

Pepsin als alternativer Unterrichtsgegenstand – Verdauung mit Pepsin



THOMAS HOPPE – TOBIAS WELZ – KARL PORGES – ARNE GERKE – UWE HOSSFELD – CLAAS WEGNER

Der Artikel beschreibt die Verwendung von Pepsin im Biologieunterricht der Enzymatik, als Alternative zu den geläufigen Enzymen Katalase und Urease. Neben der Darstellung kontextgebundener Fachinhalte wird ein mögliches Unterrichtsvorhaben inklusive virtuellem Laboratorium beschrieben und durch Zugabe der vollständigen Unterrichtsmaterialien unterstützt.

1 Einleitung

Vor über 180 Jahren, im Jahr 1836, wurde das erste tierische Enzym von dem deutschen THEODOR SCHWANN (1810–1882) isoliert: das Pepsin (griechisch: pepsis = Verdauung). Mit dem Studium dieses Verdauungsenzyms begann die Erforschung von Biokatalysatoren und die Betrachtung des tierischen Körpers auf zellulärer und biochemischer Ebene (FLORKIN, 1957). Ernährung ist für alle Organismen zur Erhaltung des Lebens nötig. Egal ob wir sonntags auf dem Sofa liegen oder aktiv Sport treiben, es laufen unzählige energieabhängige Aufgaben in uns ab. Energie kann in einem biologischen Körper nicht erzeugt, sondern nur aufgenommen und umgewandelt werden. Heterotrophe Organismen nehmen durch den Verzehr und anschließende Aufspaltung von Nahrungsmitteln chemische Energie auf. Die

Nahrungsaufnahme und somit auch die Verdauung ist ein Urphänomen des tierischen Lebens und verbindet, von den einzelligen Lebewesen bis zu den Menschen, alle heterotrophen Lebewesen.

Als Nährstoffe werden die Hauptgruppen Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße bezeichnet. Im Allgemeinen werden Kohlenhydrate (Zucker, Stärke) als Grundlagen für den Energiestoffwechsel, Fette als Speicherstoffe und Eiweiße für den Aufbaustoffwechsel angesehen, aber der Körper kann auch alle diese Stoffgruppen ineinander umwandeln, wobei der menschliche Körper bestimmte essentielle Fett- und Aminosäuren nicht herstellen kann. Besonders beachtenswert ist dabei das Zusammenspiel von Zellen und chemischen Prozessen bei der Verdauung von Eiweißen (Polypeptiden).

Man unterscheidet drei Regionen, in welchen der Verdauungsvorgang stattfindet: Mundhöhle, Magen und Darm. In der Mundhöhle findet neben der mechanischen Zerkleinerung auch eine erst Kohlenhydratspaltung statt.

Der Nahrungsbrei wird mit der notwendigen Flüssigkeit versetzt. Anschließend gelangt er über die Speiseröhre in den Magen. Während im Rachenraum bereits die enzymatische Fett- und Kohlenhydratverdauung beginnt, findet die enzymatische Proteinverdauung erst im Magen statt (MERNBERGER, 2013). Dieses Organ lässt sich in folgende Abschnitte einteilen: Magenummund, Magen und Pförtner (Abb. 1).

