

3 | Herstellen der Würze

Der Hauptprozess bei der Bierherstellung ist die Vergärung des in der Würze enthaltenen Zuckers zu Alkohol und Kohlendioxid. Um die Voraussetzungen dafür zu schaffen, ist es notwendig, die zunächst noch unlösliche Stärke des Malzes mithilfe der gebildeten Enzyme vor allem in vergärbare Zucker umzuwandeln. Die Umwandlung und Lösung dieser Bestandteile ist der Zweck der Würzeherstellung. Damit wird die Ausgangsbasis für die Vergärung der Würze geschaffen.

Die Herstellung der Würze erfolgt im Sudhaus (Bild 3.1). Das Malz gelangt aus einem Malzsilo (1) in die Schrotmühle (2), in der es in geeigneter Weise zerkleinert wird.

Im Sudhaus wird das Malzschrot mit Wasser vermisch (vermaischt) und in einem oder zwei Maischgefäßen (3), dem Maischbottich und

der Maischpfanne, zu möglichst viel löslichen Extraktstoffen abgebaut. Dazu kommt manchmal als weiteres Gefäß ein Rohfruchtkocher zum Aufschluss der mitvermaischten Rohfrucht.

Im folgenden Läutergerät (4), dem Läuterbottich oder dem Maischfilter, werden die löslichen Extraktstoffe der Würze von den unlöslichen Stoffen, den Trebern, getrennt.

Die Würze wird in der Würzepfanne (5) mit dem Hopfen gekocht und dem Bier dadurch der bittere Geschmack verliehen. Am Ende des Würzekochens in der Pfanne kontrolliert man die Arbeit im Sudhaus durch Bestimmen der Sudhausausbeute.

Im Whirlpool (6) wird die heiße Würze von ausgeschiedenen Teilchen, dem Trub, befreit und in einem Plattenwärmeübertrager (7) abgekühlt, weil die anschließende Vergärung bei niedrigen Temperaturen erfolgen muss.

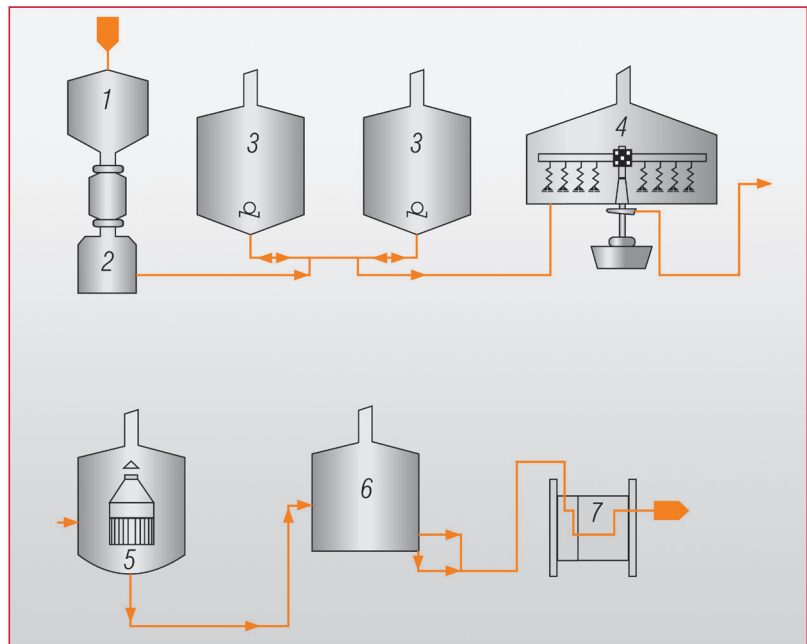


Bild 3.1
Herstellen der Würze
(1) Malzrumpf
(2) Schrotmühle
(3) Maischgefäße
(4) Läuterbottich
(5) Würzepfanne
(6) Whirlpool
(7) Plattenwärmeübertrager

3.1 Schroten des Malzes

Um den Enzymen des Malzes beim Maischen die Möglichkeit zu geben, auf die Inhaltsstoffe des Malzes einzuwirken und sie abzubauen, muss man das Malz zerkleinern. Dieser Vorgang heißt Schroten. Die für einen Sud aufgewendete Malzmenge heißt Schüttung. Das Schroten ist ein mechanischer Zerkleinerungsvorgang, bei dem aber die Spelzen geschont werden müssen, weil man sie beim Abläutern als Filtermaterial braucht.

