

Unterrichtsprojekte Natur und Technik

Landeshauptstadt

Hannover

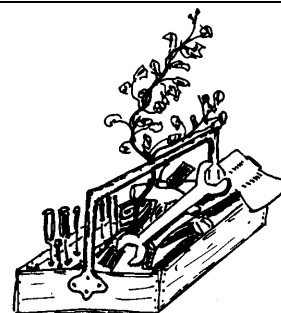


Schulbiologie-
zentrum
Hannover

Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover

Telefon: 0511-168-47665/7
Fax: 0511-168-47352
E-mail: 40.50@hannover-stadt.de

Internet:
www.schulbiologiezentrum-hannover.de



19.37

**Zur Nachahmung
für fachübergreifenden Unterricht,
Arbeitsgemeinschaften, Projektwochen
und Schullandheimfahrten:**

"Vom Korn zum Bier": Selbstgebrautes in der Schule

Der Titel ist eine ganz bewußte Anlehnung an eine 1979 vom Schulbiologiezentrum Dortmund veröffentlichte Arbeitshilfe. Sie entstand als Begleitmaterial zu einer Schullieferung, die den gesamten Brauvorgang, "vom Halm zum Bier" (so der Titel der Dortmunder Veröffentlichung), dokumentierte. Hier ging es allerdings weniger um das Brauen in der Schule, als um die wesentlichen Produktionsschritte in der Brauerei. Im Gegensatz dazu wollen wir mit dieser Anleitung alte Traditionen des Heimbrauens wieder aufleben lassen und hoffen, hiermit ein Lücke zu füllen.

In (Nord-)Deutschland ist das "Heimbrauen" (anders als z.B. in den USA, wo das Massenbier aller Werbung zum Trotz eher an dünnes Spülwasser erinnert...) ziemlich in Vergessenheit geraten. Heute sind die Biere, anders als noch im 19. Jh., in der Herstellung saisonunabhängig und lagerfähig. Mit ungeheuren LKW-Kapazitäten werden normierte "Premium"-Qualitäten in die entlegensten Winkel gekarrt, womit die bodenständigen kleinen Brauereien bis auf einige Nischenbetriebe ihre Marktchancen eingebüßt haben. Vorbei die Zeit, da der Gemahl nach der täglichen Fron von seiner "Gesponsin" einen kühlen Krug Selbstgebrautes überreicht bekam. Kein Wunder also, daß kaum ein gestandener Biertrinker erklären kann, wie der Gerstensaft entsteht. Und die wenigen, die eine eigene (Mini-)Brauerei betreiben, müssen in Deutschland nach Rezepten und Materialien suchen. Bis 1986 war es in Deutschland verboten (!), Anleitungen zum Bierbrauen zu verbreiten und noch heute bekommen Sie die notwendigen Grundbestandteile nicht überall zu kaufen (Adressen des Versandhandels im Anhang).

Die Urfassung unseres Projektvorschlags ist die "Hobbythek" des Westdeutschen Rundfunks. Jean Pütz hat Anfang der 80er Jahre im Hobbythek-Buch 7 ein einfaches Rezept für ein "Do-It-Yourself"-Bier veröffentlicht. Diesem folgen wir im wesentlichen, haben das Gesamtkonzept aber auf die Schule bezogen. Das Schulbiologiezentrum Hannover hat 1998 auf der Basis der Pütz'schen Darstellung einen "Trockenkurs" durchgeführt. Kursleiter Dr. Claus Busse, der jahrelange Erfahrung beim (Schul)Bierbrauen mitbringt, hat uns wertvolle Anregungen zum Inhalt dieser Veröffentlichung gegeben. Wir danken ihm darüber hinaus für das Lesen der Korrekturfahnen.

Bierbrauen - also Alkohol! - in der Schule? Ist dies das Ende der Pädagogik? Klargestellt sei: Wir sind uns der potentiellen Gefahren des Alkohols bewußt. Aber wir fühlen uns auch einer alten Tradition verpflichtet, die Natur, die uns umgibt - Nahrungs- und Genußmittel gehören dazu! - transparent zu machen. Erinnerung

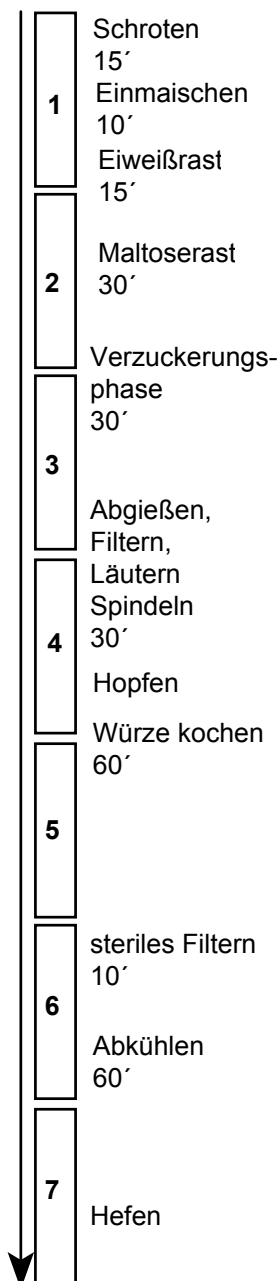
sei an das Thema "Vom Korn zum Brot", unsere Kurse zur Joghurt- und Käsebereitung oder die "Apfelkiste".

Die Bierherstellung zu Hause und in der Schule ist trotz der Verwendung von Küchengeräten letztendlich so mühevoll und zeitaufwendig, daß sich kaum einer ans Brauen macht, nur um dem Alkoholismus zu frönen. Auch ist bei der Allgegenwart von Bier und ähnlichen Getränken nicht zu fürchten, daß speziell die gemeinsame Brauerfahrung in der Schule zum Einstieg in eine Alkoholkarriere wird.

