

„Einer für Alles“

Verwendung von Honig für Schulexperimente zur Enzymatik

F. Zunftmeister, I. Heil und J. Bohrmann

RWTH Aachen, Institut für Biologie II, Worringerweg 3, 52056 Aachen, E-Mail:
felicitas.zunftmeister@rwth-aachen.de und bohrmann@bio2.rwth-aachen.de

Der Beitrag stellt eine einfache Möglichkeit vor, wie Schülerinnen und Schüler unter Verwendung von Honig die Abhängigkeit der Enzymaktivität und Enzymhemmung von verschiedenen Faktoren (pH-Wert, Temperatur, Schwermetalle) experimentell untersuchen können.

Stichwörter: Enzymatik, Enzymaktivität, Enzymhemmung, Honig, Diastase, Lugolsche Lösung, pH, Stärke, Farbvergleich, Messen, Auswerten

1 Einleitung

Honig ist das naturbelassene, süße Produkt der Honigbiene. Es wird erzeugt, indem die Bienen zum Beispiel „Nektar von Pflanzen [...] aufnehmen, durch Kombination mit eigenen spezifischen Stoffen umwandeln, einlagern, dehydratisieren und in den Waben des Bienenstocks speichern und reifen lassen“ [1]. Zu den „eigenen spezifischen Stoffen“, auf die sich die hier zitierte deutsche Honigverordnung bezieht, gehören insbesondere Enzyme wie Saccharase, Glucoseoxidase, Diastase (Amylase) und Phosphatase, die über die Futtersaft- und Speicheldrüsen der Biene in den Honig gelangen und ihre jeweiligen Substrate „umwandeln“ (s. Zitat).

Honig eignet sich sehr gut für Experimente zum Thema Enzymatik, einem in der Regel obligatorischen Unterrichtsthema. Anders als bei den bekannten „klassischen“ Enzym-Versuchen, bei denen z.B. Urease oder Katalase [vgl. 2-5] zum Einsatz kommen, stellt der vorliegende Beitrag eine Möglichkeit vor, unterschiedliche Experimente zur Enzymatik einzig anhand des leicht und günstig zugänglichen Enzyms Diastase, welches natürlicherweise in Honig vorkommt, durchzuführen. Das Prinzip zur Bestimmung der Aktivität beruht dabei auf einer einfachen Methodik, nämlich der Beobachtung von Farbveränderungen. Im vorliegenden Beitrag wird dies exemplarisch für den pH-Wert gezeigt (vgl. Arbeitsmaterial). Das Experiment kann abgewandelt werden, um auch den Einfluss weiterer Faktoren, wie Temperatur und Schwermetalle (z.B. Kupfer, das eine irreversible Hemmung des Enzyms bewirkt) zu untersuchen (s. Tabelle 1). Die Schulexperimente basieren auf fachwissenschaftlichen Quellen [vgl. 6-8] und ersten Vorschlägen zur unterrichtlichen Umsetzung [vgl. 9, 10] und wurden weiter vereinfacht [11].

2 Fachlicher Hintergrund

2.1 Enzyme

Enzyme sind Proteine, die chemische Reaktionen hoch spezialisiert katalysieren, ohne sich dabei chemisch zu verändern. Auf diese Weise ermöglichen sie es, dass Reaktionen unter natürlichen Bedingungen (z.B. ohne hohe Drücke und Temperaturen) ablaufen können; sie sind somit für das Leben essenziell.

Die Aktivität von Enzymen kann von einer Vielzahl an (äußeren) Faktoren, wie z.B. Änderungen des pH-Werts und der Temperatur oder durch Hemmstoffe beeinflusst werden. Diese wirken sich auf die räumliche Struktur der Enzyme und damit ggf. auf das aktive Zentrum und die Bildung des Enzym-Substrat-Komplexes aus.

2.2 Abhängigkeit der Aktivität der Honigdiastase vom pH-Wert

Die Honigdiastase (s. Kasten 1), eine Amylase, die zur Klasse der Hydrolasen gehört, katalysiert die Spaltung von Stärke über Maltose bis hin zur Glucose und spielt für die Biene somit eine wichtige Rolle bei der Verdauung der stärkehaltigen Pollen [12].

