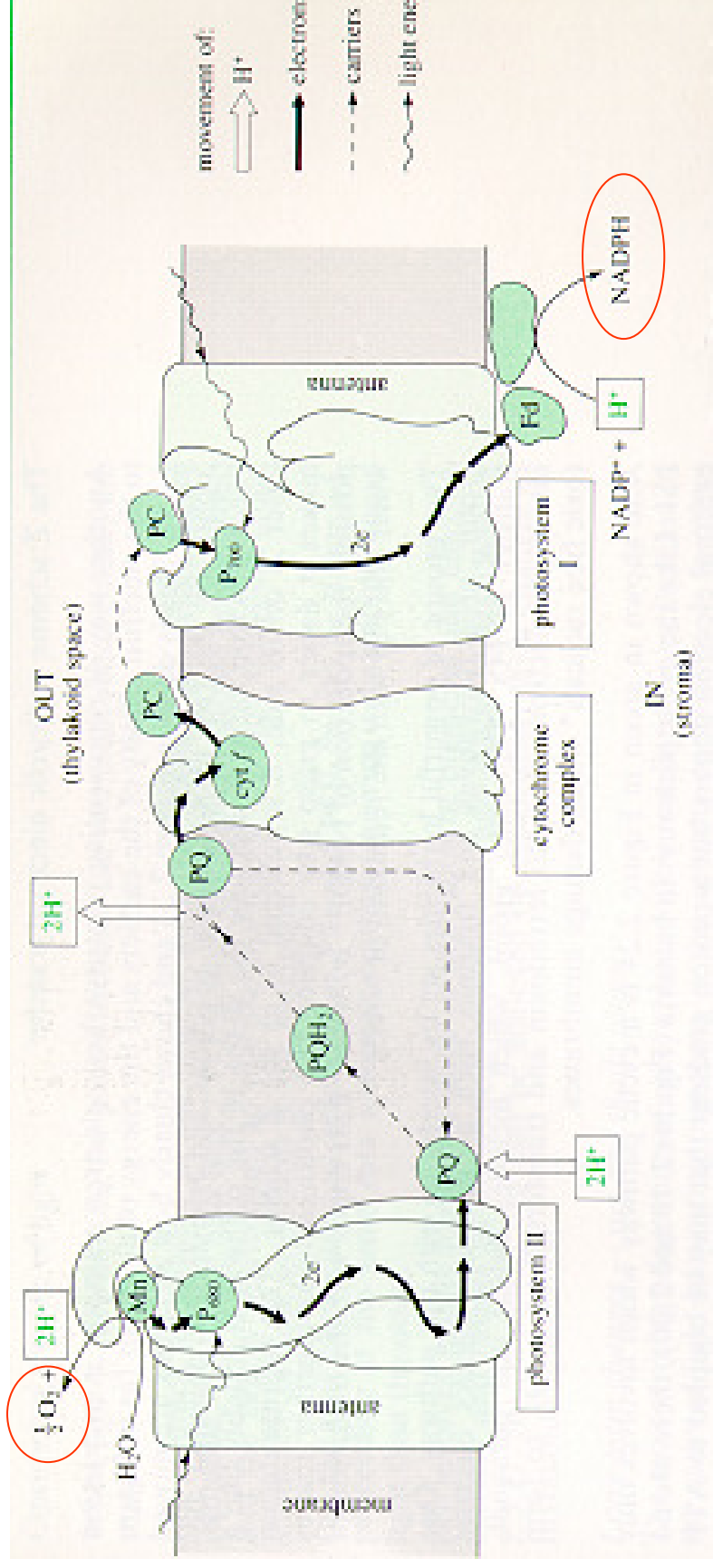


# Lichtgetriebener Elektronentransport in der Thylakoidmembran führt zu PMK



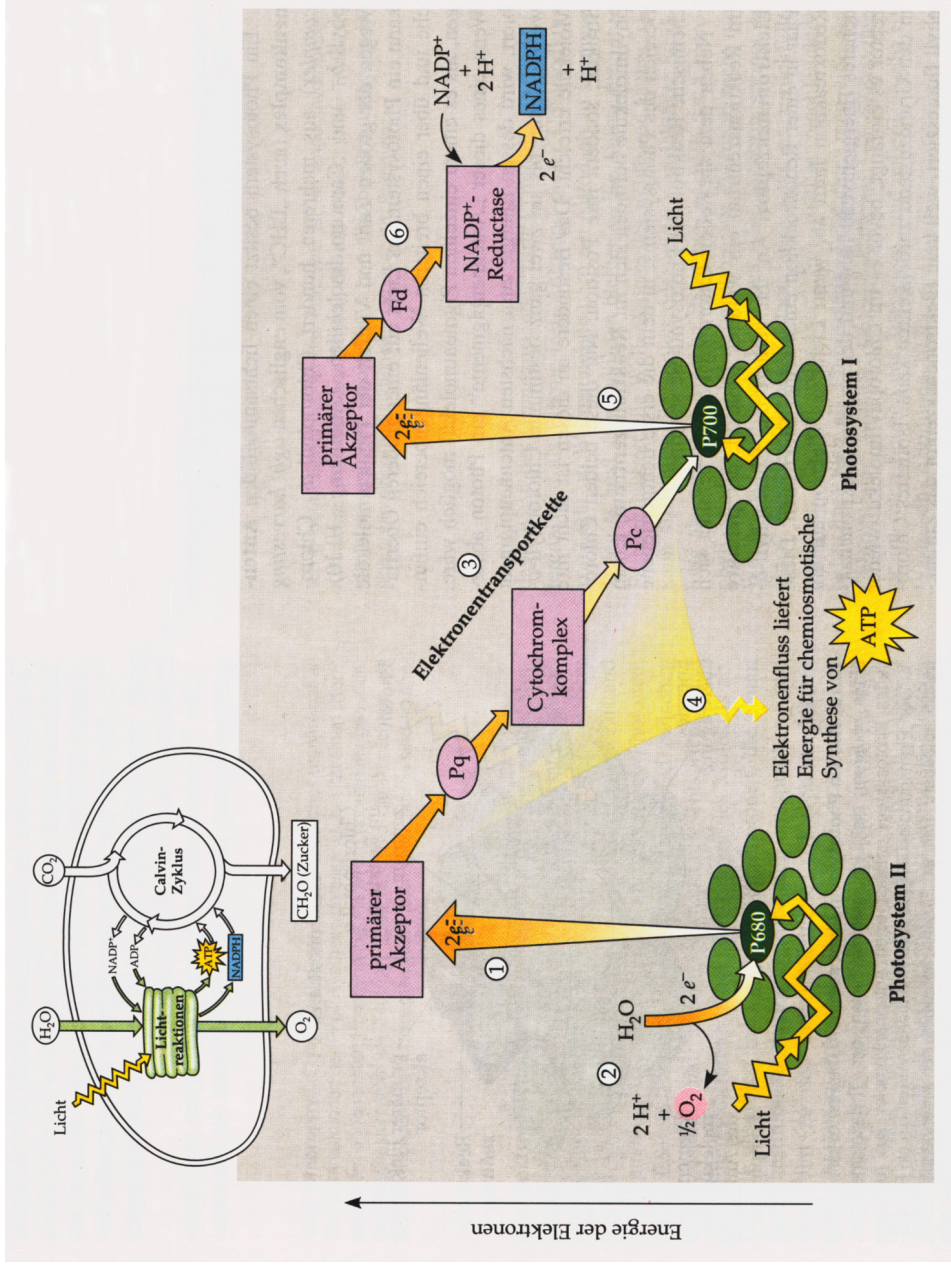
# PMF entsteht an drei Punkten

---



- Wasserspaltung im Lumen
- Transport von Protonen vom Stroma zum Lumen durch Plastochinon
- Aufnahme eines Protons im Stroma bei der Reduktion von  $\text{NADP}^+$

