

Lernprogramm Enzyme in Jgst. 10 und 11

Evaluations- und Übungsprogramm für naturwissenschaftliche Arbeits- und Darstellungsweisen am Beispiel der Enzyme

1 Worum geht es in diesem Programm?

Teilweise erstaunliche Defizite in den höheren Jahrgangsstufen

Bei nicht wenigen Schülern der 10. und 11. Jahrgangsstufe, aber auch in Abiturprüfungen werden immer wieder massive Defizite bei der Durchdringung von Versuchsaufbauten bzw. bei der Darstellung von Versuchsergebnissen in Diagrammform festgestellt. Dies war der Anlass zur Erstellung des vorliegenden Programms, das für die Durchführung in der 10. Jahrgangsstufe beim Thema „Verdauung“ sowie beim Thema „Bedeutung und Regulation enzymatischer Prozesse“ am Anfang der 11. Jahrgangsstufe ausgelegt ist. Je nach dem Ergebnis der Vorevaluation werden die jeweiligen Bausteine des Programms entweder intensiv durchgeführt, nur kurz vorgestellt oder weggelassen. In erster Linie geht es dabei weniger um die fachinhaltlichen Aspekte der Enzymatik, sondern ganz allgemein um den Weg naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung unter besonderer Berücksichtigung der Kommunikationsform des Diagramms. Die Begleitmaterialien geben Beispiele und Anregungen und streben keine Vollständigkeit an.

Der Umgang mit Diagrammen

Die Kompetenzen im Anlegen bzw. Auswerten von Diagrammen sind bei Schülern der 10. und 11. Jahrgangsstufe sehr heterogen verteilt. Den Extremfall stellte ein Kursteilnehmer dar, der nicht wußte, wie er die Datenpaare aus einer Tabelle in ein Diagramm eintragen soll. In der Grundschule erlernen die Schüler in der Regel den Umgang mit zunächst sehr einfachen Säulendiagrammen. Vor allem in Natur und Technik bzw. Geographie wird in der Unterstufe des Gymnasiums der Umgang mit dem Säulendiagramm an konkreten naturwissenschaftlichen Beispielen weiter eingeübt und durch das Liniendiagramm ergänzt. Zwar steht die Darstellung im Diagramm auch im Lehrplan des Mathematikunterrichts, kann dort aber oft aufgrund von Zeitmangel nicht vertieft behandelt werden, so dass letztlich der naturwissenschaftliche Unterricht die entscheidende Verantwortung im Umgang mit Diagrammen trägt. Zudem gelingt es nicht allen Schülern, die Erkenntnisse aus dem Mathematikunterricht auf naturwissenschaftliche Gegebenheiten zu übertragen. Gemäß dem derzeit gültigen Lehrplan (G8, Fassung von 2009 in Jgst. 10 bzw. Fassung von 2012 in Jgst. 11) scheint Biologie (v. a. in der 10. Klasse) für ein vertieftes Lernprogramm mehr Zeit zu haben als Chemie oder Physik.

Der Umgang mit Versuchen

Bereits in Naturwissenschaftlich Arbeiten (Jgst. 5) begegnen die Schüler in einfacher, bisweilen noch spielerischer Weise dem Weg naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung anhand von Experimenten. In den folgenden vier Schuljahren soll dieses Thema in Biologie, Chemie und Physik an möglichst vielen Beispielen immer weiter vertieft und gefestigt werden, was aber v. a. aufgrund einer pubertären Verweigerungshaltung mancher Schüler nicht immer in wünschenswertem Maß gelingt. Deshalb erscheint es sinnvoll, in einer Phase der abklingenden bzw. bereits überwundenen Pubertät das Thema noch einmal explizit und ausführlich anzupacken, um etwaige größere Defizite zu beheben.

2 Evaluation

Um den Kenntnisstand der Schüler und damit den Nachbesserungsbedarf festzustellen, wird zunächst am Anfang des Schuljahres 10 bzw. 11 eine einleitende Vorevaluation durchgeführt. Zwischenevaluationen und eine Endevaluation dienen der Kontrolle des Lernerfolgs. Das Begleitmaterial enthält Beispiele entsprechender Evaluationsaufgaben. Die Evaluationen sollten im Unterricht durchgeführt werden, weil die Eintragungen dann höhere Relevanz besitzen und ein vollständiger Rücklauf garantiert ist. Das kostet zwar ein wenig Unterrichtszeit, lohnt sich aber, weil der Unterricht nur auf diese Weise genau auf die Bedürfnisse der Zielgruppe abgestimmt werden kann.