Eigenschaften der Honigdiastase

- katalysiert die Spaltung von Stärke bis zur Glucose
- pH-Wert-Optimum: 4,6-5,3; Inaktivierung: pH < 3,9 oder pH > 7-8
- Temperatur-Optimum: 40-50 °C; Inaktivierungstemperatur: 60-100 °C
- Kupfer-Ionen (Schwermetall) führen zu einer Aktivitätserniedrigung von ca. 35 %

Kasten 1: Anhand von Untersuchungen ermittelte Eigenschaften der Honigdiastase [vgl. 6-8].

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Eigenschaften der Honigdiastase sind bisher eher spärlich [vgl. 6-8]. Die Vermutung liegt jedoch nahe, dass die Abhängigkeit der Enzymaktivität von Faktoren wie dem pH-Wert von Honig zu Honig leicht verschieden ist und die ermittelten Werte auch methodenabhängig sind. Abweichungen vom pH-Wert-Optimum führen zu einer Verringerung der Enzymaktivität. Die Ursache hierfür ist die Protonierung oder Deprotonierung von Aminosäureresten aufgrund des sauren oder basischen Milieus. Dies führt wiederum zur Veränderung des Verhältnisses von positiver und negativer Ladung und damit der Ausbildung von Ionenbindungen innerhalb des Enzyms. Bei pH-Werten kleiner 3,9 oder größer 7-8 ist die räumliche Struktur der Honigdiastase so stark verändert, dass das Enzym denaturiert wird und seine Funktion nicht mehr erfüllen kann, also inaktiviert ist [7,8]. Wie bei anderen Enzymen auch ergibt sich eine typische Optimumskurve (Abb. 1).

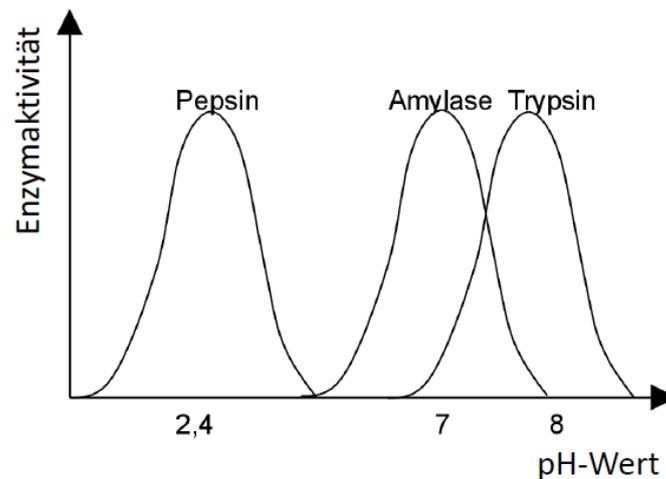


Abb. 1: Abhängigkeit der Aktivität (relative Werte) verschiedener Enzyme vom pH-Wert; typische Optimumskurven für Pepsin, Amylase, Trypsin (verändert nach [13]).

2.3 Methode zur Bestimmung der pH-Wert-Abhängigkeit

Eine Methode, die Aktivität der Honigdiastase zu bestimmen, bietet der Stärkenachweis mit Lugolscher Lösung (Iod-Kalium-Iodid-Lösung), der den Abbau von Stärke sichtbar macht (vgl. Abb. 2 im Arbeitsmaterial). So bildet Stärke in Anwesenheit von Iod-Molekülen und Iodiden einen tiefblauen Komplex, Iod-Amylose-Einschlussverbindung genannt [14]. Ist die Stärke bereits in kleinere Einheiten zerlegt, so liegen neben diesen Komplexen außerdem freie, rot-bräunliche Triiodide (I_3^-) vor. Aufgrund von additiver Farbmischung erscheinen die Lösungen dann blaviolett bis violett oder braun. Bei einem vollständigen Abbau der Stärke überwiegt schließlich die Eigenfarbe der Triiodide, die verdünnt eine bräunlich-gelbe Farbe besitzen.

