

# Biologie 10. Klasse im LehrplanPLUS

## 2 Stoff- und Energieumwandlung im Menschen

### 2.2 Verdauung

Thomas Nickl, Dezember 2021

#### **Inhalt:**

[Allgemeine Vorbemerkungen](#)

[Zeitplan für Abschnitt 2.2](#)

[2 Stoff- und Energieumwandlung im Menschen](#)

[2.2 Verdauung](#)

[2.2.1 Das Verdauungssystem \(makroskopisch\)](#)

[2.2.1.1 Verdauungsräume](#)

[2.2.1.2 Transport des Nahrungsbreis](#)

[2.2.1.3 Ballaststoffe](#)

[2.2.2 Enzyme als Biokatalysatoren](#)

[2.2.2.1 Bau von Enzymen](#)

[2.2.2.2 Vielzahl an Enzymen](#)

[2.2.2.3 Energetische Aspekte \(Energie-Diagramm\)](#)

[2.2.2.4 Wirkungsweise von Enzymen \(Schlüssel-Schloss-Modell\)](#)

[2.2.2.5 Spezifitäten \(Substrat- und Wirkungsspezifität\)](#)

[2.2.3 Untersuchungen zur Enzym-Aktivität](#)

[2.2.3.1 Enzym-Aktivität](#)

[2.2.3.2 Der Weg der Erkenntnisgewinnung](#)

[2.2.3.3 Einfluss der Substrat-Konzentration](#)

[2.2.3.4 Einfluss der Temperatur](#)

[2.2.3.5 Einfluss des pH-Werts / Säuregrads](#)

[2.2.3.6 Denaturierung](#)

[2.2.4 Stufenweiser Abbau der Makronährstoffe](#)

[2.2.4.1 Verdauung von Stärke](#)

[2.2.4.2 Verdauung von Fetten](#)

[2.2.4.3 Verdauung von Proteinen](#)

[2.2.4.4 Zerlegung von Milchzucker \(fakultativ\)](#)

[2.2.4.5 Übersicht](#)

[2.2.5 Resorption im Dünndarm](#)

[2.2.5.1 Oberflächen-Vergrößerung](#)

[2.2.5.2 Die Darmzotte](#)

[2.2.5.3 Transport-Mechanismen durch eine Biomembran](#)

## Allgemeine Vorbemerkungen

Dieser Abschnitt ist sehr umfangreich (ich setze bewusst 14 Stunden dafür an) und dient in erster Linie der Vertiefung prozessbezogener Fertigkeiten in den Bereichen Erkenntnisgewinnung und Kommunikation am Beispiel der Enzyme. Ich selbst habe so ein Konzept, das in Zusammenarbeit mit mehreren Ausbildungs-Seminaren optimiert wurde, in 10. Klassen des G8 erprobt und dabei festgestellt, dass die Schüler gerne auch umfangreichere Experimente durchführen, sich in der Regel auch höheren Anforderungen bei der Auswertung stellen und die Methoden zur Erkenntnisgewinnung damit erheblich besser verstehen lernen, v. a. wenn sie an unterschiedlichen Beispielen angewandt werden. Damit diese Vorbereitung auf die Oberstufe möglichst effektiv erfolgt, sollte das Vorwissen der Schüler immer wieder vorab evaluiert werden, um den Unterricht entsprechend abstimmen zu können.

Mit „ALP“ werden Hinweise gegeben auf den Praktikums-Ordner „Bio? – Logisch!“, Akademiebericht 506 der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung, Dillingen, 2. Auflage 2021. Insbesondere sei auf den Abschnitt 11 „**Enzyme**“ verwiesen, der in der 2. Auflage neu gegliedert und damit übersichtlicher gestaltet ist. Alle dort vorgestellten Versuche sind erprobt und funktionieren zuverlässig; auch wird dort begründet, warum von anderen Versuchen abgeraten wird. Im Abschnitt 11.1 „Experimentieren mit Enzymen“ werden detailliert didaktisch-methodische Aspekte erläutert sowie praktische Hinweise zur Planung, Durchführung und Auswertung der Versuche gegeben, so dass auch Lehrkräfte, die nicht Chemie studiert haben, gut damit klar kommen können. Bei einigen Versuchen sind Wertetabellen aus Original-Messungen und daraus erstellte Diagramme abgedruckt; sie ergänzen die von den Schülern selbst erstellten Daten.

Die in diesem Skript aufgeführten Arbeitsblätter und weitere dort genannte Medien finden Sie auf meiner Webseite unter Materialien → Materialien Mittelstufe LehrplanPLUS → 10. Klasse; zusätzlich habe ich die docx- und pdf-Dateien der Arbeitsblätter sowie die jpg-Dateien von Abbildungen in diesem Skript verlinkt.

### Zeitplan für Abschnitt 2.2:

Nummer	Abschnitte	Stunden
2.2.1	Das Verdauungssystem (makroskopisch)	1
2.2.2	Enzyme als Biokatalysatoren	2
2.2.3	Untersuchungen zur Enzymaktivität	5,5
2.2.4	Stufenweiser Abbau der Makro-Nährstoffe	4
2.2.5	Resorption im Dünndarm	1,5
	<b>Summe</b>	<b>14</b>

## 0 Evaluation von Vorwissen

**Arbeitsblatt:** Evaluation zum Vorwissen in Diagrammkompetenz [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

**Arbeitsblatt:** Evaluation zum Vorwissen zum Weg des Erkenntnisgewinns [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

## 2 Stoff- und Energieumwandlung im Menschen (33 h)

### 2.2 Verdauung (14 h)

Der hier vorgestellte Vorschlag für Abschnitt 2.2 weicht von der im LehrplanPLUS vorgegebenen Reihenfolge ab. Die Veränderungen in der Anordnung der einzelnen Lerninhalte dienen dem Prinzip: „Von der makroskopischen Übersicht zum submikroskopischen Detail“ und berücksichtigen die Lernfortschritte der Schüler aufgrund ihrer praktischen Untersuchungen.

#### 2.2.1 Das Verdauungssystem (makroskopisch) (1 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Verdauungssystem: Peristaltik, Verdauungsräume (Mund, Magen, Dünndarm), Bedeutung der Ballaststoffe	erklären das Zusammenwirken der Bestandteile des Verdauungssystems beim Transport des Nahrungsbreis
<b>Vorwissen:</b> <b>Jgst. 5 Biologie</b> , Lernbereich 2.3.3: Stoff- und Energieumwandlung (Verdauung)	<b>Weiterverwendung:</b> –

##### 2.2.1.1 Verdauungsräume

Ggf. werden die Vorstellungen der Schüler zur Lage der inneren Organe visualisiert, indem sich einige große Plastiksäcke überziehen, auf die andere mit grobem Filzstift die Organe zeichnen.

**ALP** Blatt 07\_5\_V01: Übersicht Verdauungsorgane

Vorbereitend bearbeiten die Schüler zuhause einige Aufgaben zum Vorwissen. Dabei werden Lücken und Fehlvorstellungen deutlich:

Aufgabe 5 auf dem **Aufgabenblatt** 2 Stoffwechsel Mensch: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

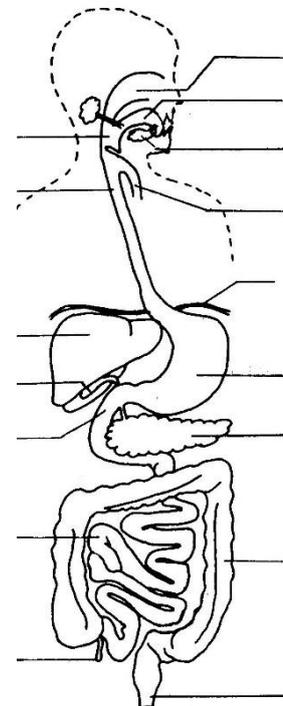
Aufgabe 5.1: Anatomie (vgl. Abb. rechts) u. a. mit Mund, Mundspeicheldrüsen, ggf. Gaumensegel, Speiseröhre, ggf. Kehlkopf mit Kehlkopfdeckel, Magen, Zwölffingerdarm, Bauchspeicheldrüse, Dünndarm, Blinddarm mit Wurmfortsatz, Dickdarm.

Link zur Abbildung Verdauungsorgane [\[jpg\]](#)

Aufgabe 5.2: Liste, aus der ersichtlich ist, an welcher Stelle welche Stoffe in den Verdauungstrakt eintreten bzw. ihn verlassen

Aufgabe 5.3: Brainstorming zu den Orten der Verdauung der drei Makronährstoffe (*Viele Menschen halten den Magen für den Hauptverdauungsort!*) / Alternativ: Arbeitsblatt Tabelle Verdauung [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Im Plenum werden die Ergebnisse zusammengeführt, ergänzt und berichtigt und zwar im Sinne der didaktischen Rekonstruktion, bei der die Schüler ihre zunächst gemachten Aufzeichnungen kritisch sichten und aufgrund neuer Erkenntnisse selbst verbessern. Fachinhaltlich schult diese Vorgehensweise eine systemische Betrachtungsweise, wenn sich die Lehrkraft nicht mit einer Begriffsaufzählung begnügt, sondern systemische Zusammenhänge in den Vordergrund stellt.



Bei Aufgabe 5.3 wird meist erkennbar, dass nicht allen klar ist, was unter Verdauung genau zu verstehen ist, deshalb:

Definition:

Als Verdauung werden enzymatische Abbauvorgänge bezeichnet, bei denen Makronährstoff-Moleküle zunächst in Bruchstücke und schließlich in ihre Grundbausteine zerlegt werden. (Mineralstoffe, Vitamine oder Wasser unterliegen also nicht der Verdauung.)

Dieser Abbau ist notwendig, weil die Makronährstoff-Moleküle zu groß sind, um durch die Darmschleimwand hindurch bis ins Innere der Darmkapillaren (bzw. Lymphgängen) befördert zu werden. Zudem sind sie – im Gegensatz zu den meisten Grundbausteinen – teilweise nicht oder nur schlecht wasserlöslich.

Abbau von ...	Mund * (neutraler pH-Wert)	Magen (stark saurer pH-Wert: tötet eingedrungene Erreger ab)	Dünndarm (schwach basischer pH-Wert)
... Stärke:	Vorverdauung (Stärke-Bruchstücke)	–	Endverdauung (Glucose)
... Fetten:	–	–	Endverdauung (Glycerin, Fettsäuren)
... Proteinen:	–	Vorverdauung (Protein-Bruchstücke)	Endverdauung (Aminosäuren)

\* Der Speichel enthält auch Lipasen und Proteasen, mit denen aber vor allem im Mund verbliebene Nahrungsreste abgebaut werden und die für die eigentliche Verdauung praktisch keine Rolle spielen.

### 2.2.1.2 Transport des Nahrungsbreis

#### a) Schlucken:

*Das Schlucken kann fakultativ besprochen werden. Dabei bietet sich an, dass die Schüler selbst Fragen formulieren sowie eine Untersuchung entwerfen und durchführen.*

Beim Schlucken gelangt die im Mund mechanisch zerkleinerte Nahrung bzw. die im Mund befindliche Flüssigkeit über die Speiseröhre in den Magen. Schlucken erfolgt willentlich.

**Untersuchung:**

Fragestellung: Geschieht das Schlucken rein passiv durch die Schwerkraft oder ist das ein aktiver Vorgang?

Versuchsaufbau: Die Versuchsperson stellt sich auf den Kopf (am besten direkt an einer Wand) und versucht, mit einem Trinkhalm aufgenommene Flüssigkeit zu schlucken.

Beobachtung: Das Schlucken gelingt.

Auswertung: Schlucken ist ein aktiver Vorgang, der auch gegen die Schwerkraft erfolgt.

Die Speiseröhre kontrahiert sich abschnittsweise und quetscht dadurch ihren Inhalt Richtung Magen. Damit der Nahrungsbrei nicht in die Nase gelangt, wird das Gaumensegel angespannt und angehoben. Damit der Nahrungsbrei nicht in die Luftröhre gelangt, wird der Kehlkopfdeckel geschlossen.

**b) Magen:**

*Die Bewegung des Magens kann fakultativ besprochen werden.*

Der Magen ist ein Hohlmuskel, der den Nahrungsbrei durchknetet und ihn so mit dem Magensaft vermischt. Wenn sich die Magenwand zusammenzieht und gleichzeitig der ringförmige Schließmuskel (der Pförtner) erschlafft, wird eine Portion des Nahrungsbreis in den Zwölffingerdarm abgegeben. Diese Vorgänge können willentlich nicht beeinflusst werden.

