

# Elektronen für die Energieumwandlung

Chemische Reaktionen in Lebewesen laufen in wässriger Umgebung ab. Die Reaktionstemperatur ist dabei konstant in dem Bereich der Körpertemperatur. Enzyme beeinflussen die Umsatzgeschwindigkeit bei den Reaktionen bei diesen Temperaturen. Die Eigenschaften der Zellen hängen von den verschiedenen Molekülen ab, die in ihnen vorkommen.

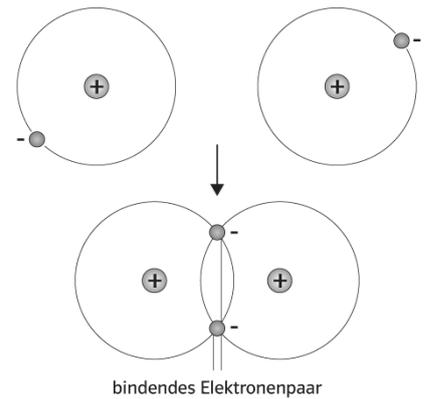
Die meisten Reaktionen innerhalb der verschiedenen Zellen basieren auf chemischen Reaktionen der Kohlenwasserstoffverbindungen. Sie sind notwendig für die Energieumwandlung, den Aufbau körpereigener Substanzen, bei denen die Makromoleküle eine große Rolle spielen. Aus chemischer Sicht unterscheidet man z. B. Redoxreaktionen, Säure-Base-Reaktionen, Kondensationsreaktionen oder Hydrolysereaktionen.

In den Molekülen der Kohlenwasserstoffverbindungen liegen kovalente Bindungen vor. Bei dieser Bindung teilen sich die Atome die bindenden Elektronen (Abb. 1). Die Bindung besteht jeweils aus einem Elektronenpaar. Daher spricht man auch von einer Elektronenpaarbindung. Wasserstoffatome können nur eine kovalente Bindung eingehen, Kohlenstoffatome bis zu vier. Einige Atome, wie die Sauerstoffatome, ziehen die Elektronen der Bindung stärker zu sich als die Kohlenstoff- oder Wasserstoffatome. Sauerstoff hat eine höhere Elektronegativität. Die Bindung ist polar und es entstehen Teilladungen (Partiellladungen) am Molekül, die Ausgangspunkt für Reaktionen zwischen Molekülen sind. Dies spielt bei der Kondensation und Hydrolyse eine wichtige Rolle (Abb. 2).

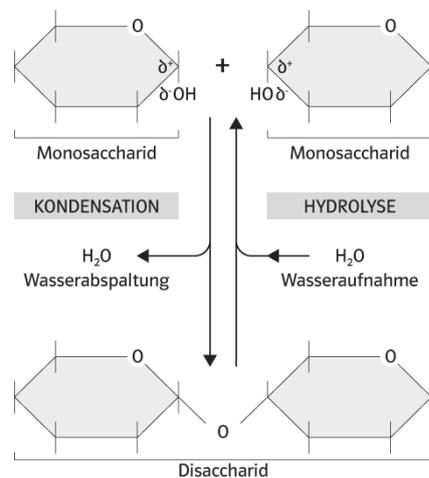
Sehr ergiebig für den Energiehaushalt der Zelle sind die Redoxreaktionen, die z. B. bei den Reaktionen des Glucoseabbaus ablaufen. Bei diesen Reaktionen werden immer Elektronen von einem Molekül auf ein anderes übertragen. Ein Molekül gibt Elektronen ab, es wird oxidiert. Ein anderes Molekül nimmt Elektronen auf und wird dabei reduziert. Moleküle mit funktionellen Gruppen sind z. B. im Glucosestoffwechsel Elektronenspender. Hierbei erhöht sich die Oxidationszahl des Kohlenstoffatoms von +I (Aldehydgruppe) auf +III (Carboxygruppe). Bei der Oxidation von Aldehyd zur Carbonsäure werden zwei Elektronen abgegeben:



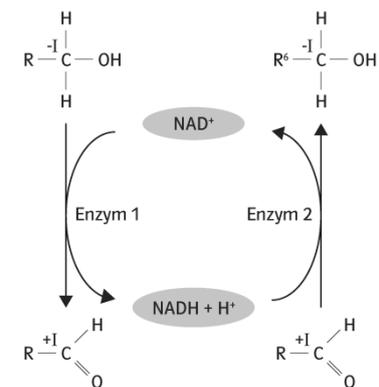
Innerhalb der Zelle nimmt das  $\text{NAD}^+$  häufig die Elektronen auf, so z. B. bei den einzelnen Reaktionsschritten beim Glucoseabbau.  $\text{NAD}^+$  ist dann der Elektronenakzeptor (Abb. 4). Es kann jedoch in weiteren Reaktionen auch als Elektronendonator fungieren. Dies hängt von den jeweiligen Reaktionspartnern ab (Abb. 3).



1 Kovalente Bindung beim Wasserstoff



2 Kondensation und Hydrolyse



3 Redoxreaktion

- 1 Beschreiben Sie in Abb. 1 die kovalente Bindung und erläutern Sie anhand von Abb. 2 und 3, welche Bedeutung diese Bindung bei den verschiedenen Verbindungen innerhalb der Zelle hat.
- 2 Erklären Sie anhand der Abbildungen und des Textes welche Bedeutung die funktionellen Gruppen und die Partiellladungen bei den Reaktionen haben.
- 3 Erläutern Sie die Vorgänge bei Redoxreaktionen anhand des Textes und Abb. 4. Stellen Sie hierbei die Bedeutung des  $\text{NAD}^+$  heraus.

