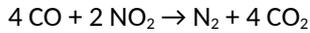


1. Betrachtungen an einem Fahrzeugkatalysator

Mit Hilfe des *Fahrzeugkatalysators* können die beiden Schadstoffe im Abgas, *Kohlenstoffmonoxid (CO)* und *Stickstoffdioxid (NO₂)* zu unschädlicheren Produkten reagieren, sich also gegenseitig vernichten:



Schon vor 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 (H₂) und Sauerstoff (O₂) viele Jahrzehnte ohne Reaktion existieren. Ein kleinstes Körnchen des katalytisch wirkenden Platins, also derselbe Katalysator wie oben (!), reicht aus, um die explosive Reaktion in Sekundenbruchteilen in Gang zu setzen und vollständig ablaufen zu lassen: $2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$

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.

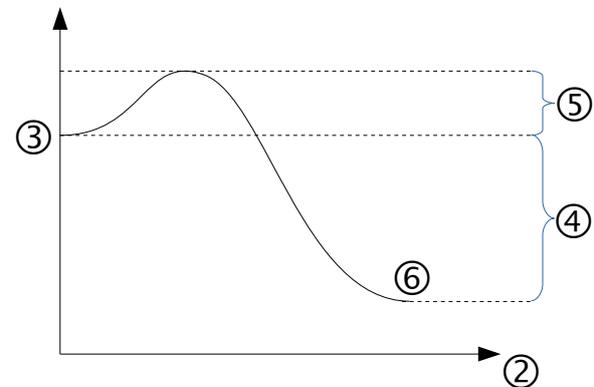
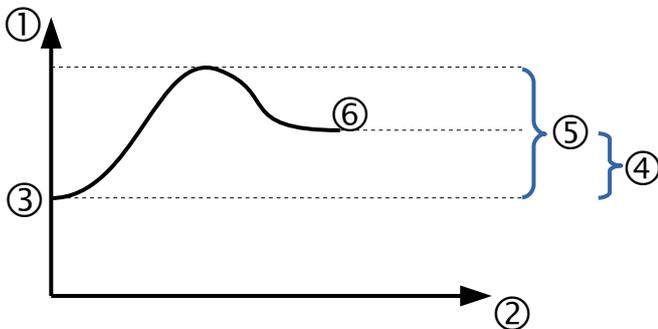


Abb. 2.1: Energieverlauf einer **endothermen** Reaktion. Q: e.W.

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 Reak-

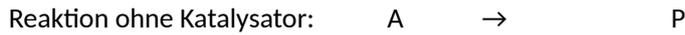
Abb. 2.2: Energieverlauf einer **exothermen** Reaktion. Q: e. W.

tion. 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.

Die Senkung der Aktivierungsenergie gelingt durch ein molekulares Zwischenspiel mit den Katalysatorpartikeln.



Durch die Anwesenheit des Katalysators wird die Reaktion zwar mechanistisch komplizierter, es kommt aber trotzdem zur Beschleunigung. Beim Binden des Ausgangsstoffs an den Katalysator werden chemische Bindungen vorgeschwächt und dadurch das ganze Molekül in einen reaktiveren Zustand versetzt. So können pro Zeiteinheit mehr Ausgangsstoffmoleküle zu den Produkten reagieren.

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:

.....

Im Gegensatz zum einfachen Bau der anorganischen Katalysatoren, ist die räumliche Form der Enzyme sehr anspruchsvoll. Sie wird durch die Tertiär und ggf. Quartärstruktur der Proteins gebildet. Der Bereich am Enzym, an dem das Substrat bindet und die Reaktion stattfindet, wird **aktives Zentrum** genannt.

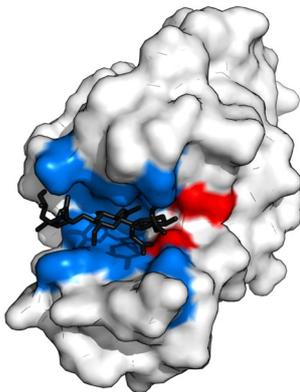


Abb. 3.1: Gesamtdarstellung des Enzyms Lysozyms. Das aktive Zentrum ist farbig dargestellt. Das passende Substrat (schwarz dargestellt), hat dort gebunden. Quelle: commos.wikimedia. Autor: Minutemen

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

- Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um Metallionen, die ständig am Enzymmolekül gebunden sind.
- Es kann sich aber auch um ganze 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.

