

Übergänge gestalten

Umgang mit Heterogenität in den Eingangsklassen
der Berufskollegs und Beruflichen Gymnasien

Agrarwissenschaftliches Gymnasium (AG)

Fach Agrarbiologie

Thema: Enzyme

Redaktionelle Bearbeitung

Redaktion:

OStR'in Annabelle Mangold

Autor:

StD Günter Denninger
OStR Benjamin Gökeler
OStR Klaus Steinleitner

Stand: März 2018

1	Einführung.....	1
2	Diagnose	2
2.1	Wiederholungstest Proteine	2
2.1.1	Aufgaben	3
2.1.2	Lösungen	5
2.2	Eingangstest Enzyme	7
2.2.1	Aufgaben	8
2.2.2	Lösungen	10
2.3	Kompetenzen/Ich-kann-Liste	11
2.3.1	Kompetenzen	11
2.3.2	Ich-kann-Liste	12
3	Unterrichtsarrangement	13
3.1	Unterrichtseinheit 1: Einstieg, biokatalytische Reaktion	13
3.1.1	Stundenverlauf (2 h)	13
3.1.2	Tafelanschrieb	17
3.1.3	Folien und Arbeitsblätter	18
3.1.4	Lösung Arbeitsblatt	20
3.2	Unterrichtseinheit 2: Enzymwirkung	21
3.2.1	Stundenverlauf (3 h)	21
3.2.2	Tafelanschrieb	22
3.2.1	Folien und Arbeitsblätter	23
3.2.2	Lösung Arbeitsblätter	27
3.3	Unterrichtseinheit 3: Forschungsprojekt	30
3.3.1	Stundenverlauf (2 x 2 h)	30
3.3.2	Folien und Arbeitsblätter	32
3.3.3	Lösung Arbeitsblätter	42
4	Übungsphase und Feedback.....	44
4.1	Feedbackgruppe	44
4.2	Niveaudifferenzierte Aufgaben	46
4.2.1	Enzyme als Biokatalysatoren	46
4.2.2	Modellvorstellung zur Wirkungsweise von Enzymen	49
4.2.3	Einflussfaktoren auf die Enzymaktivität	54
4.3	Lösungen	58
4.3.1	Enzyme als Biokatalysatoren	58
4.3.2	Modellvorstellung zur Wirkungsweise von Enzymen	59
4.3.3	Einflussfaktoren auf die Enzymaktivität	61
4.4	Feedbackbogen: Präsentation von Arbeitsergebnissen	63
5	Lernreflexion	65
5.1	Klassenarbeit	65
5.2	Klassenarbeit – Lösungen	68
5.3	Selbsteinschätzung: Vor und nach der Klassenarbeit	69
6	Schlussfeedback	70

1 Einführung

Die zuführenden Schulen des beruflichen Gymnasiums sind unter anderem Realschulen, Gemeinschaftsschulen, Berufsfachschulen sowie allgemein bildende Gymnasien. Dementsprechend heterogen sind die Vorkenntnisse in den einzelnen Fächern. Mit der Handreichung sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie der Übergang im Fach „Agrarbiologie“ des agrarwissenschaftlichen Gymnasiums (AG) gestaltet werden kann.

Im Folgenden finden sich hierfür Maßnahmen wie Diagnoseverfahren, Feedbackgestaltung, individuelle Förderung oder Gestaltung eines kompetenzfördernden Lernarrangements. Diese Maßnahmen sollen einen gelingenden Übergang in berufliche Vollzeitschulen unterstützen sowie die Schülerinnen und Schüler in ihren fachlichen und überfachlichen Kompetenzen stärken.

2 Diagnose

Nach dem vorliegenden methodisch-didaktischen Konzept sollen mittels pädagogischer Diagnose die Lernvoraussetzungen, der Lernstand und der Lernfortschritt festgestellt werden.

Aus den Ergebnissen der Diagnose können dann lerngruppenspezifische Folgerungen für den weiteren Unterrichtverlauf abgeleitet werden. Zeigen sich z. B. beim Wiederholungstest Schwächen bei einzelnen Lernenden oder bei der ganzen Lerngruppe, müssen entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden. Hat die gesamte Klasse Defizite, empfiehlt sich eine Wiederholungsstunde, sind nur einzelne Schülerinnen und Schüler betroffen kann ein Hinweis auf die individuelle, eigenverantwortliche Wiederholung der Thematik genügen.

Im Rahmen der erprobten Unterrichtseinheit „Enzyme“ können, wie im Folgenden beschrieben, ein Wiederholungstest, ein Eingangstest sowie eine Ich-kann-Liste als Diagnoseinstrumente eingesetzt werden.

2.1 Wiederholungstest Proteine

Mit dem Wiederholungstest kann sichergestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler die unabdingbaren Grundvoraussetzungen für das Verständnis der Wirkungsweise von Enzymen mitbringen. Dadurch können die unterschiedlichen Lernstände aus den vorgelagerten Schulen leichter angeglichen werden.

Die Auswertung des Testergebnisses kann durch die Lehrkraft erfolgen (auch benotetet) oder durch die Lernenden wechselseitig anhand der von der Lehrkraft vorgegebenen Lösung.

2.1.1 Aufgaben

1	Zeichnen Sie die allgemeine Formel einer Aminosäure und beschriften Sie die funktionellen Gruppen.	2
2	Zeichnen Sie die Strukturformel für das Tripeptid mit der Aminosäure-Reihenfolge Glycin – Leucin – Alanin. (siehe Abbildung 1) Kennzeichnen Sie die Peptidbindungen.	3
3	Erläutern Sie mit wenigen Worten die Eiweißstrukturen: Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur.	4
4	Nennen Sie die Bindungsarten, die sich zur Stabilisierung von Tertiärstrukturen zwischen Aminosäure-Resten ausbilden können. Ordnen Sie die Bindungsarten entsprechend der Bindungsstärke.	2
5	Zeichnen Sie in Abbildung 2 ein, an welchen Stellen solche Bindungskräfte zwischen den Aminosäuren mit weiß und schwarz unterlegten Nummern auftreten können. Benennen Sie die jeweilige Bindungsart.	4
6	Was versteht man unter der Denaturierung eines Proteins?	1
7	Beschreiben Sie die molekularen Mechanismen, die zur Denaturierung bei hohen Temperaturen bzw. extremen pH-Werten führen (Abbildung 3).	3
<p>Abbildung 1: Strukturformeln Aminosäuren</p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Glycin</p> $\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ </div> <div style="text-align: center;"> <p>Glutaminsäure</p> $\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} \end{array}$ </div> <div style="text-align: center;"> <p>Leucin</p> $\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ </div> <div style="text-align: center;"> <p>Cystein</p> $\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_2-\text{SH} \end{array}$ </div> <div style="text-align: center;"> <p>Alanin</p> $\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ </div> </div>		

Abbildung 2

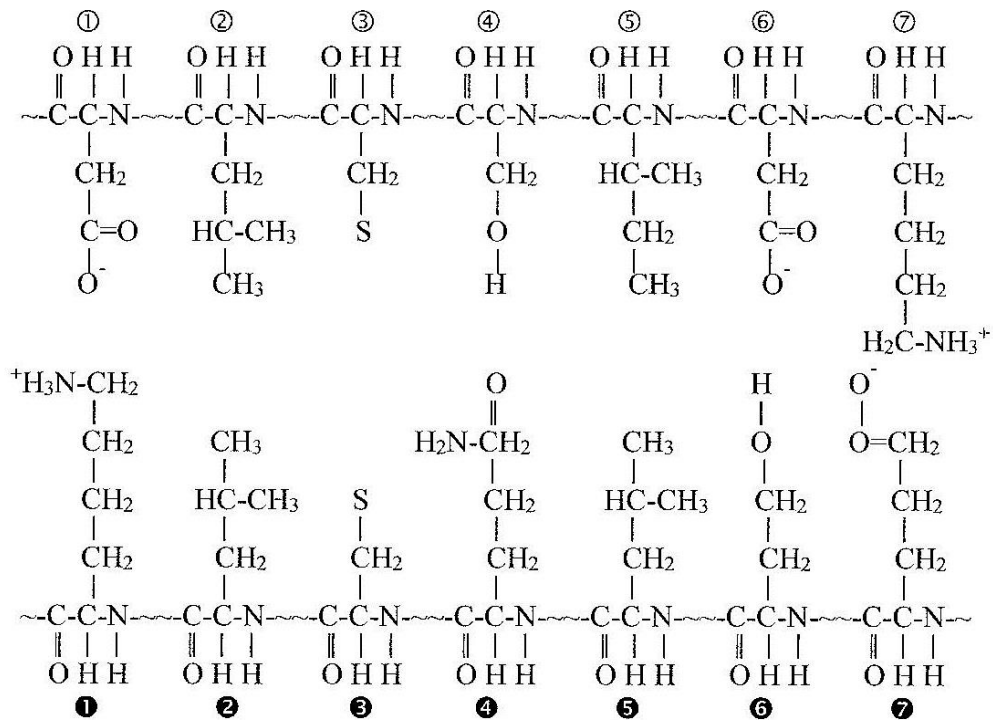
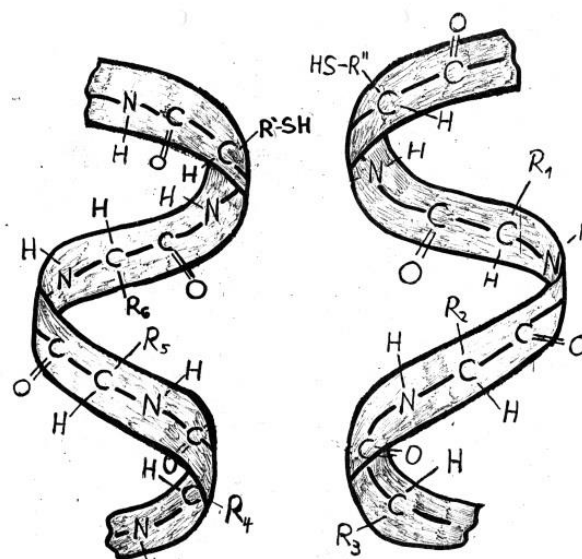
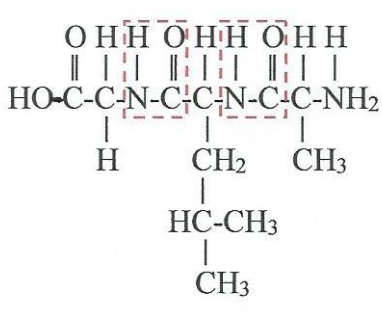
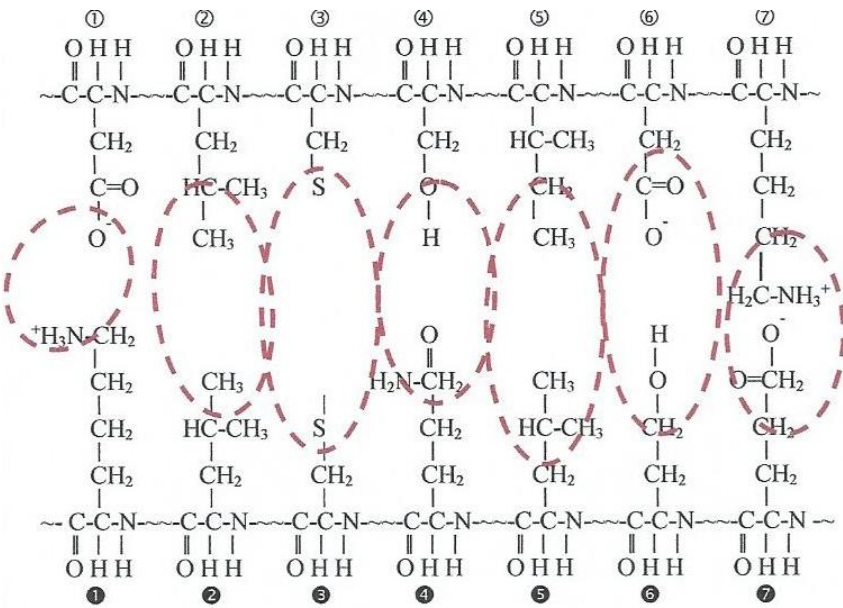
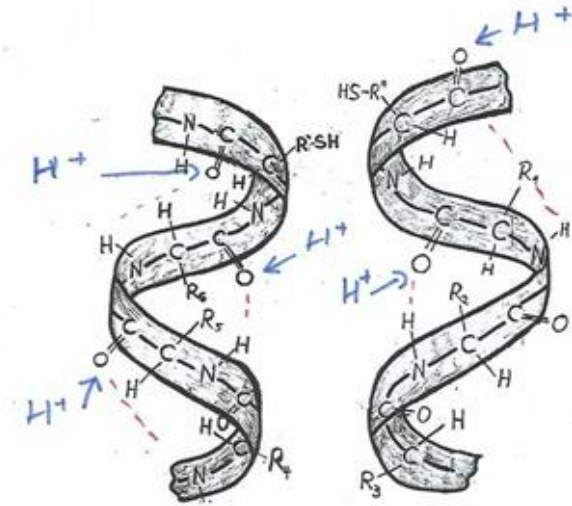


Abbildung 3



2.1.2 Lösungen

1	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{R} \end{array}$	2
2		3
3	<p>Primärstruktur: Aminosäuresequenz</p> <p>Sekundärstruktur: Es bilden sich an den gleichen oder an einer anderen Peptidkette H-Brückenbindungen durch regelmäßige Abfolge von positiven und negativen Ladungsschwerpunkten aus. Dabei bleiben die Aminosäure-Restgruppen unberücksichtigt.</p> <p>Tertiärstruktur: Die Raumstruktur von Polypeptiden und Proteinen wird durch Sekundärstrukturen und Bindungen, die die Aminosäure-Restgruppen innerhalb der Peptidkette ausbilden, bestimmt.</p> <p>Quartärstruktur: Große Proteinkomplexe bestehen aus mehreren Proteinuntereinheiten (Domänen), die wiederum untereinander in einer bestimmten räumlichen Anordnung verknüpft sind. Diese räumliche Anordnung der Domänen in einem großen Proteinkomplex nennt man Quartärstruktur.</p>	4
4	<p>Disulfidbrücken</p> <p>Ionenbindungen</p> <p>H-Brückenbindungen</p> <p>Van-der-Waals-Kräfte = hydrophobe Wechselwirkungen</p>	2

5	 <p>Bindungsarten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ①-①: Ionenbindung ②-②: hydrophobe Wechselwirkung ③-③: Disulfidbrücke ④-④: H-Brückenbindung ⑤-⑤: hydrophobe Wechselwirkung ⑥-⑥: H-Brückenbindung ⑦-⑦: Ionenbindung 	4
6	<p>Dies ist die Zerstörung der Raumstruktur eines Proteins.</p> <p>Bei hohen Temperaturen wird die Teilchenbewegung (Brown'sche Molekularbewegung) so stark, dass die schwachen H-Brückenbindungen, die die Raumstruktur stabilisieren, aufbrechen und somit die Raumstruktur des Proteins zerstört wird. Bei extremen pH-Werten gehen H^+- bzw. OH^--Ionen Bindungen mit Ladungsschwerpunkten im Protein ein. Dabei werden auch Bindungen, die die Raumstruktur stabilisieren, geschwächt oder aufgelöst, wodurch sich die Raumstruktur verändert.</p>	1
		3

2.2 Eingangstest Enzyme

Mit dem Eingangstest sollen die Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler ermittelt werden.

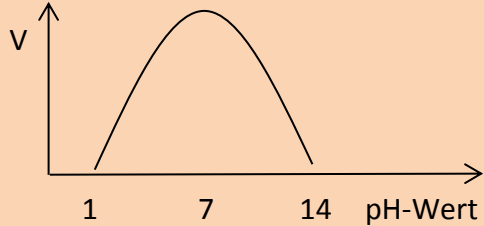
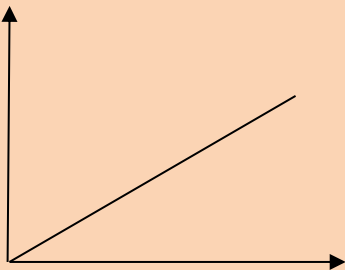
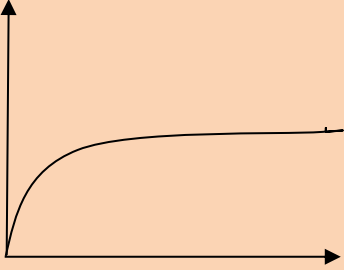
1. **Gelb** ist der thematische Bereich **Enzyme als Biokatalysatoren**.
2. **Grün** ist der thematische Bereich **Wirkungsweise von Enzymen**.
3. **Braun** ist der thematische Bereich **Einflussfaktoren auf die Enzymaktivität**.

Diese Farbmarkierungen finden sich bei der Ich-kann-Liste, den Übungsaufgaben sowie der Klassenarbeit wieder. Sie soll den Schülerinnen und Schülern die inhaltliche Orientierung erleichtern.

Außerdem soll durch die Angabe der Niveaustufen das Selbsteinschätzungsvermögen der Lernenden verbessert werden.

