

Mia Muster
Studienreferendarin

Entwurf zur 2. Prüfungslehrprobe

Fach: Biologie
Ausbildungsschule: Mustergymnasium, Musterheim
Klasse: 10a
Raum: R34
Zeit: 5. Stunde (11.25 – 12.10 Uhr)
Datum: DD.MM.YY
Prüfungsvorsitz: Frau OStD' Vorsitzende
Seminarleitung: Herr StD Leiter
Fachleiter: Herr StD Spezialist
Schulleitung: Herr StD Direx
Ausbildungsleiter: Herr StD Hauptmann
Fachlehrer: Herr OStR Biolehrer

Thema: Einführung in die Wirkungsweise von Enzymen

M. Muster

A Lernziele (Kompetenzbereiche aus Bildungsstandards fehlen!)

A.1 Groblernziel

Die Schüler sollen die Wirkungsweise von Enzymen mit Substrat- und Wirkungsspezifität (Produktspezifität) am Beispiel des enzymatischen Abbaus von Stärke erklären können.

A.2 Feinlernziele

Hierzu sollen sie

- die Verdauungsvorgänge im Mund schildern (können)
- die Rolle von Ptyalin bei der Verdauung kennzeichnen (können)
- einen Versuch zur Demonstration von Substrat- und Wirkungsspezifität durchführen (und in ein Modell übertragen) (können)
- die Produkte des Stärkeabbaus mit Ptyalin und Amyloglucosidase nennen (können)
- die Beteiligung mehrerer Enzyme beim Stärkeabbau begründen (können)
- fachgemäße experimentelle Arbeiten anwenden (können)

1.1 Bemerkungen zur Klasse

Ich hospitiere und unterrichte in der Klasse 10a seit Januar 20XX unter Anleitung von Herrn Biolehrer. Die Klasse besteht aus 13 Schülerinnen und 10 Schülern (soweit nicht anders vermerkt im Weiteren als Schüler zusammengefasst). Von diesen Schülern beteiligen sich ca. 5 vergleichsweise konstant und engagiert am Unterrichtsgeschehen. Ihre Mitarbeit, die im guten bis sehr guten Bereich zu bewerten ist, treibt den Unterricht voran.

Dagegen sind 5-6 andere Schüler nur schwer dazu zu bewegen aus eigener Initiative den Unterricht mitzugestalten. Durch direkte und gezielte Ansprache können jedoch auch diese Schüler in der Regel (sehr) gute und in den Unterricht integrierbare Beiträge leisten. Das Potential dieser Schüler zeigt sich unter anderem in ihren nicht verbalen Leistungen wie z.B. im Rahmen von Hausaufgabenüberprüfungen. Das Leistungsbild der bisher beschriebenen und den restlichen Schülern wird durch die Ergebnisse der letzten Hausaufgabenüberprüfung (zum Themenkomplex „Blutkreislauf“) gut wiedergegeben.

1	2	3	4	5	6	Ø	Notenspiegel
4	6	3	5	3	-	2,9	

Obwohl der Notenspiegel nur als Momentaufnahme betrachtet werden kann und sollte, wird die in der Klasse vorhandene Spitzengruppe, sowie das Fehlen eines „Mittelfeldes“ mit Leistungen im befriedigenden Bereich und das Vorhandensein einer Gruppe tendenziell leistungsschwächerer Schüler gut widerspiegelt. Die Leistungsdefizite Letzterer beruhen zum Einen auf einer unzureichenden Mitarbeit im Unterricht, zum Anderen auf einer zu geringen Auseinandersetzung mit den Inhalten im Rahmen der Nachbereitung des Unterrichts (z.B. bei den Hausaufgaben). Dies hat zur Folge, dass diesen Schülern

Fachbegriffe nicht geläufig sind und dadurch bedingt komplexere Zusammenhänge nur unvollständig wiedergegeben bzw. verinnerlicht werden können. Bei einigen sind zusätzlich generelle Probleme im Umgang mit anspruchsvolleren Fragestellungen und Themenkomplexen auszumachen.

Disziplin- oder Verhaltensprobleme beschränken sich auf eine Schülerin, die nicht zuletzt durch einen dem Alter völlig unangemessenen (jedoch bewusst eingesetzten) Sprachstil auffällt. Im Hinblick auf präzise, fachgemäße Formulierungen und der eigenständigen Verknüpfung von neuem und bekanntem Wissen bieten die Schüler ein heterogenes Bild. So zeigen auch stärkere Schüler Schwächen bei der detaillierten und korrekten verbalen Erläuterung eigentlich verstandener Zusammenhänge. Bei einigen Schülern bestehen Schwierigkeiten bei der Aktivierung von Vorwissen aus bisher behandelten biologischen Themengebieten oder gar fachübergreifender Art. Es muss jedoch erwähnt werden, dass trotz der beschriebenen Sachverhalte die Stimmung in der Klasse als entspannt und die Arbeitseinstellung bzw. Atmosphäre durchaus als sehr produktiv bezeichnet werden kann. In Phasen der Partnerarbeit motivieren und unterstützen stärkere Schüler schwächere aus eigenem Antrieb. Deshalb ist auch die Bearbeitung von Themen mit höheren Anforderungen bezüglich z.B. logischer Kombinatorik von Einzelaspekten (z.B. aus Experimenten) mit den Schülern möglich, wenn die oben beschriebenen Problemfelder durch entsprechende Aufbereitung der Informationen berücksichtigt werden. Gerade im zu behandelnden Themenbereich bieten sich über die Biochemie immer wieder Anknüpfungspunkte an Inhalte der Chemie, meinem zweiten Fach.

1.2 Bemerkungen zum Lehrer (fehlen!)

1.3 Organisatorische Voraussetzungen

Im Normalfall finden die Unterrichtsstunden im Klassensaal R34 statt, was im Hinblick auf Schülerexperimente zu starken Einschränkungen und einem hohen Vorbereitungsaufwand führt. Bestimmte Schülerexperimente können unter den gegebenen Umständen nur dann durchgeführt werden, wenn ein Saaltausch möglich ist. So ist an den Plätzen keine Versorgung mit Wasser und/oder Energie vorhanden. Die Oberflächen der Tische bedingen auch im Rahmen kleinerer Experimente das Risiko von Schäden durch z.B. als Katalysator eingesetzte Säuren. Die aus diesen Gegebenheiten im Schulalltag resultierende Tendenz, größere Schülerexperimente nur in begrenztem Umfang einzuplanen, bedingt einerseits ein großes Interesse an der Durchführung praktischer Arbeiten seitens der Schüler, andererseits aber gleichzeitig ein Defizit an experimenteller Erfahrung bezüglich organisatorischer und manueller Fertigkeiten. Deshalb kann die eigenständige Organisation und Durchführung auch kleinerer Experimente nicht als Routine betrachtet werden.

