Anna-Lena Eicke
Philipps-Universität Marburg
Organisch-Chemisches Praktikum (LA)
Leitung: Dr. Reiß
WS 08/09

27.11.08

Schulversuche
Assistentin: Beate Abé

Versuchsprotokoll

Alkoholische Gärung von Traubensaft

Gruppe 6, Typ: Eigenversuch

1. Reaktionsgleichung

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{Hefe}} 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$

2. Zeitbedarf

	Teil 1	Teil 2
Vorbereitung	5 min	10 min
Durchführung	1 Woche	10 min
Nachbearbeitung	2 min	5 min

3. Chemikalien

Name	Summenformel	Gefahrensymbol	R-Sätze	S-Sätze	Einsatz in der Schule
Calciumhydroxid	$Ca(OH)_2$	Xi	-	-	S I

Gefahrensymbole

4. Materialien/Geräte

2 saubere 250 mL Rundkolben, Traubensaft, Hefe, Magnetrührer, Wasserbad, Gärröhrchen

5. Versuchsaufbau

Abb. 1: links: unbehandelter Traubensaft
rechts: ausgekochter Traubensaft

6. Versuchsdurchführung

Man gibt in zwei sehr saubere 250 mL Rundkolben ca. 100 mL Traubensaft und fügt etwas Hefe hinzu. Einer der Kolben wird im Wasserbad 10 – 15 min. gekocht. Anschließend werden beide Kolben mit einem Stopfen, in dem ein Gärröhrchen steckt verschlossen. In das Gärröhrchen wird jeweils etwas filtrierte Calciumhydroxid-Lösung gegeben.

Nach ca. einer Woche wird die unbehandelte Lösung destilliert. Dazu bringt man die Lösung in einem Ölbad zum Sieden. Der Kolben wird mit einem durchbohrten Stopfen verschlossen, in den eine Pipette mit der Spitze nach oben gesteckt wird. Das aufsteigende Gas wird mit einem Feuerzeug entzündet.

7. Beobachtung

Die behandelte Lösung nimmt eine trübe violette Farbe an. Nach einem Tag schwimmt eine rosa Schaumkrone auf der Lösung im unbehandelten Kolben. Nach drei Tagen bildet sich in beiden Gärröhrchen ein weißer Niederschlag.

Das aufsteigende Gas bei der Destillation lässt sich gut entzünden (Abb. 2).

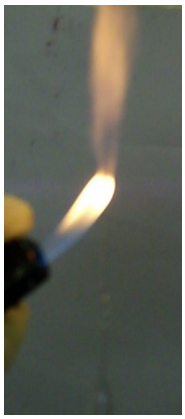

Abb. 2: Ethanolnachweis

8. Entsorgung

Die Lösungen werden in den Ausguss gegeben.

9. Fachliche Analyse

Eine Gärung ist ein Stoffwechelprozess in dem Kohlenhydrate unter Sauerstoffausschluss zwecks Energiegewinnung abgebaut werden. Bei der alkoholischen Gärung wird Glucose zu Ethanol und Kohlenstoffdioxid abgebaut. Diese Gärung wird vor allem von Hefe-Bakterien genutzt, denen bei der Zellatmung häufig der Sauerstoff fehlt. Auf diese Weise können aus einem Molekül Glucose immerhin noch 2 Moleküle ATP (Adenosintriphophat) gewonnen werden, während bei der Zellatmung 36 Moleküle ATP entstehen. Diese zwei Moleküle werden im ersten Schritt des Abbaus, der Glykolyse gewonnen. Die alkoholische Gärung dient nicht zur weiteren Energiegewinnung, sondern lediglich zu Rückgewinnung des Coenzyms NADH.

Unter Sauerstoffausschluss vermehren sich die Hefe-Bakterien weniger, als bei Zufuhr von Sauerstoff. Sobald ein Hefe-Bakterium in der alkoholische Gärung wieder Sauerstoff bekommt, stellt es sofort die Gärung ein und nutzt den wieder vorhandenen Sauerstoff für die Zellatmung (Pasteur-Effekt). Allerdings nutzen Hefe-Bakterien die alkoholische Gärung auch, wenn sie sich in einem überzuckerten Medium befinden und trotzdem Sauerstoff vorhanden ist. Dies liegt daran, dass ihre Zellatmung aufgrund des Zuckerüberschusses überlastet ist. Sie führen also die Zellamtung und die Gärung nebeneinander durch (Crabtree-Effekt).

Die alkoholische Gärung findet optimaler Weise zwischen 30 und 37 °C statt und der Zuckergehalt sollte zwischen 20 und 25 % betragen. Sobald die Hefe-Bakterien 16 % Ethanol hergestellt haben, sterben sie selber aufgrund des zu hohen Alkoholanteils ab und die Gärung bleibt stehen. Dies erklärt warum Biere und Weine nie mehr als 16 % Alkohol enthalten. Weinbrände mit höherem Alkoholanteil werden durch Destillation hergestellt. Dieses Gärverfahren ist die biochemische Umwandlung, die der Mensch am längsten beherrscht, z.B. zur Weinherstellung und zum Bierbrauen.

Auf der Suche nach alternativen Energiequellen hat die alkoholische Gärung in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen. Durch diese kann Biomasse in Ethanol umgewandelt werden, welches wiederum als Kraftstoff eingesetzt werden kann.

Durch die Hefe-Bakterien wird Glucose zu Ethanol und Kohlenstoffdioxid umgewandelt.

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{Hefe}} 2\ C_2H_5OH + 2\ CO_2$$

Das Ethanol ist das Produkt einer komplexen Reaktion mit vielen Zwischenschritten. Zu erst wird dabei die Glucose in mehreren Schritten in Brenztraubensäure (auch 2-Oxopropansäure bzw. Acetylameisensäure genannt) umgewandelt. ADP (Adenosindiphosphat) lagert dabei ein weiteres Phosphat-Moleklül an und wird zu ATP (Adenosintriphophat).

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ NAD^+ + 2\ ADP + 2\ P \longrightarrow 2\ C_2H_3OCOOH + 2\ NADH + 2\ ATP + 2\ H^+$$

Anschließend folgt die oxidative Decarboxylierung. Von der Brenztraubensäure spaltet sich Kohlenstoffdioxid ab, wodurch Acetaldehyd entsteht.

$$C_2H_3OCOOH \longrightarrow C_2H_4O + CO_2$$

Nun findet die Alkoholhydrogenase statt, in der das Acetaldehyd zu Ethanol reduziert wird.

$$C_2H_4O + 2\ NADH \longrightarrow C_2H_5OH + 2\ NAD^+$$

Der Ethanol wurde zweifach nachgewiesen. Einmal roch der Traubensaft eher wie ein schlechter Rotwein und außerdem wurde die Lösung destilliert. Ethanol hat eine Siedetemperatur von 118 °C. Durch Erhitzen der Lösung bis zum Sieden, geht der Ethanol in den gasförmigen Zustand über und kann am Ende der Pipette angezündet werden. Er verbrennt mit gelber Flamme.

Hefe-Bakterien finden in Fruchtsäften ideale pH-Wert-Bedingungen, eine optimale Sauerstoffversorgung und eine gute Nährstoffversorgung, so dass sie darin gut wachsen und sich vermehren können. Da sie in Fruchtsäften jedoch unerwünscht sind, weil sie dafür sorgen, dass diese schneller verderben, werden die Säfte pasteurisiert. Man erhitzt sie Säfte kurzzeitig auf 82 – 90 °C für 15 – 150 sek. (je nachdem welche Saftsorte vorliegt und wie groß der Anteil an Fruchtfleisch des Saftes ist) und füllt sie gleich in die vorgesehenen Flaschen, um den erneuten Kontakt mit Mikroorganismen möglichst klein zu halten. Einerseits müssen die Flaschen von außen sofort abgekühlt werden, da eine zu lange Wärmeeinwirkung die Farbe, den Geruch und den Geschmack des Saftes negativ beeinflussen können, andererseits aber tötet eine Temperatur von 60 °C immer noch weitere Bakterien ab. Damit die Fruchtsäfte möglichst nicht verderben, müssen also einerseits die Flaschen sehr sauber sein und andererseits eine genaue Abstimmung zwischen Erhitzen und Abkühlen des Saftes bei der Pasteurisation erfolgen.
In diesem Versuch wurde ein Traubensaft verwendet, der diesen Prozess durchlaufen hat und dementsprechend keine aktiven Hefebakterien mehr in sich trug. Es wurden von außen Hefebakterien zugegeben. Der eine Kolben wurde gekocht. Somit wurden die Hefebakterien durch die Hitze erneut abgetötet. Hier konnte also keine alkoholische Gärung mehr stattfinden. In dem unbehandelten Kolben wurden die zugegeben Hefebakterien jedoch aktiv. Da sie keinen Sauerstoff zur Verfügung hatten konnten sie die in dem Traubensaft vorhandene Glucose jedoch nicht durch die Zellatmung verstoffwechseln, sondern nutzten die alkoholische Gärung, was nach mehreren Tagen durch den entstandenen Ethanol nachgewiesen werden konnte.

Die alkoholische Gärung findet überall in der Natur statt. So z.B. auch in Obst, das mit Hefe und anderen Mikroorganismen überzogen ist. Durch Waschen können diese nicht vollständig entfernt werden. Wird dieses Obst nach der Ernte im Warmen gelagert, vermehren sich die Mikroorganismen und zerstören die Zellstruktur des Obstes, wodurch sie ins Innere vordringen. Dieser Vorgang wird für uns ersichtlich durch braune weiche Stellen. Die alkoholische Gärung findet an dieser Stelle statt,

wenn die Mikroorganismen im inneren des Obstes unter Sauerstoffmangel die Kohlenhydrate weiter abbauen.
Vom Menschen wird der Vorgang der alkoholischen Gärung zur Herstellung verschiedener alkoholischer Getränke genutzt. So z.B. für das Bierbrauen, die Weinherstellung und die Herstellung von Sekt und Schaumwein, wobei es sich um Wein mit einem Restgehalt an Zucker handelt. Die Hefe spielt ebenso eine wichtige Rolle für Backvorgänge. Fast alle Brot- und Brötchensorten, sowie Kuchen werden mit Hefe versetzt, damit der Teig aufgelockert wird. Der Bäcker spricht von „der Teig geht auf". Damit ist gemeint, dass durch die alkoholische Gärung Kohlenstoffdioxid entsteht und dieses Gas sich im Teig verteilt, wodurch dieser an Volumen zunimmt. Das ebenfalls entstehende Ethanol wird beim Backen verdampft.

10. Didaktische Analyse

Dieser Versuch ist in Klasse 11 unter das Thema Einführung in die Kohlenstoff-Chemie einzuordnen. Dort wird im Lehrplan vorgeschlagen z.B. Wein selber herzustellen. In der Schule könnte man diesen Versuch mit einem neuen Kolben, oder einem der nur für Lebensmittel benutzt wird, durchführen und anschließend den Wein probieren. Er wird zwar sicher nicht gut schmecken, aber zeigt den Schülern, wie viel Chemie schon in den alten, lange bekannten Getränken steckt. Wenn in der Chemie ein Produkt auf dem Geschmack getestet werden darf, ist dies immer eine besondere Situation für die Schüler und sollte deshalb nicht vernachlässigt werden. Wein ist ein Lebensmittel und weckt großes Interesse. Es muss nur darauf geachtet werden, dass die Verkostung im Rahmen bleibt und kein Schüler zu viel von dem Wein zu sich nimmt.
Die Schüler sollten vor dem Versuch die funktionelle Gruppe der Alkohole kennen. Es bietet sich fächerübergreifender Unterricht mit der Biologie an. In diesem Fach kann im Vorfeld über die Glykolyse gesprochen werden, an die sich die alkoholische Gärung unter bestimmten Bedingungen anschließt.
Der Versuch ist ohne großen Materialaufwand in der Schule möglich. Die Durchführung an sich dauert nicht lange, es muss nur eine Woche gewartet werden, bis das gewünschte Produkt entstanden ist. Optisch ist nur ein leichter Unterschied, die Trübung, wahrzunehmen. Der Geruch zeigt jedoch eindeutig, dass in dem Traubensaft Ethanol entstanden ist. Der Vorteil ist, dass im Fach Chemie mit diesem Versuch ein anderes Sinnesorgan als das Auge zum Einsatz kommt.

11. Literatur

Versuchsquelle:
[1] Unbekannt, *Alkoholische Gärung,* http://www.isoliert.de/gaerung.php, (letzter Zugriff: 7.12.08, 20:22 Uhr)

Fachquellen:
[2] Buselmaier, W., *Abitur Wissen Biologie*, Weltbild Kolleg, Augsburg 1995

[3] Felgentreff, U., *Safterhitzung,* Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, http://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/oeko_lehrmittel/Ernaehrungswirtschaft/Fruchtsafttechnik/fr_modul_c/fr_c_06/frmc06_01.pdf, (letzter Zugriff: 7.12.08, 15:09 Uhr)

[4] *Lehrplan G9 Chemie für die Jahrgansstufen G7 bis G12* des hessischen Kultusministeriums, 2005 (http://www.kultusministerium.hessen.de/irj/HKM_Internet?uid=3b43019a-8cc6-1811-f3ef-ef91921321b2)

[5]Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, *Alkoholische Gärung*, http://www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/bio/2124, (letzter Zugriff: 7.12.08, 20:22 Uhr)

[6] Unfallkasse Hesse (UKH), Hessisches Kultusministerium, *Hessisches GefahrstoffInformations System Schule (HessGISS),* Version 11.0, 2006/2007

[7] Wikimedia Foundation Inc., http://de.wikipedia.org (letzter Zugriff: 7.12.08, 15:09 Uhr)