# Z-Schema der Photosynthese



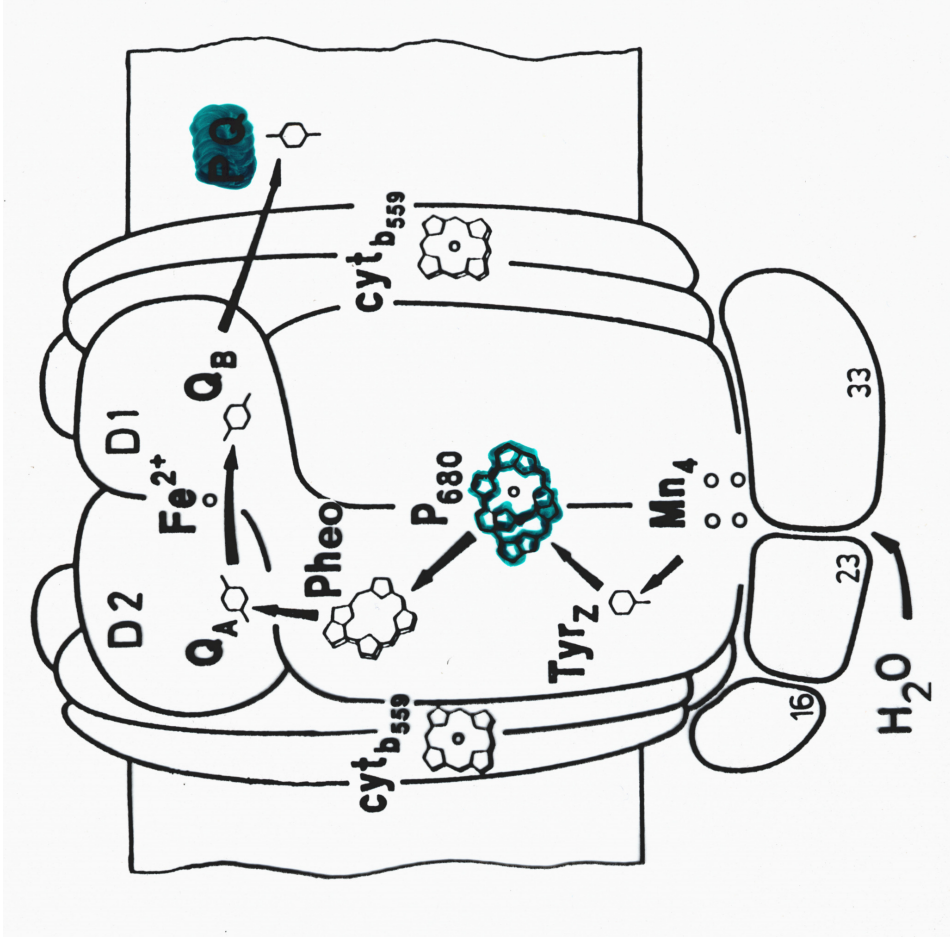
# Ergebnis der Lichtreaktion

---



- Sauerstoff
- NADPH
- PMF, wird zur Synthese von ATP genutzt
  
- ATP und NADPH werden gebraucht, um CO<sub>2</sub> zu fixieren und zu reduzieren (Dunkelreaktion)

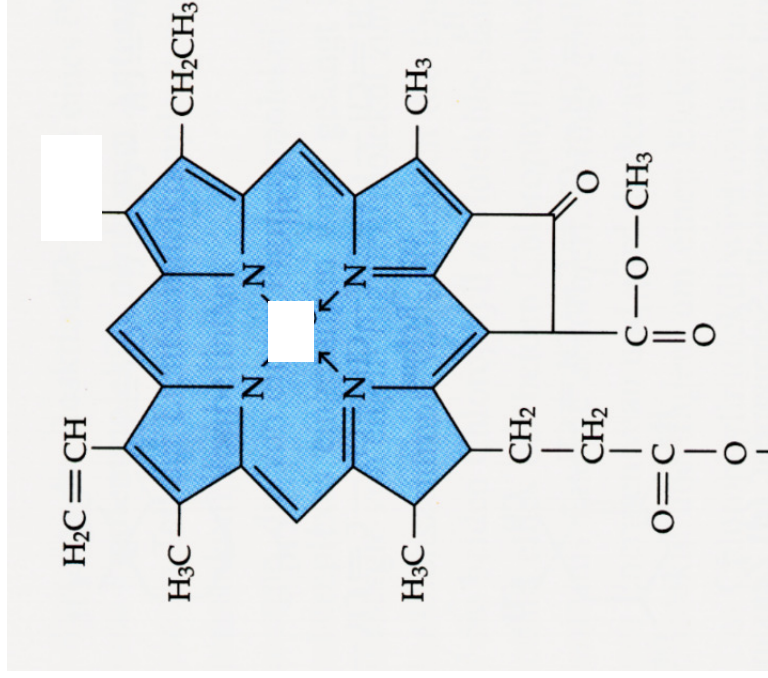
# Photosystem II



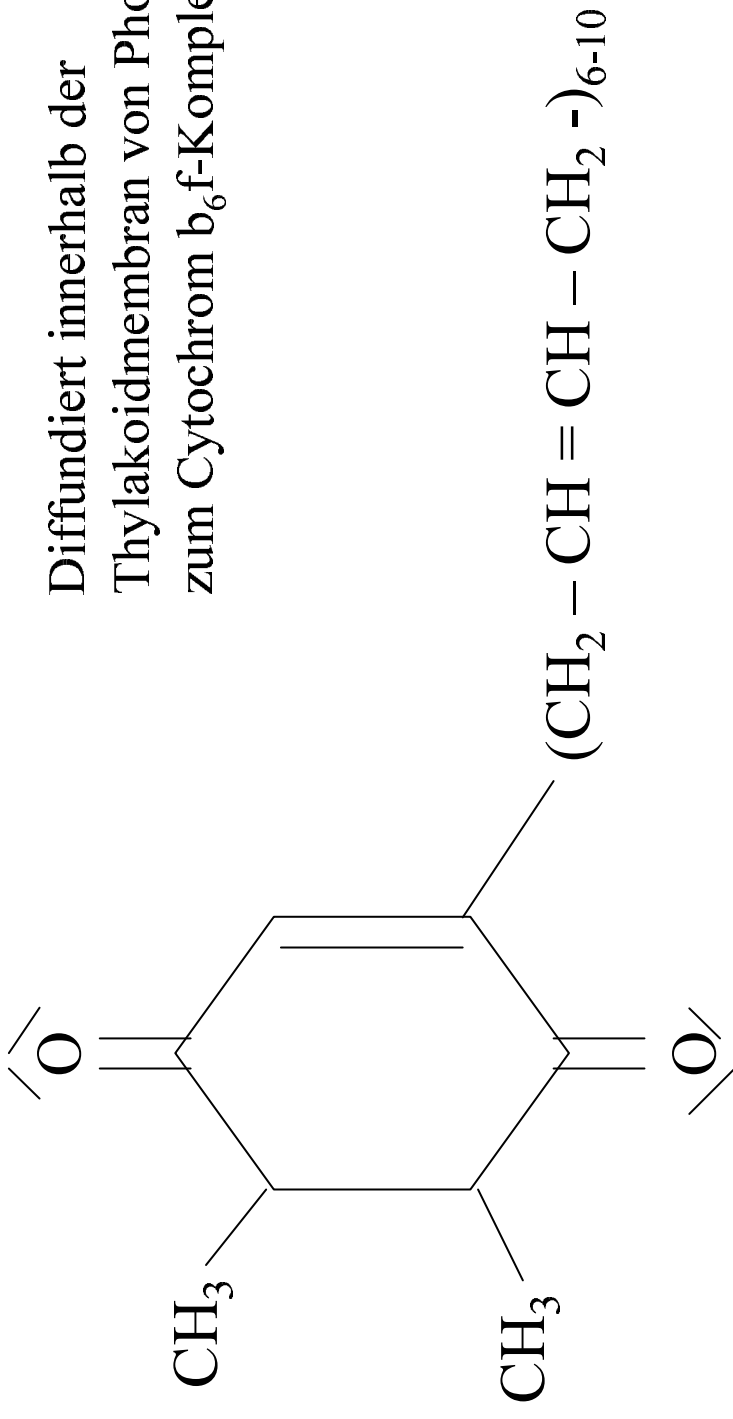
# Phaeophytin



- Phaeophytin besteht wie das Chlorophyll aus einem Ringsystem mit konjugierten Doppelbindungen, enthält aber kein zentrales  $Mg^{2+}$  Ion.