2 Fachwissenschaftliche Bemerkungen

Grundlegende Erkenntnisse zum Aufbau, der Wirkungsweise und Eigenschaften von Enzymen (katalytisch aktive Proteine) wurden bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts gewonnen. Durch die Fortschritte im Bereich der Gentechnik können Enzyme (für Forschung und Anwendung) gezielt verändert werden. Deshalb nimmt die Enzymatik auch in der aktuellen Forschung eine bedeutende Rolle ein. Der Einbezug von Details und neuester Erkenntnisse in die fachwissenschaftlichen Bemerkungen im Rahmen eines Lehrprobenentwurfes würde den Umfang einer sinnvollen Sachanalyse übersteigen. Ich beschränke mich deshalb auf eine den Stundenzielen genügende Zusammenfassung.

Die Wirkungsweise der Enzyme als Biokatalysatoren unterliegt den allgemein gültigen thermodynamischen Gesetzen. So sind Enzyme nicht in der Lage, chemische Gleichgewichte und deren freie Energie zu verändern. Sie können jedoch z.B. Stoffwechselreaktionen beschleunigen, indem sie die benötigte Aktivierungsenergie herabsetzen. Dies geschieht in der Regel dadurch, dass Enzyme energetisch günstigere Übergangszustände ermöglichen. Dadurch wird die Reaktion beschleunigt, die energetische Gesamtbilanz der Reaktion bleibt jedoch unverändert.

Die Katalyse erfolgt letztlich durch direkte Wechselwirkung des Enzyms mit den an der Reaktion beteiligten Stoffen. Diese Tatsache und der allen Polypeptiden gemeinsame Aufbau aus Aminosäuren bestimmen einige grundlegende und charakteristische Eigenschaften der Enzyme und ihrer Wirkungsweise als Biokatalysatoren. Die in der Aminosäuresequenz begründete Primär-, Sekundär- und ggf. auch Tertiärstruktur bedingt die Form bzw. Konformation des Enzyms. Die chemischen Eigenschaften der Aminosäuren führen dazu, dass die Struktur bzw. Form des Makromoleküls zusätzlich vom pH-Wert, der vorliegenden Salzkonzentration und der Temperatur abhängig ist. Zusätzlich zu diesen Faktoren kann die Struktur eines Enzyms auch durch z.B. Phosphorylierung sowie Reduktion bzw. Oxidation einzelner Aminosäuren oder Wechselwirkung mit anderen Molekülen verändert werden. Dies ist deshalb von zentraler Bedeutung, da sich über die Molekülstruktur viele Eigenschaften der Enzyme erklären lassen.

So sind Enzyme z.B. substratspezifisch, katalysieren also nur Reaktionen bestimmter Edukte (Stoffe). Diese Eigenschaft wird in der Literatur oft mit dem Schlüssel-Schloss-Prinzip erklärt. Nach dieser Betrachtung kann eine Wechselwirkung des Enzyms mit den Stoffen nur dann stattfinden, wenn beide Partner zueinander „passen“. Auf molekularer Ebene findet diese Betrachtung ihre Begründung im Vorhandensein eines sog. aktiven Zentrums, der katalytisch aktiven Region des Enzyms. In Abhängigkeit von der eigenen Molekülstruktur und der räumlichen Struktur des entsprechenden Enzyms können dort nur bestimmte Stoffe anbinden. Die Substratspezifität beruht demnach auf der Passgenauigkeit des Substrats ins aktive Zentrum des Enzyms. Nach dem komplexeren „induced fit“-Modell kann sich die Passgenauigkeit auch erst durch Wechselwirkung eines Substrats

mit dem aktiven Zentrum und dadurch bedingte Konformationsänderungen ergeben. Nach Umsetzung der Substratmoleküle in der vom Enzym katalysierten Reaktion und damit einhergehenden Änderungen der Molekülstruktur verlassen entstandene Produkte das aktive Zentrum. Das Enzym ist wieder frei für die Anbindung neuer Substratmoleküle. Wie oft dieser Zyklus pro Zeiteinheit unter Substratsättigung abläuft kann der sog. Wechselzahl entnommen werden.

In diesen Modellen lässt sich die Beeinflussung der Enzymaktivität durch Salz und den pH-Wert mit deren Einfluss auf die räumliche Struktur von Polypeptiden erklären. Der Einfluss der Temperatur ist in diesem Kontext unter zwei verschiedenen Aspekten zu betrachten. Zum Einen führt eine Temperaturerhöhung dazu, dass mehr Substratmoleküle die für die jeweilige Reaktion notwendige Energie aufweisen, zum Anderen beeinflusst die Temperatur die Struktur des Enzyms. Letzteres kann deutlich an der thermischen Denaturierung von Enzymen und allg. Proteinen beobachtet werden. Unter Einbezug dieser Überlegungen lassen sich die folgenden Charakteristika von Enzymen plausibel erklären:

- pH- und Temperatur-Abhängigkeit, das Auftreten von Optima
- Abhängigkeit der Aktivität von der Zusammensetzung des Mediums
- Substrat- und Wirkungsspezifität / Reaktionsspezifität

Die Abhängigkeit der messbaren Reaktionsgeschwindigkeit von Substrat- und Produktkonzentration lässt sich zum Einen über die statistische Wahrscheinlichkeit der Anbindung des Substrats an das Enzym erklären. Zum Anderen folgt dies jedoch auch daraus, dass der beobachtbare Reaktionsablauf und die messbare Geschwindigkeit von den im Gleichgewicht der Reaktion zu erwartenden und den aktuell vorliegenden Edukt- und Produktkonzentrationen abhängt, da Enzyme sowohl Hin- als Rückreaktion katalysieren. Zur Betrachtung und Berechnung der Kinetik enzymatisch katalysierter Reaktionen wurden verschiedene Modelle (z.B. nach Michaelis-Menten) entwickelt.