Für die Zerkleinerung ist eine ganze Reihe von Gesichtspunkten zu beachten. Bevor man aber das Malz schrotet, wiegt man die aufgewendete Schüttungsmenge mit einer Waage. In der Schrotmühle wird das Malz zerkleinert. Nach der Art des Vorgehens unterscheidet man

- Trockenschrotmühlen,
- Nassschrotmühlen,
- Hammermühlen und
- Dispergiermühlen (Feinstzerkleinerung).

3.1.1 Vorbehandeln des Malzes

Das in der Brauerei angelieferte Malz wird bis zur Verarbeitung in Silos gelagert. Diese Silos werden nicht belüftet, weil das Malz nicht mehr atmet. Vor der Annahme wird mit Schnelltests die Mustertreue des Postens überprüft (Kap. 2.8).

Vor der Verarbeitung wird das Malz von Verunreinigungen befreit und die für den Sud benötigte Schüttungsmenge verwogen.

3.1.1.1 Entstauben und Entsteinen des Malzes

Vor der Verarbeitung wird das Malz entstaubt und über einen Steinausleser (Kap. 2.1.2.3) geleitet, in dem auch eine Staubentfernung erfolgt. Trotz der intensiven Reinigung in der Mälzerei gelangen kleine Steine von etwa Korngröße bis ins fertige Malz, die die Riffel an den Schrotmühlenwalzen beschädigen und damit die Lebensdauer der Walzen verkürzen (Kap. 3.1.3.5).

Eine weitere Notwendigkeit ist die Entfernung aller Eisenteile durch einen Magneten, der

gewöhnlich der Mühle vorgeschaltet ist. Trotz wiederholter Zwischenschaltung von Magneten gelangen immer wieder Eisenteile (Nägel, Schrauben usw.) in das Malz, die sowohl die Walzen beschädigen als auch durch Funkenbildung Staubexplosionen auslösen können.

Der in der Trockenschrotmühle zwangsläufig entstehende Staub ist in bestimmten Konzentrationen explosiv und kann die Mühle und sein Umfeld zerstören. Es muss deshalb alles getan werden, um solche Staubexplosionen in der Trockenschrotmühle zu vermeiden.

Dazu gehört die Entfernung aller Eisenteile als Funkenbildner (Kap. 2.1.2.2).

Bei Trockenschrotmühlen werden zur Sicherung Explosionsbleche unterhalb der Walzen angeordnet. Diese Bleche stauen das Schrot an, sodass unterhalb des Mahlspaltes kein explosionsfähiges Schrot-Luftgemisch auftreten kann. Gerade in diesem Bereich ist zwar eine Funkenbildung möglich, die aber zu keiner Entzündung führt. Voraussetzung ist, dass nach der Kontrolle des Mahlspaltes die Bleche wieder montiert werden, die auf den ersten Blick funktionslos erscheinen und manchmal »vergessen« werden.

Zur Schadensbegrenzung bei trotzdem auftretenden Staubexplosionen besitzen Trockenschrotmühlen seitlich eine leicht zerbrechliche Berstscheibe, die bei der entstehenden Druckerhöhung zerbricht und den Druck damit seitlich ableitet. Wichtig ist aber, dass der Druck auch außerhalb der Mühle und des Gebäudes über Personenhöhe ins Freie abgeleitet werden kann, um Personen- und Sachschäden zu vermeiden.