Planung des Gesamtablaufs:

Das Bierbrauen ist so alt wie der Ackerbau und geht auf uralte (u.a. babylonische) Traditionen zurück. Dies bedeutet: Die Herstellung von Bier ist im Prinzip eine recht einfache Sache, die ohne aufwendige Spezialgerätschaft und ohne tiefgründiges Brauereistudium vonstatten gehen kann. Die "Hardware" stammt weitgehend aus der Küche, lediglich die "Software" (Malz, Hopfen, Hefe, u.U. auch das Wasser) müssen Sie sich beschaffen. Wir haben, um Ihnen den Einstieg zu erleichtern, alle zum Bierbrauen erforderlichen Geräte in unserer "Bierkiste" zusammengestellt, die Sie bei uns für den Schuleinsatz ausleihen können. Lediglich Braumalz, Bierhefe und Hopfenpellets müssen Sie in der Brauerei (meist kostenlos) besorgen (Bezugsquellen für die Region Hannover nachstehend).

Brautag



Die **Zielgruppe** dieses Unterrichtsprojekts ist die **Sekundarstufe II**.

Bierbrauen ist ein Stück Biotechnologie, und ohne gewisse Kenntnisse der Stoffwechselphysiologie und der Wirkung von Enzymen ist das Thema nicht zu verstehen.

Bevor sich Ihre Schüler ans Brauen machen, sind (gemeinsam?) einige Vorarbeiten zu erledigen. Zunächst ist formlos eine **Braugenehmigung** beim örtlichen Hauptzollamt zu beantragen (bis 25 l pro Monat sind steuer- aber nicht genehmigungsfrei). Sie wird unbürokratisch gewährt.

Dann nehmen Sie Kontakt mit dem Braumeister einer nahe gelegenen Brauerei auf und bestellen **Malz, Hopfen** und **Hefe** (Mengenangaben s.o.) Das **Brauwasser** muß, falls es aus der Leitung genommen werden muß, einige Tage abstehen und/oder entkalkt werden. Eine gemeinsame **Vorbereitung** zur Klärung des Ablaufs ist genauso erforderlich wie die fristgerechte (möglichst gemeinsame) Beschaffung und Bereitstellung der zum Brauen erforderlichen "Hardware" (Materialliste s.u.).

Gebraut wird streng nach dem **Deutschen Reinheitsgebot** von 1516, d.h. es findet nur Wasser, Gerste, Bierhefe und Hopfen Verwendung.

Zum Bierbrauen müssen Sie einen ganzen **Brautag** (mindestens 7 Unterrichtsstunden) ansetzen. Die hier erforderlichen Arbeitsschritte folgen unmittelbar aufeinander und lassen keine langen Pausen zu. Daher ist es auch wichtig, daß alle Materialien griffbereit sind und jeder Beteiligte seine Aufgaben kennt. Parallel zum eigentlichen Brauen fällt eine ganze Menge Abwasch an, auch das Sterilisieren der nach dem Kochen der Würze benötigten Geräte und Behältnisse erfordert Zeit und gewissenhaftes Tun.

Den Ablauf des Brautags entnehmen Sie nebenstehender Grafik, die Einzelheiten und Erklärungen dem Text weiter unten.

Nach der Hauptgärung, die 6 - 8 Tage braucht, erfolgt die Flaschenabfüllung in einer **Doppelstunde** (hierin enthalten: Sterilisieren, Abfüllen, Zwischenbesprechung), danach erfolgt die Nachgärung in der Flasche. Die **Kostprobe** können Sie in den Zeitraum 1 - 4 Wochen nach der Abfüllung legen.

Beim Brauen sind viele Vorgänge **selbstverantwortlich** von Schülern zu übernehmen (Verantwortlichkeiten gemeinsam im Brauplan festlegen!). Schmeckt das Bier am Ende nicht, weil jemand seine Aufgabe nicht ernst genommen hat, ist die Ursache leicht zu finden.

Wir stellen der Beschreibung des Brauvorgangs eine Reihe von Versuchen "rund um das Bier" voran. Die Kurzdarstellung dessen, was beim Mälzen und bei der alkoholischen Gärung stoffwechselphysiologisch geschieht, richtet sich vor allem an Kollegen und Kolleginnen, die das Projekt fachfremd angehen.

Experimente mit Hefe

Die Hefen sind einzellige Pilze und gehören systematisch in die Unterabteilung der Ascomycotinae (Schlauchpilze). Der Gattungsname *saccharomyces* ist von lat. "sacchara" (Zucker) und griech. "mykes" (Pilz) abgeleitet. Der Artnamen "cerevisiae" bedeutet Bier.

Zeigen Sie Backhefe (frisch als Würfel, Trockenhefe oder "Kunsthefe"= Backpulver) und Bierhefen (unter-/obergärige). Lassen Sie die Hefen blind, d.h. nur an Geruch und Geschmack, erkennen. Beobachten Sie aktive Hefe.

CO₂-Produktion:

1 - Lösen Sie Backhefe in lauwarmem Wasser auf, setzen Sie etwas Zucker zu und geben Sie die Flüssigkeit

in Reagenzgläser. Die aufgesetzten Stopfen werden nach einiger Zeit durch den Druck herausgesprengt.

2 - Lösen Sie im Erlenmeyerkolben etwas Backhefe in lauwarmem Wasser auf und geben etwas Zucker hinzu. Wenn Sie den Stopfen mit einem Gärröhrchen versehen, können Sie die Gasbildung messen (Blasen zählen).

CO₂-Nachweis: Lassen Sie das Gas durch Kalkwasser strömen. Kalkwasser können Sie selbst herstellen:

Dazu lösen Sie Calciumhydroxid bis zur Sättigung in lauwarmem Wasser auf. Die Lösung wird vorsichtig abgossen und filtriert (Kaffeefilter reicht!). Beim Durchgang von Kohlenstoffdioxid (CO₂) durch das klare Filtrat fällt Kalk (CaCO₃) aus, das klare Kalkwasser wird trüb.