**ARBEITSBLATT**

# Elektronen für die Energieumwandlung

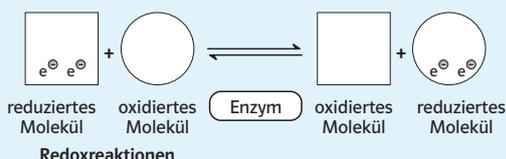
**Lösungen**

- Die kovalente Bindung zwischen zwei Wasserstoffatomen kommt dadurch zustande, dass die beiden Außenelektronen zwischen den Atomkernen ein gemeinsames Elektronenpaar ergeben. Dieses Elektronenpaar ermöglicht die Bindung zwischen den beiden einzelnen Atomen. Die Bedeutung liegt darin, dass die meisten Verbindungen im Organismus auf diesem Bindungstyp basieren. So werden die Monosaccharide zu Disacchariden über die C-C-Bindung kovalent verbunden.
- Das Sauerstoffatom hat eine höhere Elektronegativität gegenüber dem Kohlenstoff- oder Wasserstoffatom. Die Elektronen der Bindung halten sich häufiger beim Sauerstoffatom auf als bei dem Kohlenstoffatom. Die Bindung ist polar. Hierdurch wird das Sauerstoffatom gegenüber dem Kohlenstoffatom partiell negativer. Durch diese Partialladungsunterschiede werden die Moleküle, wie in Abb. 2 dargestellt, angezogen. Dies ermöglicht die folgende Kondensationsreaktion.
- Bei den beiden Reaktionen in Abb. 4 handelt es sich um Redoxreaktionen. Bei der ersten Reaktion wird ein Alkanol (Alkohol) in ein Alkanal (Aldehyd) umgewandelt. Dass es sich um eine Redoxreaktion handelt bei der Elektronen abgegeben und aufgenommen werden, erkennt man an den verschiedenen Oxidationszahlen des Kohlenstoffatoms in der funktionellen Gruppe. Die Oxidationszahl ändert sich von -I auf +I. Dies bedeutet, dass am Kohlenstoffatom des Alkohols eine Oxidation stattfindet und zwei Elektronen an das NAD<sup>+</sup> abgegeben werden. NAD<sup>+</sup> ist ein Cosubstrat in der Zelle, das Elektronen und Wasserstoffionen überträgt. Bei der Reaktion entsteht aus den beiden Elektronen und den beiden Wasserstoffionen NADH + H<sup>+</sup>. Es kommt bei vielen Redoxreaktionen vor. Da bei Redoxreaktionen immer ein Partner für die Elektronenaufnahme oder -abgabe vorhanden sein muss, ist die Rolle des NAD<sup>+</sup> sehr entscheidend, da ansonsten die Reaktionen nicht mehr weiterlaufen könnten. Bei einer zweiten Reaktion, bei der z.B. aus einem Alkanal wieder ein Alkanol wird, tritt das NADH + H<sup>+</sup> in der Funktion des Elektronendonators auf.

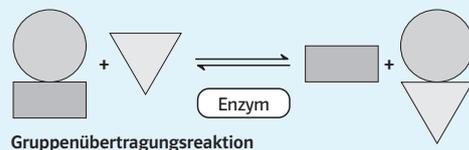
**Zusatzinformation**

Energieumwandlungen spielen in den Zellen und dem Organismus eine grundlegende Rolle. Die Energie ist immer stofflich gebunden (Abb. 1).

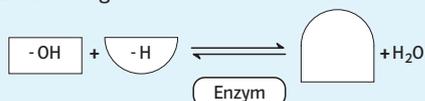
Redoxreaktionen sind Reaktionen, bei denen Elektronen übertragen werden. Die an den Reaktionen beteiligten Enzyme werden als Oxidoreduktasen zusammengefasst.



Bei Gruppenübertragungsreaktionen werden z.B. funktionelle Gruppen von einem Molekül auf ein anderes übertragen. Die beteiligten Enzyme werden als Transferasen zusammengefasst.

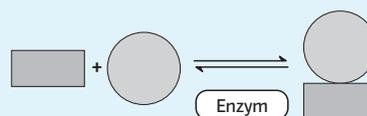


Bei Kondensationsreaktionen verbinden sich Substanzen unter Freisetzung von Wasser. Bei der Hydrolyse werden Wassermoleküle an die sich trennenden Moleküle angelagert. Die beteiligten Enzyme werden als Hydrolasen zusammengefasst.

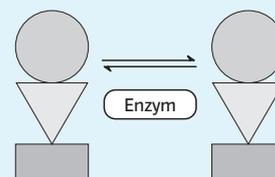


**1 Übersicht über die verschiedenen Reaktionstypen innerhalb einer Zelle oder dem Organismus**

Biosynthese und Spaltungsreaktionen spalten Bindungen zwischen Atomen oder bauen Verbindungen auf. Hierbei werden keine Wassermoleküle aufgenommen oder abgegeben. Die beteiligten Enzyme werden als Lyasen (Spaltung) und Synthetasen (Aufbau) zusammengefasst.