2.2.1 Aufgaben

		Niveau	Punkte
1.1	Nennen Sie die Funktion von Enzymen (= Biokatalysatoren).	I	1
1.2	Stellen Sie die Wirkungsweise von Enzymen schematisch/modellhaft dar. <i>Oder:</i> Erläutern Sie die Wirkungsweise von Enzymen anhand der Abbildung.	I	4 2
	<p>Quelle: Schroedel © Bildungshaus Schulbuchverlage GmbH, Braunschweig</p>		
2.1	Beschreiben Sie den Unterschied zwischen einer enzymkatalysierten und einer nicht enzymkatalysierten Reaktion.	I	2
2.2	Erklären Sie die in 2.1 beschriebenen Unterschiede.	II	2
3	Chymotrypsinogen wird in der Bauchspeicheldrüse gebildet und in den Dünndarm abgegeben. Dort wird es zu Chymotrypsin (durch Spaltung einer einzigen Peptidbindung im Molekül!). Das so aktivierte Enzym Chymotrypsin spaltet als Verdauungsenzym Polypeptidketten (Eiweiße).		
3.1	Geben Sie eine mögliche Erklärung, warum die Aktivierung erst im Dünndarm erfolgt.	II	1
3.2	Erklären Sie, weshalb das Enzym erst nach Spaltung einer einzigen Peptidbindung im Chymotrypsinogen-Molekül wirksam wird.	II	2
4	Entwickeln Sie eine Vermutung/Hypothese, warum Harnstoff $\text{O}=\text{C}(\text{NH}_2)_2$, nicht aber Thioharnstoff $\text{S}=\text{C}(\text{NH}_2)_2$, durch Urease gespalten werden kann.	II	2

5.1	<p>Die Grafik zeigt die Enzymaktivität (y-Achse) in Abhängigkeit vom pH-Wert (x-Achse).</p>  <p>Erklären Sie den Kurvenverlauf.</p>	II	3
5.2	Nennen Sie 2 (weitere) Faktoren, die sich auf die Wirkgeschwindigkeit der enzymkatalysierten Reaktion auswirken.	I	2
5.3	Entwickeln Sie einen Versuchsplan, mit dem Sie den Einfluss eines der in 5.2 genannten Faktoren untersuchen könnten.	III	2
6.1	<p>Begründen Sie, welches der beiden Diagramme die Beziehung zwischen der Reaktionsgeschwindigkeit (y-Achse) und der Substratkonzentration (x-Achse) darstellt.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	II/III	2
6.2	Beschreiben/Entwickeln Sie ein Experiment, mit dem man die beschriebene Beziehung nachweisen kann.	III	3

2.2.2 Lösungen

1.1	Enzyme setzen die Aktivierungsenergie herab und beschleunigen damit biochemische Reaktionen.	1
1.2	$E + S \rightarrow E\text{-S-Komplex} \rightarrow E + P$	2
2.1	Für eine nicht enzymkatalysierte biochemische Reaktion muss ein relativ hoher Energiebetrag (z. B. Wärme) eingesetzt werden. Enzyme dagegen können die Aktivierungsenergie deutlich herabsetzen.	2
2.2	Enzyme können durch ihre intermolekularen Wechselwirkungen die Aktivierungsenergie ohne zusätzliche Energiezufuhr deutlich herabsetzen und damit physiologische Reaktionen bei Körpertemperatur ermöglichen/beschleunigen.	2
3.1	Damit andernorts keine Peptide zerlegt/zerstört werden.	1
3.2	Kleine Veränderungen am Molekül verändern die Struktur, sodass reaktive Wechselwirkungen nur noch sehr eingeschränkt möglich sind.	2
4	Substratspezifität: Aufgrund des chemischen Unterschieds (S an Stelle von O) „passt“ das Substrat nicht mehr an die Enzymbindungsstelle \rightarrow keine Reaktion.	2
5.1	pH tief: Strukturveränderungen durch hohe H_3O^+ -Konzentration verhindert die Bindung des Substrats ans Enzym. pH 7: Optimum: Optimale Substratbindung/-wechselwirkung \rightarrow hohe Reaktionsgeschwindigkeit pH hoch: Strukturveränderungen durch hohe OH^- -Konzentration verhindert die Bindung des Substrats ans Enzym.	
5.2	Temperatur, pH-Wert, Hemmstoffe, Enzymkonzentration, Substratkonzentration	1
5.3	Temperatur: Messung der Enzymaktivität in einer Versuchsreihe mit unterschiedlichen Temperaturen	2
6.1	B, weil nach einer gewissen Zeit alle Enzyme durch Substrate „abgesättigt“ sind (= Sättigungskurve).	3
6.2	Unter sonst gleichen Bedingungen werden verschiedenen Reagenzgläsern unterschiedliche Substratmengen zugegeben. Nach einer festgelegten Zeitspanne werden entweder die entstehenden Produkte bzw. Nebenprodukte oder die verbrauchte Substratmenge gemessen. Daraus lässt sich die Reaktionsgeschwindigkeit ableiten.	3

2.3 Kompetenzen/Ich-kann-Liste

2.3.1 Kompetenzen

Fach Agrarbiologie	Kompetenzbereich Enzymatik
<u>Kompetenzen (prozessorientiert):</u> <i>Erkenntnisgewinnung:</i> Ich kann Experimente (z. B. zur Enzymatik) planen, durchführen und auswerten. <i>Kommunikation:</i> Komplexe biologische Sachverhalte mithilfe von Schemata, Grafiken, Modellen oder Diagrammen anschaulich darstellen // adressatengerecht präsentieren // für die Arbeit im Team Verantwortung übernehmen, gemeinsam planen und reflektieren. (Quelle: Bildungspläne BW 2016_Bio_allg. Gymnasium)	
<u>Kompetenzen (inhaltorientiert):</u> LPH 5/2016 „Agrarbiologie“ vom 30. Juni 2016: „Sie stellen die Struktur von Aminosäuren und den Eiweißaufbau dar und begründen die Wirkungsweise von Enzymen und ihre Beeinflussbarkeit.“ Den Bau und die Eigenschaften eines Enzyms beschreiben und seine Wirkungsweise mit geeigneten Modellen erklären (Schlüssel-Schloss-Prinzip // Basiskonzept Struktur und Funktion). Experimente zur Untersuchung der Abhängigkeit der Enzymaktivität von verschiedenen Faktoren (z. B. Temperatur, pH-Wert, Substratkonzentration) planen, durchführen und auswerten.	
Was Sie schon können sollten: - Anhand einer Anleitung ein Experiment durchführen - Vorstrukturen (vgl. Lehrplan) <ul style="list-style-type: none"> - funktionelle Gruppen der AS - Einteilung der AS - Peptidbindung - Eiweißstrukturen 	Wofür Sie das benötigen: Experimente werden ausgeführt, um naturwissenschaftliche Fragen und Abläufe zu verstehen. Auch die Vorgänge bei der Biokatalyse wurden und werden durch Experimente verstanden. Die daraus gewonnenen, grundlegenden Erkenntnisse können dann auch für viele Stoffwechsel-Vorgänge genutzt werden.

2.3.2 Ich-kann-Liste

Die Liste kann genutzt werden

- zur Feststellung der Vorkenntnisse,
- zur Selbsteinschätzung des Lernstandes in verschiedenen Phasen des Unterrichtsarrangements (z. B. vor der Übungsphase, nach der Übungsphase, vor der Klassenarbeit).

	Was Sie hier lernen können:	--	-	+	++	Niveau
	Ich kann ...					
01	die Unterschiede zwischen nicht enzymkatalysierten und enzymkatalysierten Reaktionen anhand eines Diagramms beschreiben/darstellen.					I
02	die Notwendigkeit der Aktivierungsenergie bei chemischen Reaktionen erklären.					I
03	die Unterschiede zwischen nicht enzymkatalysierten und enzymkatalysierten Reaktionen anhand eines Diagramms erklären.					I
04	den Bau und die Wirkungsweise von Enzymen (= Biokatalysatoren) schematisch (am Modell) erläutern/beschreiben.					I
05	den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion eines Enzyms erklären.					II
06	Hypothesen (Vermutungen) entwickeln, wie einzelne Faktoren die Biokatalyse beeinflussen.					I
07	Experimente zu Faktoren, die die Biokatalyse beeinflussen, durchführen und auswerten (beobachten und erklären) und die Ergebnisse präsentieren.					II
08	Einflussfaktoren auf enzymkatalysierte Reaktionen erklären.					II
09	die gewonnenen Erkenntnisse in anderen Zusammenhängen anwenden/auf andere Problemstellungen übertragen.					III

3 Unterrichtsarrangement

3.1 Unterrichtseinheit 1: Einstieg, biokatalytische Reaktion

3.1.1 Stundenverlauf (2 h)

- Inhalt des Unterrichts:**
- I. **Enzyme = Biokatalysatoren (Demo-Versuche)**
 - II. **Eigenschaften von Enzymen als Biokatalysatoren**

I. Enzyme = Biokatalysatoren (Demo-Versuche)

Impuls: Flasche Wasserstoffperoxid (H_2O_2)

H_2O_2 : Wasserklare, ätzende Flüssigkeit. H_2O_2 zerfällt leicht und wirkt als kräftiges Oxidationsmittel. Wegen seines leichten Zerfalls wird es in schwarzen Kunststoffbehältern aufbewahrt, da durch Licht der Zerfall beschleunigt wird. Der Zerfall würde an Sonnenlicht, je nach Menge, Tage bis Wochen gehen.

Woher kennen Sie das? Welche Eigenschaften von H_2O_2 kennen Sie denn?

→ vom Haare bleichen bekannt

... also ziemlich aggressiv!

Steht zu den Eigenschaften etwas auf der Flasche?

→ ätzend

Der Friseur schüttet das nicht einfach so auf die Haare, wie schützt er die Haut?

→ Schutzhaube

Jetzt muss ich Ihnen sagen: H_2O_2 entsteht auch dauernd im Körper als ein Nebenprodukt der Oxidation...

→ S: **Problem** für den Körper

H_2O_2 starkes Zellgift im Körper!

Welche Möglichkeiten hat der Körper, damit umzugehen? (an der Tafel festhalten)

→ Abbau, Verarbeitung

→ Ausscheidung (ätzende Stoffe müssten durch ganzen Körper transportiert werden → etwas muss an Ort und Stelle passieren)

→ Verpackung (wird tatsächlich gemacht, „Endlager“ reicht aber nicht aus)

Zelle muss das Gift abbauen...

Problem: *Diese Reaktion läuft nicht von alleine ab. Kennen Sie eine Möglichkeit, wie man eine chemische Reaktion anstoßen kann?*

→ Erhitzen

Eine Möglichkeit, wie man das H_2O_2 zerstören kann, wäre, indem man es über einem Bunsenbrenner erhitzt. Dabei wird es zersetzt.

Welcher chemische Hintergrund steckt denn dahinter?

→ Zuführen von Aktivierungsenergie

In unserem Körper ist es aber bei Weitem nicht warm genug dazu!!!

Impuls: „Wie schafft es unser Körper, bei der normalen Körpertemperatur ...?“

... Schülerreaktionen ...

→ Überschrift: Enzyme

Evtl. Hilfsfragen stellen:

Aus der Chemie kennen Sie bestimmt auch Stoffe, die Reaktionen anstoßen oder begünstigen können! Wie nennt man die ganz allgemein?

Warum nahm denn die Umweltbelastung in den letzten 15 Jahren teilweise sogar ab, obwohl immer mehr Autos auf den Straßen fahren?

→ Katalysatoren! (von griechisch *katalyein*: auslösen)

Welche Stoffe verwendet man denn in der Technik als Katalysator?

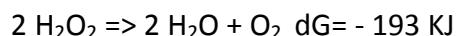
→ Platin

...machen wir ein paar kleine Versuche, um der Wirkungsweise von Enzymen auf die Spur zu kommen:

In unserem ersten Versuch verwenden wir Braunstein als Katalysator.

Versuch 1:

Erläuterung: Gibt man nun in ein Reagenzglas (RG) zu ein wenig H_2O_2 eine geringe Menge MnO_2 (Mangan (IV)oxid = Braunstein), kann man eine heftige Reaktion beobachten, bei der ein Gas freigesetzt wird. Die Spanprobe beweist, dass es **Sauerstoff** ist. Durch Verdampfen lässt sich das verwendete Braunstein wieder zurückgewinnen.



→ exotherm: Schülerinnen und Schüler am RG

fühlen lassen

→ Tafel: Anschrieb Teil 1 (vgl. 3.1.2)

Versuch 2:

Erläuterung: Gibt man nun auf eine Kartoffelscheibe oder ein Stück Leber ebenfalls etwas H_2O_2 , stellt man sofort **Gasbildung** fest. Der Verdacht liegt nahe, dass auch hier H_2O_2 in O_2 und H_2O zerlegt wird. Nur wer beschleunigt den Vorgang in Pflanzen- oder Tierzellen?

Offensichtlich besitzt unser Körper auch solche Stoffe, allerdings sind diese sogenannten Biokatalysatoren natürlich nicht die Stoffe, die im Auto eingesetzt werden. Sie sind noch VIEL wirksamer als technische Katalysatoren!

Forscher haben alle möglichen Stoffgruppen im Körper untersucht (Kohlenhydrate, Fette, Proteine,...) und herausgefunden, dass lediglich Proteine katalysierende Eigenschaften zeigen.

Diese Stoffe heißen Enzyme (griechisch: in der Hefe).

Warum „in der Hefe“? Was haben die alten Griechen mit Hefe gemacht?

→ Weinherstellung

→ Tafel: **Anschrieb Teil 2 (vgl. 3.1.2)**

evtl. Versuch 3

Erläuterung: Kocht man die Kartoffel und gibt dann nochmals H_2O_2 auf eine gekochte Kartoffelscheibe erfolgt keine Reaktion.

→ Das, was H_2O_2 zersetzt hat, ist durch die Wärmeeinwirkung **inaktiviert worden**.

II. Eigenschaften von Enzymen als Biokatalysatoren

Durch Erhitzen kann man eine Reaktion in Gang bringen.

→ *Beschreiben Sie den energetischen Reaktionsverlauf einer exothermen Reaktion!*

Schülerin/Schüler beschreibt, Lehrkraft zeichnet auf Folie ein.

AB/Fo: Eigenschaften von Enzymen als Biokatalysatoren

→ *Beschriften Sie bitte das Diagramm mit den entsprechenden Fachbegriffen.*
(Reaktionsweg-Zeit-Diagramm)

Beschriftung: **Reaktionsverlauf, Energie, AE, freigesetzte Energie, Ausgangsstoff/Edukt/Substrat, Endprodukt ...**

→ *An welcher Stelle könnte ein Enzym hier Einfluss nehmen?*

→ *Beschreiben Sie, wie dann die Kurve aussehen müsste.*

AB/Fo: Einzeichnen der Kurve mit Enzym

Ergänzung auf **AB/Fo:** **Enzyme sind Biokatalysatoren ...**

Falls noch Zeit: Enzyme als „Arbeiter“ in der Zellfabrik
(= Wdh. aus Cytologie)

*Die Zelle ist eine **Fabrik**,
die Zellorganellen sind die **Maschinen**
und die **Enzyme sind die Arbeiter**.*

*Jede ausgewachsene Zelle kann als eine Art Spezialfabrik angesehen werden, die spezielle Produkte herstellt. Die werden in den verschiedenen Abteilungen an speziellen Maschinen (**Zellorganellen**) hergestellt. Zwar hat jede Zelle eine gewisse Menge gleicher Stoffwechselprodukte, jedoch unterscheidet sich z. B. eine Leberzelle mit ihrem Stoffwechsel von einer Gehirnzelle aufgrund ihrer unterschiedlichen Funktion. Deshalb findet man auch in den Zellen teilweise gleiche **Enzyme**, teilweise sehr spezifische.*

Stundenabschluss: Wie werden durch Enzyme Stoffwechselvorgänge ermöglicht?

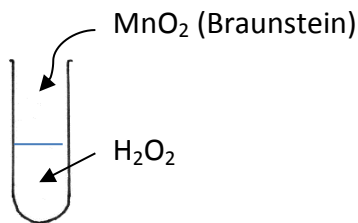
Ausblick:

... Welche Eigenschaften die Enzyme haben müssen, um diese Aufgabe zu erfüllen, werden wir in den kommenden Stunden untersuchen.

3.1.2 Tafelanschrieb

Wirkung von Enzymen

Versuch 1:



Beobachtung:

Heftige Reaktion, bei der Gas freigesetzt wird und Wärme entsteht (Reagenzglas wird heiß!).

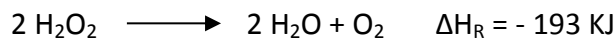
Glimmspanprobe: O₂-Nachweis.

Durch Verdampfen lässt sich das verwendete Braunstein-Pulver zurückgewinnen.

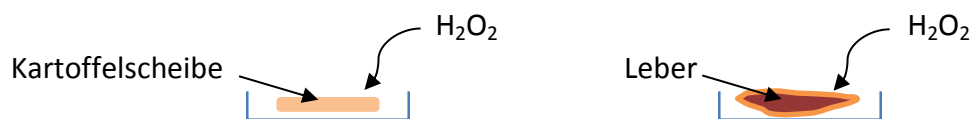
Erklärung:

Braunstein beschleunigt die Zersetzung von H₂O₂ bei Normaltemperatur, ohne sich dabei zu verändern.

Braunstein wirkt katalytisch.



Versuch 2:



Beobachtung:

Schaumbildung

Erklärung:

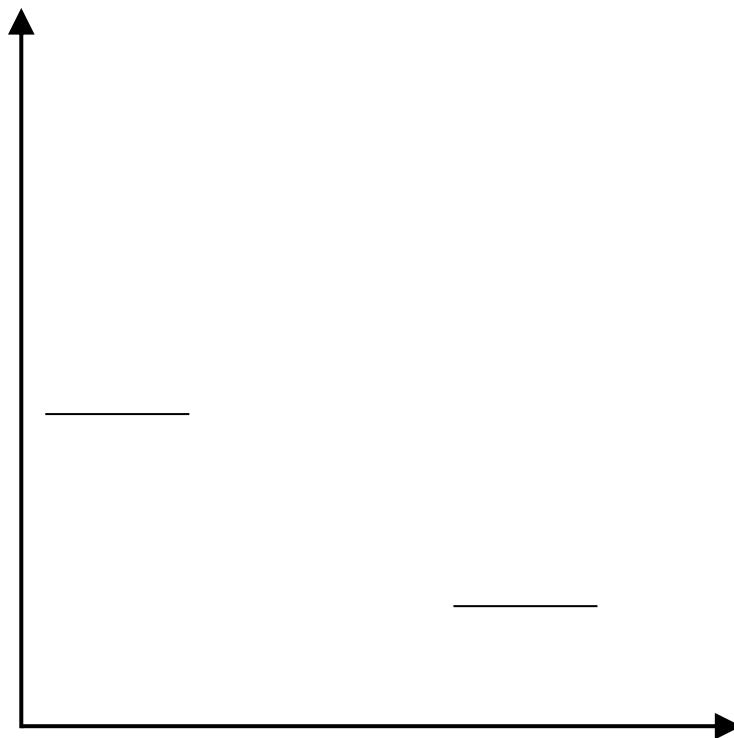
In den Zellen befinden sich Proteine, die Reaktionen katalysieren können = Enzyme.

Reaktionen in Zellen sind biochemische Reaktionen und deshalb bezeichnet man Enzyme als Biokatalysatoren. Das Enzym, welches in Leber und Kartoffel die Zersetzung von H₂O₂ beschleunigt, heißt Katalase.

3.1.3 Folien und Arbeitsblätter

AB: **Eigenschaften von Enzymen als Biokatalysatoren**

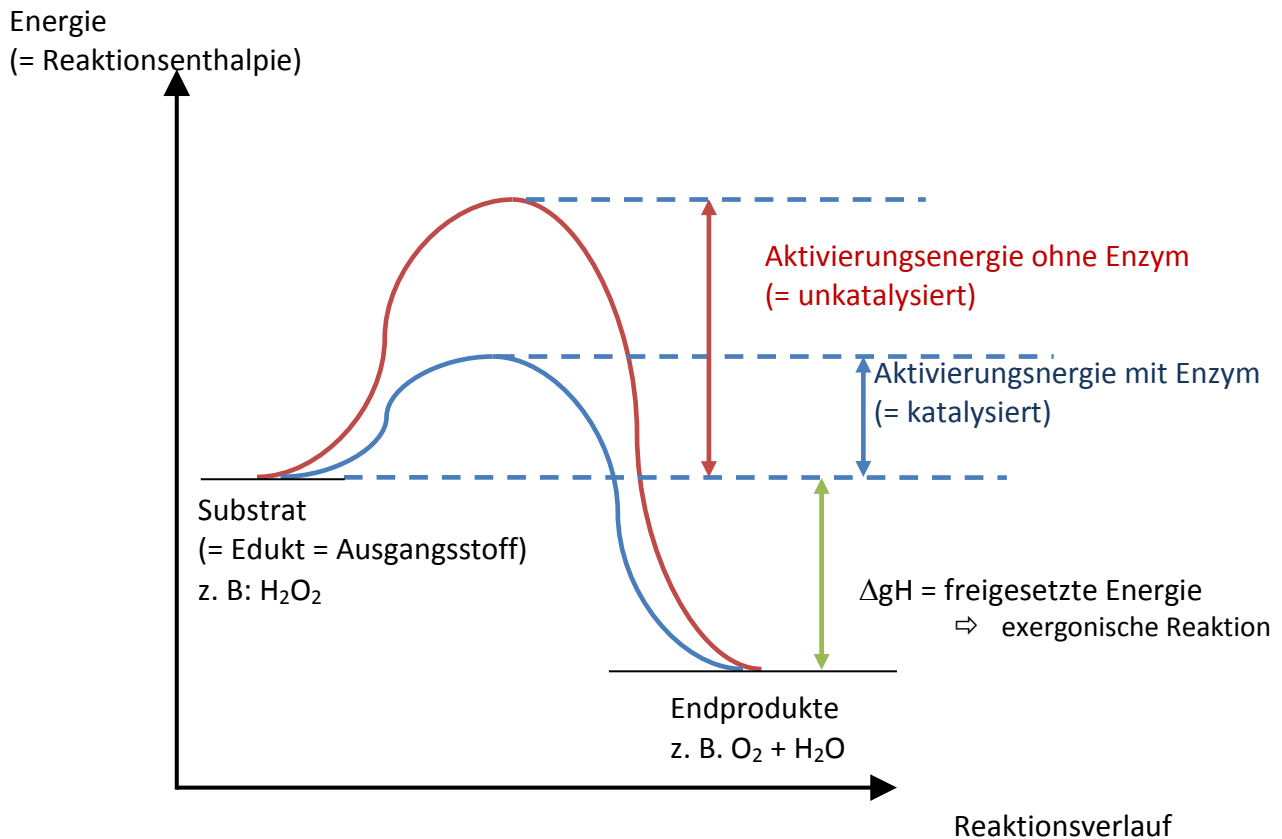
Energetischer Verlauf einer chemischen Reaktion:



3.1.4 Lösung Arbeitsblatt

AB-Lö: Eigenschaften von Enzymen als Biokatalysatoren

Energetischer Verlauf einer chemischen Reaktion:



3.2 Unterrichtseinheit 2: Enzymwirkung

3.2.1 Stundenverlauf (3 h)

- Inhalt des Unterrichts:**
- I. Vergleich chemische Reaktion – Bergüberfahrt**
 - II. Schülerversuch: Urease – Harnstoff – Thioharnstoff**
 - III. Substratspezifität (Schlüssel-Schloss-Prinzip)**
 - IV. Ablauf einer enzymatischen Reaktion**

I. Vergleich chemische Reaktion – Bergüberfahrt

Einstieg: Fo: Bergüberfahrt – chemische Reaktion

Eine chemische Reaktion ist mit einer Bergüberfahrt zu vergleichen ...