Stoichiometrische Grundüberlegung: Pro Molekül Maltose (Doppelzucker = 2 x C₆) entstehen 4 Moleküle Ethanol (4 x C₂) und 4 Moleküle CO₂ (4 x C). Die Menge des gebildeten CO₂ gibt daher Aufschluß über die Ethanolproduktion.

Substratabhängigkeit:

Hefe braucht als heterotropher Organismus eine energiehaltige Nahrungsquelle. Hefe, in Wasser (ohne Zucker) gelöst, zeigt keine Aktivität. Geben Sie statt Zucker Mehl in die Hefelösung. Hefen vermögen die langkettigen Stärkemoleküle nicht abzubauen, es findet keine Gasentwicklung statt. Die anschließend durchgeführte Jodprobe zeigt, daß die Stärke unverändert geblieben ist. Machen Sie den gleichen Versuch mit Traubenzucker.

Temperaturabhängigkeit:

Stellen Sie in Erlenmeyerkolben gleiche Lösungen aus Wasser, Hefe und Zucker her und versehen Sie die Kolben mit Gärröhrchen. Stellen Sie die Ansätze in unterschiedlich temperierte Wasserbäder. Stellen Sie anhand der Gasentwicklung das Temperaturoptimum der Hefe(enzyme) fest. Verschiedene Hefearten haben unterschiedliche Optima: Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) bei 30° C, untergärige Bierhefe (*S. carlsbergensis*) bei 5°C, obergärige Bierhefe (*S. cerevisiae*) zwischen 15 und 20°C.

Hefe unter dem Mikroskop:

Die Zellen von *Saccharomyces cerevisiae* sind kugelig bis eiförmig bei einer Größe von 5 - 10 µm. Die Vermehrung erfolgt im Generationswechsel vegetativ durch Sprossung (Knospung) und sexuell durch die Kopulation haploider Sproßzellen mit anschließender Bildung von Asci mit jeweils 4 Ascosporen. Die Vermehrung erfolgt praktisch nur in Gegenwart von Sauerstoff. Hefe ist relativ kontrastarm, daher ist ein Anfärben mit einer geringen Menge Neutral- oder Kongorot sinnvoll. CO₂-Bildung zeigen Sie, indem Sie die Hefe in Zuckerlösung geben. Das Präparat wird dadurch leicht schaumig.

Hefevermehrung:

Die einzellige Hefe vermehrt sich durch Sprossung (Teilung), allerdings nur in Gegenwart von Sauerstoff. Benutzen Sie zum Brauen frische Hefe aus der Brauerei. Sie können die Hefe aber auch in einem Malzsud auffrischen oder (schlechter) in 10 - 12%iger, mit zwei bis drei Schnapsgläschen Bier versetzter und kurz aufgekochter Zuckerlösung weiterkultivieren. Dabei ist steril zu arbeiten, um "wilde" Hefen auszuschließen. Die Hefevermehrung zum Brauen sollte nicht häufiger als 2 - 3mal hintereinander durchgeführt werden, da durch die hohe Teilungsrate bald Mutationen auftreten, die die Vergärung nachteilig beeinflussen können.

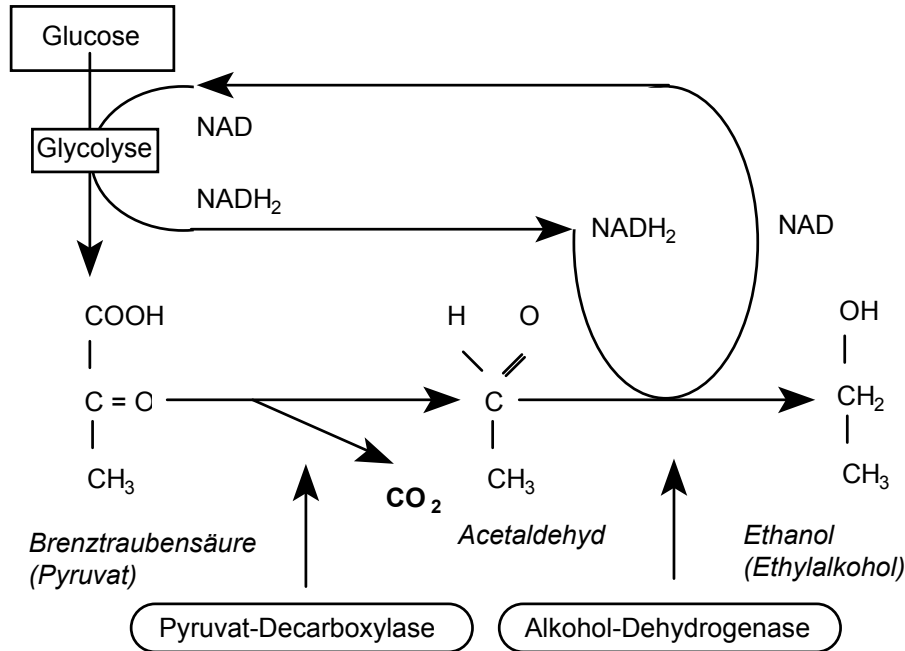
Untergärige oder obergärige Hefen

Die Zellen untergäriger Hefe lösen sich bei der Sprossung voneinander. Sie bieten dem CO₂ relativ wenig Angriffsfläche, erfahren dadurch kaum Auftrieb und setzen sich bald am Boden der Sudflüssigkeit ab. Typische untergärige Biersorten sind: Pils, Export, Bockbier.

Obergärige Hefearten bilden bei der Sprossung lockere Zellverbände, die stark mit dem entstehenden CO₂ durchsetzt sind und an die Oberfläche treiben. Typische obergärige Biersorten: Alt, Kölsch, Weizenbier.

