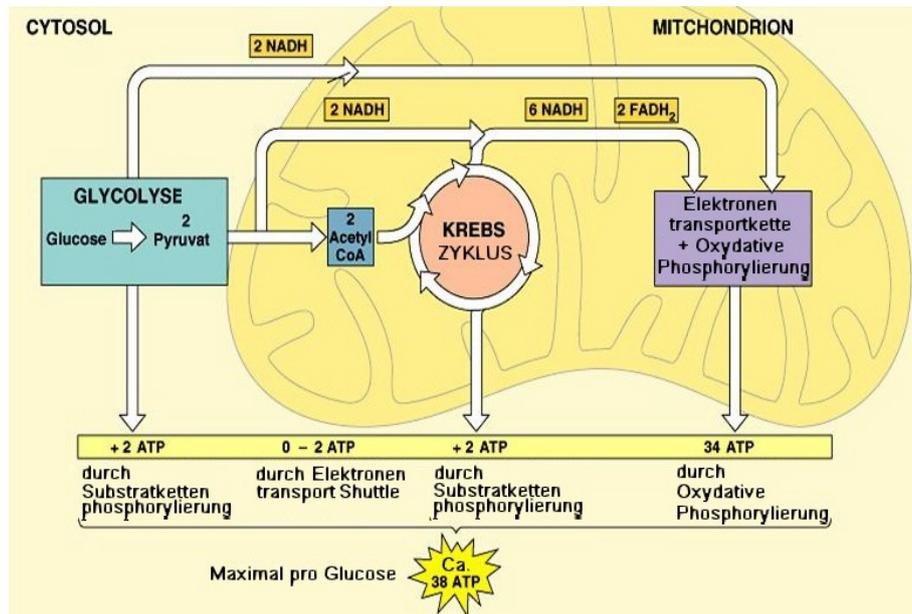
- Regulation durch Angebot und Nachfrage:
 - AMP stimuliert
 - ATP inhibiert
 - Citrat inhibiert
- Wenn **ATP** Versorgungslevel niedrig:
 - **AMP** Pool steigt
 - Cyclus produziert mehr ATP
- **ATP** Überschuss:
 - Leistung des Zitratzyklus ↓
 - ..



Phosphofruktokinase steuert den Glucoseabbau



Bilanz der Energie-Gewinnung



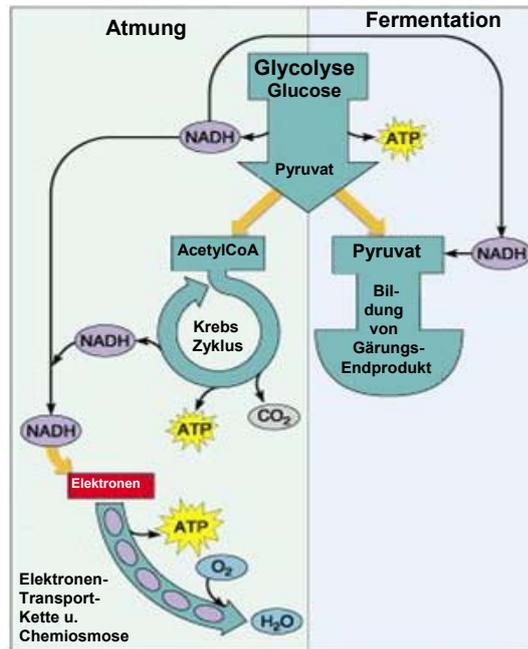
ATP Ausbeute durch Chemiosmose

- Der maximale ATP Ertrag ist 38 aber in vielen Zellen beträgt er nur 36
 - Ursachen:
 - NADH aus dem Cytoplasma (aus Glycolyse) wird oxidiert und in den Mitochondrien zu FADH₂ umgewandelt
 - Glycerinphosphat 'Shuttle' benötigt Energie
 - Gewebespezifische Unterschiede

□ 2 NADH (Glycolyse) x 3 ATP	=	6 ATP	(Jedes NADH produziert 3 ATP)
□ 2 NADH (Acetyl CoA) x 3 ATP	=	6 ATP	(Jedes FADH ₂ produziert 2 ATP)
□ 6 NADH (Krebs Zyklus) x 3 ATP	=	18 ATP	
□ 2 FADH ₂ (Krebs Zyklus) x 2 ATP	=	4 ATP	
□			
□			
		32 - 34 ATP	

- Gewinnung der ATPs insgesamt durch:
 - oxidative Phosphorylierung oder
 - Chemiosmose

Übersicht



Gärung in Kurzform

- Produziert ATP ohne Sauerstoff
- Keine Elektronentransportkette, da kein Sauerstoff vorhanden.
- NAD⁺ wird regeneriert durch organischen Protonenakzeptor wie z.B.
 - Laktat oder
 - Ethanol
- v.a. in Prokaryonten
- Alkoholische Gärung erzeugt das Nebenprodukt CO₂ und Ethanol
- Die CO₂ Erzeugung der Hefe bringt das Brot zum Aufgehen.
- 2 Schritt-Reaktion: ausgehend von Pyruvat - Alkoholische Gärung
- Acetaldehyd → "Kater"