1. Schülerinnen und Schüler eine Bergüberfahrt mit dem Fahrrad beschreiben lassen,
2. Schülerinnen und Schüler Bergüberfahrt mit Begriffen einer chemischen Reaktion parallelisieren lassen,
3. Wie greift nun ein Enzym bei einer „Bergüberfahrt“ ins Geschehen ein? (Tunnel)

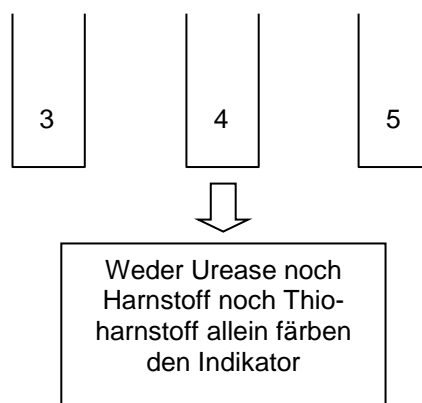
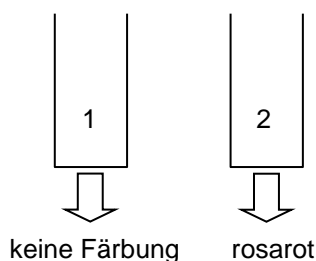
Demonstration durch die Lehrkraft:

Eigenschaften des Indikators **Phenolphthalein**

ergibt sich aus dem Schülerversuch

RG	1	2	3	4	5
Wasser	7 ml	-	-	5 ml	-
0,1%ige Ureaselösung	-	-	-	2 ml	-
2%ige Thioharnstofflösung	-	-	-	-	5 ml
2%ige Harnstofflösung	-	-	5 ml	-	-
Verdünnte Natronlauge	-	7 ml	-	-	-
Indikator	3 Tropfen	3 Tropfen	3 Tropfen	3 Tropfen	3 Tropfen

Beobachtungen:



→ **Phenolphthalein = Basenindikator**

II. Schülerversuch: Urease – Harnstoff – Thioharnstoff

Schülerinnen und Schüler führen Versuch durch, anschließend gemeinsame Auswertung

III. Substratspezifität (Schlüssel-Schloss-Prinzip)

„Schlüssel-Schloss-Prinzip“ anhand von [Folienmodellen](#) erläutern

Tafel: [Tafelanschrieb](#)

IV. Ablauf einer enzymatischen Reaktion

[AB: Ablauf einer enzymatischen Reaktion](#)

[Fo: Aktives Zentrum und Maltase](#)

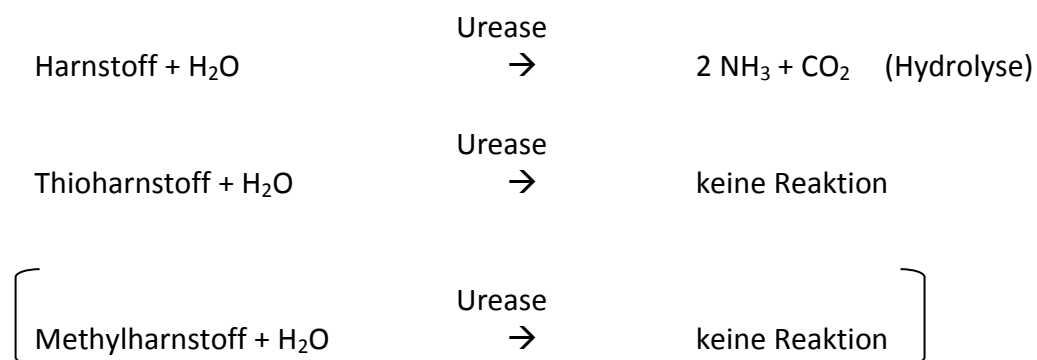
[Folie: Speichelamylase](#) (räumliche Struktur --> Wdh. Aufbau von Proteinen)

Stundenabschluss:

Rückblick Bergüberfahrt: jeder Berg mit eigenem Tunnel, jeder Tunnel für bestimmte Fahrzeuge vorgesehen: Auto/LKW, Zug, Ski

→ Enzyme sind substratspezifisch

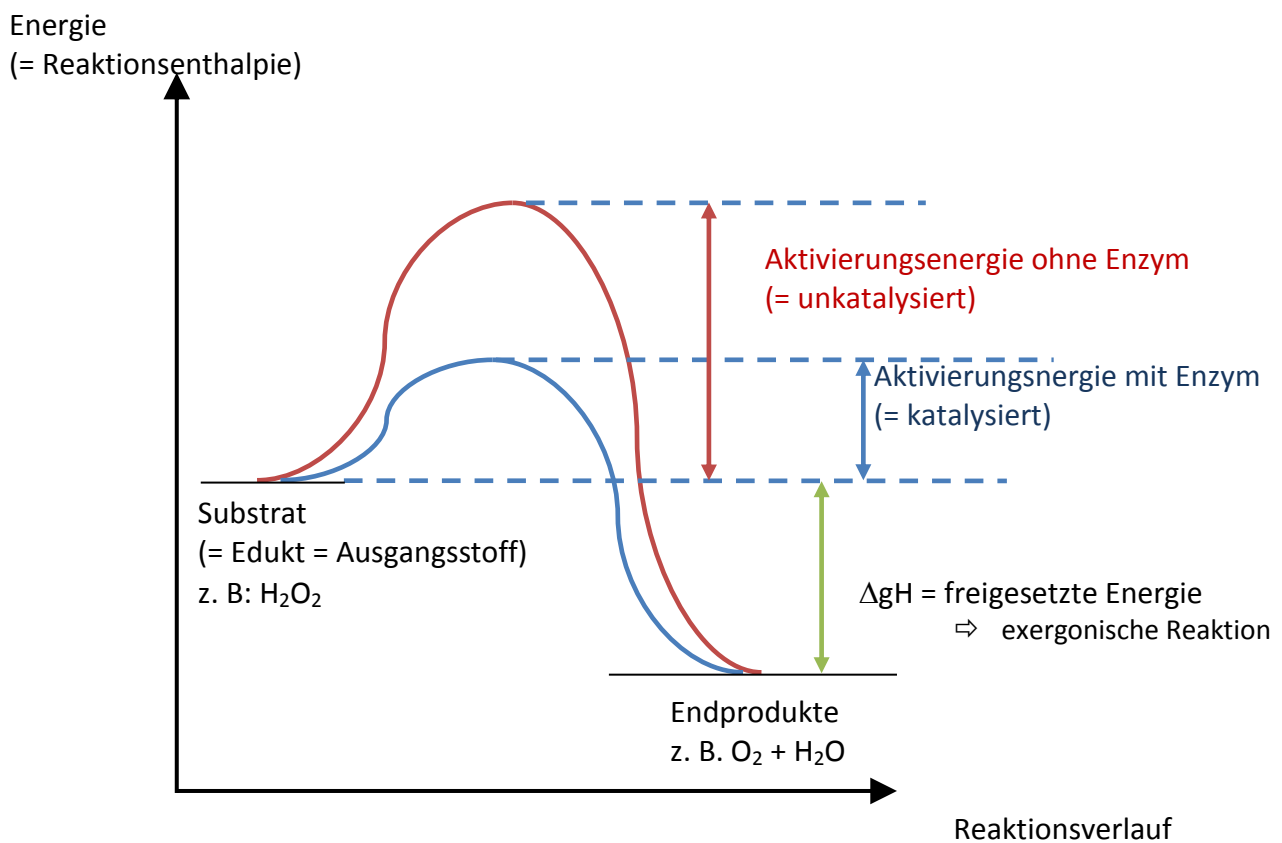
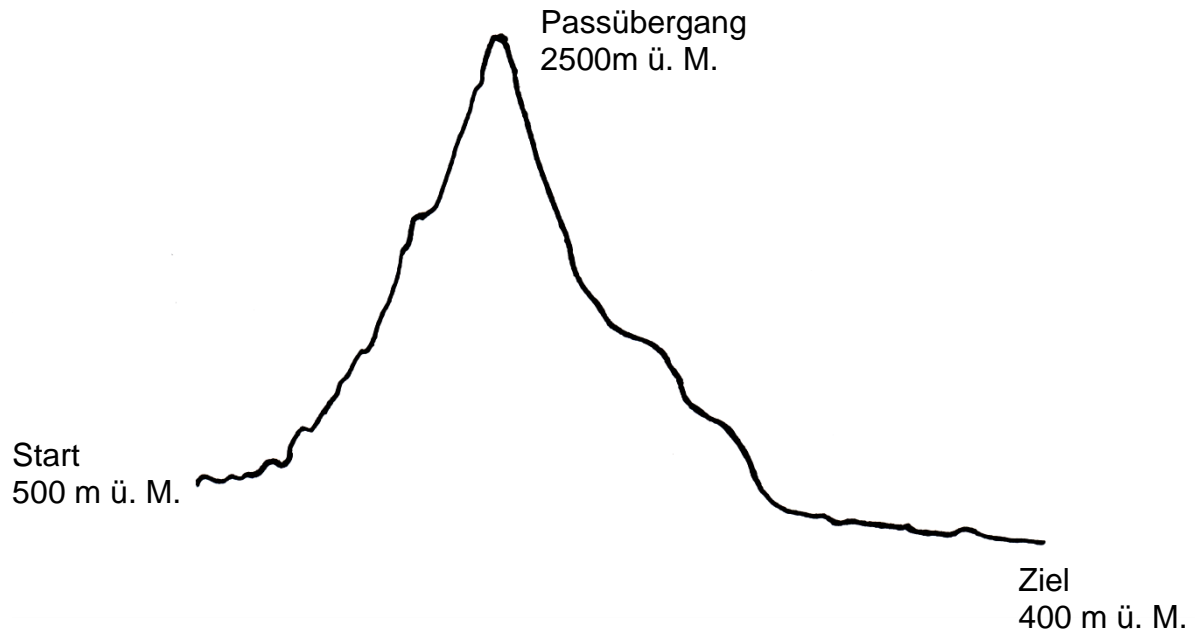
3.2.2 Tafelanschrieb

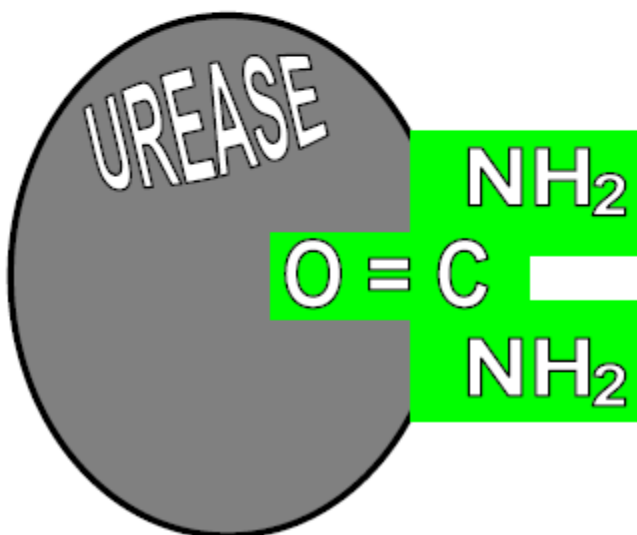
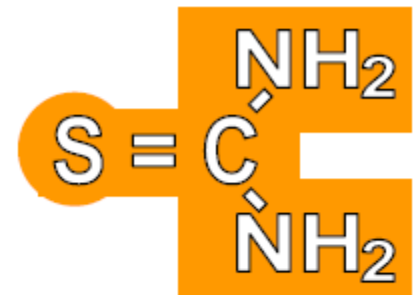
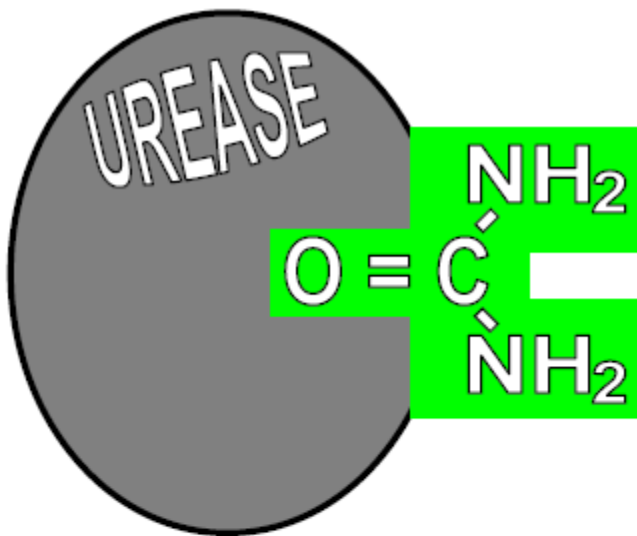


→ Enzyme haben die Eigenschaft, nur auf spezielle Ausgangsstoffe zu wirken
= **Substratspezifität.**

3.2.1 Folien und Arbeitsblätter

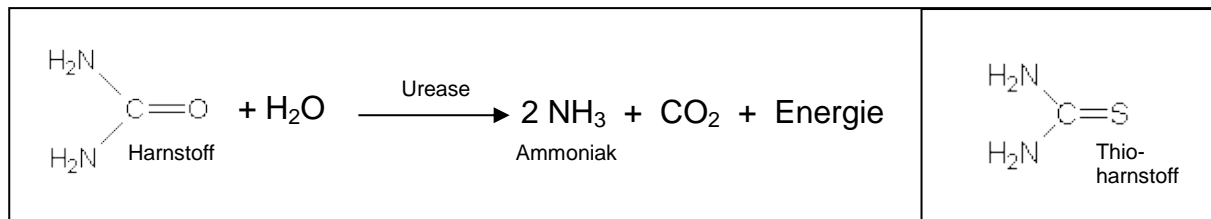
Folie: **Eine chemische Reaktion ist mit einer Bergüberfahrt vergleichbar ...**



Urease-Harnstoff-Modelle:

AB: Wirkungsweise eines Enzyms
Beispiel: Harnstoffspaltung durch Urease
Grundlagen:

Harnstoff ist das Endprodukt des Eiweißstoffwechsels und als solches im Urin aller Säugetiere enthalten. Durch Erhitzen lässt sich Harnstoff in Ammoniak und Kohlenstoffdioxid spalten. Doch auch viele Bodenbakterien können Harnstoff spalten. Die Spaltung läuft nach folgender Reaktionsgleichung ab:



Der Ammoniakgeruch von Gülle hat seinen Grund im bakteriellen, enzymatischen Abbau von Harnstoff. Für die Spaltung des Harnstoffs benötigen die Bakterien das Enzym Urease. Bei der Spaltung wird Energie frei, welche die Bakterien für sich nutzen.

Das entstehende Ammoniak kann von anderen Bakterien weiter verwertet werden und die daraus entstehenden Stickstoffverbindungen können schließlich von Pflanzen aufgenommen werden.

Material: 3 Reagenzgläser (RG),
 Ureaselösung (10 mg in 10 ml H₂O = 0,1 %),
 Harnstofflösung (1 g in 100 ml H₂O = 1 %),
 Thioharnstofflösung (1 g in 100 ml H₂O = 1 %),
 Indikator (Phenolphthalein)

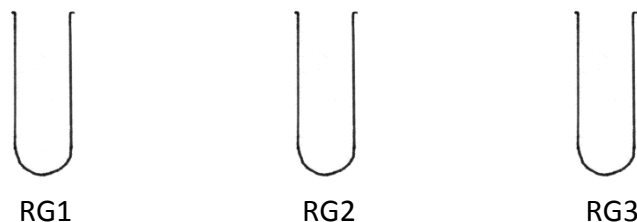
Versuch:

RG1: ca. 2 ml (eine Daumenbreite) Harnstofflösung + 2 Tropfen Indikator (VERGLEICH)

RG2: ca. 2 ml (eine Daumenbreite) Harnstofflösung + 2 Tropfen Indikator

RG3: ca. 2 ml (eine Daumenbreite) Thioharnstofflösung + 2 Tropfen Indikator

→ gleichzeitig zu den RG2 und RG3 je 1 ml Ureaselösung geben (evtl. schütteln)


Beobachtung:

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die basische Reaktion von Ammoniak in wässriger Lösung!



AB: Der Ablauf einer enzymatischen Reaktion

Enzyme sind katalytisch wirksame Proteine, die kompliziert gefaltet sind. Eine bestimmte Region des Enzymmoleküls bindet das Substrat (Ausgangsstoff). Diese Region wird als das Aktive Zentrum bezeichnet und ist typischerweise eine Tasche oder Spalte in der Enzymoberfläche. Bei der enzymatischen Reaktion bindet das Substrat unter Bildung eines „Enzym-Substrat-Komplexes“ locker an das Aktive Zentrum. Die Seitenketten („Reste“) einiger weniger Aminosäuren, die das Aktive Zentrum bilden, lockern die Bindungen des Substrats und katalysieren auf diese Weise die Umwandlung vom Substrat in die Produkte. Diese verlassen darauf das Aktive Zentrum. Das Enzym ist dann wieder frei für ein neues Substratmolekül. Der gesamte Zyklus geht so schnell vor sich, dass ein einzelnes Enzymmolekül tausende von Substratmoleküle pro Sekunde umsetzen kann. Manche Enzyme schaffen sogar mehrere Millionen!

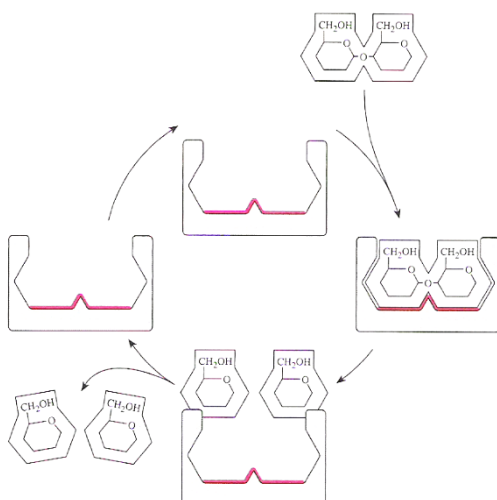
Aufgaben:

1. Wo findet die chemische Reaktion am Enzym statt?
2. Welche Vorgänge finden am Enzym-Substrat-Komplex statt?
3. Eine Enzymreaktion kann mit folgendem Schema beschrieben werden:



Stellen Sie nach diesem Schema die katalytische Spaltung von Harnstoff zu Ammoniak und Kohlensäure durch das Enzym Urease dar.