Isomerisierungen sind Verlagerungen innerhalb eines Moleküls. Das kann z.B. eine funktionelle Gruppe sein. Die beteiligten Enzyme werden als Isomerasen zusammengefasst



# Ohne Waschbrett mehr Zeit für den Sixpack

Für die Entwicklung biotechnisch hergestellter Enzyme wird in der Wirtschaft viel Geld ausgegeben, da deren Eigenschaften viele Vorteile bringen. Lebende Organismen besitzen ganz „kostenfrei“ eine ganze Reihe dieser Biokatalysatoren. Meist aus Proteinen aufgebaut, unterstützen Enzyme wichtige Prozesse z. B. bei der Vorverdauung im Mundspeichel oder der Weitergabe und Umsetzung von Erbinformation in Zellen. Daher lag es nahe, Enzyme aus Organismen zu isolieren und industriell einzusetzen. Ein Blick auf die Verpackung eines Waschmittels verrät, dass dies realisiert wurde und bei uns im Alltag nicht mehr wegzudenken ist.



1 Inhaltsstoffe eines Waschmittels

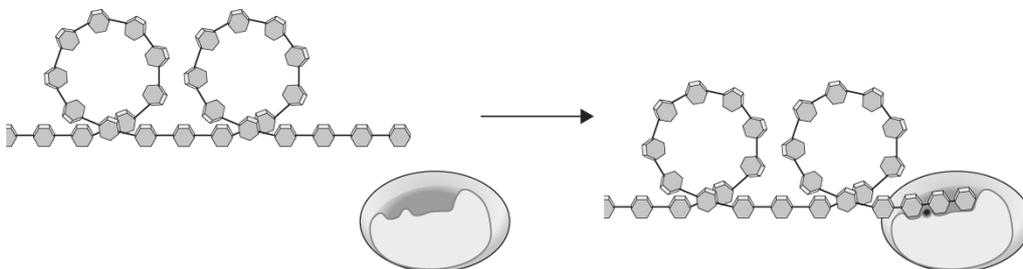
Vor gerade mal 60 Jahren hielt die Waschmaschine flächendeckend in die deutschen Haushalte Einzug und erspart seitdem die langwierigen Reinigungen mit dem Waschbrett. Bei einer weiterführenden Internetrecherche zum Thema „Enzyme und Waschen“ findet man eventuell folgende Textauszüge:

(...) im Jahr 1972 lag der Einsatz von Waschprogrammen, die 95 °C für eine effektive Reinigung benötigen, bei 42 %. Der Einsatz von waschaktiven Enzymen, denen bereits niedrigere Außentemperaturen wie 30 °C oder 40 °C für eine Aktivierung ausreichen, nahm über die Jahre stetig zu. 2006 lag daher der Anteil von Kochwäsche nur noch bei 8 %. Zudem konnten die einzelnen Waschvorgänge zeitlich kürzer gehalten werden. Einher gingen somit deutliche Kosten- und Energieeinsparungen. (...)

(...) Die wichtigsten und zugleich teuersten Bestandteile von Waschmitteln sind Enzyme, die Flecken aus Speiseresten entfernen, indem sie die Biomoleküle, die die Verschmutzung verursachen, zerlegen. Auch wenn bereits geringe Mengen an Enzymen ausreichen, um Kleidung überzeugend zu reinigen, wird an Rückgewinnungsverfahren gearbeitet. Denn so können eingesetzte Enzyme mehrmals genutzt werden. (...)

(...) „-ase“ spaltet „-ose“. Dieser Merkspruch gilt auch für das in Waschmitteln vorkommende Enzym Amylase. Es zerlegt schrittweise die Amylose, den Hauptbestandteil der Stärke. Letztlich handelt es sich beim Amylosemolekül um eine Kette aus Glucosemolekülen in Helix-Struktur. Durch die Abspaltung von Maltosemolekülen, die jeweils aus zwei verknüpften Glucosemolekülen bestehen, wird das Amylosemolekül immer kleiner. (...)

## 2 Zitate aus dem Internet



## 3 Unvollständiger katalytischer Zyklus

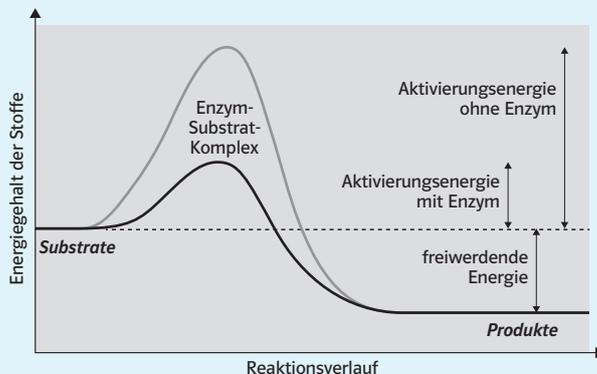
- 1 Leiten Sie aus den gegebenen Informationen in Abbildung 2 die Eigenschaften von Enzymen ab und erstellen Sie zwei mögliche Energiediagramme.
- 2 Im Internet finden Sie die Abbildung eines unvollständigen katalytischen Zyklus (Abb. 3). Skizzieren Sie schematisch die Wirkungsweise eines Enzyms bei der Stärkespaltung, indem Sie die Abbildung vervollständigen und unter Verwendung von Fachbegriffen beschriften.

ARBEITSBLATT

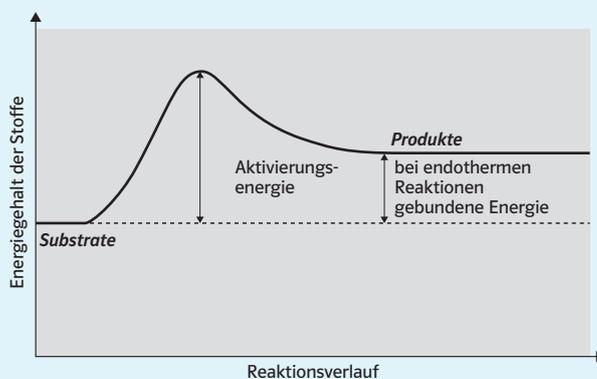
# Ohne Waschbrett mehr Zeit für den Sixpack

**Lösungen**

- 1 Erste Aussage: Enzyme senken die Aktivierungsenergie, die Reaktion verläuft schneller.
- Zweite Aussage: Enzyme sind wieder verwendbar und reichen bereits in geringen Mengen aus.
- Dritte Aussage: Enzyme bekommen in der Regel die Endung -ase.