Auch die Wechselwirkung von Enzymen mit anderen, nicht als Substrat relevanten Molekülen, kann einen Einfluss auf die Enzymaktivität haben. Dabei werden Aktivatoren, Inhibitoren, Cofaktoren und Coenzyme unterschieden, deren Interaktion mit dem Enzym nicht zwingend durch passgenaue Bindung am aktiven Zentrum erfolgt. Vielmehr kann auch die Bindung an anderen Regionen eine Änderung der Enzymstruktur und damit auch der Enzymaktivität bedingen. Zur detaillierten Betrachtung der Regelung und Beeinflussung von Enzymaktivitäten sei auf die in großem Umfang vorhandene Fachliteratur verwiesen. Dieser Themenkomplex spielt nicht zuletzt bei der Entwicklung neuer Medikamente (wie z.B. Antibiotika, Betablocker etc.), welche sehr häufig gezielt die Aktivität von Enzymen beeinflussen, eine zentrale Rolle.

Die Benennung von Enzymen erfolgte früher in Anlehnung an Substrate und Wirkungsmechanismus. Heute existieren strenge Kriterien zur Benennung und Klassifizierung.

Amylase und Amyloglucosidase (beide kommen als Endolasen im Menschen vor, letztere als α -Glucosidase) zählen zu den Hydrolasen, welche chemische Bindungen unter Anlagerung bzw. Abspaltung von Wasser spalten oder knüpfen. Beide spalten α -1,4-Verknüpfungen zwischen Glucosemolekülen, wobei Amylase Maltase und Grenzdextrine erzeugt, Amyloglucosidase hingegen Glucose-Monomere liefert.

3 Didaktische Analyse

3.1 Einordnung im Lehrplan

Der Lehrplan sieht in der 10. Klasse die Behandlung des Themas „Stoffwechsel“ vor. Dabei ist im Rahmen des Komplexes „Baustoffwechsel“ die Behandlung von Enzymen explizit vorgegeben. Des Weiteren wird auf die Durchführung von *in-vitro* Enzymreaktionen hingewiesen. Es sei hier auch erwähnt, dass lt. Lehrplan für die Sekundarstufe II im Pflichtbaustein „Molekulare Grundlagen“ ein Überblick über Bau, Funktion und Wirkungsweise von Enzymen vermitteln soll, weshalb Details dort behandelt werden können.

3.2 Einordnung in die Reihe und Vorkenntnisse der Schüler

Die derzeitige Unterrichtsreihe „Ernährung und Stoffwechsel“ schloss sich an die Reihe „Blutkreislauf und Blut“ an, die mit einer Analyse der Blutbestandteile und -zellen endete. Der Einstieg in die aktuelle Unterrichtsreihe erfolgte in Anlehnung daran über die Betrachtung von missgebildeten Erythrocyten, einer Folge von Vitamin C und E Mangel. An weiteren Beispielen von Mangelkrankungen wurde die Bedeutung von Vitaminen bzw. Mineralien, ihre Zufuhr durch die Nahrung und die Notwendigkeit der Aufnahme von Brenn- und Baustoffen thematisiert, deren Fehlen ebenfalls zu Mangelkrankungen (z.B. Marasmus) und letztlich zum Tod führt. Über die Frage, wie der tägliche Bedarf an Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen gedeckt werden kann und den Nachweis einiger dieser Stoffe, wurden die jeweiligen Hauptquellen und daraus hergestellte Lebensmittel behandelt. Die Frage, mit welchen von diesen Nährstoffen wir den tatsächlichen Bedarf unseres Körpers an Makroelementen (P,O,N,S,C,H) decken, führte zur Betrachtung des molekularen Aufbaus von Amylose (als Stärke, didakt. reduziert), und einer kurzen Betrachtung des prinzipiellen Aufbaus von Fetten und Proteinen. Der Enzymbegriff wurde noch nicht eingeführt, eventuell besitzen einige Schüler jedoch Vorkenntnisse aus der Orientierungsstufe bzw. Informationen aus außerschulischen Quellen (Diabetes, Lactose-Intoleranz).

3.3 Auswahl der Lerninhalte

(3.3 – 3.5 in der Vorgabe des Seminars, in der Aktuellen Form trennen!)

Die Wirkungsweise der Enzyme als Biokatalysatoren wird, wie in der Sachanalyse bereits dargelegt, von mehreren Faktoren beeinflusst, deren Kenntnis für ein detailliertes Verständnis von enzymatischen Reaktionen essentiell ist. Die einzelnen Einflussfaktoren und die ihnen jeweils zugrunde liegenden genauen Mechanismen sind jedoch in einer 10. Klasse nicht oder nur sehr eingeschränkt vermittelbar. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass dazu notwendige chemische bzw. physikalische Vorkenntnisse fehlen. Weder das Massenwirkungsgesetz noch die detaillierte Energetik von Reaktionsverläufen wurden bis zur 10. Klasse behandelt. Des Weiteren sind auch der molekulare Aufbau und die dadurch bedingten Eigenschaften aller beteiligten Stoffe und Moleküle nicht bzw. nur im Ansatz bekannt. Mathematische Grundlagen zu einer statistischen Betrachtung der Reaktionskinetik können ebenfalls nicht vorausgesetzt werden. Die Betrachtung der Enzyme als Eiweiße ist unter Berücksichtigung der Vorkenntnisse der Schüler nicht zu empfehlen, im Rahmen des vorgegeben Stundenthemas jedoch auch nicht notwendig.

Aus diesen Überlegungen geht hervor, dass z.B. die Erklärung der Abhängigkeit der Enzymaktivität von Temperatur und pH-Wert nicht auf molekularer Ebene erfolgen kann. Diese real existierenden und gut zu beobachtenden Eigenschaften von Enzymen könnten, wenn überhaupt möglich, nur schwer auf einem einfachen, für die Schüler nachvollziehbaren Niveau gedeutet werden.

Die Beobachtung der für Katalysatoren charakteristischen Aspekte der Absenkung von erforderlichen Aktivierungsenergien und Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit ist in praktischen Experimenten gut möglich. Für die Schüler ergeben sich dessen ungeachtet Schwierigkeiten bei der Deutung der Ergebnisse. So kann z.B. in einem vergleichsweise einfachen Experiment Amylose bei Raumtemperatur mit Amylase abgebaut werden. Ohne Enzym ist die Reaktionsgeschwindigkeit bei Raumtemperatur so langsam, dass kein Abbau beobachtet werden kann. Durch mehrfaches Kochen kann indessen auch ohne Enzym die Hydrolyse erreicht werden. Den Schülern sollten in der 10. Klasse zwar endotherme und exotherme Reaktionen aus dem Chemieunterricht (Oxidations- und Reduktionsreaktionen) bekannt sein. Aufgrund des Fehlens entsprechender und gut zu beobachtender Indizien für eine exotherme (exergonische) Reaktion wäre für die Schüler in diesem System jedoch nicht erkennbar, dass es sich um eine exotherme Reaktion handelt. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die Reaktion (Aufkochen) als endergonisch eingestuft würde. Dies wiederum hätte vermutlich eine Interpretation als Veränderung der Energiebilanz der Gesamtreaktion durch das Enzym zur Folge. An diesem Beispiel wird auch deutlich, dass die Bedeutung eines Katalysators auf den vorhandenen Kenntnissen aufbauend schwer erarbeitet werden kann.

