

## Gärung digital



Bildquelle: Pixabay

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderung	Durchführung	Vorbereitung
Sek I + Sek II	Zellbiologie	Alkoholische Gärung	•	•	•

### Aufgabenstellung

Die Schüler lernen, wie Hefe mittels alkoholischer Gärung Energie gewinnen kann. Dabei wird auch betrachtet, ob Hefe Zucker oder Stärke gleichermaßen als Energiequelle nutzen kann.

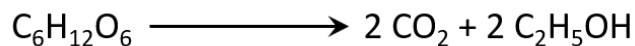
### Wesentliche Fragestellung

Kann Hefe sowohl Zucker als auch Stärke für die Gärung verwenden?

## Einleitung

### Warum produziert Hefe für uns Alkohol?

Hefen sind einzellige eukaryotische Organismen, die als *fakultative Aerobier* klassifiziert sind; sie führen sowohl aerobe Atmung als auch Gärung durch, je nach Verfügbarkeit von Sauerstoff. Wenn Hefe aufgrund von Sauerstoffmangel Zucker, wie beispielsweise Glukose, vergärt, produziert sie Ethanol und Kohlendioxid. Der Gärungsweg ist mit der Glykolyse gekoppelt und versorgt die Zellen mit einer kleinen Menge Adenosintriphosphat (ATP) für jedes in Ethanol überführte Glukosemolekül.



Sie wissen wahrscheinlich, dass Hefe beim Backen häufig verwendet wird. Ein Grundrezept für Brot erfordert Zucker und Mehl (Stärke) als Zutaten. Wenn Hefe eine oder mehrere Zutaten im Brotteig zur Energiegewinnung verwendet, entsteht Kohlendioxidgas, das das Brot zum Aufsteigen bringt. Das Ethanol verdampft durch die beim Backen entstehende Wärme.

In dieser Versuchsanleitung vergleichen Sie die Verwendung von Zucker und Stärke durch Hefe bei der Gärung. Dabei wird der Ethanol Sensor anstelle des CO<sub>2</sub>-Gassensors genutzt, da CO<sub>2</sub> sowohl bei der Gärung als auch bei der aeroben Atmung entsteht.

## Material & Methoden

Für jeden Schüler oder jede Gruppe werden folgende Materialien benötigt:

- SPARKvue
- [Ethanol-Sensor](#)
- [Smart AirLink](#)
- [Probenflasche](#) oder Glaskolben (125 ml oder 250 ml)
- [Kunststoffpipette](#)
- [Kleiner Becher](#)
- [Magnetrührer](#) und [Magnetrührstäbchen](#)
- [1% Ethanol](#) (zur Kalibrierung)
- [Hefesuspension](#), 40-60 ml
- [2% Saccharose](#)lösung, 30 ml
- [2% Stärke](#)lösung, ca. 150 ml
- [Iod-Kaliumiodidlösung nach Lugol](#) (IKI), 5-10 Tropfen
- [2% Stärke](#)lösung gemischt mit [Amylase](#), 30 ml (für optionalen Versuch)
- [Wasser aus keimenden Samen](#), 5 ml (dazu Samen über Nacht mit Wasser bedecken)
- [Stativ](#), [Doppelmuffe](#) und [Dreifingerklemme](#) (optional)

## Sicherheit

Beachten Sie neben Ihren gewohnten Sicherheitsvorkehrungen bitte folgende Sicherheitshinweise:

- Tragen Sie immer eine Schutzbrille.
- Achten Sie darauf, dass das Ende des Ethanol-Sensors nicht nass wird! Der Sensor ist ein Gassensor und sollte niemals in eine Flüssigkeit getaucht werden.

## Durchführung der Erstuntersuchung

Führen Sie die folgende Untersuchung durch, bevor Sie Ihr eigenes Experiment konzipieren und durchführen. Notieren Sie alle Beobachtungen, Daten, Erklärungen und Antworten.

### Teil 1

1. Setzen Sie Ihre Schutzbrille auf.
2. Schließen Sie den Ethanol Sensor an den Smart AirLink an. Lassen Sie den Sensor mindestens 5 Minuten lang "aufwärmen". Kalibrieren Sie den Sensor nach der Aufwärmphase mit einer 1%igen Ethanol Lösung.
3. Verbinden Sie den mit dem AirLink gekoppelten Ethanol Sensor mit dem Datenerfassungssystem. Öffnen Sie die Datei Gärung (diese können Sie [hier](#) herunterladen).

