

# Enzyme

---

## Inhaltsverzeichnis

Ihr kennt den Aufbau von Proteinen (mit vier Strukturelementen) und kennt die Kräfte, welche den Aufbau und die Funktion von Enzymen bestimmen.....	3
Ihr versteht die Einteilung der Aminosäuren in die vier Gruppen .....	4
Ihr könnt die Formel eines Peptids aus drei Aminosäuren zeichnen und wisst, wo die Seitengruppen vorliegen.....	4
Ihr kennt den Einfluss von pH-Wert und Temperatur auf die Funktion und den Aufbau von Enzymen .....	5
Ihr könnt die Begriffe katalytisches Zentrum, allosterische Aktivierung, allosterische Inhibition und kompetitive Inhibition mit Hilfe eines Modells erklären.....	5
Ihr kennt die Reaktionen, welche durch Urease, Katalase, Amylase und Trypsin katalysiert werden .....	6
Ihr könnt kompetent erläutern, wie der Km-Wert eines Enzyms experimentell bestimmt werden kann .....	6
Ihr könnt aus den experimentellen Daten den Km-Wert eines Enzyms bestimmen.....	6
Ihr könnt erklären, wie allosterische - und kompetitive Inhibitoren den Km-Wert und den Vmax-Wert eines Enzyms beeinflussen. ....	7
Ihr könnt an je einem Beispiel erklären, warum die Inhibition oder Aktivierung von Enzymen für den Organismus sinnvoll ist. ....	7
Ihr könnt kompetent erläutern, wie Veränderungen der Aminosäuren (bewirkt durch Genmutationen) in einem Enzym die Funktion des Enzyms beeinflussen können .....	7
Ihr könnt die Begriffe aktives Zentrum und Reaktionsmechanismus am Beispiel von Trypsin erklären.....	8
Ihr könnt den Begriff Substratspezifität eines Enzyms an den Beispielen von Trypsin und Chymotrypsin erklären. ....	8
Ihr wisst, welche Rolle Prosthetische Gruppen und Cosubstrate bei Enzymen haben und könnt dies an je einem Beispiel plastisch erläutern.....	9
Ihr könnt erklären, wie der Sauerstofftransport im Blut durch Hämoglobin bewirkt wird und wie die Bindung von Sauerstoff an Hämoglobin beeinflusst wird .....	9
Ihr könnt die Photosynthese erklären und wisst, wie mit Hilfe von Sonnenlicht Zucker und Sauerstoff produziert wird .....	10

- Ihr könnte erklären, inwiefern sich die Photosynthese in den Schwefelbakterien von der normalen Photosynthese unterscheiden ..... 12
- Ihr könnt die Atmungskette erklären und wisst, wie mit Hilfe von Zucker und Sauerstoff in der Zelle ATP regeneriert wird ..... 12
- Ihr könnt erklären, wie Cyanid-Ionen (CN<sup>-</sup>) die Atmungskette blockieren! ..... 14

## Info

Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Jede Haftung wird abgelehnt.

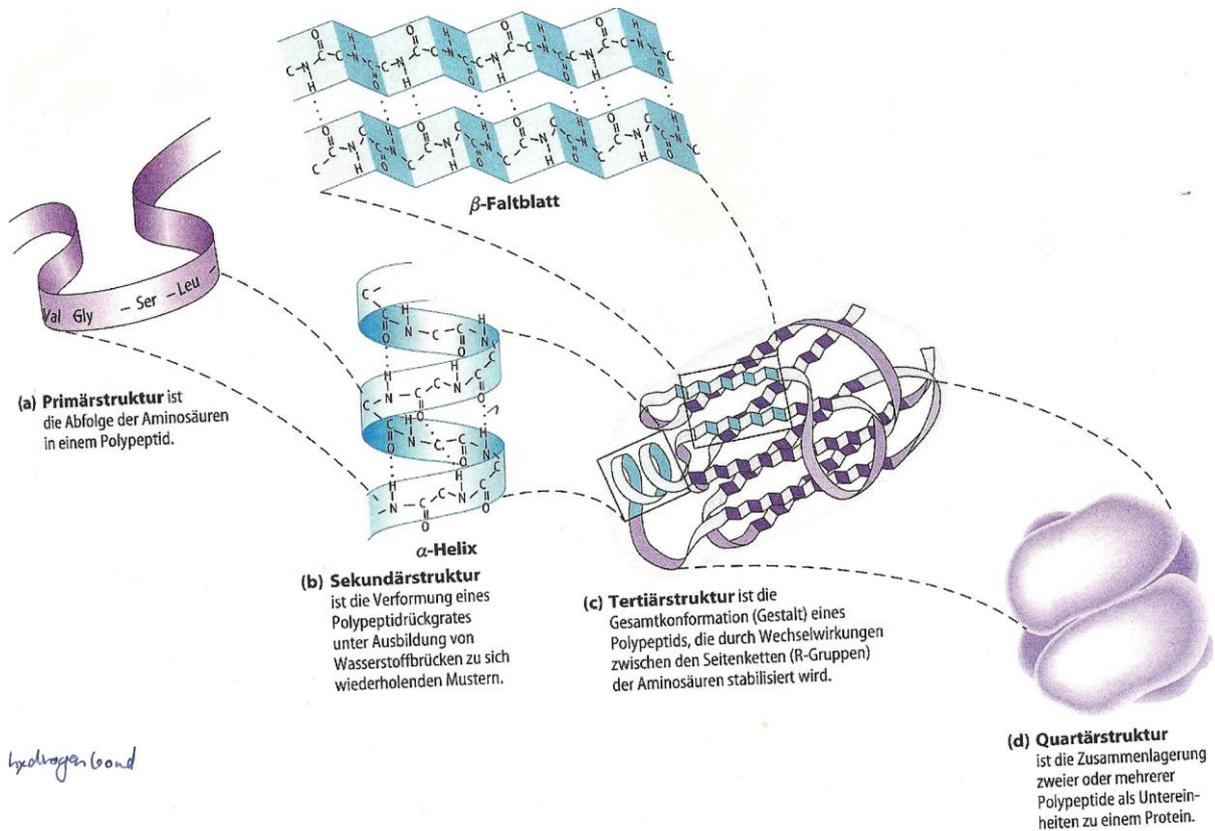
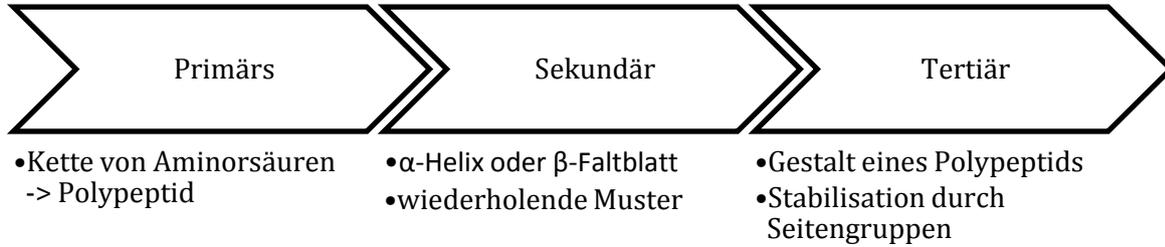
[Creative Commons Namensnennung-Keine kommerzielle Nutzung 3.0 Lizenz.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)