Alkoholische Gärung:

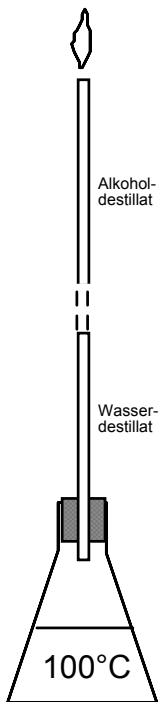
In Gegenwart von Sauerstoff bauen die Hefen die Glucose mit 6 C-Atomen über die Glycolyse zu Brenztraubensäure (3 C-Atome) ab. Dabei wird CO₂ und ATP, der universelle Energielieferant der Zelle, produziert. Beim Glucose-Abbau (Glycolyse) wird ein Teil des enthaltenen Wasserstoffs vom Coenzym Nicotinamid- Adenin-Dinucleotid (NAD) abgenommen, das sich dadurch zu NADH₂ verwandelt. Der Wasserstoff wird durch Redox- oder Elektronentransportketten auf Sauerstoff übertragen. Der normalerweise an die Ebene



der Brenztraubensäure anschließende Prozeß der weiteren Zerlegung, CO₂- und ATP-Bildung und Wasserstoffabspaltung, (Zitronensäurezyklus), findet bei Sauerstoffmangel nicht statt. Stattdessen verfolgt die Hefezelle als fakultativer Anaerobier den "kurzen" Weg der alkoholischen Gärung: Sie baut die Brenztraubensäure unter CO₂-Abspaltung über die Zwischenstufe Acetaldehyd (2 C-Atome) zu Ethylalkohol (2 C-Atome) ab. Verantwortlich für die CO₂-Abspaltung ist das Enzym Pyruvat-Decarboxylase. Das in der Glycolyse

entstandene NADH₂ überträgt zwei Wasserstoffmoleküle auf das Acetaldehyd, das so in Ethanol übergeht. Ohne das auf diese Weise regenerierte NAD würde die Glycolyse erheblich abgebremst, die Zelle litte bei großem Energieangebot (Glucose) unter Energiemangel. Die Gärung ist also ein biochemischer "Notausgang" mit relativ geringem Energiegewinn, da der Alkohol ja immer noch viel Energie enthält. Wird Zucker (Glucose) über Glycolyse, Zitronensäurezyklus und Atmungskette zerlegt, werden 675 kcal oder 2828 kJ/mol Energie frei. Die alkoholische Gärung setzt dagegen nur 26 kcal oder 109 kJ frei. Hefen setzen daher große Stoffmengen um. Das Ergebnis (Ethanol) wirkt für sie allerdings bei max. 15% tödlich.

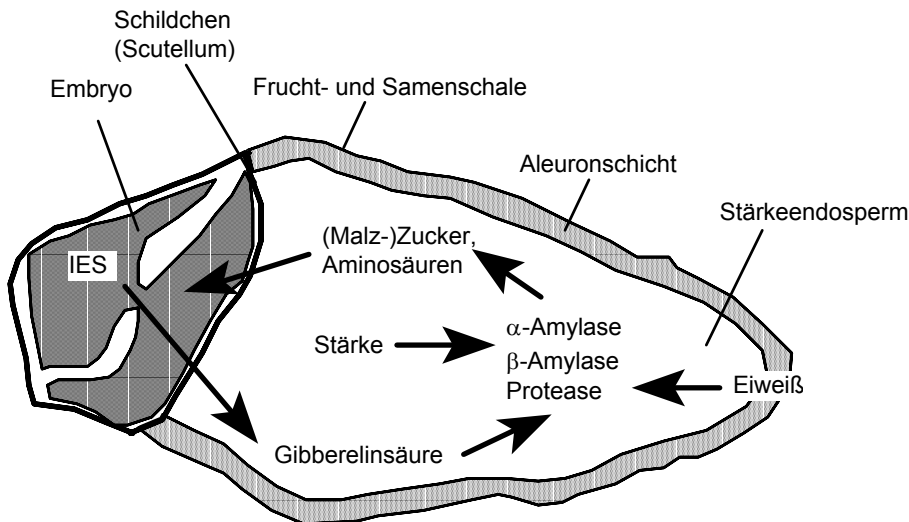
Alkoholnachweis



Die Hefesuspension riecht nach einigen Tagen deutlich nach Alkohol. Diesen können Sie durch Abbrennen nachweisen. Dazu filtern Sie die Suspension in einen Erlenmeyerkolben und versehen diesen mit einem Stopfen und einem ca. 1m langen Steigrohr als Rückfußkühler. Bringen Sie die Flüssigkeit mit einem Gasbrenner oder im Wasserbad zum Sieden. Durch das vorangehende Abfiltern der Hefe verhindern Sie eine all zu starke Schaumbildung. Der entstehende Alkoholdampf steigt auf und brennt am Rohrende mit bläulicher Flamme ab. Deutlich wird bei Betrachtung des Steigrohrs, daß Wasser- und Alkoholdampf unterschiedliche Siedepunkte haben. Der Alkohol kondensiert im oberen, kühleren Bereich, der Wasserdampf im unteren Abschnitt. Da beide Destillate größtenteils in den Kolben zurücklaufen, können Sie das Experiment lange Zeit laufen lassen. Die Flamme des Gasbrenners müssen Sie dabei so einstellen, daß der Austrittsdruck nicht zu groß wird und nicht zuviel Wasserdampf entweicht, sonst geht die Flamme gleich wieder aus.

Experimente mit Getreide und Malz

Nach deutschem Reinheitsgebot wird Bier mit Gerste gebraut, daneben gibt es Weizenbiere. Im Prinzip allerdings läßt sich Bier aus allen stärke- und zuckerhaltigen Produkten herstellen. In Amerika ist Maisbier weit verbreitet, in Ostasien wird mit Reis gebraut und in Afrika ist oft Hirse oder Maniok der Ausgangsstoff. Bei uns wird die zweizeilige stärkereiche Sommergerste als Braugerste verwendet (Futtergerste enthält weniger Stärke, dafür mehr Eiweiß). Der größte Teil des Getreidekorns wird vom Endosperm ausgefüllt, welches die Stärke (Amylose und Amylopektin) enthält. Stärke ist die "Mitgift" der Photosynthese treibenden Mutterpflanze an den wachsenden Embryo, der so lange auf diese Gabe angewiesen ist, bis er selbst dazu in der Lage ist, Sonnenenergie in biochemische Energie zu verwandeln.