Im Zusammenhang mit der beschriebenen Entfärbung ist es wichtig, mögliche Fehlerquellen zu beachten:

Der Stärke-Abbau unter Einfluss der Honigdiastase (als Maß für deren Aktivität) lässt sich nur eingeschränkt mittels Lugolscher Lösung sichtbar machen. So kann es in Abhängigkeit vom chemischen Milieu zur Auflösung der Iod-Amylose-Einschlussverbindung kommen. Der Grund hierfür ist die Tatsache, dass es beispielsweise bei einer starken Erhöhung der Hydroxid-Ionen-Konzentration bzw. basischem pH-Wert zur Verschiebung von Gleichgewichtsreaktionen und damit zu einer Abnahme von Iod-Molekülen kommt. Diese stehen dann nicht mehr für die Bildung einer Iod-Amylose-Einschlussverbindung zur Verfügung, und es folgt eine Entfärbung der Lösung [15].

Eine andere Möglichkeit, wie es ebenfalls zu einer Abnahme an Iod-Molekülen und damit zu einer Entfärbung kommen kann, ist durch die im Honig enthaltenen Glucose-Moleküle gegeben. Diese besitzen eine reduzierende Wirkung, die dazu führt, dass die Iod-Moleküle zu Iodid-Ionen reduziert und gleichzeitig die Glucose-Moleküle zu Gluconsäure oxidiert werden. Die anderen im Honig enthaltenen Kohlenhydrate besitzen keine reduzierende Wirkung. Da jedoch (im Basischen) aufgrund von intramolekularen Umlagerungen unter Protonenwanderung und Elektronenverschiebung (Keto-Enol-Tautomerie) die Fructose in Glucose überführt werden kann, trägt diese ebenfalls zur Auflösung der Iod-Amylose-Einschlussverbindung bei [9].

3 Bemerkungen zum Unterricht

3.1 Curriculare Aspekte

Enzymatik ist ein obligatorisches Unterrichtsthema, das sich z.B. in der Sekundarstufe II in NRW dem Inhaltsfeld „Energistoffwechsel“ [15] zuordnen lässt. Es ist dabei vorgesehen, dass die Schülerinnen und Schüler Hypothesen zur Abhängigkeit der Enzymaktivität aufstellen, diese experimentell überprüfen und das Ergebnis graphisch darstellen können sollen [16]. Der Fokus des Unterrichtsvorschlags liegt auf dem Erwerb bzw. der (Weiter-) Entwicklung der nachfolgend genannten konzept- und prozessbezogenen Kompetenzen (vgl. [15]):

Die Schülerinnen und Schüler können...

- Struktur und Funktion von Enzymen erläutern, also den Zusammenhang zwischen Struktur und Enzymaktivität beschreiben, erklären und deuten. (Kompetenzbereich Fachwissen)
- Experimente zielgerichtet durchführen und dabei mögliche Fehlerquellen reflektieren. (Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung)
- Kriterien geleitet beobachten und messen. (Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung)
- gewonnene Ergebnisse (graphisch darstellen,) objektiv und frei von eigenen Deutungen beschreiben und interpretieren. (Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung)
- Experimente und Daten strukturiert dokumentieren. (Kompetenzbereich Kommunikation)

3.2 Hinweise zur Unterrichtsorganisation und zum Arbeitsmaterial

Die zur naturwissenschaftlichen Erarbeitung herangezogene Methodik des Stärkenachweises mit Lugolscher Lösung ist den Schülerinnen und Schülern in der Regel schon aus der Sekundarstufe I bekannt. Da sich jedoch in Abhängigkeit vom chemischen Milieu und vor allem aufgrund der Inhaltsstoffe von Honig diverse Fehlerquellen ergeben (s. Abschnitt 2.3.1), bietet es sich an, ein Vorexperiment durchzuführen: So könnte man die Schülerinnen und Schüler einerseits die Färbungen bei der Zugabe von Lugolscher Lösung und Stärke zu Glucose-, Fructose- oder Saccharose-Lösungen beobachten und andererseits die grundsätzliche Wirkungsweise der Honigdiastase untersuchen lassen.

Herstellung von Citronensäure-Phosphat-Puffer-Lösungen

1. Es werden zunächst zwei Stammlösungen hergestellt:

Stammlösung A: Citronensäure wasserfrei, Massenkonzentration [g/L]: 19,21

Stammlösung B: Dinatriumhydrogenphosphatdodecahydrat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$),
Massenkonzentration [g/L]: 71,62

2. Die Puffer-Lösungen werden gemäß dem nachstehenden Pipettierschema hergestellt:

Das jeweils benötigte Volumen von Stammlösung A (s. Tabelle) wird in einen Messzylinder 100 mL pipettiert (z.B. 33,9 mL für pH 3,7).