**Lernteil**

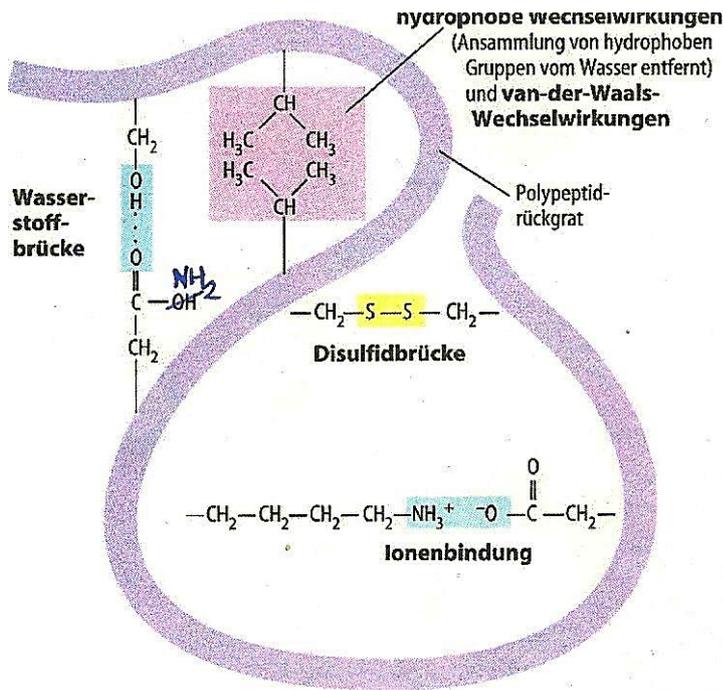
Ihr kennt den Aufbau von Proteinen (mit vier Strukturelementen) und kennt die Kräfte, welche den Aufbau und die Funktion von Enzymen bestimmen

**Aufbau**



**Kräfte**

- Van-der-Waals
- Disulfidbrücke
- Wasserstoffbrücke
- Ionenbindung



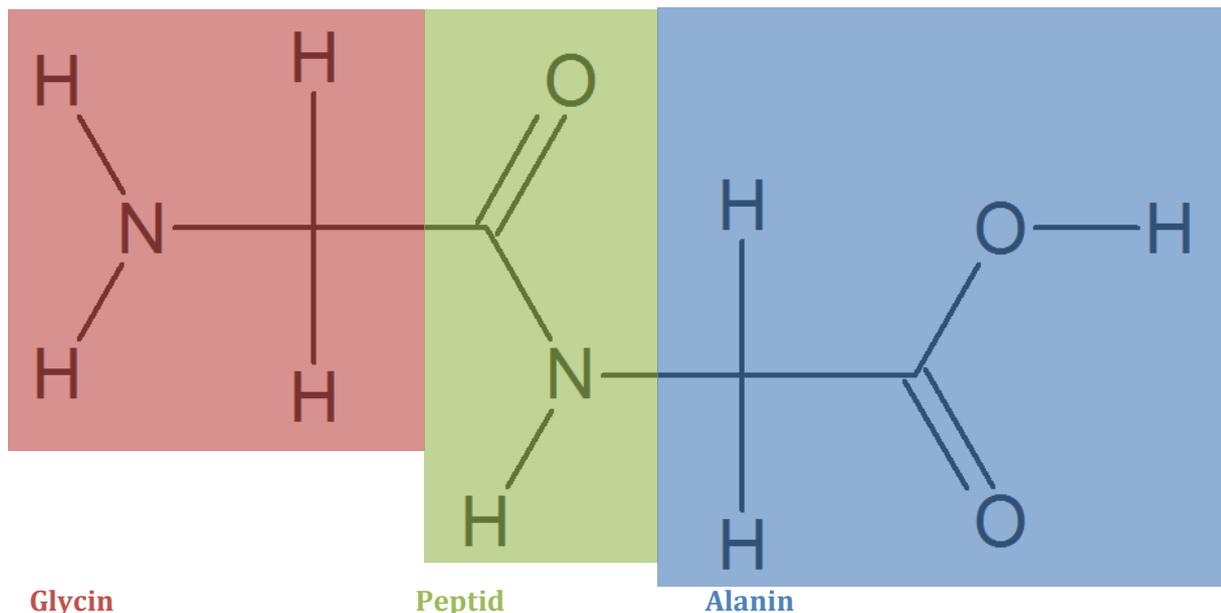
Ihr versteht die Einteilung der Aminosäuren in die vier Gruppen

Gruppen

- Hydrophob (unpolar)
- Hydrophil (polar)
- Negativ geladen / sauer
- Positiv geladen / basisch

Ihr könnt die Formel eines Peptids aus drei Aminosäuren zeichnen und wisst, wo die Seitengruppen vorliegen

„Ein Peptid ist ein kleines Protein. Es ist eine organische Verbindung, die aus einer Verknüpfung mehrerer Aminosäuren entstanden ist.“



## Ihr kennt den Einfluss von pH-Wert und Temperatur auf die Funktion und den Aufbau von Enzymen

- Temperatur: zwischen 50-60 °C gehen Tertiärstrukturen kaputt, ab 100°C auch sekundäre; wobei aber grundsätzlich die RGT-Regel<sup>1</sup> gilt
- pH: tiefer pH → Veränderung der negativen Seitengruppe (wird neutralisiert), dadurch werden die Ionenkräfte abgeschwächt und die Tertiärstrukturen gehen kaputt.

## Ihr könnt die Begriffe katalytisches Zentrum, allosterische Aktivierung, allosterische Inhibition und kompetitive Inhibition mit Hilfe eines Modells erklären.

### Katalytisches/aktives Zentrum

Ort, wo Katalyse stattfindet, relativ sehr klein.