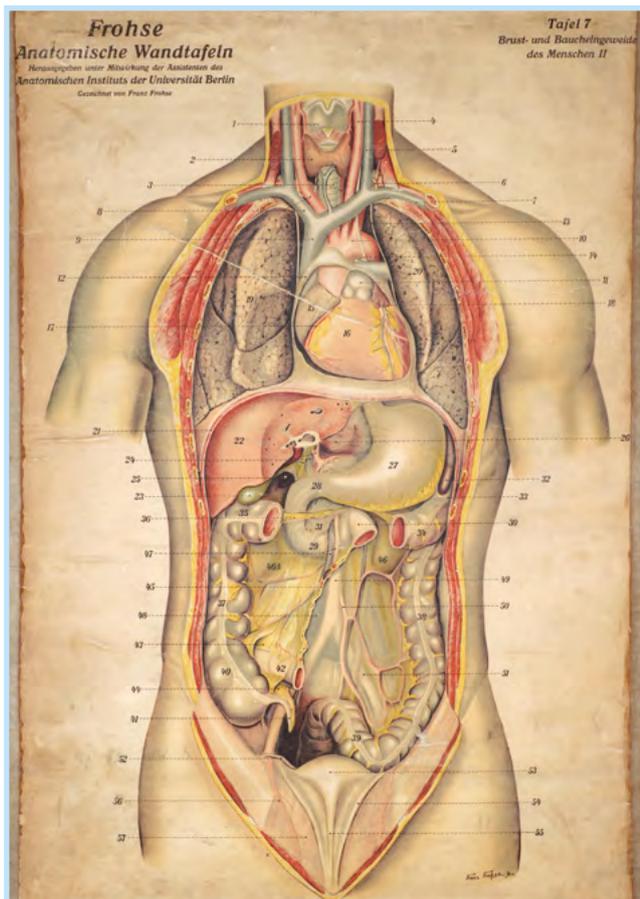


Abb. 1. Historische Wandtafel „Brust- und Baueingeweide des Menschen II“ von FRANZ FROHSE, Anatomisches Institut der Universität Berlin (Maße: 96 x 80 x 2 cm, Material: Leinen und Holz, Entstehungszeit: Anfang des 20. Jahrhunderts), aus der Sammlung der AG Biologiedidaktik, FSU Jena.

Als Magenummund wird der Übergang zwischen der Speiseröhre und dem Magen bezeichnet. Die muskulöse Struktur öffnet oder schließt den Mageneingang und reguliert damit den Nahrungseintritt.

Der Magenkörper stellt einen bedeutenden Teil des Verdauungssystems dar. Hier findet die Peptid-Verdauung mittels des Enzyms Pepsin statt. Sein Fassungsvermögen kann bis zu 1,5 Liter betragen (BENNINGHOFF & DRENCKHAHN, 2002). Die Magenwand besteht aus der Magenschleimhaut (*Tunica mucosa gastrica*), einem Bindegewebe (*Tela submucosa*), einer Schicht glatter Muskulatur (*Tunica muscularis gastrica*) und einer in

den Bauchraum abschließenden Schicht (*Tunica serosa*). In seinem Inneren herrscht ein stark saures Milieu, das durch die Zellen der Magenschleimhaut erzeugt wird. Hierbei erfolgt ein Zusammenspiel dreier Zellsorten (Belegzellen, Hauptzellen und Nebenzellen).

Der endständige Pförtner (Pylorus) reguliert als Schließmuskel den Durchtritt des Mageninhaltes in den Zwölffingerdarm.

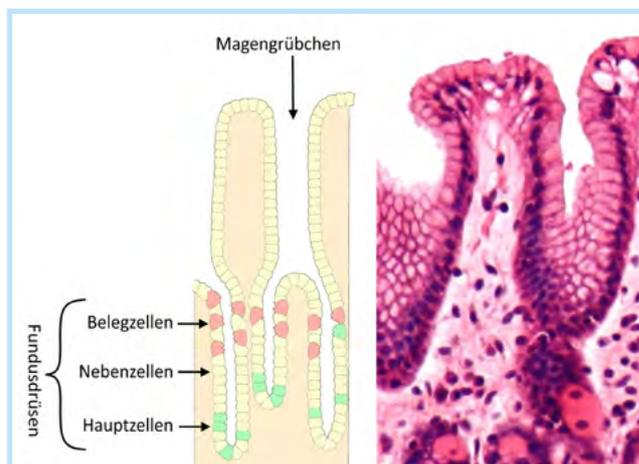


Abb. 2. Zellulärer Aufbau der Mageninnenwand

Bereits die pH-Änderung durch die Salzsäure bewirkt eine Veränderung der Struktur vieler Proteine. Sie werden in eine gestreckte, für die enzymkatalysierte Hydrolyse angreifbare Form überführt. Das wichtigste während der Peptidverdauung wirksame Enzym ist Pepsin. Es wird als inaktive Vorstufe in den Hauptzellen der Fundusdrüsen als Pepsinogen hergestellt (Abb. 2). Gelangt es ins Mageninnere, wird es durch die Magensäure in seine wirksame Form überführt. Die von den Nebenzellen ausgeschiedene Salzsäure spaltet dabei 44 terminale Aminosäuren ab und legt das aktive Zentrum des Enzyms frei (Abb. 3). Durch die zelluläre Produktion einer inaktiven Vorstufe kann eine Selbstverdauung verhindert werden. Die Salzsäure senkt den pH-Wert im Mageninneren auf 1. Dieses Milieu ist die optimale Umgebung für die Enzymtätigkeit des Pepsins (pH-Wert 1,0 bis 2,0). Der Schutz der inneren Magenwand gegen die aggressive Salzsäure und das aktivierte Enzym erfolgt durch die der inneren Magenwand aufliegenden und durch die Belegzellen abgesonderten Schleimschicht.