4. Die unten abgebildete Darstellung zeigt schematisch die katalytische Spaltung des Zweifachzuckers Maltose in zwei Moleküle Glukose durch das Enzym Maltase. Beschriften Sie die Darstellung, benützen Sie dabei die Namen der Stoffe sowie die Begriffe: Substrat, Aktives Zentrum, Enzym-Substrat-Komplex, Produkt, Enzym.



Quelle:
Schroedel © Bildungshaus Schulbuchverlage GmbH, Braunschweig

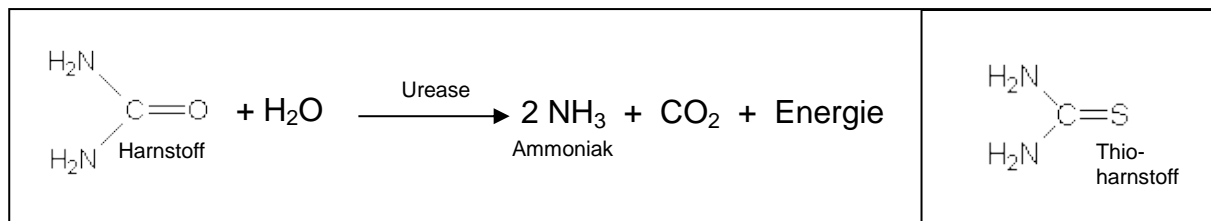
3.2.2 Lösung Arbeitsblätter

AB-Lö: Wirkungsweise eines Enzyms

Beispiel: Harnstoffspaltung durch Urease

Grundlagen:

Harnstoff ist das Endprodukt des Eiweißstoffwechsels und als solches im Urin aller Säugetiere enthalten. Durch Erhitzen lässt sich Harnstoff in Ammoniak und Kohlenstoffdioxid spalten. Doch auch viele Bodenbakterien können Harnstoff spalten. Die Spaltung läuft nach folgender Reaktionsgleichung ab:



Der Ammoniakgeruch von Gülle hat seinen Grund im bakteriellen, enzymatischen Abbau von Harnstoff. Für die Spaltung des Harnstoffs benötigen die Bakterien das Enzym Urease. Bei der Spaltung wird Energie frei, welche die Bakterien für sich nutzen. Das entstehende Ammoniak kann von anderen Bakterien weiter verwertet werden und die daraus entstehenden Stickstoffverbindungen können schließlich von Pflanzen aufgenommen werden.

Material: 3 Reagenzgläser (RG),
 Ureaselösung (10 mg in 10 ml H₂O = 0,1 %),
 Harnstofflösung (1 g in 100 ml H₂O = 1 %),
 Thioharnstofflösung (1 g in 100 ml H₂O = 1 %),
 Indikator (Phenolphthalein)

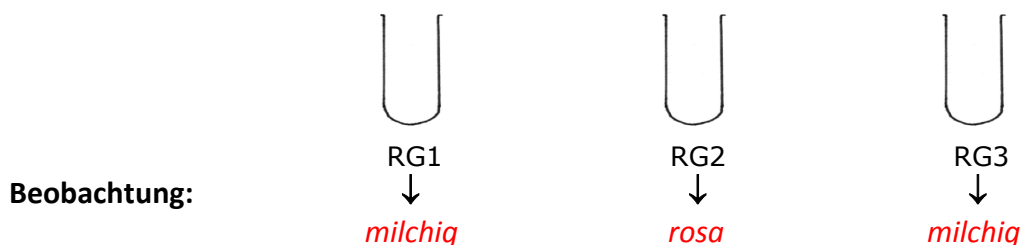
Versuch:

RG1: ca. 2 ml (eine Daumenbreite) Harnstofflösung + 2 Tropfen Indikator (VERGLEICH)

RG2: ca. 2 ml (eine Daumenbreite) Harnstofflösung + 2 Tropfen Indikator

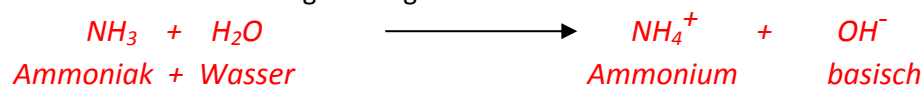
RG3: ca. 2 ml (eine Daumenbreite) Thioharnstofflösung + 2 Tropfen Indikator

→ gleichzeitig zu den RG2 und RG3 je 1 ml Ureaselösung geben (evtl. schütteln)



Beobachtung:

Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die basische Reaktion von Ammoniak in wässriger Lösung!

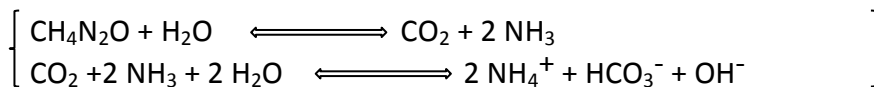
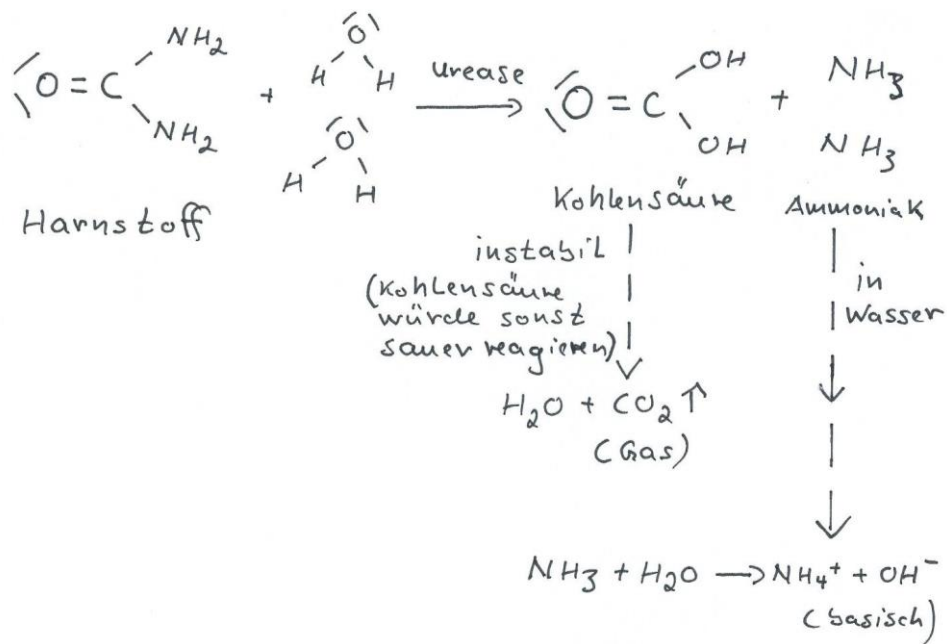


Auswertung:

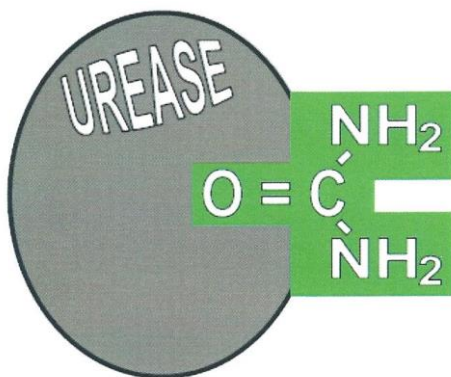
Warum taucht der Katalysator überhaupt nicht in der Reaktionsgleichung auf?

Katalysator ist kein Reaktionspartner, wird nicht verbraucht (auf Reaktionspfeil).

Reaktion der Urease mit Harnstoff:



TA/Folienmodelle:



Harnstoff wird an der Substratbindungsstelle der Urease angelagert (= Aktives Zentrum).

Die Bindung erfolgt nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip.

Wie kann man erklären, dass mit Thioharnstoff bei Ureasezugabe keine Reaktion erfolgt?

=> Enzyme sind substratspezifisch => Substratspezifität

AB-Lö: Der Ablauf einer enzymatischen Reaktion

Enzyme sind katalytisch wirksame Proteine, die kompliziert gefaltet sind. Eine bestimmte Region des Enzymmoleküls bindet das Substrat (Ausgangsstoff). Diese Region wird als das Aktive Zentrum bezeichnet und ist typischerweise eine Tasche oder Spalte in der Enzymoberfläche. Bei der enzymatischen Reaktion bindet das Substrat unter Bildung eines „Enzym-Substrat-Komplexes“ locker an das Aktive Zentrum. Die Seitenketten („Reste“) einiger weniger Aminosäuren, die das Aktive Zentrum bilden, lockern die Bindungen des Substrats und katalysieren auf diese Weise die Umwandlung vom Substrat in die Produkte. Diese verlassen darauf das Aktive Zentrum. Das Enzym ist dann wieder frei für ein neues Substratmolekül. Der gesamte Zyklus geht so schnell vor sich, dass ein einzelnes Enzymmolekül tausende von Substratmoleküle pro Sekunde umsetzen kann. Manche Enzyme schaffen sogar mehrere Millionen!

Aufgaben:

1. Wo findet die chemische Reaktion am Enzym statt?

im Aktiven Zentrum (Tasche oder Spalte in der Enzymoberfläche)

↳ *gebildet von den Resten einiger Aminosäuren*

2. Welche Vorgänge finden am Enzym-Substrat-Komplex statt?

*Substrat wird an das Aktive Zentrum gebunden => polare Gruppen verschiedener Aminosäurereste wirken gleichzeitig auf eine Bindung/Atomgruppe ein und destabilisieren das Substrat
=> Umwandlung von Substrat in die Produkte.*

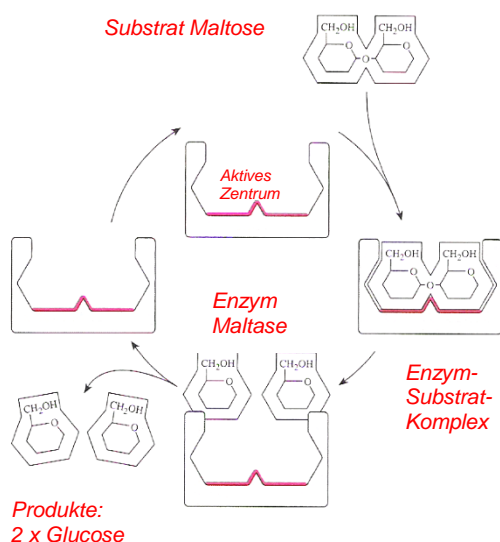
3. Eine Enzymreaktion kann mit folgendem Schema beschrieben werden:



Stellen Sie nach diesem Schema die katalytische Spaltung von Harnstoff zu Ammoniak und Kohlensäure durch das Enzym Urease dar.



4. Die unten abgebildete Darstellung zeigt schematisch die katalytische Spaltung des Zweifachzuckers Maltose in zwei Moleküle Glukose durch das Enzym Maltase. Beschriften Sie die Darstellung, benützen Sie dabei die Namen der Stoffe sowie die Begriffe: Substrat, Aktives Zentrum, Enzym-Substrat-Komplex, Produkt, Enzym.



=> VERGLEICH MIT SUPERMARKTKASSE:

Kasse mit Kassierer = Enzym

Kunden = Substrate

Kunden, die bezahlt haben = Produkte

Quelle:

Schroedel © Bildungshaus Schulbuchverlage GmbH, Braunschweig

3.3 Unterrichtseinheit 3: Forschungsprojekt

3.3.1 Stundenverlauf (2 x 2 h)

- Inhalt des Unterrichts:**
- I. Versuche zur Temperatur- und pH-Abhängigkeit von Enzymen (2 h)**
 - II. Austausch der Versuchsergebnisse (2 h)**

I. Versuche zur Temperatur- und pH-Abhängigkeit von Enzymen

- EINSTIEG: Phänomen

Frisches **Gemüse** verdirbt sehr schnell bei Raumtemperatur!
Die lebensmitteleigenen Enzyme zersetzen die Inhaltsstoffe und das Gemüse zeigt braune Stellen.
Durch Einfrieren, Erhitzen in Konserven und sauer Einlegen kann man die Haltbarkeit verlängern.

- HYPOTHESEN

Welche Erklärungen haben Sie dafür?

→ Schülerinnen und Schüler bilden Hypothesen.

Welche zwei Außenbedingungen werden beim Einfrieren/Erhitzen und Säuern verändert?

→ Temperatur und pH

Hypothese „zersetzende Enzyme sind von Temperatur und pH abhängig“ auswählen.

Wir wollen heute die Abhängigkeit der Enzymwirkung von Temperatur und pH untersuchen und überlegen, warum Gemüse durch Einfrieren/Erhitzen und Säuern länger haltbar gemacht werden kann.

- MÖGLICHKEIT DER ÜBERPRÜFUNG

Sie sind jetzt die Wissenschaftler und sollen herausfinden, ob die Enzymaktivität temperatur- bzw. pH-abhängig ist.

Wie würden Sie die Versuche durchführen?

→ Schülerinnen und Schüler machen Vorschläge + Ergebniserwartung, anschließend Material vorstellen

Material, das zur Verfügung steht:

Trockenhefe, H₂O₂ (15 %ig), Reagenzgläser, Reagenzglasständer, Spatel, Schutzbrille, Thermometer, 400 ml-Bechergläser (für Wasserbäder), Pufferlösungen, Universalindikator, Filzstift

Worauf muss bei der Durchführung der Versuche geachtet werden, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten?

→ Genauigkeit bzgl. Enzymmenge, Substratmenge, Reaktionszeit ...

- VERSUCH + ERGEBNISSE + AUSWERTUNG: Anleitung auf **Folie**

Versuche: (2 h)

- 2 Forschergruppen: A: Temperaturabhängigkeit
B: pH-Abhängigkeit
- je Forschergruppe 2 Teams = 2 Wiederholungen je Versuch
- jede Gruppe hat eine eigene Versuchsanleitung
- Durchführung und Auswertung der Versuche in den Forschergruppen:
 1. Versuchsmaterialien holen
 2. Versuch nach Anleitung durchführen
 3. Versuchsmaterial zurückbringen und Literatur holen
 4. Versuch auswerten

Forschungsergebnisse veröffentlichen: (2 h)

- I: jeweils 2 Forscher der Gruppe A erläutern 2 Forschern der Gruppe B ihren Versuch, Ergebnisse und Erklärungen
- II: Forscher tauschen sich aus anhand vorgegebener Stichwörter aus und kontrollieren sich gegenseitig

Mögliche Kontrollfragen...

In der anorganischen Chemie werden Reaktionen in Gang gebracht, indem man den Ausgangsstoffen von außen Wärme zuführt. Es gilt die RGT-Regel. *Was besagt diese Regel?*

Warum nimmt die Enzymaktivität ab einer bestimmten Temperatur schnell ab?

Enzyme sind substratspezifisch und arbeiten nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip.

Wie wirkt sich eine veränderte Umgebungstemperatur auf die Arbeitsweise eines Enzyms aus?

Unsere Körpertemperatur wird konstant auf ca. 37 °C geregelt. Fieber von 40 °C wird für uns gefährlich. *Welches Temperaturoptimum haben unsere Enzyme?*

Wie schaffen es die Enzyme, bei unterschiedlichen pH-Werten zu wirken?

3.3.2 Folien und Arbeitsblätter

Folie: **Anleitung Forschungsprojekt**

Abhängigkeit der Enzymwirkung von Temperatur und pH

Versuche: (2 h)

- 2 Forschergruppen: A: Temperaturabhängigkeit
 B: pH-Abhängigkeit
- je Forschergruppe 3 Teams = 3 Wiederholungen je Versuch
- jede Gruppe hat eine eigene Versuchsanleitung
- Durchführung und Auswertung der Versuche in den Forschergruppen:
 1. Versuchsmaterialien holen
 2. Versuch nach Anleitung durchführen
 3. Versuchsmaterial zurückbringen und Literatur holen
 4. Versuch auswerten

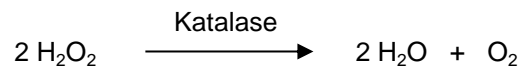
Forschungsergebnisse veröffentlichen: (2 h)

- I: Jeweils 2 Forscher der Gruppe A erläutern 2 Forschern der Gruppe B ihren Versuch, Ergebnisse und Erklärungen.
- II: Forscher tauschen sich anhand vorgegebener Stichwörter aus und kontrollieren sich gegenseitig.

Versuchsanleitung: **pH-Abhängigkeit eines Enzyms**

Grundlagen:

Das im Zellstoffwechsel anfallende Zellgift Wasserstoffperoxid H_2O_2 wird mit Hilfe des Enzyms Katalase in Wasser und Sauerstoff gespalten und damit unschädlich gemacht.



Das Enzym Katalase kommt in allen pflanzlichen und tierischen Organismen vor, besonders in Leber und Erythrozyten. Hier wird Trockenhefe verwendet.

Hypothesen:**Aufgaben:**

1. Übertragen Sie die Hypothesen auf Ihr Blatt.
2. Führen Sie den Versuch durch.

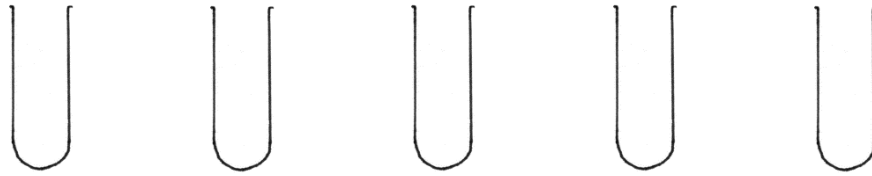
VORSICHT: Wasserstoffperoxid ist ätzend!
Bei Hautkontakt sofort mit Wasser spülen!

3. Protokollieren Sie Ihre Beobachtungen und Ergebnisse.
4. Räumen Sie Ihre Versuchsmaterialien auf und holen Sie Ihre „Literatur“ zur Auswertung ihres Versuchs ab.
5. Werten Sie Ihre Ergebnisse anhand der Fragen aus.

Material:	5 Reagenzgläser (RG)	Pufferlösungen
	Reagenzglasständer	Universalindikatorpapier
	Spatel	Filzstift
	Trockenhefe	Schutzbrille
	H_2O_2 -Lösung (5%ig)	

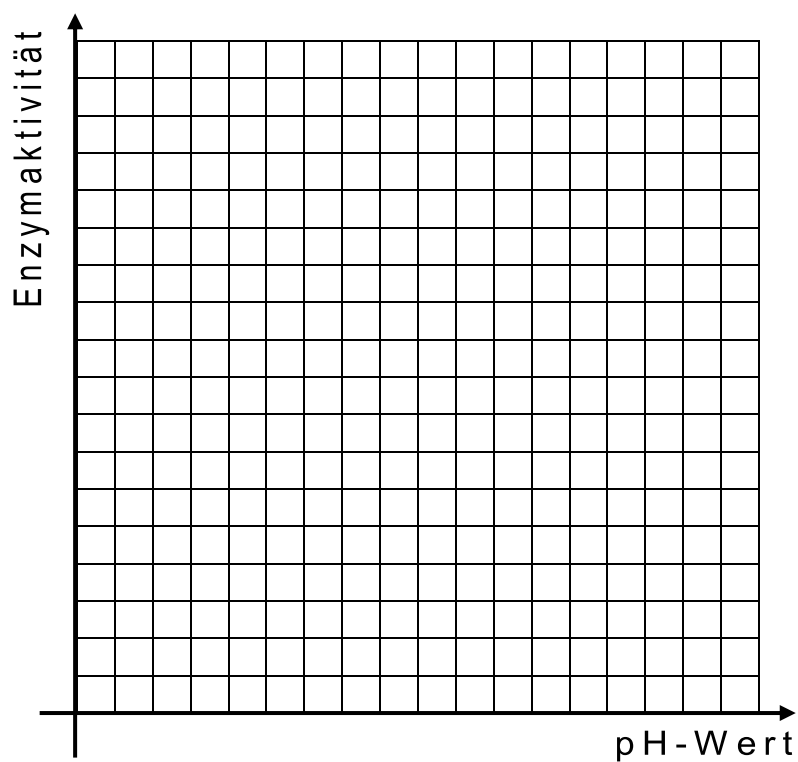
Durchführung:

- I Bereiten Sie 5 Reagenzgläser mit unterschiedlichen pH-Werten vor:
 - RG1: 1 Spatelspitze Trockenhefe + 2 ml (eine Daumenbreite) Pufferlösung pH 1, leicht schütteln und etwa 5 Minuten einwirken lassen
 - RG2: 1 Spatelspitze Trockenhefe + 2 ml (eine Daumenbreite) Pufferlösung pH 4, leicht schütteln und etwa 5 Minuten einwirken lassen
 - RG3: 1 Spatelspitze Trockenhefe + 2 ml (eine Daumenbreite) Pufferlösung pH 7, leicht schütteln und etwa 5 Minuten einwirken lassen
 - RG4: 1 Spatelspitze Trockenhefe + 2 ml (eine Daumenbreite) Pufferlösung pH 10, leicht schütteln und etwa 5 Minuten einwirken lassen
 - RG5: 1 Spatelspitze Trockenhefe + 2 ml (eine Daumenbreite) Pufferlösung pH 13, leicht schütteln und etwa 5 Minuten einwirken lassen
- II pH-Wert in allen 5 Reagenzgläsern prüfen und notieren
- III Gleichzeitig zu allen RG je 1 ml H_2O_2 -Lösung zugeben

AB: **Abhängigkeit der Enzymaktivität vom pH-Wert**

Beobachtung: Untersuchen Sie die Gasentwicklung als Maß für die Enzymaktivität!

