

Enzymversuche im Distanzlernen

Das Beispiel Laktase

Henning Mertens

Nebelthau-Gymnasium, Charlotte-Wolf-Allee 12, 28717 Bremen, henningmertens@gmail.com

Experimente sind im Distanzlernen nur eingeschränkt möglich, da im häuslichen Umfeld selten Labormaterial vorhanden ist. Das hier vorgestellte Experiment zur Laktasereaktion nutzt vorwiegend regelmäßig in Haushalten vorkommende Materialien und kann daher auch durchgeführt werden, wenn die Schüler*innen nicht in Präsenz in den naturwissenschaftlichen Räumlichkeiten der Schule sind.

Stichwörter: Enzyme, Laktase, pH-Wert, Temperatur, Distanzlernen

1 Enzymversuche im Biologieunterricht

Enzyme sind allgegenwärtig. Wir benötigen sie bei der Verdauung von Nahrung und bei vielen weiteren Stoffwechselprozessen. Wir setzen Enzyme in der Industrie ein – sei es für die Produktion von Backwaren, in der Textilindustrie oder zur Herstellung von Waschmittel.

Lehrplanbezug

So ist es nur folgerichtig, dass Enzymatik in den Biologie-Lehrplänen aller Bundesländer verankert ist – zumeist in Verbindung mit Verdauungsvorgängen (vgl. bspw. SKB 2006:32, ISB o.J.:o.S.). In einigen Lehrplänen wird sogar explizit gefordert Versuche zur Wirkung von Enzymen durchzuführen – so zum Beispiel in Baden-Württemberg, wo in der Sekundarstufe I „die Wirkungsweise von Verdauungsenzymen experimentell untersuchen“ und in der Sekundarstufe II entsprechend detaillierter „Experimente zur Untersuchung der Abhängigkeit der Enzymaktivität (zum Beispiel Temperatur, pH-Wert, Substratkonzentration) planen, durchführen und auswerten“ auf dem Lehrplan steht (KMBW 2016:15, 25). Das hier vorgestellte Experiment wurde mehrfach erfolgreich mit Schülerinnen und Schülern der Einführungsphase der Gymnasialen Oberstufe durchgeführt. Je nach Verortung der Thematik „Enzyme“ im schulinternen Curriculum kann es auch bereits in der 9. Jahrgangsstufe eingesetzt werden.

Vielfalt der Experimente

Gängige Schülerexperimente zur Untersuchung der Enzymaktivität erfordern oft den Einsatz von Gefahrstoffen – so benötigt etwa das vom Institut für Bildungsanalysen Baden-Württemberg (IBBW) vorgestellte Katalase-Experiment Salzsäure, Natronlauge (jeweils verdünnt) und Wasserstoffperoxid-Lösung (w = 10%) (Quelle: IBBW o.J.a). Andere Enzymexperimente weisen

keinen augenfälligen Alltagsbezug auf. Als Beispiel können hier verschiedene Experimente mit Urease dienen, wie das ebenfalls vom IBBW vorgeschlagene (vgl. IBBW o.J.b). Zwar gibt es auch im menschlichen Verdauungstrakt Bakterien, die Ureaseaktivität zeigen, Bedeutung hat jedoch vor Allem die Ureaseaktivität von Bodenbakterien bei der Umsetzung von in Gülle enthaltenem Harnstoff in Ammoniak bzw. Ammonium (Leinker 2007:20ff.). Nur ein kleiner Teil der Schüler*innen wird derart engen Bezug zur Landwirtschaft haben, dass hier ein Alltagsbezug ohne längere Herleitung machbar ist.

Laktase als Modellenzym im Unterricht

Das hier vorgestellte Experiment zur Enzymreaktion der Laktase hingegen kommt mit wenigen – frei im Handel erwerbbar – Materialien aus und hat einen vergleichsweise hohen Bezug zur Lebenswelt der Schüler*innen. So zeigt sich doch, dass etwa 10% bis 30% (vgl. etwa Stony Brook University 2020: o.S., wobei die Angaben in verschiedenen Studien je nach Untersuchungsgebiet schwanken) der mitteleuropäischen Bevölkerung mit einer Laktoseintoleranz zu kämpfen haben. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit, dass Schüler*innen selbst oder Mitglieder ihrer Familien davon betroffen sind, und folglich wiederum gegebenenfalls Vorkenntnisse zum Sachverhalt vorhanden wären, vergleichsweise hoch. Zwar sind bereits vereinzelt Schul-Experimente zur Laktaseverdauung vorgestellt worden, dann jedoch mit einem anderen Schwerpunkt und oftmals großem experimentellen Aufwand (vgl. Stiftsschule St. Johann o.J.: o.S.; Labahn-Lucius & Plainer 1990:108-109; Mohren et al. 2017).