Mit Stammlösung B wird jeweils auf 100 mL aufgefüllt.

pH	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
2							10,8	13,2	15,6	18,1
3	20,6	22,6	24,7	26,6	28,5	30,3	32,2	33,9	35,5	37,1
4	38,6	40,0	41,4	42,7	44,0	45,4	46,7	48,0	49,3	50,4
5	51,5	52,6	53,6	54,7	55,8	56,9	58,0	59,2	60,5	61,8
6	63,2	64,6	66,1	67,7	69,3	71,0	72,8	74,8	77,2	79,8
7	82,4	85,6	86,9	88,8	90,7	92,1	93,6	94,6	95,7	

Kasten 2: Herstellung von Citronensäure-Phosphat-Puffer-Lösungen nach Mc Ilvaine für das Experiment zum Einfluss des pH-Werts auf die Aktivität der Honigdiastase.

Der Ablauf der Unterrichtsstunde kann anhand des Arbeitsmaterials nachvollzogen werden, wobei dieses als Protokoll gemäß den Schritten der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung aufgebaut ist. Je nach zur Verfügung stehender Zeit oder Schwerpunkt der Stunde können jedoch Veränderungen vorgenommen werden, wie die Herstellung der Stärke-Lösung durch die Lehrkraft oder umgekehrt die Herstellung der Puffer-Lösungen (s. Kasten 2) durch die Schülerinnen und Schüler. Letzteres bietet sich z.B. während der Wartezeit an, in der die Stärke-Lösung auf Raumtemperatur abkühlen muss (s. Arbeitsmaterial).

Das Experiment lässt sich unter Berücksichtigung der Sicherheitshinweise ohne große Schwierigkeiten durchführen. Besondere Sorgfalt sollte jedoch auf der Exaktheit der Einwaage und der Abmessung der einzelnen Stoffe und Flüssigkeiten liegen. Wichtig ist zudem die Art des verwendeten Honigs: Die verschiedenen Honigtypen (Nektarhonige, Honigtau-honige sowie Gemische

aus beiden) enthalten unterschiedliche Mengen an aktivierter Diastase. In eigenen Experimenten [11] wurde festgestellt, dass sich Honigtauhonige („Waldhonig“) am besten eignen.

Das beschriebene Experiment lässt sich leicht abwandeln, um auch die Abhängigkeit der Aktivität der Honigdiastase von der Temperatur sowie von der Anwesenheit von Kupfer-Ionen experimentell zu untersuchen (s. Tabelle 1).

Experiment zur Abhängigkeit der Aktivität der Honigdiastase von der...		
	a) Temperatur	b) Anwesenheit von Kupfer-Ionen
	Stärke-Lösung: s. Arbeitsmaterial (Vorbereitungen, Schritt 1)	
	Ungepufferte Honig-Lösungen: je 4 g Waldhonig + 20 mL Leitungswasser (vgl. Schritt 2).	
	Vorbereitung und Herstellung der Proben: vgl. Schritte 3-7, Abweichungen wie folgt	
Ansätze	5 ungepufferte Honiglösungen, temperiert auf 0, 20, 40, 60 und 80°C	2 ungepufferte Honiglösungen, eine versetzt mit einer Spatelspitze Kupfersulfat
Zeit (vgl. Schritt 5)	20 Minuten	10-Minuten-Intervalle, insgesamt 2 x 5 Probenentnahmen (0-40 min)
Erwartete Ergebnisse	Beschleunigung der Reaktion durch Temperaturerhöhung, Aktivitätsmaximum bei 40-60 °C, danach starke Aktivitätsabnahme	Deutliche Hemmung des Stärke-Abbaus durch das Kupfersulfat im Vergleich zum Kontroll-Ansatz
Hinweise	Temperatur muss über die Versuchszeit hinweg konstant gehalten werden	Erste Probenentnahme unmittelbar nach Start der Reaktion (s. Schritt 4)

Tabelle 1: Abwandlung des beschriebenen Experiments zur Untersuchung der Abhängigkeit der Honigdiastase a) von der Temperatur und b) von der Anwesenheit von Kupfer-Ionen.