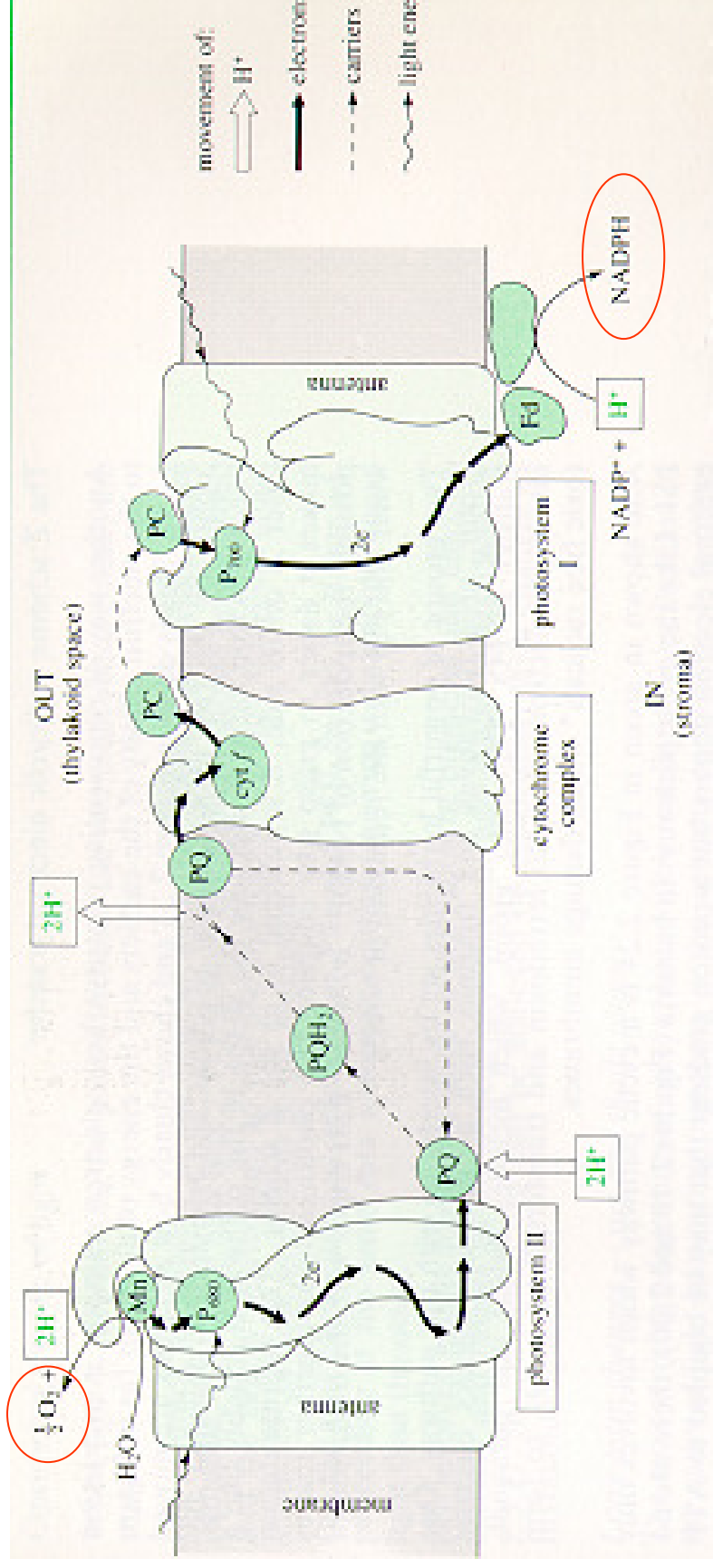
# Plastoquinon



Diffundiert innerhalb der  
Thylakoidmembran von Photosystem I  
zum Cytochrom  $b_6f$ -Komplex



# Lichtgetriebener Elektronentransport in der Thylakoidmembran führt zu PMK



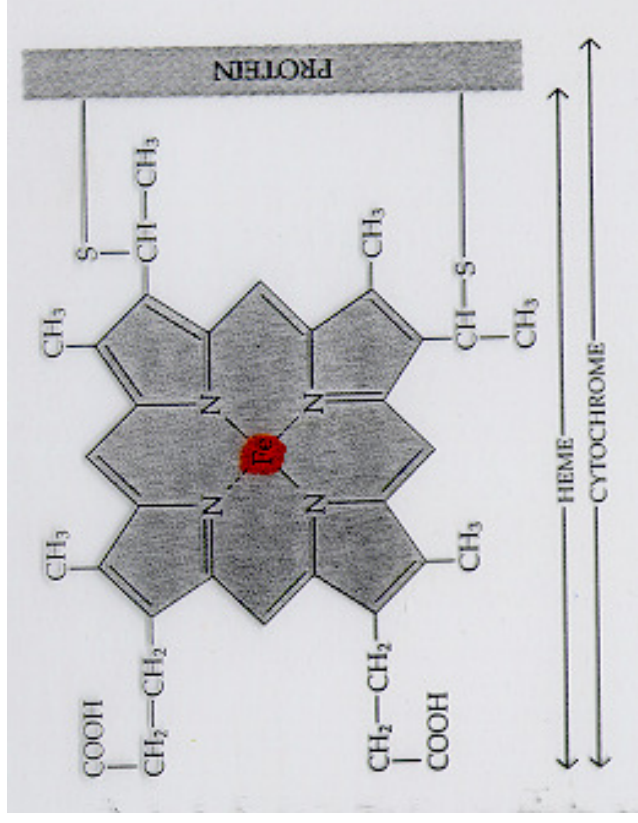
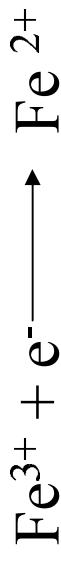
+ PMK



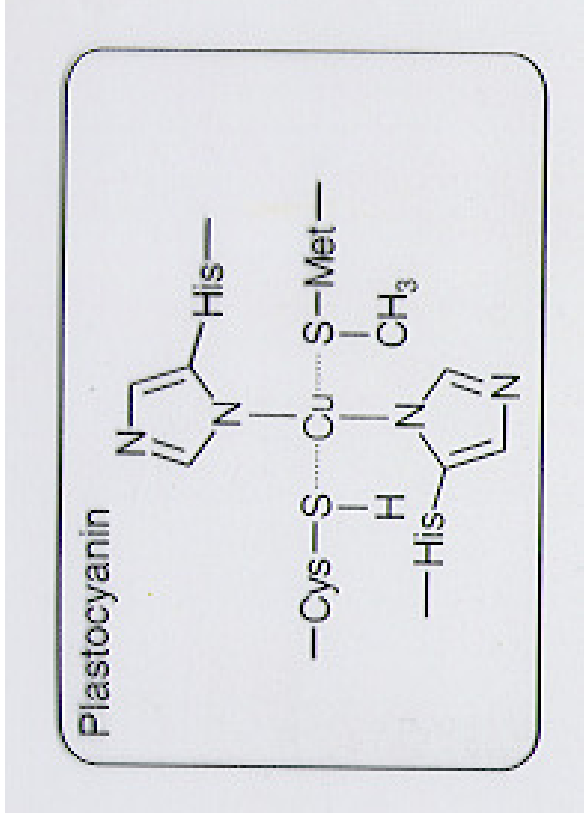
# Cytochrom



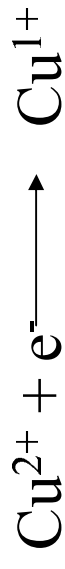
- Das zentrale Eisen-Ion in der Hemgruppe der Cytochrome kann Elektronen aufnehmen und abgeben:



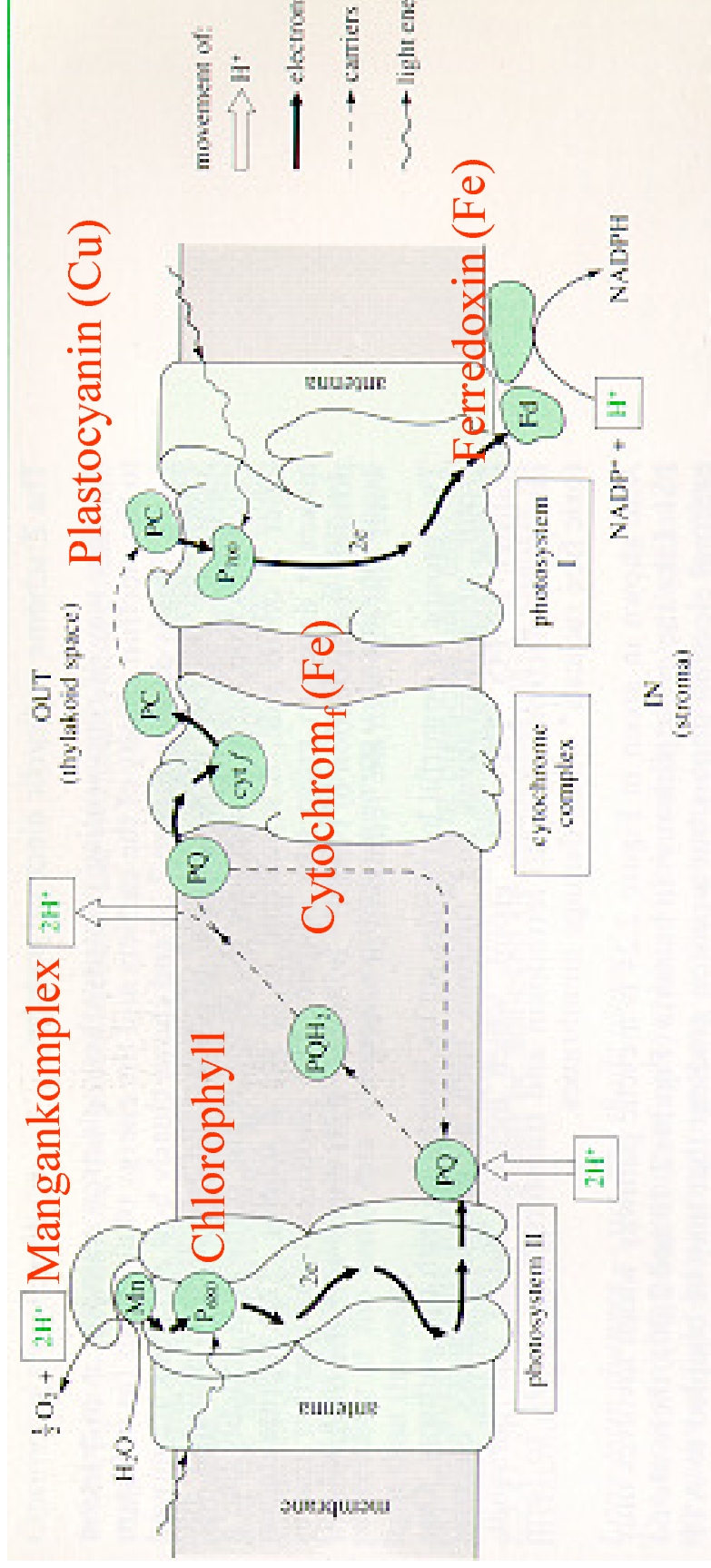
# Plastocyanin



- Das zentrale Cu-Ion im Plastocyanin kann Elektronen aufnehmen und abgeben.