Gegenstand der Evaluationen sind vor allem folgende Aspekte:

Fachwissen:

- Aufbau von Proteinen aus Aminosäuren, Vielfalt der Proteine (vgl. Biologie Jgst.9)
- Alltagsvorstellungen zum Begriff „Enzym“
- Unterscheidung von Stoff- und Teilchen-Ebene
- Katalyse, Energiediagramm (vgl. Chemie NTG Jgst.8 bzw. Nicht-NTG Jgst.9)

Kommunikation:

- Beschreiben und Anlegen von Diagrammen

Erkenntnisgewinn:

- Modelle und Modell-Kritik
- Verwendung von Messgrößen und Einheiten
- Umgang mit Messwerten: Erfassung und Quantifizierung von Versuchsergebnissen
- kritische Betrachtung des Versuchsaufbaus und der Messergebnisse
- wissenschaftlicher Wert des Erkenntnisgewinns

3 Diagramme

Bei Schülern wiederholt aufgetretene 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.
- Verwechslung von Messgröße und Einheit sowie weitere falsche Zuordnungen
- 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

4 Fachinhaltliche Feinlernziele dieses Programms

4.1 Jahrgangsstufe 10

Fachwissen:

- den Begriff „Biokatalysator“ erklären können (organischer Stoff, der biochemische Reaktionen beschleunigt, indem er deren Aktivierungsenergie senkt; er greift in die Reaktion ein, geht aber unverändert aus ihr hervor)
- unterschiedliche Wirkungen von Enzymen nennen können (z. B. zerschneiden, zusammenfügen)
- den Begriff „Enzymaktivität“ konkret definieren können (auf Stoff-, auf Teilchenebene; z. B. als Produktmenge pro Zeiteinheit)
- Substratspezifität anhand eines konkreten Beispiels aus der Verdauung erklären können

Erkenntnisgewinn:

- einen Versuch zur Messung der Aktivität eines Enzyms entwerfen und können:
 - konkrete Beobachtung auf Stoffebene (Zeitspanne bis zur Entfärbung, zum Farbumschlag; Gasvolumen in einer bestimmten Zeitspanne usw.)
 - die Messgröße und ihre Einheit (Zeit in Sekunden; Volumen in mL; Anzahl der Gasbläschen usw.)
 - Blindprobe (ohne Enzym), um sicherzustellen, dass die Stoffveränderung nur durch das Enzym hervorgerufen wird
 - bei Wiederholung des Experiments und bei Blindprobe alle äußeren Faktoren konstant lassen
- in einem Experiment die Aktivität eines Enzyms mit korrekter Methodik messen können
- eine Versuchsreihe zur Untersuchung der Abhängigkeit der Aktivität eines Enzyms von einem Außenfaktor entwerfen, durchführen und protokollieren können (z. B. pH-Abhängigkeit der Amylase-Aktivität)
 - konkrete Fragestellung bzw. Hypothese der Versuchsreihe formulieren
 - nur einen Parameter verändern, alle anderen konstant lassen
 - ein eigener Versuchsansatz für jeden Wert der abhängigen Variablen
 - Blindproben (ohne Enzym) bei jedem Versuchsansatz mitlaufen lassen

Kommunikation:

- die Abhängigkeit der Enzymaktivität von einem Außenfaktor graphisch darstellen und auswerten können
- die energetische Wirkung eines Enzyms (als Biokatalysator) im Energiediagramm darstellen können
- den Wirkmechanismus eines zerschneidenden Enzyms modellhaft darstellen können
- verschiedene Enzymmodelle beurteilen* und vergleichen können (z. B. 2D-Tafelbild-Modell, 3D-Schwamm-Modell, Animationsmodell)
- Messwerte beurteilen* können (Messfehler abschätzen, Ausreißer, Mittelwert, geglättete Kurven, Absicherung durch mehrfache Messungen)

** Beurteilen ist nicht mit Bewerten gleichzusetzen; Bewerten im Sinne des LehrplanPLUS bedeutet gesundheits- oder gesellschaftsrelevante Entscheidungen zu treffen.*

Wenn diese Lernprogramm in der 10. Klasse nicht oder zu wenig eingeübt worden sind, sollten die hier unter 10. Klasse formulierten Kompetenzen in der Q11 eingeübt werden.