### Allosterische Inhibition

„Bei der nichtkompetitiven [allosterischen] Hemmung wird durch die Bindung des Inhibitors I an das Enzym E die Substratbindung nicht beeinflusst. Der Inhibitor I ist somit in der Lage sowohl an das freie Enzym E als auch an den Enzym-Substrat-Komplex ES zu binden, d. h. der Inhibitor bindet nicht im Substrat bindenden Teil des Enzyms, dem aktiven Zentrum. Das Substrat kann mit dem Enzym-Inhibitor-Komplex EI ebenfalls eine Reaktion eingehen, jedoch ist der gebildete Enzym-Inhibitor-Substrat-Komplex EIS nicht in der Lage das Produkt P abzuspalten.“

### Allosterische Aktivierung

Ähnlich wie bei der a. Inhibition ist der Aktivator dem Substrat nicht ähnlich und dockt im a. Zentrum an und ermöglicht es dem Enzym nun, das Substrat an das k. Zentrum zu binden.

### Kompetitive Inhibition

„Kompetitive Inhibitoren sind Substanzen, die mit dem Substrat um die Bindungsstelle im aktiven Zentrum des Enzyms konkurrieren. Sie werden nicht umgesetzt und können dadurch vom Substrat wieder verdrängt werden. Kompetitive Inhibitoren haben oft hohe Ähnlichkeit mit dem Substrat. Deutlich zu sehen ist, dass das Enzym E das Substrat S und den Inhibitor I nicht gleichzeitig binden kann. Durch die reversible Bindung von S bzw. I an E entsteht ein Gleichgewicht zwischen freiem Enzym E, dem Enzym-Substrat-Komplex ES und dem Enzym-Inhibitor-Komplex EI.“

---

<sup>1</sup> Verdopplung bis Verdreifachung der RG pro 10°C mehr  
Version 1.1b vom 19.11.2012

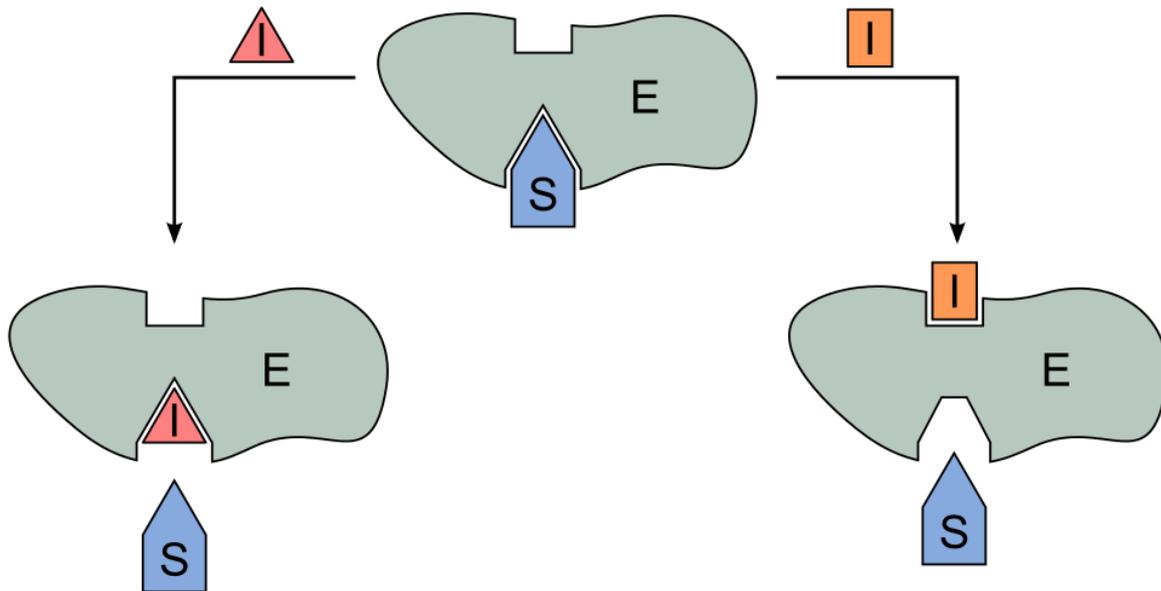


Abbildung 1: Vereinfacht dargestellte Bindungsstellen eines Hemmstoffs bei einer kompetitiven (links) bzw. nichtkompetitiven (rechts) Enzymhemmung (E Enzym, I Inhibitor, S natürliches Substrat)

### Ihr kennt die Reaktionen, welche durch Urease, Katalase, Amylase und Trypsin katalysiert werden

- Urease → Harnstoff
- Katalase → Peroxide
- Amylase → Stärke
- Trypsin → Proteine (z.B. Milch, Käse)

### Ihr könnt kompetent erläutern, wie der $K_M$ -Wert eines Enzyms experimentell bestimmt werden kann

Verschiedene Konzentrationen von Substrat (z.B. Harnstoff)... [ADD].

### Ihr könnt aus den experimentellen Daten den $K_M$ -Wert eines Enzyms bestimmen.

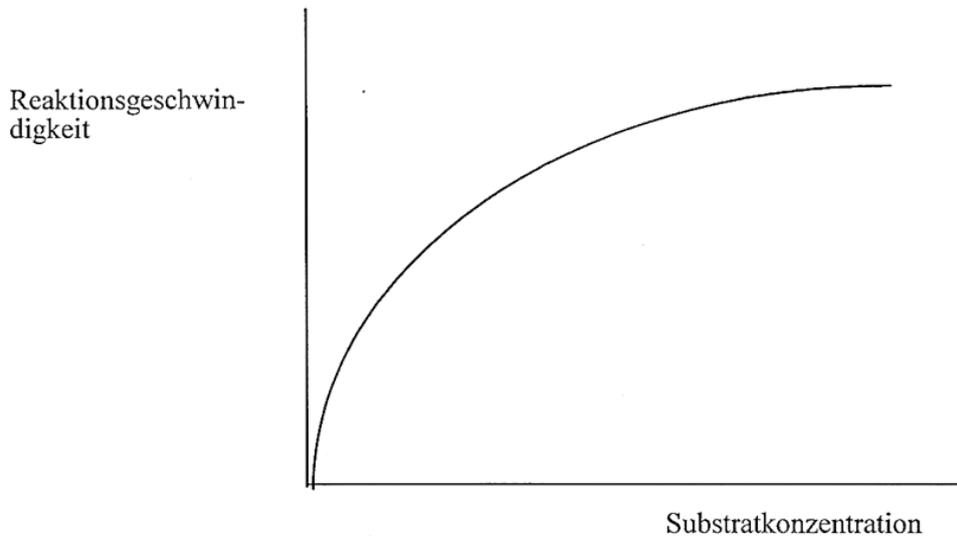
**Definition:** Die Michaelis-Menten-Konstante ist diejenige Substratkonzentration, bei welcher die Reaktion mit halbmaximaler Geschwindigkeit abläuft.  $K_M$  hat die Einheit  $mol/l$ .

Sie finden nochmals eine Grafik, welche die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit einer enzymatischen Reaktion von der Substratkonzentration veranschaulicht.