Im Gegensatz dazu ist eine Betrachtung des Einflusses von kompetitiven Hemmstoffen (ggf. andere und Aktivatoren) sowie der Substrat- und Produktspezifität (also Wirkungsspezifität) durchaus ohne vergleichbare Probleme und evtl. auch auf einer

(abstrahierten) molekularen Ebene möglich. Dazu müsste nur der Aspekt der räumlichen Struktur, also der Form, in den Vordergrund gestellt werden. Das Verständnis dieser Punkte kann durch Einsatz geeigneter Materialien und Modelle mit entsprechender Struktur und Form erleichtert werden. Es erscheint mir deshalb sinnvoll, sich auf diese Gesichtspunkte zu beschränken, die phänomenologisch gut zu beobachten und mit den vorhandenen (ggf. auszubauenden) Kenntnissen von den Schülern erklärbar sind.

Die für diese Betrachtungen einzusetzenden Enzyme sollten einen möglichst großen Schülerbezug aufweisen, es bieten sich demnach z.B. im Menschen aktive Enzyme an. Sie sollten in Experimenten gut zu handhaben sein sowie gut zu „beobachtende“ Reaktionen katalysieren. Letztlich sollten die Enzyme aufgrund der Einbindung in die Unterrichtsreihe auch sinnvoll in den Themenkomplex „Ernährung und Verdauung“ integrierbar sein. Eine Thematisierung von Enzymen in Waschmitteln als zentralem Punkt der Stunde erscheint deshalb wenig sinnvoll, könnte als Vertiefung jedoch durchaus dienlich sein. Die im Speichel des Menschen vorhandene Amylase Ptyalin, erfüllt hingegen viele der geforderten Punkte. Sie ist leicht zugänglich, die Beteiligung von Amylase ermöglicht über die den Schülern bereits bekannte Iod-Färbung eine gute Beobachtung und Interpretation. Mit Hilfe des ebenfalls bereits durchgeführten Einsatzes von Glucose-Teststäbchen können von den Schülern auch Aussagen zum (nicht) entstehenden Produkt gemacht werden. Die in diesem Kontext einzusetzende Stärke erlaubt im Gegensatz zu den anderen Nährstoffen (Fette und Proteine) auch eine deutliche Betonung bzw. leichtere Erkenntnis der Notwendigkeit der Verdauung. Im Gegensatz zu Stärke sind nach dem Kenntnisstand der Schüler nämlich sowohl Fette als auch Proteine im Blut enthaltene Komponenten. Dass die dort vorhandenen Stoffe in der Regel nicht den aufgenommenen Nährstoffen entsprechen, ist den Schülern aber nicht zwingend bekannt. Zur Verwertung muss Stärke deshalb auch für die Schüler einsehbar metabolisiert werden. Eine Untersuchung der Wirkung von Lipasen oder Proteinasen wäre experimentell weniger gut möglich. Entsprechendes gilt für die in letzter Zeit immer stärker auch der breiten Öffentlichkeit bekannten Lactase. Die immer intensivere öffentliche Diskussion des Phänomens der Lactose-Intoleranz und das Aufkommen von immer mehr Lactose freien Lebensmitteln bietet nichts desto trotz einen direkten Alltagsbezug. So sind Lactose abbauende Enzyme seit geraumer Zeit auch in Apotheken erhältlich. Am Phänomen der Lactose-Intoleranz wird die essentielle Bedeutung der Enzyme (nicht nur im Kontext der Verdauung) deutlich erkennbar. Experimentell oder in Selbsterarbeitung lässt sich für Schüler leider jedoch nur schwer ein Zugang bzw. Anknüpfungspunkt zu diesem Beispiel finden. Am Beispiel des Abbaus von Amylose durch Ptyalin kann prinzipiell die Aktivität von Enzymen gezeigt und erschlossen werden. Versuche, mit dem im Speichel enthaltenen Ptyalin z.B. auch Protein abzubauen, verlaufen negativ, was den Schülern den Zugang zur Substratspezifität von Enzymen ermöglichen sollte. Aus den dabei zu erzielenden Beobachtungen erschließt sich den Schülern das

Schlüssel-Schloss-Modell jedoch nicht. Hierzu müssen dieser Modellbetrachtung entsprechende Hilfen eingesetzt werden, an denen im Idealfall auch die Reaktion des Enzyms und damit auch die Wirkungsspezifität nachvollzogen werden kann.

Eine korrekte Vermittlung von Substrat- und Wirkungsspezifität ist selbst in der Oberstufe schwierig. Dazu müssten z.B. bifunktionelle Enzyme und/oder Restriktionsenzyme mit variablen Erkennungssequenzen eingehend thematisiert werden. Die Wirkungsspezifität lässt sich auf einem der 10. Klasse angebrachten Niveau dadurch erschließen, dass die in den katalysierten Reaktionen entstehenden Produkte für ein Enzym charakteristisch sind. Die dabei gemachte didaktische Reduktion kann unter den gegebenen Umständen vertreten werden. Von den Schülern könnte dieser Sachverhalt dadurch einsehbar werden, dass das gleiche Substrat von verschiedenen Enzymen umgesetzt wird und die entstehenden Produkte verglichen werden. Mit den den Schülern zur Verfügung stehenden Kenntnissen und Mitteln ist neben dem Abbau von Stärke durch Ptyalin die Umsetzung mit Amyloglucosidase machbar, bei der als Produkt keine Maltase oder Grenzdextrine, sondern Glucose-Monomere entstehen. Diese können von den Schülern mit Glucose-Teststreifen nachgewiesen werden und der nicht vorhandenen Glucose in den Ansätzen mit Ptyalin gegenüber gestellt werden.

