# Enzyme: Maßgeschneiderte Werkzeuge für biochemische Reaktionen C3BL

CC BY NC SA laborberufe.de

## 1. Betrachtungen an einem **Fahrzeugkatalysator**

Mit Hilfe des *Fahrzeugkatalysators* können die beiden Schadstoffe im Abgas, *Kohlenstoffmonoxid (CO)* und *Stickstoffdioxid ($NO_2$)* zu unschädlicheren Produkten reagieren, sich also gegenseitig vernichten:

$$4\ CO + 2\ NO_2 \rightarrow N_2 + 4\ CO_2$$

Schon <u>vor</u> diesem Bauteil sind die beiden Ausgangsstoffe im Abgas miteinander gemischt, ohne dass sie spontan miteinander reagieren. Offenbar findet erst am Fahrzeugkatalysator durch die Anwesenheit des dort enthaltenen fein verteilten *Platin* die Reaktion statt. Dabei wird Platin bei der Reaktion gar nicht verbraucht. Deshalb taucht es auch nicht in der Stoffbilanz, also der oben angegebenen Reaktionsgleichung, als Ausgangsstoff auf. Die wenigen Gramm Platin im Fahrzeugkatalysator reichen deshalb gewöhnlich für die gesamte Lebenszeit des Autos und können viele hunderte Kilo Schadstoffe unschädlich machen. Das bringt uns zu der allgemeingültigen Definition des Begriffs *Katalysator*:

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

Ohne die Anwesenheit eines Katalysators findet eine Reaktion in vielen Fällen nur in unmessbar kleiner Geschwindigkeit ab. Es kommt dann selbst in vielen Jahrhunderten zu keinem Stoffumsatz. Man kann deshalb in der Praxis häufig feststellen, dass die Reaktion erst durch die Anwesenheit eines Katalysators überhaupt in nennenswertem Umfang ermöglicht wird. So kann beispielsweise ein Gemisch von Wasserstoff ($H_2$) und Sauerstoff ($O_2$) viele Jahrtausende ohne Reaktion existieren. Ein kleinstes Körnchen des katalytisch wirkenden Platins (derselbe Katalysator wie oben!), reicht aus, um die explosive Reaktion in Sekundenbruchteilen in Gang zu setzen und vollständig ablaufen zu lassen: $2\ H_2 + O_2 \rightarrow 2\ H_2O$

## 2. Wirkungsweise von Katalysatoren

***2.1 Ergänzen Sie anhand der Abbildungen im darunter liegenden Text in Klammern die passenden Ziffern. Beschriften Sie auch die Diagramme.***

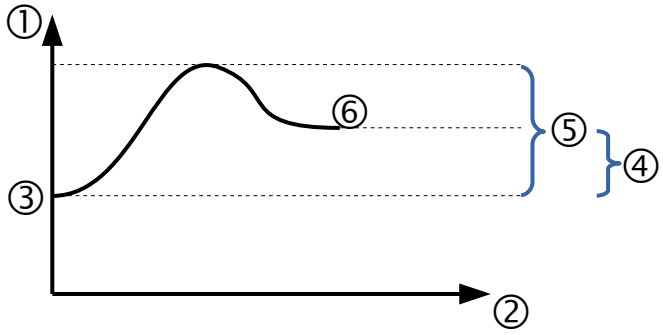


*Abb. 2.1: Energieverlauf einer **endothermen** Reaktion.* Q e.W.

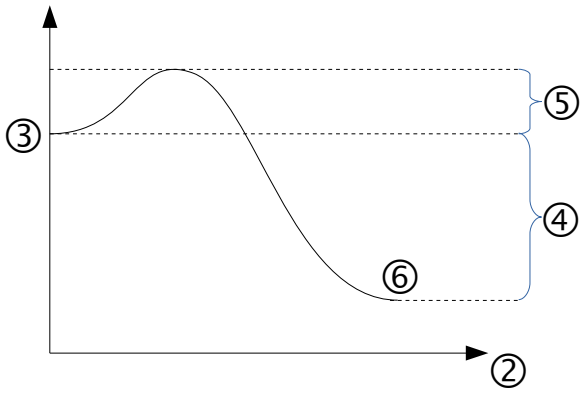


*Abb. 2.2: Energieverlauf einer **exothermen** Reaktion.* Q: e.W.

Auf den Achsen der Diagramme ist die Energie der reagierenden Teilchen (……..) gegen die Reaktionszeit der gerade reagierenden Teilchen (……. ) aufgetragen. Bei endothermen Reaktion, ist die Energie der Produkte (……) höher als die der Ausgangsstoffe (……..). Bei exothermen Reaktionen, sind die Produkte energieärmer als die Ausgangsstoffe.