2 Didaktisch-methodische Hinweise

Bei einem Experimentieren im Distanzlernen muss über das übliche Maß hinaus das unterrichtliche Setting mitberücksichtigt werden. Im Idealfall kann gemeinsam im Rahmen einer Videokonferenz experimentiert werden – hier könnten etwa Sicherheitshinweise noch einmal direkt durchgesprochen werden. Sollte das nicht möglich, mithin das eigenverantwortliche Arbeiten der Schüler*innen gefordert sein, ist es umso wichtiger, dass die Ausführungen der Arbeitsanweisungen entsprechend detailliert sind. Die Materialien in diesem Beitrag sind so gestaltet, dass beide Wege möglich sind.

Vorwissen und Problemaufriss

Idealerweise sind den Schüler*innen vor der Durchführung des Experiments bereits Verdauungsvorgänge bekannt – so bspw. die Verdauung der Stärke. Das erste Arbeitsblatt zielt in einem Arbeitsauftrag darauf ab. So kann man auf Vorwissen bzgl. der Kohlenhydrate zurückgreifen und Laktose entsprechend als ein weiteres Beispiel präsentieren. Die Materialien des ersten Arbeitsblattes führen in die Problematik Laktoseintoleranz ein und zeigen die Wirkung des Enzyms auf. Weiter wird der im Körper folgende Stoffwechselweg knapp skizziert. So sind die Schüler*innen in der Lage zu erfassen, weshalb hier ein Test auf die Anwesenheit von Glukose als

Indikator für eine Enzymwirkung genutzt werden kann. Denn das Disaccharid Laktose wird durch Laktase, genauer die β -Galaktosidase (jedoch wird auch im Folgenden der Begriff Laktase gebraucht, da er auf den im Handel erwerbenden Packungen verwendet wird), in seine Monosaccharide Glukose und Galaktose zerlegt (Thieme Verlag 2021:o.S.). Die Glukose und die Galaktose werden dann im Körper bspw. in Glykogen umgebaut (Amboss GmbH 2019:o.S.) oder entweder direkt oder – im Fall der Galaktose nach weiterem enzymatischen Umbau – in der Zellatmung verstoffwechselt.

Fehlt die Laktase als Verdauungsenzym im Körper, so wird die Laktose im Darm von Bakterien abgebaut, wobei bspw. Methan und Kohlenstoffdioxid entstehen, was auch der Grund für die Beschwerden wie Blähungen und Durchfall ist, die bei Laktoseintoleranz auftreten (Töpel 2015:577).

Das Experiment

Das zweite Arbeitsmaterial beinhaltet Sicherheitshinweise und eine Aufstellung des von den Schüler*innen benötigten Materials. Die Sicherheitshinweise sind hier, anders als man es im Präsenzunterricht durchführen mag – in sehr ausführlicher Form schriftlich dargestellt. Auch ist vermerkt, dass mit einem Erwachsenen zusammengearbeitet werden sollte. Letztlich ist auch die Telefonnummer des Giftinformationszentrums angegeben.

Das eigentliche Experiment – dargestellt auf dem dritten Arbeitsmaterial – untersucht, ob die eingesetzte Laktase die in der Milch enthaltene Laktose zersetzt oder nicht. Der Nachweis erfolgt mit Hilfe von Glukose-Teststreifen. In der Experimentieranweisung auf dem Arbeitsblatt sind neben dem Ausgangsversuch noch Kontrollversuche sowie Versuche bei erhöhter Temperatur und mit niedrigem pH-Wert aufgenommen. Gelingt das Experiment, sollte ein Glukosenachweis nur in den Versuchsnummern 3 und 5 gelingen. Dabei sollte sich zudem zeigen, dass zum Zeitpunkt des Ablesens des Farbumschlages der Teilversuch mit niedrigerem pH-Wert eine geringere Verfärbung hervorbringt (vgl. Abb. 1).