4 Methodische Überlegungen

Aufgrund des guten experimentellen Zugangs und der Anschaulichkeit des Schlüssel-Schloss-Modells würde sich das Thema der Lehrprobenstunde auch gut in der Unterrichtsform des Stationenlernens erschließen lassen. In idealer Weise könnte die Wirkungsweise der Enzyme unter Einsatz von bereits vorhandenem Vorwissen von den Schülern eigenständig bearbeitet werden. Aufgrund der Vorgaben für die Durchführung der Lehrprobenstunde kann ein solcher Ansatz jedoch nicht realisiert werden. Dennoch sollen in der vorliegenden Planung - wann immer möglich - sich bietende Vorteile durch Orientierung der Vorgehensweise an den Zielen des Stationenlernens und dessen Prinzipien genutzt werden. Deshalb müssen einzelne Phasen wie z.B. bei der Sicherung von Ergebnissen ggf. straffer geführt und konzipiert werden, um andererseits Phasen mit einem hohen (Zeit)-Anteil an eigenständiger Schüleraktivität zu ermöglichen.

Der Einstieg in die Stunde sollte zeitökonomisch zum Thema bzw. zur Auseinandersetzung mit den Unterrichtsinhalten führen und deshalb schnell auf das zentrale Problem des Vorhandenseins von Zucker (Glucose) im Blut, obwohl doch Stärke aufgenommen wird, hinführen. Ein Text oder Video, zur Vorgabe dieser Tatsache z.B. im Kontext von Diabetes wäre aufgrund der komplexen Zusammenhänge zu zeitintensiv. Aufgrund der vorhandenen Vorkenntnisse sollte eine Hinführung durch einfache verbale Thematisierung dieser Tatsache bzw. „Diskrepanz“ möglich sein. Der zusätzliche Einsatz einer graphischen Dar-

stellung, z.B. auf Folie, kann dabei unterstützen und einen direkteren Alltagsbezug (Darstellung entsprechender Lebensmittel) bei der Problemfindung herstellen. Hinweise seitens der Schüler, dass die dargestellten Lebensmittel verdaut werden, können zur Thematisierung der Fragen, wie und wo dies geschehe, genutzt werden. In dieser Phase können möglicherweise geäußerte Erklärungsvorschläge und Beiträge der Schüler als Hypothesen fixiert werden. Es ist jedoch nicht zuletzt aufgrund der geringen Experimentier-Erfahrung der Schüler nicht damit zu rechnen, dass dabei auch Vorschläge zur experimentellen Überprüfung dieser Hypothesen gemacht werden. Dies ist für ein forschend-entdeckendes Vorgehen (ebenso wie die Hypothesenbildung selbst) letztlich aber auch nicht zwingend notwendig, wie z.B. der Einsatz von Lernzirkeln und Stationenlernen mit vorgegebenen Experimenten zeigt.

Der Nutzen der Hypothesenbildung liegt gemäß der fachwissenschaftlichen Arbeitsweise in der Schaffung von Ansatzpunkten für das Design eigener Experimente zu deren Überprüfung. Derartige „Überprüfungs-Experimente“ sind im aktuellen sehr komplexen Kontext unter Berücksichtigung der Vorkenntnisse der Schüler nicht selbstständig zu entwickeln. Deshalb kann ggf. die Situation entstehen, dass die eingeplanten Experimente nicht direkt zur Überprüfung der formulierten Hypothesen geeignet sind. So kann z.B. eigentlich nicht erwartet werden, dass die Mitwirkung von Enzymen als mögliche Erklärung genannt wird. Diese Mängel können bzw. sollen in Kauf genommen werden, weil gleichzeitig mit der Hypothesenbildung eine Fokussierung auf ggf. bedeutende Aspekte des Problems, die Wiederholung bestimmter Zusammenhänge und eine generelle Hinführung zum Lerngegenstand für alle erfolgen kann. Eine einfache Vorgabe der durchzuführenden Experimente und die anschließende Analyse der Beobachtungen beim Kontakt von Speichel mit Stärke würde dem Niveau einiger Schüler nicht gerecht. Vom Sammeln und Formulieren der Hypothesen profitieren des Weiteren auch weniger starke Schüler durch das Nachvollziehen und ggf. sogar Kommentieren der geäußerten Denkansätze.

Zur Untersuchung und Lösung des „Problems“ bietet sich, wie bereits in der didaktischen Analyse erläutert, ein experimentelles Vorgehen an. Die vergleichsweise einfachen, jedoch nicht trivialen Versuche zum Stärkeabbau durch Speichel sollten ohne größere Probleme von den Schülern durchgeführt werden können. Sie bieten gleichzeitig eine geeignete Möglichkeit, die zur Durchführung von Experimenten benötigten Fähigkeiten zu verbessern. Deshalb erscheinen mir Schülerexperimente und die Ermöglichung der Primärerfahrung sinnvoller als z.B. ein Demonstrationsexperiment oder gar ein Rückgriff auf audiovisuelle Medien. Die zu erwartenden Ergebnisse sollten deutlich zeigen, dass bereits im Mund durch Inhaltsstoffe des Speichels ein Abbau der Stärke erfolgt, andere Nährstoffe jedoch nicht abgebaut werden. Sollte der Enzymbegriff noch nicht als Teil der formulierten Schülervermutungen gefallen sein, erscheint seine Einführung und die Sicherung der Produktspezifität an dieser Stelle sinnvoll, bevor im weiteren Unterrichtsverlauf geklärt werden

soll, wie der Abbau im Detail abläuft. Aus den bereits erläuterten Gründen möchte ich den Schülern auch dabei eigenständiges experimentelles Arbeiten ermöglichen und durch einen Vergleich der Reaktionsprodukte des Abbaus von Stärke durch Ptyalin und Amyloglucosidase die Produktspezifität erarbeiten lassen. Mit der Deutung dieser Versuche und der Sicherung der Ergebnisse sind die experimentell zugänglichen Erkenntnismöglichkeiten ausgeschöpft. Weitere Einsichten können nur durch Einsatz von entsprechend aufbereiteten Visualisierungen vermittelt und gewonnen werden. Dazu bieten sich entweder Graphiken, animierte Sequenzen oder (Funktions)-Modelle an. Graphiken und Videos sind in der Lage, die Zusammenhänge zu verdeutlichen und z.B. das Schlüssel-Schloss-Modell zu erläutern. Beide Medien machen es jedoch schwer, auf den individuellen Lernfortschritt der Schüler einzugehen. Einzig die Beschreibung oder Zusammenfassung der gezeigten Vorgänge lassen Raum für Schüleraktivität. Der Einsatz eines Funktionsmodells lässt hingegen eine dem jeweiligen Kenntnisstand der Schüler entsprechende Übertragung der eigenen Versuchsergebnisse auf das Modell zu.

