



**bio**  
biologie

Murray W. Nabors

# Botanik

Benjamin Cummings

PEARSON  
Studium



## Chemische Reaktionen und Enzyme

### 7.3

Lebende Zellen sind biochemische Fabriken, die Moleküle und größere Strukturen produzieren, die der Zelle Form geben und sie am Leben erhalten. Wir werden unser Studium der Pflanzenbiochemie fortsetzen, indem wir Enzyme betrachten, die chemische Reaktionen in Zellen erleichtern.

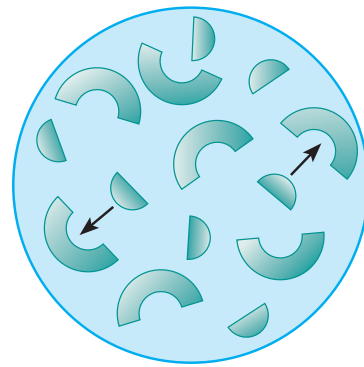
### Stoßtheorie

Die vielen verschiedenen Typen von Molekülen, die eine lebende Zelle ausmachen, sind an zahlreichen chemischen Reaktionen beteiligt, um die strukturellen und physiologischen Bedürfnisse der Zelle zu befriedigen. Daher liefert ein Verständnis dessen, wie diese Reaktionen ablaufen, ein grundlegendes Wissen darüber, wie lebende Zellen funktionieren.

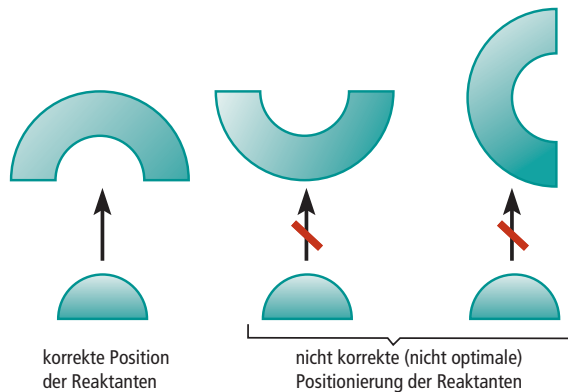
Betrachten Sie eine typische chemische Reaktion:  $A + B \rightarrow C$ . Bei Gasen und Flüssigkeiten beschreibt die Stoßtheorie die Wechselwirkungen und Reaktionen von Molekülen, wie A und B, adäquat. Moleküle haben eine Masse  $m$  und bewegen sich mit einer Geschwindigkeit  $v$ . Die Geschwindigkeit von Molekülen und ihre kinetische Energie wächst mit der Temperatur. Wenn sich die Moleküle A und B schneller bewegen, erhöhen ihre verstärkten energetischen Wechselwirkungen die Wahrscheinlichkeit von Wechselwirkungen, die zur Bildung kovalenter Bindungen und damit zum Reaktionsprodukt C führen.

Bei gewöhnlichen Temperaturen laufen viele notwendige biochemische Reaktionen in lebenden Zellen zu langsam ab, um den normalen Stoffwechsel aufrechtzuerhalten. Wärme erhöht die durch die Stoßtheorie beschriebene Reaktionsrate. Während Wärmezufuhr in einem Chemielabor der geeignete Weg sein mag, ist sie keineswegs geeignet, die Reaktionsrate bei Lebewesen zu erhöhen. Erstens werden bei hohen Temperaturen komplexe organische Moleküle zerstört. Zweitens: Obwohl es vorstellbar ist, dass Pflanzen ausreichend Wärme produzieren, um die Reaktionsraten substantiell zu erhöhen, würde diese Produktion den Verbrauch einer beträchtlichen Stoffwechselenergie erfordern.

Die Form oder die Elektronenkonfiguration von Molekülen macht bestimmte Stöße wahrscheinlicher als andere (► Abbildung 7.22a). Die Stoßgeschwindigkeit ist ein ebensolcher Faktor, da Stöße häufiger auftreten,



- (a) In einer Lösung oder in einem Gas bewegen sich die Moleküle zufällig. Einige Stöße führen zu Reaktionen zwischen Molekülen, andere Stöße nicht.



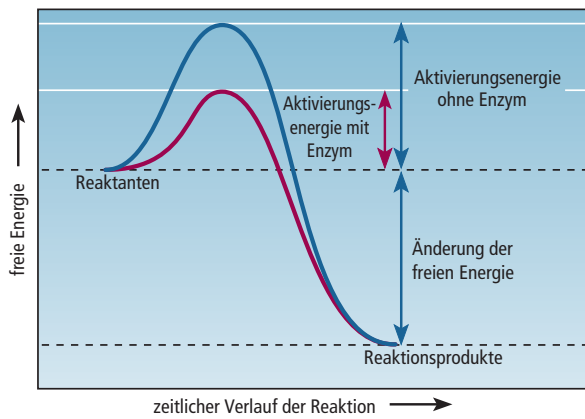
- (b) Die Reaktanten müssen korrekt zueinander positioniert sein, damit eine Reaktion stattfindet. Wenn die Reaktanten korrekt positioniert sind, ist nur minimale Energie erforderlich, damit die Reaktion stattfindet. Temperaturerhöhung erhöht die Reaktionsraten, indem sowohl die Häufigkeit als auch die Intensität der Stöße erhöht wird.