Abbildung 1: Typische Ergebnisse des Experiments (von links nach rechts: Wasser + Laktase; Milch; Milch + Laktase-Lösung; Milch + Laktase-Lösung (erhitzt); Milch + Laktase-Essig-Lösung) (Quelle: H. Mertens)

Die Komplexität des Experiments wird dabei schrittweise von Teilversuch zu Teilversuch gesteigert. Diese kumulative Gestaltung verdeutlicht den Schüler*innen anschaulich den Aufbau naturwissenschaftlicher Experimente. Insbesondere das Prinzip möglichst nur jeweils einen Faktor zu verändern, damit die Ergebnisse auf diese Änderung zurückgeführt werden können, kann herausgearbeitet werden. Das ist aus didaktischer Perspektive von besonderer Bedeutung (vgl. Killermann et al. 2016:150).

Grundsätzlich könnte das Experiment noch um das Austesten anderer Einflussfaktoren ergänzt werden; oder die Temperatur könnte gesenkt statt erhöht bzw. der pH-Wert erhöht statt gesenkt werden. Im Rahmen des Distanzlernens ergeben sich jedoch hier schnell Grenzen bzgl. des Vorhandenseins adäquaten Experimentiermaterials im häuslichen Umfeld, weshalb dieser Weg lediglich innerhalb der Arbeitsaufträge in Form theoretischer Vorüberlegungen aufgegriffen wird.

Transfer

Im Anschluss an das Experimentieren bietet es sich an auf in der Literatur vorhandene Ergebnisse bzgl. der Temperatur- und pH-Wertabhängigkeit der Laktase (bspw. Amiri & Naim 2017:4) zurückzugreifen, um zu eruieren, ob die eigenen Daten mit diesen Ergebnissen übereinstimmen. Dieses Vorgehen verwirklicht das weitere Arbeitsmaterial, indem es im ersten Arbeitsauftrag entsprechende Diagramme beschreiben lässt, um sie im Anschluss mit den Ergebnissen des eigenen Experiments zu vergleichen. Aus den gegebenen Materialien lässt sich ableiten, dass eine zu hohe Temperatur die Enzymwirkung genauso beeinträchtigt wie ein Abweichen vom pH-Optimum.

Der dritte Arbeitsauftrag stellt einen – neben der Verdauung – weiteren Alltagsbezug her. Fieber – als Immunreaktion – wird jeder Lernende bereits gehabt haben. Hier soll durch eine Recherche der Zusammenhang zwischen Fieber und möglichen negativen Auswirkungen auf die Enzymreaktionen im Körper hergestellt werden.

Um das vernetzte Denken in der Biologie zu fördern und dem Vorhandensein von Inselwissen vorzubeugen, schlägt der vierte Arbeitsauftrag eine Brücke zur Gentechnik, indem die Schüler*innen zum Bakterium *Thermus aquaticus* recherchieren, dessen hitzestabile DNA-Polymerase für die Polymerase-Kettenreaktion von essentieller Bedeutung ist.

3 Anmerkungen zur Vorbereitung

Die vorhandene Distanz erfordert eine andere Form der Unterrichtsvorbereitung als der Präsenzunterricht. Abhängigkeit von technischer Ausstattung und der etwaigen Einführung eines digitalen Lern-Management-Systems oder einer Cloud-Lösung können Arbeitsblätter auch in digitaler Form als Dateien verteilt werden statt in Papierform. Unabdingbar ist für dieses Distanzexperiment die Versendung von Laktase-Tabletten und Glukose-Teststreifen (vgl. Abb. 2).