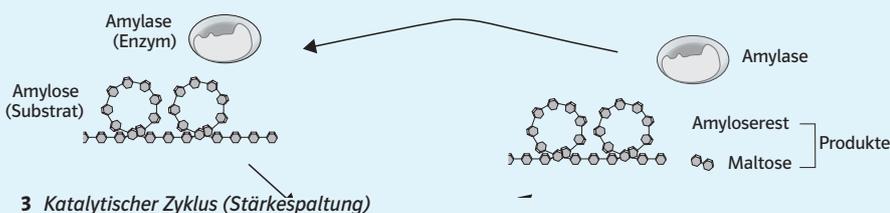


1 *Energiediagramm exergonischer Reaktionen*



2 *Energiediagramm endergonischer Reaktionen*

2



**Zusatzaufgabe**

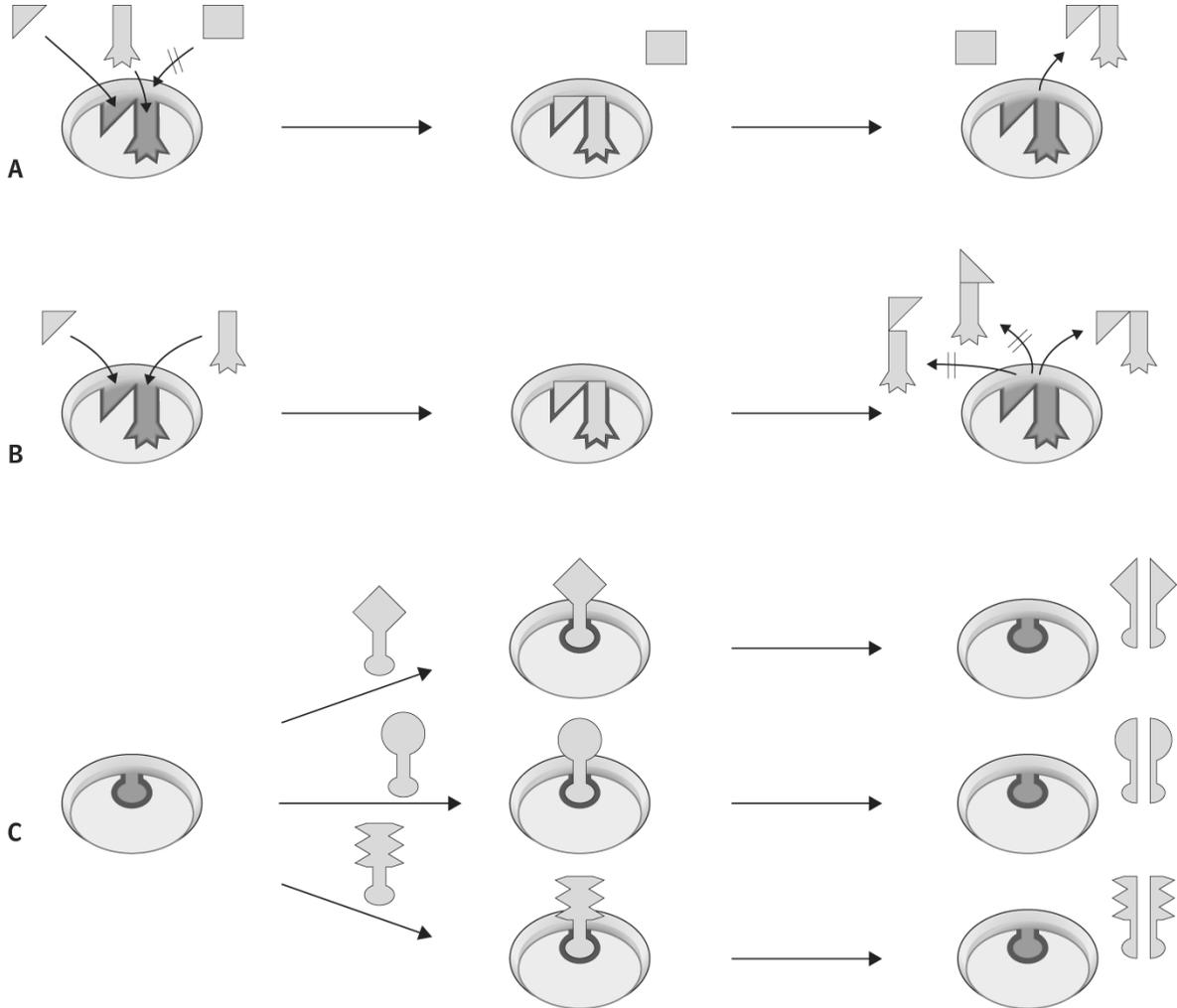
Der in Abbildung 3 auf Teilchenebene beschriebene Vorgang lässt sich auch mit relativ einfachen Mitteln auf Stoffebene zeigen. Ihnen stehen folgende Materialien zur Verfügung:  
**Geräte:** 2 Reagenzgläser, 1 Reagenzglasständer, 2 Stopfen  
**Chemikalien:** Lugol'sche Lösung, Stärke, Wasser  
**Aufgabe:** Entwerfen Sie einen Versuch, der die Enzymaktivität nachweist.