**c) Dünndarm-Peristaltik:**

Als (propulsive) Peristaltik bezeichnet man ringförmige Kontraktionen z. B. im Dünndarm, die sich Richtung Darmausgang fortsetzen. Dadurch wird der Darminhalt in diese Richtung gequetscht. Als Gegenspieler wirkt der Druck des stromauf befindlichen Darminhalts, durch den die Darmmuskulatur wieder ausgedehnt wird. Diese Vorgänge können willentlich nicht beeinflusst werden.

**ALP** Blatt 07\_5\_V03: **Modellversuch** zur Peristaltik (Tennisball in einem Strumpf)

Ggf. Vertiefung: Darmbewegungen zwischen zwei Stellen, an denen der Darm durch ringförmige Kontraktion verschlossen ist, dienen der Durchmischung des Nahrungsbreis (nicht-propulsive Peristaltik). Peristaltik, die in der Speiseröhre in die Gegenrichtung verläuft, führt zum Erbrechen (retrograde Peristaltik).

**2.2.1.3 Ballaststoffe**

Anders als der Name vermuten lässt, stellen Ballaststoffe einen wertvollen Bestandteil der Nahrung dar. In der Regel handelt es sich dabei um Kohlenhydrate, die nicht oder nur wenig verdaut werden. Bekannte Beispiele dafür sind Zellulose (Hauptbestandteil der Zellwände von Pflanzenzellen) und Chitin (Material der Zellwände von Pilzen). Ballaststoffe binden viel Wasser an sich und vergrößern dadurch ihr Volumen im Verdauungstrakt.

Ballaststoffe kommen vorwiegend in pflanzlichen Lebensmitteln vor: Obst, Gemüse, Nüsse, Hülsenfrüchte, Vollkorngetreide. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt eine tägliche Zufuhr von 30 g Ballaststoffen; mehr als zwei Drittel der Deutschen erreichen diesen Wert aber nicht.

Positive Wirkungen:

- Ballaststoffe nehmen ein bedeutendes Volumen im Magen ein und erzeugen dadurch ein Sättigungsgefühl, ohne aber selbst nennenswerte Energie zu liefern.
- Ballaststoffe erhöhen den Füllungszustand im Dünndarm und erhöhen dadurch den Druck auf die Darmwand. Dies regt die Peristaltik an.
- Ein Teil der Ballaststoffe wird im Dickdarm durch Darmbakterien abgebaut. Ballaststoffe ernähren also unsere Symbionten (*Rückgriff auf „Ökosystem Mensch“, Abschnitt 1.1.1*).
- Epidemiologische Studien belegen, dass Ballaststoffe das Risiko für Krankheiten verringern, die durch Ernährungsfehler hervorgerufen oder begünstigt werden wie Adipositas (Fettleibigkeit), Bluthochdruck und Erkrankungen der Herzkranzgefäße (*kommt später im Abschnitt 2.3 „Gasaustausch und Atemgastransport“*).
- Ballaststoffreiche Nahrung regt zu stärkerem Kauen an, sorgt dadurch für höheren Speichelfluss und beugt somit Karies vor.
- Die positiven Wirkungen auf das Verdauungssystem bringen sekundäre Vorteile mit sich wie die Stärkung des Immunsystems oder eine Steigerung des allgemeinen Wohlbefindens. (Der Einfluss des Darms auf körperliche Gesundheit und Psyche wurde lange Zeit völlig unterschätzt.)

## 2.2.2 Enzyme als Biokatalysatoren (2 h)

<b>Inhalte zu den Kompetenzen</b>	<b>Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...</b>
Bau von Enzymen (nur reine Proteinenzyme): Enzyme als Proteine, enzymespezifischer räumlicher Bau  Wirkung von Enzymen als Biokatalysatoren zum Stoffabbau, -umbau und -aufbau in allen lebenden Systemen: Absenken der Aktivierungsenergie; Schlüssel-Schloss-Modell (Bedeutung der räumlichen Struktur, aktives Zentrum, Enzym-Substrat-Komplex), Substrat- und Wirkungsspezifität	erläutern am Beispiel der Verdauung die allgemeine Wirkungsweise von Enzymen auf der Stoff- und der Teilchenebene, indem sie das Energiekonzept und das Schlüssel-Schloss-Modell auf enzymkatalysierte Reaktionen anwenden.
<b>Vorwissen:</b> <b>Jgst. 5 Biologie</b> , Lernbereich 2.3.3: Stoff- und Energieumwandlung (Verdauung) <b>Jgst. 8 Chemie NTG</b> , Lernbereich 3: Chemische Reaktionen (Katalyse) <b>Jgst. 9 Chemie Nicht-NTG</b> , Lernbereich 3: Chemische Reaktionen (Katalyse)	<b>Weiterverwendung:</b> <b>Oberstufe:</b> Stoffwechsel, Enzymatik

**Definition** (Vorwissen aus Chemie): Ein Katalysator beschleunigt eine chemische Reaktion und geht unverändert aus ihr hervor.

Ein Biokatalysator ist ein organischer Katalysator, der in einem biologischen System aktiv ist.

### 2.2.2.1 Bau von Enzymen

Der LehrplanPLUS verlangt „reine Proteinenzyme“ und schließt damit die Einbeziehung von Proteiden (Proteine mit Nicht-Protein-Anteil = prosthetische Gruppe) ebenso aus wie Ribozyme. Rückgriff auf Unterabschnitt 2.1.4 „Proteine“.

Enzyme sind Proteine, d. h. sie bestehen aus linearen Aminosäureketten. Bereits bei ihrer Entstehung an den Ribosomen im Rahmen der Protein-Biosynthese wird die Aminosäurekette in spezifischer Weise gefaltet. Dadurch erhält die Molekül-Oberfläche ihre charakteristische, komplexe Form (dreidimensionale Gestalt, Ladungsmuster), die dem Enzym seine besonderen Eigenschaften verleiht.

In der Biochemie wird das Edukt, das von einem Enzym gebunden wird, als Substrat bezeichnet. Alle Enzyme besitzen eine Vertiefung (Tasche), die so gestaltet ist, dass nur eine bestimmte Art von Substrat-Molekül genau hineinpasst und dort auch festgehalten wird. Bestimmte Aminosäure-Reste in der Tasche dienen als Erkennungs- bzw. Bindungsstellen für das Substrat. Beispielsweise sitzt in der Tasche dort eine positive Ladung (bzw. Teilladung), wo beim Substrat eine negative sitzt.

**Impuls:** Welche Auswirkungen könnte der Austausch einer oder weniger Aminosäuren im Enzym haben?

Veränderungen in der Erbinformation können dazu führen, dass die eine oder andere Aminosäure in einem Enzym durch eine andere ausgetauscht ist. Betrifft so ein Austausch Aminosäuren in der Bindungstasche, wird in der Regel das Substrat schlechter oder nicht mehr gebunden. Veränderung im Außenbereich eines Enzyms sind dagegen meist ohne großen Einfluss.

An dieser Stelle sollten zur Veranschaulichung hochaufgelöste Bilder von Enzymen und ihren Substraten gezeigt werden. Bei dieser Gelegenheit könnten im Sinne der Modell-Diskussion

auch verschiedene Darstellungen miteinander verglichen werden wie Kalottenmodell, Bändermodell, abstraktes Modell.

### 2.2.2.2 Vielzahl an Enzymen

Das menschliche Genom scheint etwa 19.000 Gene zu umfassen, die für Proteine codieren; die meisten davon sind vermutlich Enzyme. Bisher sind fast 3.000 von ihnen bekannt. Eine so große Zahl ist notwendig, weil jedes Enzym nur „sein“ Substrat binden kann, nur eine ganz bestimmte Reaktion katalysiert und es eine große Menge unterschiedlichster chemischer Reaktionen in menschlichen Zellen gibt. (*Spezifitäten folgen in Unterabschnitt 2.2.2.5*)

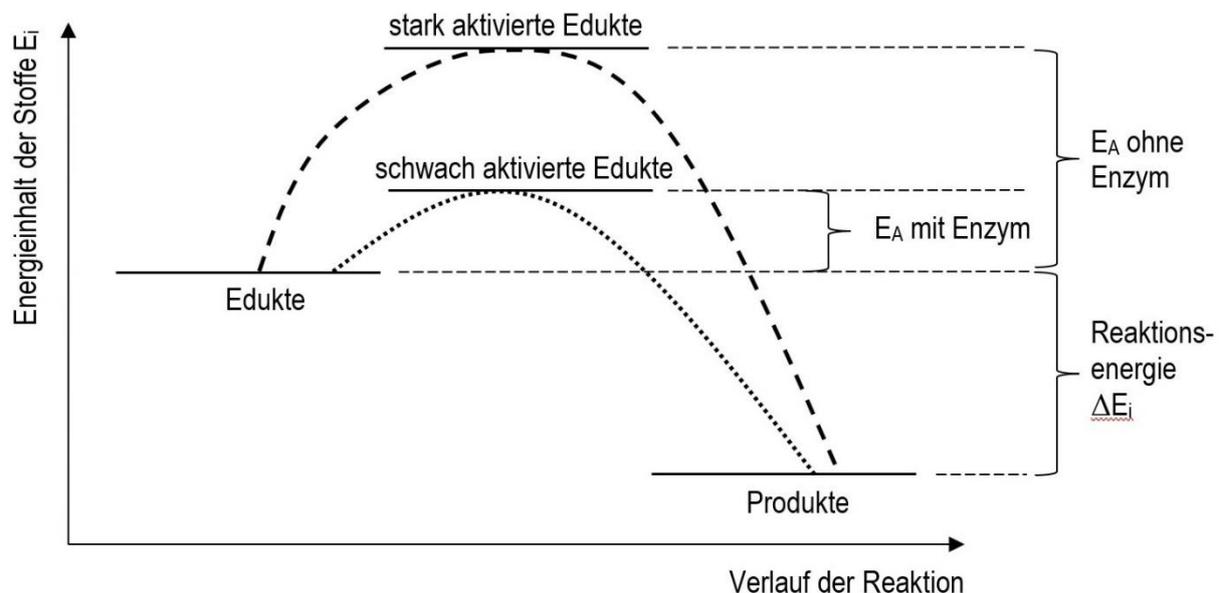
Von den enzymatisch gesteuerten Reaktionen kennen die Schüler bisher praktisch nur Abbauvorgänge. Deshalb ist (wie im LehrplanPLUS herausgestellt) zu betonen, dass Enzyme an folgenden Reaktionen beteiligt sind:

- Stoff-Abbau, z. B. in der Verdauung oder in der Zellatmung
- Stoff-Umbau, z. B. bei der Umformung der einen Aminosäure in eine andere oder von Glucose in Glycogen bzw. Fett und umgekehrt
- Stoff-Aufbau, z. B. körpereigene Hormone wie Tyroxin in der Schilddrüse, Bindegewebs-Stoffe oder Farbstoffe wie Melanin

Es soll auch betont werden, dass alle lebenden Systeme (selbst manche Viren führen eigene Enzyme mit) über Enzyme verfügen, die sämtliche chemischen Reaktionen kontrollieren.

### 2.2.2.3 Energetische Aspekte

Die Katalyse ist Lerninhalt des Chemie-Unterrichts im ersten Jahr (8. Klasse im NTG, 9. Klasse in allen anderen Zweigen). Die Schüler wenden hier also ein bekanntes Prinzip in einem anderen Kontext an, indem sie ein Energie-Diagramm zur Enzymwirkung anlegen:



Link zur Abbildung Energiediagramm enzymatische Katalyse leer [\[jpg\]](#) und beschriftet [\[jpg\]](#)

*Hinweis: Die Abszisse stellt keine Zeitachse dar, denn sämtliche Stationen der Reaktion verlaufen an mehreren Enzymen gleichzeitig.*

Als Biokatalysator senkt ein Enzym den Betrag der Aktivierungsenergie  $E_A$ , der nötig ist, um die Reaktion in Gang zu bringen.

Auch ohne Enzym laufen die chemischen Reaktionen in einer Zelle ab, aber so langsam, dass die dadurch entstehende Menge an Produkten irrelevant klein ist.