Abbildung 7.22: Stoßtheorie.

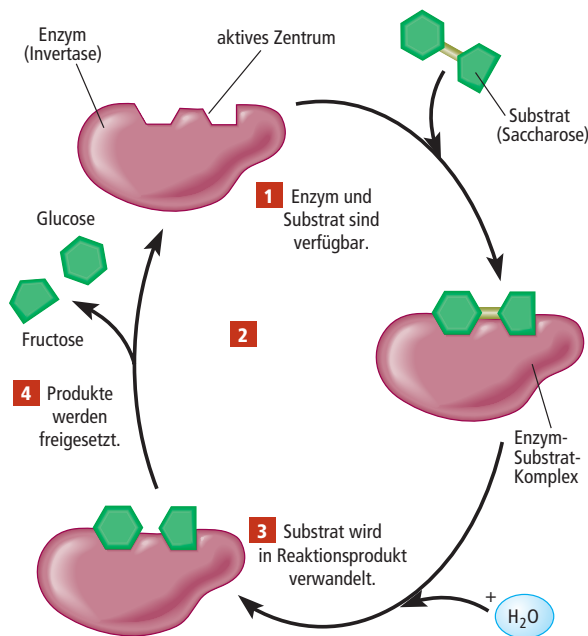
wenn sich die Moleküle schneller bewegen. Falls jedoch die Moleküle korrekt ausgerichtet sind, kann die Geschwindigkeit beträchtlich geringer sein und immer noch eine erfolgreiche Reaktion stattfinden (► Abbildung 7.22b). Dies ist die Stelle, an der Enzyme ins Spiel kommen.

### Die Wirkungsweise von Enzymen

Ein Enzym ist die chemische Variante einer Partnervermittlung. Stellen Sie sich zwei Menschen vor, die sich gut verstehen könnten, wenn sie im richtigen Moment aufeinandertreffen würden. Eine Partnervermittlung ist dazu da, den Prozess des Zusammenkommens zweier Menschen unter den richtigen Umständen zu erleichtern. Genauso können die Teilnehmer einer chemischen Reaktion, die **Reaktanten**, genau richtig aufeinandertreffen, so dass eine chemische Reaktion abläuft. Das



- (a) Durch korrekte Positionierung der Reaktanten verringern Enzyme die Aktivierungsenergie, so dass die Reaktanten miteinander reagieren können, ohne wesentlich auf mehr Wärme oder eine höhere Geschwindigkeit der Molekülbewegung angewiesen zu sein.



- (b) Reaktanten gleichen kleinen Puzzleteilen, während Enzyme großen Puzzleteilen ähneln. Diese Abbildung zeigt, wie das Enzym Invertase durch Hydrolyse Saccharose in Glucose und Fructose zerlegt. Substrat und Enzym verbinden sich zum Enzym-Substrat-Komplex, der in die beiden Produktmoleküle Glucose und Fructose zerlegt wird. Das Enzym ist dann wieder bereit, ein weiteres Substrat zu binden, und der Prozess wiederholt sich.

**Abbildung 7.23: Enzyme liefern Bindungsstellen für Reaktanten.**

Enzym erleichtert den Prozess, indem es die Reaktanten genau unter den für die jeweilige Reaktion richtigen Bedingungen zusammenbringt, so dass eine Reaktion stattfindet.

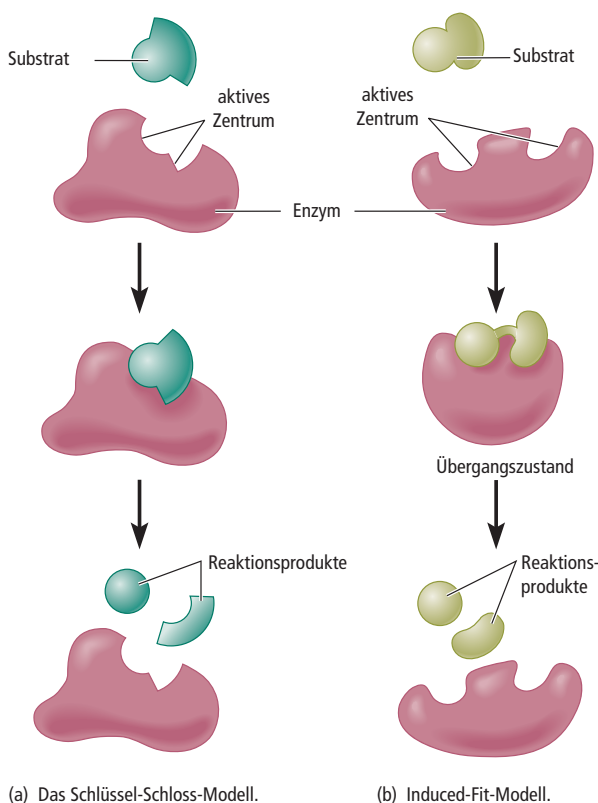
Chemisch ausgedrückt, verringert das Enzym die Aktivierungsenergie der Reaktanten (► Abbildung 7.23a). Wenn sich zwei Reaktanten einander nähern, stoßen sich die Elektronen von Reaktant A und die Elektronen