**Praktische Tipps**

In beide Reagenzgläser wird die gleiche Menge an Stärke und Wasser gegeben. Mit wenigen Tropfen Lugol'scher Lösung färben sich beide Lösungen blauschwarz. In eines wird Amylase entweder mit Speichel (Hinweis im Einführungsversuch) oder in reiner Form gegeben. Es kommt zur Entfärbung, da die Amylosemoleküle durch die Amylase gekürzt und damit auch ihre Helixstruktur, die zur Polyiodideinlagerung notwendig ist, zerstört wird. Hervorhebungen der Farbunterschiede sind durch einen hellen Hintergrund wie einem Tonkarton gut möglich.

# Was ein Enzym so alles kann

Die Menge an Enzymen ist riesig. Dennoch sind allen Enzymen drei Eigenschaften gemeinsam, die stets vom chemischen Aufbau des Enzyms – in der Regel handelt es sich um Proteine – beeinflusst werden. Kommen ausreichend zwischenmolekulare Wechselwirkungen zustande, können Enzyme andere Moleküle auf verschiedenste Art und Weise verändern.



## 1 Eigenschaften katalytischer Reaktionen

- 1 Beschriften Sie Abbildung 1 A mit den allgemein gültigen Fachbegriffen des katalytischen Zyklus.
- 2 Ordnen Sie begründet Abbildung 1 A ein Ihnen bekanntes biologisches Prinzip zu, das hier gilt, und nennen Sie noch zwei weitere Bereiche im menschlichen Körper, wo dieses ebenfalls gültig ist.
- 3 Erläutern Sie anhand der Abbildungen A–C die Eigenschaften von katalytischer Reaktionen.

## ARBEITSBLATT

## Was ein Enzym so alles kann

## Lösungen

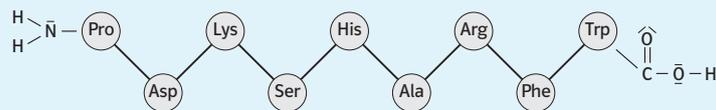
- 1 von links nach rechts: aktives Zentrum, Enzym, Substrate, Enzym-Substrat-Komplex, wiederverwendbares/leeres Enzym, Produkt
- 2 Es gilt das Schlüssel-Schloss-Prinzip. Das Substrat muss passgenau zum Enzym sein. Weitere Beispiele für Substratspezifität: Transmitter, die im synaptischen Spalt auf Rezeptoren treffen, oder Hormone, die von Rezeptoren angebunden werden.
- 3 Abb. A: Nur passende Substrate können an das aktive Zentrum angelagert und umgesetzt werden, nicht alle Substrate können von ein und demselben Enzym verändert werden (→ Substratspezifität).  
Abb. B: Ein Enzym vermag nur eine bestimmte Art von Reaktion zwischen Substraten zu katalysieren (→ Wirkungsspezifität).  
Abb. C: Ähneln sich die Substrate in ihrem Aufbau, können alle vom gleichen Enzym bzgl. einer Reaktion katalysiert werden (→ Gruppenspezifität).

## Praktische Tipps

Für die Besprechung der Ergebnisse des Arbeitsblattes „Was ein Enzym so alles kann“ (s. Lehrerband S. 33) empfiehlt es sich, die Abbildungen als ausgeschnittene Overhead-Folien-Bildchen oder Abbildungen an der digitalen Tafel bereit zu halten. Somit können einzelne Schülerinnen und Schüler diese bei ihrer Präsentation einsetzen.

## Zusatzaufgabe

Trypsin ist ein Enzym, das hilft, Proteine im Magen abzubauen. In seinem aktiven Zentrum befindet sich eine negative Ladung, die eine ionische Wechselwirkung zu bestimmten Aminosäuren aufbauen lässt. Findet dies statt, wird das Protein angelagert und durch eine Peptidbindungstrennung in zwei bzw. bei mehrmaliger Anbindung aufgrund passender Aminosäuren in mehrere Teile zerlegt.



## 1 Aminosäurekette

Trivialname Abk, Buchstabe					
<i>polar, neutral (ungeladen)</i>		<i>polar, sauer (negativ geladen)</i>		<i>polar, basisch (positiv geladen)</i>	
Tyrosin Tyr, Y	Alanin Ala, A	Asparaginsäure Asp, D		Lysin Lys, K*	
Cystein Cys, C	Prolin Pro, P	Glutaminsäure Glu, E		Arginin Arg, R (semiessentiell)	
Asparagin Asn, N	Serin Ser, S			Histidin His, H* (semiessentiell)	
Glutamin Gln, Q	Phenylalanin Phe, F				
Tryptophan Trp, W*					

## 2 Liste der Aminosäuren im menschlichen Körper (\* essentiell)

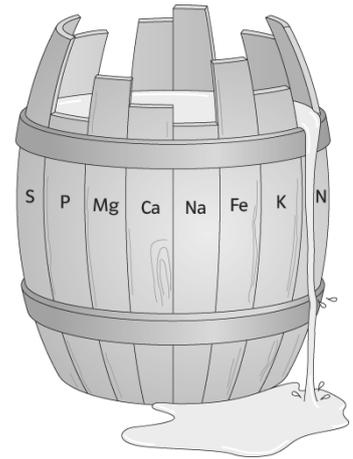
- 1 Begründen Sie, welche der Aminosäuren (Abb. 2) in einem Protein vorliegen müssen, damit es durch Trypsin zerlegt wird und zeichnen Sie die Trennungsstellen in der Aminosäurekette (Abb. 1) ein.