### 2.2.2.4 Wirkungsweise von Enzymen

auf der Teilchen-Ebene (submikroskopischen Ebene)

#### a) Erkennung und Bindung des Substrats:

Substrat-Moleküle bewegen sich im Raum und treffen gelegentlich auf Enzym-Moleküle. Wenn beide Moleküle richtig orientiert sind und wie Schlüssel und Schloss ineinander passen, dann lagert sich das Substrat-Molekül in die Erkennungs- und Bindungstasche des Enzyms ein und wird dort festgehalten. Die räumliche Struktur und das Ladungsmuster der beiden Moleküle müssen dabei wie Positiv und Negativ wirken. Die Bindung erfolgt durch Wasserstoffbrücken oder andere zwischenmolekulare Wechselwirkungen.

Zwei oder mehr durch solche Wechselwirkungen miteinander verbundene Moleküle werden in der Chemie als Komplex bezeichnet. Der Komplex aus Substrat- und Enzym-Molekül heißt Enzym-Substrat-Komplex.

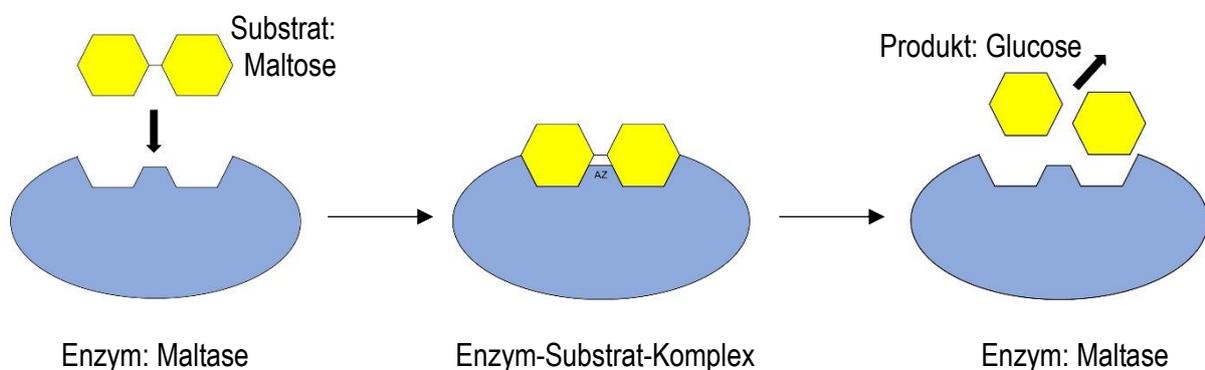
#### b) Chemische Reaktion:

Bestimmte Aminosäure-Reste in der Enzymtasche sind direkt an der chemischen Reaktion beteiligt. Man nennt sie das aktive Zentrum (AZ). Durch die Bindung des Substrats verändert sich die räumliche Struktur des Enzyms minimal, aber entscheidend, denn dadurch werden die chemischen Veränderungen im Substrat-Molekül hervorgerufen. Im Enzym-Substrat-Komplex findet also die chemische Umwandlung statt.

#### c) Trennung:

Nach erfolgter Reaktion trennen sich Substrat- und Enzym-Moleküle wieder voneinander, weil sie ja jetzt nicht mehr gut zusammen passen: Der Enzym-Produkt-Komplex zerfällt spontan. Die Produkt-Moleküle diffundieren vom Enzym weg, das Enzym nimmt wieder seine ursprüngliche Gestalt (wie vor der Reaktion) an.

Beispiel: Spaltung eines Maltose-Moleküls in zwei Moleküle Glucose nach dem Schlüssel-Schloss-Modell



Diese Bilderfolge zur Enzymwirkung (Beispiel Maltase-Reaktion) in Farbe [\[jpg1\]](#) [\[jpg2\]](#) [\[jpg3\]](#) und schwarzweiß [\[jpg1\]](#) [\[jpg2\]](#) [\[jpg3\]](#)

Es ist sinnvoll, an dieser Stelle auch ein Beispiel des auf- oder umbauenden Stoffwechsels zu berücksichtigen, z. B. als Hausaufgabe:

Aufgabe 6 auf dem **Aufgabenblatt** 2 Stoffwechsel Mensch: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

*Die in Aufgabe 6.2 genannte Keto-Gruppe ist den NTG-Schülern aus der 9. Klasse bekannt (Lernbereich 5: Wechselwirkungskonzept). Nicht-NTG-Schülern könnte sie gerade schon bekannt sein, weil Lernbereich 3: Wechselwirkungskonzept in der 10. Klasse Chemie etwa um diese Zeit behandelt wird. Rücksprache mit der Chemie-Lehrkraft!*

*Selbstverständlich stellt die Transaminierung keinen Lerninhalt dar, vielmehr dient Aufgabe 6.2 ausschließlich der Übung zur Darstellung biochemischer Sachverhalte in schematischen Skizzen.*

### 2.2.2.5 Spezifitäten

Anorganische Katalysatoren sind meist unspezifisch, d. h. sie beeinflussen Reaktionen von unterschiedlichen Edukten und begünstigen nicht nur eine einzige Reaktion. Beispielsweise katalysiert das Edelmetall Platin die Reaktion von Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser, in Erdölraffinerien aber auch die Umwandlung von linearen und cyclischen Alkanen in sogenannte aromatische Verbindungen sowie in verzweigte Alkane (katalytisches Reforming).

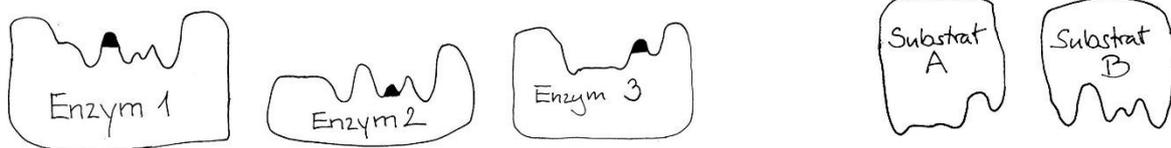
Biokatalysatoren sind dagegen hochspezifisch.

Die folgenden Darstellungen sind Bestandteil von Aufgabe 7 auf dem **Aufgabenblatt** 2 Stoffwechsel Mensch: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Links zu den Abbildungen: Enzyme [\[jpg\]](#), Substrate [\[jpg\]](#), Produktpaare [\[jpg\]](#)

#### a) Substratspezifität:

Aufgrund des Schlüssel-Schloss-Prinzips kann ein Enzym-Substrat-Komplex nur entstehen, wenn das Substrat genau in die Tasche des Enzyms passt.

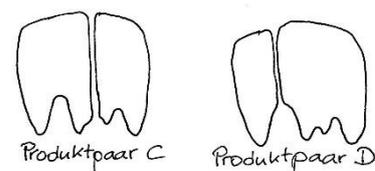


Im graphisch dargestellten Beispiel passt Substrat A nur in die Tasche von Enzym 3; Substrat B passt in die Tasche von Enzym 1, aber auch in die Tasche von Enzym 2. Enzym 1 und 2 haben also die selbe Substratspezifität.

#### b) Wirkungsspezifität:

Je nach Ausstattung ihrer aktiven Zentren (im Bild oben schwarz markiert) katalysieren die Enzyme unterschiedliche chemische Reaktionen, d. h. sie haben eine unterschiedliche Wirkung auf die Substrat-Moleküle.

Im graphisch dargestellten Beispiel spaltet Enzym 1 das Substrat B in das Produktpaar D, während Enzym 2 das selbe Substrat in das Produktpaar C spaltet: gleiche Substrat-, aber unterschiedliche Wirkungsspezifität.



*Ich empfehle, auf experimentelle Untersuchungen zur Substrat- und Wirkungsspezifität hier zu verzichten. Es böte sich lediglich die Untersuchung der Substratspezifität von Urease an, die aber ansonsten nicht mehr auftauchen würde.*

### 2.2.3 Untersuchungen zur Enzym-Aktivität (5,5 h)

<b>Inhalte zu den Kompetenzen</b>	<b>Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...</b>
<p>Beeinflussung der Enzymaktivität (keine mathematische Herleitung): Reaktionsgeschwindigkeit als Maß für Enzymaktivität, Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Substratkonzentration, dem pH-Wert und der Temperatur (RGT-Regel), Proteindenaturierung</p> <p><i>naturwissenschaftlicher Erkenntnisweg (Fragestellung, Hypothese, Planung und Durchführung von naturwissenschaftlichen Untersuchungen, Datenauswertung (ggf. digital) und Dateninterpretation): u. a. Hypothesenprüfung, Fehlerquellen (z. B. Wahl der Reaktionsbedingungen)</i></p> <p><i>Arbeitstechniken: u. a. sachgerechter Umgang mit Geräten (u. a. einfache Laborgeräte), Anwendung von Laborregeln</i></p> <p><i>Entwicklung und Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens: u. a. empirische Daten als Gültigkeitskriterien für biologische Modelle und Theorien, Vorläufigkeit, Subjektivität (Lernbereich 1)</i></p>	<p>erläutern [...] die allgemeine Wirkungsweise von Enzymen auf der Stoff- und der Teilchenebene</p> <p><i>beschreiben die Beeinflussung der Enzymaktivität durch Außenfaktoren.</i></p> <p><i>leiten aus komplex strukturierten Alltags- und Naturphänomenen biologische Fragestellungen ab und planen hypothesengeleitet z. B. Beobachtungen und Experimente zu deren qualitativer und quantitativer Beantwortung.</i></p> <p><i>führen u. a. selbstgeplante naturwissenschaftliche Untersuchungen durch. Dabei nehmen sie die Dokumentation, Auswertung und Veranschaulichung der erhobenen Daten (auch mit digitalen Hilfsmitteln) selbständig vor.</i></p> <p><i>beurteilen die Gültigkeit von erhobenen oder recherchierten Daten und finden in diesen Daten Trends, Strukturen und Beziehungen.</i></p> <p><i>beschreiben Grenzen des im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs generierten Wissens und leiten daraus Aussagen zur Gültigkeit dieses Wissens ab.</i></p> <p><i>beschreiben Wechselwirkungen und Stoffwechselprozesse (z. B. Enzymatik) mithilfe von Modellen. Sie entwickeln zu einem Sachverhalt alternative Modelle. Dabei erkennen sie Stärken und Schwächen einzelner Modelle und leiten daraus die Notwendigkeit ab, Modelle kritisch zu betrachten und weiterzuentwickeln. (Lernbereich 1)</i></p>
<p><b>Vorwissen:</b>  <b>alle Jgst.:</b> Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen  <b>Jgst. 10 Chemie NTG,</b> Lernbereich 2: Protonenübergänge (pH-Skala)  <b>Jgst. 10 Chemie Nicht-NTG,</b> Lernbereich 4: Protonenübergänge (pH-Skala) – Steht noch nicht zur Verfügung!</p>	<p><b>Weiterverwendung:</b>  <b>Oberstufe:</b> Stoffwechsel, Enzymatik</p>

Ausschnitt aus einem Abitur-Colloquium Biologie (selbst erlebt):

Lehrer: „Wie misst man die Abhängigkeit der Amylase-Aktivität von der Temperatur?“  
 Schüler: „Man gibt Stärkelösung, Iod-Lösung und Amylase-Lösung in ein Glas, stellt es auf eine Heizplatte und dreht die Temperatur mit der Zeit immer höher.“  
 Lehrer: „Und wie misst man dabei die Amylase-Aktivität?“  
 Schüler: „Man legt immer wieder eine Probe unters Mikroskop und schaut, wie schnell die Amylase jeweils arbeitet.“

Bei Schülern wiederholt auftretende Probleme mit Diagrammen:

- In Mathematik werden die Achsen mit x und y beschriftet, in den Naturwissenschaften aber konkret mit den Größen und Einheiten der Variablen.
- Die Entscheidung, was die abhängige und was die unabhängige Variable ist, fällt vielen Schülern schwer.
- In Mathematik werden meist alle vier Quadranten eines Koordinatensystems gezeichnet, in den Naturwissenschaften aber meist nur der Quadrant rechts oben.
- falsche Zuordnungen wie Verwechslung von Messgröße und Einheit
- Vernachlässigung der Achsen-Beschriftung
- Probleme beim Ablesen der Zahlenwerte aus einem Diagramm
- Zahlenwerte der unabhängigen Variablen, die in ungleichen Abständen erfolgen, werden trotzdem in gleichen Abständen auf der x-Achse abgetragen
- Unsicherheit über die Abmessungen des Diagramms bzw. viel zu flache Darstellung, wenn beispielsweise alle y-Werte auf einem sehr hohen Niveau relativ nah beisammen liegen

*Abschnitt 2.2.3 dient einem vertieften Training der prozessbezogenen Kompetenzen Erkenntnisgewinnung und Kommunikation, das wesentliche Teile des Lernbereichs 1 abdeckt und die Schüler intensiv auf den naturwissenschaftlichen Unterricht (in Biologie, Chemie und Physik) in der Oberstufe vorbereitet. Auch in den darauf folgenden Abschnitten werden praktische Untersuchungen durchgeführt, die auf den Vorkenntnissen aus Abschnitt 2.2.3 aufbauen. Ohne dies explizit zu erwähnen, stellt der LehrplanPLUS dafür genügend Zeit zur Verfügung.*

*Das Thema „Enzymatik“ taucht in der Oberstufe erst wieder in der 13. Jahrgangsstufe auf; Experimente dazu werden ausschließlich beim erhöhten Anforderungsniveau bei den Lerninhalten genannt. Die dafür vorgesehene Anzahl von Unterrichtsstunden ist gering, während in der 10. Klasse für den Lernbereich 3 sehr viele Stunden angesetzt sind. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Schulung zu Erkenntnisgewinnung und Kommunikation am Beispiel der Enzymatik einen Schwerpunkt in der 10. Klasse bilden soll.*

*Abschnitt 2.2.3 basiert auf meinen Ausführungen zum Lernprogramm Enzyme für die 10. und 11. Jahrgangsstufe im G8, in das viele Erfahrungen aus mehreren Ausbildungs-Seminaren eingeflossen sind.*

**ALP:** Kapitel 11 „Enzyme“ im Praktikumsordner „Bio? – Logisch!“ (2. Auflage) gibt im Abschnitt 11.1 detaillierte Anleitungen zum Experimentieren mit Enzymen, um Lehrkräfte, die nicht Chemie studiert haben, darin konkret zu unterstützen.