Außer dieser Druckableitung verwendet man heute auch [3-1]

- Explosionsdruckentlastung durch Q-Rohre (Quenschrohre) und
- Explosionsunterdrückung.

In Quenschrohren wird die kinetische Energie der Explosion in thermische Energie umgewandelt. Die äußere Form dieser Rohre bleibt erhalten, die Einbauten müssen nach einer Explosion wieder gesäubert werden.

Bei der Explosionsunterdrückung wird wenige Millisekunden nach Beginn einer Explosion aus Druckbehältern ein unbrennbares Gas mit wesentlich höherem Druck ausgestoßen, das die Ausbreitung der Explosion verhindert.

Die beim Schrotten entstehende Malzstaubmenge ist nicht unerheblich und wird mit 0,4 bis 1,4 kg je 1 dt Schüttung angegeben [3-2]. Dieser Staub muss regelmäßig entfernt werden. In kleineren Betrieben wird er abgesackt, größere Betriebe sammeln ihn erst in einem Staubsilo. Da der Staub auch Extraktstoffe enthält, kann man ihn mit den Trebern mischen und verkaufen. Allerdings ist eine direkte Zumischung zum Trebersilo wegen der Feuchtigkeit im Rohrsystem zumindest problematisch, da feuchter Staub rasch anbäckt und damit das Rohr verstopfen kann.

Man kann aber den Staub auch der Schüttung wieder zugeben, da er viel Extrakt enthält. Allerdings ist die Qualität des Extrakts nicht besonders gut. Die Staubentfernung dient in erster Linie dem Anlagenschutz und der Minderung der Explosionsgefahr und weniger der Reinigung des Malzes.

3.1.1.2 Verwiegen der Schüttungsmenge

Die für jeden Sud aufgewendete Schüttungsmenge muss genau registriert werden. Das ist für unsere innerbetriebliche Kontrolle notwendig, da wir später wissen wollen, wie erfolgreich die eingesetzten Rohstoffe verarbeitet wurden (Ausbeute). Das erfolgt

- durch die Berechnung der Sudhausausbeute (Kap. 3.5) und später
- durch die Berechnung der aufgewendeten Malzmenge je 1 hl Bier (kg Malz/hl Bier).

Die Kontrolle der Schüttungsmenge erfolgt durch eine automatische Waage. Davon sind zwei grundsätzlich unterschiedliche Systeme im Einsatz:

- Kippgefäßwaagen und
- Bodenklappenwaagen

in mechanischer oder elektronischer Ausführung. Außerdem sind Druckmessdosen zum Verwiegen leerer und voller Behälter üblich.

Dadurch kann man auch den gesamten Schrottrumpf verwiegen.

3.1.1.2.1 Kippgefäßwaagen

Die Kippgefäßwaage ist die herkömmliche Waage. Sie wurde jahrzehntelang als automatische Gleichgewichtswaage (Bild 3.2) gebaut und beherrschte durch ihre robuste und betriebssichere Bauart die Gewichtskontrolle in der Brauerei und Mälzerei.

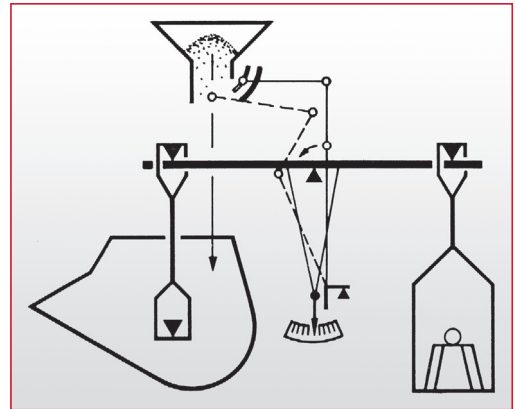


Bild 3.2
Schema einer Kippgefäßwaage

Die Kippgefäßwaage arbeitet periodisch, indem eine genau festgelegte Menge des Malzes in einer kippbaren Mulde abgewogen und nach Erreichen der Masse nach unten gekippt wird. Diesen nicht zu überhörenden Vorgang bezeichnet man als Kippung. Er gab der Waage ihren Namen.