von Reaktant B zunächst ab. Die Aktivierungsenergie ist der Energiebetrag, der notwendig ist, um die anfängliche Abstoßung der Reaktanten zu überwinden. Durch korrekte Positionierung der Reaktanten reduzieren Enzyme die zum Starten der Reaktion erforderliche Aktivierungsenergie. Bei der eigentlichen Reaktion können dann Bindungen aufgebrochen oder hergestellt werden.

Ein Enzym ist ein **Katalysator** – eine Substanz, welche die Reaktionsrate der chemischen Reaktion erhöht, ohne jedoch selbst durch die Reaktion verändert zu werden (► Abbildung 7.23b). Ein Reaktant, auf den ein Enzym einwirkt, wird als **Substrat** dieses Enzyms bezeichnet. Die Tertiärstruktur jedes Enzyms weist Vorsprünge, Rippen, Furchen und Hohlräume auf. Diese Form dient als Bindungsstelle, als **aktives Zentrum** bezeichnet, an der das Substrat (S) an das Enzym (E) gebunden werden kann. Dadurch entsteht ein **Enzym-Substrat-Komplex** (ES). Das Produkt oder die Produkte (P) werden durch die chemische Reaktion gebildet und trennen sich dann vom Enzym. Das Enzym Invertase spaltet beispielsweise das Substrat Saccharose in die Produkte Glucose und Fructose. Ein aktives Zentrum positioniert ein Substrat so, dass kovalente Bindungen aufgebrochen oder hergestellt werden können, wodurch das Substrat in die Reaktionsprodukte umgewandelt wird. Nachdem sich die Reaktionsprodukte vom Enzym getrennt haben, ist das Enzym frei, um abermals an der Reaktion teilzunehmen. Der Verlauf einer durch ein Enzym katalysierten Reaktion kann folgendermaßen zusammengefasst werden:



Eine der wichtigen Aufgaben von Enzymen in lebenden Zellen besteht darin, Bindungsstellen zu liefern, so dass endergone Reaktionen an exergone Reaktionen gekoppelt werden können. Enzyme arbeiten mit beachtlicher Geschwindigkeit. Meist führen sie Tausende oder sogar Millionen von Reaktionen in ein paar Sekunden aus. Jedes Substratmolekül braucht nur für Millisekunden oder noch kürzer an die Bindungsstelle gebunden zu sein, bevor sich das Reaktionsprodukt löst und das nächste Substratmolekül ankommt. Da sowohl Enzyme als auch Substrate und Reaktionsprodukte mikroskopisch klein sind, betragen die Entfernungen, die sie zurücklegen müssen, nur wenige Nanometer. Außerdem liefert das Cytoskelett oft Moleküle in Transportvesikeln an Orte, an denen Enzyme auf sie einwirken. Tausende bis Millionen von Molekülen



**Abbildung 7.24:** Zwei Modelle für die Enzym-Substrat-Wechselwirkung. (a) Nach dem Schlüssel-Schloss-Modell passen Enzyme und Substrate wie Puzzleteile zueinander. (b) Beim Induced-Fit-Modell verändern Enzyme und ihre Substrate mitunter ihre Form während der Bindung.

können von einem bestimmten Enzymtyp während der „Lebenszeit“ einer einzelnen Zelle bearbeitet werden.

Die Bindung eines Substrats an ein Enzym kann auf viele verschiedene Weisen erfolgen und ist ein komplexes Phänomen. Nicht nur die Form des Substrats passt zur Form der Bindungsstelle auf dem Enzym, sondern die Wechselwirkung wird auch von verschiedenen Arten von Bindungen unterstützt. Dazu gehören kovalente Bindungen, ionische Bindungen und hydrophobe Wechselwirkungen. Diese Bindungen erleichtern die Bindung am aktiven Zentrum und können auch einen Elektronenfluss in die zur Reaktion notwendige Richtung anregen. Manchmal passen Enzym und Substrat zusammen wie Puzzleteile (► Abbildung 7.24a). Die Bindung eines Substrats oder mehrerer Substrate kann aber auch die Form des Enzyms verändern, wenn auch nur geringfügig, wobei sowohl die Bindung als auch die Rate der nachfolgenden chemischen Reaktionen erhöht wird. Eine Bindung, welche die Form des aktiven Zentrums verändert, wird als **Induced-Fit** bezeichnet (► Abbildung 7.24b). Nachdem beispielsweise das

Enzym Hexokinase aufgrund der Bindung zu Glucose seine Form geändert hat, kann auch ein Phosphat andocken, so dass sich Glucose-Phosphat bildet, das Reaktionsprodukt.