*Abschnitt 2.2.3 dient der Methodik und nicht dem Thema Verdauung. Deshalb werden hier keine Versuche mit Verdauungs-Enzymen vorgeschlagen, die dem Abschnitt 2.2.4 vorbehalten sind, sondern ausschließlich mit Katalase. Das hat den Vorteil, dass die Schüler schnell im Umgang mit diesem Enzym (Sicherheits-Aspekte, chemische Reaktion, Messungen usw.) vertraut werden und sich auf das jeweils Neue konzentrieren können. Je nach Vorwissen müssen die Schüler bei ihren Experimenten anfangs noch stärker geführt werden, sollen schrittweise aber immer mehr Eigenständigkeit bei der Planung und Durchführung der Untersuchungen einbringen. Treffen Sie eine Auswahl aus den folgenden Vorschlägen für Untersuchungen.*

*Zu „Kompetenzerwartungen“: Die Stoffebene (makroskopische Ebene) erfahren die Schüler bei der Durchführung der Versuche; bei der Interpretation erklären sie die Beobachtungen auf der Teilchenebene (submikroskopische Ebene).*

*Grobe Zeitplanung: 1 Stunde für die theoretische Vorbereitung (2.2.3.1; 2.2.3.2) und ggf. Auswertung der Vorevaluation; je 1 Stunde pro Thema (2.2.3.3-2.2.3.6); 1/2 Stunde zusammenfassende Nachbereitung bzw. Endevaluation. Es dürfen auch ein, zwei Stunden mehr sein.*

*Durchführung des Praktikums: In der Regel werden Sie die Klasse nicht teilen können, aber die Schüler haben in der 10. Klasse bereits Erfahrungen mit selbst durchgeführten Versuchen gesammelt. Bei disziplinar schwierigen Klassen wäre es allerdings angebracht, die Klasse zu teilen (dann brauchen Sie einen zweiten Raum und eine zweite Lehrkraft oder Sie sprechen sich mit der Lehrkraft eines anderen Faches ab, die in dieser Klasse auch um ein paar Stunden mit der halben Klasse froh wäre) oder eine zweite Lehrkraft als Aufsichtsperson in der Praktikumsstunde dazu zu nehmen. Bei Versuchen mit Pankreatin (Zerlegung von Stärke, Eiweiß bzw. Fett) hätte ich keine Sicherheitsbedenken, wohl aber bei Katalase (Zerlegung von Wasserstoffperoxid). Im allerschlimmsten Fall würden die Schüler lediglich die Versuchsaufbauten entwerfen, ggf. den Demonstrationsversuch am Pult mit aufbauen, wohingegen die Lehrkraft den Versuch dann alleine durchführt. Bei dieser Strategie entfällt allerdings die Möglichkeit, durch Arbeitsteilung in den Gruppen eine größere Menge an Daten zu erheben.*

*Ggf. werden Versuche mit etwas höherem Gefahrenpotential im Miniatur-Maßstab durchgeführt (Tropfen auf Objektträger mit Vertiefungen): Lab in a Drop – <https://lab-in-a-drop.de/> In jedem Fall müssen die Schüler aber zunächst eine Sicherheitsbelehrung erhalten und dies durch ihre Unterschrift bestätigen. Weil alle Schüler in der 10. Klasse Chemie haben und dort bereits die Belehrung am Anfang des Schuljahres erhalten haben, kann diese in Biologie deutlich gestrafft ausfallen. Ob noch alle im Ordner „Bio? – Logisch!“ aufgeführten Chemikalien für Schülerversuche zugelassen sind, müssen Sie jedes Mal in der RISU online neu recherchieren.*

### **2.2.3.1 Enzym-Aktivität**

Zunächst wird der Begriff „Enzym-Aktivität“ definiert und zwar ohne mathematische Herleitung:

Enzym-Aktivität bedeutet: Reaktions-Geschwindigkeit einer enzymatisch katalysierten Reaktion.

Reaktions-Geschwindigkeit bedeutet: Umfang der Stoffumwandlung pro Zeit.

Als Maß für den Umfang der Stoffumwandlung dient die Zunahme der Menge eines Produkts bzw. die Abnahme der Menge eines Substrats (Edukts). Bei Gasen wird deren Volumen gemessen. Bei Säure-Base-Reaktionen wird der pH-Wert gemessen. Optisch sonst nicht wahrnehmbare Veränderungen können oft durch einen Farbstoff visualisiert gemacht werden (z. B. durch die Iod-Stärke-Reaktion).

### **2.2.3.2 Der Weg der Erkenntnisgewinnung**

*Wenn Schüler bei der Kompetenz Erkenntnisgewinnung massive Probleme haben, liegt das meist daran, dass im Unterricht unausgesprochen zu viel vorausgesetzt wurde bzw. Gedankenschritte übersprungen wurden. Deshalb sollten die Phasen der Erkenntnisgewinnung ein Mal explizit und lückenlos betrachtet werden und zwar am Beispiel der Untersuchung von Enzym-Aktivität, konkret bei Katalase (Begründung: Katalase ist sehr zuverlässig, ermöglicht viele Untersuchungen; die an Katalase erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten werden im nächsten Abschnitt auf die Verdauungsenzyme angewendet).*

Phase	Beispiel: Katalase-Reaktion
Betrachtung eines Phänomens	makroskopische Beobachtung: Gasentwicklung (Bläschen, Schaumbildung) tritt auf, wenn Braunstein oder Kartoffelschnipsel mit Wasserstoffperoxid in Kontakt kommen.
Formulierung der chemischen Reaktion als Wort- oder Formelgleichung	$2 \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
Messgröße für die Enzymaktivität	Bei der Katalase-Reaktion wird die Menge des freigesetzten Sauerstoff-Gases in Abhängigkeit von der Zeit gemessen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>qualitativ</u> (Ja-Nein-Entscheidung) über die Bildung von Gas (Schaumbildung; Bläschen-Bildung)</li> <li>- <u>halbquantitativ</u> über die Schaumhöhe</li> <li>- <u>quantitativ</u> über das Gasvolumen (Messkolben; pneumatische Wanne)</li> </ul>
Fragestellung / Hypothese	z. B.: Welche Lebensmittel können Wasserstoffperoxid zersetzen?
Planung des Versuchsaufbaus (dabei sollten Kontrollversuche eingeplant werden, z. B. Blindprobe ohne Enzym)	in diesem Beispiel: Schnipsel verschiedener Lebensmittel in je ein Rggl. geben; mit wenigen Tropfen stark verdünnter Spülmittel-Lösung versetzen (zur Schaumbildung); mit der gleichen Menge 3%iger Wasserstoffperoxid-Lösung versetzen.
Durchführung des Versuchs und Beobachtung(en)	in diesem Beispiel: nach jeweils 2 Minuten Schaumhöhe bei Apfel sehr gering, bei Kohlrabi wenig größer, bei Salatgurke mittel, bei Karotte und Kartoffel sehr groß
Darstellung der Beobachtungen in Tabelle und / oder Diagramm	in diesem Beispiel: Schaumhöhen messen und in eine Tabelle eintragen; daraus ein Säulendiagramm erstellen
Erklärung / Auswertung der Versuchsergebnisse	in diesem Beispiel: Die Lebensmittel enthalten unterschiedliche Mengen des Enzyms Katalase oder die Verfügbarkeit von Katalase ist bei ihnen unterschiedlich.
Kritische Betrachtung: mögliche Fehlerquellen beim Versuchsaufbau; Verfälschungen bei der Art der Darstellung der Ergebnisse; usw.	in diesem Beispiel: passen Temperatur, pH-Wert, Zerkleinerungsgrad der Schnipsel? Blindprobe fehlt, usw.
Erstellung neuer Fragestellungen und Hypothesen anhand der neuen Erkenntnisse.	Hypothese in diesem Beispiel: Ursache für geringe Enzymaktivität bei bestimmten Lebensmitteln ist ein zu geringer Zerkleinerungsgrad.

*Mit der in der Tabelle dargestellten Betrachtung vertiefen und erweitern die Schüler ihre Vorkenntnisse zum Planen, Durchführen und Auswerten von Versuchen. In der Enzymatik spielt die Frage nach der Messgröße und damit nach der Messmethode eine besondere Rolle.*

Das Enzym Katalase und sein Substrat Wasserstoffperoxid sollten an dieser Stelle kurz vorgestellt werden:

- Wasserstoffperoxid entsteht bei vielen Stoffwechsel-Prozessen als Nebenprodukt, ist ein sehr gefährliches Zellgift (sehr starkes Oxidationsmittel) und muss deshalb äußerst schnell und vollständig in Wasser und Sauerstoff umgesetzt werden.
- Deshalb kommt Katalase in sehr vielen Zellen vor, auch beim Menschen.
- Diskussion des extrem unspezifischen Namens, der historische Gründe hat.
- Ggf. wird ein Kalottenmodell von Katalase projiziert.
- Wasserstoffperoxid ist auch in starker Verdünnung reizend bis ätzend. Schutzbrille ist absolut notwendig! Nicht mit den Fingern unter die Brille fassen, wenn es am Auge

juckt! Ideal sind Einmal-Handschuhe, denn 3%ige Wasserstoffperoxid-Lösung kann Jucken auf der Haut hervorrufen. *Für die Lehrkraft: 30%ige Lösung verursacht weiße Flecken auf der Haut, die jucken bzw. schmerzen.*

*Detaillierte Hinweise zu Experimenten mit Katalase:* ALP Blatt 11\_3\_0: Katalase allgemein.

Einstieg: **Untersuchung** verschiedener Lebensmittel auf Katalase-Tätigkeit:

Fein geraspelte Lebensmittel werden mit der gleichen Menge z. B. 3%iger Wasserstoffperoxid-Lösung versetzt. Es bildet sich Schaum, denn es entsteht das Gas Sauerstoff, das zusammen mit den Proteinen der Lebensmittel einen Schaum bildet.

ALP Blatt 11\_3\_V01: Katalase – Zersetzung von Wasserstoffperoxid

Evtl. als Parallelversuch die Zersetzung von Wasserstoffperoxid unter Katalyse von Braunstein ( $\text{MnO}_2$ ).

*Hinweis: Ich biete kein Arbeitsblatt mit Versuchsanleitungen an, denn es hängt stark von den Vorkenntnissen bzw. der Lerngeschwindigkeit der Schülergruppe ab, wie detailliert die Vorgaben formuliert werden müssen.*

### 2.2.3.3 Einfluss der Substrat-Konzentration

Fragestellung: Beeinflusst die Substrat-Konzentration die Enzym-Aktivität?

Hypothese z. B.: Je höher die Substrat-Konzentration ist, desto höher ist die Enzym-Aktivität.

