

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>A Abbauende Stoffwechselprozesse</b> .....	<b>7</b>
1. Einführung .....	7
2. Enzyme im Stoffwechsel der Zellen .....	8
2.1 Die Überwindung der Reaktionsträgheit .....	8
2.2 Die Spezifität der Enzyme .....	12
2.3 Die Abhängigkeit der Enzymaktivität von verschiedenen Faktoren .....	15
2.4 Zusammenfassung .....	25
3. Energieumwandlung in den Zellen .....	26
3.1 Stufe 1: Die Verdauung .....	28
3.2 Stufe 2: Die Glykolyse .....	37
3.3 Stufe 3: Der Zitronensäure-Zyklus .....	39
3.4 Stufe 4: Die Atmungskette .....	42
3.5 Zusammenfassung .....	50
4. Transport der Atemgase .....	51
5. Glukoseabbau ohne Sauerstoff .....	53
5.1 Alkoholgärung durch Hefe .....	54
5.2 Milchsäuregärung im Skelettmuskel .....	55
6. Die Fettsäureoxidation .....	57
7. Aminosäuren als Brennstoffe .....	59
8. Energiespeicherung durch Fett und Glykogen .....	59
9. Regulation des Energiestoffwechsels .....	60
<b>B Aufbauende Stoffwechselprozesse</b> .....	<b>62</b>
1. Einführung .....	62
2. Die Bedeutung der Fotosynthese für die belebte Natur .....	64
3. Experimente zur Fotosynthese .....	65
3.1 Historische Experimente zur Ernährung der Pflanzen .....	65
3.2 Einfache Experimente zur Fotosynthese .....	67
3.3 Zusammenfassung .....	71
4. Die Abhängigkeit der Fotosynthese von verschiedenen äußeren Faktoren .....	72
4.1 Abhängigkeit von der Temperatur .....	72
4.2 Abhängigkeit von der Kohlenstoffdioxidkonzentration .....	73
4.3 Abhängigkeit von der Lichtintensität .....	74
4.4 Abhängigkeit von der Lichtqualität .....	75
4.5 Zusammenfassung .....	77
5. Der Fotosynthesemechanismus .....	78
5.1 Der Bau eines Chloroplasten .....	78
5.2 Die beiden Teilprozesse der Fotosynthese .....	81
5.3 Die Sekundärprozesse .....	82
5.4 Die Primärprozesse .....	87
5.5 Zusammenfassung .....	99

6.	Sonderformen der CO <sub>2</sub> -Verwertung .....	101
6.1	C <sub>4</sub> -Pflanzen .....	101
6.2	CAM-Pflanzen .....	102
7.	Stickstoff-Fixierung .....	104
8	Chemosynthese .....	105
<b>C</b>	<b><i>Ernährung des Menschen</i></b> .....	<b>106</b>
1.	Aufgaben der Ernährung .....	106
2.	Nahrung als Energielieferant .....	106
2.1	Nährstoffe als Energieträger .....	106
2.2	Energieinhalt der Nährstoffe .....	108
2.3	Energiebedarf des Körpers .....	109
3.	Nahrung als Lieferant von Aufbaustoffen .....	111
3.1	Eiweiße (Proteine) .....	112
3.2	Fette .....	114
3.3	Kohlenhydrate .....	114
3.4	Mineralstoffe .....	114
3.5	Wasser .....	115
4.	Nahrung als Lieferant von Wirkstoffen .....	115
4.1	Vitamine .....	115
4.2	Mineralstoffe und Spurenelemente .....	117
5.	Stoffwechsel der Nährstoffe .....	118
5.1	Verdauung der Nährstoffe .....	118
5.2	Speicherung von Nährstoffen .....	123
5.3	Ausscheidung von Stoffwechselabfällen .....	124
6.	Die Regulation der Nahrungsaufnahme .....	125
7.	Ernährungsfehler .....	127
	<b><i>Literaturverzeichnis</i></b> .....	<b>128</b>
	<b><i>Lösungen zu den Aufgaben</i></b> .....	<b>129</b>
	<b><i>Glossar</i></b> .....	<b>137</b>
	<b><i>Register</i></b> .....	<b>140</b>

# A

## Abbauende Stoffwechselprozesse

### 1. Einführung

Wir wollen unsere Überlegungen zum Energiestoffwechsel der Zellen mit einer einfachen, alltäglichen **Beobachtung** beginnen.

Wenn wir **körperliche Arbeit** verrichten, wird uns in der Regel warm, und wir fangen an zu schwitzen.

Nach körperlichen Anstrengungen stellt sich über kurz oder lang ein deutliches Hungergefühl ein, dem wir normalerweise durch Nahrungsaufnahme nachkommen.

Eine solche Situation hat natürlich jeder schon einmal erlebt.

Was wir uns in der Regel nicht klarmachen, ist die Tatsache, dass den beobachtbaren Phänomenen **Energieumwandelungsvorgänge** zugrunde liegen.

Die im Beispiel aufgeführten Verrichtungen kommen durch Muskelkontraktionen zustande. Dabei wandeln die Muskeln die Energie, die in ihren Nährstoffvorräten steckt, zum Teil in Bewegungsenergie und zum Teil in Wärmeenergie um.

Die von den Muskeln verbrauchten Nährstoffvorräte müssen nun wieder aufgefüllt werden. Durch die Nahrungsaufnahme führen wir uns neue **Nährstoffe** zu, in denen die Energie in den **chemischen Bindungen** zwischen den Atomen gespeichert ist.

Die Fähigkeit unseres Organismus zur Bewegung hängt also von der Energiezufuhr durch Nahrung ab. Aber nicht nur das. Auch der hochgeordnete Zustand unseres Organismus ist von dauernder Energiezufuhr abhän-

gig. Essen wir zu wenig, werden wir schlapp und krank. Essen wir gar nichts mehr, erlischt unser Leben.

Alle Systeme, die den Gesetzen der Physik gehorchen (und kein Lebewesen ist davon ausgenommen), streben **ohne Energiezufuhr** einem **Zustand der Unordnung** entgegen. In einer Wohnung, in der nicht regelmäßig aufgeräumt wird, liegen bald Kleidungsstücke, benutztes Geschirr, Bücher usw. verstreut umher; nichts ist mehr an seinem Platz. Nur durch Energiezufuhr (d.h. durch Aufräumen, Spülen, Putzen usw.) kann der ursprüngliche Ordnungszustand wiederhergestellt werden.

Auch **Zellen** sind solche hochgeordneten Gebilde, die ohne Energiezufuhr nicht beständig wären und keine Arbeit leisten könnten. Hinsichtlich der **Energiequellen**, die die Zellen zur Energieversorgung nutzen, können zwei große Gruppen unterschieden werden:

- **Tierische Zellen** entnehmen sie aus den **chemischen Bindungen** der organischen Nährstoffmoleküle (*Teil A*).
- **Pflanzenzellen** beziehen die Energie für ihre Lebensprozesse aus dem **Sonnenlicht** (*Teil B*).

Da die Nährstoffe, wie wir zeigen werden, letztlich von den pflanzlichen Organismen gebildet werden, ist die **Sonne** die **Ausgangsenergiequelle** für alle Zellen.

Trotz dieser fundamentalen Einsicht beginnen wir unsere Darstellung nicht mit dem pflanzlichen Stoffwechsel, sondern mit den

**Abbauvorgängen**, wie sie für tierische Organismen (also auch für unseren Organismus) charakteristisch sind.

## 2. Enzyme im Stoffwechsel der Zellen

### 2.1 Die Überwindung der Reaktionsträgheit

Tierische Zellen verwerten zur **Energiegewinnung** vor allem **Glukose**. (*Genauerer zur Chemie der Bau- und Inhaltsstoffe in der mentor Abiturhilfe Zellbiologie.*) Glukose wird über mehrere chemische Reaktionen zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Einen Teil der dabei frei werdenden Energie kann die Zelle speichern und für Arbeitsvorgänge nutzen.

Die chemischen Reaktionen des Glukoseabbaus laufen allerdings nicht spontan ab. Normalerweise ist Glukose unbegrenzt haltbar. Einfach von sich aus reagiert Glukose nicht; oder genauer betrachtet, so unglaublich langsam, dass wir die Geschwindigkeit der Reaktion nicht messen könnten. Glukose ist also **reaktionsträge** (oder **metastabil\***, wie die Chemiker sagen).

Diese **Reaktionsträgheit** fast aller biologisch relevanten Moleküle ist eine der **fundamentalen Voraussetzungen des Lebens**, weil es ohne sie keine Zellen und keine Organismen geben würde. Wenn alle Moleküle ständig und ungehindert miteinander reagieren würden, gliche die Erde einem chemischen Chaos, in dem keine Struktur auf längere Sicht bestehen könnte.

Aber auch eine völlige Reaktionsunfähigkeit würde kein Leben ermöglichen. Die einmal gebildeten Strukturen wären zwar ungemein stabil, doch zu keiner Veränderung fähig. Eine lebende Zelle benötigt aber, um existieren zu können, eine riesige Zahl komplizierter chemischer Reaktionen, die insgesamt ihren **Stoffwechsel** bilden. Diese chemi-

schen Reaktionen müssen im Vergleich zur Lebensdauer einer Zelle bzw. eines Organismus **ungeheuer schnell** ablaufen. Nur dann ist gewährleistet, dass einmal gebildete Strukturen auch aufrechterhalten werden und neue entstehen können.

Einen Organismus hervorbringen und ihn am Leben erhalten – das erfordert zwei ganz verschiedene zeitliche Maßstäbe:

- Die Bausteine, aus denen die Zellen zusammengefügt sind, müssen dauerhaft genug sein, um dem Organismus eine gewisse zeitliche Stabilität zu verleihen, die Wachstum und Vermehrung ermöglicht.
- Zur Gewährleistung dieser Funktionen aber müssen in den Zellen viele Moleküle millionenfach schneller miteinander reagieren, als sie dies normalerweise von sich aus tun.

**Wie kann die Reaktionsträgheit überwunden werden?** Ein Reaktionsgemisch aus 2 Teilen Wasserstoff und 1 Teil Sauerstoff verändert sich bei Zimmertemperatur normalerweise nicht. Wenn wir aber einen kleinen Energiebetrag zuführen (Flamme, elektrischer Funke), kommt eine heftige Reaktion in Gang und läuft unter sehr starker Energieabgabe explosionsartig ab (**Knallgas-Reaktion**).

Die Energie, die wir zuführen müssen, um die Reaktion in Gang zu bringen, nennen wir **Aktivierungsenergie**.

Die Aktivierungsenergie stellt eine Art **Energieschwelle** dar, die überwunden werden muss, um reaktionsträge Stoffe zur Reaktion zu bringen. Sie ist die **Ursache der Reaktionsträgheit**.

In Abbildung 1 ist dieser Sachverhalt grafisch veranschaulicht. Das Diagramm zeigt die **Energiedifferenz** zwischen den Ausgangsstoffen  $H_2$  und  $O_2$  und dem Endprodukt  $H_2O$ . Diese Energiedifferenz wird während der Reaktion freigesetzt; deshalb wird sie auch – etwas verwirrend – als „**freie Energie**“ bezeichnet.

Des Weiteren zeigt das Diagramm die „Höhe“ der Aktivierungsenergie, die zugeführt werden muss, damit die Reaktion ablaufen kann.

Wir können die Bedeutung der Aktivierungsenergie auch an einem **mechanischen Beispiel** verdeutlichen (vgl. Abb. 2).

Eine Kugel, die vor einem Abhang liegt, rollt niemals von sich aus hinunter. Erst wenn wir ihr einen kleinen Schubs geben (Aktivierungsenergie!), tut sie dies.

Bei **chemischen Reaktionen im Reagenzglas** kann man die Reaktionsträgheit meist durch **Wärmezufuhr** überwinden. Bei einer Temperaturerhöhung um  $10^\circ C$  steigt die Geschwindigkeit der Reaktion auf das 2–3fache. Dieser Zusammenhang ist als **Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel** (kurz: RGT-Regel) bekannt. Der Effekt der Temperatur beruht darauf, dass die Moleküle häufiger und mit größerer Geschwindigkeit zusammenstoßen.

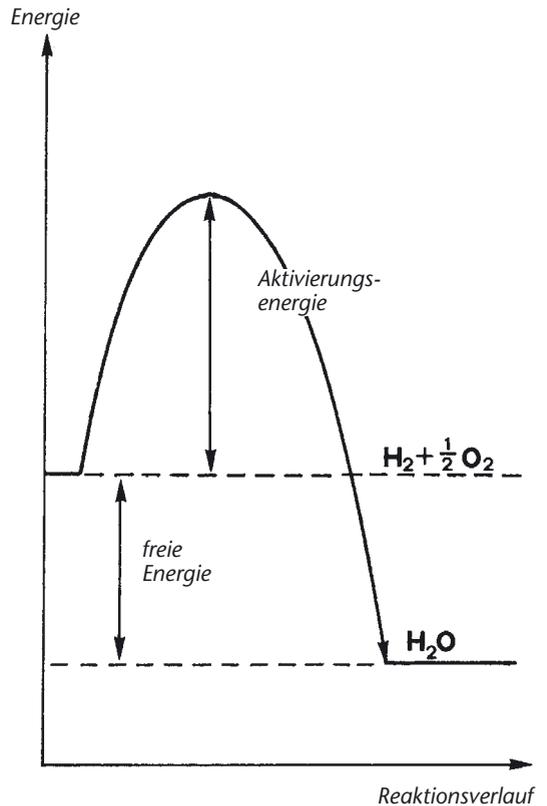


Abb. 1  
Energieverhältnisse bei der Knallgas-Reaktion

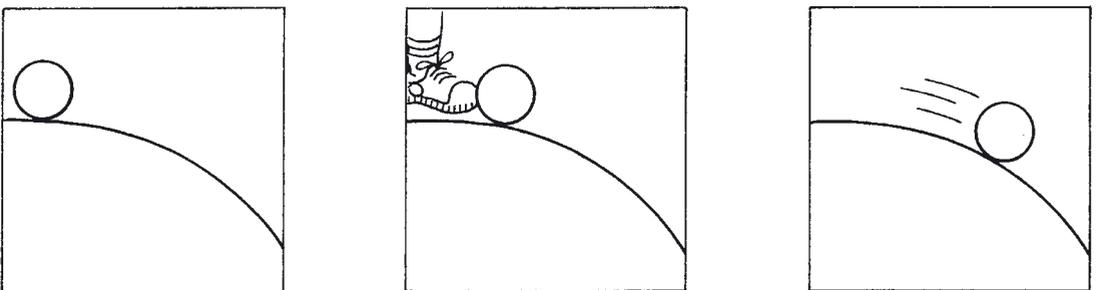


Abb. 2  
Mechanisches Beispiel zur Erläuterung der Aktivierungsenergie

In einer **lebenden Zelle** ist die Überwindung der Reaktionsträgheit durch Wärmezufuhr normalerweise nicht möglich. Zum Beispiel herrscht in unserem Organismus eine

konstante Binnentemperatur von  $37^\circ C$ , bei der alle Stoffwechselreaktionen ablaufen. Das Problem muss also anders gelöst sein.

## Abbauende Stoffwechselprozesse

Der Trick, dessen sich die Natur seit vier Milliarden Jahren bedient, kann als genial bezeichnet werden. In allen Lebewesen wird die Reaktionsträgheit durch **Enzyme** überwunden.

Enzyme sind **Proteine** einer ganz bestimmten Bauart, die als biologische **Katalysatoren\*** wirken. Sie sind in der Lage, **chemische Reaktionen zu beschleunigen** (und damit in unserer Zeitperspektive in Gang zu setzen), indem sie die **Aktivierungsenergie herabsetzen**. Dabei wirken sie durch ihre bloße Anwesenheit. Sie werden nicht verändert und verbrauchen sich dabei auch nicht.

Wir ziehen zur Verdeutlichung noch einmal die **Knallgas-Reaktion** heran.

Wir hatten festgestellt, dass die Ausgangsstoffe  $H_2$  und  $O_2$  nur miteinander reagieren, wenn dem Reaktionsgemisch genügend Aktivierungsenergie zugesetzt wurde. Lässt man das Gemisch jedoch bei Zimmertemperatur über **Platin** strömen, kommt die Reaktion ebenfalls in Gang.

Platin ist ein technischer Katalysator, der z.B. in Auspuffanlagen von Autos verwendet wird. Dieses Edelmetall setzt die Energieschwelle, die normalerweise die Reaktion verhindert, so weit herab, dass die **Zimmertemperatur** ausreicht, um die Moleküle zur Reaktion zu bringen.

Wir wollen für die weiteren Überlegungen noch eine andere Reaktion heranziehen, die durch Platin katalysiert wird: die **Zerlegung von Wasserstoffperoxid** ( $H_2O_2$ ) in Wasser und Sauerstoff.

Wasserstoffperoxid entsteht immer in kleinen Mengen bei Oxidationsprozessen in wässriger Umgebung, also auch in unserem Körper. Hier sorgt allerdings ein Enzym, die **Katalase**, für eine schnelle Zerlegung in Wasser und Sauerstoff. Auch in diesem Fall wird die Energieschwelle so weit herabgesetzt, dass die **Körpertemperatur** ausreicht, um die Reaktion ablaufen zu lassen.

In welchem Umfang die noch aufzuwendende Aktivierungsenergie durch Katalysatoren herabgesetzt wird, veranschaulicht das folgende Diagramm (**Abb. 3**):

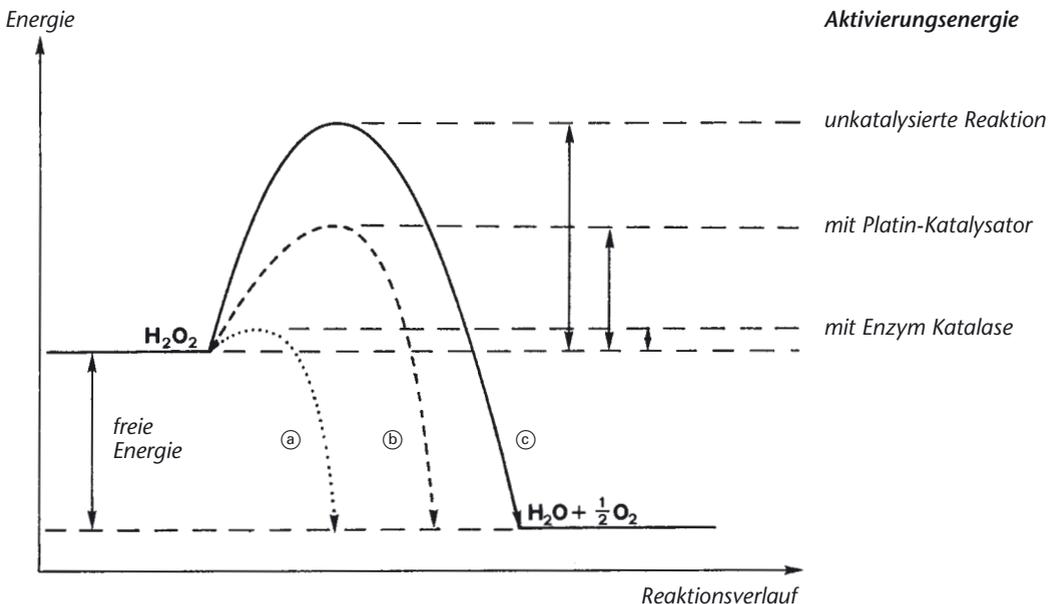


Abb. 3  
Energieverhältnisse bei der Zerlegung von Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff ① ohne Katalysator, ② mit Platin als Katalysator und ③ mit Katalase als Enzym

Enzyme sind, stofflich betrachtet, wie alle anderen Proteine nichts anderes als **Kettenmoleküle aus Aminosäuren**, die zu einer jeweils charakteristischen und einzigartigen Raumstruktur (**Konformation\***) gefaltet sind. Welche Raumstruktur jeweils realisiert ist, wird einzig und allein von der Reihenfolge der Aminosäuren in der Kette, also von der Aminosäuresequenz bestimmt (vgl. dazu *mentor Abiturhilfe Zellbiologie*).

Die Raumstruktur von Enzymen zeigt allerdings eine Besonderheit, die für ihre katalytische Wirksamkeit von entscheidender

Bedeutung ist: Teile der Aminosäurenkette bilden eine **muldenartige Vertiefung**, in die die Substanz, die reagieren soll, hineinpasst wie ein **Schlüssel** in sein **Schloss**. Die **passende Substanz** wird als **Substrat** bezeichnet, die muldenartige Vertiefung als **aktives Zentrum** (Abb. 4). Die Bezeichnung soll deutlich machen, dass nur diese Stelle an dem viel größeren Enzym die katalytische Wirkung entfalten kann.

Eine ungefähre Vorstellung von den tatsächlichen räumlichen Verhältnissen gibt die folgende Abbildung:

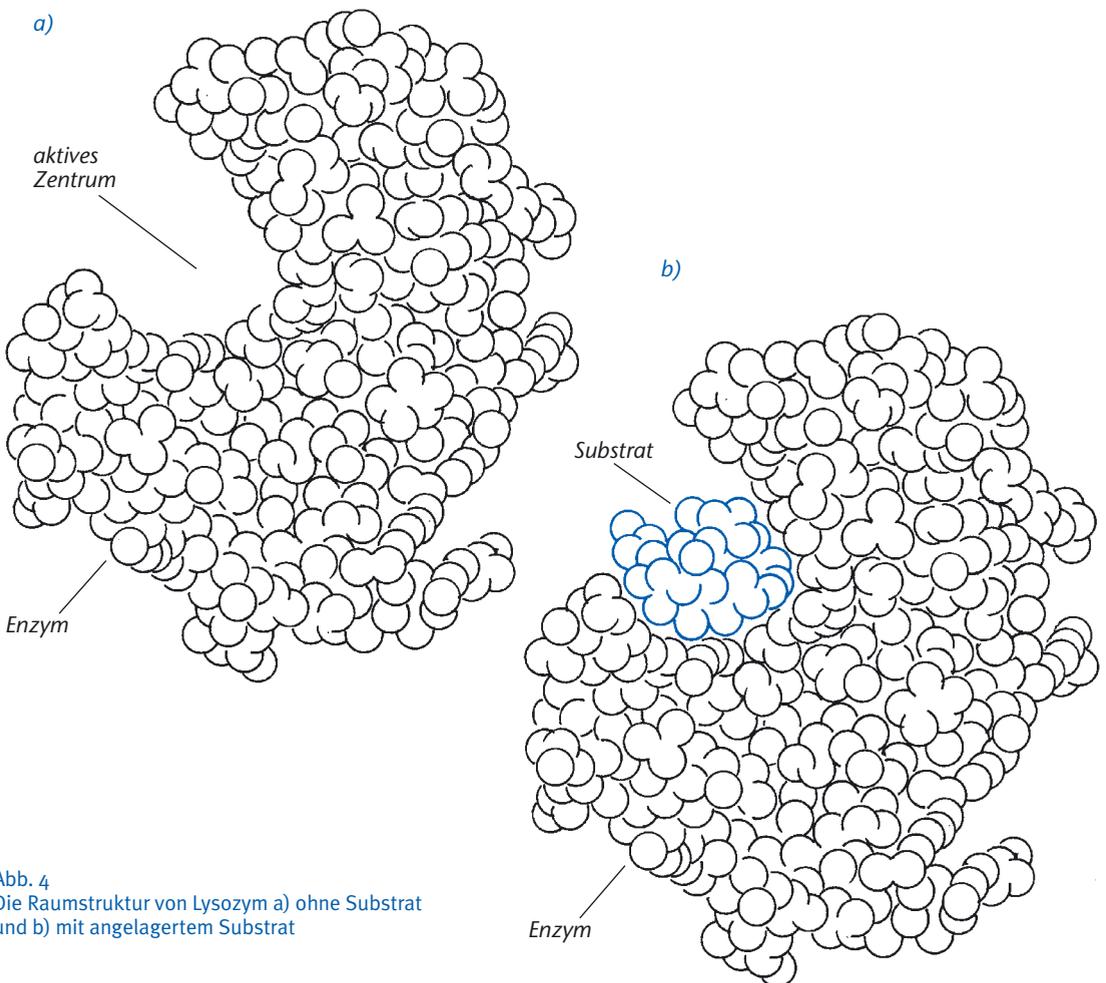


Abb. 4  
Die Raumstruktur von Lysozym a) ohne Substrat und b) mit angelagertem Substrat

Alle enzymatisch katalysierten Reaktionen laufen nach einem einheitlichen Grundschemata ab. Wir wollen die **einzelnen Phasen** die-

ses Ablaufs an einer stark vereinfachten Darstellung erläutern (vgl. Abb. 5):