Die Experimente selbst sollen in Gruppen und unter Einsatz eines anleitenden Arbeitsblattes durchgeführt werden. Neben den technischen Fertigkeiten werden dabei auch soziale und kooperative Kompetenzen gestärkt. Das Arbeiten in Klein-Gruppen wurde von den Schülern auch in anderen Versuchen wie dem Präparieren von Schweineherzen eingeübt. Die damals aufgrund der äußeren Gegebenheiten eingeteilten Sechsergruppen waren hinsichtlich der möglichen Aktivität einzelner Schüler jedoch nicht die optimale Organisationsform. Deshalb sollen hier, da Versuchsmaterial in ausreichender Menge bzw. Anzahl zur Verfügung steht, nur Zweier- oder Dreiergruppen gebildet werden.

Eine innere Differenzierung, die aufgrund der doch in nicht zu geringer Anzahl in der Klasse vorhandenen schwächeren Schüler notwendig ist, kann durch die Vorbereitung von ergänzenden Hinweisen und Hilfen zum Arbeitsblatt vorgenommen werden. So kann sichergestellt werden, dass alle Schüler die Lernziele mit einem Höchstmaß an Eigenaktivität erreichen können. Aufgrund der eher geringen Experimentiererfahrung der Schüler wird von einem arbeitsteiligen Vorgehen abgesehen, da dann das Problem auftreten kann, dass nicht selbst durchgeführte Experimente schlecht nachvollzogen werden können. Aufgrund des daraus resultierenden höheren Zeitbedarfs wird in Kauf genommen, dass die Arbeit mit dem Funktionsmodell und die Einführung des Schlüssel-Schloss-Modells ggf. erst in der folgenden Stunde erfolgen kann. Da die aus den Experimenten gewonnenen Erkenntnisse in der Stunde gesichert werden, kann in der Folgestunde ohne Weiteres darauf zurück gegriffen werden. Es sollten also keine schwerwiegenden Nachteile auftreten, wenn in dieser Stunde aufgrund eines etwas langsameren Vorgehens bei der Durchführung der Experimente und ihrer Deutung keine Zeit für die Einführung des Schlüssel-Schloss-Modells bleibt. Eventuell zu überbrückende Rest-Zeit kann zur Wiederholung oder als Hinführung zur einer Hausaufgabe, wie der Betrachtung des Phänomens der Lactose-

Intoleranz, genutzt werden. Die abschließende Bearbeitung wird für diesen Fall als Hausaufgabe eingeplant. Nach Einsatz des Modells kann die zu erwartende Struktur der nicht gezeigten Amyloglucosidase als Hausaufgabe erarbeitet und begründet werden.

5 Geplanter Unterrichtsverlauf

Reihenthema: Ernährung und Stoffwechsel

Stundenthema: Einführung in die Wirkungsweise von Enzymen

Phase	Lerninhalt	U-Form	Medien
Problem	Stärke in der Nahrung – Zucker im Blut	LV, SB	Folie
Hypothesen	Entstehung des Zuckers / mögliche Hypothesen <ul style="list-style-type: none"> • Zerlegung der Stärke • Verdauung im Magen • Einfluss von Verdauungsenzymen 	SB, UG	Tafel, ggf. OHP
Erarbeiten, Sichern	Wirkung von Speichel auf Stärke und Eiweiß <ul style="list-style-type: none"> • Abbau von Stärke • kein Effekt auf Protein → Substratspezifität • Speichel enthält das Stärke abbauende Enzym Ptyalin 	SE, PA, UG	AB, Experim., Tafel, OHP
Erarbeiten, Sichern	Abbau von Stärke durch Ptyalin u. Amyloglucosidase <ul style="list-style-type: none"> • Ptyalin → keine Glucose • Lösung X: Enzym Amyloglucosidase → Glucose • Produkt- bzw. Wirkungsspezifität 	SE, PA, UG	AB, Experim., Tafel, OHP
ggf. Verifikation, Vertiefung, LZK	Schlüssel-Schloss-Modell <ul style="list-style-type: none"> • Passform von Enzym u. Stoff (Substrat) • Beschreibung der Abläufe 	SB, SP, UG	Modell, OHP
HA je nach Verlauf der Stunde	<ul style="list-style-type: none"> • Lactose-Intoleranz / MinusL-Milch: Symptome, Medikation • schriftliche Beschreibung des Schlüssel-Schloss-Modells und erwartete Struktur der Amyloglucosidase 		MinusL-Milch

LG: Lehrgespräch, LV: Lehrervortrag, PA: Partnerarbeit, SB: Schülerbeiträge, SP: Schülerpräsentation, SE: Schülerexperiment, UG: Unterrichtsgespräch, HA: Hausaufgabe

6 Geplantes Tafelbild

Verdauungsprozesse

I. Enzymwirkung

Enzyme ...

1. sind bereits im Speichel enthalten, z.B. Ptyalin
2. bauen z.B. nur ganz bestimmte Stoffe (Substrate) ab bzw. setzen sie um
3. bilden in der dabei ablaufenden Reaktion nur ganz bestimmte Produkte
4. zeigen also Substrat- (2.) und Wirkungsspezifität (3.)

(Erklärbar ist die Wirkungsweise von Enzymen mit dem Schlüssel-Schloss-Modell!)

7 Literatur

Lehrplan-Entwürfe: Lernbereich Naturwissenschaften, Ministerium f. Bildung, Wissenschaft u. Weiterbildung, Sommer-Verlag, 1997

Lehrplan Biologie: Ministerium f. Bildung, Wissenschaft u. Weiterbildung, H Fischer Rheinische Druckerei GmbH, Worms 1998

K. Eschenhagen et al.: Fachdidaktik Biologie, 6. Auflage, Aulis Verlag Deubner, Köln; 2003

K. Eschenhagen et al., Handbuch des Biologieunterrichts SI, Band 3, Stoff- und Energiewechsel, Aulis Verlag Deubner, Köln; 1995

H. Raaf & M. Radau: Chemisches Grundpraktikum, Band 2 Organische Chemie, Aulis Verlag Deubner & Co KG, Köln 1979

Bildungsserver Rheinland-Pfalz: http://berater.bildung-rp.de/dempe/stat_uebersicht.htm

G. Gennser, I. Lundquist: Acid amyloglucosidase in human fetal liver during acute asphyxia, Biol Neonate 25(1-2):108-13, 1974

P. Hoff (Hrsg.) et al.: Biologie heute 2G, Schroedel Verlag, Hannover 1995

N. A. Campbell: Biologie, Spektrum Verlag, Heidelberg 1998

U. Weber (Hrsg.) et al.: Biologie Oberstufe, 1. Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin

8 Material

Ggf. einzusetzende Hilfestellungen zur Deutung der Versuchsbeobachtungen

- Auch in der Biologie gilt das Massenerhaltungsgesetz. Demnach ist es unmöglich, dass sich Atome, Elemente und Stoffe in Nichts auflösen oder verschwinden.
- Stoffe können in chemischen Reaktionen in andere Stoffe umgewandelt werden.
- Iodmoleküle lagern sich wann immer möglich in Stärkeketten ein, wobei eine blauviolette Färbung entsteht. Wenn nach Zugabe von Iod zu einer Lösung keine Färbung auftritt, dann kann man daraus eine Schlussfolgerung ziehen ...
- Coomassie-Lösung ergibt zusammen mit Eiweiß eine blaue Färbung. Ohne Eiweiß hat sie eine graue Farbe.