## Lösung

- 1 Für die Ausbildung einer ionischen Wechselwirkung benötigen die Aminosäuren an ihren Seitenketten eine echte positive Ladung. Diese kommt bei Lysin, Histidin und Arginin vor. Die gegebene Aminosäurekette wird in vier Abschnitte zerlegt.

# Untersuchungen zur Urease

Das von Julius Liebig (1803–1873) im Jahr 1828 veröffentlichte Minimumgesetz besagt, dass das Pflanzenwachstum von den Faktoren begrenzt wird, die am weitesten vom Optimum entfernt sind, um ein Überleben zu sichern. Gerade für höher entwickelte Pflanzen ist dies häufig der Mangel an Stickstoff im Boden, der dort meist in Form von Nitratsalzen vorkommt. Stickstoff wird zum limitierenden Faktor (Abb. 1).



1 Gesetz des Minimums von Liebig

Weltweit wird daher Dünger eingesetzt, der in über 55 % der Fälle Harnstoff als Stickstoffquelle enthält. Zudem tragen Säugetiere, wie z. B. Rinder auf der Weide, durch ihre Ausscheidungen Harnstoff in den Boden ein. Die Samen von Nutzpflanzen enthalten eine große Menge an Ureasen. Dieses Enzym kann das stabile Harnstoffmolekül nach folgender Reaktion umsetzen:



2 Reaktion der Urease mit Harnstoff

Urease ist das erste Enzym, das in Reinform isoliert und zur Untersuchung seiner genaueren Struktur kristallisiert werden konnte. 1946 wurde diese Entdeckung mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt. Aufgrund seiner guten Haltbarkeit bei niedrigeren Temperaturen lässt es sich gut für Versuche einsetzen.

- 1 Wegen des hohen Harnstoffeinsatzes in der Landwirtschaft ist es für Wissenschaftler interessant zu ermitteln, welcher Zusammenhang zwischen der Enzymaktivität der Urease und der Substratkonzentration des Harnstoffes besteht. Sie erhalten den Forschungsauftrag, hierzu eine geeignete Versuchsreihe zu entwickeln. Wählen Sie dafür aus der folgenden Laborausstattung begründet Materialien aus und beschreiben Sie Ihre Vorgehensweise in Form eines Versuchsprotokolls.

### Geräte:

Bechergläser, Thermometer, Messgerät zur elektrischen Leitfähigkeit, Reagenzgläser, Stoppuhr, Waage, Messzylinder, Mörser und Pistill, Tropfpipetten, Trichter, Filterpapier, Spatel, Petrischalen, Tiegelzange, Glasstab, Schutzbrillen, Bunsenbrenner

### Chemikalien:

Bromthymolblau (Säure-Base-Indikator: gelb (sauer), grün (neutral), blau (alkalisch)); Kochsalz, Masse an Harnstoff in Gramm, dest. Wasser, Eiswürfel, Essig, Ureasesuspension

## ARBEITSBLATT

## Untersuchungen zur Urease

## Lösungen

- 1 Der Aktivitätsgrad der Urease lässt sich durch den Einsatz des Indikators Bromthymolblau messen. Dieser färbt sich in einem sauren Milieu gelb, im neutralen grün und im alkalischen blau. Die durch die Harnstoffspaltung freigesetzten Ammoniakmoleküle reagieren mit Wassermolekülen zu Ammonium- und Hydroxid-Ionen. Über die Konzentration der Hydroxid-Ionen und damit der Oxonium-Ionen, lässt sich der pH-Wert der Lösung bestimmen.

**Vorschlag zu einem möglichen Versuchsprotokoll****Geräte:**

Schutzbrillen, 7 Bechergläser, Spatel, Glasstab, Waage, Tropfpipette, weißes Blatt Papier, Stoppuhr

**Chemikalien:**

dest. Wasser, Harnstoff (fest), frische Ureasesuspension, Bromthymolblau-Lösung

**Durchführung:**

Füllen Sie die Bechergläser wie in der Tabelle angegeben. Bevor Sie die Urease-Suspension zugeben, jeweils mit dem Glasstab gut umrühren bis der Harnstoff vollständig aufgelöst ist. Messen Sie dann sofort für jedes Becherglas die Zeit bis der Farbumschlag des Indikators eintritt. Schwenken Sie etwa alle 10 Sekunden die Bechergläser, um für eine gute Durchmischung zu sorgen.

Becherglas-Nr.	dest. Wasser (ml)	Harnstoff (g)	Urease-Suspension (ml)	gemessene Zeit (s)
1	20	0,02	0,5	
2	20	0,04	0,5	
3	20	0,08	0,5	
4	20	0,16	0,5	
5	20	0,32	0,5	
6	20	2,00	0,5	

Die Lösungen aus den Bechergläsern lassen sich in den Ausguss entsorgen.

*Hinweis:* Alternativ lässt sich auch die elektrische Leitfähigkeit als Anzeiger für die Enzymaktivität wählen.