Die Kippgefäßwaage ist als gleicharmige Hebelwaage gebaut. Der Waagebalken hat auf der einen Seite das Gefäß mit den eingestellten Gewichten und auf der anderen Seite das Waagegefäß, die Kippungsmulde, zur Aufnahme des Schüttgutes.

Das Malz läuft durch die freie Öffnung in die Mulde, die dadurch langsam sinkt. Dadurch verändert sich der Waagebalken. Durch Hebelübertragung wird die Zufuhr des Malzes erst gedrosselt und dann ganz gesperrt. Die Kippgefäßwaage arbeitet also in mehreren Abschnitten (Bild 3.3):

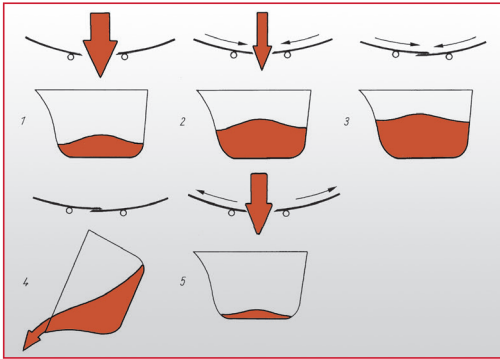


Bild 3.3

Arbeitsweise einer Kippgefäßwaage

(1) Einlauf des Malzes, (2) gedrosselter Einlauf, (3) geschlossener Einlauf, (4) Kippen und Entleeren der Mulde, (5) Aufrichten und Öffnen des Zulaufs

Das Malz läuft in dickem Strahl herein und füllt die Mulde ziemlich rasch (1). Wenn die Kippungsmasse beinahe erreicht ist, schließt sich die Klappe, sodass nur noch ein dünner Malzstrahl so lange hereinrieselt, bis die exakte Kippungsmasse erreicht ist (2). Beim Erreichen der Kippungsmasse schließt sich der Zulauf vollständig (3). Die Mulde senkt sich nun, kippt um und entleert sich nach unten (4). Die Mulde dreht sich mit der Öffnung nach oben und der Füllvorgang beginnt von neuem (5).

Eine Kippung beträgt bei Schrotmühlengewagen 5 kg, 10 kg, 20 kg oder 25 kg, in Großbrauereien auch 50 und 100 kg. Am Waagenkasten sind 2 Zählwerke angebracht (Bild 3.4). Am oberen Zählwerk werden die Kippungen für den Sud eingestellt, am unteren Zählwerk

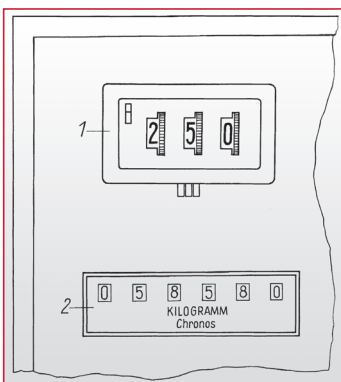


Bild 3.4

Zählwerk der Kippgefäßwaagen
(1) einstellbares Kippungszählwerk
(2) Zählwerk für die durchgelaufene Menge

wird die gesamte Durchgangsmenge fortlaufend registriert. Man stellt die gewünschte Anzahl der Kippungen durch Handrädchen am Einstellungszählwerk ein, nachdem man einen kleinen Sperrhebel betätigt hat.

Beispiel:

Eine Brauerei will für einen Sud 2200 kg Malz schrotten. Eine Kippung an der Waage beträgt 20 kg. Wie viele Kippungen müssen eingestellt werden?

$$\frac{2200 \text{ kg}}{20 \text{ kg}} = 110 \text{ Kippungen}$$

Es müssen 110 Kippungen eingestellt werden.