-
- Die Blaufärbung des Glucose-Teststreifens zeigt an, dass in der getesteten Lösung Glucose vorhanden ist.
 - Stoffe können nicht aus dem Nichts entstehen, jedoch aus der Umwandlung von anderen Stoffen hervorgehen.

Arbeitsblatt zur Wirkungsweise von Speichel

Ihr findet 4 Reagenzgläser (RG) mit Stärkelösung [SL], 2 RG mit Eiweißlösung [EL] sowie die jeweiligen Nachweisreagenzien (Iodlösung [IL], Coomassie-Lösung [CL]) bei den vorbereiteten Materialien. Daneben sind ein weiteres sehr kleines RG mit einer Lösung X, Pipetten und Glucose-Teststäbchen vorhanden.

Achtung: Jeder arbeitet nur mit seinem eigenen Speichel! Ihr könnt Euch das Experiment so aufteilen, dass einer in die Stärkelösung spuckt und der andere in die Eiweißlösung. Wer nicht mit Speichel arbeiten möchte, der lässt sich eine Ersatzlösung vom Lehrer geben!

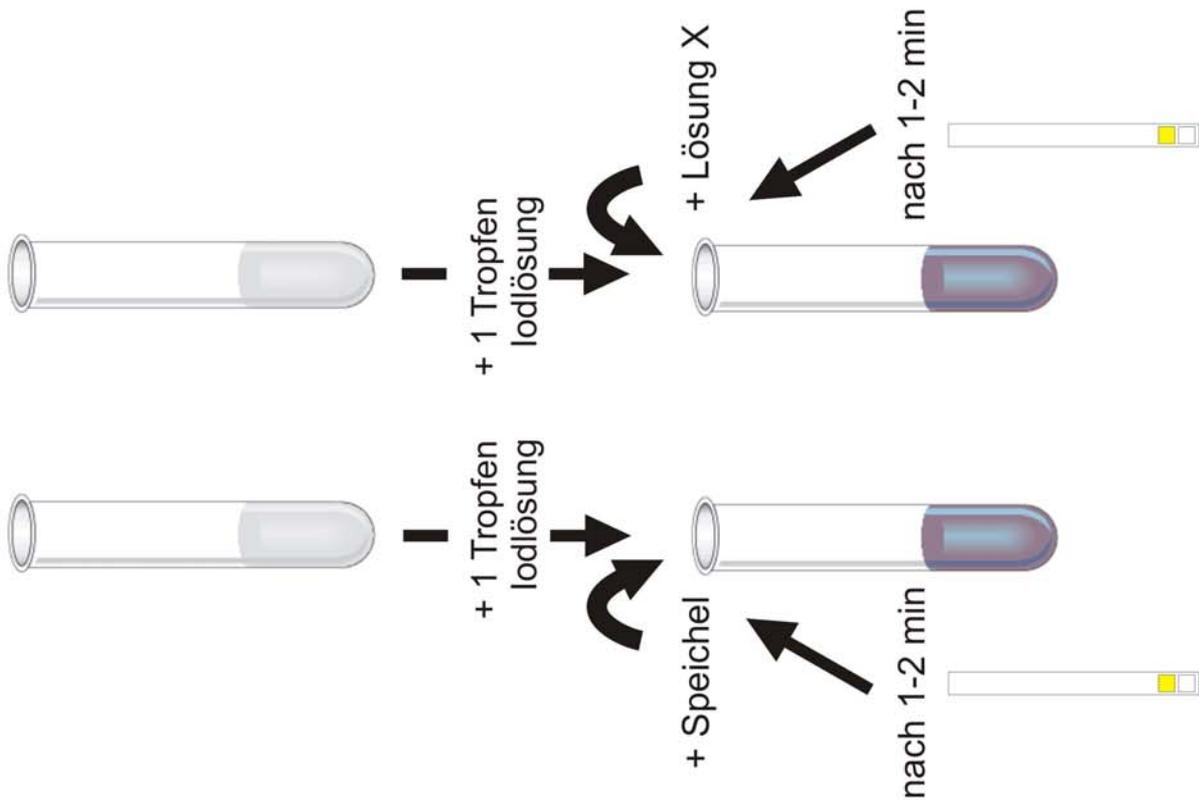
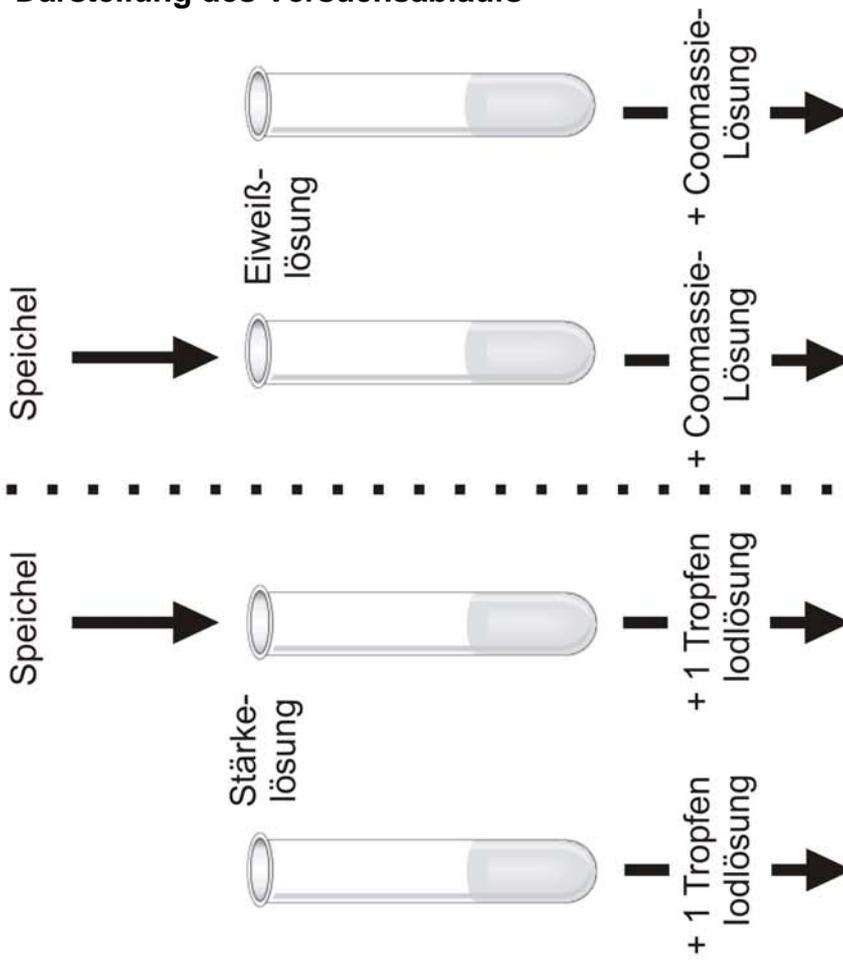
1. Benötigt werden 2 der RG mit 3 ml Stärkelösung [SL] und 2 RG mit 3 ml Eiweißlösung [EL]. Spuckt nun in jeweils ein RG mit Stärkelösung und ein RG mit Eiweißlösung. Verschließt die RG und schüttelt danach alle 4 Gefäße etwa 1-2 Minuten. Schaumbildung vermeiden!
2. Gebt in die beiden RG mit Stärkelösung nun einen Tropfen Iodlösung [IL], in die mit Eiweißlösung jeweils 3 ml Coomassie-Lösung [CL] und schüttelt.
3. Notiert die Beobachtungen:
RG mit Stärke:
RG mit Stärke und Speichel:
RG mit Eiweiß:
RG mit Eiweiß und Speichel:
4. Formuliert mögliche Schlussfolgerungen zu den Beobachtungen! Deutet dabei die zu beobachtenden Färbungen!