Auswertung: Übertragen Sie Ihre Beobachtungen in eine Ergebnisgrafik!



Literatur:

Der Einfluss des pH-Werts auf die Enzymaktivität

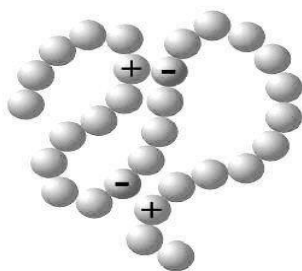
COOH-Gruppen können Protonen abgeben
= negative Ladung

NH₂-Gruppen können Protonen aufnehmen
= positiv geladen

Am Beispiel der Verdauungsenzyme des Menschen wird der Einfluss eines weiteren Faktors, des *pH-Wertes*, auf die Enzymaktivität sichtbar. Der Mundspeichel hat einen fast neutralen pH-Wert. Die in ihm enthaltene Amylase spaltet Stärke und entfaltet unter diesen Bedingungen ihre größte Aktivität. Gelangt der eingespeichelte Nahrungsbrocken mit dem Schluckvorgang in den Magen, wird die Stärkespaltung infolge Inaktivierung der Speichelamylase eingestellt. Ursache hierfür ist der saure Magensaft, dessen pH-Wert aufgrund der Salzsäure zwischen 1,5 und 2,5 liegt. In diesem sauren Milieu ist statt dessen ein anderes Enzym, das *Pepsin*, aktiv. Es katalysiert die Spaltung von Proteinen in größere Peptidabschnitte. Gelangt der Speisebrei weiter in den Zwölffinger- und dann in den Dünndarm, dessen Verdauungssaft leicht alkalisch ist, stellt das Pepsin seine Funktion ein und andere Enzyme sorgen dann für die weitere und vollständige Verdauung.

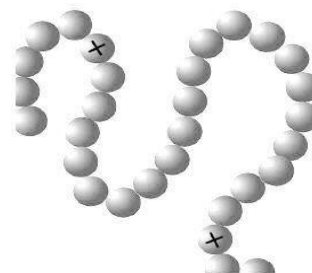
Untersucht man die Enzymaktivität in Abhängigkeit vom pH-Wert experimentell, so ergibt sich eine Optimumkurve (Abb. 1). Jedes Enzym hat sein spezifisches pH-Optimum. Bei vielen Enzymen liegt es im mittleren pH-Bereich. Bei deutlich höheren oder niedrigeren Werten sinkt die Aktivität stark ab, bis schließlich der Nullwert erreicht wird. Ursache ist, wie bei hohen Temperaturen, eine Denaturierung des Enzyms, da durch Säuren bzw. Basen an bestimmte Reste der einzelnen Aminosäurebausteine H⁺-Ionen angelagert oder von ihnen abgespalten werden können. So wird die für die Passform wichtige Ladungsverteilung im Enzymmolekül verändert, sodass die spezifische Molekülfaltung verloren geht (Abb. Mittelspalte).

Ausschnitt aus der Katalase:



pH 7

Ionenbindungen zwischen sauren AS und basischen AS. Die unterschiedlich geladenen Seitenketten können sich elektrostatisch anziehen und die Raumstruktur durch Ionenbindung stabilisieren.



pH 2

COO⁻-Gruppe nimmt H⁺ auf
→ Ladungsveränderung
→ Änderung der Enzymstruktur

Quelle: Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart

AB: **Abhängigkeit der Enzymaktivität vom pH-Wert**

1. Wie wirkt sich der pH-Wert auf die Enzymaktivität der Katalase aus?

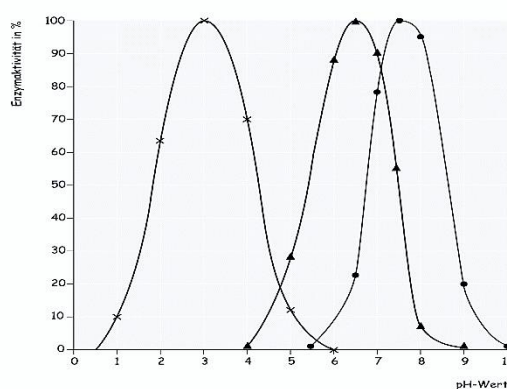
Enzymaktivität



2. Begründen Sie das Abnehmen der Enzymaktivität bei pH-Wert-Erhöhung bzw. pH-Wert-Erniedrigung. Verwenden Sie folgende Begriffe:

Protonenkonzentration im Medium; Carboxylgruppen, Aminogruppen; Protonenaufnahme, Protonenabgabe; Ionenbindungen, Enzymstruktur, Aktives Zentrum, neutral

3. Amylase, Pepsin und Trypsin sind Verdauungsenzyme, die an verschiedenen Stellen (Mund, Magen, Dünndarm) unseres Verdauungstraktes vorkommen. Ordnen Sie die drei Enzyme den entsprechenden Kurven im Diagramm zu.



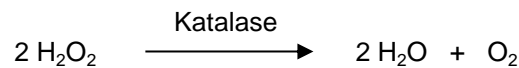
Quelle: 2016 Cornelsen-Verlag GmbH, Berlin

4. Weshalb sinkt die Enzymaktivität der Amylase, wenn sie in den sauren Magensaft gelangt?
5. Formulieren Sie einen Merksatz, der die Abhängigkeit der Enzymaktivität vom pH-Wert zusammenfasst!

Versuchsanleitung: **Temperaturabhängigkeit eines Enzyms**

Grundlagen:

Das im Zellstoffwechsel anfallende Zellgift Wasserstoffperoxid H_2O_2 wird mit Hilfe des Enzyms Katalase in Wasser und Sauerstoff gespalten und damit unschädlich gemacht.



Das Enzym Katalase kommt in allen pflanzlichen und tierischen Organismen vor, besonders in Leber und Erythrozyten. Hier wird Trockenhefe verwendet.

Hypothesen:**Aufgaben:**

1. Übertragen Sie die Hypothesen auf Ihr Blatt.
2. Führen Sie den Versuch durch.

VORSICHT: Wasserstoffperoxid ist ätzend!
Bei Hautkontakt sofort mit Wasser spülen!

3. Protokollieren Sie Ihre Beobachtungen und Ergebnisse.
4. Räumen Sie Ihre Versuchsmaterialien auf und holen Sie Ihre „Literatur“ zur Auswertung Ihres Versuchs ab.
5. Werten Sie Ihre Ergebnisse anhand der Fragen aus.

Material: 4 Reagenzgläser (RG)
Reagenzglasständer
4 x 400 ml-Bechergläser
Thermometer
Spatel
Trockenhefe
 H_2O_2 -Lösung (5%ig)
Filzstift
Schutzbrille

Durchführung:

I Bereiten Sie 4 Reagenzgläser vor:

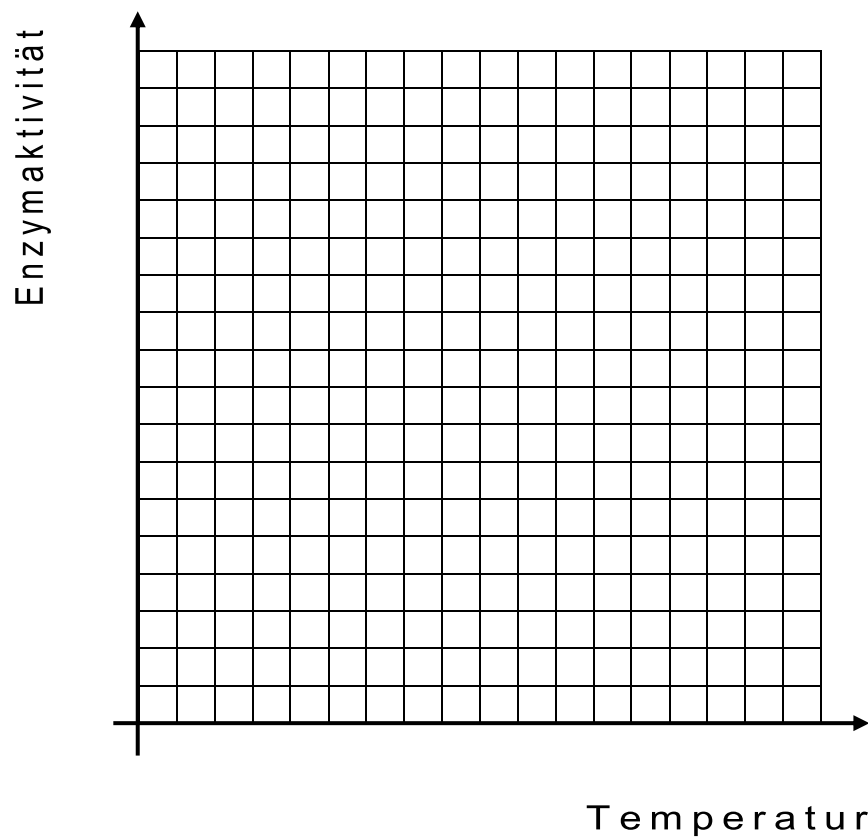
- RG1: 2 ml (eine Daumenbreite) H_2O_2 -Lösung + 1 ml (halbe Daumenbreite) Leitungswasser, leicht schütteln und zur Temperaturangleichung *5 Minuten* in Eiswasser (0 °C) stellen
- RG2: 2 ml (eine Daumenbreite) H_2O_2 -Lösung + 1 ml (halbe Daumenbreite) Leitungswasser, leicht schütteln und zur Temperaturangleichung *5 Minuten* ins Wasserbad (20 °C) stellen
- RG3: 2 ml (eine Daumenbreite) H_2O_2 -Lösung + 1 ml (halbe Daumenbreite) Leitungswasser, leicht schütteln und zur Temperaturangleichung *5 Minuten* ins Wasserbad (37 °C) stellen
- RG4: 2 ml (eine Daumenbreite) H_2O_2 -Lösung + 1 ml (halbe Daumenbreite) Leitungswasser, leicht schütteln und zur Temperaturangleichung *5 Minuten* ins Wasserbad (70 °C) stellen

II Gleichzeitig zu allen RG je 1 Spatelspitze Trockenhefe zugeben und schütteln

AB: **Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur**

Beobachtung: Untersuchen Sie die Gasentwicklung als Maß für die Enzymaktivität!

Auswertung: Übertragen Sie Ihre Beobachtungen in eine Ergebnisgrafik!

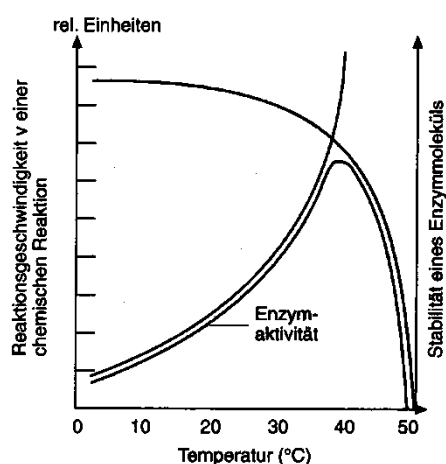


Literatur:

Der Einfluss der Temperatur auf die Enzymaktivität

Gleichwarme Tierarten haben eine konstante Körpertemperatur, egal ob sie in der Wüste oder der Antarktis leben. Wechselwarme Tiere, wie Amphibien oder Insekten, bewegen sich bei tiefen Temperaturen in der Regel träge bzw. fallen in eine Kältestarre. Erst bei höheren Temperaturen werden sie wieder aktiv. Die chemischen Reaktionen des Stoffwechsels in einem Organismus sind temperaturabhängig. Diese Zusammenhänge zeigen sich auch bei isoliert ablaufenden enzymatischen Reaktionen.

Untersucht man die Aktivität eines Enzyms experimentell, so stellt man zunächst bei steigenden Temperaturen eine starke Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit fest (Abb. 2). Bei einer bestimmten Temperatur wird schließlich ein Maximum erreicht. Dieses liegt bei vielen Enzymen zwischen 30 °C und 50 °C. Danach nimmt die Geschwindigkeit der enzymkatalysierten Reaktion sehr schnell ab, bis schließlich überhaupt keine Wirkung des Enzyms mehr erkennbar ist.



2 RGT-Regel und Enzymaktivität

Höhere Temperaturen bewirken eine stärkere Teilchenbewegung, sodass Enzym und Substrat mit einer größeren Wahrscheinlichkeit aufeinander treffen. Zudem werden die Bindungen zwischen Atomen reaktiver. Die Folge ist ein höherer Stoffumsatz. Bei enzymkatalysierten Reaktionen erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C exponentiell um das 2- bis 4fache. Dieser Zusammenhang wird als **Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur-Regel**, kurz **RGT-Regel**, bezeichnet.

Bei Eiweißen, und damit auch bei Enzymen, haben hohe Temperaturen noch eine andere Wirkung: Sie verändern und zerstören schließlich die *Tertiärstruktur*, d. h. die räumliche Anordnung der Aminosäurekette wird irreversibel verändert. Diesen Vorgang bezeichnet man als *Denaturierung*. Da die Funktion des Enzyms von der Tertiärstruktur abhängt – sie ist verantwortlich für die Passform – wird die Abnahme der Enzymaktivität ab einer bestimmten Temperatur verständlich. Enzyme sind meist nur bis zu Temperaturen zwischen 50 °C und 60 °C stabil (Abb. 58.2). Höhere Temperaturen liefern so viel Energie, dass die meist geringen Bindungskräfte, welche die räumliche Faltung des Proteinmoleküls aufrechterhalten, überwunden werden. Die Passform des Enzymmoleküls für das Substrat geht verloren, das Enzym ist inaktiv. Nur wenige Enzyme werden erst bei höheren Temperaturen denaturiert. Zu diesen gehören die Enzyme von Bakterien, die in heißen Quellen mit Temperaturen um 90 °C und mehr leben. Deren Enzyme sind an diese extremen Lebensbedingungen angepasst, indem bei ihnen die Passform im Wesentlichen durch Disulfidbrücken aufrecht erhalten wird, die stabiler sind als Wasserstoffbrückenbindungen und ionische Anziehungskräfte.

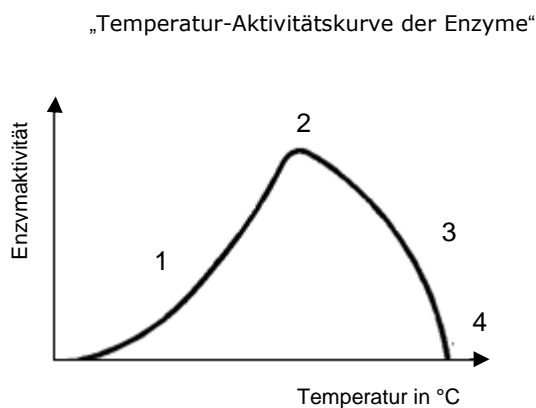
Quelle: Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart

AB: **Temperaturabhängigkeit von Enzymen**

1. Was besagt die so genannte RGT-Regel des niederländischen Chemikers van t'Hoff?

Wird diese Faustregel durch die Resultate aus **Ihrem** Versuch unterstützt?

2. Zeichnen Sie den Kurvenverlauf nach der RGT-Regel ins Diagramm ein.
Begründen Sie den Verlauf der Optimumskurve.

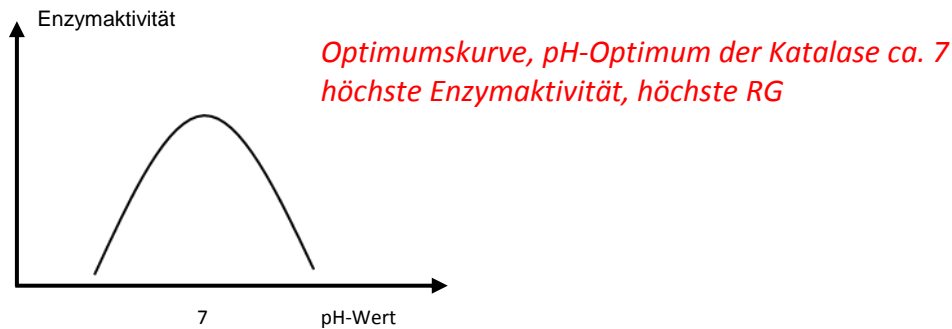


3. Enzyme sind substratspezifisch und arbeiten nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Warum lässt die Enzymaktivität bei steigenden Temperaturen schnell nach? Erklären Sie ausführlich!
4. Es gibt wärmeliebende Bakterien in 85 °C heißen Quellen, eine Temperatur bei der unsere Enzyme nicht mehr aktiv sind. Wie schaffen es die Bakterien, dort zu leben?
5. Bei wechselwarmen Tieren bestimmt die Umgebung die Körpertemperatur. Diese Tiere fressen bei niedrigen Temperaturen deutlich weniger als sonst. Unter anderem gibt es dafür Gründe, die mit Enzymen in Verbindung gebracht werden können. Äußern Sie sich dazu fachkundig in wenigen Sätzen.
6. Formulieren Sie einen Merksatz, der die Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur zusammenfasst!

3.3.3 Lösung Arbeitsblätter

AB-Lö: pH-Abhängigkeit von Enzymen

1. Wie wirkt sich der pH-Wert auf die Enzymaktivität der Katalase aus?



2. Begründen Sie das Abnehmen der Enzymaktivität bei pH-Wert-Erhöhung bzw. pH-Wert-Erniedrigung. Verwenden Sie folgende Begriffe:

Protonenkonzentration im Medium; Carboxylgruppen, Aminogruppen; Protonenaufnahme, Protonenabgabe; Ionenbindungen, Enzymstruktur, Aktives Zentrum, neutral

pH-Wert-Erniedrigung: Protonenkonzentration im Medium steigt -> Carboxylgruppen nehmen Protonen auf -> neutral, Aminogruppen nehmen Protonen auf -> positive Ladung -> veränderte Ladungsstruktur führt zu veränderten Bindungen -> Enzymaktivität sinkt, weil Substrate nicht mehr in die aktiven Zentren passen.

pH-Wert-Erhöhung: Protonenkonzentration im Medium nimmt ab -> Carboxylgruppen geben Protonen ab -> negative Ladung, Aminogruppen geben Protonen ab -> neutral -> veränderte Ladungsstruktur führt zu veränderten Bindungen -> Enzymaktivität sinkt, weil Substrate nicht mehr in die aktiven Zentren passen.

3. Amylase, Pepsin und Trypsin sind Verdauungsenzyme, die an verschiedenen Stellen (Mund, Magen, Dünndarm) unseres Verdauungstraktes vorkommen.