Der wasserunlösliche Reservestoff Stärke ist in dieser Form für den Embryo nicht nutzbar. Er muß zum richtigen Zeitpunkt, d.h. wenn die Grundbedingungen zum Wachstum (Feuchtigkeit, Wärme) erfüllt sind - und nicht früher! -, in einen wasserlöslichen und damit transportablen Zustand verwandelt werden.

Das Hormon Gibberelinsäure regt die Produktion der

Mobilisierung der Reservestärke im Gerstensamen

bereits in inaktiven Vorstufen vorhandenen Amylasen an. Diese zerlegen auf unterschiedliche Weise die Stärkemakromoleküle zu Doppelzucker (Maltose). Die Maltose diffundiert durch das Schildchen (Scutellum) in den Embryo hinein und versorgt ihn mit Energie.

Das in den Aleuronrandschichten des Korns gespeicherte Eiweiß wird durch Proteasen in Peptide und schließlich in Aminosäuren zerlegt. Sie bilden, neu zusammengesetzt, die Proteine des wachsenden Keimes. Die Bildung der Proteasen wird ebenfalls durch das Hormon Gibberelinsäure induziert.

Die Wirkung der Amylasen können Sie zeigen, wenn Sie quellende Gerstensamen halbieren und mit der Schnittfläche auf Stärkeagar setzen. Die Jodprobe zeigt nach einiger Zeit deutliche Lücken, hier ist die Stärke zu Maltose abgebaut worden. Bei trockenen Samenhälften gibt es keine Reaktion.

Wird nur das herauspräparierte Scutellum auf Stärkeagar gebracht, wird sich keine Stärkereaktion einstellen.

Zum Bierbrauen benötigen Sie (Für 5 Liter untergäriges Bier):

1000 g Braumalz (Brauerei oder Versandhandel)	Töpfe: 8 Liter, 4 Liter
100 ml untergärige Bierhefe (Brauerei/Versandhandel)	Kochlöffel zum Umrühren der Maische
10 g 90er- oder 5 g 45er-Hopfenpellets (Brauerei/Versandhandel)	Jodlösung (Jod-Kaliumjodid) zum Reststärke-Nachweis
6 Liter Brauwasser (Quellwasser oder abgestandenes kalkarmes Leitungswasser)	Vierbeiniger Küchenstuhl zum Aufhängen des Filters
pH-Teststäbchen zum Feststellen des Säuregehalts des Brauwassers	2 - 3 Babywindeln (Baumwolle) als Filter
Teststäbchen zur Messung der Carbonathärte des Brauwassers	Wäscheklammern und Leine zum Befestigen des Filters
Schrotmühle	Schopflöffel zum Einfüllen der Maische in den Filter
Feinwaage zum Abmessen des Hopfens	Bierspindel (selbst gebaut oder Versandhandel)
Waage - 2 kg zum Abmessen des Malzes	Schaumkelle
Meßgefäß - 1000ml für Brauwasser und Bierhefe	Gärgefäß, mindesten 6 Liter, klar, in den Kühlschrank passend
Thermometer -110°C zur Kontrolle der Einmisch- und Rasttemperaturen	Gefrierakkus zum schnellen Abkühlen der Würze, ca 4 kg
Küchensieb	Kühlschrank, Temperatur 12°C (nur bei untergärigen Bieren)
Einkochtopf, 10 Liter zum Einmaischen, zum Kochen der Würze und evtl. als Gärgefäß	sterilisierte Flaschen mit Bügelverschluß

Herstellung von Grünmalz

Wenn Sie selbst mälzen wollen, verwenden Sie nach Möglichkeit die stärkereiche Braugerste, die Sie z.B. über Raiffeisengenossenschaften beziehen können. Weichen Sie Gerste für etwa drei Tage in Wasser ein. Täglich einmal sollten Sie die Körner in ein Sieb geben, abspülen und mit neuem Wasser aufsetzen. Breiten Sie die gequollene Gerste auf einem Backblech aus und lassen Sie sie etwa drei Tage lang keimen. Möglichst mehrfach täglich mit einem Löffel wenden.

Machen Sie täglich eine Geschmacksprobe: Die quellende und keimende Gerste sollte im Laufe der Zeit immer süßer schmecken (Der Maßstab sollte allerdings nicht gerade Schokolade sein!).

Durch das Darren werden die Keime abgetötet: Im (vorgeheizten) Backofen bei Umluft oder bei geöffnetem Backofen 110°C etwa eine halbe Stunde. Das Trennen der Keime vom Korn erfolgt, indem Sie die gedarrten Körner zwischen den flachen Händen reiben.

Bezug von Braumalz (Dort auch Hopfenpellets und Bierhefe)

Gilde-Brauerei, Sudhaus, Alte Döhrener Straße, Tel.: 0511/9808-0, Braumeister

Selbst mälzen?

In Mälzereien erzeugtes Braumalz unterscheidet sich im Regelfalle deutlich von unseren eigenen, im Backofen erzeugten Ergebnissen. Die Körner sind größer (Braugerste!), krosser und meistens auch süßer. Braumalz ist eine fast "süchtig" machende Knabberware (als Alternative zu Kartoffelchips oder Erdnußflocken....) Zum Bierbrauen sollten Sie das professionell erzeugte Braumalz verwenden. Das Mälzen und Darren eines eigenen Kilos Gerste ist aber eine Erfahrung, die Sie nicht auslassen sollten. Wenn Sie Ihren Backofen richtig kennengelernt haben, kommen Sie mit Geduld und etwas Gefühl dem "echten" Braumalz schon sehr nahe.

Schroten

Das Braumalz wird mit der Mühle grob geschrotet. Mahlen Sie nicht zu fein, das Mehl würde beim Läutern (s.u.) das Sieb zusetzen. Wichtig ist, erst am Tage des Brauens zu schroten: Die durch die Keimung entstandenen und zur Zuckererzeugung notwendigen Enzyme degenerieren ziemlich schnell. Wenn Sie selbst hergestelltes Grünmalz verwenden, achten Sie darauf, daß es wirklich trocken ist. Andernfalls verklebt das Mahlwerk mit u.U. "tödlichen" Folgen für die Mühle.