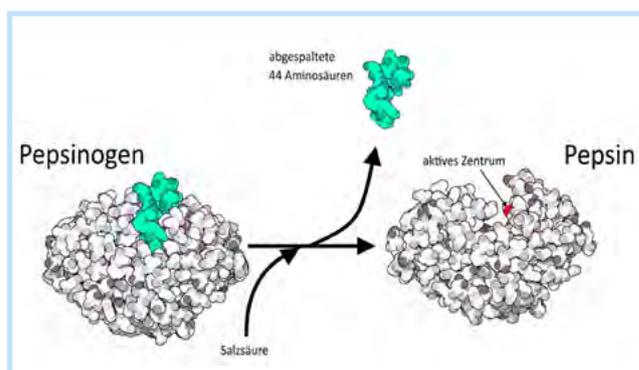


Abb. 3. Strukturelle Veränderungen des Pepsinogens nach Salzsäurezugabe

Eine weitere Proteinverdauung erfolgt im Dünndarm (Duodenum). Die vorverdauten Proteine werden durch weitere Peptidasen zu kurzen Aminosäureketten zersetzt. Es erfolgt anschließend die Resorption mittels Na⁺-Aminosäure-Symport in die Darmzellen (BEHRENDTS et al., 2017; LINDER & HÜBLER, 1969). Hier erfolgt die Zerlegung in einzelne Aminosäuren, welche dem Körper für viele Stoffwechselprozesse zur Verfügung stehen.

2 Was ist ein Enzym – Arbeitsweise eines Enzyms

Die Umwandlung des Pepsinogens in Pepsin ist aufgrund des praktischen Aufwands im Schulunterricht nur schwer darzustellen und wird innerhalb der dargestellten Unterrichtseinheit als virtuelles Laboratorium den Schüler/innen zugänglich gemacht. Am Beispiel des Pepsins lassen sich handlungsorientiert experimentell wichtige Einflussfaktoren auf die Enzymaktivität, wie die Reaktions-Geschwindigkeit-Temperatur-Regel (VAN-'T-HOFF'sche Regel), untersuchen. Nach dieser laufen chemische Reaktionen (in der Biologie: enzymatische Reaktionen) bei einer Temperaturerhöhung um 10 K (entspricht 10 °C) etwa doppelt bis dreimal so schnell ab.

Der pH-Wert übt ebenfalls einen wichtigen Einfluss auf die Wirkweise des Pepsins aus. Wie jedes Enzym so besitzt auch Pepsin ein pH-Optimum, welches bei einem pH-Wert von 1-2 liegt. Über oder unter diesem Optimum lässt die enzymatische Reaktion stark nach oder das Enzym kann irreversibel geschädigt werden (Veränderung der Sekundärstruktur führt zu Funktionsverlust). Im Zwölffingerdarm wird das Pepsin mittels einer pH-Wert-Änderung auf pH 7 inaktiviert (LÜLLMANN-RAUCH, 2015). Ebenfalls existiert eine Abhängigkeit des Konzentrationsverhältnisses zwischen Enzym und Substrat. Bei einer niedrigen Substratkonzentration ist die Geschwindigkeit des Umsatzes gering. Sie wird gesteigert bei Erhöhung der Substratkonzentration bis eine Sättigung eintritt. Zu diesem Zeitpunkt sind alle vorhandenen Enzymmoleküle mit Substrat besetzt. Demnach muss für eine optimale Reaktion ein spezifisches Verhältnis zwischen beiden Reaktionspartnern vorherrschen (Michaelis-Menten-Gleichung).