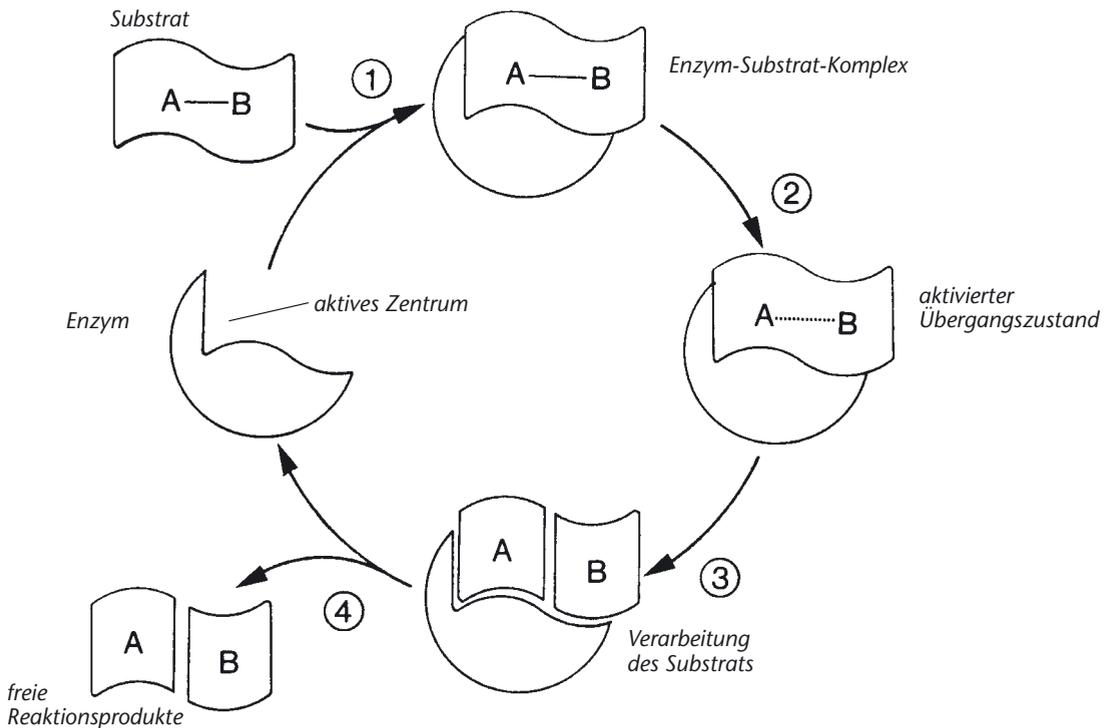


Abb. 5  
Phasen einer enzymatisch katalysierten Reaktion; Erläuterungen im Text

- ① Zunächst muss sich das Substrat (die Substanz, die reagieren soll) an das aktive Zentrum des Enzymmoleküls anlagern, sodass ein Enzym-Substrat-Komplex entsteht.
- ② Von diesem Augenblick an befindet sich das Substrat in einem Zustand, der seiner größten naturgesetzlich überhaupt möglichen Reaktionsbereitschaft entspricht: dem aktivierten Übergangszustand.
- ③ Schon Bruchteile von hunderttausendstel Sekunden später hat die chemische Reaktion stattgefunden. Dabei hat sich das Substratmolekül so verändert, dass es nicht mehr ins aktive Zentrum des Enzymmoleküls passt.
- ④ Es löst sich demzufolge ab. Das Enzymmolekül indes ist völlig unverändert und steht deshalb sofort wieder für die nächste Reaktion zur Verfügung.

Auf diese Weise kann ein einziges Enzymmolekül pro Minute zwischen tausend und mehreren Millionen Substratmoleküle umsetzen.

## 2.2 Die Spezifität der Enzyme

Wir haben schon erläutert, dass **Substrat und Enzym** zueinander passen müssen wie **Schlüssel und Schloss**, damit eine Reaktion stattfinden kann. Daraus folgt notwendigerweise, dass ein bestimmtes Enzym nur an einem ganz bestimmten Substrat eine Reaktion zu katalysieren vermag.

So kann das Enzym, das **Maltose** in zwei Moleküle Glukose zerlegt, nur diese Reaktion katalysieren, keine andere. Das aktive Zentrum ist so gestaltet, dass nur das Substrat – in diesem Fall Maltose – hineinpasst und chemisch verändert werden kann.

Wie Abbildung 6 deutlich macht, geht diese Spezifität für ein bestimmtes Substrat so weit, dass in unserem Beispiel selbst die ähnlich gebaute Cellobiose nicht zerlegt

wird. Der geringfügige Unterschied in der Anordnung der Glukosemoleküle verhindert die Anlagerung an das aktive Zentrum.

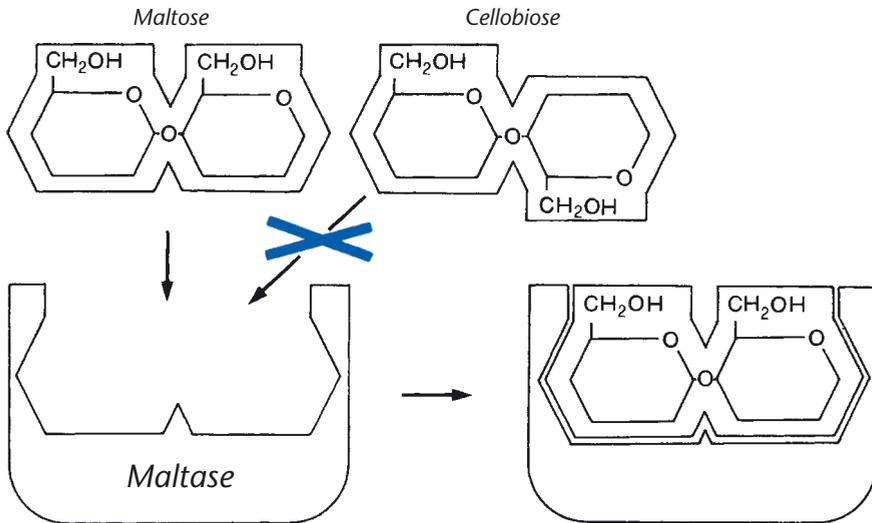


Abb. 6 Schematische Darstellung der Substratspezifität von Enzymen am Beispiel Maltase



Enzyme arbeiten substratspezifisch.

Die Spezifität geht aber noch weiter. Von den verschiedenen **möglichen Reaktionen**, in die eine Substanz verwickelt werden kann, katalysiert ein Enzym an seinem Substrat immer nur **eine ganz bestimmte**.

Wir wollen zur Veranschaulichung dieses Sachverhalts zwei **Beispiele** aus dem **anaeroben Glukoseabbau** heranziehen, die in einem späteren Kapitel noch ausführlicher erläutert werden (vgl. Kap. A.5).