Abbildung 2: Vorbereitete Briefe zum Versand von Laktase-Tabletten und Glukose-Teststreifen (Quelle: H. Mertens)

Laktase-Tabletten sind in jeder Drogerie und in größeren Supermärkten erhältlich – meistens in Form von Spenderdosen (vgl. Abb. 3). Glukose-Teststreifen sind zum Beispiel in Apotheken erhältlich, entweder auf Papierbasis oder als Kunststoffstreifen. Zu beachten ist hierbei, dass keine Streifen gekauft werden, die für elektrische Diabetis- bzw. Blutzucker-Messgeräte gedacht sind, sondern solche für manuelle Urin-Analyse. Weiter sollten es solche sein, die nur aus Glukose reagieren und nicht auch noch auf andere Parameter wie etwa Nitritgehalt, Proteingehalt oder pH-Wert. Beide Produkte sind einerseits auch im Versandhandel erhältlich und andererseits nicht apothekenpflichtig, sodass es also keine Versandapotheke sein muss. Hier kann – je nach räumlicher Situation und Wohnort – unterschiedlich vorgegangen werden. Schüler*innen in der Nachbarschaft können direkt erreicht werden, wodurch auch ein kurzer sozialer Kontakt ermöglicht wäre. Bei Schüler*innen, die in größerer Entfernung wohnen, wird wohl der Postweg notwendig sein. Hier kommt es auch darauf an, Enzym- und Nachweismaterial sachgerecht zu verpacken. Es bieten sich kleine Beutel mit „Zip“- oder Klick-Verschluss an. Mit oder ohne Arbeitsblätter verpackt, sollten die Materialien in einem Briefumschlag sicher bei den Schüler*innen ankommen.



Abbildung 3: Typische Spenderdose für Laktase-Tabletten
(Quelle: H. Mertens)



Abbildung 4: Typisches Behältnis für Glukose-Teststreifen
(Quelle: H. Mertens)

Auf dem Arbeitsmaterial, das die Sicherheitshinweise beinhaltet, ist – bedingt durch den Arbeitsort des Autors – die Telefonnummer des Giftinformationszentrums Nord angegeben. Je nachdem in welchem Bundesland Sie sich befinden, muss gegebenenfalls die Telefonnummer angepasst werden. Wenn Sie andere Laktase-Tabletten erwerben als solche mit 6.000 FCC-Einheiten, müssen diesbezüglich die Hinweise auf dem Arbeitsblatt entsprechend angepasst werden.

Das Arbeitsmaterial mit den Sicherheitshinweisen fordert die Schüler*innen auf, mit einem Erwachsenen gemeinsam zu experimentieren. Insofern scheint es angezeigt die Eltern der beteiligten Schüler*innen vorab bspw. per E-Mail über die Planung und den künftigen Erhalt des Materials zu informieren.

Eine Anmerkung ist noch zu machen zur Frage nach dem Unfallversicherungsschutz im Distanzlernen. Leider kann hier nicht abschließend beantwortet werden, ob für die Schüler*innen beim Experimentieren ein Versicherungsschutz von Seiten der gesetzlichen Unfallkassen besteht, denn dies wird nicht bundesweit einheitlich geregelt. Es zeigt sich jedoch in den Hinweisen der einzelnen Unfallkassen, dass dazu geraten wird praktische Anteile möglichst während einer gemeinsamen Videokonferenz durchzuführen.

4 Erfahrungswerte zum Experiment

Wie bei vielen anderen Schüler*innen-Experimenten auch, zeigen sich einzelne Schwierigkeiten erst bei der Durchführung, trotz aller gegebenenfalls vorher absolvierten Probeläufe. In die folgenden Hinweise und Anmerkungen sind die Erfahrungen aus der mehrfachen Durchführung des Experiments mit verschiedenen Schulklassen – allerdings noch in Präsenz – eingeflossen.

- Da das Experiment nicht darauf angelegt ist, exakte quantitative Werte der Glukosekonzentration zu erhalten, wird bei der Farbskala nicht mit den auf der Verpackung der Glukose-Teststreifen angegebenen Werte gearbeitet, sondern mit qualitativen Begriffen.
- Die für die Glukose-Teststreifen verwendeten Farbstoffe unterscheiden sich von Hersteller zu Hersteller, daher muss gegebenenfalls die Farbskala auf der Versuchsanweisung geändert werden.
- Da die Glukose-Teststreifen selbst auf Enzymbasis – meist ist es Glukose-Oxidase oder Glucose-Dehydrogenase – arbeiten, ist das Einhalten der Einwirkdauer wichtig. Wartet man länger als die zumeist vorgegebenen 60 Sekunden wird sich der Teststreifen immer stärker verfärben und das Ergebnis verfälscht werden.
- Es kann sich anbieten, die Schüler*innen darauf hinzuweisen, dass es normal ist, dass die Milch im Teilversuch 5 (Essig-Laktase-Lösung) ausflockt. Gelegentlich erzeugt dies bei Schüler*innen Ekelgefühle.