### Verfahren zur Bestimmung der MM-Konstanten

Führen Sie das im folgenden beschriebene Verfahren in der unten vorbereiteten Grafik praktisch durch:

- Markieren Sie auf der Y-Achse den Wert von  $v_{max}$
- Halbieren Sie diesen Wert und ermitteln Sie durch Zeichnen achsenparalleler Linien die zugehörige Substratkonzentration.
- Bezeichnen Sie die so gefundene Konzentration mit  $K_M$ .  
Diesen Konzentrationswert bezeichnet man als **Michaelis-Menten-Konstante**.



Ihr könnt erklären, wie allosterische - und kompetitive Inhibitoren den  $K_M$ -Wert und den  $V_{max}$ -Wert eines Enzyms beeinflussen.

<b>allosterisch</b>	$v'_{max} < v_{max}$	$\frac{1}{2} v'_{max} < \frac{1}{2} v_{max}$	$K'_M = K_M$
<b>kompetitiv (bei hoher Substratkonzentration)</b>	$v'_{max} = v_{max}$	$\frac{1}{2} v'_{max} = \frac{1}{2} v_{max}$	$K'_M > K_M^2$

Ihr könnt an je einem Beispiel erklären, warum die Inhibition oder Aktivierung von Enzymen für den Organismus sinnvoll ist.

**Inhibition**

Durch die Freisetzung von ATP in einer Zelle wird das Vorhandensein von ATP signalisiert und dadurch wird die Phosphofruktokinase deaktiviert, die ATP produziert, da es bereits genug ATP hat.

**Aktivierung**

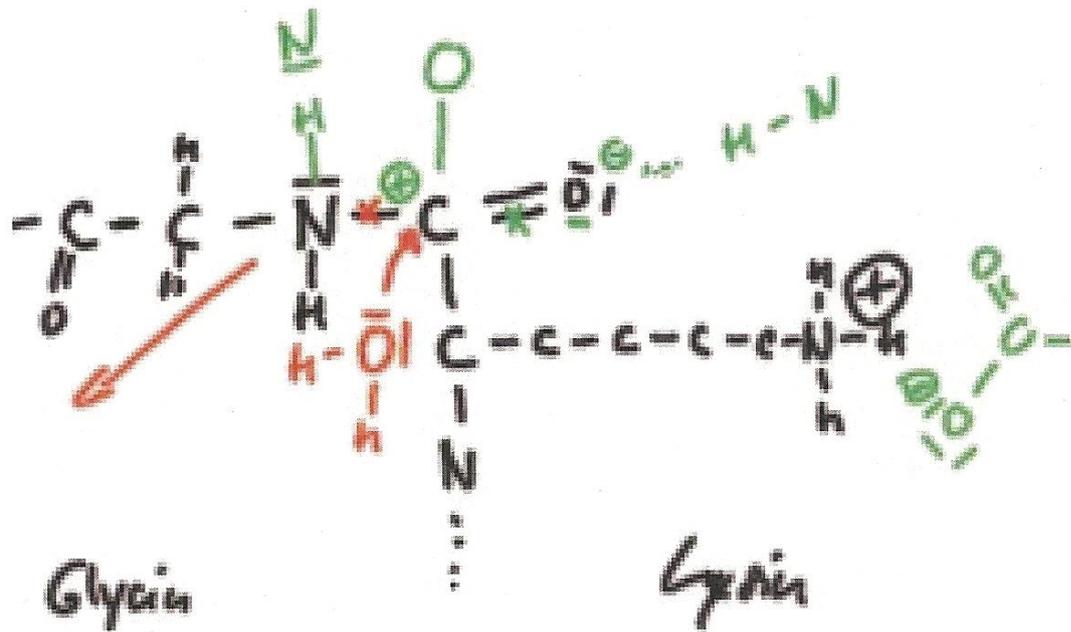
Durch die Freisetzung von ADP in einer Zelle wird Energiemangel signalisiert und dadurch wird die Phosphofruktokinase aktiviert, die ATP produziert.

Ihr könnt kompetent erläutern, wie Veränderungen der Aminosäuren (bewirkt durch Genmutationen) in einem Enzym die Funktion des Enzyms beeinflussen können

Durch eine Veränderung der Aminosäuren wird die Struktur eines Enzyms beeinflusst und kann dank der Substratspezifität dazu führen, dass das Enzym nicht mehr funktionsfähig (oder auf ein anderes Substrat reagiert) wird.

<sup>2</sup> Durch erhöhte Substratkonzentration  
Version 1.1b vom 19.11.2012

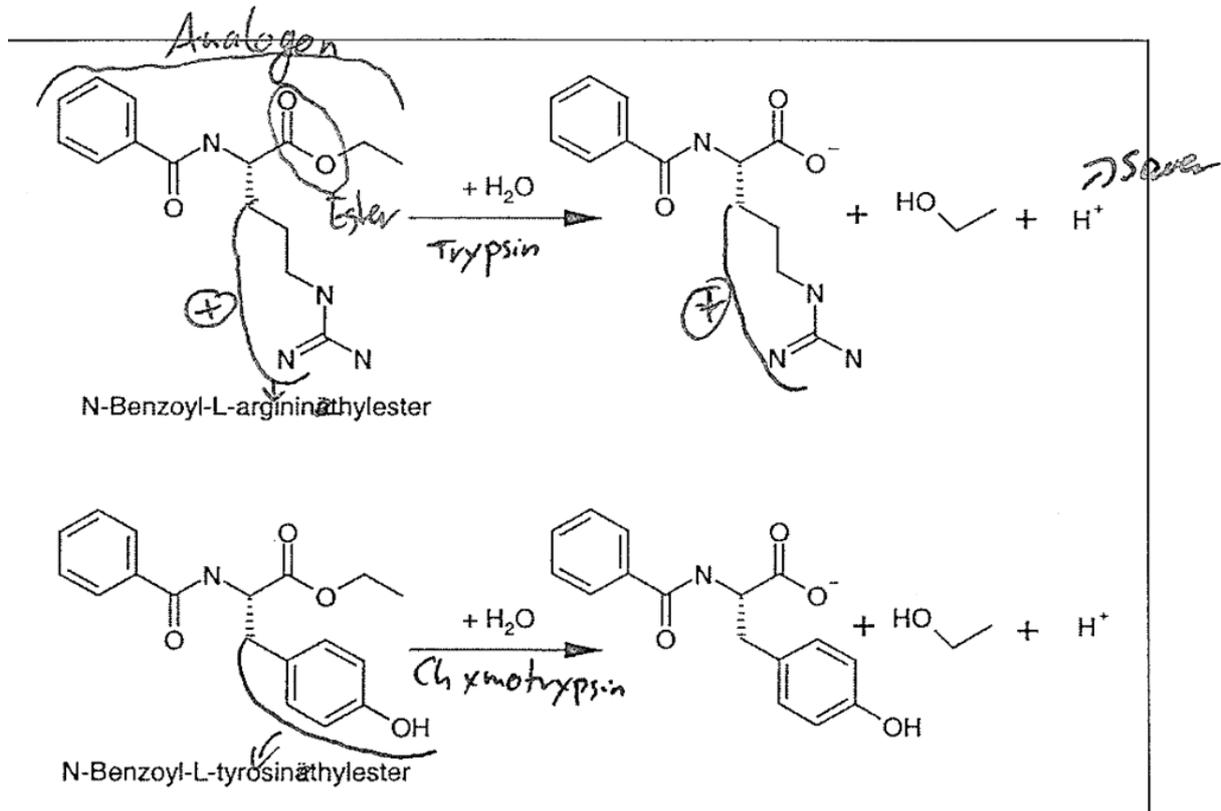
### Ihr könnt die Begriffe aktives Zentrum und Reaktionsmechanismus am Beispiel von Trypsin erklären