*Wenn die Konfigurationsdatei Ihnen nicht zur Verfügung steht, können Sie alternativ eine Grafik der Sensormessung in Ethanol [%] gegen Zeit [min] erstellen.*

4. Geben Sie 30 ml 2%ige Saccharose Lösung in einen sauberen, leeren Behälter (Probenflasche oder Glaskolben). Legen Sie ein Magnetrührstäbchen in die Flasche und stellen Sie ihn auf einen Magnetrührer.
5. Geben Sie 20 ml Hefesuspension in die Probenflasche und stellen Sie den Magnetrührer auf eine niedrige bis mittlere Rührgeschwindigkeit ein.

*HINWEIS: Achten Sie darauf, dass die Probenflasche und der Sensor nicht umkippen. Verwenden Sie nach Möglichkeit ein Stangenstativ und eine Dreifingerklemme zur Befestigung der Probenflasche. Der Sensor ist ein Gassensor und darf **NICHT** in eine Flüssigkeit getaucht werden.*

6. Dichten Sie die Probenflasche mit dem Ethanol Sensor ab. Die Dichtung zwischen dem Stopfen des Sensors und der Flaschenöffnung sollte luftdicht sein. Lassen Sie das System vor Beginn der Datenerfassung 1-2 Minuten lang ungestört ruhen.

7. Beginnen Sie mit der Datenerfassung. Sammeln Sie Daten für mindestens 15 Minuten. Beantworten Sie die nachfolgenden Fragen, während Sie auf das Ende der Datenerfassung warten.
8. Beschreiben Sie, wie Ethanol während der Gärung entsteht.
9. Welche Art von Molekül ist Saccharose? Was muss die Hefe mit der Saccharose tun, um sie während der Gärung als Energiequelle nutzen zu können?
10. Beenden Sie nach Ablauf von mindestens 15 Minuten die Datenerfassung. Spülen Sie die Probenflasche gründlich aus. Geben Sie anschließend 30 ml 2% Stärkelösung und 20 ml Hefesuspension in die Probenflasche, dichten Sie den Versuchsaufbau wie zuvor ab und sammeln Sie für ebenfalls mindestens 15 Minuten Daten.
11. Messen Sie die Rate der Ethanol Produktion über einen Zeitraum von 15 Minuten (oder länger).
12. Optional können Sie eine dritte Versuchsreihe mit 30 ml 2% Stärkelösung gemischt mit Amylase durchführen. Welche Ergebnisse erwarten Sie bei diesem Versuchsaufbau?
13. Übertragen oder drucken Sie Ihre Daten. Welche ist eine bessere Energiequelle für Hefe, Saccharose oder Stärke? Belegen Sie Ihre Antwort mit Hilfe der Ergebnisse.

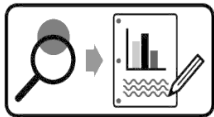
## Teil 2

14. Füllen Sie ein kleines Becherglas zur Hälfte mit Stärkelösung. Geben Sie dem Becherglas 5-10 Tropfen Jodindikator (IKI) hinzu und durchmischen Sie die Flüssigkeiten. Notieren Sie die Farbe der Mischung.
15. Geben Sie der Stärke/IKI-Lösung 5 ml Wasser von keimenden Samen hinzu. Schwenken Sie das Becherglas, bis Sie eine Veränderung beobachten. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
16. Wie wirkte sich das Wasser von keimenden Samen auf die Stärkelösung aus? Wie kann die Auswirkung begründet werden?
17. Welches Enzym ist in keimenden Samen vorhanden, durch welches sich die Farbveränderung erklären lässt, die durch die Zugabe des Samen-Wassers entstanden ist
18. Welche Ergebnisse würden Sie (verglichen mit den vorherigen Ergebnissen der Hefe-Stärke-Suspension) erwarten, wenn Sie einer Stärkelösung Wasser von keimenden Samen zufügen und diese Lösung dann der Hefe zur Gärung zur Verfügung stellen?

19. Abhängig von der verfügbaren Zeit können Schüler dieses Experiment eigenständig durchführen oder man kann ihnen einfach Daten zur Verfügung stellen, die Sie mit Ihrer Vorhersage vergleichen können. Basierend auf den gesammelten oder bereitgestellten Daten, wie sehen die Ergebnisse im Vergleich zur Vorhersage aus?

## Gestaltung und Durchführung eines Experiments

Zusätzlich zu den Arten von Substanzen, die in der Umwelt vorhanden sind, gibt es unzählige Faktoren, die die Effizienz der Gärung in Hefe beeinflussen können. Viele Wirtschaftszweige sind auf optimale Gärungsraten angewiesen, um Produkte herzustellen. Betrachten Sie einen Faktor, von dem Sie denken, dass er die Ethanol Produktion durch Hefe beeinflusst und konzipieren Sie ein Experiment, um diesen Faktor zu testen.



Gestalten und führen Sie Ihr Experiment entweder gemäß „Durchführung der Erstuntersuchung“ oder dem „Gestaltung und Durchführung eines Experiments“-Arbeitsblattes durch. Füllen Sie dann die Fragen zur Datenanalyse und die abschließenden Fragen aus.

## Gestaltung und Durchführung Experiments: Datenanalyse

1. Gemäß Ihren Beobachtungen und Daten:
  - a. Beschreiben Sie, wie die von Ihnen manipulierte unabhängige Variable die Gärungsrate beeinflusst hat. Unterstützen die Daten Ihre Hypothese? Begründen Sie Ihre Behauptung mit Daten aus Ihrem Experiment.
  - b. Erklären Sie die Ergebnisse anhand der von Ihnen gesammelten Daten.
2. Gibt es Hinweise in Ihren Daten oder aus Ihren Beobachtungen, dass experimentelle Fehler oder andere unkontrollierte Variablen Ihre Ergebnisse beeinflussen? Falls ja, sind die Daten zuverlässig genug, um Ihre Hypothese zu unterstützen?
3. Bestimmen Sie alle neuen Fragen, die sich aus Ihren Untersuchungen ergeben haben.

## Abschließende Fragen

1. Hefe wird zur Gärung von Zucker im Rahmen des Herstellungsprozesses vieler von Menschen erzeugter Produkte verwendet, einschließlich Biokraftstoffe - Kraftstoffe aus organischen "Rohstoffen" wie Mais oder Zuckerrohr.
  - a. Diese Rohstoffe enthalten einen hohen Zuckeranteil, aber auch Stärke und Cellulose. Welchen Zweck hat der Einsatz von Enzymen wie Amylase oder Cellulase bei der Herstellung von Biokraftstoffen?
  - b. Welche Rolle spielt die Gentechnik bei biotechnologischen Verfahren, die Produkte wie Ethanol effizient herstellen?
2. Vergleichen und unterscheiden Sie die Milchsäuregärung und die Alkoholgärung. Was ist entscheidend dafür, welche Art der Gärung von einem Organismus ausgeführt wird?
3. Die freie Energie  $G$  ist ein wichtiger Aspekt des Verständnisses, wie Organismen Energie gewinnen, nutzen und transformieren, um ihre komplexen Organisationsebenen aufrechtzuerhalten, zu wachsen und sich zu entwickeln. Tabelle 1 zeigt die Änderung der freien Energie, die mit zwei in Zellen ablaufenden Prozessen einhergehen.

**Tabelle 1: Änderung der freien Energie**

Reaktion	$\Delta G$
Glukose + Sauerstoff $\rightarrow$ Kohlendioxid + Wasser	-2870 kJ/mol
Glukose $\rightarrow$ Ethanol + Kohlendioxid	-285 kJ/mol

- a. Erklären Sie den Zusammenhang zwischen den in Tabelle 1 angegebenen Daten und dem Unterschied in der ATP-Produktion für aerobe Atmung im Vergleich zur Gärung.
  - b. Inwiefern erklären die obigen Informationen, dass die Gärung auf Mikroorganismen oder kurzzeitig auf bestimmte Zellen von multizellulären Organismen beschränkt ist?
4. Die Stoffwechselwege sind streng reguliert, um die Homöostase in Organismen aufrechtzuerhalten.
    - a. Beschreiben Sie zwei Möglichkeiten, wie die Aktivität von Stoffwechsellenzymen verändert werden kann, wodurch eine Zelle einen Mechanismus zur Kontrolle eines biochemischen Signalwegs erhält.
    - b. Phosphofruktokinase 1 (PFK1) ist ein Enzym, das einen von der Zelle stark regulierten Schritt der Glykolyse katalysiert. Wenn das Enzym aktiv ist, findet die