4.2 Jahrgangsstufe 11

Die Lernziele aus Jgst. 10 werden vorausgesetzt und knapp wiederholt, außer die Vorevaluation zeigt dort Defizite auf, die dann entweder im Q11-Unterricht behandelt oder im Selbststudium anhand entsprechender Arbeitsblätter erarbeitet werden. Neu hinzu kommen folgende Feinlernziele:

Fachwissen:

- verschiedene Hemm-Mechanismen von Enzymen erklären können
- die Wirkungsspezifität unterschiedlicher Enzyme mit dem gleichen Substrat erklären können
- verschiedene Arten von Denaturierung von Enzymen erklären können

Erkenntnisgewinn:

- eine weitere Versuchsreihe zur Abhängigkeit der Enzymaktivität von einem Außenfaktor entwerfen, durchführen und auswerten können (z. B. Temperaturabhängigkeit von Amylase)

5 Geeignete Enzymversuche

Versuchsanleitungen und ausführliche Hinweise (v. a. für Biologielehrkräfte, die nicht Chemie als zweites Fach haben) finden Sie im Kapitel 11 „Enzyme“ im Praktikumsordner „Bio? – Logisch!“; Akademiebericht 506 der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP) in Dillingen. (2. Auflage ab Anfang 2022)

Die Schüler sollen zunächst verstehen, wie bei einem bestimmten Enzym dessen Aktivität gemessen werden kann (z. B. über eine Farbänderung oder die Freisetzung eines Gases), bevor sie diesen Vorversuch dann durchführen. Erst danach kann man daran gehen, eine Versuchsreihe zu entwerfen. (Eine häufig auftretende Fehlvorstellung von Schülern besteht darin, dass sie beispielsweise bei der Messung der Temperaturabhängigkeit der Enzymaktivität ein einziges Reaktionsgefäß mit Substrat und Enzym einsetzen und dabei schrittweise die Temperatur erhöhen wollen, anstatt eine Messreihe mit mehreren Reaktionsgefäßen anzusetzen. Manche Schüler schlagen vor, die Aktivität einzelner Enzymmoleküle im Mikroskop zu beobachten.)

5.1 Amylase-Reaktion:

Visualisierung der Enzymaktivität:

Stärke-Lösung wird durch Iod-Lösung* blau gefärbt. Entfärbung bedeutet (weitestgehende) Zersetzung der Stärke.

* Bezeichnungen wie „Iod-Kaliumiodid-Lösung“ bzw. „Lugol’sche Lösung“ sind in der Schule nicht notwendig

Messgröße:

Zeitspanne bis zur (subjektiv empfundenen) vollständigen Entfärbung in Sekunden bzw. Minuten

Unabhängige Variablen:

gut geeignet für die Messung der Abhängigkeit vom pH-Wert (aber nicht mit Pufferlösungen und auch nur im sauren und neutralen Bereich, da die Blaufärbung der Iodstärke im Basischen verschwindet) und von der Temperatur (bis etwa 35°C, weil darüber die Blaufärbung der Iodstärke verschwindet; Hitzedenaturierung klappt bei Amylase meist nicht)

Problemdiskussion:

Bei höheren Temperaturen verblasst die Blaufärbung stark, weil dann der Durchmesser der Amylose-Helix zu groß wird. Hieran kann man die Bedeutung der Blindprobe anschaulich demonstrieren.

Messungen zur Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Substratkonzentration sind nicht sinnvoll, da eine Erhöhung der Stärkekonzentration zwar die Enzymaktivität erhöht, aber aufgrund der größeren Substratmenge auch mehr Zeit bis zur Entfärbung benötigt.

Tipp:

Wenn es nicht auf Substrat- oder Wirkungsspezifität ankommt, ist es sinnvoll, statt der teuren Reinstoffe α - oder β -Amylase das preisgünstige Pankreatin zu verwenden, das unter anderem Amylasen enthält und zudem auch bei Zimmertemperatur viele Jahre haltbar ist.

5.2 Katalase-Reaktion:

Visualisierung der Enzymaktivität:

Katalase zersetzt Wasserstoffperoxid zu Wasser und gasförmigem Sauerstoff, der aus dem Ansatz entweicht und ggf. durch eine pneumatische Wanne oder in einem Kolbenprober (bzw. in Microscale mit einer Spritze von z. B. 60 mL) aufgefangen wird.