Die Namen von Enzymen, die typischerweise auf *-ase* enden, geben gewöhnlich einen Hinweis auf die Aufgabe des jeweiligen Enzyms. In diesem Kapitel haben wir uns bereits mit der Struktur des Pflanzenenzyms Rubisco beschäftigt. Der Name ist eine Abkürzung für *Ribulose-1,5-bisphosphat-carboxylase/-oxygenase*. Der vollständige Name spiegelt die Tatsache wider, dass Rubisco einer Verbindung sowohl Kohlendioxid als auch Sauerstoff hinzufügen kann. Ein Enzym, das eine Reduktion katalysiert, nennt man *Reduktase*, und ein Enzym, das eine Verbindung synthetisiert, heißt *Synthase*. Beispielsweise nennt man ein Enzym, das ATP aus ADP und anorganischem Phosphat synthetisiert, *ATP-Synthase*.

## Cofaktoren

Einige kleine, niedermolekulare Moleküle (keine Proteine), als **Cofaktoren** bezeichnet, verbinden sich mit Enzymen oder Substraten und unterstützen Reaktionen, indem sie Energie bereitstellen, Elektronen oder Protonen liefern oder die Reaktion auf anderen Wegen erleichtern. Bei Cofaktoren kann es sich entweder um anorganische Mineralionen, wie Magnesium ( $Mg^{++}$ ) und Kalzium ( $Ca^{++}$ ), oder um organische Verbindungen wie Vitamine handeln. Cofaktoren, bei denen es sich um organische Verbindungen handelt, die keine Proteine sind, werden auch als **Coenzyme** bezeichnet. Einige Cofaktoren binden nur zeitweise an Enzyme oder Substrate, während andere permanent gebunden sind. Einige Cofaktoren können wiederholt bei enzymkatalysierten Reaktionen eingesetzt werden, andere müssen dagegen teilweise regeneriert werden, bevor sie wieder reagieren können, was beispielsweise auf ATP zutrifft.

Viele der kleinen Moleküle, die wir mit lebenden Organismen in Verbindung bringen, wirken als Cofaktoren. Einige Beispiele dafür sind: Vitamine, positiv geladene Ionen (Kationen), negativ geladene Ionen (Anionen), ATP, Träger energiereicher Elektronen, wie NADH und NADPH, und viele andere Moleküle wie zum Beispiel Coenzym A. Die Bindung solcher Moleküle an Enzyme oder Reaktanten erleichtert den Elektronenfluss, der zum Ablauf der Reaktion notwendig ist, oder liefert sogar Elektronen oder Energie, die während

## PFLANZEN UND MENSCHEN

### ■ Nehmen Sie Ihre Cofaktoren täglich zu sich!

Menschen brauchen mindestens 13 essenzielle Vitamine und vielleicht an die 60 verschiedene Mineralstoffe. Diese Vitamine und Mineralstoffe dienen oft als Cofaktoren bei enzymatischen Reaktionen. Pflanzen bilden diese Vitamine und erhalten Mineralstoffe aus dem Boden. Menschen versorgen sich mit diesen Stoffen direkt oder indirekt durch Pflanzen. Da diese Verbindungen von Enzymen benutzt und wiederverwendet werden, müssen sie nur in geringen Mengen aufgenommen werden. Doch ist ihr Vorhandensein essenziell. Ein Mangel an essenziellen Vitaminen und Mineralstoffen kann verheerende Folgen haben.

Früher starben viele Seefahrer aufgrund eines Mangels an Vitamin C an Skorbut. Nachdem die Ursache des Skorbut geklärt war, nahmen britische Schiffe Limonensaft für die Seefahrer mit an Bord. Limonensaft erwies sich als nützlich, weil es mit Vitamin C versorgt und ohne Kühlung nicht verderblich. Daher wurden britische Seefahrer als „Limeys“ bezeichnet.

Heutzutage sind solche Krankheiten hauptsächlich vor einem historischen Hintergrund von Interesse. Doch ist der Vorrat seltener Mineralstoffe in den Ackerböden mitunter erschöpft, weil sie durch die meisten Düngeprogramme nicht ersetzt werden. Moderne Menschen sind deshalb der Gefahr ausgesetzt, einen Mineralstoffmangel auszubilden.