3 Unterrichtseinheit zur Abhängigkeit der Enzymaktivität des Pepsins von äußeren Faktoren im Biologieunterricht

Anbindung an schulrelevante Themen:

Stoff- und Energiewechselprozesse (i. d. R. Sek. II)

- Enzyme als Biokatalysatoren in Stoff- und Energie-wechselprozessen
- Heterotrophe Assimilation (enzymatische Hydrolyse als Voraussetzung)

3.1 Lernausgangslage und Didaktische Analyse

Es bietet sich an, das nachfolgend dargestellte Unterrichtsvorhaben in die Thematik Enzyme als Biokatalysatoren in Stoff- und Energiewechselprozessen einzubetten (Sek. II). Die Lernenden haben bereits das Verdauungssystem des Menschen (Sek. I, i. d. R. Klasse 8) kennengelernt. Dies schließt Wissen

über grundlegende Funktionen, Struktur-Funktions-Zusammenhänge sowie Zusammenhänge zwischen Nährstoffversorgung, Stoffaufbau, Bewegung und Energieverbrauch ein. Auch ist bekannt, dass die Zelle der Ort der Stoffumwandlung und des Energieumsatzes ist. Ferner haben die Lernenden bereits mehrfach Experimente durchgeführt und ausgewertet sowie bestenfalls einen Nachweis von Eiweiß in Nahrungsmitteln durchgeführt.

Die Lernenden sollten in den Stunden vor der Durchführung des Unterrichtsvorhabens Kenntnis über den Zusammenhang zwischen der Struktur eines Enzyms und seiner Funktion als Stoff- und Energiestoffwechselprozesse steuernder Biokatalysator erlangen. Dies schließt Wissenserwerb über den Aufbau eines Enzyms (Apoenzym und Cofaktor) und den Ablauf einer enzymatischen Reaktion, den Einfluss eines Enzyms auf die Aktivierungsenergie und die Reaktionsgeschwindigkeit sowie die Substrat- und Reaktionsspezifität eines Enzyms mit ein. Fachinhaltlich bietet sich an dieser Stelle die fächerübergreifende Kooperation mit dem Fach Chemie an, da in der Regel zeitgleich das Thema Katalysatoren behandelt wird.

Experimentell sollen die Lernenden die Abhängigkeit der Enzymaktivität von pH-Wert und Temperatur am Beispiel der enzymatischen Eiweißspaltung nachvollziehen können. Hier bietet sich das Erstellen grafischer Darstellungen an. Bei der Anwendung der experimentellen Methode ist es von zentraler Bedeutung, dass sie Verhaltens- und Sicherheitsregeln vereinbaren, diese selbstständig sowie verantwortungsvoll anwenden und sich abschließend darin üben, deren Umsetzung kritisch zu reflektieren.

Die hier erworbenen Kenntnisse und Kompetenzen bilden die Grundlage für das Verständnis der heterotrophen Assimilation, deren Voraussetzung neben der Aufnahme körperfremder Stoffe und die Resorption die enzymatische Hydrolyse ist. Das Frühstücksei bzw. das gekochte Eiklar sollen als Ausgangspunkte dienen, wodurch das zu behandelnde komplexe Thema in einen authentischen Kontext eingebettet werden kann.

3.2 Mögliche Lernziele

Die Lernenden können

1. unter Anwendung der experimentellen Methode die Abhängigkeit der Enzymaktivität (enzymatische Eiweißspaltung) von pH-Wert und Temperatur bestimmen.
2. die Abhängigkeit der Enzymwirkung von der Temperatur und vom pH-Wert grafisch darstellen und interpretieren (pH-Optimum, RGT-Regel).
3. Verhaltens- und Sicherheitsregeln beim Experimentieren vereinbaren, einhalten und deren Umsetzung reflektieren.

4 Didaktische Umsetzung des Unterrichtsvorhabens

Die Wahl des Pepsins, als Unterrichtsgegenstand der Enzymatik, ermöglicht eine stärkere kontextbezogene Unterrichts-anbindung an die Schüler/innen-Realität, als es die im Unterricht häufig genutzten Enzyme Katalase oder Urease zulassen.



Abb. 4. Darstellung beispielhafter Messergebnisse von Versuch 1

Das dem Unterrichtsvorhaben zugehörige Arbeitsmaterial ist dem Artikel beiliegend.