Messgröße:

Anzahl der Gasbläschen (ohne Einheit) in einer festgelegten Zeiteinheit (z. B. 3 Minuten) bzw. entstehendes Gasvolumen in einer festgelegten Zeiteinheit in mL

Unabhängige Variablen:

gut geeignet für die Messung der Abhängigkeit vom pH-Wert (auch quantitativ gut darstellbar, Katalase arbeitet in einem weitem pH-Bereich gut), von der Temperatur (hervorragend darstellbar, auch quantitativ) und von der Substratkonzentration (deutliche Abhängigkeit, auch quantitativ gut darstellbar)

Problemdiskussion:

Misst man das entstehende Gasvolumen, ist zu berücksichtigen, dass ein Gasvolumen mit steigender Temperatur beträchtlich zunimmt. Für einen sinnvollen Vergleich müssen alle Gas auffanggefäße zum Zeitpunkt der Messung die selbe Temperatur haben => Wasserbad.

Tipps:

Gut geeignet ist 3-5%ige Wasserstoffperoxid-Lösung. Für Demonstrationsversuche eignet sich 10%ige Lösung gut, weil die Reaktion damit deutlich dramatischer abläuft. 30%ige Lösung ist im Unterricht zu gefährlich.

Unbedingt Schutzbrille und am besten (feine, eng anliegende) Schutzhandschuhe verwenden.

5.3 Urease-Reaktion

Visualisierung der Enzymaktivität:

Urease zersetzt Harnstoff in Ammoniak und Kohlenstoffdioxid. Weil doppelt so viel (schwach basischer) Harnstoff entsteht wie (schwach saures) Kohlenstoffdioxid, reagiert die Produktmischung basisch. Geht man von einer sehr schwach angesäuerten und am besten mit Phenolphthalein versetzten Substrat-Lösung aus, beobachtet man nach Zusatz von Urease einen Farbumschlag nach pink.

Messgröße:

Die Zeitspanne bis zum Farbumschlag in Sekunden bzw. Minuten ist sehr problematisch zu bestimmen, weil die Pinkfärbung kontinuierlich zunimmt. Bromthymolblau zeigt auch keinen klar definierten Farbumschlag, sondern eine schleichende Farbänderung. => Quantitative Messungen sind nicht sinnvoll.

Versuche:

Abhängigkeiten von Außenfaktoren lassen sich also nicht gut darstellen. Gut zu demonstrieren sind dagegen Substratspezifität (Vergleich mit N-Methylharnstoff oder Thioharnstoff), kompetitive Hemmung (nur Thioharnstoff), Hitzedenaturierung durch Abkochen sowie Denaturierung mit Schwermetallionen (Kupfersulfat-Lösung).

Problemdiskussion:

Die Abhängigkeit vom pH-Wert ist mit Säure-Base-Indikator grundsätzlich nicht messbar, weil die Veränderung des pH-Werts durch die Produkte den Fortgang der Reaktion anzeigt.

Tipps:

Harnstofflösung autohydrolisiert und neigt deshalb von alleine zum Farbumschlag. Daran kann man die Bedeutung der Blindprobe anschaulich demonstrieren.

Harnstofflösung möglichst frisch ansetzen, mit Phenolphthalein versetzen und mit einem Tropfen stark verdünnter Essigsäure ansäuern

Käufliche Urease ist oft eine etwas undefinierbare Suspension. Alternative: fein geschrotete unbehandelte Sojabohnen

allgemeines Problem bei Messungen zur Temperaturabhängigkeit:

Wenn man nicht in automatisch gesteuerten Wasserbädern arbeitet, gleicht sich die Temperatur der Wasserbäder langsam an die Raumtemperatur an. Man kann dies etwas verzögern, wenn man die Bechergläser auf einen isolierenden Untersetzer (Kork, Styropor) stellt.

6 Begleitmaterialien

Vorevaluation:

1 Vorwissen Verdauung:

Verdauungsorgane, Verdauungsvorgänge, Betrachtungsebenen

2 Vorwissen Proteine Enzyme:

Proteine und Enzyme; persönliche Einstellung

3 Vorwissen Stoff- und Teilchenebene

4 Vorwissen Diagrammkompetenz

Einführende Übung:

5 Der Weg des Erkenntnisgewinns

Zwischen- bzw. Endevaluation:

6 Aufgaben zur Zwischen- und End-Evaluation:

fehlerhafte Versuchsansätze, Umgang mit Messgrößen und Messfehlern, Übungen im Anlegen von Diagrammen

Dieses Programm wurde entwickelt vom Ausbildungsseminar Biologie 2013/15 am Rupprecht-Gymnasium München (Bettina Brauer, Anne-Marie Küffner, Alessandra Pantanella, Tobias Riggermann und David Schedl unter Anleitung von Thomas Nickl) und 2017 überarbeitet