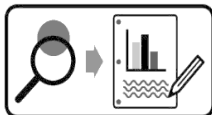
Glykolyse statt. Wenn das Enzym gehemmt wird, wird auch die Glykolyse gehemmt. Verwenden Sie die folgenden Daten, um ein Diagramm der PFK1-Aktivität gegen die ATP-Konzentration zu zeichnen. Erklären Sie die Form der Kurve von 0,4  $\mu\text{M}$  bis 2  $\mu\text{M}$ . Erklären Sie außerdem, warum die Aktivität eines Enzyms in einem Signalweg den gesamten Signalweg beeinflussen würde und nicht nur den Schritt, den es katalysiert.

**Tabelle 2: PFK1-Aktivität im Vergleich zur intrazellulären ATP-Konzentration**

PFK1 Aktivität (% von $V_{\max}$ )	ATP-Konzentration ( $\mu\text{M}$ )
40	0.2
50	0.4
30	0.8
20	1.2
15	1.6
5	2.0

## „Gestaltung und Durchführung eines Experiments“-Arbeitsblattes

Zusätzlich zu den Arten von Substanzen, die in der Umwelt vorhanden sind, gibt es unzählige Faktoren, die die Effizienz der Gärung in Hefe beeinflussen können. Viele Wirtschaftszweige sind auf optimale Gärungsraten angewiesen, um Produkte herzustellen. Betrachten Sie einen Faktor, von dem Sie denken, dass er die Ethanolproduktion durch Hefe beeinflusst und konzipieren Sie ein Experiment, um diesen Faktor zu testen.



Gestalten und führen Sie Ihr Experiment anhand der folgenden Anleitung durch.

1. Welche Umweltfaktoren (abiotisch oder biotisch) könnten diesen Prozess beeinflussen, basierend auf Ihrem Wissen über Gärung?
2. Erstellen Sie eine Kernfrage: Wählen Sie einen der von Ihnen identifizierten Faktoren, die überprüft werden können und entwickeln Sie eine überprüfbare Frage für Ihr Experiment.

3. Wie begründen Sie Ihre Kernfrage? Warum ist es biologisch bedeutsam, relevant oder interessant?
4. Was wird die unabhängige Variable des Experiments sein? Beschreiben Sie, wie diese Variable in Ihrem Experiment manipuliert wird.
5. Was ist die abhängige Variable des Experiments? Beschreiben Sie, wie die Daten im Experiment gesammelt und verarbeitet werden.
6. Stellen Sie eine überprüfbare Hypothese auf (Wenn...dann...).
7. Welche Bedingungen müssen im Experiment konstant gehalten werden? Quantifizieren Sie diese Werte, wenn möglich.
8. Wie viele Versuche werden für jede Versuchsgruppe durchgeführt? Begründen Sie Ihre Wahl.
9. Was werden Sie vergleichen oder berechnen? Welche Analyse werden Sie durchführen, um Ihre Ergebnisse und Hypothesen zu bewerten?
10. Beschreiben Sie mindestens 3 potenzielle Fehlerquellen, die die Genauigkeit oder Zuverlässigkeit der Daten beeinträchtigen könnten.
11. Verwenden Sie den nachfolgenden Platz, um eine Übersicht über das Experiment zu erstellen. Schreiben Sie die Schritte für die Vorgehensweise auf. (Jemand anderes oder eine andere Gruppe sollte in der Lage sein, den Vorgang zu wiederholen und ähnliche Ergebnisse zu erzielen.)

**Bitte beachten Sie, dass die Versuchsanleitung lediglich als Orientierung dient. Sie wurde nach bestem Wissen und Gewissen angefertigt. Dennoch können wir keine Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität übernehmen und bitten Sie, die jeweiligen Aussagen und Quellen vor Verbreitung zu überprüfen.**