# Elektronentransport in der Thylakoidmembran



Welche der hier gezeigten Komponenten der chloroplastidären Elektronentransportkette übertragen nur Elektronen? Nennen Sie ggf. die beteiligten Ionen.

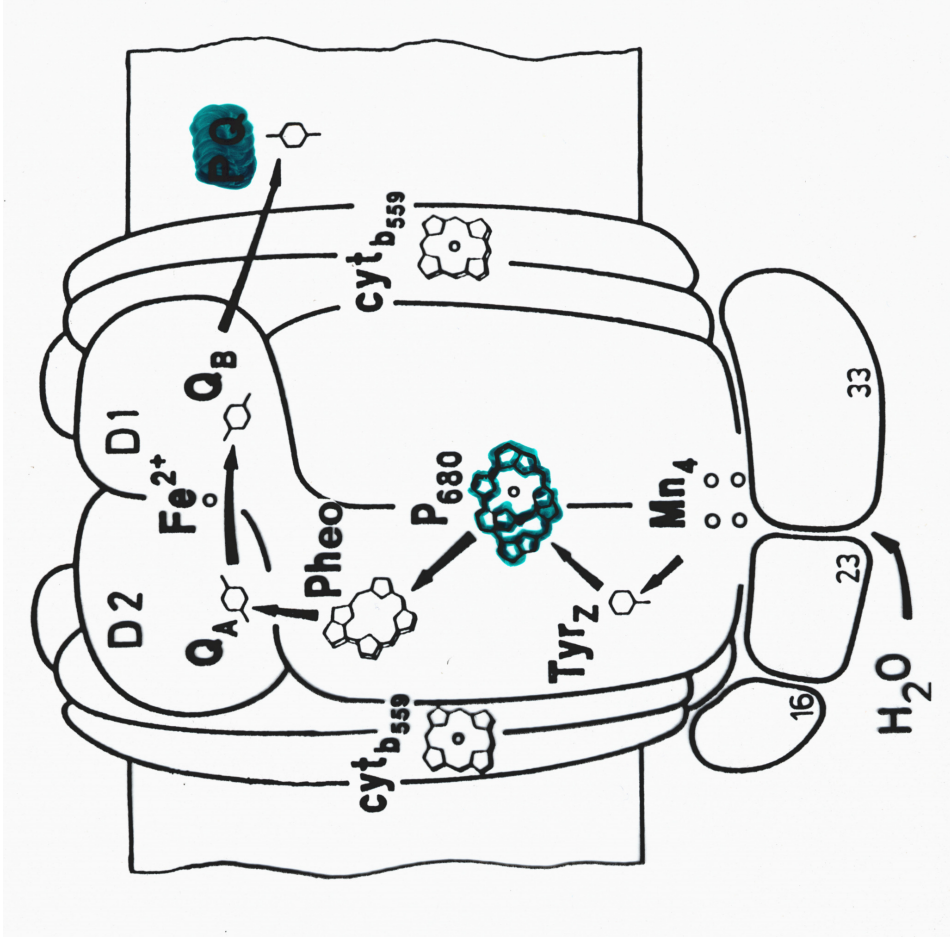
# Elektronentransportkette

---



- Elektronen werden in der Membran durch drei Komplexe transportiert:
  - H<sub>2</sub>O
  - Photosystem II
  - Plastochinon
  - Cytochrom b<sub>6</sub>f Komplex
  - Plastocyanin
  - Photosystem I
  - NADPH

# Photosystem II



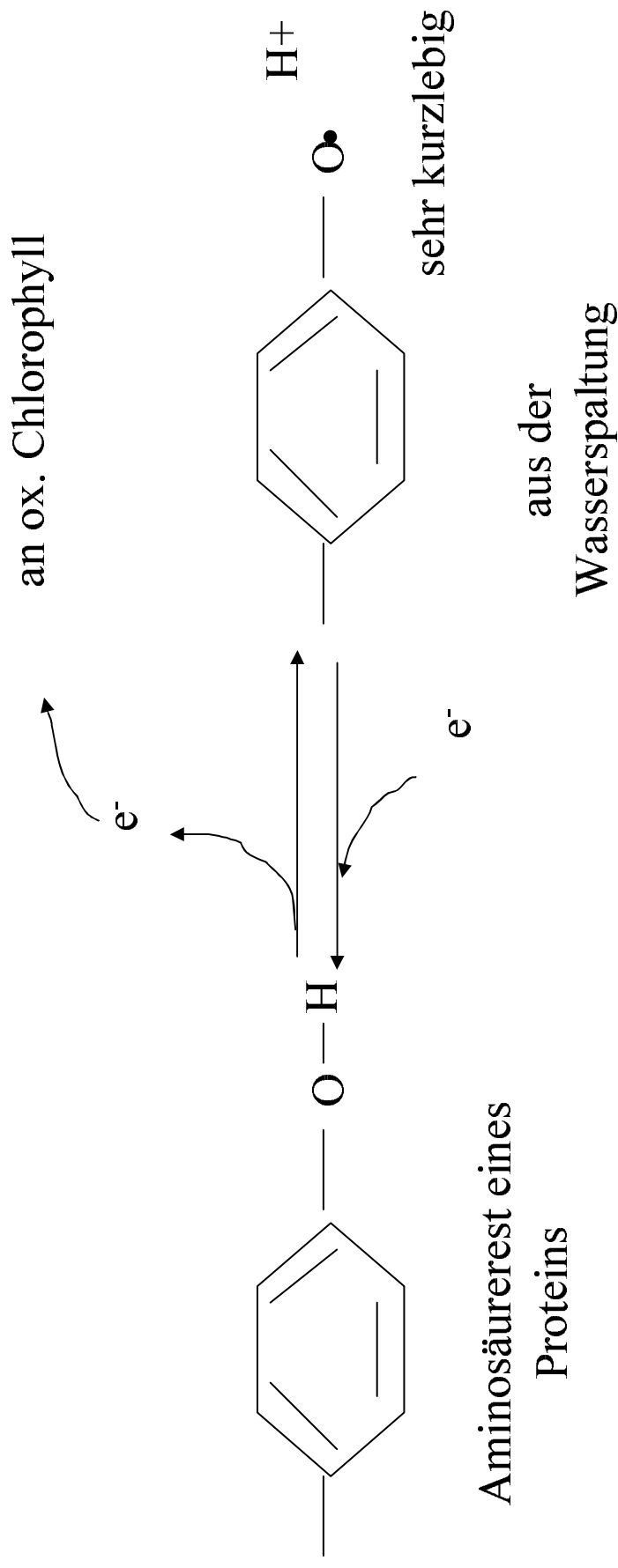
# Der Mn-Komplex

---



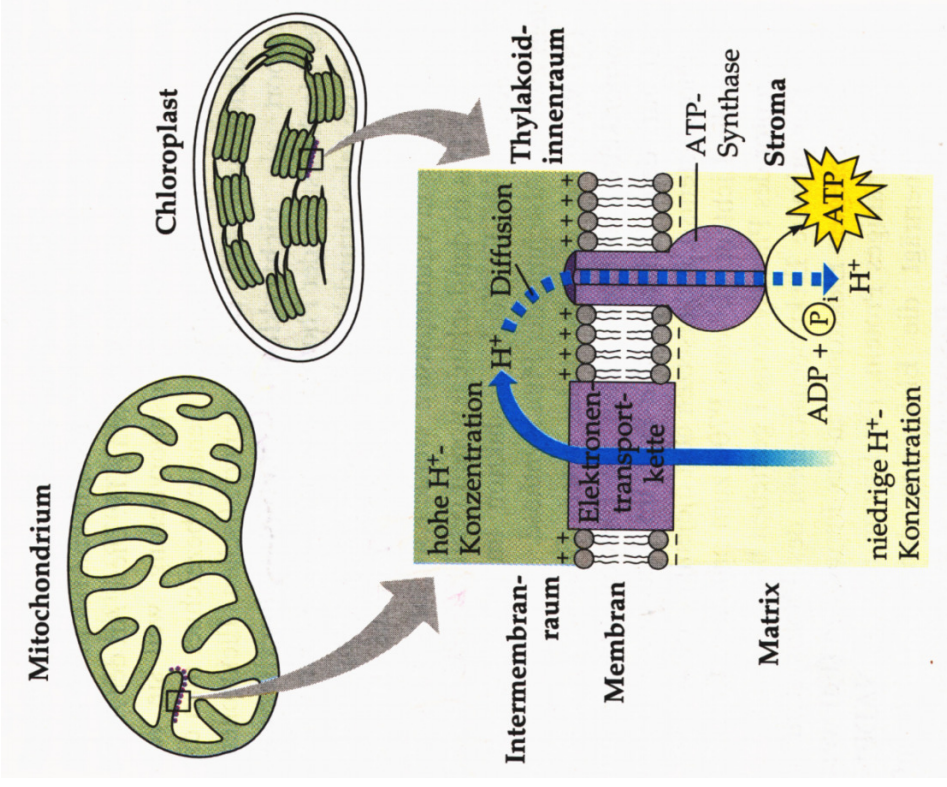
- **Problem:** für die Entstehung von  $O_2$  braucht man 2 Wassermoleküle, die 4 Elektronen und 4 Protonen abgeben. Chlorophyll im Reaktionszentrum nimmt aber immer nur ein Elektron auf.
- **Lösung:** Mn-Komplex nimmt 4 Elektronen auf und gibt diese sukzessive an Chlorophyll im Reaktionszentrum ab.