Sehr viele Enzyme nutzen **Adenosindtriphosphat (ATP)** als **Cosubstrat**. Es sind diejenigen enzymatischen Reaktionen, bei denen das Substratmolekül energetisch angehoben werden muss. In den chemischen Bindungen des Produkts ist in diesen Fällen mehr Energie gespeichert, als im Substrat. 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:

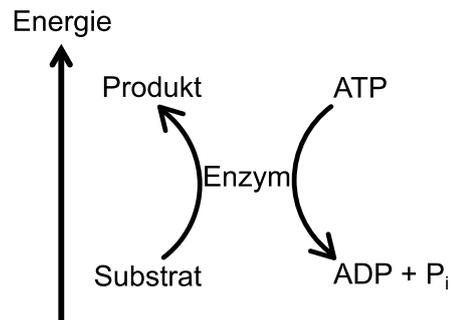


Abb. 3.2: Energetische Kopplung. Q: e.w.

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 Cytolplasma, 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 (O₂) daraus energiearmes CO₂ gebildet und dabei sehr viel ADP zu ATP regeneriert. Es handelt sich um sehr viele hintereinander geschaltete energetische Kopplungen.

3.1 Notieren Sie das entsprechende Schema (wie bei Abb. 3.2):

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.

4. Substrat- und Wirkungsspezifität sind Besonderheiten von Enzyme

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 H₂ und O₂ zu H₂O katalysieren, wie wir Abschnitt 1 gesehen haben. Weiterhin können ungesättigte C=C-Doppebindungen, beispielsweise von Fettsäuren, an Platin mit H₂ gesättigt werden. Insgesamt sind hunderte Reaktionen bekannt, bei denen Platin die Aktivierungsenergie senkt und so katalytisch wirkt.

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 Substrate zu. Im Gegensatz zu anorganischen Katalysatoren sind Enzyme sind also mehr oder weniger **substratspezifisch**.

Bei proteinären Katalysatoren, den Enzymen, 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

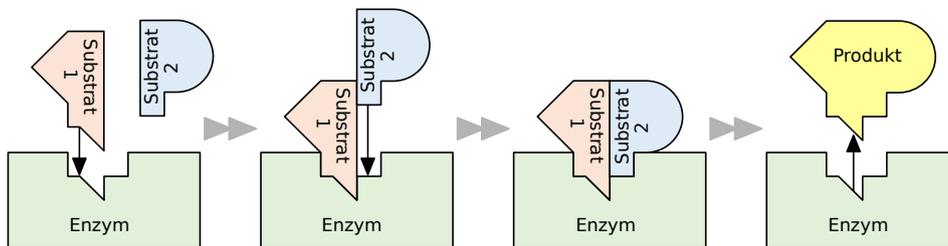


Abb. 4.1: Schlüssel-Schloss-Prinzip. Q: wikicommons. A: IMeowbot

4.1 Eine Weiterentwicklung des Schlüssel-Schloss-Prinzips ist das Induced-fit-Modell. Worin liegt der Unterschied? Beschriften Sie.

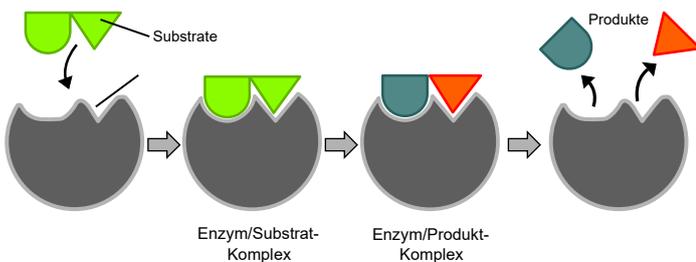


Abb. 4.2: Induced-Fit-Theorie. Q: wikicommons. A: TimVickers, Fvasconcellos

Wirkungsspezifität der Enzyme: