

1. Aufgrund ihres Baus besitzen Enzyme besondere Eigenschaften

„Katalysatoren sind Hilfsstoffe, die eine Reaktion beschleunigen, ohne dabei selbst verbraucht zu werden.“

Diese grundlegende Definition trifft auch für Enzyme zu. Der Bau ist jedoch viel komplexer und bedingt einige Eigenheiten, die sie von gewöhnlichen Katalysatoren unterscheiden. Die eigentliche Reaktion findet am **aktiven Zentrum** des Enzymmoleküls statt. Dort bindet auch das **Substrat**, so werden die Ausgangsstoffe in der Enzymatik genannt.

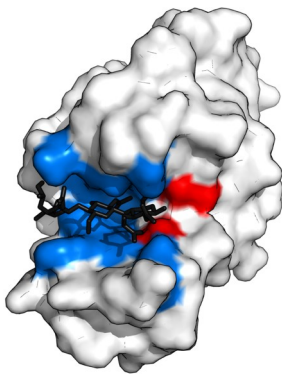
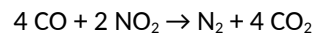


Abb. 1.1: Gesamtdarstellung des Enzyms Lysozyms. Das **aktive Zentrum** ist farbig dargestellt. Das passende Substrat (schwarz dargestellt), hat dort gebunden. Q: wikicommos. A: Minutemen

Gewöhnlichen Katalysatoren aus der anorganischen Chemie können mit verschiedenen Ausgangsstoffen viele

verschiedene Reaktionen katalysieren. So kann beispielsweise Platin (Pt) irgendwelche C=C-Mehrfachbindungen hydrieren, oder aber auch eingesetzt werden, um CO mit NO reagieren zu lassen (Autokatalysator)

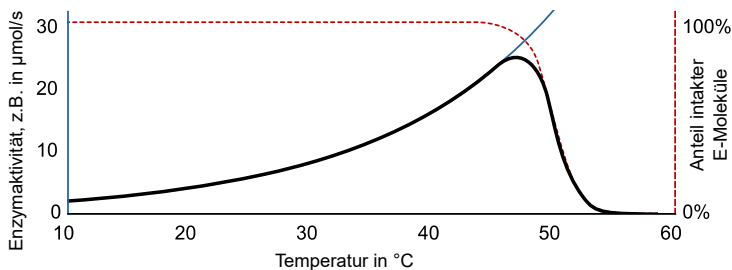


Enzyme hingegen sind **substratspezifisch** und auch **wirkungsspezifisch**, das heißt, sie setzen nur bestimmte Substrate in exakt charakteristischer Art und Weise um.

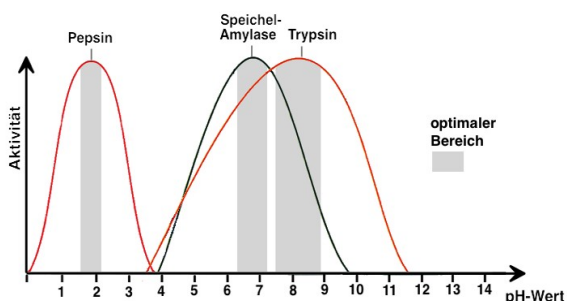
1.1 Begründen Sie, worauf die Substrat- und Wirkungsspezifität von Enzymen beruht?

2. Weitere Eigenschaften von Enzymen

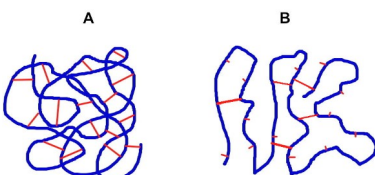
2.1 Interpretieren Sie die beiden Abbildungen mithilfe der Argumentationshilfe:



Q: commons.wikimedia.org, A: Thomas Shafee, verändert



Argumentationshilfe: Das gleiche Enzym bei extremer T- oder pH-Änderung :