# Elektronentransport am TyrZ





# PMK in Chloroplasten und Mitochondrien



Hohe Protonenkonzentration  
im **Intermembranraum**, bzw.  
im **Lumen**.

Niedrige Protonenkonzentration  
in der **Matrix**  
bzw. im **Stroma**.

ATP-Synthese:

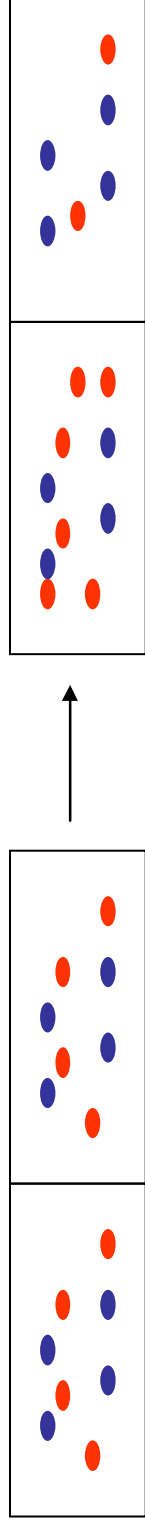
**Oxidative Phosphorylierung**  
**Photophosphorylierung**

# Der elektrochemische Gradient



$$\Delta\mu = \Delta E + \Delta c$$

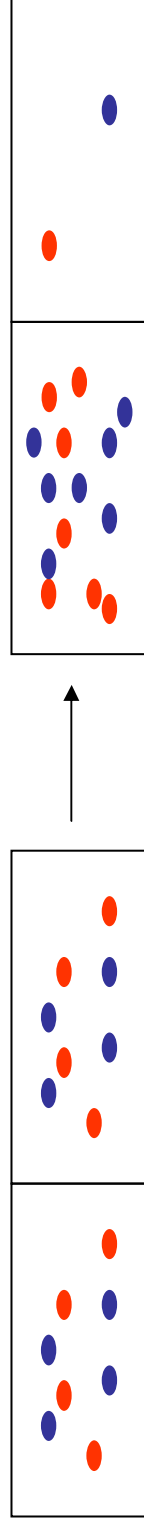
- In Mitochondrien ist die Energie zum Großteil im elektrischen Potential gespeichert.



positiv

negativ

- In Chloroplasten ist die Energie zum Großteil im chemischen Potential gespeichert



Kein Ladungsunterschied

# Antennenpigmente

---

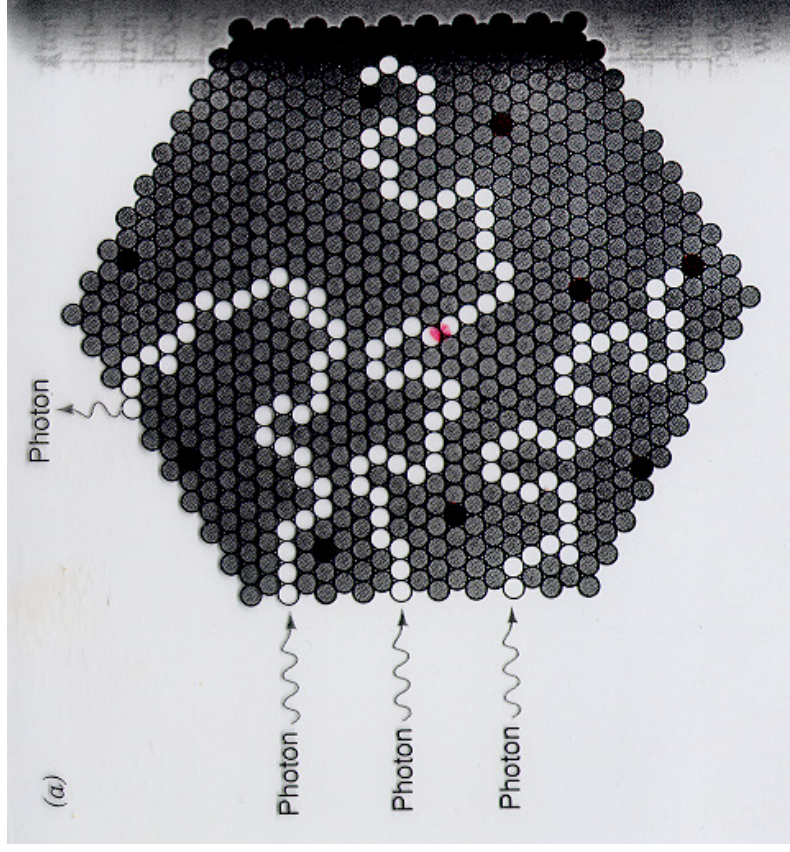


- Nur das Chlorophyllpaar im **Reaktionszentrum** ist so positioniert, dass es Elektronen an die Elektronentransportkette abgeben kann.
- Chlorophylle der Antennen dienen als „**Lichtfänger**“, die die Energie dem Chlorophyll im Reaktionszentrum zuleiten.

# Energietransfer



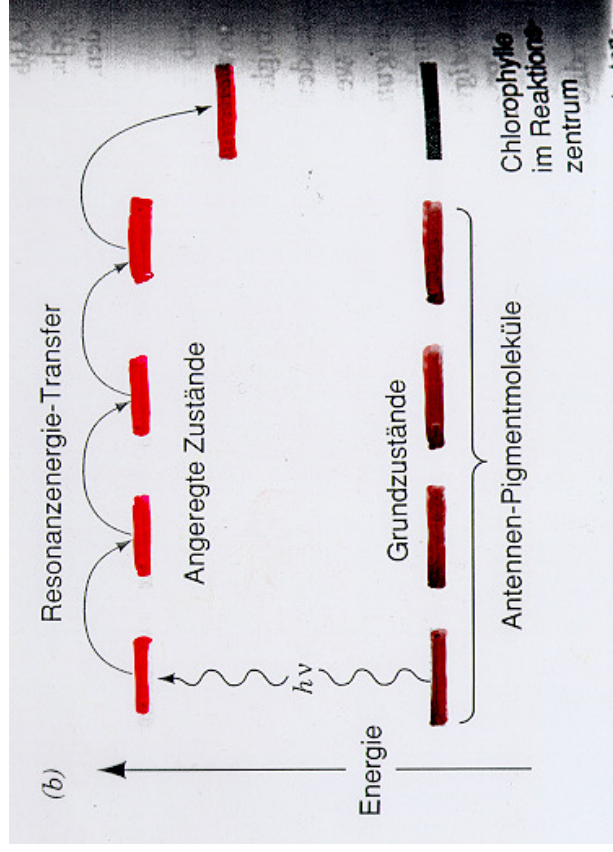
- von den Chlorophyllen der Antennen zum Chlorophyll im Reaktionszentrum



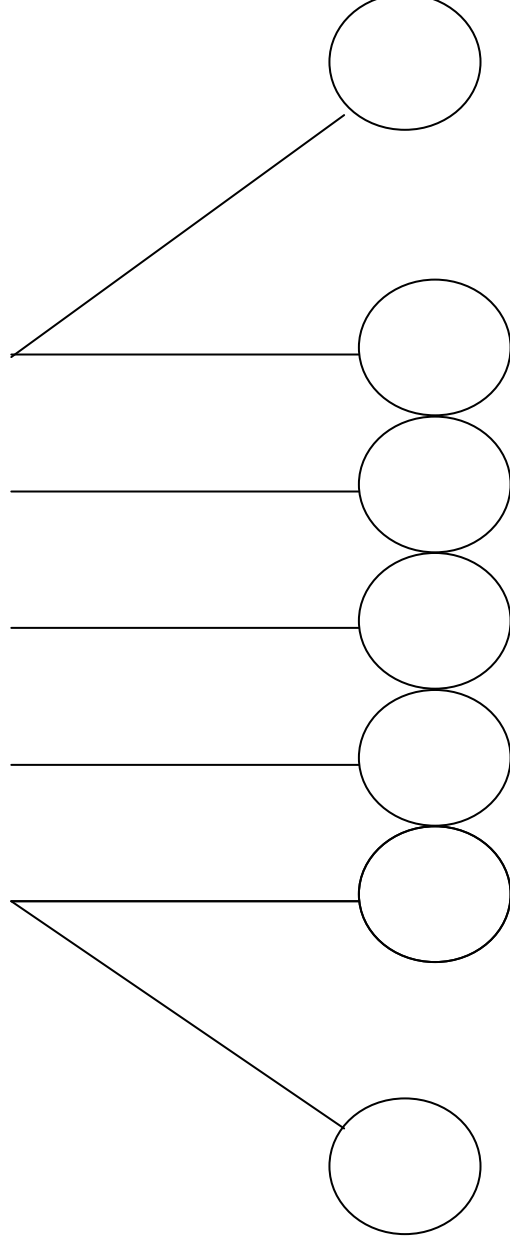
# Energiefallen



- Angeregte Chlorophylle im Reaktionszentrum können die Energie nicht wieder auf die Chlorophylle der Antennen übertragen.
- Die absorbierte Energie wird zur Anregung des Elektrons benutzt.
- Das Elektron wird auf Pheophytin übertragen.

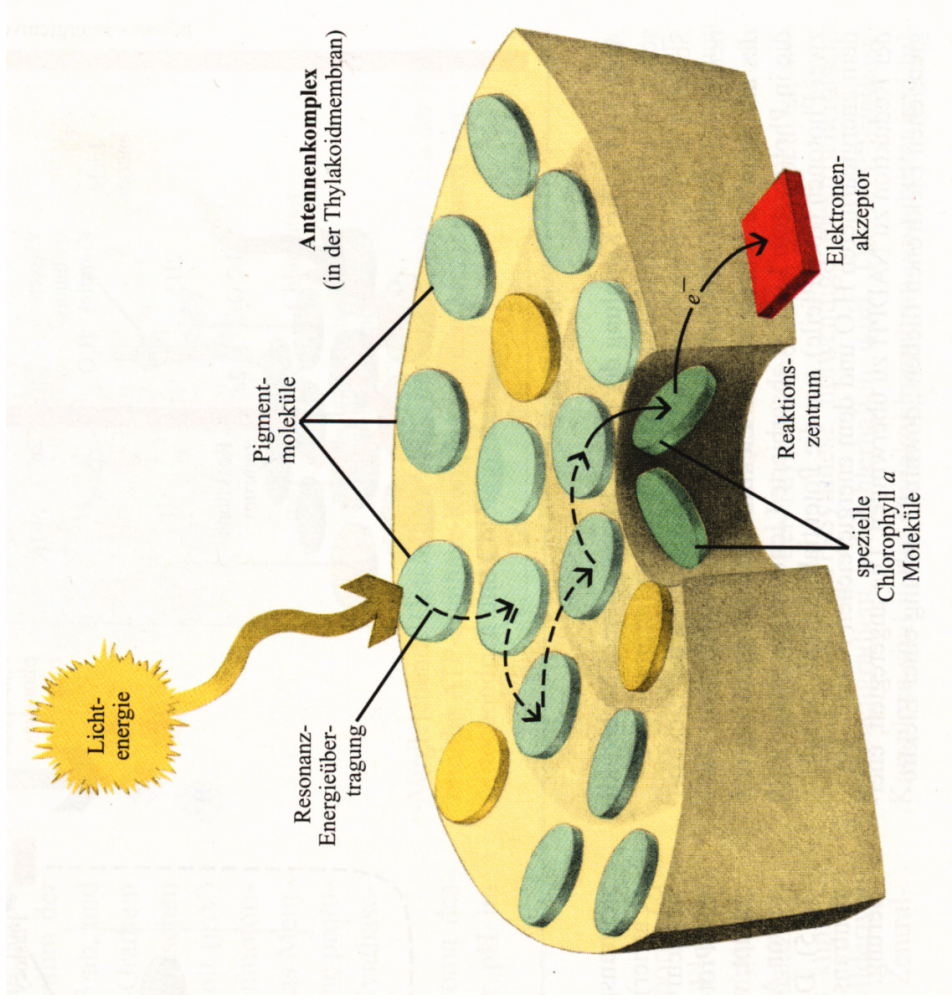


# Resonanztransfer





# Photosysteme

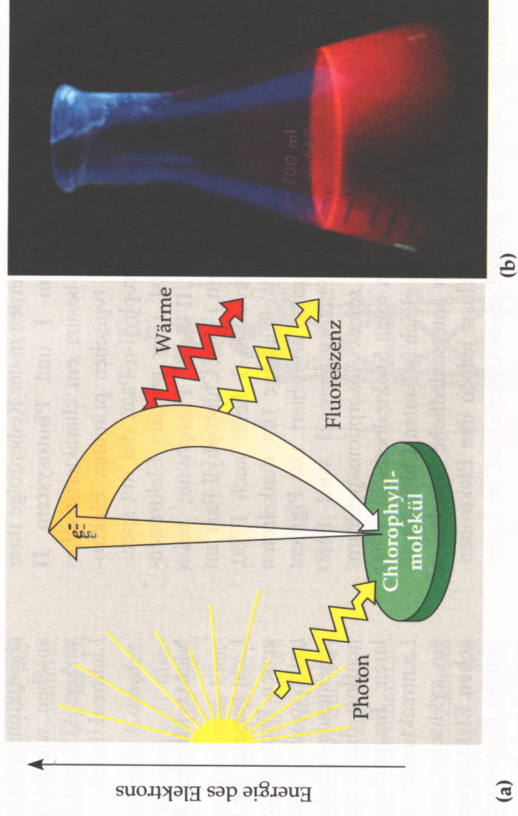




# Schicksal der Energie eines angeregten Elektrons

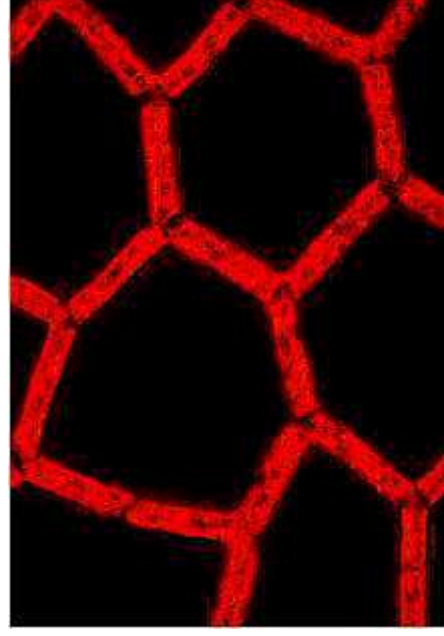
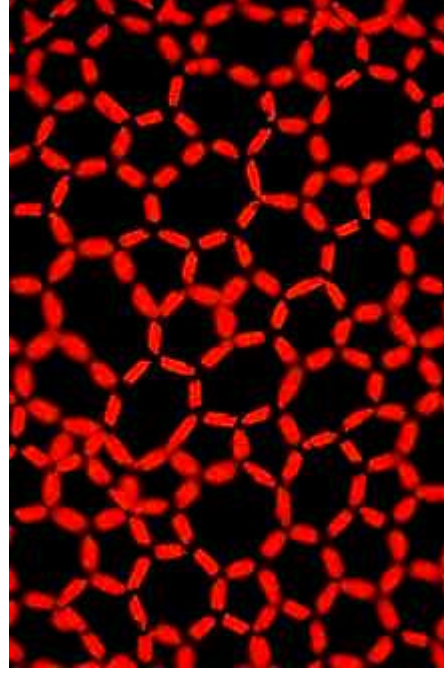
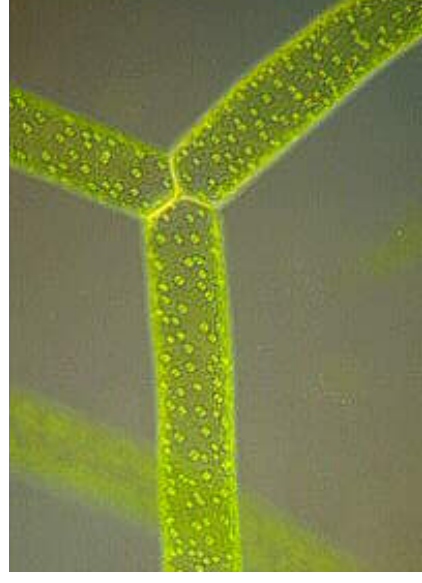
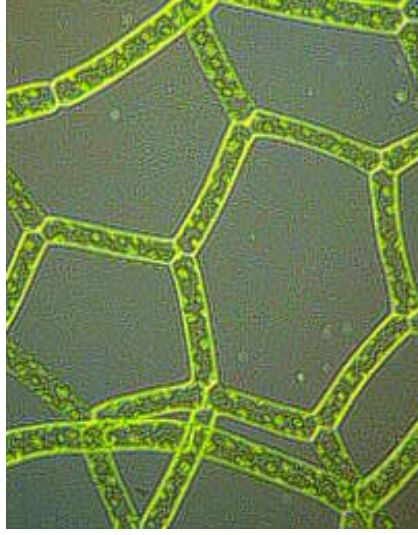