1.  $H^+$  geht vom Enzym zum Substrat
2. O bindet mit dem C des Substrats
3. Das O des Substrats wird negativ
4. Chemische Bindung zwischen Enzym und Substrat entsteht  $\rightarrow$  Senkung von  $H_A$
5.  $H_2O$  kommt dazu  $\rightarrow$  nukleophile Substitution, N wird ersetzt

### Ihr könnt den Begriff Substratspezifität eines Enzyms an den Beispielen von Trypsin und Chymotrypsin erklären.

Obwohl Trypsin und Chymotrypsin sehr ähnlich sind, haben sie trotzdem leicht unterschiedliche Proteine, die sie spalten können (Trypsin: Lysin und Arginin; Chymotrypsin: grosse, hydrophobe Aminosäuren).



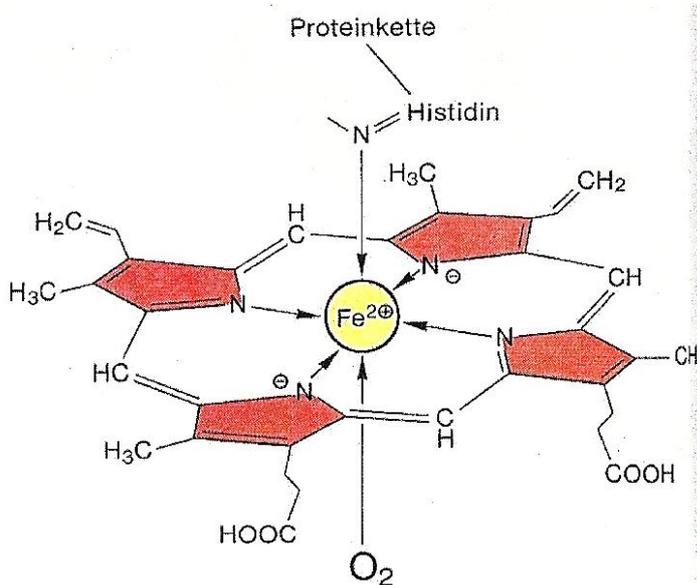
Ihr wisst, welche Rolle Prothetische Gruppen und Cosubstrate bei Enzymen haben und könnt dies an je einem Beispiel plastisch erläutern

**Cosubstrate**

- Sind Substrate, die bei mehr als einem Enzym zum Einsatz kommen
- Beispiel: Zitronensäurezyklus

**Prothetische Gruppen**

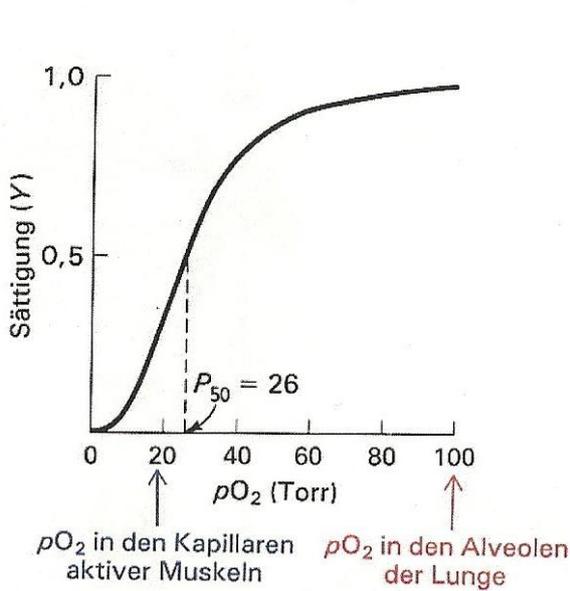
- Wichtig für Katalyse
- Bestehen nie aus Aminosäuren
- „Hilfsgruppen“



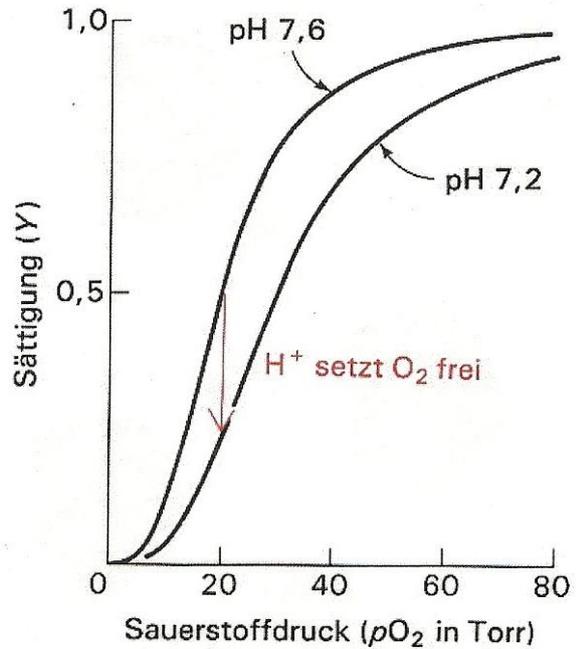
Ihr könnt erklären, wie der Sauerstofftransport im Blut durch Hämoglobin bewirkt wird und wie die Bindung von Sauerstoff an Hämoglobin beeinflusst wird

- Prothetische Gruppe ist Häm, bindet den Sauerstoff
- CO ist ein kompetitiver Inhibitor
- wird durch Nitrat zerstört (Redox)

- Myoglobin in den Muskeln kann viel mehr  $O_2$  als Hämoglobin speichern
- Ein tiefer pH wirkt allosterisch hemmend  $\rightarrow$  weniger Ionenkräfte (hilft Muskelversauerung zu verhindern)
- $CO_2$  wrd in Form von  $H_2CO_3$  abtransportiert

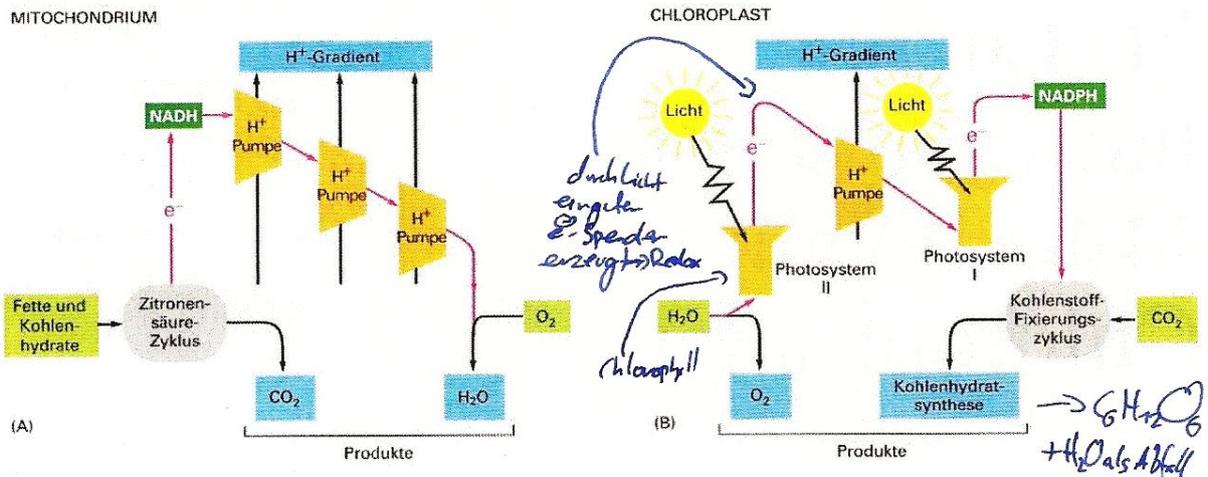


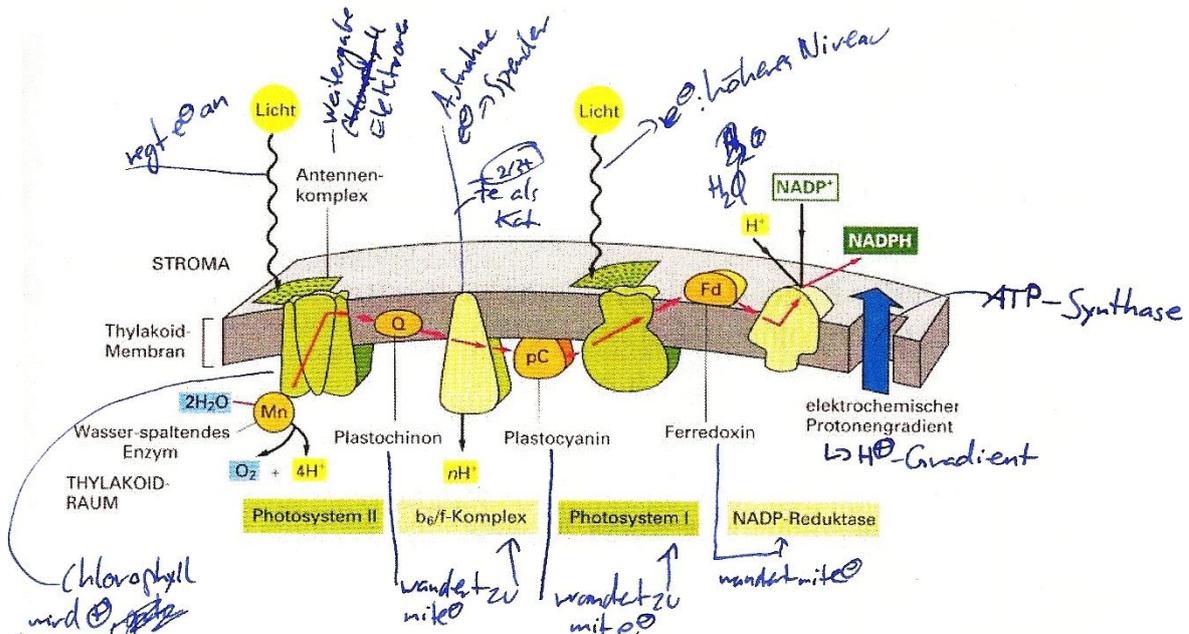
**7.22** Sauerstoffdissoziationskurve von Hämoglobin. Typische  $pO_2$ -Werte für die Kapillaren in aktiver Muskulatur und für die Alveolen der Lunge sind auf der x-Achse markiert. Man beachte, daß der  $P_{50}$ -Wert für Hämoglobin unter physiologischen Bedingungen zwischen diesen beiden Werten liegt.



**7.23** Effekt des pH-Wertes auf die Sauerstoffaffinität von Hämoglobin. Durch Verminderung des pH von 7,6 auf 7,2 wird  $O_2$  aus Oxyhämoglobin freigesetzt.

Ihr könnt die Photosynthese erklären und wisst, wie mit Hilfe von Sonnenlicht Zucker und Sauerstoff produziert wird

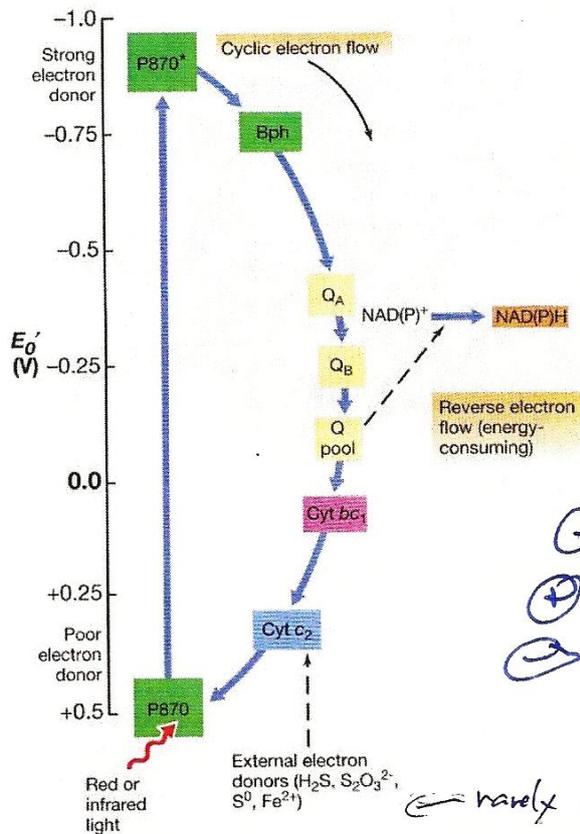




Dieses Bild zeigt sehr detailliert, wie die Elektronen den Weg durch die Enzyme in der Chloroplasten Membran wandern. Erkläre jeden einzelnen Schritt in Worten! Was bedeutet der Begriff elektrochemischer Protonengradient und wie kann er entstehen? Weitere Erklärungen findest Du auf dem nächsten Bild. Diese zeigt uns sehr schön, dass die Photosysteme die Elektronen (im Chlorophyll) von einem tiefen Niveau auf ein höheres bringen. Das Photosystem I ist nötig, um die Elektronen so hoch zu heben, um NADPH zu bilden. Das Photosystem II ist im positiven Zustand ( $Mn^{4+}$ ) fähig Elektronen aus Wasser zu holen!