Q: <https://grafs-bio-seiten.de>, CC-SA

3. Die Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Substratkonzentration

Misst man die momentane Reaktionsgeschwindigkeit einer enzymatischen Reaktion (Enzymaktivität) bei verschiedenen Substratkonzentrationen, so zeigt sich folgender Verlauf:

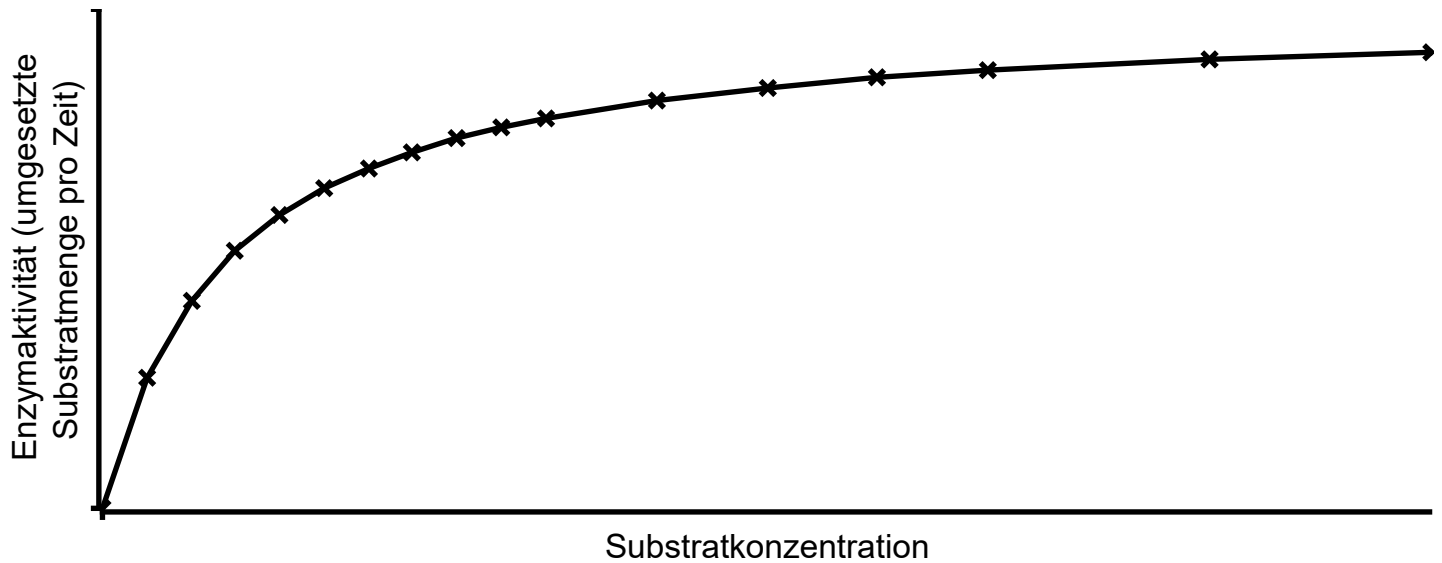


Abb. 3.1 Substratsättigungskurve eines Enzyms. Die eingesetzte Enzym-Stoffmenge war in allen Ansätzen identisch. Q: eW

3.1 Erklären Sie den Kurvenverlauf der **SubstratsÄTTIGUNGsskurve** mithilfe der folgenden Abbildung :

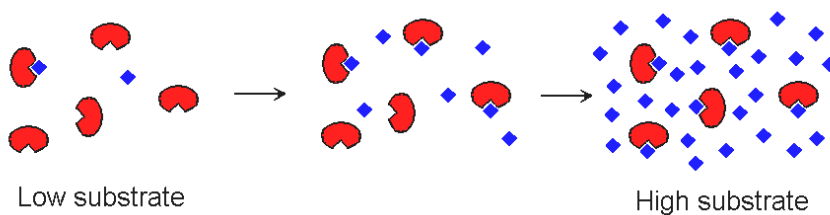


Abb. 3.2: Argumentationshilfe für die Substratsättigungskurve. Quelle: wikimedia.org. TimVickers

4. Cofaktoren und energetische Kopplung

Viele Enzyme besitzen im aktiven Zentrum auch nicht-proteinäre Bestandteile, die allgemein **Cofaktoren** genannt werden.

- Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um Metallionen oder organische Baueinheiten, die permanent am Enzymmolekül gebunden sind.
- Es kann sich aber auch um Moleküle handeln, die nur vorübergehend am Enzym gebunden sind,

genauso wie das eigentliche Substratmolekül. Diese Cofaktoren werden deshalb auch **Cosubstrate** genannt. Das Bindungszentrum für Cosubstrate ist meistens in unmittelbarer Nähe zum aktiven Zentrum, an dem das eigentliche Substrat bindet. Wie auch das Substrat, geht auch das Cosubstrat aus der enzymatischen Reaktion verändert hervor.

Adenosintriphosphat (ATP) als Cosubstrat

Sehr viele Enzyme nutzen **Adenosintriphosphat (ATP)** als **Cosubstrat**. Das Molekül besteht Adenin, dem Zucker Ribose und einer Triphosphat-Gruppe:

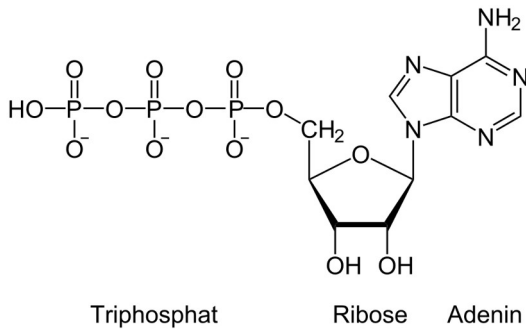


Abb. 4.1: Strukturformel von ATP. Q: wikicommons

ATP als Cosubstrat wird bei enzymatischen Reaktionen genutzt, bei denen das Substratmolekül zur Produktbildung energetisch angehoben werden muss.

Dieser Energiezuwachs entstammt letzten Endes der chemischen Energie, die bei der Spaltung eines ATP-Moleküls in **Adenosindiphosphat (ADP)** und einem **Phosphat**-ion (Symbol: P_i für „inorganic“) mobilisiert wird. Zwei energetische Prozesse werden durch das Enzym also gekoppelt:

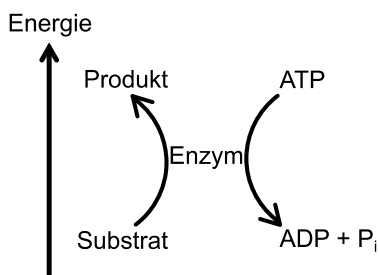


Abb. 4.2: Energetische Kopplung. Q: e.W.

Man spricht beim ATP deshalb auch von der **„Energiewährung der Zelle“**. Für die meisten energiebenötigenden biochemischen Prozesse muss entsprechend ATP gespalten werden.

Das energieärmere ADP wird an anderen enzymatischen Vorgängen wieder zum energiereicheren ATP regeneriert. Diese Regeneration findet zu einem geringen Teil im Cytoplasma, aber vor allem auch in den **Mitochondrien** statt. Sie werden deshalb auch **„Kraftwerke der Zelle“** genannt. Die Energiequelle für die Regeneration des ATP ist letzten Endes die Nahrung. In den Mitochondrien wird mit dem eingeatmeten Sauerstoff (O_2) daraus energiearmes CO_2 gebildet und dabei sehr viel ADP zu ATP regeneriert. Es handelt sich um sehr viele hintereinander geschaltete energetische Kopplungen.

4.1 Notieren Sie das entsprechende Schema (wie bei Abb. 4.2):

Es gibt einen ständig umgewälzten ADP-ATP-Pool in den Zellen. Bei einem Erwachsenen entspricht die Menge ATP, die täglich auf- und abgebaut wird, etwa seiner halben Körpermasse. So setzt eine 80 kg schwere Person etwa 40 kg ATP am Tag um.