Selenmangel, der im Boden und deshalb in der Ernährung oft vorkommt, wird mit einem erhöhten Krebsrisiko bei bestimmten Krebsarten in Verbindung gebracht. Untersuchungen am *National Cancer Institute* in den USA ergaben, dass eine Erhöhung des Selengehalts der Nahrung bei Menschen mit einem entsprechenden Mangel die Wahr- schein-

lichkeit für das Auftreten von Magen-, Lungen-, Darm- und Prostatakrebs stark verringert, sich auf die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Hautkrebs aber nicht auswirkt. Während weltweit einige Böden unter einem Selenmangel leiden, der beim Menschen gesundheitliche Probleme verursachen kann, gibt es in anderen Böden einen Selenüberschuss, der zu Vergiftungen führen kann.

Der Kupfermangel in einigen Böden kann zur Schwächung des Herzens und aufgrund des Platzens der Schlagadern zum Tod führen. Kupfer ist als Cofaktor für wichtige Enzyme erforderlich, die an der Synthese von Kollagen und anderen Molekülen beteiligt sind, welche die Wände von Venen und Arterien verstärken. Die Beziehung zwischen einer unzureichenden Kupferversorgung durch die Nahrung und einer Erhöhung der Todesfälle im Zusammenhang mit Aneurysmen arterieller Blutgefäße wurde von Veterinärmedizern bei Tieren vor vielen Jahren festgestellt, als die Tiernahrung keinen ausreichenden Kupfergehalt aufwies. Da einige Tiere, wie beispielsweise Zuchtgeflügel, nur maschinell hergestellte Pellets fressen, müssen hinreichende Mengen essenzieller Vitamine und Mineralstoffe hinzugefügt werden.

Pflanzen brauchen eine Reihe von Spurenelementen, bilden jedoch ihre eigenen Vitamine. Menschen brauchen einige Mineralstoffe, die Pflanzen nicht benötigen. Da Ackerböden immer stärker unter dem Mangel essenzieller Mineralstoffe leiden, werden Mangelerkrankungen zunehmend Aufmerksamkeit erregen und stärker untersucht werden, und die Nahrungsergänzung mit Mineralstoffen wird sich als ein wichtigerer Teil der menschlichen Ernährung erweisen.

der Reaktion gebraucht werden (siehe den Kasten über *Pflanzen und Menschen* oben).

## Kompetitive und nichtkompetitive Inhibitoren

Kompetitive Inhibitoren binden so an das aktive Zentrum eines Enzyms, dass die Bindung des Substrats verhindert wird und die katalysierte Reaktion nicht abläuft (► Abbildung 7.25a). Kompetitive Hemmung tritt zwischen Substrat und Inhibitormolekülen in einer solchen Form auf, dass sie oft nur durch eine erhöhte Substratkonzentration überwunden werden kann. Nichtkompetitive Inhibitoren (► Abbildung 7.25b) binden nicht am aktiven Zentrum an das Enzym, sondern an einer anderen Stelle, oder sie gehen eine dauerhafte Verbindung mit dem aktiven Zentrum ein. Häufig ändern sie die Form des Enzyms, so dass das Substrat nicht mehr so effektiv oder gar nicht mehr an das Enzym binden kann.

Eine erhöhte Substratkonzentration kann nicht mehr dazu beitragen, den Effekt eines nichtkompetitiven Inhibitors zu überwinden.

Produkthemmung, auch *Feedback*-Hemmung genannt (siehe Abbildung 7.25c), tritt auf, wenn das Endprodukt einer Reihe von enzymatischen Reaktionen eines der Enzyme hemmt, das für die Bildung des Endprodukts verantwortlich ist. Durch diesen Mechanismus vermeiden Organismen die Überproduktion eines Produkts. Produkthemmung kann entweder kompetitiv oder nichtkompetitiv sein, typischerweise ist sie jedoch kompetitiv.

## Stoffwechselwege

Die 25.000 bis 50.000 durch Enzyme katalysierten Reaktionen in lebenden Zellen sind zu verschiedenen Stoffwechselwegen verknüpft. Wie Sie in den Kapiteln 8 und 9 lernen werden, sind die Reaktionen der Photosyn-