3.3 Lösungen zum Arbeitsmaterial

- Frage: Ist die Aktivität der Honigdiastase abhängig vom pH-Wert?
- Hypothese(n): Die Aktivität der Honigdiastase ist abhängig vom pH-Wert. (Die Aktivität der Honigdiastase ist nicht abhängig vom pH-Wert.)
- Beobachtung und Auswertung: pH 3,3 und 7,3: dunkelblau (Kodierung: 0); pH 6,3: blau-violett (Kodierung: 1); pH 4,3 und 5,3: braun-gelb (Kodierung: 4). [...]
- Die Honigdiastase zeigt ein pH-Wert-Optimum im Bereich von 4,3-5,3. Es ergibt sich eine typische Optimumskurve (vgl. Abb. 1).

Literatur

- [1] Honigverordnung (HonigV) vom 16.01.2004, zuletzt geändert 05.07.2017; online: https://deutscherimkerbund.de/userfiles/downloads/satzung_richtlinien/Honigverordnung_02_18.pdf (03.12.2018)
- [2] Knodel, H. (Hrsg.) (1985): Neues Biologiepraktikum. Linder Biologie. Stuttgart: Metzler.
- [3] Weber, U. (Hrsg.) (2009): Biologie Oberstufe. Gesamtband. 2. Auflage. Berlin: Cornelsen.
- [4] Bickel, H., Bokelmann, I. und Schäfer, M. (2014): Natura Biologie für Gymnasien. Einführungsphase. Ausgabe Nordrhein-Westfalen. Stuttgart: Klett.
- [5] Knodel, H., Bäßler, U. und Haury, A. (1973): Biologie-Praktikum. Experimente und Aufgaben Sekundarstufe II. Lehrerausgabe. Stuttgart: Metzler.
- [6] Hadorn, H. und Zürcher, K. (1973): Erfahrungen mit einer neuen kinetischen Methode zur Bestimmung der Diastasezahl in Honig und über Eigenschaften der Honigdiastase. *Apidologie* 4(1):65-80; online: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00890338/document> (04.12.2018).
- [7] Babacan, S. und Rand, A. G. (2007): Characterization of Honey Amylase. *Journal of Food Science* 72(1):50-55; abstract auch online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1750-3841.2006.00215.x> (04.12.2018).
- [8] Gothe, F. (1914): Experimentelle Studien über Eigenschaften und Wirkungsweise der Honigdiastase. *Zeitschrift für die Untersuchung der Lebensmittel* 28:286-321.
- [9] Sieve, B. (2013): Dolce vita. Experimente rund um Zucker, Honig und Kunsthonig. *PdN-ChiS* 62(3):26-29.
- [10] Wörn, A., Lühken, A. und Melle, I. (1997): Honig - Chemieunterricht an einem interessanten Lebensmittel. *PdN-ChiS* 64(6):9-16.
- [11] Zunftmeister, F. (2016): Entwicklung von Schülerexperimenten zur Enzymatik unter Verwendung von Honig. Masterarbeit. RWTH Aachen.
- [12] Lipp, J. J. M. (1989): Zur Zusammensetzung des Honigs und Verfahren zum Nachweis von Honigverfälschungen. Dissertation. Technische Universität München.
- [13] <https://hoffmeister.it/index.php/freies-biologiebuch-fuer-schueler-und-studenten/114-freies-lehrbuch-biologie-08-13-aminosaeuren-eiweisse-enzyme-und-die-biokatalyse> (04.12.2018).
- [14] Immel, S. und Lichtenthaler, F. W. (2000): The Hydrophobic Topographies of Amylose and Blue Iodine Complex. *Starch* 52(1):1-8; abstract auch online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291521-379X%2820001%2952%3A1%3C1%3A%3AAID-STAR1%3E3.0.CO%3B2-H> (04.12.2018).
- [15] Calabrese, V. T. und Khan, A. (2000): Polyiodine and Polyiodide Species in an Aqueous Solution of Iodine + KI: Theoretical and Experimental Studies. *Journal of Physical Chemistry A* 104(6):1287-1292; online: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jp992847r> (04.12.2018).
- [16] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hg.). 2014. Kernlehrplan für das Gymnasium – Sekundarstufe II in Nordrhein-Westfalen. Biologie. Ritterbach. Frechen; online: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/bi/GOST_Biologie_Endfassung.pdf (04.12.2018).