- im Reaktionszentrum:
  - Transfer des angeregten Elektrons auf Pheophytin
- In den Antennen
  - Resonanzenergie transfer auf benachbarte Chlorophylle
- In Antennen und im Reaktionszentrum
  - Wärme
  - Fluoreszenz



# Chlorophyllfluoreszenz

---

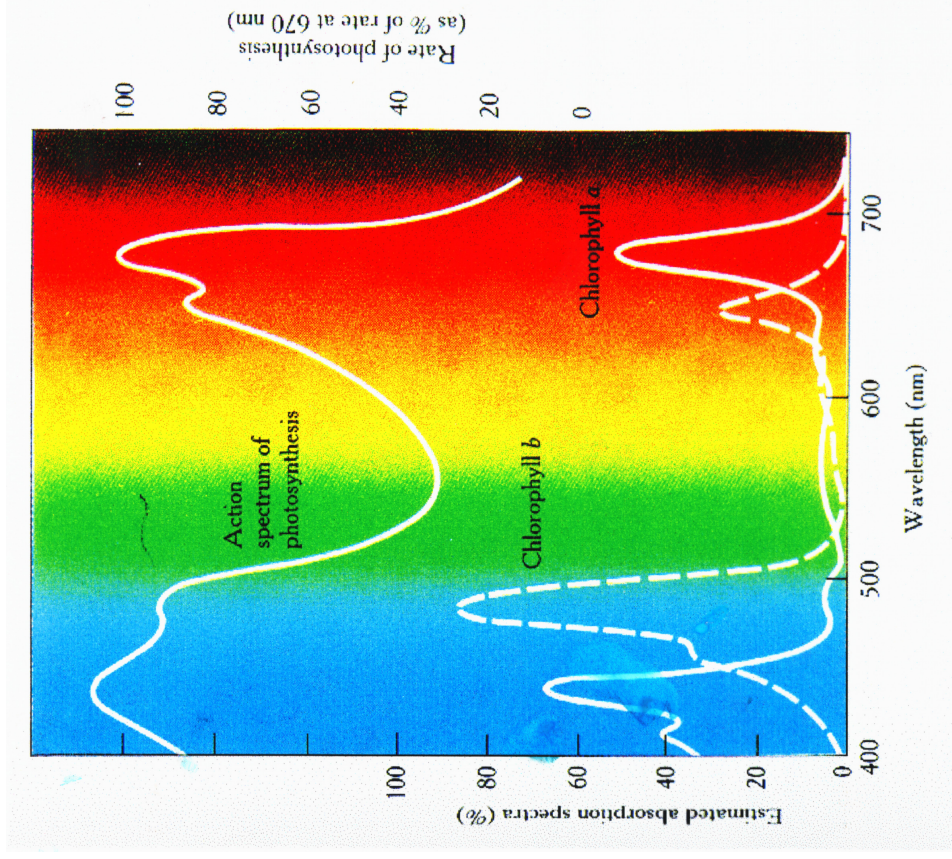


# Welche Komponenten von Photosystem II kennen Sie



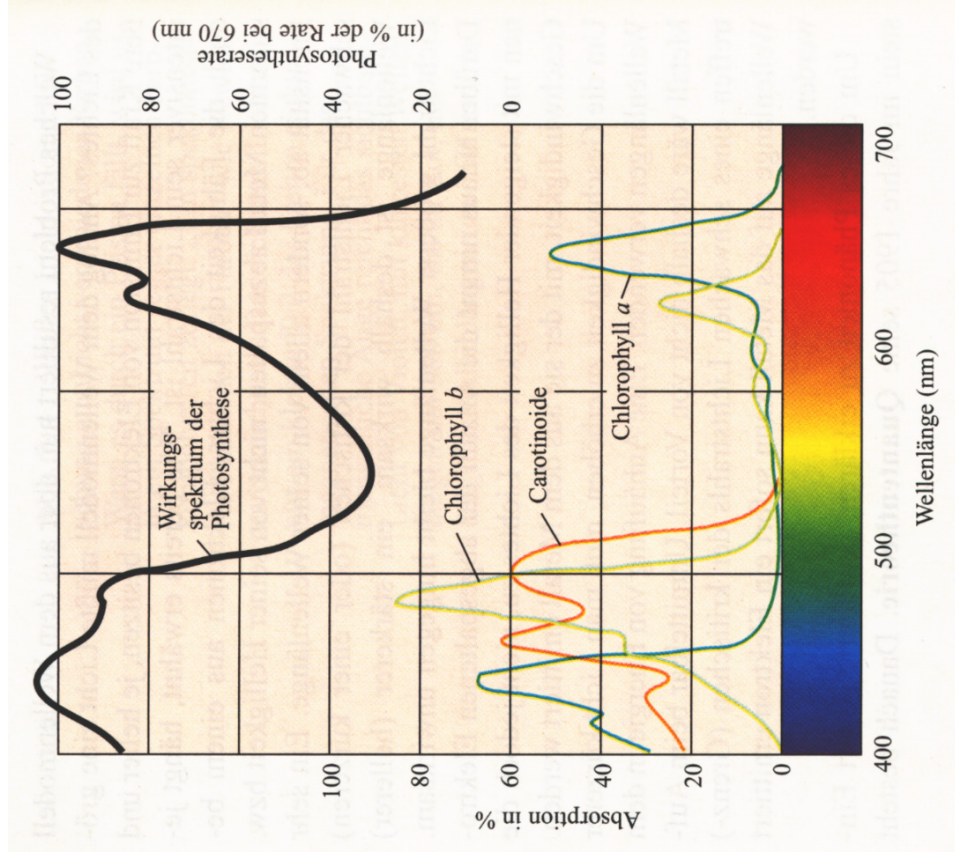
- 
- Komponenten der Elektronentransportkette
    - Mangankomplex
    - TyrZ
    - Reaktionszentrum mit 2 Molekülen Chlorophyll a
    - Phaeophytin
    - Plastochinon<sub>a</sub>
  - Antennenpigmente
    - Ca. 250 – 400 Chlorophyllmoleküle (a und b)
    - **50 Carotinoide**

# Die „Grünücke“

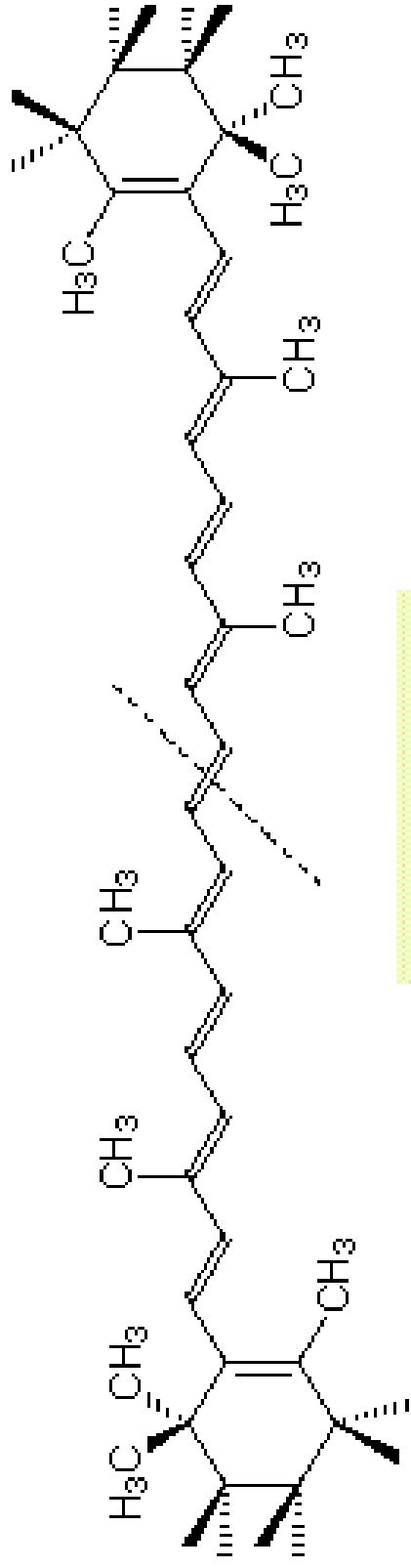




# Carotinoide schließen die Grünlücke

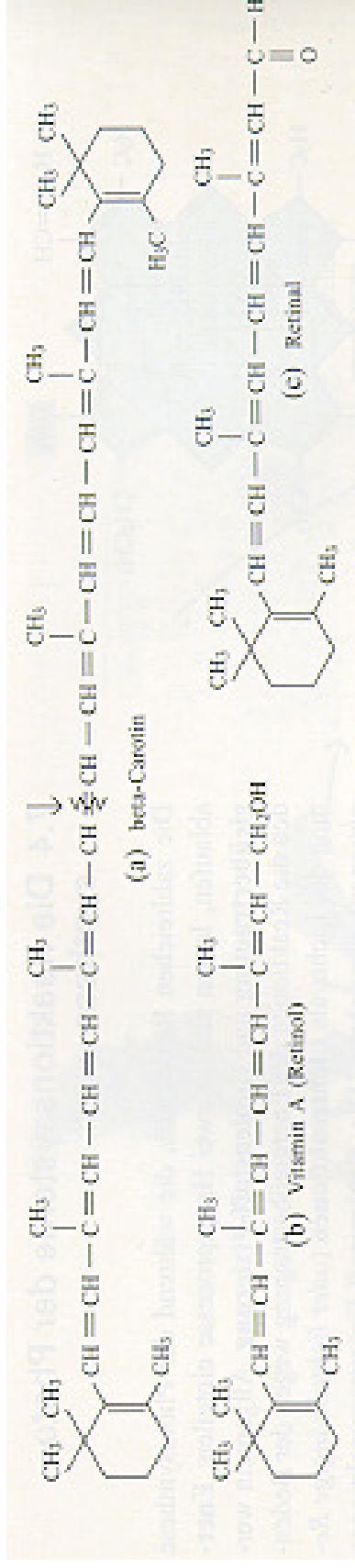


# Struktur der Carotinoide



- Konjugierte Doppelbindungen ermöglichen die Anregung von Elektronen zwischen 400 und 500 nm (blauer Bereich)