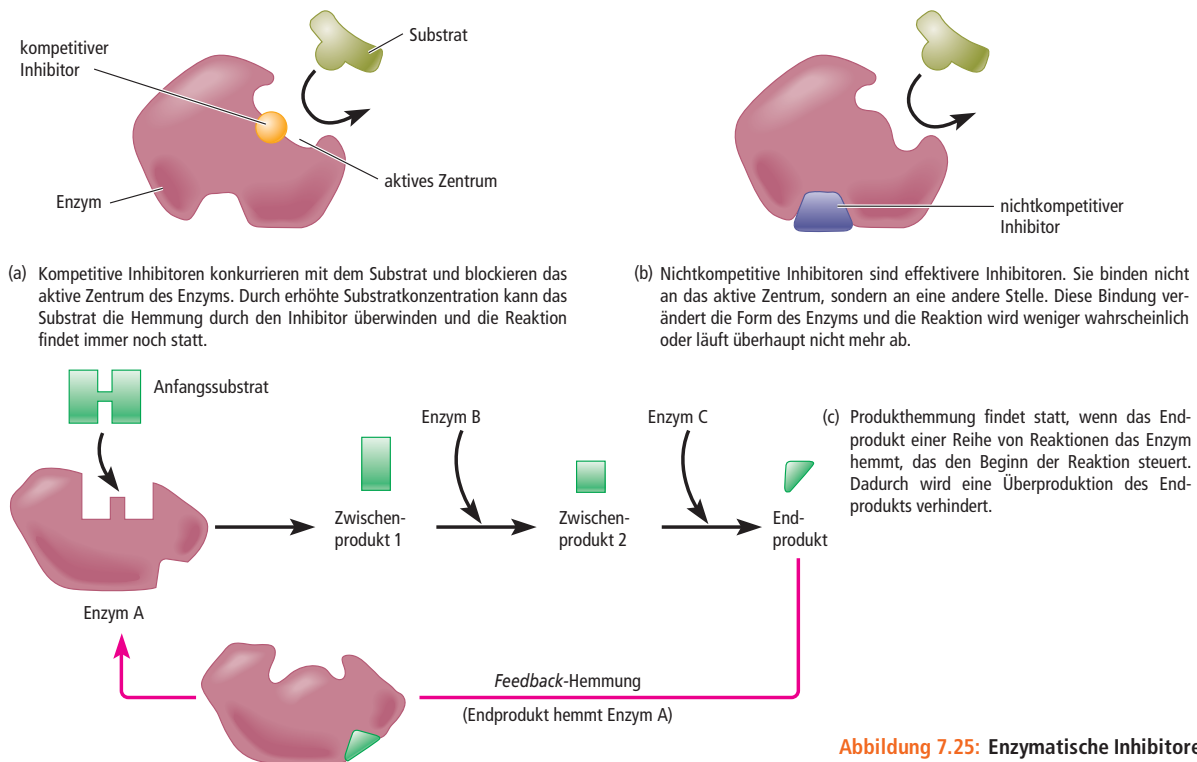


Abbildung 7.25: Enzymatische Inhibitoren.

these und der Atmung zu aufeinanderfolgenden Reaktionen verknüpft, bei denen bestimmte Produkte entstehen. Stoffwechselwege können entweder linear oder zyklisch sein. Sie können Verzweigungspunkte enthalten, an denen spezifische Verbindungen in den Kreislauf gelangen oder diesen verlassen. Lineare Reaktionen können Endprodukte erzeugen, die als Rückkopplungsinhibitoren dienen. Bei Kreisläufen wird die Ausgangsverbindung immer regeneriert.

#### WIEDERHOLUNGSFRAGEN

- 1 Erklären Sie, wie Enzyme chemische Reaktionen erleichtern.
- 2 Beschreiben Sie die Rolle von Cofaktoren.
- 3 Was sind kompetitive und nichtkompetitive Inhibitoren?

## Z U S A M M E N F A S S U N G

### 7.1 Die molekularen Komponenten lebender Organismen

Die meisten großen organischen Moleküle sind Polymere – lange Moleküle aus sich wiederholenden Untereinheiten, die man als Monomere bezeichnet. Monomere werden durch Kondensationsreaktionen zu Polymeren verkettet. Die Hydrolyse spaltet Monomere von Polymeren ab. Kohlenhydrate, Proteine, Nucleinsäuren und Lipide sind primäre Metabolite,

die man in allen Pflanzenzellen findet. Sekundäre Metabolite findet man nicht in allen Pflanzenzellen und Pflanzen.

#### Monosaccharide, Disaccharide und Polysaccharide

Zu den Kohlenhydraten gehören Monosaccharide, Disaccharide und Polymere. Zuckereinheiten werden durch eine Kondensationsreaktion unter Wasserabspaltung verkettet. Wichtige Polysaccharide in Pflanzen sind Stärke, die als Energiespeicher dient,

und Cellulose, die Hauptkomponente von Pflanzenzellwänden. Saccharose, der Rohr- oder Rübenzucker, ist ein Disaccharid.

### Proteine als Polymere von Aminosäuren

Aminosäuren haben die gleiche Basisstruktur und einen variablen Aminosäurerest R. In lebenden Organismen werden 20 verschiedene Aminosäuren durch Peptidbindungen zu Proteinen verkettet.

### Die Nucleinsäuren DNA und RNA

Nucleotide, die aus Basen, Zucker und Phosphatresten zusammengesetzt sind, dienen als DNA- und RNA-Bausteine und Energiequellen. Die DNA besteht aus zwei Nucleotidsträngen. Das Energieübertragende Molekül ATP ist ein modifiziertes Nucleotid.

### Lipide

Zu den Lipiden gehören Neutralfette, Phospholipide, Steroide und Terpenoide. Fette bestehen aus Fettsäureketten, die von Acetat abgeleitet und mit Glycerol verknüpft sind. Phospholipide enthalten Glycerol, zwei Fettsäureketten und ein Phosphatmolekül. Phospholipide sind die Hauptkomponente von Membranen. Steroide sind polyzyklische Verbindungen, die in Membranen vorkommen und auch als Pflanzenhormone wirken können.