#### **Experimentelle Untersuchungen:**

**a) Katalase in Hefe**, halbquantitativ durch Schaumhöhe:

Wasserstoffperoxid-Lösungen unterschiedlicher Konzentration (z. B. 3 %, 2 %, 1 %, 0,1 %) werden mit sehr wenig stark verdünnter Spülmittel-Lösung und danach mit einer Spatelspitze Trockenhefe versetzt. Über einen Zeitraum von 4 Minuten wird mit einem Lineal jeweils im Abstand von 1 Minute die Schaumhöhe gemessen, in einer Tabelle protokolliert und im selben Koordinatensystem in Form von vier Liniendiagrammen darstellt. (Vereinfachung: lediglich eine Messung nach 2 Minuten).

Auswertung: Die Substrat-Konzentration hat einen großen Einfluss auf die Enzym-Aktivität.

Kritische Betrachtung: Eignen sich alle vier Zeitpunkte für eine relevante Messung? Hat es einen Einfluss auf das Ergebnis, dass nur grob eine Spatelspitze abgemessen wurde, aber keine genaue Menge an Hefe? Hat es einen Einfluss, dass die Trockenhefe zunächst Wasser aufnehmen (quellen) muss? Welche Bedeutung hat es für die Messung, dass der Schaum mit der Zeit zusammenfällt?

ALP Blatt 11\_3\_V06 (mit Wertetabelle und Diagramm)

**b) Katalase in Kartoffelpresssaft**, halbquantitativ durch Aufsteigen von Konfetti:

Dieser Versuch ist deutlich aufwendiger und ein bisschen unzuverlässiger als Versuch a), dafür aber lustiger.

Konfetti aus Filterpapier, mit dem Locher hergestellt, werden in Kartoffelpresssaft getaucht. In Reagenzgläsern wird Wasserstoffperoxid-Lösung in unterschiedlicher Konzentration (z. B. in Abstufungen zwischen 1,0 % und 0,1 %) bereit gestellt. In jedes Reagenzglas wird ein Konfetti-Scheibchen gegeben, das zunächst untergeht. Gemessen wird die Zeit, bis sich das Scheibchen hebt (weil sich Bläschen von Sauerstoff daran heften).

Auswertung: Die Substrat-Konzentration hat einen großen Einfluss auf die Enzym-Aktivität.

Kritische Betrachtung: Fehlerquellen für die Zeitmessungen; ob sich ein Sauerstoff-Bläschen an das Filterpapier heftet oder nicht, bleibt dem Zufall überlassen.

ALP Blatt 11\_3\_V07

ALP Blatt 11\_3\_V00: Herstellung von Kartoffelpresssaft

Erklärung auf der Teilchen-Ebene: Je mehr Substrat-Teilchen pro Volumen vorhanden sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Substrat- und ein Enzym-Molekül in der richtigen Orientierung aufeinander treffen und so einen Enzym-Substrat-Komplex bilden. Je öfter dies geschieht, desto höher ist die Reaktions-Geschwindigkeit.

### 2.2.3.4 Einfluss der Temperatur

Fragestellung: Beeinflusst die Temperatur die Enzym-Aktivität?

Hypothese z. B.: Je höher die Temperatur ist, desto höher ist die Enzym-Aktivität.

#### **Experimentelle Untersuchungen:**

**a) Katalase in Kartoffelpresssaft, Frisch- oder Trockenhefe,** halbquantitativ durch die Schaumhöhe:

Spätestens jetzt können die Schüler den Versuchsaufbau selbständig entwerfen und nach kurzer Begutachtung durch die Lehrkraft selbständig durchführen und auswerten:

Mehrere Reagenzgläser werden mit verdünnter Wasserstoffperoxid-Lösung (z. B. 1 %), die mit wenig verdünnter Spülmittel-Lösung versetzt ist, beschickt und bis zum Temperatur-Angleich in Wasserbäder mit unterschiedlicher Temperatur (zwischen 10 und 40 °C) gestellt. Ggf. Kontrolle mit dem Thermometer. Gleichzeitig wird in alle Ansätze die gleiche Menge enzymhaltige Substanz gegeben (z. B. eine Spatelspitze Trockenhefe, 1 mL Frischhefe-Suspension, 1 mL Kartoffelpresssaft). Messung der Schaumhöhe wie oben bei der Abhängigkeit von der Substratkonzentration.

Auswertung: Die Temperatur hat einen großen Einfluss auf die Enzym-Aktivität.

Kritische Betrachtung: Fehlerquellen bei der Menge der enzymhaltigen Substanz; Fehlerquellen bei der Schaumhöhen-Messung; Temperatur-Angleich der Wasserbäder an die Raumtemperatur (also Erwärmung bzw. Abkühlung); Verlust an Substrat im Laufe der Reaktion mindert die Reaktionsgeschwindigkeit. Sollte jeweils eine Blindprobe ohne Enzym bei jedem Einzelversuch mitlaufen?

(Nicht im Praktikumsordner.)

**b) Katalase in Kartoffelpresssaft, Frisch- oder Trockenhefe,** quantitativ durch das Volumen des entstehenden Sauerstoffs:

*Dieser Versuch ist zeitaufwändig, verlangt mehr experimentelles Geschick von den Schülern und ist bei der Auswertung anspruchsvoll. Wenn die Messung des Sauerstoff-Volumens durch eine pneumatische Wanne erfolgt, bietet sich ein Demonstrations-Versuch unter Mithilfe von Schülern an. Erfolgt die Volumenmessung über eine Kunststoffspritze, kann die Untersuchung als reines Schülerexperiment durchgeführt werden.*

Im Prinzip wie a), aber mit Apparatur zur Volumenmessung.

Auswertung: Die Substrat-Konzentration hat einen großen Einfluss auf die Enzym-Aktivität. Im Extremfall wird für jede Temperatur eine Messreihe mit 4-5 Werten erstellt (Abstand: 1 Minute) und als Liniendiagramm visualisiert. Das Diagramm zeigt ein deutliches Abflachen der Kurve ab etwa 3 Minuten, weil dann die Substrat-Konzentration merklich gesunken ist. *(Eine mathematische Auswertung der Diagramme zur Ermittlung der Reaktionsgeschwindigkeit wird vom LehrplanPLUS für die 10. Klasse ausdrücklich ausgeschlossen!)*

Kritische Betrachtung: s. o.

**ALP** Blatt 11\_3\_V11 (mit Wertetabellen und Diagrammen)

Erklärung auf der Teilchen-Ebene: Höhere Temperatur bedeutet, dass sich die Teilchen schneller bewegen. Je schneller sich Substrat- und Enzym-Moleküle im Raum bewegen, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit für die Bildung eines Enzym-Substrat-Komplexes und damit steigt die Reaktions-Geschwindigkeit.

### 2.2.3.5 Einfluss des pH-Werts / Säuregrads

*Hinweis: Die pH-Skala darf in NTG-Klassen vorausgesetzt werden, weil sie im Chemie-Unterricht am Anfang der 10. Klasse steht. In Nicht-NTG-Klassen wird die pH-Skala aber erst viel später thematisiert und kann deshalb nicht vorausgesetzt werden (dort besser von Säuregrad sprechen).*

Fragestellung: Beeinflusst der pH-Wert / der Säuregrad die Enzym-Aktivität?

Hypothese z. B.: Je näher der Säuregrad beim Neutralpunkt ist, desto höher ist die Enzym-Aktivität.

#### Experimentelle Untersuchungen:

**a) Katalase in Kartoffelpresssaft, Frisch- oder Trockenhefe**, halbquantitativ durch die Schaumhöhe:

*Auch hier können die Schüler selbständig Vorschläge für den Versuchsaufbau erarbeiten.*

Unterschiedliche pH-Werte können durch Pufferlösungen erreicht werden, aber auch durch unterschiedliche Volumina stark verdünnter Säuren und Laugen (wie z. B. 5%ige Essigsäure- bzw. Ammoniak-Lösung).

Auswertung: Die Aktivität von Katalase ist (etwa) im Neutralen am höchsten und nimmt zum Säuren wie zum Basischen hin ab. Insgesamt gesehen ist Katalase in einem breiten Spektrum der pH-Skala aktiv.

Kritische Betrachtung: s.o.; Genauigkeit bei der Bestimmung des pH-Werts

**ALP** Blatt 11\_3\_V09 (mit Wertetabellen und Diagrammen)

**b) Katalase in Kartoffelpresssaft, Frisch- oder Trockenhefe**, quantitativ durch das Volumen des entstehenden Sauerstoffs (Spritzentechnik):

*Dieser Versuch ist zeitaufwändig, verlangt mehr experimentelles Geschick von den Schülern und ist bei der Auswertung anspruchsvoll. Aber auch hier: keine mathematische Berechnung!*

Im Prinzip wie a), aber mit Apparatur zur Volumenmessung. Alle Anmerkungen bei Versuch b) zur Temperatur gelten auch hier.

Auswertung und kritische Betrachtung wie a)

**ALP** Blatt 11\_3\_V10 (mit Wertetabelle und Diagrammen)

Erklärung auf der Teilchen-Ebene:

In **NTG-Klassen** kann auf das chemische Vorwissen zurück gegriffen werden: Oxonium- bzw. Hydroxid-Ionen lagern sich an Stellen der Aminosäurereste im Enzym an, die negativ bzw. positiv geladen (teilgeladen) sind. Dadurch ändern sich die Wechselwirkungen zwischen den Aminosäureresten und damit die räumliche Struktur des Enzyms. Das hat zur Folge, dass seine katalytische Wirkung nachlässt.

In **Nicht-NTG-Klassen** sind weder die pH-Skala noch Oxonium- und Hydroxid-Ionen bekannt (Protonenübergänge sind erst im zweiten Halbjahr der 10. Klasse Chemie angesetzt): Säuren bzw. Basen verändern die chemischen Eigenschaften der Aminosäurerest im Enzym. Dadurch ändern sich die Wechselwirkungen zwischen den Aminosäureresten und damit die räumliche Struktur des Enzyms. Das hat zur Folge, dass seine katalytische Wirkung nachlässt.

### 2.2.3.6 Denaturierung

Definition: Veränderung der Raumstruktur eines Enzyms durch äußere Einwirkung, die meist einen Verlust der Funktion bewirkt.

Die Abfolge der Aminosäuren in der Kette bleibt zwar erhalten, aber die Faltung ändert sich und damit die Gestalt der Erkennungs- und Bindungstasche sowie des Aktiven Zentrums.

### a) Hitze-Denaturierung:

Erklärung auf Teilchenebene: Beim Erhitzen bewegen sich die Aminosäurereste im Enzym stark, lösen bisherige Wechselwirkungen auf und gehen neue mit anderen Partnern ein, so dass die ursprüngliche räumliche Struktur irreversibel zerstört wird. Erinnerung an das Gerinnen von Eiklar beim Spiegelei in der Pfanne.

Variante 1 (der „Klassiker“): Eine kleine Münze wird mit Hilfe einer Tiegelszange in der Spitze einer Brenner- oder Kerzenflamme erhitzt, auf die frische Schnittfläche einer Kartoffelscheibe gelegt und nach einigen Sekunden entfernt. Dann wird 3%ige Wasserstoffperoxid-Lösung gleichmäßig auf der Schnittfläche verteilt. Beobachtung: Auf der Fläche, wo die Münze lag, bleibt die Lösung wie sie war, auf der Fläche darum herum bildet sich Schaum.

Variante 2: Statt einer Münze wird eine Gabel verwendet, deren Zinken einen möglichst großen Abstand haben (bei zu geringem Abstand verbinden sich die Schaumlinien dazwischen).

Varianten 1-2: **ALP** Blatt 11\_3\_V02: Katalase – Hitzedenaturierung 1

Variante 3: Wasserstoffperoxid-Lösung auf eine gekochte bzw. rohe Kartoffel-Scheibe aufbringen.

Variante 4: Eine Teilmenge von Frisch- bzw. Trockenhefe-Suspension bzw. Kartoffelpresssaft wird in der Flamme 10 Sekunden lang sprudelnd erhitzt; abkühlen lassen. Parallelversuche mit intaktem und hitzedenaturiertem Enzym, das jeweils in gleiche Mengen Wasserstoffperoxid-Lösung gleicher Konzentration (für Schüler nicht über 3 %; ein Demonstrations-Experiment mit 10%iger Lösung fällt entsprechend dramatischer aus) gegeben wird.

Varianten 3-4: **ALP** Blatt 11\_3\_V03: Katalase – Hitzedenaturierung 2

Als Abschluss dieses Abschnitts können die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst werden. Auch eine Endevaluation zur Kompetenzschulung ist an dieser Stelle sinnvoll:

**Aufgabenblatt** zur Endevaluation Erkenntnisgewinnung: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

**Aufgabenblatt** zur Endevaluation Diagrammkompetenz: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

### b) Schwermetall-Denaturierung:

Erklärung auf Teilchenebene:

In **NTG-Klassen:** Schwermetall-Ionen tragen zwei oder drei positive Ladungen und wechselwirken aufgrund ihrer hohen Ladungsdichte mit zwei Aminosäureresten, die jeweils eine negative Ladung bzw. Teilladung tragen. Die Ion-Ion- bzw. Ion-Dipol-Wechselwirkungen sind so stark, dass sich die Aminosäurereste nicht mehr lösen können, um mit ihren ursprünglichen Partner zu wechselwirken.

In **Nicht-NTG-Klassen:** Ggf. wie in NTG-Klassen, wenn die Wechselwirkungen im Chemie-Unterricht der 10. Klasse bereits behandelt sind. Rücksprache mit der Chemie-Lehrkraft!

Variante 1: Kartoffel in Scheiben schneiden, Scheiben vierteln. In drei Bechergläser mit Leitungswasser bzw. verdünnter Kupfersulfat-Lösung bzw. gleich konzentrierter Natriumsulfat-Lösung geben und über Nacht jeweils die Kartoffelstücke einlegen. Für den Unterricht wird aus jedem Becherglas je ein Kartoffelstück entnommen, in eine Petrischale gelegt und mit 3%iger Wasserstoffperoxid-Lösung benetzt. Beobachtung nach einigen Minuten: Schaumbildung bei den Kartoffeln, die in Wasser oder Natriumsulfid-Lösung lagen, keine Schaumbildung bei Kupfersulfat-Lösung.

Auswertung: z. B. Begründung, warum ein Parallelversuch mit Natriumsulfat-Lösung gemacht wird (nämlich um sicher zu stellen, dass nicht die Sulfat-Ionen die Denaturierung hervor rufen).

Variante 2: Kartoffeln in Würfel mit 5 mm Kantenlänge schneiden. Nach der Inkubation die Würfel in Reagenzgläser geben, die Wasserstoffperoxid-Lösung und wenig verdünnte Spülmittel-Lösung enthalten. (Dabei tritt ein wenig Schaum auf, bevor die Kartoffel dazu gegeben wird.)

**ALP** Blatt 11\_3\_V04: Katalase – Blockierung durch Schwermetall-Ionen

Alltagsbezug: Schwermetall-Vergiftung

### 2.2.4 Stufenweiser Abbau der Makronährstoffe (4 h)

<b>Inhalte zu den Kompetenzen</b>	<b>Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...</b>
Abbau von Nahrungsbestandteilen zu resorbierbaren Teilchen mithilfe von Verdauungssäften  (Lernbereich 1: wie in 2.2.3)	erläutern am Beispiel der Verdauung die allgemeine Wirkungsweise von Enzymen auf der Stoff- und der Teilchenebene.  erläutern die Enzymausstattung des Menschen als Angepasstheit, indem sie die Beeinflussung der Enzymaktivität durch Außenfaktoren beschreiben.  erklären das Zusammenwirken der Bestandteile des Verdauungssystems [...] beim stufenweisen enzymatischen Abbau von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen zu resorbierbaren Teilchen.  (Lernbereich 1: wie in 2.2.3)
<b>Vorwissen:</b> <b>Jgst. 5 Biologie</b> , Lernbereich 2.3.3: Stoff- und Energieumwandlung (Verdauung)	<b>Weiterverwendung:</b> –

*In Abschnitt 2.2.4 wird die Wirkung der Enzyme für den stufenweisen Abbau der Makronährstoffe thematisiert, unterstützt von einigen praktischen Untersuchungen. Bei den Untersuchungen sollen die Phänomene bzw. Erklärungen jeweils der Stoff- bzw. Teilchenebene zugeordnet werden. Aufgrund ihrer Erfahrung aus Abschnitt 2.2.3 können die Schüler die Untersuchungen in diesem Abschnitt weitestgehend selbst planen und durchführen.*

*Die veranschlagte Unterrichtszeit reicht wohl nicht aus, um alle hier vorgestellten Experimente zu planen, durchzuführen und auszuwerten. Sie müssen eine Auswahl treffen oder die Schüler arbeiten in arbeitsteiligen Gruppen (es sollten in jedem Fall Untersuchungen zur Abhängigkeit der Enzymaktivität von pH-Wert und Temperatur durchgeführt werden).*

#### 2.2.4.1 Verdauung von Stärke

Vorverdauung im Mund: Der Mundspeichel (aus den Mundspeicheldrüsen) enthält das Enzym Amylase, mit dessen Hilfe Stärke-Moleküle teilweise in kleinere Bruchstücke (Oligosaccharide) aus 2 bis 6 Glucose-Einheiten zerlegt werden. Bei jedem Zerlegungsschritt reagiert ein Molekül Wasser mit der Stärke.

*amylon*, altgr.: Stärke

*In vielen Abbildungen wird suggeriert, dass bei der Stärkeverdauung im Mund ausschließlich Maltose entstünde. Der Abbau von Stärke zu Maltose erfolgt unter der Wirkung von  $\beta$ -Amylase, die aber im menschlichen Mundspeichel nicht vorkommt, sondern in Bakterien und Pflanzen. Die im menschlichen Mundspeichel vorhandene  $\alpha$ -Amylase greift die Stärkehelix an unterschiedlichen Stellen in der Nähe ihres Endes an, wobei unter anderem auch Maltose entsteht.*

Endverdauung im Dünndarm: Der Bauchspeichel (aus der Bauchspeicheldrüse) enthält Amylase, Maltase und weitere Enzyme, mit deren Hilfe die restliche Stärke sowie deren kurzkettige Bruchstücke in Glucose zerlegt werden.

*Detaillierte Hinweise zu Experimenten mit Amylase:* ALP Blatt 11\_2\_0: Amylase allgemein

### **Experimente:**

#### **a) Mundverdauung:**

Als Hausaufgabe (denn Essen und Trinken sind in Fachräumen verboten): Ein Stück Semmel, Toastbrot oder Baguette wird möglichst lange gekaut. Nach einigen Minuten wird die Geschmacksqualität „süß“ registriert. Erklärung: Aus der Stärke wurden kurzkettige Zucker abgespalten.

Aufgabe 8 auf dem **Aufgabenblatt** 2 Stoffwechsel Mensch: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

*Für die weiteren Untersuchungen zur Amylase kann Mundspeichel verwendet werden, wobei darauf zu achten ist, dass die Lippen das Reaktionsgefäß nicht berühren dürfen. Alternativ eignet sich Pankreatin aus Bauchspeicheldrüsen von Schweinen, das u. a. Amylasen enthält. Reine Amylasen sind sehr teuer und für Untersuchungen in diesem Rahmen nicht notwendig.*

#### **b) Temperaturabhängigkeit von Amylase:**

In mehreren Wasserbädern unterschiedlicher Temperaturen (zwischen 10 °C und 35 °C) befinden sich je zwei Reagenzgläser mit Iod-Stärke-Lösung, die mit Enzymlösung bzw. der gleichen Menge Wasser (Blindprobe) versetzt werden. Gemessen wird die Zeit bis zur Entfärbung.

Auswertung: Diagramm, bei Parallelversuchen ggf. Mittelwerte; Erklärung auf Teilchenebene (s. o.).

*Hinweis: Bei Temperaturen über 35 °C weitet sich die Stärkehelix, wodurch die Färbung verschwindet. Bei Temperaturen unter 10 °C verläuft die Reaktion zu langsam.*

ALP Blatt 11\_2\_V03: Amylaseaktivität, abhängig von Temperatur

#### **c) pH-Abhängigkeit von Amylase:**

In einem Wasserbad von etwa 35 °C befinden sich z. B. 5 Reagenzgläser mit Iod-Stärke-Lösung, von denen ein Ansatz neutral bleibt, während die anderen mit stark verdünnter Essig- bzw. Salzsäure mehr oder weniger stark angesäuert werden. (Untersuchungen im Basischen sind sinnlos, da die Hydroxid-Ionen die Bildung des Iod-Stärke-Komplexes verhindern.) Nach z. B. 5 Minuten wird beobachtet.

Auswertung: Nur im Neutralen findet Stärkeabbau statt. Die Säure verändert die Enzymstruktur so stark, dass die katalytische Wirkung verloren geht. Der aktive pH-Bereich ist bei Amylase wesentlich enger als bei Katalase.

*Hinweis: Zu diesem Zeitpunkt sind Oxonium-Ionen nur NTG-Schülern bekannt!*

ALP Blatt 11\_2\_V04: Amylaseaktivität, abhängig vom pH-Wert

#### **d) Schwermetall-Denaturierung von Amylase:**

Parallelversuche: Iod-Stärke-Lösung mit drei Tropfen Leitungswasser bzw. Kupfersulfat-Lösung bzw. Natriumsulfat-Lösung versetzen; Wasserbad zwischen 30 und 35 °C; Amylase zugeben. Entfärbung bei Wasser und Natriumsulfat, nicht bei Kupfersulfat.

*Hinweis: Hitzedenaturierung klappt bei Amylase in der Regel nicht.*

### 2.2.4.2 Verdauung von Fetten

Fettabbau findet nur im Dünndarm statt. Der Bauchspeichel enthält Lipasen, die die Reaktion von Fett-Molekülen mit Wasser katalysieren, so dass pro Fett-Molekül in drei Abbauschritten ein Molekül Glycerin (Propan-1,2,3-triol) und 3 Moleküle Fettsäuren entstehen. (Vgl. 2.1.3.2) *lipos*, altgr.: Fett

Fette lösen sich nicht im wässrigen Verdauungssaft. Die Lösung dieses Problems besteht darin, die Fette in möglichst winzige Portionen aufzuteilen, die als Fettröpfchen im Verdauungssaft schwimmen (Emulsion). Dabei muss verhindert werden, dass die Fettröpfchen wieder fusionieren. Dafür sorgen sogenannte Emulgatoren; im Dünndarm übernimmt diese Rolle der Gallensaft. (*Keine nähere Erklärung auf Teilchenebene, weil Detergentien in Chemie noch nicht behandelt worden sind.*) Der sehr hohe Zerteilungsgrad von Fett im Verdauungssaft sorgt für eine große Oberfläche, an der Fett-Moleküle mit Enzym-Molekülen in Kontakt treten können, wodurch die Reaktionsgeschwindigkeit stark erhöht wird (Prinzip: Oberflächen-Vergrößerung).

Zur Fettverdauung gibt es verbreitete **Fehlvorstellungen**, z. B.:

- „Fett wird durch „Galle“ (gemeint ist: Gallensaft) abgebaut.“
- „Schnaps hilft bei der Verdauung von Fett.“

Zusätzlich zu den im Anschluss aufgeführten Experimenten können die Schüler Versuchsaufbauten entwerfen, mit denen diese beiden Aussagen experimentell überprüft werden können, und die Versuche durchführen.

#### Experimente:

##### a) Abbau von Fett in der Milch:

Milch wird im Reagenzglas mit wenigen Tropfen Phenolphthalein-Lösung versetzt. Stark verdünnte Ammoniak-Lösung wird zugetropft, bis gerade eine rosa Färbung sichtbar wird. Der Ansatz wird geteilt und mit Enzym-Lösung bzw. dem gleichen Volumen Wasser (Blindprobe) versetzt. Die Reaktion erfolgt im Wasserbad von etwa 40 °C; bei Raumtemperatur ist das Ergebnis nach etwa 10 Minuten zu sehen.

Auswertung: Die Entfärbung im Ansatz mit Enzym belegt die Entstehung saurer Substanzen, die das Ammoniak neutralisieren: Dies sind die Fettsäuren aus dem Abbau von Milchfett.

*Statt teure Lipase zu verwenden, eignet sich sehr gut Pankreatin, ein Stoffgemisch aus der Bauchspeicheldrüse von Schweinen, das u. a. Lipasen enthält. Universalindikator zeigt den Farbwechsel nicht deutlich.*

**ALP** Blatt 11\_5\_V01: Lipase – Spaltung von Fett in Milch

##### b) Abbau von Fett in Speiseöl:

Zu 1 mL Speiseöl werden für den einen Versuch 4 mL Ochsen-gallen-Lösung und für den anderen Versuch 4 mL Spülmittel-Lösung gegeben und vorsichtig geschüttelt. Wie unter a) beschrieben wird mit Phenolphthalein- und Ammoniak-Lösung eine leichte Rosa-Färbung erzeugt. Beide Ansätze werden geteilt und jeweils mit 2 mL Enzym-Lösung (am besten Pankreatin-Aufschlammung) bzw. 2 mL Wasser versetzt. Die Reaktion erfolgt im Wasserbad von etwa 40 °C. Die Ansätze ohne Enzym bleiben rosa, der Ansatz mit Ochsen-galle und Enzym entfärbt sich schneller, der mit Spülmittel-Lösung langsamer.

Auswertung: Ochsen-galle bzw. Spülmittel sorgen dafür, dass die wässrige Phase mit dem Öl eine Emulsion bildet, so dass Substrat und Enzym gut in Kontakt kommen können, aber sie spalten die Fett-Moleküle nicht (Fehlvorstellung: Fett würde durch Gallensaft gespalten.). Das gelingt mit Ochsen-galle effektiver als mit Spülmittel. Die bei der enzymatisch katalysierten Reaktion freigesetzten Fettsäuren neutralisieren das Ammoniak.

**ALP** Blatt 11\_5\_V02: Lipase – Spaltung von Fett in Speiseöl

Vgl. auch **ALP** Blatt 07\_5\_V05: Gallensaft als Emulgator

### 2.2.4.3 Verdauung von Proteinen

Vorverdauung im Magen: Der stark saure pH-Wert des Magens (ungefähr pH 1; das entspricht etwa der verdünnten Salzsäure im Labor) lässt die Proteine verklumpen (dadurch werden Proteine von Krankheitserregern unwirksam gemacht). Die Zellen der Magenwand produzieren das Enzym Pepsin, das sein Optimum im stark Säuren hat und die Protein-Moleküle in Bruchstücke (Oligopeptide) zerlegt.

Im Experiment nicht eindrucksvoll darstellbar, aber wichtig im Umgang mit Fehlvorstellungen: Der Irrglaube ist weit verbreitet, dass die Magensäure die „Nahrung“ bzw. die Proteine zersetzen würde. Das ist so nicht richtig, auch wenn Säure die spontane Hydrolyse der Peptidbindungen begünstigt (das dauert einfach zu lange).

#### **Experimente:**

##### **a) Abbau von Milcheiweiß:**

Wenig Magerquark wird in viel Wasser aufgeschlämmt. Zu einer Probe dieser Suspension werden Salzsäure + Pepsin-Lösung bzw. Salzsäure + Wasser bzw. Wasser und Pepsin-Lösung gegeben (Enzym-Lösung jeweils zum Schluss) und ins Wasserbad von 40 °C gestellt.

Nur im Ansatz mit Säure und Enzym verschwindet die Trübung der Suspension merklich.

Auswertung: Pepsin ist im Säuren, nicht aber im Neutralen wirksam; ohne Enzym erfolgt kein Abbau des Milcheiweißes.

**ALP** Blatt 11\_5\_V04: Pepsin – Abbau von Milcheiweiß

##### **b) Wirkung der Magensäure:**

Milch in unterschiedlichen Verdünnungsgraden wird jeweils mit der gleichen Menge Säure (Zitronensäure-Lösung, Essig) versetzt. Je konzentrierter die Milch ist, desto massiver tritt eine Verklumpung (Niederschlag) auf. Ggf. länger stehen lassen (30 min).

Auswertung: Die Säure bringt die Proteine in der Milch zum Verklumpen, aber sie zersetzt sie nicht (jedenfalls nicht in nennenswertem Umfang).

**ALP** Blatt 07\_5\_V06: Denaturierung von Proteinen in der Milch

Endverdauung im Dünndarm: Der stark saure Mageninhalt wird im Zwölffingerdarm durch den basischen Bauchspeichel leicht über-neutralisiert, so dass der Inhalt des Dünndarms schwach basisch reagiert. Im Bauchspeichel sind Proteasen (mit Optimum im schwach Basischen, z. B. Trypsin), welche die Oligopeptide weiter zerlegen bis zu den Aminosäuren.

### 2.2.4.4 Zerlegung von Milchzucker (Lactose) (fakultativ)

*Vom LehrplanPLUS nicht gefordert. Ggf. zur Begabtenförderung oder für einen Projekttag.*

Der leicht süße Geschmack der Milch kommt vom Milchzucker (Lactose), einem Disaccharid aus Glucose und Galaktose. Für seine Spaltung in die beiden Monosaccharide ist ein spezielles Enzym nötig, die Lactase.

#### Von der Lactose-Intoleranz zur -Toleranz:

Bevor der Mensch die Viehhaltung erfunden hatte, nahmen nur Säuglinge Milch zu sich. Eine Produktion des Enzyms Lactase über diese Lebensphase hinaus wäre unökonomisch. Die Abschaltung des Gens für Lactase war deshalb eine ressourcenschonende Anpassung und damit ein Selektionsvorteil. Vor 8000 bis 9000 Jahren begannen die Menschen, Rinder zu halten, so dass auch für Erwachsene Milch zur Verfügung stand. Menschen, bei denen aufgrund

einer Mutation die Abschaltung des Gens für Lactase außer Kraft gesetzt wurde, produzierten über das Säuglingsalter hinaus Lactase und konnten die Milch als Nahrungsmittel gut vertragen (bei Lactoseintoleranten erzeugt Milchzucker starke Blähungen). Eine solche Mutation geschah im Lauf der Menschheitsgeschichte mehrfach. Menschen, die Milch gut vertragen konnten, hatten eine bessere Ernährungslage und damit einen Selektionsvorteil. Lactose-Intoleranz ist also keine krankhafte Entwicklung, sondern entspricht der ursprünglichen Situation des Menschen.

### **Experimente:**

#### **a) Abbau von Lactose:**

Eine Lactose-Lösung wird in drei Portionen geteilt. Ansatz A wird mit Salzsäure versetzt, eine halbe Minute über einer Flamme gekocht und nach dem Abkühlen mit Natronlauge neutralisiert; Ansatz B bleibt unbehandelt und dient als Blindprobe; Ansatz C wird mit etwas pulverisierter Lactase-Tablette (Apotheke) versetzt und 5 Minuten stehen gelassen. Danach wird mit GOD-Teststreifen der Gehalt an Glucose in den Ansätzen überprüft: tiefgrüne Färbung in den Ansätzen A und C, gelbe oder gelbgrüne Färbung in Ansatz B.

Auswertung: In Ansatz A wurde Lactose durch saure Hydrolyse in Glucose und Galaktose getrennt; in Ansatz C geschah dies enzymatisch und zwar bei Raumtemperatur (Absenkung der Aktivierungs-Energie durch das Enzym).

#### **b) Hypothese zur Bildung von Lactase in Schweinen:**

Fragestellung: Die ursprüngliche genetische Ausstattung des Menschen sorgte dafür, dass nach dem Abstillen keine (damals überflüssige) Lactase mehr in der Bauchspeicheldrüse erzeugt wurde. Daraus kann die Hypothese abgeleitet werden, dass das bei heutigen Hausschweinen immer noch so ist, schlachtreife Tiere also in ihrer Bauchspeicheldrüse keine Lactase produzieren.

Untersuchung: Lactose-Lösung wird in drei Ansätzen untersucht: Ansatz A wird mit Pankreatin-Lösung versetzt, Ansatz B bleibt unbehandelt, Ansatz C wird mit pulverisierter Lactase-Tablette versetzt. Nach 5 Minuten wird mit GOD-Teststäbchen der Glucose-Gehalt überprüft: Nur in Ansatz C tritt tiefgrüne Färbung auf.

Auswertung: Pankreatin kann die Lactose nicht spalten; schlachtreife Schweine erzeugen das Enzym Lactase nicht.

#### **c) Lactosefreie Milch:**

Fragestellung: Ist lactosefreie Milch zuckerfrei oder wird ihr ein anderer Zucker zugesetzt?

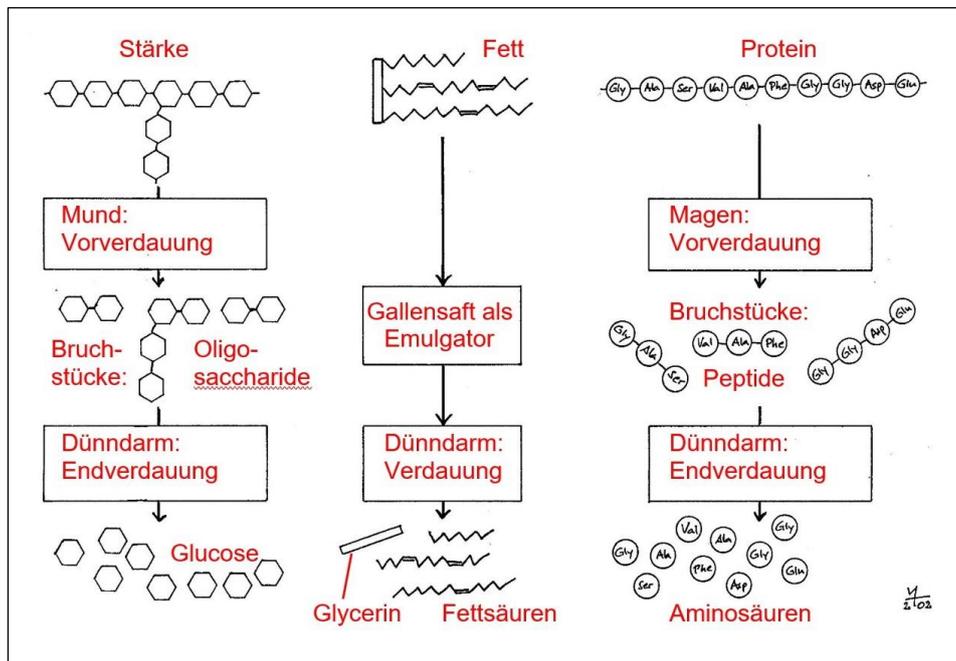
Untersuchung: Zunächst wird der GOD-Test mit normaler sowie mit lactosefreier Milch durchgeführt. Dann werden beide Ansätze mit pulverisierter Lactase-Tablette versetzt und 5 Minuten stehen gelassen. Anschließend wird wieder der GOD-Test durchgeführt. In normaler Milch ist die Färbung gelb bis gelbgrün, am Ende dunkelgrün; in lactosefreier Milch in beiden Fällen dunkelgrün.

Auswertung: Normale Milch enthält so gut wie keine Glucose, sondern Lactose, die durch Lactase in Glucose und Galaktose gespalten wird. Lactosefreier Milch wird Glucose zugesetzt.

**ALP** Blatt 11\_5\_V03: Lactase – Zersetzung von Lactose (enthält alle drei Versuche)

### 2.2.4.5 Übersicht

Übersicht zum Zusammenwirken der Verdauungsenzyme beim stufenweisen Abbau der Makro-Nährstoffe:



Arbeitsblatt mit Übersicht über die Verdauungsprozesse leer [\[jpg\]](#) und ausgefüllt [\[jpg\]](#)

#### Angepasstheit der Verdauungs-Enzyme an den pH-Wert / Säuregrad:

- Mund: neutraler pH-Wert (Mundspeichel-Amylase)
- Magen: stark saurer pH-Wert (Pepsin)
- Dünndarm: schwach basischer pH-Wert (Bauchspeichel-Amylase, -Proteasen, -Lipasen)

► Diagramm zur Abhängigkeit der Enzymaktivität vom pH-Wert von z. B. Mundspeichel-Amylase, Pepsin, Bauchspeichel-Enzyme (wie Trypsin) zur Auswertung durch die Schüler.

#### Angepasstheit der Verdauungs-Enzyme an die Körpertemperatur:

Die Körpertemperatur des Menschen beträgt ungefähr 37 °C. Hierbei ist die Aktivität der Enzyme hoch, aber die Gefahr der Hitzedenaturierung noch nicht gegeben.

► Diagramm zur Abhängigkeit eines nicht näher bezeichneten Enzyms von der Temperatur mit Optimum bei knapp 40 °C und steilem Abfall zwischen 40 und 50 °C zur Auswertung durch die Schüler.