Zur Reaktion müssen Ausgangsstoffmoleküle miteinander kollidieren. Doch nicht jede Kollision führt dabei zur Reaktion. Nur wenn dabei eine energetische Barriere überwunden werden kann, die **Aktivierungsenergie** (……..)., kommt es zum Stoffumsatz. Bringen die Ausgangsstoffe die nötige Bewegungsenergie bei der Kollision nicht mit, bleibt der Aufprall folgenlos. Bei der Reaktion durchlaufen die Moleküle einen energetisch hoch stehenden Zustand, den ***Übergangszustand***. Die Aktivierungsenergie ist die erforderliche Energie um diesen energetisch ungünstigen Zustand zu erreichen. Katalysatoren wirken, indem sie die Aktivierungsenergie für eine Reaktion herabsetzen.

***2.2 Zeichnen Sie in beide Diagramme den Energieverlauf bei Nutzung eines Katalysators ein!***

***2.3 Beurteilen Sie, ob Katalysatoren die Energiebilanz (in Abb. beschriften!) einer Reaktion beeinflussen.***

Das Senkung der Aktivierungsenergie gelingt durch ein molekulares Zwischenspiel mit den Katalysatorteilchen.

Reaktion ohne Katalysator: A → P

Reaktion mit Katalysator (K): A + K → [A···K] → P + K gekürzt auch hier: A → P

Die Reaktion wird durch die Nutzung von Katalysatoren also komplizierter. Warum beschleunigen Sie dann die Reaktion?

Die Ausgangsmoleküle unterscheiden sich untereinander in ihrer Bewegungsgeschwindigkeit und kinetischen Energie. Nur derjenige Anteil der Moleküle, der die erforderliche Aktivierungsenergie ($E_A$) besitzt, kann reagieren. Senkt man diese zu überwindende energetische Barriere durch einen Katalysator, so besitzen mehr Moleküle die nötige Energie. Es können deshalb mehr Ausgangsstoffteilchen pro Zeiteinheit miteinander reagieren.

Doch was passiert mit dem großen Restanteil, links dieser Barriere? Bei Abreaktion der Teilchen rechts der Barriere stellt sich die Verteilungskurve ständig neu ein. Es werden also immer Teilchen mit der nötigen Aktivierungsenergie nachgeliefert. Während der Reaktion wird dabei die Fläche unter der Kurve immer kleiner, bis überhaupt keine Ausgangsstoffteilchen mehr vorhanden sind. Die Reaktion ist jetzt vollständig abgelaufen.

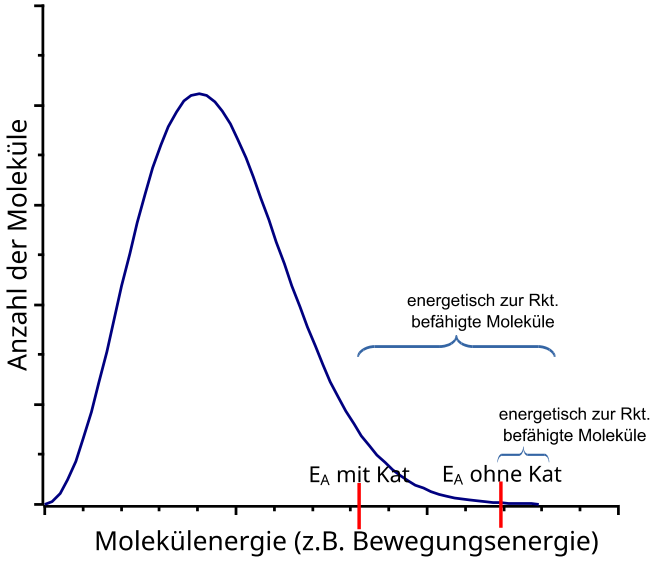


***Abb. 2.3:*** *Energieverteilung von Molekülen bei einer bestimmten Temperatur.* *Q: e. W.*

***2.4 Warum führt auch eine Erwärmung zu einer Reaktionsbeschleunigung? Begründen Sie anhand Abb. 2.3.***

## 3. Enzyme sind proteinäre Katalysatoren

Enzyme (E) sind die Katalysatoren der belebten Natur. Alles zuvor Geschriebene gilt auch für sie. Statt Ausgangsstoff spricht man hier vom Substrat (S).

Schema einer Reaktion mit Enzym: ……

Die Tatsache, dass es sich um Proteine handelt, bringt allerdings einige Besonderheiten mit sich. Vor allem die räumliche Form ist wegen der Faltung des Enzyms, der Tetiärstruktur des Proteins, sehr anspruchsvoll. Der Bereich, an dem die eigentliche Reaktion stattfindet, wird **aktives Zentrum** genannt. Häufig wird dieser Raum noch weiter in die **Substrat-Bindungsstelle** und dem **katalytischen Zentrum** unterteilt**.** Viele Enzyme besitzen im aktiven Zentrum auch nicht-proteinäre Fremdmoleküle, die **Cofaktoren** genannt werden. Es lassen sich drei Arten unterscheiden:

1. prosthetische Gruppen: Diese organischen Moleküle sind über Atombindungen fest am aktiven Zentrum gebunden.
2. Metallionen: Auch sie sind fest mit dem Enzym verbunden, jedoch anorganischer Natur.
3. Cosubstrate: Ähnlich wie ein Substrat sind sie nur schwach am Enzym gebunden. Das Bindungszentrum für Cosubstrate ist meisten in unmittelbarer Nähe zum aktiven Zentrum, an dem das eigentliche Substrat den Enzyms binden. Für Enzyme, die einen der drei Cofaktoren benötigen, wird der reine Proteinanteil **Apoenzym** genannt. Zusammen mit dem Cofaktor bilden sich das vollständige und funktionsfähige Enzym, das **Holoenzym** (gr. „holo“ = ganzheitlich): Apoenzym + Cofaktor = Holoenzym

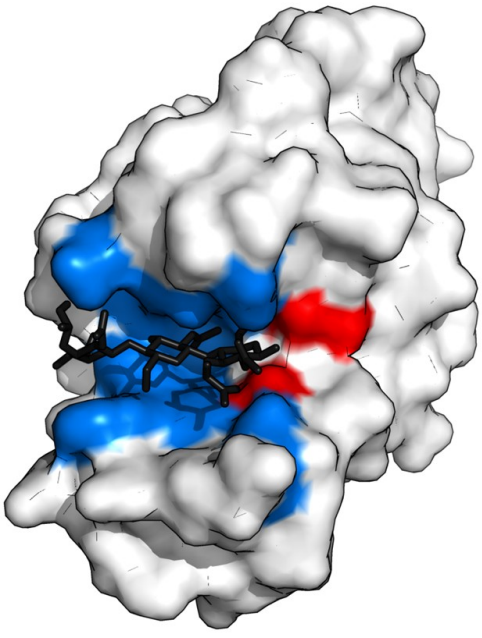

***Abb. 3.1:*** *Gesamtdarstellung des Enzyms Lysozyms. Das aktive Zentrum ist farbig dargestellt. Das passende Substrat (schwarz dargestellt), hat dort gebunden. Die andersfarbigen roten Teile stellen das katalytische Zentrum far.* *Quelle: commos.wikimedia. Autor: Minutemen*

## 4. Substrat- und Wirkungsspezifität sind Besonderheiten der biologischen Katalysatoren

Das zu Beginn vorgestellte Platin, kann viele verschiedene Reaktionen katalysieren. So dient es im Fahrzeugkatalysator der Vernichtung von Schadstoffe. Es kann aber auch die Reaktion von $H_2$ und $O_2$ zu $H_2O$ katalysieren, wie wir Abschnitt 1 gesehen haben. Weiterhin können ungesättigte C=C-Doppebindungen, beispielsweise von Fettsäuren, an Platin mit $H_2$ gesättigt werden. Insgesamt sind hunderte Reaktionen bekannt, bei denen Platin die Aktivierungsenergie senkt und so katalytisch wirkt.

Bei proteinären Katalysatoren ist es anders. Die Faltung der Proteine, die Tertiärstruktur, erlaubt es nur den Ausgangsstoffen, hier auch Substrate genannt, *kompetent* an das Enzym zu binden. Damit ist eine Bindungsweise gemeint, bei der es tatsächlich zur Reaktion kommen kann, also mit den richtigen Gruppen an den richtigen Stellen in der richtigen Orientierung. Fehlt die charakteristische Struktur an den Substratmolekülen ist entweder eine Vordringen in das aktive Zentrum und/oder eine *kompetente* Bindung, die zum Produkt führt, nicht möglich. Es handelt sich also um ein **Schlüssel-Schloss-Prinzip** *(vgl. Abb. 4.1)*: So wie nur der passende Schlüssel in ein Schloss passt und dieses dann auch noch betätigen kann , lässt die Faltung des Proteins nur das Binden und Umsetzen der passenden Subtrate zu. Im Gegensatz zu anorganischen Katalysatoren sind Enzyme also mehr oder weniger **substratspezifisch**.

---

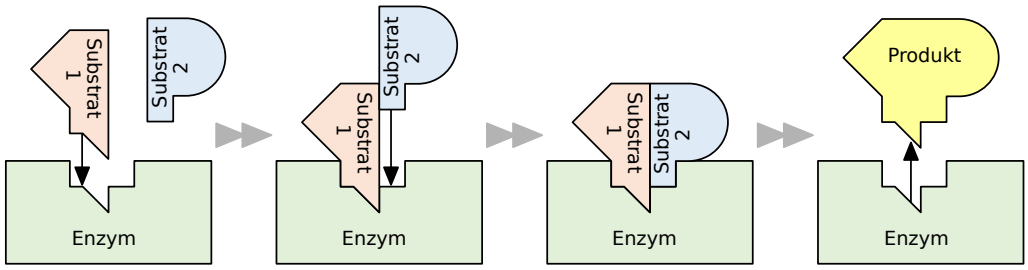


**Abb. 4.1:** *Schlüssel-Schloss-Prinzips.* *Q: wikicommons. A: IMeowbot*

**Beispiel für schwach ausgeprägte Substratspezifität:**

**Beispiel für stark ausgeprägte Substratspezifität**

**Wirkungsspezifität der Enzyme:**