Brauwasser

Benötigt wird pro Kilo Malzschrot 6 Liter **Brauwasser**. Hierbei sind ca. 1 Liter Verlust durch Verdampfen einkalkuliert. Das Brauwasser kann Leitungswasser sein, das Sie vorher einige Tage abstehen lassen. Von Vorteil ist eine in der Nähe gelegene Quelle.

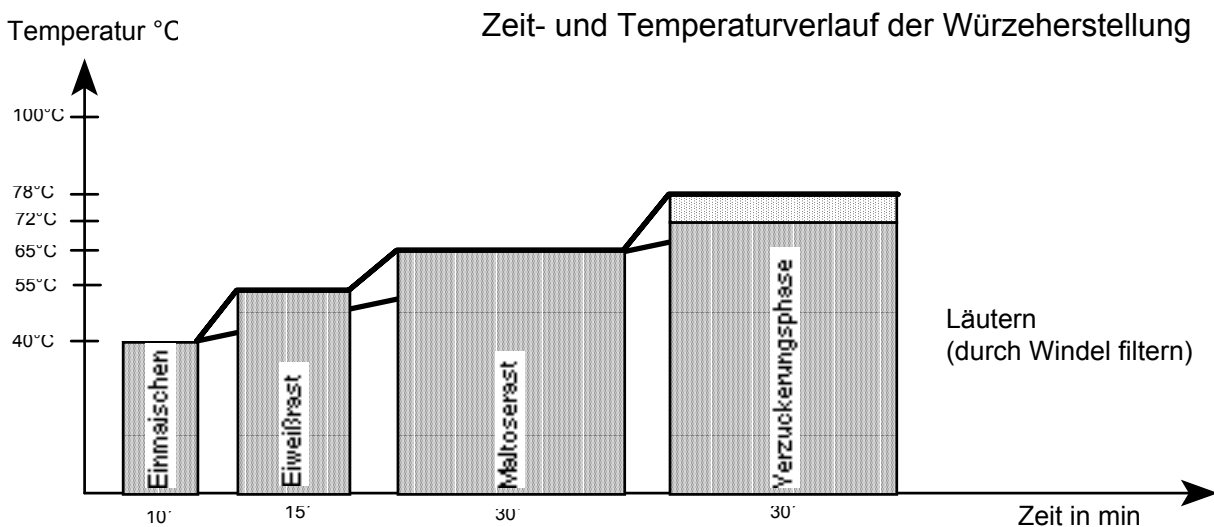
Das Wasser soll natürlich möglichst schadstoffarm sein, z.B. geringe Nitrat- (< 25 mg/l) und Nitritwerte aufweisen. Grundparameter der Wasserqualität können Sie mit unserem Wasseruntersuchungskoffer feststellen.

Kontrollieren Sie die **Carbonathärte** und den **pH-Wert**. Beides ist mit Teststäbchen leicht durchzuführen. Brauwasser soll weich (=kalkarm) sein, Wasserhärte möglichst unter 10 dH, sonst können Sie Ätzkalk (Calciumoxid CaO) zugeben, kräftig unterrühren und etwa eine halbe Stunde stehen lassen. Am Behälterrand setzt sich Kalk (CaCO₃) ab. Gießen Sie die Flüssigkeit vorsichtig ab.

	Wasserhärte in dH (deutsche Härtegrade)		
8 - 10 Liter Wasser	10 - 15	15 - 20	20 u. mehr
	1 - 2 g CaO	2 - 3 g CaO	3 - 5 g CaO

Das pH-Optimum der Hefeenzyme liegt unter 5, darauf ist der Säuregehalt einzustellen. Messen Sie den pH-Wert mit Testindikatorstäbchen. Liegt er über 5, sollten Sie ihn mit biologischer Milchsäure absenken.

Einmaischen, Eiweißrast, Maltoserast und Verzuckerungsphase



Einmaischen

Am besten schon während des Schrotens erhitzen Sie im 6 - 8 Liter Topf 2 Liter Brauwasser auf 55°C. Geben Sie das Malzschrot in die Flüssigkeit (Einmaischen). Dabei sollte die Temperatur nicht unter 40°C sinken. Die Phase des Einmaischens dauert ca. 10 Minuten. Rühren Sie die Maische von Zeit zu Zeit mit dem Kochlöffel gut durch.

Für die anschließende Eiweißrast erhöhen Sie die Temperatur der Maische auf möglichst genau 55°C.

Eiweißrast

Die Eiweißrast, die der Schaumbildung des Bieres dient, dauert 15 Minuten. Bei 55°C entfalten die das Eiweiß aus der Aleuronschicht spaltenden Proteasen ihre optimale Wirkung. Dabei muß die Temperatur sehr genau eingehalten werden. Die langkettigen Eiweißmoleküle (Proteine) werden in kürzere Bausteine (Peptide) zerlegt.

Maltoserast

Nach Abschluß der Eiweißrast erhöhen Sie die Temperatur auf 65°C. Bei dieser Temperatur erreicht die α -Amylase ihr Aktivitätsoptimum und zerlegt die Stärke vom Inneren der Makromoleküle in Mehrfachzucker (Dextrine) und Malzzucker (Maltose). Die Maltoserast dauert 30 Minuten, dabei wird die Maische durch die Maltosebildung deutlich dunkler. Alle 2 - 3 Minuten einmal durchrühren. Auch hier muß die Temperatur ziemlich genau eingehalten werden.

Der Verlauf der Verzuckerung wird mit Jod-Jodkalium-Lösung (Lugolscher Lösung) überprüft: Geben Sie einige Tropfen auf einen Teelöffel Maische. Färbt sie sich dunkelblau, ist die Maltoserast noch nicht abgeschlossen. Ist die Probe gelblich, ist die Getreidestärke hinreichend in Zucker (Maltose) umgewandelt.