Protokoll: Einfluss des pH-Werts auf die Aktivität der Honigdiastase

1 Fragestellung

2 Hypothesen

3 Material

- Lugolsche Lösung 1% (in Tropfflasche)
 - Stärke
 - dest. Wasser
 - Leitungswasser (in Spritzflasche)
 - Waldhonig
 - Citronensäure-Phosphat-Puffer-Lösungen nach Mc Ilvaine mit den pH-Werten 3,3; 4,3; 5,3; 6,3 und 7,3
 - Spatel
 - kleiner Löffel
 - wasserfester Stift
 - Einmalhandschuhe
- 
- 1 Becherglas 500 mL
 - Bechergläser 50 mL
 - Bunsenbrenner
 - Feuerzeug/Streichhölzer
 - Dreibein
 - Feinwaage (d = 0,1 g)
 - Glaspipette 5 mL mit Pipettierhilfe
 - 1 Messzylinder 25 mL
 - 1 Messzylinder 500 mL
 - 2 Reagenzglasständer
 - 10 Reagenzgläser
 - Reagenzglasstopfen
 - Uhr

Sicherheitshinweis: Lugolsche Lösung ist gesundheitsgefährdend. Bei allen Arbeiten mit dieser Lösung Einmalhandschuhe tragen und Abfälle entsprechend entsorgen!

4 Versuchsaufbau und -durchführung

4.1 Vorbereitungen (vgl. Abb. 1)

- Herstellung einer Stärke-Lösung (1): In ein beschriftetes 500 mL Becherglas werden mit Hilfe des Spatels 1 g Stärke eingewogen und 400 mL dest. Wasser hinzugefügt ($c = 0,015 \text{ mol/L}$). Das Stärke-Wasser-Gemisch wird unter Rühren über dem Bunsenbrenner zum Sieden gebracht, bis sich die Stärke vollständig aufgelöst hat und die Lösung klar ist. Dann wird die Stärke-Lösung auf Raumtemperatur abgekühlt.
- Herstellung der gepufferten Honig-Lösungen (2): In fünf beschriftete 50 mL Bechergläser werden mit Hilfe des Löffels je 4 g Waldhonig eingewogen und in 10 mL Leitungswasser gelöst. Zu jeweils einem der 5 Bechergläser werden je 10 mL einer der Puffer-Lösungen mit den pH-Werten 3,3; 4,3; 5,3; 6,3 und 7,3 hinzugefügt.
- Vorbereitung der Proben (3): Fünf beschriftete Reagenzgläser werden mit jeweils 4 Tropfen Lugolscher Lösung befüllt.