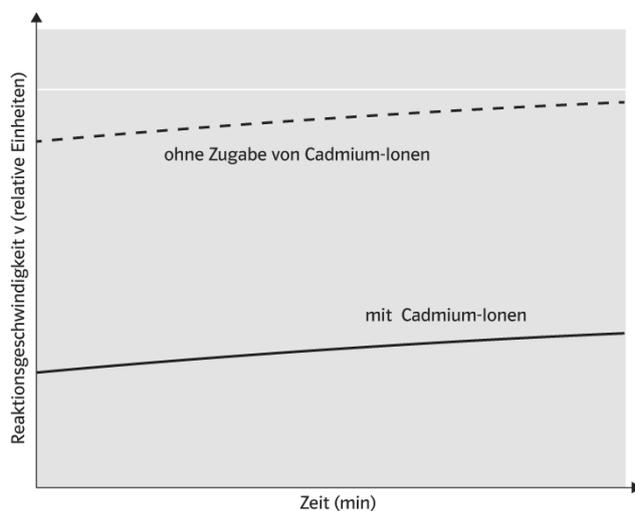
## Die itai-itai-Krankheit

In den 1950er-Jahren klagten Bewohner einer japanischen Bergbausiedlung über äußerst starke Schmerzen („itai-itai“, „aua-aua“). Zu den Symptomen der sogenannten itai-itai-Krankheit gehörten Nierenversagen und spröde Knochen. Was war passiert? In einem nahegelegenen Bergwerk wurden Silber und Zink abgebaut. Diese Metalle kommen nicht in Reinform, sondern als Salze vor. Bei der Gewinnung wurden zugleich größere Mengen an Cadmiumsalzen, die dort ebenfalls häufig waren, in einen Fluss eingebracht.

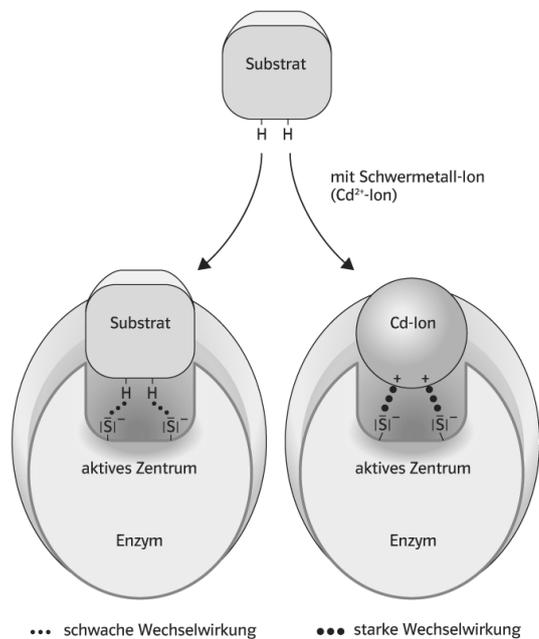
Sämtliche Reispflanzen, die damals mit diesem Abwasser gegossen wurden, und Fische, die in angrenzenden Flüssen lebten, wiesen eine erhöhte Konzentration an giftigen Cadmium-Ionen auf. Die ansässige Bevölkerung ernährte sich von diesen verseuchten Lebensmitteln. Zwar sind die Ionen einiger Schwermetalle wie Kupfer und Zink in geringen Mengen für Organismen lebensnotwendig, wirken aber in hoher Konzentration giftig, da sie auf bestimmte enzymatische Wirkungen Einfluss nehmen.



1 Schwermetalle im Abwasser



2 Reaktionsgeschwindigkeiten (Substratkonzentration bleibt gleich)



3 Wirkung von Schwermetall-Ionen auf das aktive Zentrum

- 1 Beschreiben Sie die Folge der Zugabe von Schwermetall-Ionen mithilfe von Abbildung 2.
- 3 Zusätzlich soll angenommen werden, dass im Laufe der im Diagramm angegebenen Zeit stetig die Substratkonzentration erhöht worden ist. Das gemessene Ergebnis entspricht weiterhin der Darstellung in Abbildung 2. Begründen Sie, ob es sich bei den Schwermetall-Ionen um einen kompetitiven Inhibitor und damit um eine reversible Reaktion handeln kann.
- 4 Werten Sie die Abbildung 3 zum Ablauf der Wirkung von  $\text{Cd}^{2+}$ -Ionen auf die Enzymreaktion aus und begründen Sie, ob die Bezeichnung „irreversible Reaktion“ angebracht ist.