Verzuckerungsphase

In der letzten Phase wird bei 72° C das Aktivitätsoptimum der β -Amylase erreicht. Sie spaltet von den Enden der Dextrin-Moleküle Maltose ab. Gleichzeitig wird der entstandene Zucker aus der Maische herausgelöst. Die Temperatur muß nicht ganz so genau eingehalten werden, sie kann zwischen 72°C und 78°C liegen. Die Verzuckerungsphase dauert ca. 30 Minuten.

Abgießen, Filtern und Läutern der Würze

Wenn Sie das Bier beim Trinken nicht, wie die alten Ägypter, mit dem Strohalm aus der (vergorenen) Maische heraussaugen wollen, müssen Sie die Flüssigkeit (Würze) vom Maischebrei (Treber) trennen. Das Filtern erfolgt mit Hilfe eines sauberen Leinentuchs oder einer Baumwollwindel, die mit Hilfe von Bindfäden und Wäscheklammern zwischen den vier Beinen eines umgedrehten Küchenstuhls befestigt wird. Darunter stellen Sie einen 6-8 Liter fassenden Topf.

Geben Sie die festen Anteile der Maische mit dem Schopflöffel in die Mulde des Windelfilters und gießen Sie die Flüssigkeit langsam durch den Brei. So wird der Restzucker aus der Maische gelöst, gleichzeitig wirkt sie als Filter. Das sich auf ca 1 - 1 1/2 Liter reduzierte Filtrat (der Rest ist verdampft oder befindet sich noch in der feuchten Maische) heißt Würze.

Läutern

Zu diesem Zeitpunkt sollten die restlichen 4 Liter Brauwasser sieden. Geben Sie die kochende Flüssigkeit langsam mit dem Schopflöffel auf die Maische. Die Oberfläche der Maische dazu von Zeit zu Zeit etwas aufrühren. Die durch das Läutern gewonnene Flüssigkeit heißt Vorderwürze.

Messen des Würzegehaltes mit der Bierspindel

Der Zuckergehalt der 4,5 l Vorderwürze sollte bei 12% liegen. Andere Rezepturen werden andere Werte ergeben, dabei gilt grundsätzlich: Mehr Wasser = geringer Würzegehalt, mehr Malz = höherer Würzegehalt. Der Würzegehalt läßt sich mit der Bierspindel, einem Aräometer leicht feststellen. Das Prinzip der Bierspindel beruht auf der Tatsache, daß der im Wasser gelöste Zucker die Dichte der Flüssigkeit erhöht. Darin schwimmende Körper erfahren dadurch einen größeren Auftrieb, werden also leichter (so wie ein im Toten Meer schwimmender Badeurlauber praktisch nicht ertrinken kann). Das Messen kann z.B. in einem Weizenbierrglas oder einem Meßzylinder erfolgen.

Selbstbau einer Bierspindel

Mit Hilfe eines Stäbchens aus Balsaholz (Modellbaubedarf!), Blumendraht und etwas Lack können Sie eine Bierspindel selbst herstellen. Füllen Sie einen gläsernen Standzylinder mit Wasser. Wickeln Sie solange Blumendraht am Ende des Balsastäbchens auf, bis es senkrecht im Wasser schwimmt. Streichen Sie das Stäbchen und den Draht mit wasserfestem Lack ein und lassen ihn trocknen.

Prüfen Sie, wie weit der Stab ins Wasser eintaucht, und machen dort eine ebenfalls wasserfeste Markierung.

Anschließend stellen Sie eine 20%ige Zuckerlösung her. Stellen Sie fest, wie weit der Stab jetzt eintaucht, und machen auch dort eine Markierung.

Die beiden Extremwerte teilen Sie in 20 gleiche Teile, dann haben Sie eine für den Schulgebrauch verlässliche Skala.

Hopfen zusetzen

Rühren Sie 5 - 10 g 90er Hopfenpellets in die Würze, je nachdem, ob das Bier weniger oder mehr nach "Jever" schmecken soll. Die Bitterstoffe und Aromaöle des Hopfens lösen sich beim anschließenden Kochen der Würze. Von der Verwendung frischen Hopfens wird allgemein abgeraten, da er schwer zu dosieren ist.

Würze kochen

Die Würze muß vor dem Gärprozeß von allen Bakterien und (Wild-)Hefen befreit werden. Sie muß dazu für etwa 60 min (im Wasserbad?) gekocht werden. Beim Kochen verdampft ein Teil der Flüssigkeit, der durch Brauwasser ersetzt werden muß. Schnitzen Sie Marken in den Stiel des Kochlöffels, dadurch können Sie das 4,5 Liter-Niveau bequem einhalten.

Von nun an muß **absolut steril** gearbeitet werden (Braugerät vorher auskochen, Hände gründlich waschen, Gummihandschuhe tragen!

Zweites Filtern

Die gekochte Würze muß ein zweites Mal gefiltert werden. Dazu befestigen Sie den Filter (neue, gekochte Windel benutzen!) über dem sauberen Gärgefäß. Die gekochte Vorderwürze muß eine Zeit lang ruhen, damit sich Trübstoffe absetzen können, dann vorsichtig mit dem Schopflöffel durch den Filter geben.

Abkühlen

Obergärige Hefen haben ein Temperaturoptimum von 16 - 22 °C, erzeugen also klassische Sommerbiere. Die Vorzugstemperatur der untergärigen Hefen liegt zwischen 6 und 10°, wären (bei einer gewissen Kontrolle) also bequem im Winter zu brauen. Ein Kühlschrank muß entsprechend eingestellt werden (vorher ausprobieren!), besser wäre es, das Bier bei entsprechenden Außentemperaturen gären zu lassen, was natürlich eine gewissenhafte Kontrolle erfordert (Unterirdischer Kühlschrank?) und im Hinblick auf die erforderliche Sterilität große Anforderungen stellt.