5 Literaturverzeichnis

Amboss GmbH (Hrsg.) (2019): Glykogenstoffwechsel. <<https://www.amboss.com/de/wissen/Glykogenstoffwechsel>>. (Zugriff: 08.02.2021).

Amiri, M. & H. Naim (2017). Characterization of Mucosal Disaccharidases from Human Intestine. *Nutrients*, 9, 1106. <https://www.researchgate.net/publication/320314124_Characterization_of_Mucosal_Disaccharidases_from_Human_Intestine/fulltext/59dd7125458515f6efefb235/Characterization-of-Mucosal-Disaccharidases-from-Human-Intestine.pdf?origin=publication_detail>. (Zugriff: 03.02.2021).

IBBW (Institut für Bildungsanalysen Baden-Württemberg) (Hrsg.) (o.J.a): Die pH-Abhängigkeit der Enzymwirkung bei Katalase <<https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/biologie/unterrichtsmaterialien/sek2/zellbio/enzyme/kata1.htm>>. (Zugriff: 23.01.2021).

IBBW (Institut für Bildungsanalysen Baden-Württemberg) (Hrsg.) (o.J.b): Temperaturabhängigkeit der enzymkatalysierten Harnstoffzerlegung. <<https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche>>

- faecher/biologie/unterrichtsmaterialien/sek2/zellbio/enzyme/urease_temp.html>. (Zugriff: 23.01.2021).
- ISB (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (o.J.): LehrplanPLUS. Biologie 10. <<https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/10/biologie>> . (Zugriff: 24.01.2021).
- Killermann, W., Hiering, P. & B. Starosta (2016): Biologieunterricht heute. Eine moderne Fachdidaktik. AAP Lehrerfachverlage, Augsburg.
- KMBW (Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg) (Hrsg.) (2016): Bildungsplan des Gymnasiums. Bildungsplan 2016. Biologie. <http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_GYM_BIO.pdf>. (Zugriff: 23.01.2021).
- Labahn-Lucius, C. & H. Plainer (1990): Enzymtechnik im Schulversuch – Laktosespaltung in Milch und Molke durch immobilisierte Laktase. In: MNU. 43, 2, 1990.
- Leinker, M. (2007): Entwicklung einer Prinziplösung zur Senkung von Ammoniakemissionen aus Nutztierställen mit Hilfe von Ureaseinhibitoren. < <https://opendata.uni-halle.de/bitstream/1981185920/9569/1/prom.pdf>>. (Zugriff: 23.01.2021).
- Mohren, E. et al. (2017): Lactase. Enzymversuche aus dem Drogeriemarkt. <https://hectorseminar.de/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Aktuelles_SJ_2017-18/Abschlusskolloquien_H11/Abschlusskolloq_KA_11/163_Lactase_3_.pdf>. (Zugriff: 24.01.2021).
- Stiftsschule St. Johann (Hrsg. (o.J.): Immobilisierung von Lactase mit Alginat. <<https://www.stiftsschule.de/stiftsschule/projekte/biotechnologie/projekte/lactoseintoleranz.php>>. (Zugriff: 23.01.2021).
- SKB (Senatorin für Kinder und Bildung, vormals Senator für Bildung und Wissenschaft) (Hrsg.) (2006): Naturwissenschaften, Biologie – Chemie – Physik. Bildungsplan für das Gymnasium. Jahrgangsstufe 5 -10. <https://www.lis.bremen.de/sixcms/media.php/13/06-12-06_nat_gy.pdf>. (Zugriff: 23.01.2021).
- Stony Brook University (2020): "Study reveals lactose tolerance happened quickly in Europe." <www.sciencedaily.com/releases/2020/09/200903114212.htm>. (Zugriff: 09.02.2021).
- Thieme Verlag (Hrsg.) (2021): Lactose- und Galactosestoffwechsel. <<https://viamedici.thieme.de/lernmodul/547105/subject/biochemie/kohlenhydrate/stoffwechsel/lactose-+und+galactosestoffwechsel>>. (Zugriff: 02.02.2021).
- Töpel, A. (2015): Chemie und Physik der Milch. Behr's Verlag, Hamburg.