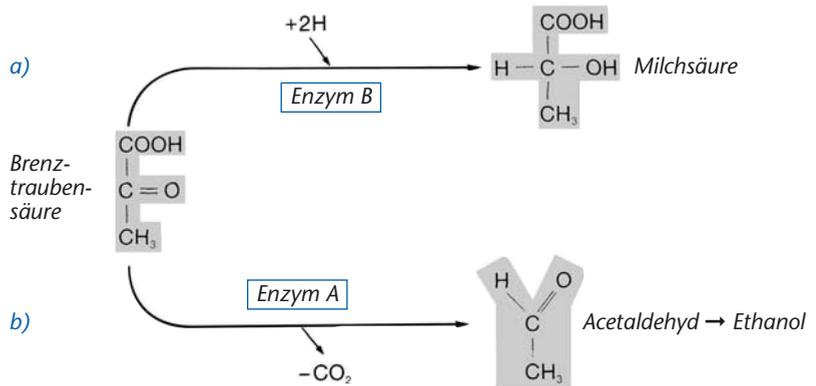
Mikroorganismen verwerten die **Brenztraubensäure**, die beim Glukoseabbau entsteht, recht unterschiedlich. In **Hefezellen** wird sie zuerst zu Acetaldehyd decarboxyliert (d.h.  $\text{CO}_2$  wird abgespalten) und anschließend zu Alkohol (genauer: Ethanol) reduziert\*.

**Milchsäurebakterien** dagegen reduzieren die Brenztraubensäure unmittelbar, d.h., sie lagern zwei Wasserstoffatome an. Dabei entsteht Milchsäure.

An ein und demselben Substrat werden also zwei völlig unterschiedliche Reaktionen katalysiert.

Dies ist nur möglich, weil auch zwei völlig **verschiedene Enzyme** vorhanden sind. Die  $\text{CO}_2$ -Abtrennung in den Hefezellen wird von einem Enzym A katalysiert, während die Wasserstoffanlagerung in den Milchsäurebakterien durch ein Enzym B in Gang kommt. Beide Enzyme bevorzugen zwar das gleiche Substrat, entfalten aber eine höchst unterschiedliche Wirkung (vgl. Abb. 7):

Abb. 7  
Schematische Darstellung der Wirkungsspezifität von Enzymen am Beispiel der Vergärung von Brenztraubensäure  
a) zu Milchsäure und  
b) zu Ethanol



Enzyme arbeiten wirkungsspezifisch.

Die Substratspezifität eines Enzyms resultiert aus der **räumlichen Struktur**, die Wirkungsspezifität resultiert aus der **chemischen Zusammensetzung** des aktiven Zentrums.

Sie sind bei jeder Enzymsorte anders, abhängig von der Aminosäuresequenz des Moleküls. Letztlich entscheidet also die bloße **Reihenfolge der Aminosäuren** darüber, an welchem **Substrat** ein Enzym **welche chemische Veränderung** bewirkt.

In letzter Konsequenz bedeutet dieser Zusammenhang, dass in einem Enzymmolekül die Information darüber, an welcher Stelle und in welcher Weise es in den Stoffwechsel einer Zelle eingreift, in Form seiner Aminosäuresequenz gespeichert ist.

Die Spezifität der Enzyme drückt sich auch in ihrer **Namensgebung** aus.

Die meisten Enzyme werden nach den **Substraten** benannt, deren Umsetzung sie katalysieren. Dazu wird den Substratnamen die Endung **-ase** angehängt. So heißt beispielsweise das Maltose spaltende Enzym Maltase.

Auf diese Weise erscheint aber nur das Substrat im Namen. Bei vielen Enzymen wird

auch die **Art der chemischen Reaktion** benannt. So entzieht die **Alkoholdehydrogenase**, wie der Name sagt, dem Stoff, der Getränken eine berauschende Wirkung verleiht, nämlich dem Ethanol, Wasserstoffatome und verwandelt ihn in Acetaldehyd.

### 2.3 Die Abhängigkeit der Enzymaktivität von verschiedenen Faktoren

Die Aktivität eines Enzyms zeigt sich in der Stoffmenge, die von ihm in einer bestimmten Zeit umgesetzt wird. Der Stoffumsatz pro Zeit ist als Reaktionsgeschwindigkeit definiert; sie ist ein geeignetes Maß für die Enzymaktivität.

Bei einer bestimmten Enzymkonzentration hängt die Reaktionsgeschwindigkeit von verschiedenen Faktoren ab. Die wichtigsten – Temperatur, Mineralstoffe und Spurenelemente, pH-Wert, Substratkonzentration, Hemmstoffe sowie Koenzyme – wollen wir im Folgenden näher erläutern.

**Aufgabe**

- A01** In den beiden folgenden Abbildungen sind die spezifischen Eigenschaften der Wirkungsweise von Enzymen dargestellt. Begründen Sie, um welche Eigenschaft es sich jeweils handelt.