Das Abkühlen erfolgt im Eiswasserbad oder besser noch mit Hilfe von äußerlich sauberen (!) Plastikflaschen, die mit 10%iger Kochsalzlösung (Gefrierpunktniedrigung) gefüllt, für einige Zeit in der Vier-Sterne-Abteilung des Kühlschranks oder in der Tiefkühltruhe gelagert wurden. Es eignen sich natürlich auch Gefrierakkus. Wichtig ist, daß die Würze schnell heruntergekühlt wird, so wird verhindert, daß sich erneut Fremdhefen und Bakterien in der lauwarmen Flüssigkeit ansiedeln.

Gärgefäß

Das Gärgefäß sollte mindestens 7 Liter Volumen haben (5 Liter Bier + 2 Liter für Schaumbildung). Geeignet ist ein kleinerer gläserner Gärballon mit Gärröhrchen. Er schließt die Flüssigkeit luftdicht ab, und es entstehen schnell anaerobe Verhältnisse. Die Glaswand ermöglicht den "Durchblick" auf das, was bei der Gärung passiert. Das Gärgefäß muß aber in den Kühlschrank passen! Sie können auch andere Gefäße benutzen, wie z.B. ein kleines Aquarium, das allerdings mit Lebensmittel- oder Alufolie verschlossen werden (nicht luftdicht, da CO₂ entsteht) muß. Das Aquarium ist später leichter vom (Hefe-)Bodensatz zu reinigen als ein Gärballon und daher wohl vorzuziehen.

Hefe zusetzen

Rühren Sie 1 - 2 Eßlöffel des Hefebreies mit sauberem Löffel in die Anstellwürze .

Gärung

Untergärige Biere brauchen 6 - 8 Tage bei 6 - 10°C. Lassen Sie die Temperatur nicht unter 4°C sinken, da die Hefen sonst ihre Aktivität einstellen, aber auch nicht über 12°C steigen, sonst entstehen "wilde" Alkohole. Hier ist die Temperatursteuerung (im Kühlschrank) viel unkomplizierter als bei obergärigen

Bieren. Obergärige Biere brauchen 4 - 6 Tage bei 16 - 22°C und sind daher ohne Kühlschrank "machbare" Sommerbiere (Dafür ist die Temperaturregelung schwieriger!).

Der Gärprozeß ist beendet, wenn der Alkoholgehalt bei 4,5% liegt (Die Bierspindel zeigt eine Dichte von $> 1,0 \text{ g/cm}^3$), und das Bier nicht mehr süß schmeckt. Erkennbar ist, daß der bei der Gärung hochgekreuste Schaum einbricht und porös wird.

Der Zuckergehalt muß jetzt reduziert sein, damit bei der Nachgärung nicht die Flaschen platzen oder uns der Inhalt beim Öffnen entgegenschießt. Kein Restzucker bedeutet aber, daß keine (Flaschen-) Nachgärung mehr stattfinden kann: Die Hefe findet dann kein "Futter" mehr. Damit entsteht kein CO₂, kein Druck und beim Einfüllen ins Glas auch kein Schaum.

Abfüllen

Entweder trinken Sie das mit Federweißem vergleichbare "Jungbier" gleich (kühl!) oder Sie füllen es zur Nachreife in saubere (Bügelverschluß-)Flaschen. Prüfen Sie vorher, ob die Gummidichtungen noch in Ordnung sind, sonst kommt es zum Druckverlust und das Bier wird schal.

Wenn Sie kein naturtrübes Bier mögen, muß es so in Flaschen abgefüllt werden, daß die am Boden abgesetzte Hefe nicht aufgewirbelt wird (absaugen!). Naturtrübes Bier enthält allerdings viel Vitamin B und ist auch geschmacklich angesichts der "standardisierten" Massenbiere eine interessante Erfahrung.

Reifen

Der typische Geschmack des Bieres wird erst durch eine Reifezeit von mindestens 1 - 2 Wochen erreicht. Unser Bier ist, wenn es kühl und dunkel lagert, ca. 4-6 Wochen haltbar. Achtung: Bier gefriert bei wenigen Graden unter Null.

Vom Bier zum Korn...

Unser Bier enthält etwa 4 % Alkohol. Beim Erhitzen der Flüssigkeit (s.o.) zeigt sich, daß der Alkohol durch Ausnutzen der unterschiedlichen Siedepunkte (Ethanol 78°C, Wasser 100°C) vom Wasser getrennt werden kann. Das Brennen des Bieres führt im Prinzip zum Korn oder zum Whisky. Der Besuch einer Kornbrennerei ist mit den beim Bierbrauen gewonnenen praktischen Kenntnissen und biologischen Einsichten eine sinnvolle Ergänzung.

Ingo Mennerich, Mai 1999

Weiterführende Literatur:

"Hopfen und Malz", Unterricht Biologie 238 "Enzyme"

Beihefter "Von der Kunst des Brauens", Unterricht Biologie 238 "Enzyme"

UB 210 "Spezifität von Enzymen" (Versuch zur Wirksamkeit von a und b-Amylase)

Stoffwechselbiologie, Mentor-Abiturhilfe, Mentor Verlag, München 1997

Hlatky/Reil, "Gutes Bier selbst gebraut", Gondrom Verlag, Bindlach 1998

Hobby-Tip 80 der Hobbythek, Westdeutscher Rundfunk

"Bier, selbst gebraut", Hobbythek-Buch 7

Versand von Brauereibedarf:

Der Hobby-Brauer-Versand, E. Schmeling-Krause, Satkau 1, 29459 Clenze, Tel./Fax 05844-630
VIERKA-Friedrich Sauer GmbH & Co, Postfach 1328, 97628 Bad Königshofen, Tel. 09761-91880
Eichler GmbH, Freizeit & Hobby, Postfach 123, 63094 Rodgau-Hainhausen, Tel. 06106-61671
Albert Pfäffle GmbH, Gymnasiumstraße 73, 74072 Heilbronn, Tel. 07131-84589