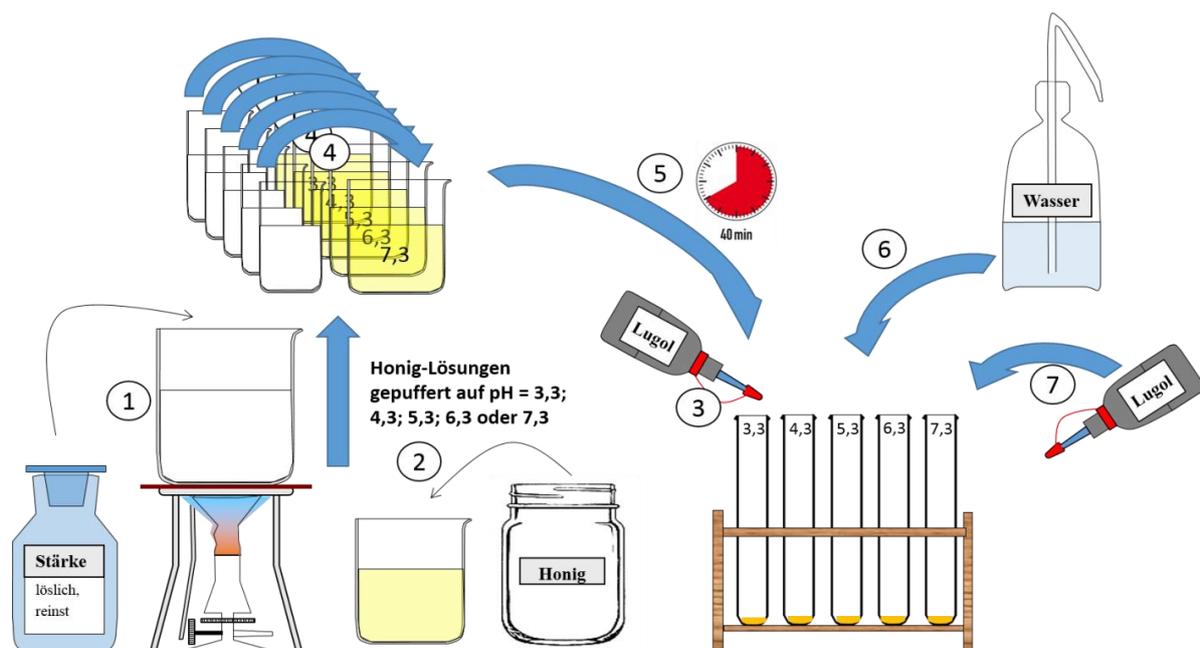


Abbildung 1: Versuch zur Bestimmung der Abhängigkeit der Diastaseaktivität vom pH-Wert mit Stärke-Lösung und Lugolscher Lösung (erstellt unter Verwendung von Elementen von Maisenbacher, 2010: slideplayer.org/slide/4867264/).

4.2 Durchführung (vgl. Abb. 1)

Zu den gepufferten Honig-Lösungen werden nacheinander jeweils 25 mL der Stärke-Lösung hinzugegeben (4). Nach 40 min werden mit der Pipette jeweils 2 mL der Proben entnommen und in die jeweiligen Reagenzgläser überführt (5). Die Reagenzgläser werden bis etwa 1 cm unterhalb des Randes mit Leitungswasser befüllt, mit einem Stopfen versehen und die Lösungen durch Schütteln gleichmäßig durchmischt (6). Die Reagenzgläser werden jeweils mit weiteren 4 Tropfen Lugolscher Lösung versetzt (7).

5 Beobachtung

Die jeweilige Färbung der verschiedenen Lösungen wird anhand von Abb. 2 bestimmt und notiert (Tab. 1).

pH 3,3	pH 4,3	pH 5,3	pH 6,3	pH 7,3

Tabelle 1: Färbungen der gepufferten Honig-Stärke-Wasser-Lösungen (ermittelt von Gruppe ____ anhand von Abb. 2)



Abbildung 2: Typischer Farbverlauf, der unter Verwendung von Lugolscher Lösung beim Abbau von Stärke unter Einfluss des Enzyms Diastase beobachtet werden kann (von links nach rechts: dunkelblau, blau-violett, violett-braun, braun, braun-gelb). (Foto: Zunftmeister)

6 Auswertung

- Den beobachteten Färbungen (Tab. 1) werden Werte von 0-4 als Maß für die relative Enzymaktivität zugeordnet (Tab. 2) und für alle Gruppen notiert (Tab. 3). Für jeden pH-Wert wird der jeweilige Mittelwert der relativen Enzymaktivität errechnet und notiert (Tab. 3).

dunkelblau	blau-violett	violett-braun	braun	braun-gelb
0	1	2	3	4

Tabelle 2: Kodierung der Färbungen als Maß für die relative Enzymaktivität.

pH-Wert	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Mittelwert

Tabelle 3: Auflistung der relativen Enzymaktivitäten (Werte aller Gruppen, ermittelt anhand von Tab. 2).

- Die Mittelwerte der relativen Enzymaktivität werden in einem Koordinatensystem gegen die entsprechenden pH-Werte aufgetragen (Abb. 3). Durch die Punkte im Koordinatensystem wird eine Ausgleichskurve gezeichnet.