### Sekundäre Metabolite

Die Haupttypen von Phenolen sind Lignine, Flavonoide und Gerbstoffe. Alkaloide, die aus verschiedenen Aminosäuren abgeleitet sind, und Terpenoide, die aus Isoprenbausteinen bestehen, stoßen oft Pflanzenfresser ab.

## 7.2 Energie und chemische Reaktionen

### Energieformen

Potenzielle Energie ist gespeicherte Energie, während es sich bei kinetischer Energie um eine Energieform handelt, die an Bewegung gekoppelt ist. Der erste Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass Energie genutzt und umgewandelt, aber nicht erzeugt oder vernichtet werden kann. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik besagt, dass jeder Energietransfer

die Entropie (die Unordnung) der Materie im Universum erhöht.

### Exergone und endergone Reaktionen

Bei exergonen Reaktionen wird insgesamt Energie frei, während bei endergonen Reaktionen insgesamt Energie aufgebracht werden muss. Beide erfordern Aktivierungsenergie. Bei chemischen Reaktionen kann Energie als Wärme oder als Entropie, ein Maß für die Unordnung von Materie, ausgedrückt werden.

### Redoxreaktionen

Bei chemischen Reaktionen werden Oxidation und Reduktion so zu Redoxreaktionen gekoppelt, dass eine Verbindung oxidiert und die andere reduziert wird.

### Energiefreisetzung durch ATP

ATP wird von Lebewesen allgemein dazu benutzt, Reaktionen mit Energie zu versorgen. Die Bildung der kovalenten Bindungen, welche die Phosphate im ATP verknüpfen, erfordert beträchtliche Energie. Werden die Bindungen aufgebrochen, wird Energie freigesetzt. ATP liefert sowohl bei exergonen als auch bei endergonen Reaktionen Energie, im letzteren Fall in gekoppelten Reaktionen.

### Träger energiereicher Elektronen

NADH, NADPH und  $\text{FADH}_2$  sind Moleküle, die energiereiche Elektronen in enzymkatalysierten Reaktionen auf Substrate übertragen, die sowohl Energie als auch Elektronen benötigen.

## 7.3 Chemische Reaktionen und Enzyme

### Stoßtheorie

Nach der Stoßtheorie gehen Moleküle, die zur kovalenten Bindung fähig sind, genau dann eine solche Bindung ein, wenn sie mit ausreichender Energie aufeinandertreffen. Die Geschwindigkeit und die Energie bei den Zusammenstößen werden durch Anheben der Temperatur erhöht. In vielen Organismen würden viele notwendige Reaktionen bei den bestehenden Temperaturen zu langsam ablaufen.

**Die Wirkungsweise von Enzymen**

Reaktanten und Enzyme bilden einen Enzym-Substrat-Komplex, der anschließend in das Enzym und die Reaktionsprodukte zerfällt. Cofaktoren wechselwirken mit Enzymen, wobei sie die Reaktionen ändern, die sie katalysieren. Sowohl kompetitive als auch nichtkompetitive Hemmung kann die Wirkung des Enzyms verhindern, indem sie die dreidimensionale Form des aktiven Zentrums blockiert oder verändert.

**Cofaktoren**

Zu den verbreiteten Cofaktoren gehören Vitamine,

Ionen und ATP. Coenzyme sind nicht kovalent gebundene Cofaktoren.

**Kompetitive und nichtkompetitive Inhibitoren**

Sowohl kompetitive als auch nichtkompetitive Hemmung kann die Wirkung des Enzyms verlangsamen oder verhindern, indem sie die Form des aktiven Zentrums blockiert oder verändert.

**Stoffwechselwege**

Stoffwechselwege können entweder linear oder zyklisch sein und Verzweigungspunkte aufweisen, an denen spezifische Verbindungen in den Stoffwechselweg eintreten oder diesen verlassen.

**Z U S A M M E N F A S S U N G****Verständnisfragen**

- 1 Beschreiben Sie die allgemeine Struktur von Kohlenhydraten.
- 2 Beschreiben Sie die strukturellen Unterschiede zwischen Stärke und Cellulose.
- 3 Beschreiben Sie die vier Betrachtungsebenen der Proteinstruktur.
- 4 Worin besteht der Unterschied zwischen primären und sekundären Metaboliten?
- 5 Warum ist die Tertiärstruktur eines Enzyms in Bezug auf enzymkatalysierte Reaktionen wichtig?
- 6 Worin besteht der Unterschied zwischen kinetischer und potenzieller Energie?
- 7 Worin unterscheiden sich endergone Reaktionen von exergonen Reaktionen?
- 8 Was sind Redoxreaktionen?
- 9 Wie ist ATP aufgebaut und auf welche Weise liefert ATP Energie?
- 10 Worin liegt die Bedeutung von Elektronenüberträgern wie NADH bei chemischen Reaktionen?
- 11 Warum sind Enzyme für den Zellstoffwechsel essenziell?
- 12 Erklären Sie, wie Enzyme wirken.
- 13 Was sind Cofaktoren und warum sind sie für die menschliche Ernährung wichtig?
- 14 Beschreiben Sie, wie ein Inhibitor die Wirkung eines Enzyms hemmen kann.