Nicotinamidadenindinucleotid (NAD^+) als Cosubstrat

Aus in der Biochemie sind die meisten Reaktionen Elektronenübertragungsreaktionen (Redox-Reaktionen). Das Substrat muss entweder oxidiert oder reduziert werden.

Das entsprechende elektronenliefernde oder elektronenaufnehmende Cosubstrat ist das **Nicotinamidadenindinucleotid (NAD^+)**.

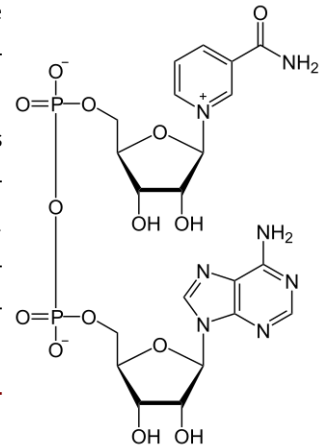
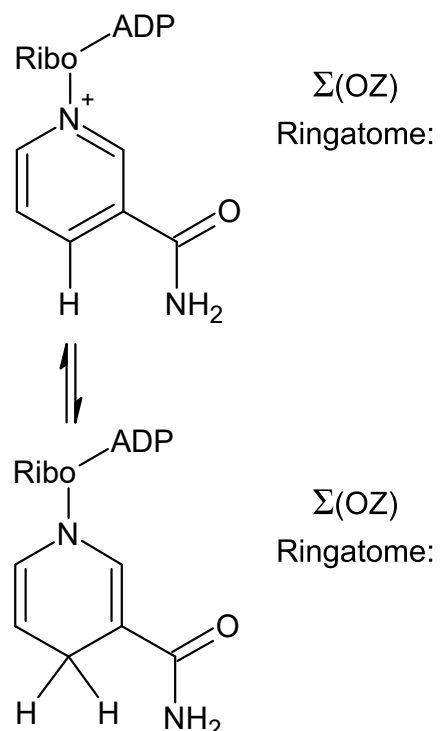


Abb. 4.2: Strukturformel von

NAD^+ Q: wikicommons

Es existiert eine elektronenreiche und eine elektronenärmere Form.

4.1 Bestimmen Sie, welches die reduzierte und welche die oxidierte Form von NAD ist. Geben Sie an den Pfeilen an, wie viel Elektronen beim Übergang abgegeben bzw. aufgenommen werden.



Strukturformeln der beiden Formen von NAD. Q: e.W.

Zusammenfassung: $NAD^+ + H^+ + 2e^- \rightleftharpoons NADH$

Die reduzierte, also elektronenreichere Form, NADH, wird auch als **Reduktionsäquivalent** bezeichnet. Sie liefert 2 Elektronen, die das Enzym dann auf das Substrat überträgt.

Interessanterweise unterscheiden sich NAD^+ und $NADH/H^+$ im UV-VIS-Spektrum. Das ist analytisch wertvoll, weil man so mit dem Fotometer die Arbeitsweise und den Umsatz von enzymatischen Reaktionen untersuchen kann. Doch zu dem später.....

4.2 Notieren Sie die folgenden enzymatischen Reaktionen und entscheiden Sie, ob $NADH/H^+$ oder NAD^+ als Cosubstrat genutzt wird.

- a) Alkoholdehydrogenase katalysieren die Umwandlung von Alkoholen (z.B. Ethanol) zu den entsprechenden Alkanalen (Aldehyden).
- b) Aldehyddehydrogenasen katalysieren die Umwandlung von Aldehyden (z.B. Ethanal) zu den entsprechenden Carbonsäuren.
- c) Nitrat-Reduktase reduziert Nitrat-Ionen zu Nitrit-Ionen (NO_2^-).
- d) Lactatdehydrogenase katalysiert die Umwandlung von Brenztraubensäure ($CH_3-C(O)-COOH$) in Milchsäure (2-Hydroxypropansäure)