Als Einstieg in das Unterrichtsvorhaben eignet sich die Storytelling-Methode. In der vorgestellten Einheit handelt die Geschichte von einer Protagonistin, die sich mit Magenschmerzen (hier: Magenschleimhautentzündung) an einen Arzt wendet, dessen Aussagen nicht versteht und daraufhin eigenständig nach weiterer Erkenntnisgewinnung strebt. Die Protagonistin verkörpert dabei die Schüler/innen, welche im Zuge des Unterrichtsvorhabens den angestrebten Erkenntnisprozess selbst durchlaufen. Nach dem Problemaufwurf und der Entwicklung einer Forschungsfrage sowie Hypothesen, entwickeln die Schüler/innen eigenständig arbeitsteilig und materialgestützt Experimentreihen zur Prüfung der Hypothesen. Hierfür präsentiert die Lehrperson eine Auswahl an zur Verfügung stehenden Versuchsmaterialien.

Anschließend führen die Schüler/innen in Kleingruppen arbeitsteilig die Experimentreihen zur Abhängigkeit der Pepsinaktivität vom pH-Wert und von der Temperatur durch. Die gewonnenen Ergebnisse werden dokumentiert.

Die Auswertung erfolgt materialgestützt mithilfe der grafischen Auftragung der Messwerte (Volumendifferenz des gekochten Eiklars gegen die Variablenausprägung). Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse werden die Hypothesen geprüft und die Stundenfrage beantwortet.

Als inhaltliche Vertiefung erarbeiten die Schüler/innen abschließend die pH-abhängige Darstellung von Pepsin aus Pepsinogen im Magen mithilfe eines materialgestützten virtuellen Schülerlabors.

Als inhaltlicher Anschluss an das vorgestellte Unterrichtsvorhaben bietet sich die Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Substratkonzentration an.

Die hier erworbenen Kenntnisse und Kompetenzen bilden die Grundlage für das Verständnis der heterotrophen Assimilation, deren Voraussetzung neben der Aufnahme körperfremder Stoffe und der Resorption die enzymatische Hydrolyse ist.

Literatur

BEHREND, J. C. et al. (2017). *Duale Reihe Physiologie* (S. 507), 3. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

BENNINGHOFF, A. & DRENCKHAHN, D. (2002). *Anatomie* (S. 655), 16. Auflage, Amsterdam: Elsevier Verlag.

FLORKIN, M. (1957). *La découverte de la pepsine par THÉODORE SCHWANN [Discovery of pepsin by Theodor Schwann]*. *Revue medicale de Liege*, 12(5), 139–144.

LINDER, H. & HÜBLER, E. (1969). *Biologie des Menschen*. Stuttgart: Metzlersche Verlagsbuchhandlung und Carl Poeschel Verlag.

LÜLLMANN-RAUCH, R. (2015). *Taschenlehrbuch Histologie* (S. 431), 5. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

MERNBERGER, N. (2013). *Physiologieband, 2*. Medi-learn Skriptreihe. Kiel: Medi-learn.

Das oben erwähnte Arbeitsmaterial zu diesem Beitrag findet sich in der Online-Ergänzung zu diesem Artikel.



Dr. THOMAS HOPPE ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Friedrich-Schiller-Universität Jena in der AG Biologiedidaktik.

TOBIAS WELZ ist als Studienrat am Brackweder Gymnasium in Bielefeld tätig. Er unterrichtet die Fächer Chemie und Biologie. Als abgeordnete Lehrperson promoviert und arbeitet er in der Biologiedidaktik der Universität Bielefeld (OZHB) sowie in der staatlichen Lehrerfortbildung.

Dr. KARL PROGES ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Friedrich-Schiller-Universität Jena in der AG Biologiedidaktik.

ARNE GERKE arbeitet als Promotionsstudent am Osthusenrich-Zentrum für Hochbegabungsforschung an der Fakultät für Biologie (OZHB).

apl. Prof. Dr. UWE HOSSFELD ist Leiter der AG Biologiedidaktik an der Friedrich-Schiller Universität Jena.

Prof. Dr. CLAAS WEGNER ist als Professor an der Universität Bielefeld in der Biologiedidaktik und als Leiter des Osthusenrich-Zentrums für Hochbegabungsforschung an der Fakultät für Biologie (OZHB) tätig. Darüber hinaus ist er Professor im Studiengang Psychology of Science an der FHM Bielefeld. ■