↳ Mn nimmt  $e^-$  von  $H_2O$   
 ↳ gibt weiter an chl  
 als Kof. in Enzym  
 ↳ hervorragende  $e^-$ -acceptor

Ihr könnt erklären, inwiefern sich die Photosynthese in den Schwefelbakterien von der normalen Photosynthese unterscheiden



In den Purpurbakterien aus dem Cadagno See hat es nur ein Photosystem (P870) dieses kann keine Elektronen aus dem Wasser nehmen. Es nimmt die Elektronen aus H<sub>2</sub>S und bildet daraus S, welches in der Zelle gelagert wird. Nach Anregung durch Licht kann die Energie jedoch genutzt werden um einen Protonengradienten aufzubauen und es kann ebenfalls NADPH gebildet werden! Wo liegen die zwei Vorteile der Purpurbakterien gegenüber den Chloroplasten (grünen Algen?).

*☉ nur ein Schritt  
 ☉ weniger starkes Licht  
 ☉ viel H<sub>2</sub>S o.ä.; schwache Signale  
 andere Bakterien  
 ← rarely occurs in nature*

**Figure 20.14** Electron flow in anoxygenic photosynthesis in a purple bacterium. Only a single light reaction occurs. Note how light energy converts a weak electron donor, P870, into a very strong electron donor, P870\*, and that following this event, the remaining steps in photosynthetic electron flow are much the same as those of respiratory electron flow (Figure 5.20). Bph, bacteriopheophytin; Q<sub>A</sub>, Q<sub>B</sub>, intermediate quinones; Q pool, quinone pool in membrane; Cyt, cytochrome. Compare this figure with Figures 20.15 and 20.19.

Ihr könnt die Atmungskette erklären und wisst, wie mit Hilfe von Zucker und Sauerstoff in der Zelle ATP regeneriert wird

Die Atmungskette ist eine Anreihung von etwa einem Dutzend Enzymen (Komplexe I bis IV) in der Membran von Mitochondrien und Bakterien. Diese Atmungskette ist die einzige Möglichkeit, um energiereiche Nahrung mit **Sauerstoff** zu oxidieren und dadurch ATP (Adenosintriphosphat) aus ADP (Adenosindiphosphat) und P (Phosphat) zu gewinnen. Bei der Veratmung eines Zuckers werden dabei 36 ATP Moleküle gebildet. Bei der anaeroben Gärung sind es nur 2 Moleküle ATP.

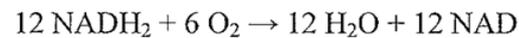
Zucker wird dabei nicht direkt zu CO<sub>2</sub> und Wasser oxidiert. Zuerst wird durch 20 Enzyme und mit Hilfe von Wasser der Zucker zu CO<sub>2</sub> zerlegt. Eine Übersicht findet Ihr auf der Graphik 158.2 im Buch Vita Nova. Dabei wird jede Reaktion von einem anderen Enzym katalysiert. Der Wasserstoff wird dabei auf ein Wasserstoffträger-Molekül mit dem Namen NAD übertragen, welches dadurch reduziert wird (NADH<sub>2</sub>). Es besitzt bei pH7 in reduzierter Form ein elektrochemisches Potential von -0.32 V, also beinahe dieselbe Fähigkeit Elektronen abzugeben, wie Wasserstoff selber (-0.42 V).



Die 12 NADH<sub>2</sub> gelangen dann zur Atmungskette in der Mitochondrien-Membran und geben dort je zwei Elektronen an ein Oxidationsmittel-Enzym ab (Komplex I). Zwei H<sup>+</sup>-Ionen bleiben im Wasser gelöst und werden am Schluss wieder verwendet. Komplex I ist fest in der Membran verankert und gibt die Elektronen an das nächste Enzym (Komplex III) weiter, bis die Elektronen vom letzten Enzym (Komplex IV) dieser Reihe an Sauerstoff abgegeben werden. Diese Enzyme enthalten oft Eisen<sup>3+</sup> Ionen als Elektronen-Empfänger.

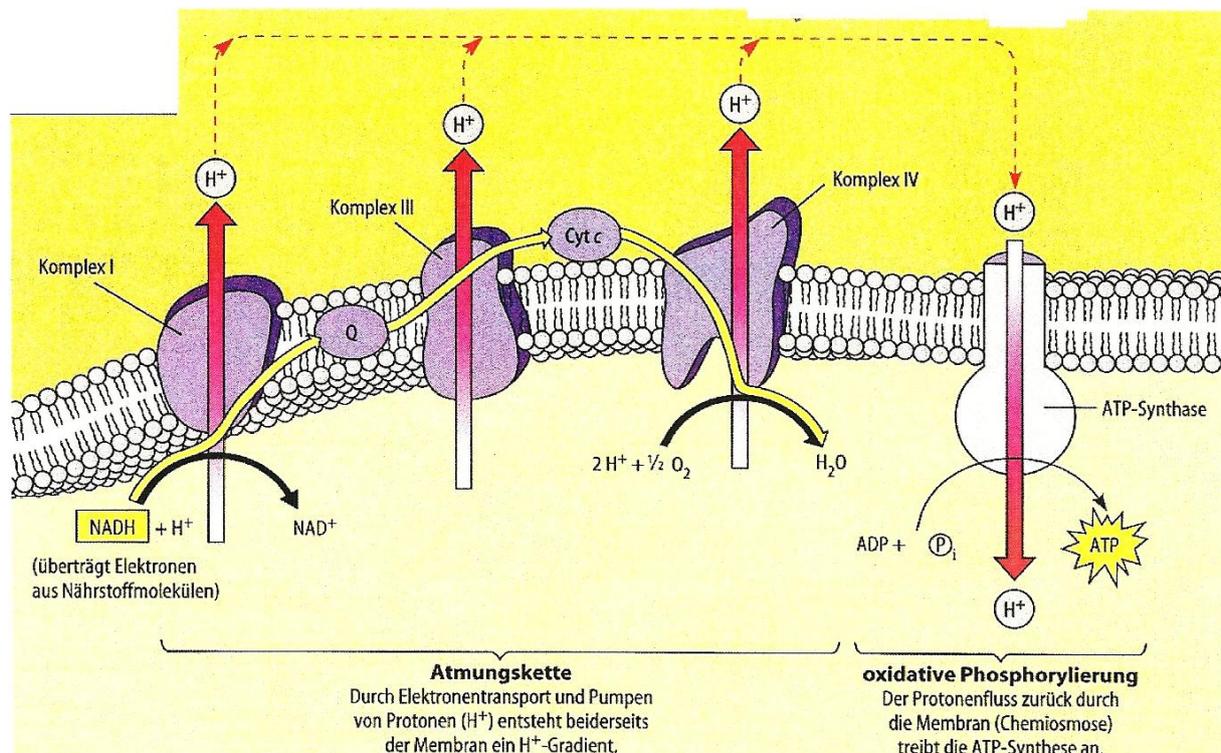
Bei der letzten Reaktion reagieren zwei Elektronen mit Sauerstoff und dann mit zwei H<sup>+</sup>-Ionen zu einem H<sub>2</sub>O. Das letzte Elektronen abgebende Enzym hat ein Redoxpotential von +0.62 bei pH7 und der Sauerstoff von +0.82. Somit ist der letzte Schritt nur ein wenig exergonisch.