Ordnen Sie die drei Enzyme den entsprechenden Kurven im Diagramm zu.

Pepsin: Magen: pH 1,5–2,5

Mund: pH ca. 7

Dünndarm: pH ca. 8

4. Weshalb sinkt die Enzymaktivität der Amylase, wenn sie in den sauren Magensaft gelangt?

Speichelamylase wird im Magen aufgrund der sauren Verhältnisse (pH 1,5–2,5) denaturiert und wird dadurch inaktiv (veränderte Raumstruktur = Veränderung des Aktiven Zentrums -> Enzymaktivität sinkt.).

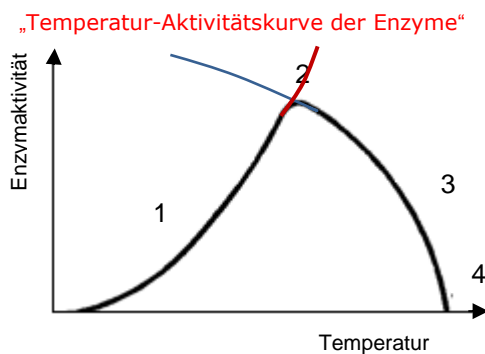
5. Formulieren Sie einen Merksatz, der die Abhängigkeit der Enzymaktivität vom pH-Wert zusammenfasst!

Jedes Enzym hat sein spezifisches pH-Optimum (höchste Aktivität). Deutlich höhere oder niedrigere pH-Werte, die vom Optimum abweichen, lassen die Enzymaktivität absinken bis schließlich der Nullwert erreicht ist.

AB-Lö: Temperaturabhängigkeit von Enzymen

1. Was besagt die so genannte RGT-Regel des niederländischen Chemikers van t'Hoff?
RGT = Reaktions-Geschwindigkeit-Temperaturregel
Bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C steigt die Reaktionsgeschwindigkeit um das 2- bis 4-fache. Grund: Höhere Teilchenbewegung -> E + S treffen häufiger zusammen; Atombindungen zudem reaktiver.
 Wird diese Faustregel durch die Resultate aus **Ihrem** Versuch unterstützt?
Nur bis ca. 40 °C, dann nicht mehr.

2. Zeichnen Sie den Kurvenverlauf nach der RGT-Regel ins Diagramm ein.
 Begründen Sie den Verlauf der Optimumskurve.



- 1) zunehmende Enzymaktivität gemäß RGT-Regel
 2) optimale Enzymaktivität
 3) abnehmende Enzymaktivität,
 da Raumstruktur sich zunehmend verändert
 4) keine Enzymaktivität: Enzym denaturiert

3. Enzyme sind substratspezifisch und arbeiten nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Warum lässt die Enzymaktivität bei steigenden Temperaturen schnell nach? Erklären Sie ausführlich!
Enzyme = Proteine // Bindungen innerhalb des Moleküls werden zunehmend gespalten (Ionenbindungen, H-Brücken, Disulfidbrücken, Van-der-Waal) -> Änderung der Konformation (Raumstruktur) -> Struktur des Aktiven Zentrums verändert, Substrat passt nicht mehr ins Aktive Zentrum und kann nicht umgesetzt werden.
4. Es gibt wärmeliebende Bakterien in 85 °C heißen Quellen, eine Temperatur bei der unsere Enzyme nicht mehr aktiv sind. Wie schaffen es die Bakterien, dort zu leben?
Diese Enzyme haben ein hohes Temperaturoptimum, da größere Anzahl von stabilen Bindungen (Disulfidbrücken) in der räumlichen Struktur, z. B. Archäobakterien.
5. Bei wechselwarmen Tieren bestimmt die Umgebung die Körpertemperatur. Diese Tiere fressen bei niedrigen Temperaturen deutlich weniger als sonst. Unter anderem gibt es dafür Gründe, die mit Enzymen in Verbindung gebracht werden können. Äußern Sie sich dazu fachkundig in wenigen Sätzen.
Gemäß RGT-Regel wirken Enzyme bei einer Temperaturerniedrigung um 10 °C etwa 2 - 4 mal langsamer. Kühlt sich nun der Körper eines wechselwarmen Tieres ab, arbeiten alle Enzyme deutlich langsamer. Dies macht sich in erster Linie in der Verdauung bemerkbar. Da die Nahrung nun langsamer verstoffwechselt wird, kann weniger davon aufgenommen werden.
6. Formulieren Sie einen Merksatz, der die Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur zusammenfasst!
Enzyme haben ein Temperaturoptimum, bei dem ihre Aktivität am größten ist. Temperaturen über dem Optimum führen zur Denaturierung. Sinkt die Temperatur unter das Optimum, nimmt die Enzymaktivität je 10 °C Temperaturerniedrigung um das 2-4-fache ab (RGT-Regel).

4 Übungsphase und Feedback

In der Übungsphase wird die Thematik mit niveaudifferenzierten Aufgaben in Gruppenarbeit wiederholt und vertieft. Eine Feedbackgruppe wird eingerichtet. Sie beobachtet das Arbeitsverhalten in der Gruppe, gibt Hilfestellungen und nach dem Arbeitsende ein Feedback.

4.1 Feedbackgruppe

Während der Übungsphase wird eine Feedbackgruppe installiert, die die Arbeitsgruppen beobachtet und im Anschluss Feedback gibt.

Ablauf:

- Klasse mit 20 Schülerinnen und Schülern: 5 Arbeitsgruppen à 3 Schülerinnen und Schüler + Feedbackgruppe 5 Schülerinnen und Schüler.
- In jede Arbeitsgruppe geht ein Mitglied der Feedback-Gruppe.
- In den ersten 5 – 10 Minuten beobachtet es nur, was in den Gruppen abläuft.
- Anschließend geht es zur Lehrkraft und holt die Lösungen zu der Aufgabe, die in „seiner“ Gruppe bearbeitet wird und setzt sich mit der Lösung auseinander.
- Jetzt geht das Feedbackgruppen-Mitglied wieder in „seine“ Gruppe und gibt ggf. nur auf Nachfrage Hilfestellungen. Hilfestellungen dürfen nicht zu früh gegeben werden, damit die Arbeitsgruppen weitgehend selbständig Lösungen finden.
- Im Anschluss an die Übungsphase erhalten die Arbeitsgruppen von den jeweiligen Mitgliedern der Feedbackgruppe eine Rückmeldung anhand des folgenden Feedbackbogens.

Die Feedbackgruppe sollte mit leistungsstärkeren Schülerinnen und Schülern besetzt werden, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass diese ihren doppelten Arbeitsauftrag – Feedback und fachliche Unterstützung geben – bewältigen können.

Feedbackbogen für die Gruppenarbeit

Bitte Feedbackregeln beachten!

	Mitglieder der Gruppe:	--	-	+	++
01	Beginnt die Gruppe zügig mit der Arbeit oder wird Zeit vergeudet?				
02	Werden von allen Mitgliedern schriftliche Aufzeichnungen gemacht?				
03	Arbeiten alle Schülerinnen und Schüler gleichermaßen intensiv oder sind einige inaktiv oder werden ausgeschlossen?				
04	Bearbeitet die Gruppe die Aufgaben konzentriert? Sind Nebenbeschäftigungen zu beobachten?				
05	Erreicht die Gruppe in der angegebenen Zeit ihr Ergebnis?				
06	Findet eine gegenseitige Unterstützung in der Gruppe statt?				
07	Werden die Vorschläge und Meinungen aller Gruppenmitglieder wahrgenommen und wertgeschätzt?				
08	Werden bei auftretenden Schwierigkeiten gemeinsame Lösungen gesucht? Gibt es Spannungen?				

Bemerkungen:

4.2 Niveaudifferenzierte Aufgaben

Die Übungsaufgaben sind den drei farblich gekennzeichneten Kompetenzbereichen der Ich-kann-Liste zugeordnet. Für jeden dieser Bereiche sind Aufgaben auf einem Basisniveau (G) und auf einem erhöhten Niveau (E) angeboten.

Je nach Selbsteinschätzung der Schülerinnen und Schüler kann zunächst zwischen Niveau G und E gewählt werden. Letztlich sind aber am beruflichen Gymnasium alle Schülerinnen und Schüler an das Niveau E heranzuführen.

Es sollte möglich sein, in 90 Minuten aus jedem farblich gekennzeichneten Bereich eine Aufgabe zu bearbeiten.

Schülerinnen und Schüler, die in der Schule das Niveau G wählen, sollen die Aufgaben „E“ zu Hause bearbeiten. Die Aufgaben Niveau E werden dann in der nächsten Unterrichtseinheit nachbesprochen bzw. von den Schülerinnen und Schülern „Lösungen“ präsentiert.

Bei den „G“-Aufgaben soll auf eine Nachbesprechung verzichtet werden!

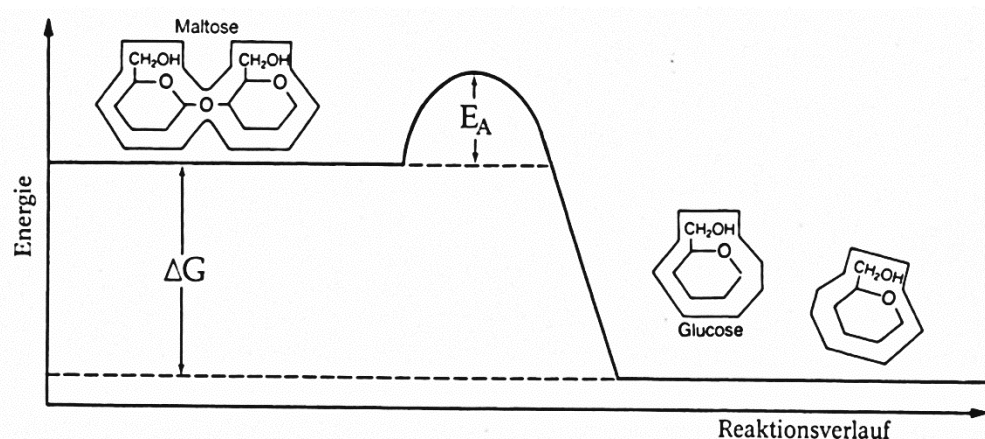
4.2.1 Enzyme als Biokatalysatoren

Mit diesen Aufgaben werden die Kompetenzen 01–03 der Ich-kann-Liste überprüft.

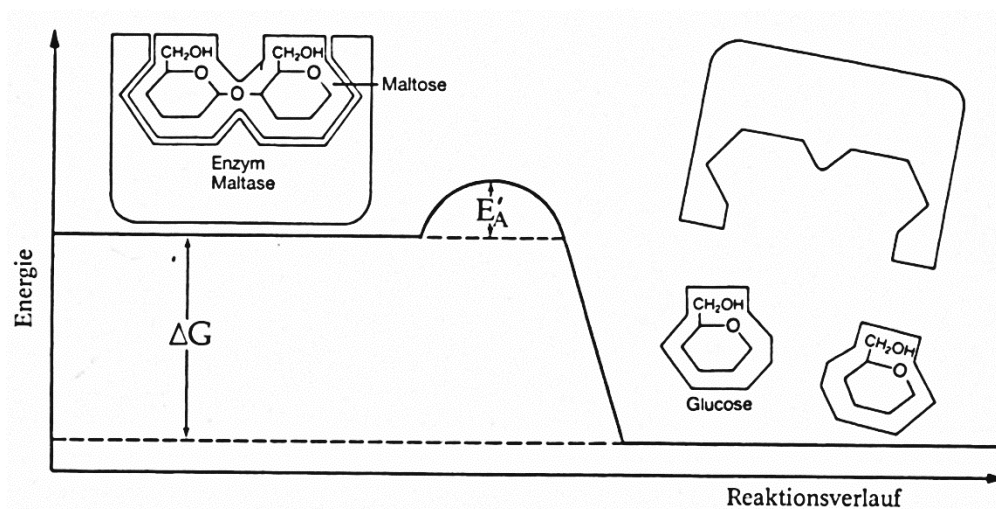
Aufgabe 1**G**

K 01–K 03

- 1 **Abb. A:** Maltose wird in Wasser gelöst, mit Salzsäure versetzt und für kurze Zeit auf 100 °C erhitzt. Nach dem Abkühlen lässt sich Glucose nachweisen.



- Abb. B:** Maltose wird in Wasser gelöst, mit einer Maltaseaufschwämmung versetzt und für kurze Zeit in ein 36 °C erwärmtes Wasserbad gestellt. Nach dem Abkühlen lässt sich Glucose nachweisen.



- 1.1 Erläutern Sie anhand der Abbildung A den Ablauf der Maltosespaltung unter Einbeziehung der Fachtermini Reaktionsenergie G und Aktivierungsenergie E_A . 3
- 1.2 Erläutern Sie dann die Modellvorstellung zur Wirkung des Enzyms Maltase in der Abbildung B. 3

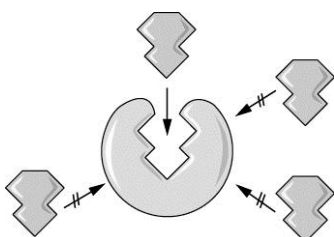
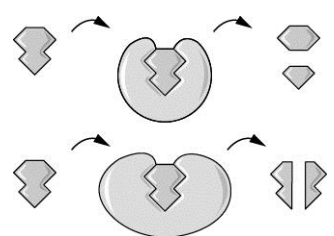
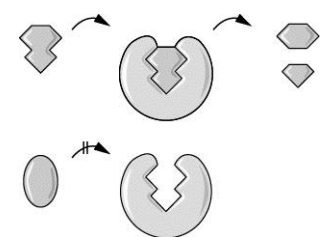
Quelle: Schroedel © Bildungshaus Schulbuchverlage GmbH, Braunschweig

	<u>Aufgabe 2</u>	E	K 01–K 03	
2	Zu einer Stärkelösung (pH 7) gibt man Amylase dazu.			
2.1	Zeichnen Sie ein beschriftetes Energiediagramm für die Spaltung der Stärke mit und ohne Amylase.			3
2.2	Erklären Sie jeweils den Kurvenverlauf.			2
2.3	Geben Sie eine Erklärung dafür, dass die Amylase im Mund aktiv ist, nicht aber im Magen.			2
2.4	Stellen Sie modellhaft die Wirkungsweise eines Enzyms dar.			3

4.2.2 Modellvorstellung zur Wirkungsweise von Enzymen

Mit diesen Aufgaben werden die Kompetenzen 04 und 05 der Ich-kann-Liste überprüft.

	<u>Aufgabe 3</u>	G	K 04–K 05	
1 A	<p>Enzyme sind fast immer Proteine, die noch durch weitere Bestandteile ergänzt sein können. Als Substrat bezeichnet man den Stoff, dessen Moleküle durch das Enzym spezifisch gebunden und chemisch verändert werden können.</p> <p>Die räumliche Struktur eines Enzyms ist für dessen katalytische Funktion entscheidend. In einer taschen- oder spaltenförmigen Einbuchtung des Proteinmoleküls, dem Aktiven Zentrum, spielt sich die Reaktion ab, nachdem das Substrat hier gebunden wurde. Das Aktive Zentrum ist so geformt, dass Moleküle des Substrats hineinpassen wie ein Schlüssel in ein Schloss. Aus diesem Schlüssel-Schloss-Prinzip ergibt sich auch die hohe Substratspezifität der Enzyme: Die Meisten binden nur einen einzigen Stoff als Substrat oder wenige eng verwandte Stoffe mit sehr ähnlicher chemischer Struktur.</p> <p>Das Substrat wird vorübergehend in einer für die Reaktion günstigen Position im Aktiven Zentrum an das Enzym gebunden. Es entsteht ein Enzym-Substrat-Komplex (ES-Komplex). Dieser Komplex ist energetisch begünstigt und bildet sich in der Regel spontan. Ist ein Molekül im Aktiven Zentrum des Enzyms gebunden, kann bis zum Ende der Reaktion kein weiteres Molekül mehr binden.</p> <p>Bei einer chemischen Reaktion müssen sich Bindungen in der Molekülstruktur der Ausgangsstoffe lösen bevor sich neue Bindungen bilden können. Das Erreichen dieses Übergangszustands erfordert Aktivierungsenergie. Der „Trick“ der Enzyme besteht darin, dass die Bildung des Enzym-Substrat-Komplexes praktisch einen neuen Reaktionsweg eröffnet, dessen Übergangszustand mit deutlich weniger Aktivierungsenergie erreicht wird als bei der unkatalysierten Reaktion. Verantwortlich für den energieärmeren Übergangszustand – und damit für die <i>Wirkungsspezifität</i> des Enzyms, das nur eine ganz bestimmte Reaktion zu katalysieren vermag – sind die Ladungseigenschaften der Aminosäurereste im Aktiven Zentrum, zum Teil auch weitere Wirkgruppen des Enzyms wie Ionen.</p>			

Enzymeigenschaft	Schematische Darstellung	Beschreibung
		
		
		

1.1	Vervollständigen Sie die Tabelle mit den passenden Enzymeigenschaften (Substratspezifität / Wirkungsspezifität / Aktives Zentrum) und Beschreibungen (Jedes Enzym kann nur eine bestimmte Reaktion katalysieren. / Das Enzym bindet für die Reaktion das Substrat an dieser bestimmten Stelle. / Jedes Enzym kann nur ein bestimmtes Substrat – oder einige sehr ähnliche Substrate – umsetzen.).	4
1.2	Kennzeichnen Sie in einer geeigneten Abbildung der Tabelle unten den Enzym-Substrat-Komplex farbig.	1

Quelle: 2016 Cornelsen-Verlag GmbH, Berlin

	Aufgabe 4	E	K 04–K 05
4		<p>Enzyme sind fast immer Proteine, die noch durch weitere Bestandteile ergänzt sein können. Als Substrat bezeichnet man den Stoff, dessen Moleküle durch das Enzym spezifisch gebunden und chemisch verändert werden können.</p> <p>Die räumliche Struktur eines Enzyms ist für dessen katalytische Funktion entscheidend. In einer taschen- oder spaltenförmigen Einbuchtung des Proteinmoleküls, dem Aktiven Zentrum, spielt sich die Reaktion ab, nachdem das Substrat hier gebunden wurde. Das Aktive Zentrum ist so geformt, dass Moleküle des Substrats hineinpassen wie ein Schlüssel in ein Schloss. Aus diesem Schlüssel-Schloss-Prinzip ergibt sich auch die hohe Substratspezifität der Enzyme: Die Meisten binden nur einen einzigen Stoff als Substrat oder wenige eng verwandte Stoffe mit sehr ähnlicher chemischer Struktur.</p> <p>Das Substrat wird vorübergehend in einer für die Reaktion günstigen Position im Aktiven Zentrum an das Enzym gebunden. Es entsteht ein Enzym-Substrat-Komplex (ES-Komplex). Dieser Komplex ist energetisch begünstigt und bildet sich in der Regel spontan. Ist ein Molekül im Aktiven Zentrum des Enzyms gebunden, kann es bis zum Ende der Reaktion kein weiteres Molekül mehr binden.</p> <p>Bei einer chemischen Reaktion müssen sich Bindungen in der Molekülstruktur der Ausgangsstoffe lösen, bevor sich neue Bindungen bilden können. Das Erreichen dieses Übergangszustands erfordert Aktivierungsenergie. Der „Trick“ der Enzyme besteht darin, dass die Bildung des Enzym-Substrat-Komplexes praktisch einen neuen Reaktionsweg eröffnet, dessen Übergangszustand mit deutlich weniger Aktivierungsenergie erreicht wird als bei der unkatalysierten Reaktion. Verantwortlich für den energieärmeren Übergangszustand – und damit für die Wirkungsspezifität des Enzyms, das nur eine ganz bestimmte Reaktion zu katalysieren vermag – sind die Ladungseigenschaften der Aminosäurereste im Aktiven Zentrum, zum Teil auch weitere Wirkgruppen des Enzyms wie Ionen.</p>	
4.1		Stellen Sie die Substratspezifität und die Wirkungsspezifität von Enzymen zeichnerisch dar.	3
4.2		<p>Zeichnen Sie schematisch zwei Enzyme, die jeweils eines der folgenden Substrate umsetzen können.</p>	2

Quelle: 2016 Cornelsen-Verlag GmbH, Berlin

<u>Aufgabe 5: Zusatzaufgabe</u>	E	K 04 – K 05
<p>In vier Reagenzgläsern befinden sich Lösungen jeweils gleicher Konzentration. Glas 1 enthält Guanidin-Lösung, Glas 2 enthält Thioharnstoff-Lösung, Glas 3 und 4 enthalten Harnstofflösung.</p> <p>Zum Inhalt der Reagenzgläser 1–4 wird jeweils die gleiche Menge Urease-Lösung zugefügt; die Urease-Lösung für Glas 4 wurde jedoch zuvor stark erhitzt.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"><div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"><div style="text-align: center;"><p>Guanidin</p>$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{HN}=\text{C} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$</div><div style="text-align: center;"><p>Harnstoff</p>$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{O}=\text{C} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$</div><div style="text-align: center;"><p>Thioharnstoff</p>$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{S}=\text{C} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$</div></div></div>		
<p>Welche Lösung zeigt elektrische Leitfähigkeit, welche nicht? Begründen Sie dies für jeden der vier Versuchsansätze.</p>	4	

Aufgabe: Abi 1987 BW

4.2.3 Einflussfaktoren auf die Enzymaktivität

Mit diesen Aufgaben werden die Kompetenzen 06 – 09 der Ich-kann-Liste überprüft.