Die Waage hat eine mechanische Abstellvorrichtung. Die Kipp- und Bodenklappenwaagen sind eichfähig und können leicht mit Fernzählwerk und Impulsausgang ausgerüstet werden. Man baut sie auch für große Durchsätze (bis über 400 t/h).

3.1.1.2 Bodenklappenwaagen

Bodenklappenwaagen bestehen aus drei übereinander angeordneten Gefäßen mit Bodenklappen, die miteinander in Verbindung stehen. Da sie äußerlich wie ein Rohr aussehen, bezeichnet man sie auch als Rohrwaagen. Diese Waagen arbeiten nach folgendem Prinzip (Bild 3.5):

Zunächst wird der oberste Behälter befüllt.

Vorbehälter:

Während der Waagenbehälter verwogen wird und sich danach entleert, muss inzwischen der Vorbehälter das weiter zufließende Malz aufnehmen. Wenn die Waage das Leergewicht des Waagenbehälters registriert hat, öffnet sich der Zulauf zum Waagenbehälter. Das angestaute Malz aus dem Vorbehälter fällt in den Waagenbehälter. Dann fließt weiteres Malz durch den Vorbehälter zu (3), bis die vorbestimmte Richtmenge erreicht ist.

Dann verschließt der Auslauf und das weiter einlaufende Malz sammelt sich weiter im Vorbehälter (1 und 2).

Waagenbehälter:

Nach der Stabilisierung des Gefäßes setzt der Wiegevorgang ein, indem die Masse des in den Waagenbehälter eingefüllten Malzes aus der Masse des gefüllten Behälters und dem des entleerten Behälters ermittelt wird. Dazu braucht die Waage zweimal Zeit, um sich zu stabilisieren, nämlich

- nach dem Einfüllvorgang und
 - nach dem Entleeren der Waagschale vor dem erneuten Einfüllen.
- Die Verrechnung dieser Massen, die bei jedem Vorgang voneinander differieren, erfolgt über einen angeschlossenen Computer, sodass jederzeit die exakte Menge abgelesen und eingestellt werden kann.

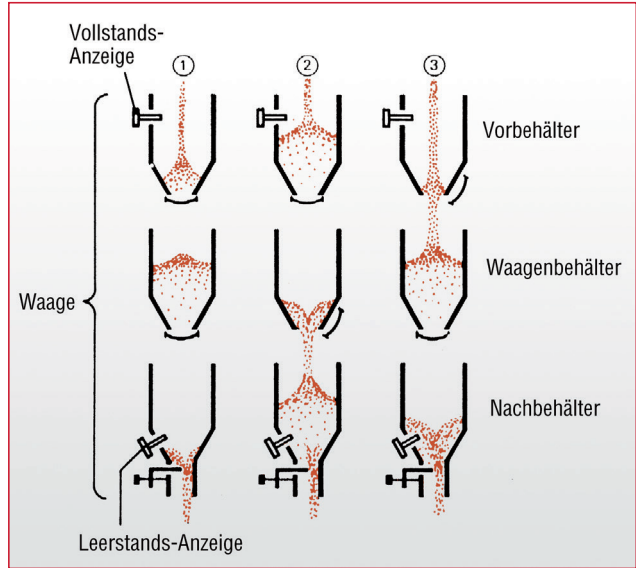
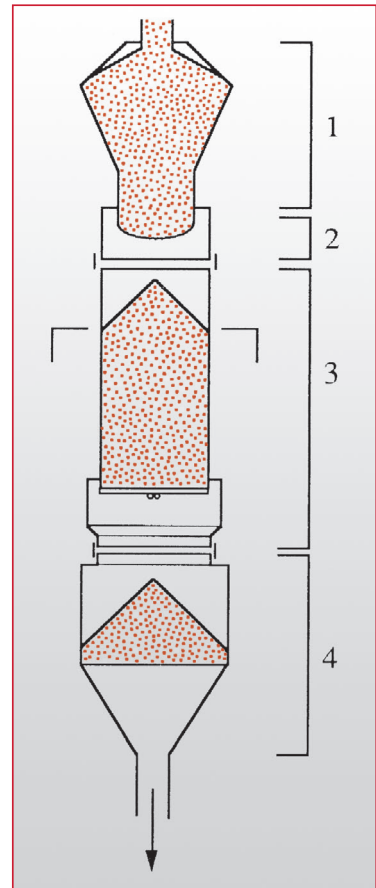