Für Klassen, die keine Scheu vor Spielen haben, bieten sich Möglichkeiten, ihr Wissen modellhaft darzustellen und daraus ggf. ein Erklärvideo zu gestalten:

- im Modell mit Steckbausteinen: **ALP** Blatt 07\_5\_V08: Modell Verdauung
- als Rollenspiel im Pausenhof: **ALP** Blatt 07\_5\_V07: Rollenspiel Verdauung

## 2.2.5 Resorption im Dünndarm (1,5 h)

<b>Inhalte zu den Kompetenzen</b>	<b>Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...</b>
Resorption im Dünndarm: Oberflächenvergrößerung (Darmzotten, Mikrovilli, Kapillaren des Blutgefäßsystems, Lymphgefäße), passiver Transport (Diffusion) und aktiver Transport (Carrier)	beschreiben den Aufbau der Dünndarmwand, um mithilfe des Struktur-Funktions-Konzepts die Resorption zu erläutern.  <i>beschreiben Wechselwirkungen und Stoffwechselprozesse [...] mithilfe von Modellen. Sie entwickeln zu einem Sachverhalt alternative Modelle. Dabei erkennen sie Stärken und Schwächen einzelner Modelle und leiten daraus die Notwendigkeit ab, Modelle kritisch zu betrachten und weiterzuentwickeln. (Lernbereich 1)</i>
<b>Vorwissen:</b> <b>Jgst. 5 Biologie</b> , Lernbereich 2.3.3: Stoff- und Energieumwandlung (Verdauung)	<b>Weiterverwendung:</b> –

**Problemstellung:** Die Bausteine der Makronährstoffe, die durch die Verdauung entstanden sind (Monosaccharide, Glycerin, Fettsäuren, Aminosäuren), Wasser, Ionen der Mineralsalze und Vitamine (auch oral eingenommene Medikamente) müssen aus dem Darmlumen (Innenraum des Darms) in das Transportsystem gelangen. Dabei spielt die Größe der Oberfläche, an der die Teilchen wandern, eine bedeutende Rolle, aber auch die Frage, durch welche Mechanismen die Teilchen durch die Zellmembranen hindurch gelangen.

### 2.2.5.1 Oberflächen-Vergrößerung

Den Schülern ist das Prinzip der Oberflächen-Vergrößerung bereits gut bekannt, so dass sie in der Regel selbständig Bilder der Darmwand auswerten können. Dafür sollten ihnen am besten Fotografien (makroskopisch bei den Darmfalten; mikroskopisch bei den Darmzotten und elektronenmikroskopisch bei den Mikrovilli) sowie Schemazeichnungen zur Verfügung stehen. Die Maßstäbe müssen auf den Fotos angegeben werden. *(Weil auf solchen Fotos Copyright liegt, kann ich hierfür kein entsprechendes Arbeitsblatt anbieten.)*

**Ergebnis:** Die Oberfläche der Darmwand wird in mehrfacher Weise vergrößert.

- Einstülpungen der Dünndarmwand bilden halbkreisförmige Darmfalten (makroskopisch, mit bloßem Auge erkennbar). *(Die Erwähnung des medizinischen Begriffs Kerkring-Falten halte ich nicht für sinnvoll.)*
- Fingerförmige Darmzotten sitzen auf der Oberfläche der Darmfalten (lichtmikroskopisch erkennbar).
- Die Zellmembran der Darmzotten-Zellen ist zum Darmlumen hin nicht glatt, sondern bildet sehr viele (3000 pro Zelle) fadenförmige Mikrovilli (ca. 1µm lang und ca. 0,1 µm dick; elektronenmikroskopisch erkennbar).

An dieser Stelle können Modellversuche zur Oberflächenvergrößerung durchgeführt werden, wenn das sinnvoll erscheint:

#### a) Wasserhalte-Kapazität:

Vergleich der Wasserhalte-Kapazität zwischen einem Noppenhandschuh und einem gleich großen Stück Leinentuch: **ALP** Blatt 04\_V04: Oberflächenvergrößerung  
(Die Noppen des Handschuhs sehen sehr ähnlich aus wie Darmzotten.)

**b) Zerteilter Würfel:**

Die Oberfläche eines Würfels wird mit Papierquadraten ausgemessen, danach die Summe der Oberflächen der 8 Würfel, in die sich der ursprüngliche Würfel durch Halbierung in jeder Raumrichtung zerlegen lässt: ALP Blatt 04\_V04: Oberflächenvergrößerung

**c) „Darmtore“:**

Die Schüler erhalten ein Blatt, auf dem viele kleine Kreise unregelmäßig angeordnet sind; sie symbolisieren Stellen, an denen Stoffe durch die Zellmembran der Darmzellen treten können (die „Darmtore“). Sie stecken das gerollte Blatt in ein schmales Becherglas und zählen die von außen sichtbaren Kreise. Dann sollen sie eine Methode entwickeln, mit der deutlich mehr Kreise von außen sichtbar werden. Lösung: Das Blatt wird gefaltet.

ALP Blatt 07\_5\_V02: Oberflächenvergrößerung Darm

Link zur Druckvorlage für das Modell „Darmtore“: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Die „Darmtore“ werden unter 2.2.6.3 konkretisiert.

**2.2.5.2 Die Darmzotte**

Die Schüler skizzieren einen Längsschnitt durch eine Darmzotte mit folgenden Bestandteilen:

- äußere Zellschicht der Darmzotte (*Den Begriff Epithel halte ich hier für überflüssig.*)
- Darmkapillaren mit Bewegungsrichtung des Blutes (*Eine Anfärbung mit Rot und Blau halte ich nicht für sinnvoll, denn hier geht es um die Aufnahme von Nahrungsbestandteilen und nicht um den Austausch der Atemgase.*)
- Arteriole, die vom Herzen kommt und aus der die Darmkapillaren abzweigen
- Venole, die zur Leber führt und in die die Darmkapillaren münden
- Lymphgefäß mit blinder Abzweigung in die Darmzotte, das zur Leber führt

In diese Skizze können die Wege der Nahrungsbestandteile eingetragen werden:

- Glycerin- und Fettsäure-Moleküle gelangen in das Lymphgefäß (ggf. auch: ... und werden dort wieder zu Fettmolekülen zusammen gebaut).
- Glucose-, ggf. Fructose- oder Lactose- sowie unterschiedliche Aminosäure-Moleküle gelangen in die Kapillaren.

Die Nahrungsbestandteile werden mit dem Blut bzw. der Lymphe zunächst zur Leber transportiert, in der ein Teil davon gespeichert wird. Der Rest wird im Körper verteilt und von den Zellen aufgenommen, um deren eigenen Bedarf zu decken bzw. Speicher anzulegen (z. B. Fette im Unterhautfettgewebe).

Fakultativ: Die Ader, die vom Darm zur Leber zieht, heißt Leberpfortader. Eine Pfortader verbindet zwei Kapillarsysteme direkt miteinander (ohne eine Pumpe dazwischen).

**2.2.5.3 Transport-Mechanismen durch eine Biomembran**

Biomembranen umgrenzen einen Raum und kontrollieren den Stoffaustausch zwischen diesem Raum und seiner Umgebung. – *Das kennen die Schüler bereits. Der LehrplanPLUS verlangt an dieser Stelle zwar nicht die Besprechung des Aufbaus einer Biomembran, das ist aber sinnvoll, wenn z. B. diskutiert werden soll, warum ungeladene Teilchen Membranen an beliebigen Stellen durchqueren können, Teilchen mit Ladungen (Teilladungen) dagegen nicht. (Das Wechselwirkungskonzept kennen die NTG-Schüler bereits aus der 9. Klasse; in allen anderen Zweigen des bayerischen Gymnasiums ist dies Thema im Chemie-Unterricht etwa ab Mitte November in der 10. Klasse => Rücksprache mit der Chemie-Lehrkraft).*

**a) Aufbau einer Biomembran:** (fakultativ)

Eine Biomembran besteht aus einer doppelten Schicht sogenannter Lipide, die einen wasserlöslichen (hydrophilen) Kopf und einen Schwanz aus zwei Fettsäureresten besitzen. Sie sind so angeordnet, dass die Köpfe nach außen stehen (wo sich wässrige Lösungen befinden) und die wasserabstoßenden (lipophilen, hydrophoben) Fettsäurereste nach innen. Die Lipid-Moleküle sind in der Membranebene frei gegeneinander verschiebbar (Flüssig-Mosaik-Modell). Fachbegriff: Lipid-Doppelschicht.

Dieser Lipid-Doppelschicht sind Proteine ein- und aufgelagert. Die Proteinabschnitte, die in der Mitte der Lipid-Doppelschicht liegen, enthalten hydrophobe / lipophile Aminosäurereste.

**b) Passiver Transport durch Diffusion:**

*Zunächst sollte der Begriff Diffusion genau besprochen werden (er wird beim Gasaustausch erneut aufgegriffen). Er kann nicht vorausgesetzt werden, denn im Chemie-Lehrplan taucht die Diffusion lediglich als unverbindlicher Vorschlag für den Profilbereich in der 8. Klasse NTG auf, im Nicht-NTG-Lehrplan Chemie überhaupt nicht.*

**Versuchsvariante 1:**

Mit einer Pipette wird vorsichtig etwas konzentrierte Methylenblau-Lösung auf die Oberfläche von Zuckerwasser aufgebracht. Der Farbstoff bildet Schlieren und füllt am Ende das gesamte Volumen gleichmäßig aus. Erklärung auf der Teilchenebene: Die Farbstoff-Moleküle führen die Brownsche Molekularbewegung durch, d. h. sie bewegen sich zwischen den Lösemittel-Molekülen auf unregelmäßigen Zick-Zack-Bahnen. Anfangs bewegen sie sich dabei vor allem nach unten, bald wird aber keine Richtung mehr bevorzugt, so dass sich die Farbstoff-Moleküle gleichmäßig im Raum verteilen. Trotz weiter anhaltender Zick-Zack-Bewegung der Moleküle ist auf makroskopischer Ebene keine Veränderung mehr erkennbar.

*Auf Kaliumpermanganat sollte wegen der Entsorgungsproblematik verzichtet werden.*

ALP Blatt 13\_V01: Diffusion von Farbstoffen

**Versuchsvariante 2:**

Am Lehrerpult wird ein Duftstoff (z. B. Duftöl) auf Watte aufgebracht. Die Schüler, die den Duftstoff wahrnehmen, melden sich. So ist erkennbar, wie sich die Duftstoff-Moleküle nach und nach im Raum verteilen.

Begriffsklärung Diffusion:

*diffundere*, lat.: ausgießen, verstreuen, ausbreiten

Vorgang, bei dem sich Konzentrations-Unterschiede aufgrund der unregelmäßigen und ungerichteten Zufalls-Bewegung (Brownsche Molekularbewegung) der Teilchen ausgleichen; dies führt mit der Zeit zur vollständigen Durchmischung.

Kleine unpolare (ungeladene) Moleküle können durch die Lipid-Doppelschicht der Biomembran passiv diffundieren. Passiv bedeutet: ohne Energieaufwand. Voraussetzung ist ein Konzentrations-Unterschied: Teilchen diffundieren von der Seite mit höherer Konzentration zu der Seite mit niedrigerer Konzentration. Beispiele: Sauerstoff oder Kohlenstoffdioxid. *Dies wird unter 2.3.1.2 beim Gasaustausch erneut aufgegriffen.*

Moleküle, die Ladungen (Teilladungen) tragen, können nicht durch die Lipid-Doppelschicht diffundieren. Sie diffundieren bei entsprechendem Konzentrations-Unterschied durch Tunnel in der Membran, die von sogenannten Tunnel-Proteinen gebildet werden. In der Regel können solche Tunnel-Proteine bestimmte Stofftypen erkennen und ihren Tunnel auch öffnen oder schließen. Beispiele: Wasser, Atom-Ionen wie  $\text{Na}^+$  oder  $\text{Cl}^-$ .

**c) Aktiver Transport durch Carrier-Proteine**

Aktiver Transport bedeutet: unter Energieaufwand. Das ist z. B. notwendig, wenn die Teilchenbewegung durch die Membran entgegen des Konzentrations-Unterschieds geschehen soll. Beispiel: Transport von Glucose in eine Zelle mit hoher Glucose-Konzentration.

*Keine Details zu den Transportmechanismen!*

Die zuvor ggf. aufgetretenen „Darmtore“ sind die Tunnel- bzw. Carrierproteine.