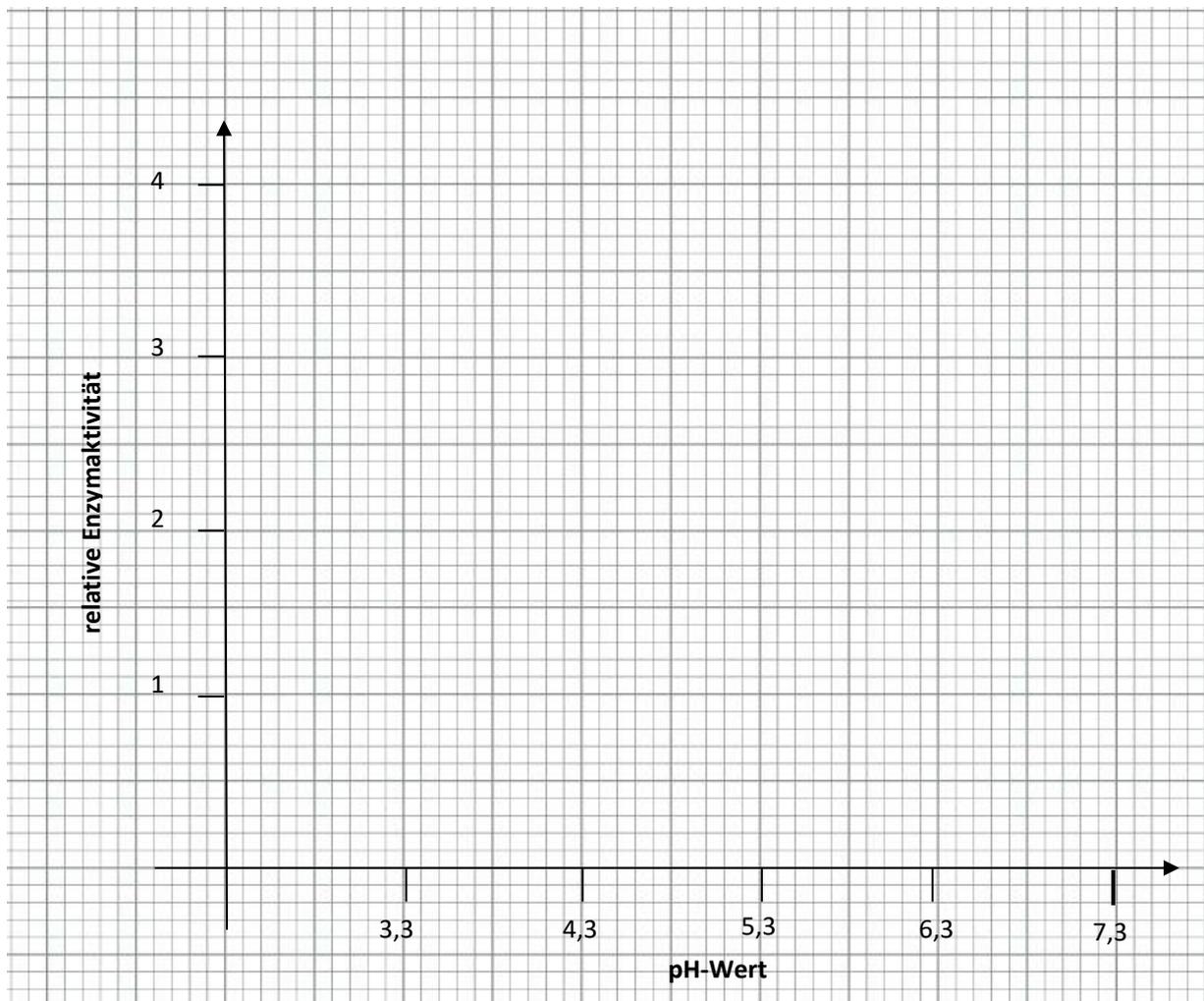


Abbildung 3: Auftragung der ermittelten relativen Enzymaktivität gegen den pH-Wert.

- Es wird ein Text (→ Heft) formuliert, der folgende Aspekte berücksichtigt:
 - Ermittelte Werte bzw. graphischen Verlauf beschreiben und erklären
 - Hypothesen überprüfen
 - Schlussfolgerungen ziehen
 - Methode beurteilen (Aussagekraft der Ergebnisse, mögliche Fehlerquellen...?)
 - Weiterführende Fragen stellen (Gleiches Ergebnis für andere Enzyme erwartet...?)