	Aufgabe 6:	G	K 06 – K 09																																																											
6	<p>Umweltfaktoren beeinflussen die Aktivität von Enzymen. Da Enzyme Proteine sind, nehmen auch alle Bedingungen, die auf die Struktur von Proteinen wirken, Einfluss auf Enzyme und ihre Aktivität. So wird die Tertiärstruktur von Enzymen vom pH-Wert ihrer Umgebung beeinflusst. Die Tabelle zeigt den Einfluss des pH-Werts auf die Aktivität der Enzyme Pepsin, Lactase und Trypsin in Prozent der maximalen Aktivität. Pepsin ist ein Verdauungsenzym, das im Magensaft zu finden ist und Proteine spaltet. Der pH-Wert des Magensaftes bei vollem Magen liegt bei pH 2 bis 4. Lactase und Trypsin sind im Dünndarm aktiv: Lactase spaltet dort Lactose (Milchzucker) in Galactose und Glucose, Trypsin spaltet Proteine. Im Dünndarm liegt der pH-Wert zwischen 5 und 8.</p>																																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">pH-Wert</th><th colspan="3">Aktivität in %</th></tr> <tr> <th>Pepsin</th><th>Lactase</th><th>Trypsin</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>10</td><td>nicht erfasst</td><td>nicht erfasst</td></tr> <tr><td>2</td><td>64</td><td>nicht erfasst</td><td>nicht erfasst</td></tr> <tr><td>3</td><td>100</td><td>nicht erfasst</td><td>nicht erfasst</td></tr> <tr><td>4</td><td>70</td><td>1</td><td>nicht erfasst</td></tr> <tr><td>5</td><td>12</td><td>28</td><td>nicht erfasst</td></tr> <tr><td>5,5</td><td>nicht erfasst</td><td>nicht erfasst</td><td>1</td></tr> <tr><td>6</td><td>0</td><td>88</td><td>8</td></tr> <tr><td>6,5</td><td>nicht erfasst</td><td>100</td><td>23</td></tr> <tr><td>7</td><td>nicht erfasst</td><td>90</td><td>78</td></tr> <tr><td>7,5</td><td>nicht erfasst</td><td>56</td><td>100</td></tr> <tr><td>8</td><td>nicht erfasst</td><td>8</td><td>95</td></tr> <tr><td>9</td><td>nicht erfasst</td><td>1</td><td>20</td></tr> <tr><td>10</td><td>nicht erfasst</td><td>nicht erfasst</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>			pH-Wert	Aktivität in %			Pepsin	Lactase	Trypsin	1	10	nicht erfasst	nicht erfasst	2	64	nicht erfasst	nicht erfasst	3	100	nicht erfasst	nicht erfasst	4	70	1	nicht erfasst	5	12	28	nicht erfasst	5,5	nicht erfasst	nicht erfasst	1	6	0	88	8	6,5	nicht erfasst	100	23	7	nicht erfasst	90	78	7,5	nicht erfasst	56	100	8	nicht erfasst	8	95	9	nicht erfasst	1	20	10	nicht erfasst	nicht erfasst	1
pH-Wert	Aktivität in %																																																													
	Pepsin	Lactase	Trypsin																																																											
1	10	nicht erfasst	nicht erfasst																																																											
2	64	nicht erfasst	nicht erfasst																																																											
3	100	nicht erfasst	nicht erfasst																																																											
4	70	1	nicht erfasst																																																											
5	12	28	nicht erfasst																																																											
5,5	nicht erfasst	nicht erfasst	1																																																											
6	0	88	8																																																											
6,5	nicht erfasst	100	23																																																											
7	nicht erfasst	90	78																																																											
7,5	nicht erfasst	56	100																																																											
8	nicht erfasst	8	95																																																											
9	nicht erfasst	1	20																																																											
10	nicht erfasst	nicht erfasst	1																																																											
6.1	Stellen Sie die Messwerte aus der Tabelle grafisch dar. Ziehen Sie dazu die Hinweise unten heran.		4																																																											
6.2	Interpretieren Sie die Messergebnisse.		3																																																											

Quelle: 2016 Cornelsen-Verlag GmbH, Berlin

zu	Aufgabe 6:	G	K 06 – K 09	
	<p>Hinweise für die grafische Darstellung von Messwerten:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Überlegen Sie zunächst, welche der dargestellten Größen die unabhängige, vom Experimentator eingestellte Größe ist (Stellgröße) und welche die abhängige, d. h. die gemessene Größe (Messgröße). b) Zeichnen Sie ein Koordinatensystem. An der x-Achse steht die unabhängige Stellgröße, an der y-Achse die abhängige Messgröße. Wählen Sie eine geeignete Einteilung für die Achsen z. B. 1 cm für eine Erhöhung des pH-Werts um 1 und 1 cm für eine Erhöhung der Enzymaktivität um 10 %. c) Tragen Sie zunächst die Messwerte für Pepsin, z. B. mit einem Kreuz, in das Koordinatensystem ein. Beachten Sie dabei, dass jeder Punkt im Koordinatensystem aus zwei Werten besteht, z. B. hat Pepsin bei einem pH-Wert von 4 eine Aktivität von 70 %. d) Prüfen Sie, ob Sie eine Ausgleichskurve zeichnen dürfen. Sie stellt eine Idealkurve dar, die man erhalten würde, wenn man eine unendlich große Anzahl an Messwerten hätte. Sie verbindet also alle Messpunkte. Kann man vorhersagen, dass die nicht ermittelten Werte auf dieser Idealkurve liegen, darf man eine Ausgleichskurve zeichnen. e) Zeichnen Sie nun die Kurven für Lactase und Trypsin in das Koordinatensystem. Verwenden Sie hierfür andere Symbole als für Pepsin (oder eine andere Farbe) und fügen Sie eine Legende hinzu. 			

Aufgabe 7:**E**

K 06 – K 09

Brenztraubensäure (BTS) kann durch verschiedene Enzyme E1 und E2 gemäß folgendem Schema umgesetzt werden:

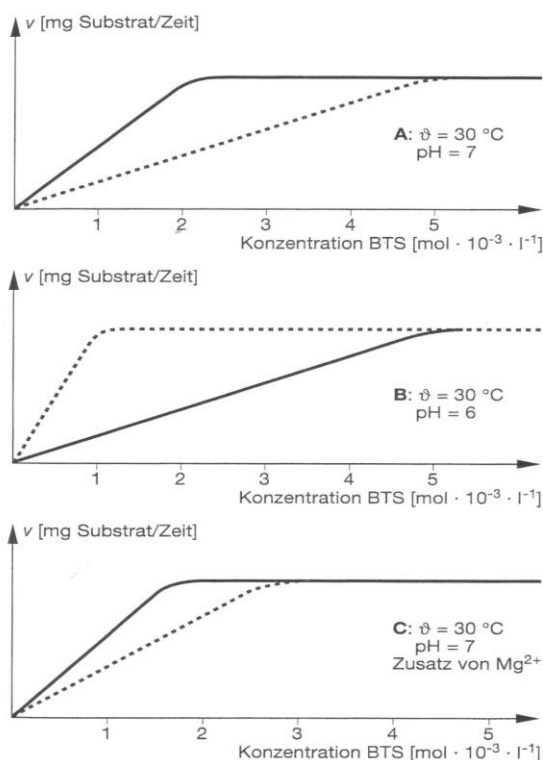


Bei verschiedenen Experimenten erhielt man die in den folgenden Schaubildern dargestellten Ergebnisse.

Brenztraubensäure = Pyruvat**Abb.: Enzymaktivität unter verschiedenen Bedingungen**

..... E 1 (Pyruvatdehydrogenase)

———— E 2 (Pyruvatdecarboxylase)



7.1	Erläutern Sie, wie sich die unterschiedlichen Bedingungen auf die Enzymaktivität auswirken.	2
7.2	Wie wird sich eine Erhöhung der Temperatur um 10 °C und um 30 °C jeweils auswirken? Begründen Sie die Antwort!	2
7.3	Zu welchem Endprodukt wird BTS bevorzugt umgesetzt werden, wenn E1 und E2 in gleich wirksamen Konzentrationen im Gemisch mit BTS unter den Bedingungen von A vorliegen? Begründen Sie Ihre Antwort.	2
7.4	Was müsste man experimentell tun, um bei einem Gemisch entsprechend 7.3 hauptsächlich das andere Reaktionsprodukt zu erhalten?	2

Quelle: Schroedel © Bildungshaus Schulbuchverlage GmbH, Braunschweig

Aufgabe 8: Zusatzaufgabe		E	K 06 – K 09																		
8	Ein Enzym E setzt ein Substrat S zu einem Produkt P um. Untersucht man die Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit vom pH-Wert und stellt die Messwerte grafisch dar, so erhält man folgendes Diagramm.																				
	<div><table><caption>Datenpunkte aus dem Diagramm</caption><thead><tr><th>pH-Wert</th><th>Reaktionsgeschwindigkeit</th></tr></thead><tbody><tr><td>3,5</td><td>5,2</td></tr><tr><td>4,5</td><td>6,1</td></tr><tr><td>4,6</td><td>6,3</td></tr><tr><td>5,2</td><td>5,6</td></tr><tr><td>5,5</td><td>1,4</td></tr><tr><td>6,0</td><td>0,2</td></tr><tr><td>6,5</td><td>0,1</td></tr><tr><td>7,0</td><td>0,1</td></tr></tbody></table></div>	pH-Wert	Reaktionsgeschwindigkeit	3,5	5,2	4,5	6,1	4,6	6,3	5,2	5,6	5,5	1,4	6,0	0,2	6,5	0,1	7,0	0,1		
pH-Wert	Reaktionsgeschwindigkeit																				
3,5	5,2																				
4,5	6,1																				
4,6	6,3																				
5,2	5,6																				
5,5	1,4																				
6,0	0,2																				
6,5	0,1																				
7,0	0,1																				
8.1	Beschreiben Sie den Einfluss des pH-Wertes auf die Aktivität des untersuchten Enzyms. Wie lässt sich ein solcher Kurvenverlauf aus dem molekularen Bau von Enzymen erklären?		2																		
8.2	Stellen Sie grafisch dar, wie sich die Produktmenge im Verlauf der Reaktion bei pH 4,7 und bei pH 5,4 ändert. Gehen Sie davon aus, dass die umgesetzte Substratmenge ständig ersetzt wird. Begründen Sie Ihre Darstellung.		3																		
8.3	Nennen Sie vier Möglichkeiten, die Reaktionsgeschwindigkeit dieser enzymatischen Reaktion beim pH-Wert 4,7 zu verringern.		2																		

Quelle: Abi BW 1994

4.3 Lösungen

4.3.1 Enzyme als Biokatalysatoren

Lö	Aufgabe 1	G	K 01 – K 03	
1.1	Enzyme reagieren mit einem Substrat, d. h. sie gehen mit einem Substrat Bindungen ein. Diese Bindungen werden jedoch wieder gelöst, das Substrat geht aus dieser Reaktion verändert hervor, das Enzym jedoch unverändert. Dies ist ein typischer katalytischer Effekt.			3
	Energetisch bedeutet die Mitwirkung eines Enzyms an einer Reaktion, dass die Aktivierungsenthalpie herabgesetzt wird, die Reaktionsenthalpie allerdings bleibt unverändert. Durch die Herabsetzung der Aktivierungsenthalpie wird ermöglicht, dass die enzymatisch gesteuerte Reaktion schon bei relativ niedrigen (und damit biologisch verträglichen) Temperaturen mit hoher Geschwindigkeit abläuft.			
1.2	Schlüssel-Schloss-Prinzip: Das Enzym geht mit dem Substrat eine metastabile Verbindung ein, einen Enzym-Substrat-Komplex. Das Substrat passt mit seinem reaktiven Molekülbereich in das Aktive Zentrum des Enzyms. Diese sterische Passung ermöglicht es, dass sich reaktiver Substratmolekülbereich und effektiver Enzymmolekülbereich optimal nähern und aufeinander einwirken. Nun können bindende Elektronenpaare beeinflusst und Bindungen gelöst bzw. geschlossen werden. Danach erfolgt eine Ablösung des veränderten Substrats vom Enzym.			3
Lö	Aufgabe 2	E	K 01 – K 03	
2.1	Zeichnung Energiediagramm mit Beschriftung und Einzeichnen der Aktivierungsenergie für die enzymkatalysierte und die nicht-enzymkatalysierte Reaktion, Energieniveau des Substrats und der Produkte; Nettobetrag der Änderung der freien Energie ΔG .			3
2.2	Vergl. 1.1			2
2.3	Im Magen liegt der pH-Wert bei 2–3. Dies hat Auswirkungen auf die Struktur der Amylase, sodass keine optimale Passung von Enzym und Substrat erfolgt. Durch die eingeschränkte Wechselwirkung wird die Enzymwirkung stark vermindert.			2
2.4				3

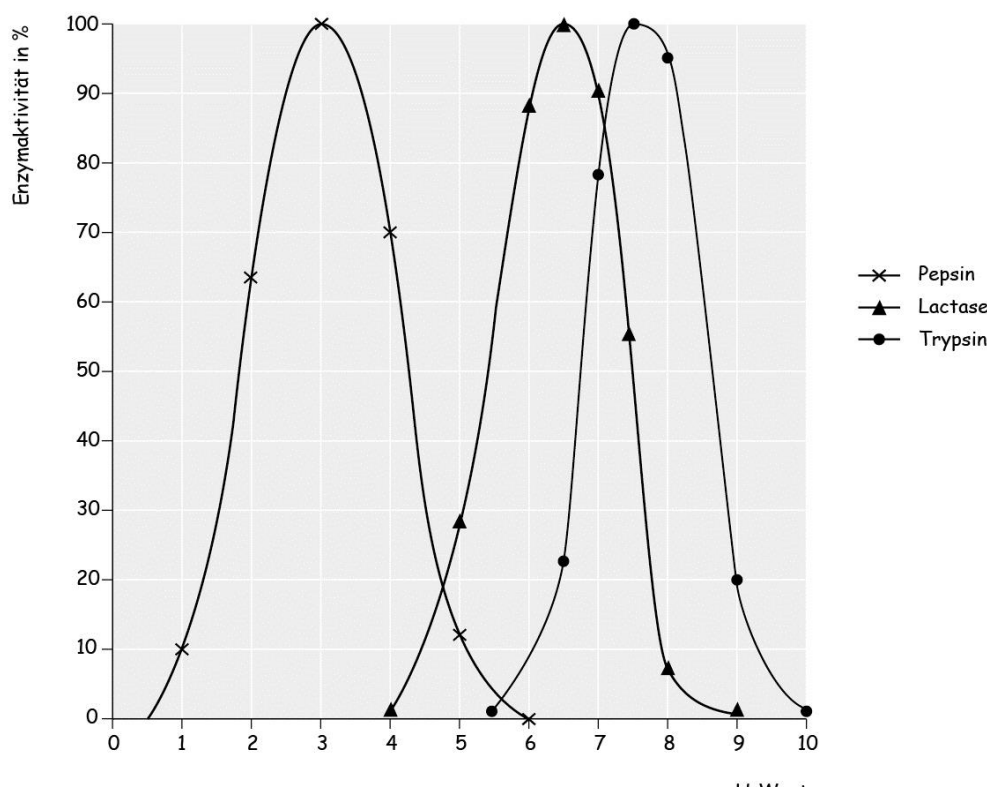
4.3.2 Modellvorstellung zur Wirkungsweise von Enzymen

Lö	Aufgabe 3	G	K 04 – K 05											
3.1	<table><tr><th>Enzymeigenschaft</th><th>Schematische Darstellung</th><th>Beschreibung</th></tr><tr><td>Aktives Zentrum</td><td></td><td>Das Enzym bindet für die Reaktion das Substrat an dieser bestimmten Stelle.</td></tr><tr><td>Wirkungsspezifität</td><td></td><td>Jedes Enzym kann nur eine bestimmte Reaktion katalysieren.</td></tr><tr><td>Substratspezifität</td><td></td><td>Jedes Enzym kann nur ein bestimmtes Substrat - oder einige sehr ähnliche Substrate - umsetzen.</td></tr></table>	Enzymeigenschaft	Schematische Darstellung	Beschreibung	Aktives Zentrum		Das Enzym bindet für die Reaktion das Substrat an dieser bestimmten Stelle.	Wirkungsspezifität		Jedes Enzym kann nur eine bestimmte Reaktion katalysieren.	Substratspezifität		Jedes Enzym kann nur ein bestimmtes Substrat - oder einige sehr ähnliche Substrate - umsetzen.	4
Enzymeigenschaft	Schematische Darstellung	Beschreibung												
Aktives Zentrum		Das Enzym bindet für die Reaktion das Substrat an dieser bestimmten Stelle.												
Wirkungsspezifität		Jedes Enzym kann nur eine bestimmte Reaktion katalysieren.												
Substratspezifität		Jedes Enzym kann nur ein bestimmtes Substrat - oder einige sehr ähnliche Substrate - umsetzen.												
3.2		1												

Lö	Aufgabe 4	E	K 04 – K 05	
4.1	Substratspezifität 	Wirkungsspezifität 		3
4.2				2

Lö	Aufgabe 5: Zusatzaufgabe	E	K 04 – K 05	
	<p>Glas 1 und 2: Es findet keine Umsetzung statt, da die Urease substratspezifisch ist. Es ist somit keine Änderung der Leitfähigkeit zu beobachten.</p> <p>Glas 3: Die Leitfähigkeit wird ansteigen (s. Lösungsteil 2.1).</p> <p>Glas 4: Durch die starke Erhitzung wird das Enzym denaturiert. Es findet somit keine Reaktion statt; die Leitfähigkeit steigt nicht an.</p>			4