## ARBEITSBLATT

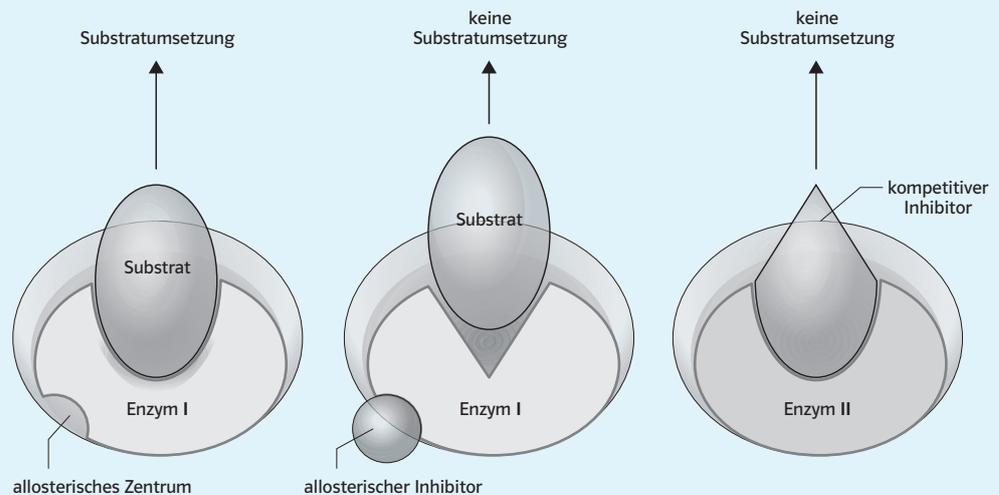
## Die itai-itai-Krankheit

## Lösungen

- 1 Ohne die Zugabe von Schwermetall-Ionen liegt die Geschwindigkeit des Substratumsatzes höher. Mit Cadmium-Ionen steigt sie nur auf etwa die Hälfte. Die Enzyme sind in ihrer Aktivität stark gehemmt worden.
- 2 Es kann sich nicht um einen kompetitiven Inhibitor handeln, da sonst die Erhöhung der Substratkonzentration zu einem Anstieg der Reaktionsgeschwindigkeit hätte führen müssen (s. Schülerbuch S. 38, Abb. 1).
- 3 Die Cadmium-Ionen binden sich an Stellen des aktiven Zentrums am Enzym. Da diese eine starke Wechselwirkung (hier: ionische Bindung statt der Wasserstoffbrücken zwischen Substrat und Enzym) eingehen, können sie nicht mehr z.B. durch ein kompetitives Substrat verdrängt werden. Sie sind nicht reversibel angebunden. Daher eignet sich die Bezeichnung „irreversible Reaktion“.

## Praktische Tipps

Die enzymatische Regulation kann vereinfacht dargestellt werden.



## 1 Allosterische und kompetitive Hemmung

# Der Einfluss von pH-Wert und Temperatur wird untersucht

Lactose (Milchzucker) ist ein Dissacharid, das aus einem Glucosemolekül und einem Galactosemolekül besteht. Beim Menschen sorgt Lactase im Dünndarm bei einem pH-Wert von 8–9 für die Spaltung von Lactose. Die Spaltungsprodukte können anschließend über die Dünndarmschleimhaut ins Blut aufgenommen werden. Bei Menschen, die unter Lactoseintoleranz (Lactoseunverträglichkeit) leiden, wird Lactose nicht gespalten und wandert unverändert den Darm entlang. Dort bauen Bakterien Lactose in einem Gärungsprozess ab, der unangenehme Blähungen verursacht. Mit dem sogenannten GOD-Test (Glucose-Oxidase-Test) lässt sich durch Teststäbchen die in einer Lösung vorhandene Menge an Glucose anhand einer Farbskala bzw. einer Stufe bestimmen:

<b>Glucose mg/dl</b>	0	25	50	100	300	> 1000
<b>Stufe</b>	0	1	2	3	4	5

1 Farbskala (GOD-Test)



2 Anteil der Bevölkerung mit Lactoseintoleranz

Zur Aktivität der Lactase wurden folgende Versuchsreihen durchgeführt:

Versuchsansatz	Lactoselösung (15 ml)	Lactase	pH-Wert	Temperatur	GOD
a	+	–	8	37 °C	
b	+	+	8	37 °C	
c	+	+	8	87 °C	
d	+	+	8	17 °C	
e	+	+	1	37 °C	

3 Versuchsreihen zur Lactase-Aktivität

- 1 Beschreiben Sie die weltweite Verteilung von Lactoseintoleranz (Abb. 2).
- 2 Erläutern sie, was man unter einem Kontrolleexperiment versteht und ob dieses in der Versuchsreihe (Abb. 3) berücksichtigt wurde.
- 3 Erläutern Sie, welches Ergebnis Sie beim GOD-Test des jeweiligen Versuchsansatz erwarten (Abb. 3).
- 4 Auch die Milchindustrie erschließt im Zuge der Globalisierung den Absatzmarkt im bevölkerungsreichen China. Stellen Sie eine Hypothese auf, wie milchzuckerfreie Produkte industriell hergestellt werden könnten.

## ARBEITSBLATT

## Der Einfluss von pH-Wert und Temperatur wird untersucht

### Lösungen

- 1 In Nordamerika und Europa sowie Australien ist der Anteil von Menschen mit Lactoseintoleranz gering. Im nördlichen Südamerika und Afrika sind gut zwei Drittel der Bevölkerung betroffen, im südlichen Bereich und Asien bis zu 100%.
- 2 Ein Kontrollexperiment stellt die Funktionsfähigkeit der Nachweismethode, hier den GOD-Test, sicher. Ein negatives Kontrollexperiment (Negativkontrolle) wurde nicht durchgeführt, da nicht auf reine Glucose und Galactose getestet wurde.
- 3
  - a → Stufe 0, keine Umsetzung, da kein Enzym vorhanden ist.
  - b → Stufe 3, schnelle Umsetzung, da der pH-Wert (Optimum wie im Dünndarm) und die Temperatur (Körpertemperatur) ideal erfüllt sind.
  - c → Stufe 0, keine Umsetzung, da die Lactase durch Hitze denaturiert wird.
  - d → Stufe 2, langsamere Umsetzung gemäß der RGT-Regel.
  - e → Stufe 1, saures Milieu schränkt Umsetzung stark ein, die vorhandenen Protonen verändern die Tertiärstruktur bzw. das aktive Zentrum.
- 4 individuelle Antwort.  
Tatsächlich werden lactosehaltigen Lebensmitteln  $\beta$ -Galactosidasen aus Bakterien bzw. Pilzkulturen zugegeben und damit der Milchzucker gespalten.

### Praktische Tipps

#### Definitionen

Nicht immer werden positives und negatives Kontrollexperiment sowie Blindprobe einheitlich definiert. Eine mögliche Definition finden Sie im Lehrband auf S. 28 (Zusatzinformation).