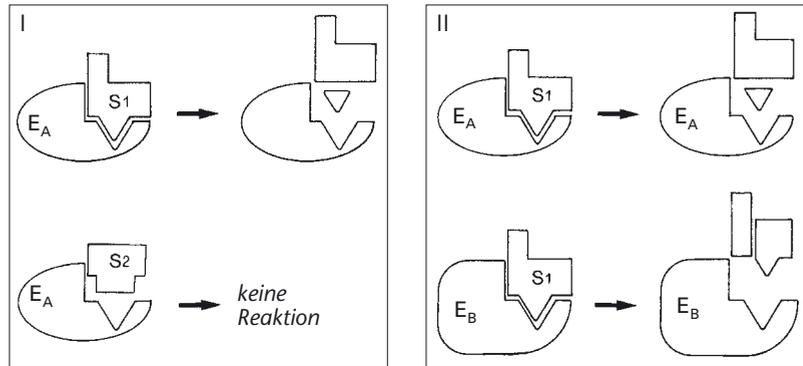


Abb. 8  
Schematische Darstellung der spezifischen Eigenschaften der Wirkungsweise von Enzymen; (S1 = Substrat 1, S2 = Substrat 2; E<sub>A</sub> = Enzym A, E<sub>B</sub> = Enzym B)

### 2.3.1 Abhängigkeit von der Temperatur

Wir haben schon erwähnt, dass chemische Reaktionen durch Temperaturerhöhung beschleunigt werden. Diese **Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel** gilt auch für enzymatisch katalysierte Reaktionen, allerdings nur begrenzt.

In welcher Weise enzymatisch katalysierte Reaktionen von der Temperatur beeinflusst werden, ist in Abbildung 9 dargestellt.

- ① Mit steigender Temperatur erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit, weil durch die Beschleunigung der Moleküle die Trefferwahrscheinlichkeit erhöht wird und deshalb mehr Enzym-Substrat-Komplexe pro Zeit gebildet werden (RGT-Regel).
- ② Ab einer bestimmten Temperatur lässt die katalytische Wirksamkeit des Enzyms allerdings erheblich nach, weil es durch die Hitze **denaturiert\*** wird, d.h., seine Raumstruktur wird zerstört – es gerinnt (Enzyme sind Proteine!).
- ③ Aus der Überlagerung dieser beiden Effekte ergibt sich ein **Temperaturoptimum**,

das für die Enzyme jedes Organismus bei einem charakteristischen Wert liegt (z.B. für unseren Organismus bei 37°C).

Bei den warmblütigen Organismen liegt das **Temperaturoptimum** ihrer Enzyme meist im Bereich der **Körpertemperatur**. Es gibt allerdings auch Bakterienarten, die sogenannten Archaeobakterien, die in heißen Schwefelquellen leben. Sie wachsen sogar noch bei 90°C. Wie ihre Enzyme bei diesen hohen Temperaturen funktionsfähig bleiben, ist noch unbekannt.

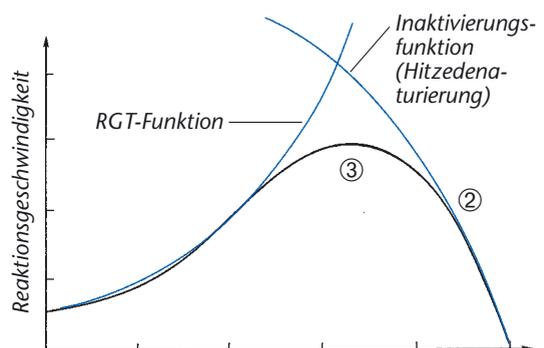


Abb. 9  
Temperaturabhängigkeit der Enzymaktivität, dargestellt als Resultierende aus zwei gegenläufigen Funktionen

# Lösungen

## Teil A

In der linken Abbildung ist die **Substratspezifität** dargestellt. Das Enzym A kann nur mit seinem Substrat ( $S_1$ ) einen Enzym-Substrat-Komplex bilden, weil beide wie Schlüssel und Schloss zueinander passen; die Reaktion findet statt. In der rechten Abbildung ist die **Wirkungsspezifität** dargestellt. Enzym A kann das Substrat  $S_1$  nur auf eine ganz bestimmte Weise spalten. Enzym B spaltet das gleiche Substrat in zwei andere Teile.

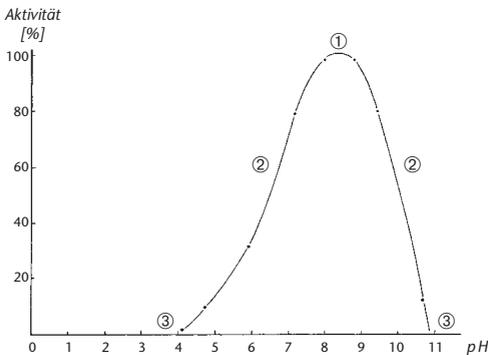
**A01** Seite 13

Die niedrigen Temperaturen im Kühlschrank senken die Aktivität der Enzyme in den Lebensmitteln selbst und in den Bakterien und Pilzen, die auf ihnen wachsen.

**A02** Seite 16

Die richtige Kurve sieht so aus:

**A03** Seite 16



- a) Bei einem pH-Wert von 1–2 wird normalerweise die Raumstruktur von Enzymen irreversibel verändert; sie gerinnen. Mit geronnenen Enzymen sind selbst Bakterien nicht mehr lebensfähig.
- b) Pepsin muss auf irgendeine Art und Weise diesem Gerinnungsprozess entgehen und sollte zugleich bei diesem pH-Wert sein Aktivitätsoptimum haben.

**A04** Seite 17

- a) Enzym B muss bei einer geringeren Glukose-Konzentration als Enzym A mit halbmaximaler Geschwindigkeit arbeiten (niedrigerer  $K_M$ -Wert).
- b) Die Kurve für Enzym B kann so aussehen:

**A05** Seite 19