## Diskussionsfragen

- 1 Wie könnten Biotechnologen Pflanzen züchten, die adäquate Mengen aller essenziellen Aminosäuren enthalten?
- 2 Warum nimmt Ihrer Ansicht nach die Entropie des Universums allmählich zu?
- 3 Wie würde es sich auf Zellen auswirken, wenn zum Ablauf von Reaktionen keine Aktivierungsenergie aufgebracht werden müsste?
- 4 Wissenschaftler glauben, dass sich die Fähigkeit zur Fortbewegung, Nervensysteme, Gehirne und das Lernen entwickelten, weil sich Tiere bewegen, um Nahrung zu finden. Welche Eigenschaften könnte eine Pflanze haben, die dazu in der Lage wäre, sich wie ein Tier zu bewegen?
- 5 Benutzen Sie das in diesem Kapitel verwendete Symbol für Phospholipide, um zu zeigen, wie eine Phospholipidmischung, die sowohl gesättigte als auch ungesättigte Fettsäurekomponenten enthält, der Bildung einer dichten Packung von Phospholipiden vorbeugt, wie sie in Membranen auftritt, die nur gesättigte Fettsäuren enthalten. (Erinnern Sie sich daran, dass dieses Fehlen der dichten Packung bei Pflanzenfetten, die einen signifikanten Anteil ungesättigter Fettsäuren haben, dazu führt, dass sie bei Zimmertemperatur flüssig sind, während tierische Fette, die im Wesentlichen nur gesättigte Fettsäuren enthalten und dichte Packungen bilden können, bei dieser Temperatur fest sind.)

## Zur Evolution

Ein wichtiger Unterschied zwischen Tieren und Pflanzen hinsichtlich der Biochemie besteht darin, dass Pflanzen ein wesentlich breiteres Spektrum von sekundären Metaboliten bilden als Tiere. Etliche

Klassen dieser Metabolite wurden besprochen. Überlegen Sie sich Gründe, warum diese biosynthetische Kapazität bei Pflanzen einen Anpassungswert darstellt, bei Tieren jedoch scheinbar nicht.

## Weiterführendes



Weitere Informationen zu diesem Buchkapitel finden Sie auf der Companion Website unter <http://www.pearson-studium.de>.

Buchanan, Bob B., Wilhelm Gruissem, L. Russel Jones. Biochemistry and Molecular Biology of Plants. New York: John Wiley & Sons, 2002. *Dieses Buch ist aktuell, wissenschaftlich anspruchsvoll und enthält einfach alles.*

Edelson, Edward. Francis Crick & James Watson and the Building Blocks of Life (Oxford Portraits in Science). New York: Oxford University Press, 2000. *Diese eindrucksvolle Biographie von Watson und Crick untersucht die Struktur der DNA, dem Molekül, aus dem die Gene bestehen und das alles bestimmt, von der Augenfarbe bis zur Form unserer Fingernägel.*

Gilbert, F. Hiram, Hrsg. Basic Concepts in Biochemistry: A Student's Survival Guide. New York: McGraw-Hill Professional, 1999. *Dieses Buch hebt sich durch die Behandlung fundamentaler Konzepte anhand von Algorithmen, Gedächtnisstützen und klinischen Beispielen hervor, die in einer einfachen, jargonfreien Sprache wiedergegeben werden.*

Watson, D. James und Lawrence Bragg. Die Doppelhelix. Rowohlt, 1997. *Dieses Buch erzählt die wissenschaftlichen und persönlichen Aspekte der Entdeckung.*

Watson, D. James. Gene, Girls und Gamow. Erinnerungen eines Genies. Piper, 2005. *Die Geschichte der Entdeckung der Doppelhelix geht auch im 21. Jahrhundert weiter.*



# Photosynthese

8

8.1	Ein Überblick über die Photosynthese .....	209
8.2	Die Umwandlung der Lichtenergie in chemische Energie: Die Lichtreaktionen .....	212
8.3	Die Umwandlung von CO <sub>2</sub> in Zucker: Der Calvin-Zyklus .....	218
	Zusammenfassung .....	227
	Verständnisfragen .....	229
	Diskussionsfragen .....	229
	Weiterführendes .....	230

ÜBERBLICK

# Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwort- und DRM-Schutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: **info@pearson.de**

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten oder ein Zugangscode zu einer eLearning Plattform bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.** ZugangsCodes können Sie darüberhinaus auf unserer Website käuflich erwerben.

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

**<https://www.pearson-studium.de>**