4.3.3 Einflussfaktoren auf die Enzymaktivität

Lö	Aufgabe 6:	G	K 06 – K 09																																																					
6.1	 <p>The graph illustrates the pH-activity of three enzymes. The x-axis represents the pH value (pH-Wert) from 0 to 10, and the y-axis represents the enzyme activity in percent (Enzymaktivität in %). The legend indicates: Pepsin (marked with 'x'), Lactase (marked with triangles), and Trypsin (marked with circles).</p> <table><tr><th>pH-Wert</th><th>Pepsin (%)</th><th>Lactase (%)</th><th>Trypsin (%)</th></tr><tr><td>1</td><td>10</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>2</td><td>65</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>3</td><td>100</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>4</td><td>70</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>5</td><td>12</td><td>28</td><td>0</td></tr><tr><td>6</td><td>0</td><td>88</td><td>22</td></tr><tr><td>6.5</td><td>0</td><td>100</td><td>78</td></tr><tr><td>7</td><td>0</td><td>90</td><td>100</td></tr><tr><td>7.5</td><td>0</td><td>55</td><td>100</td></tr><tr><td>8</td><td>0</td><td>7</td><td>95</td></tr><tr><td>9</td><td>0</td><td>0</td><td>20</td></tr><tr><td>10</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr></table>			pH-Wert	Pepsin (%)	Lactase (%)	Trypsin (%)	1	10	0	0	2	65	0	0	3	100	0	0	4	70	0	0	5	12	28	0	6	0	88	22	6.5	0	100	78	7	0	90	100	7.5	0	55	100	8	0	7	95	9	0	0	20	10	0	0	0	4
pH-Wert	Pepsin (%)	Lactase (%)	Trypsin (%)																																																					
1	10	0	0																																																					
2	65	0	0																																																					
3	100	0	0																																																					
4	70	0	0																																																					
5	12	28	0																																																					
6	0	88	22																																																					
6.5	0	100	78																																																					
7	0	90	100																																																					
7.5	0	55	100																																																					
8	0	7	95																																																					
9	0	0	20																																																					
10	0	0	0																																																					
6.2	<p>Die Tertiärstruktur der Enzyme kann vom pH-Wert ihrer Umgebung beeinflusst werden. Enzyme sind deshalb dem pH-Wert des Milieus, in dem sie Reaktionen katalysieren, angepasst. Sie haben ein pH-Optimum, bei dem die Enzymaktivität am größten ist. Pepsin ist ein Verdauungsenzym des Magens. Sein pH-Optimum liegt bei pH 3. Der pH-Wert des Magensaftes bei vollem Magen liegt bei pH 2 bis 4. Damit ist Pepsin seiner Funktion entsprechend an den pH-Wert des vollen Magens angepasst. Lactase und Trypsin sind im Dünndarm aktiv, dessen pH-Wert zwischen 5 und 8 liegt. Mit einem pH-Optimum von 6,5 bzw. 7,5 sind auch diese beiden Enzyme an ihr Milieu angepasst.</p>			3																																																				

Lö	Aufgabe 7:	G	K 06 – K 09	
7.1	Die Enzymaktivität hängt vom pH-Wert ab: E2 arbeitet bei pH 7 rascher als bei pH 6; E1 umgekehrt.			2
7.2	Erhöhung um 10 °C führt zu höherer Reaktionsgeschwindigkeit (RGT-Regel); Erhöhung um 30 °C: kleinere Reaktionsgeschwindigkeit; der Grund hierfür ist die beginnende Denaturierung. Mg^{2+} -Ionen aktivieren offensichtlich E1.			2
7.3	Es entsteht bevorzugt Ethanol, da E2 rascher arbeitet und in gleicher Zeit mehr Substrat umsetzt.			2
7.4	Um möglichst viel Acetyl-CoA zu erhalten, muss der pH-Wert auf 6 abgesenkt und Mg^{2+} -Ionen zugesetzt werden.			2
Lö	Aufgabe 8: Zusatzaufgabe	E	K 06 – K 09	
8.1	Aus der Kurve ist ersichtlich, dass die V_{max} bei pH = 4,7 abläuft. Für die Wirkung der Enzyme (es handelt sich bei diesen meist um Proteine) gilt u. a. die starke Abhängigkeit vom pH-Wert. Kommen Enzyme in ein Medium, dessen pH-Wert geändert wird, so ändert sich bei diesen die Tertiärstruktur. Die Folge ist, dass das Aktive Zentrum verändert wird, sodass die Affinität zum Substrat vermindert oder gar nicht mehr gegeben ist.			2
8.2	In einem Koordinatensystem ist die Produktmenge in Abhängigkeit von der Reaktionszeit aufzutragen. Es sind qualitativ zwei Ursprungsgeraden einzuzeichnen, wobei die steiler verlaufende Gerade (Kurve mit größerer Steigung) dem pH 4,7 und die flacher verlaufende Gerade (Kurve mit kleinerer Steigung) dem pH 5,4 zuzuordnen ist. Da laut Aufgabenstellung die Substratmenge bei beiden Versuchen mit unterschiedlichem pH-Wert konstant ist, werden die entstanden Produktmenge und die Reaktionszeit zueinander direkt proportional sein.			3
8.3	Verringerung der Konzentration von Enzym oder Substrat, Erniedrigung der Temperatur, Zusatz eines Enzymgiftes, allosterische oder kompetitive Hemmung			2

4.4 Feedbackbogen: Präsentation von Arbeitsergebnissen

Für die Präsentation von Arbeitsergebnissen (z. B. Lösungen von Übungsaufgaben) hat sich der folgende Feedbackbogen bewährt. Entscheidend und wichtig ist, dass beim Feedback alle Kriterien angesprochen werden, um eine differenzierte und konkrete Rückmeldungen zu erreichen. Somit kann der Lernende seine Stärken bzw. Defizite erkennen und sich entsprechend weiterentwickeln.

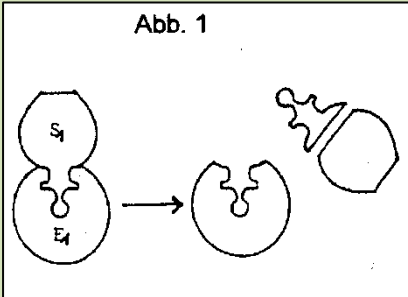
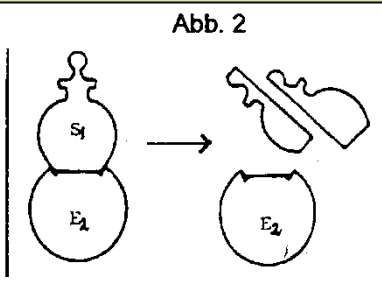
Feedbackbogen: Präsentation von Arbeitsergebnissen

Fachkompetenz	+	-
Gliederung: Gibt es einen roten Faden?		
Wurden alle präsentierten Inhalte verstanden?		
Waren alle präsentierten Inhalte richtig?		
Wurden die wichtigsten Inhalte wiedergegeben?		
Wurde das Thema anschaulich wiedergegeben?		
Wurde ein Praxisbezug hergestellt?		
Eignet sich das Handlungsprodukt zum Lernen?		
Präsentationstechnik	+	-
Wird Blickkontakt mit der Klasse gehalten?		
Wird deutlich, klar und in angenehmer Geschwindigkeit gesprochen?		
Sind Satzbau und Wortwahl richtig?		
Sind Gestik und Mimik motivierend für die Schülerinnen und Schüler?		

Quelle: Antje Eder, Fachdidaktik Agrarwirtschaft am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TU-München

5 Lernreflexion

5.1 Klassenarbeit

Enzyme		Niveau	Punkte																					
1	<p>Die Aktivitätsmessungen zweier Katalysatoren in Abhängigkeit von der Temperatur ergaben folgende Ergebnisse (gemessen in rel. Einheiten = E):</p> <table><tr><td>Temperatur [°C]</td><td>10</td><td>20</td><td>30</td><td>40</td><td>50</td><td>60</td></tr><tr><td>Aktivität Kat. 1 [E]</td><td>3</td><td>5,5</td><td>10</td><td>16</td><td>7,5</td><td>4,5</td></tr><tr><td>Aktivität Kat. 2 [E]</td><td>3</td><td>6</td><td>13</td><td>19</td><td>25</td><td>47</td></tr></table>	Temperatur [°C]	10	20	30	40	50	60	Aktivität Kat. 1 [E]	3	5,5	10	16	7,5	4,5	Aktivität Kat. 2 [E]	3	6	13	19	25	47	I	
Temperatur [°C]	10	20	30	40	50	60																		
Aktivität Kat. 1 [E]	3	5,5	10	16	7,5	4,5																		
Aktivität Kat. 2 [E]	3	6	13	19	25	47																		
1.1	Tragen Sie die oben genannten Messwerte der Katalysatoren 1 und 2 in ein beschriftetes Koordinatensystem ein.	I	2																					
1.2	Erklären Sie anhand des Kurvenverlaufs, bei welchem Katalysator es sich um eine enzymatische Reaktion handeln muss.	I	2																					
1.3	Erklären Sie, weshalb Stoffwechselvorgänge in Zellen durch Enzyme katalysiert werden, indem Sie den Verlauf einer enzymkatalysierten Reaktion einer nichtkatalysierten Reaktion in einer Grafik (vollständige Beschriftung!) darstellen.	I	3																					
2	<p>Welche beiden Enzymeigenschaften werden in Abb. 1 und Abb. 2 gezeigt? Ordnen Sie die entsprechenden Fachbegriffe zu und erläutern Sie kurz!</p> <div><div><p>Abb. 1</p></div><div><p>Abb. 2</p></div></div>	I	2																					

3	Ammoniak (NH_3) ist ein im Stoffwechsel entstehendes Zellgift, das normalerweise durch Bindung an Glutaminsäure beseitigt wird. Diese Reaktion (Abb. 2) wird durch das Enzym Glutaminsynthetase katalysiert.		
---	---	--	--

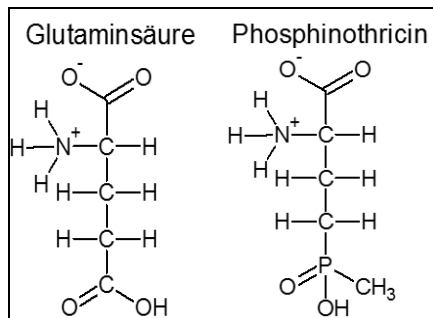


Abb. 1

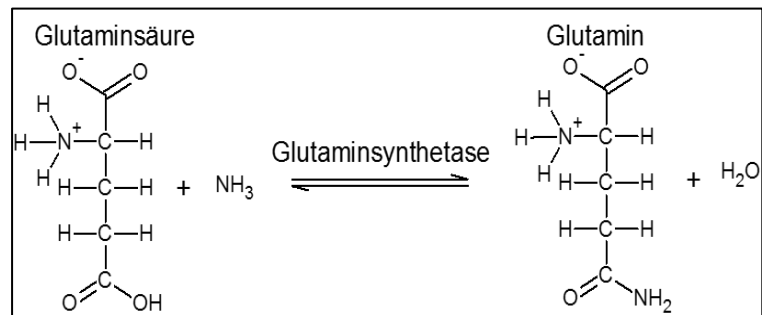
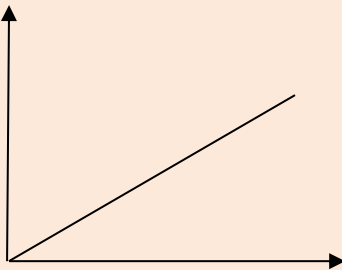
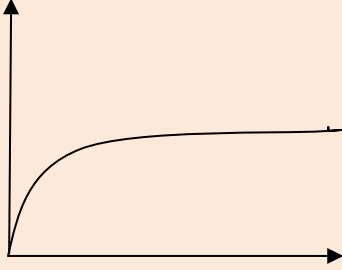


Abb. 2

3.1	Zu welcher Stoffgruppe gehört die Glutaminsäure (Abb. 1)? Begründung!	I	2
3.2	Geben Sie eine mögliche Erklärung, weshalb es bei Anwesenheit von Phosphinothricin (Abb. 1) zu einer Ammoniakvergiftung kommen kann.	II	2
3.3	Die Aktivität von Enzymen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Nennen Sie zwei Möglichkeiten, die Enzymaktivität zu beeinflussen. Erläutern Sie die Wirkung der von Ihnen gewählten Maßnahmen. (Quelle: Abi BW 1994)	I/II	2

4	<p>Bei der Spaltung von Harnstoff ($\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2$) durch Urease wird zunächst Ammoniak und Kohlensäure gebildet. In wässriger Lösung entstehen dabei Ionen, deren Zunahme sich auf den pH-Wert auswirken.</p> <p>In folgender Abbildung sind die Messergebnisse eines Versuchs zur Harnstoffspaltung mittels Urease bis zum Zeitpunkt t_1 wiedergegeben.</p> <p>Der Versuch beginnt bei pH 5 (Zeitpunkt t_0).</p>		
4.1	Erklären Sie den Verlauf der Kurve in der Abbildung (mit Reaktionsgleichung).	II	3
4.2	Erklären Sie, wie man den Versuchsansatz verändern muss, damit der Kurvenverlauf bis t_1 flacher ist? Temperatur und pH-Wert dürfen nicht geändert werden.	II	2

5.1	<p>Begründen Sie, welches der beiden Diagramme die Beziehung zwischen der Reaktionsgeschwindigkeit (y-Achse) und der Substratkonzentration (x-Achse) darstellt.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>A</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>B</p> </div> </div>	II	2
5.2	Beschreiben/Entwickeln Sie ein Experiment, mit dem man beschriebene Beziehung nachweisen kann.	III	3
		Σ	25

5.2 Klassenarbeit – Lösungen

1.1	Zeichnung (1), pro F -05; Exakte Beschriftung mit Einheit (1)	2
1.2	Katalysator 1: Aktivitätsoptimum bei ca. 38 °C und beginnende Wirkungen auf die Tertiärstruktur über 40 °C.	2
1.3	Für eine nicht enzymkatalysierte biochemische Reaktion muss ein hoher Energiebetrag (z. B. Wärme) eingesetzt werden. Enzyme dagegen können die Aktivierungsenergie deutlich herabsetzen, sodass Reaktionen im physiologischen Bereich bei 37 °C ablaufen können. Grafik mit Achsenbeschriftung und Darstellung der unterschiedlichen Energiezustände.	3
2	Substratspezifität: Erläuterung „Schlüssel-Schloss-Prinzip“ Wirkungsspezifität: Ein bestimmtes Enzym kann nur eine spezifische Reaktion katalysieren.	2
3.1	Aminosäuren besitzen am endständigen C-Atom eine Carboxylgruppe, eine Aminogruppe, ein H-Atom und einen Rest.	2
3.2	Aufgrund der ähnlichen Struktur könnte sich Phosphinotricin, ohne abgebaut zu werden, am Aktiven Zentrum anlagern und das Aktive Zentrum des Enzyms blockieren; Ammoniak kann sich nicht anlagern → Ammoniakvergiftung möglich.	2
3.3	z. B. Temperaturerhöhung wirkt sich nach der RGT-Regel positiv auf Reaktionsgeschwindigkeit aus. Veränderung des pH-Wertes hin zum Optimum kann die Umsatzrate erhöhen.	2
4.1	$\text{H}_2\text{N-CO-NH}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{NH}_3$ $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ $2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NH}_4^+ + 2 \text{OH}^-$ Der pH-Wert steigt deshalb an, weil pro Mol Harnstoff in der Bilanz doppelt so viele OH^- entstehen wie H_3O^+ .	3
4.2	Verminderung der Enzymkonzentration führt zwangsläufig zu einer verlangsamten Harnstoffspaltung und damit zu einem langsameren Anstieg des pH-Wertes.	2
5.1	B, weil nach einer gewissen Zeit alle Enzyme durch Substrate „abgesättigt“ sind (= Sättigungskurve).	2
5.2	Unter sonst gleichen Bedingungen werden verschiedenen Reagenzgläsern unterschiedliche Substratmengen zugegeben. Nach einer festgelegten Zeitspanne werden entweder die entstehenden Produkte bzw. Nebenprodukte oder die verbrauchte Substratmenge gemessen. Daraus lässt sich die Reaktionsgeschwindigkeit ableiten.	3

5.3 Selbsteinschätzung: Vor und nach der Klassenarbeit

Die folgende Checkliste soll Ihnen helfen, Ihre eigene Leistungsfähigkeit besser einschätzen zu lernen, Schwachstellen in der Vorbereitung zur Klassenarbeit aufzudecken und Verbesserungsmöglichkeiten zu erarbeiten/zu finden.

A: VOR der Klassenarbeit

	sehr	teilweise	kaum	gar nicht
Ich habe mich zu Hause intensiv auf die Klassenarbeit vorbereitet.				
Ich hatte nach dem Lernen das Gefühl, dass ich alle Inhalte verstanden hatte.				
Die Klassenarbeit fand ich im Vergleich zu den vorher behandelten Inhalten schwierig.				

Ich habe mich folgendermaßen auf die Klassenarbeit vorbereitet:

Ich habe zur Vorbereitung ungefähr _____ Stunden aufgewendet.

Für diese Klassenarbeit erwarte ich die Note _____.

B: NACH der Klassenarbeit

Wenn die erreichte erheblich von der erwarteten Note abweicht (mindestens eine Note), schauen Sie Ihre Arbeit ganz genau durch. In welchem Bereich/welchen Bereichen haben Sie die meisten Fehler gemacht? Wo waren Sie viel besser als erwartet?

Wenn Sie schlechter als erwartet waren: Lag der Grund für die Abweichung in der Vorbereitung? Wenn ja, schreiben Sie auf, was Sie hätten anders machen können:

Gibt es Bereiche, in denen Sie Hilfe brauchen? Wer/was kann helfen?

Welche anderen Gründe könnte die Abweichung haben?

Lernberatung: erwünscht _____ nicht erwünscht _____

Name: _____ Datum: _____

Handzeichen der Lehrkraft: _____

6 Schlussfeedback

		Ja	Nein
1	Der benotete Wiederholungstest „Proteine“ zu Beginn der Unterrichtseinheit „Enzyme“ erleichterte das Verständnis für die Wirkungsweise von Enzymen.		
2	Der Eingangstest „Enzyme“ war zur Einschätzung meiner Vorkenntnisse hilfreich.		
3	Die ICH-KANN-LISTE vor der Klassenarbeit erleichtert die Vorbereitung zur Klassenarbeit.		
4	a Ich finde es gut, wenn ich von meinen Mitschülerinnen und Mitschülern ein Feedback bekomme z. B. wenn ich etwas vortrage/präsentiere .		
	b Ich finde es gut, wenn ich von meinen Mitschülerinnen und Mitschülern ein Feedback bekomme z. B. über mein Verhalten/meine Arbeitshaltung in der Gruppe.		
	c Durch die Mitglieder der Feedbackgruppe fühlte ich mich gestört.		
	d Mir ist es am liebsten, wenn die Lehrkraft das Feedback gibt.		
5	Die Aufgabe in der Feedbackgruppe fand ich sinnvoll. (Nur zu beantworten, wenn man in der Feedbackgruppe war)		
6	a Die Gruppenarbeit mit Aufgaben unterschiedlicher Niveaustufen fand ich gut.		
	b Übungsaufgaben vor der Klassenarbeit in Gruppenarbeit zu bearbeiten finde ich gut.		
7	a Ich denke, durch regelmäßiges Feedback kann ich meine fachlichen Leistungen verbessern. Hier gehört auch das Präsentieren dazu!		
	b Ich denke, durch regelmäßiges Feedback kann ich meine Sozialkompetenz (z. B. Zusammenarbeit in der Gruppe; Rücksichtnahme ...) verbessern.		
	c Ich denke, durch regelmäßiges Feedback kann ich meine Selbstkompetenz (Engagement, Durchhaltevermögen, Freundlichkeit ...) verbessern.		
8	Es hilft mir, mich besser einzuschätzen, wenn ich mein Leistungsvermögen zunächst selbst einschätze (z. B. vor der Klassenarbeit).		
9	Selbständig etwas zu erarbeiten finde ich wichtig.		
10	Die verschiedenen Experimente zu Enzymen habe ich gern gemacht.		
11	In der Gruppe arbeite ich gern.		
12	Wissenschaftler haben herausgefunden, dass regelmäßiges Feedback das Leistungsvermögen von Einzelpersonen/Teams im Betrieb und in der Schule verbessert. Sind Sie der Meinung das stimmt?		