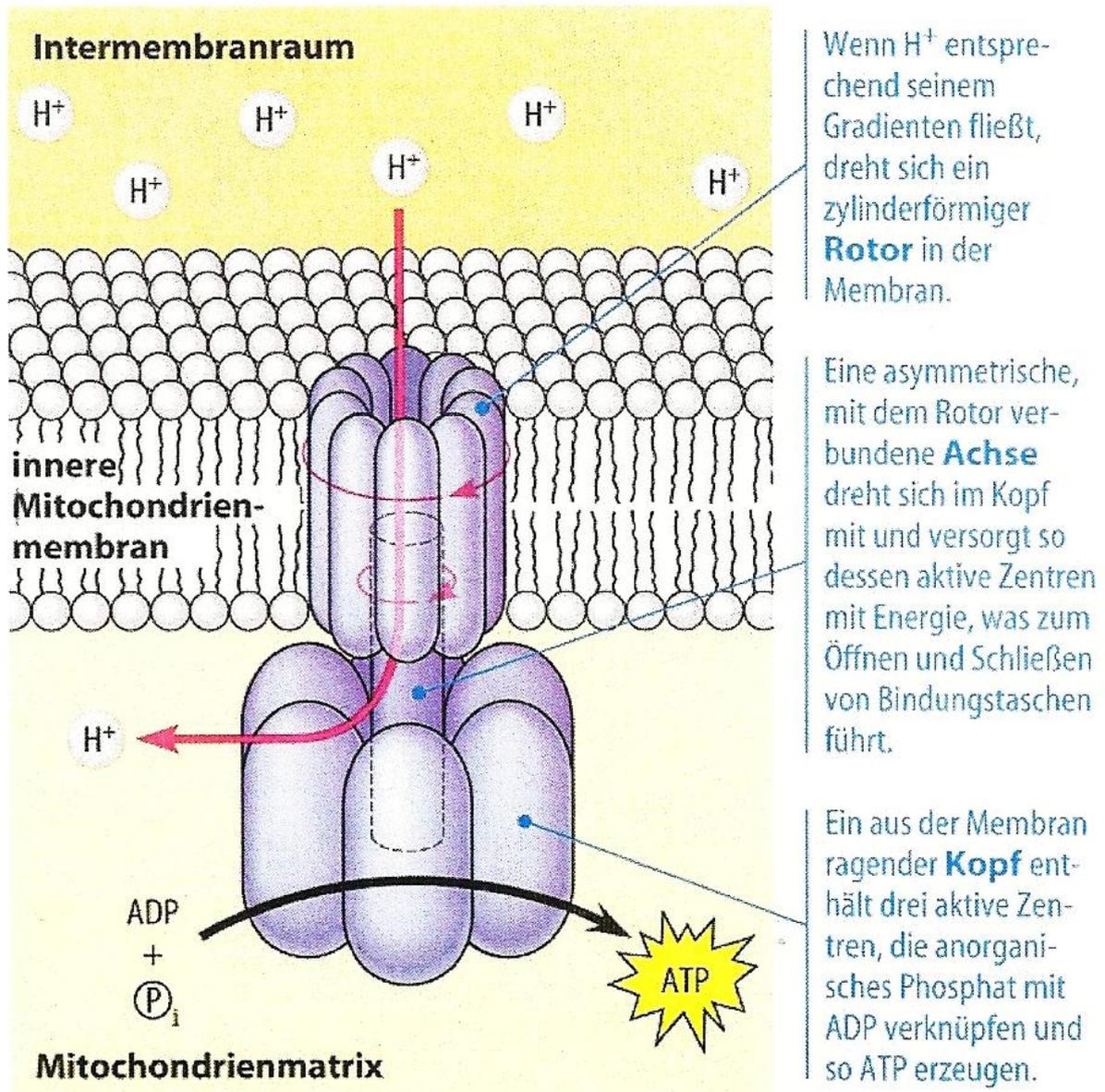
Zusammenfassend können wir folgende Reaktionsgleichung schreiben:



*Doch wie wird nun bei dieser Reaktion ATP gebildet?*

Dies ist auf der Graphik 159.1 im Buch Vita Nova gezeigt. Die Enzyme, welche NADH<sub>2</sub> oxidieren leisten bei jedem Oxidationsschritt Arbeit, indem sie je drei H<sup>+</sup>-Ionen durch ihren "Bauch" vom Innern der Mitochondrien in den Mitochondrienzwischenraum pumpen (von oben nach unten im Bild). Dadurch sinkt der pH im Zwischenraum. Die H<sup>+</sup>-Ionen versuchen wegen des osmotischen Drucks und des Ladungsunterschied wieder nach Innen zu gelangen. Dies können sie nur, wenn sie durch die **ATP-Synthase** hindurch gehen. Dieses riesige Enzym verbindet beim Durchstrom von drei H<sup>+</sup>-Ionen ein ADP-Molekül mit einem Phosphat zu einem ATP-Molekül. Diese endergonische Reaktion wird nur möglich, wenn drei 3 H<sup>+</sup>-Ionen durch die ATP-Synthase hindurchfließen und die Reaktion dadurch antreiben, ähnlich wie bei einer Turbine.





### Ihr könnt erklären, wie Cyanid-Ionen ( $CN^-$ ) die Atmungskette blockieren!

Cyanid bindet an Komplex IV (an  $Fe^{2+}$ ) und dadurch kann der Sauerstoff nicht mehr binden. Dadurch wird die Elektronentransportkette stillgelegt, Pumpen ebenso,  $H^+$ -Gradient zerfällt.