Ergebnis:

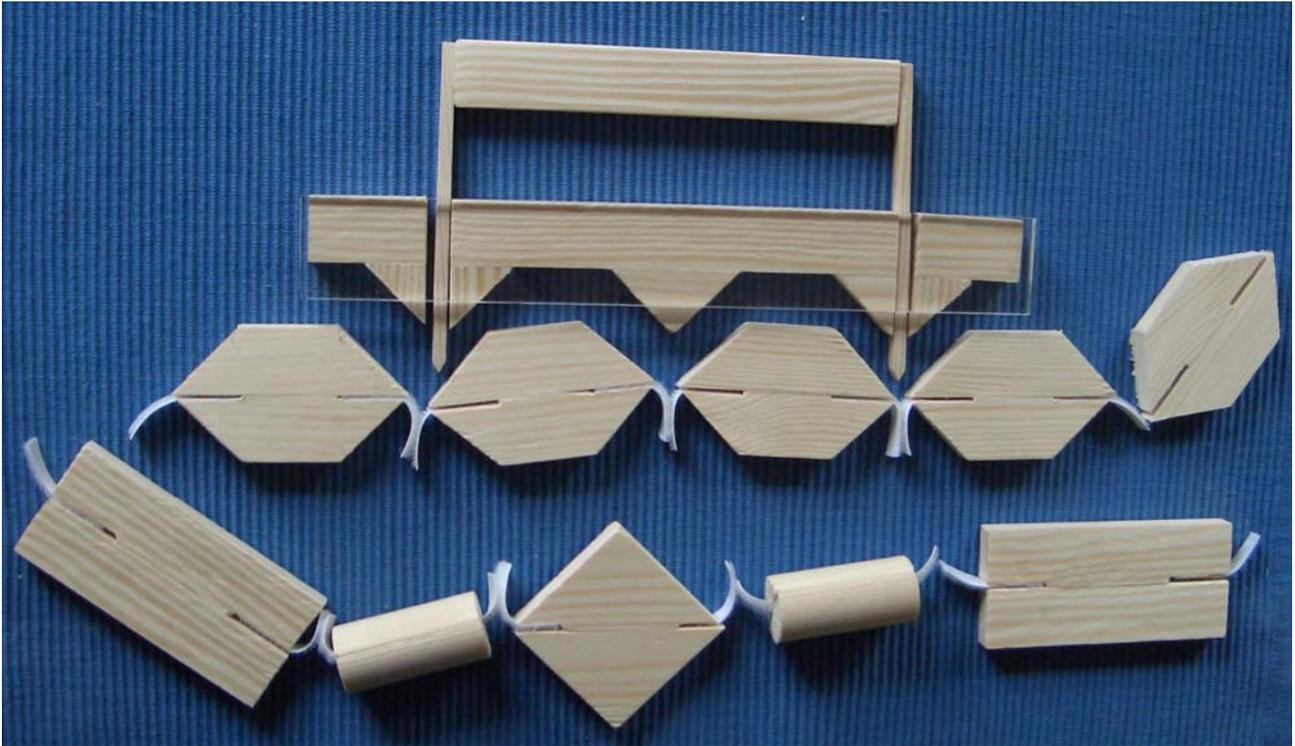
5. Gebt zu den beiden verbleibenden RG mit Stärkelösung jeweils 1 Tropfen Iodlösung [IL] und mischt bis eine gleichmäßige blaue Lösung vorliegt!
6. Spuckt in eines dieser RG, in das andere RG gebt mit einer frischen Pipette ca. 0,5 - 1 ml der Lösung X (frische Pipette)! Beide RG verschließen und gut aber langsam schütteln!
7. Wartet bis sich die Lösungen entfärben (ca. 1-2 Minuten) und gebt dann jeweils einen Glucose-Teststreifen in beide RG! Wartet erneut ca. 2 Minuten!
8. Notiert die Beobachtungen:
RG mit Speichel:
RG mit Lösung X [_____]:
9. Formuliert mögliche Schlussfolgerungen zu den Beobachtungen! Deutet dabei die Farbänderungen der Lösungen und der Glucose-Teststreifen!

Ergebnis:

Folien zur Darstellung des Versuchsablaufs



Funktionsmodell zum Schlüssel-Schloss-Prinzip am Beispiel des Ptyalins



Möglicher Impuls beim Einstieg und der Problemfindung