# Vitamin A und Retinol



- Die meisten Tiere spalten ein Molekül  $\beta$ -Carotin in zwei Moleküle Vitamin A
- Durch Oxidation der Alkoholgruppe zur Aldehydgruppe entsteht Retinal, das essentielle Sehpigment.





- 
- Bei der Umwandlung der Energie von 4 „roten“ Photonen können 38% der Energie in Form von NADPH + H<sup>+</sup> und ATP gespeichert werden.
  - Kann die Energie von 4 „blauen“ Photonen mit dem gleichen Wirkungsgrad umgewandelt werden?

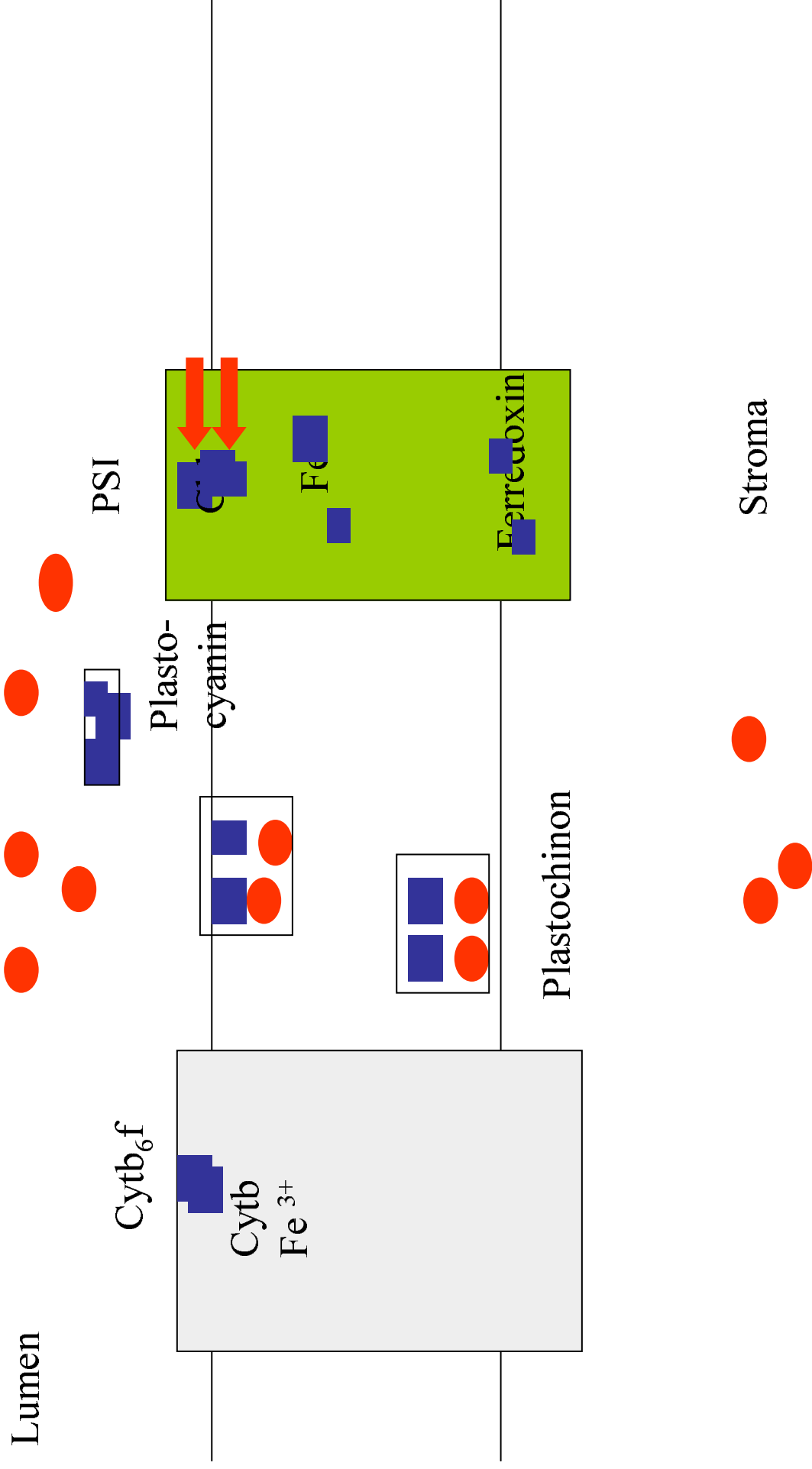
# Zyklischer Elektronentransport



- 
- Herstellung einer PMK zur ATP Gewinnung

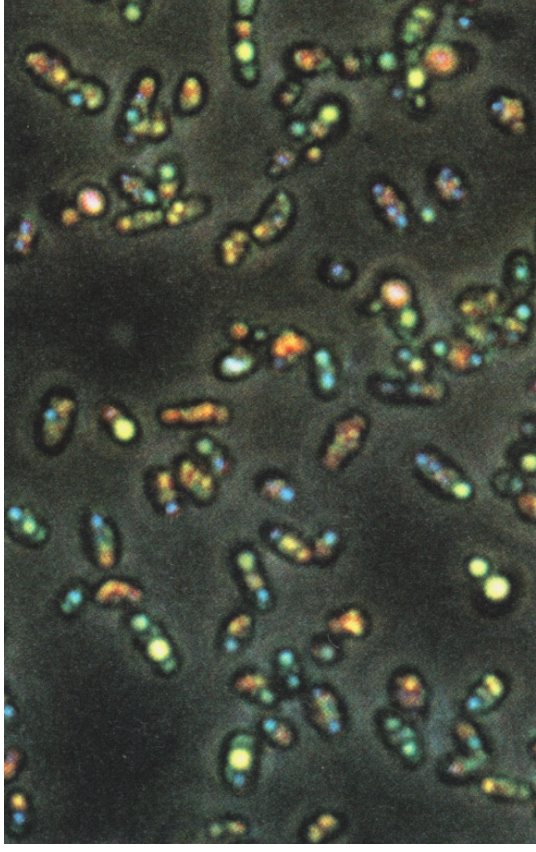


# Zyklischer Elektronentransport führt zur PMF



# Schwefelpurpurbakterien

---



- $\text{H}_2\text{S}$  wird zu Schwefel oxidiert, der in Form von Schwefelkügelchen akkumuliert.
- Die Übertragung der Elektronen auf  $\text{NAD}^+$  erfolgt mit Hilfe der Energie des Protonengradienten (aus dem zyklischen Elektronentransport).
- Die Reduktionsequivalente werden zur Reduktion des Kohlendioxids benötigt.

# Grüne Schwefelbakterien

---



- Elektronenlücke des Photosystems wird durch die Elektronen des  $H_2S$  geschlossen.
- Da der Elektronensog des Schwefels nicht so stark ist wie der des Sauerstoffs, wird nur ein Photosystem benötigt, d.h. 2 Photonen reichen, um ein Molekül  $NAD^+$  zu reduzieren.
- Nicht-zyklischer Elektronentransport

# Photosynthese ohne Sauerstoffentwicklung

---

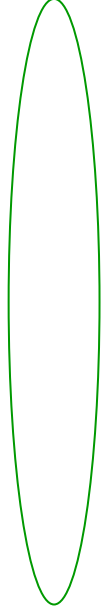


# Hill-Reaktion

---



Sauerstoff  
entweicht



Belichtung

Präparation von  
Thylakoidmembranen

Zugabe eines anorganischen  $\text{Fe}^{3+}$ -  
Komplexes (ersetzt  $\text{NADP}^+$ )

Reduktion von  $\text{Fe}^{3+}$  zu  $\text{Fe}^{2+}$  ist an  
der Färbung des Komplexes zu  
erkennen.

Ist in Abwesenheit von  $\text{CO}_2$  zu  
beobachten.

Der Sauerstoff stammt nicht aus  
dem  $\text{CO}_2$