Bild 3.5 Ablaufschema einer elektronischen Behälterwaage

Nachbehälter:

Der Nachbehälter nimmt das vom Waagenbehälter ausfließende Produkt auf und ist deshalb relativ groß gehalten. Bei neuen und großen Anlagen werden heute fast nur noch elektronische Waagen eingesetzt (Bild 3.5 und 3.6).

Bild 3.6
Elektronische Rohrwaage
(1) Vorbehälter
(2) Einlaufschieber
(3) Waage
(4) Nachbehälter



3.1.2 Grundlagen des Schrotens

Beim Maischen müssen die Enzyme die Möglichkeit haben, an die Inhaltsstoffe des Malzes heranzukommen, um sie abzubauen. Dazu muss das Malz zerkleinert werden. Mit zunehmender Zerkleinerung wird die Angriffsfläche für die Enzyme größer und der stoffliche Abbau besser. Im Anschluss an das Maischen wird aber abgeläutert. Das ist ein Filtrationsvorgang, bei dem die Spelzen – in Abhängigkeit von dem verwendeten Läutergerät – als Filtrationsmaterial benötigt werden.

Da man die Spelzen zum Abläutern benötigt, müssen sie beim Schrotens möglichst unzerstört erhalten bleiben. Eine trockene Spelze splittert leicht und durch die beim Splittern entstehenden kleinen Partikel wird die Filtrierfähigkeit der Spelze stark gemindert. Andererseits wird die Spelze umso elastischer, je feuchter sie ist und kann mehr geschont werden. Dadurch verläuft der Läuterprozess umso rascher. Diesen Vorgang bezeichnet man als Konditionierung.

4 | Herstellen des Bieres

(Gären, Reifen und Filtrieren)

Zur Umwandlung von Würze in Bier müssen die in der Würze enthaltenen Zucker von den Enzymen der Hefe zu Ethanol und Kohlendioxid vergoren werden.

Dabei bilden sich ebenfalls Gärungsnebenprodukte, die den Geschmack, den Geruch und andere Werteigenschaften des Bieres wesentlich beeinflussen. Die Bildung und der teilweise Abbau dieser Nebenprodukte sind eng mit dem Stoffwechsel der Hefe verbunden. Die Vergärung und Reifung des Bieres erfolgt nach den als klassisch bezeichneten Verfahren im Gärkeller und im Lagerkeller (Bild 4.1, 1+2). Modern eingerichtete Brauereien führen die Gärung und Reifung in zylindrokonuschen Tanks (ZKT) (3) durch. Da zwischen beiden Anlagenkonzepten und Verfahren wesentliche Unterschiede bestehen, müssen diese auch getrennt betrachtet werden.

Im Anschluss an die Gärung, Reifung und Lagerung wird das Bier filtriert und biologisch sowie kolloidal stabilisiert, um die Glanzfeinheit zu erhalten. Diese Behandlung des Bieres erfolgt in Filtern (4) und häufig zusätzlich in einer Anlage mit Kurzzeiterhitzung (KZE) (5). Im Anschluss daran ist das Bier bereit zur Abfüllung.

4.1 Umwandlungen beim Gären und Reifen

Der wichtigste Vorgang ist die Vergärung des in der Würze enthaltenen Zuckers zu Ethanol und Kohlendioxid durch die Hefe.

Diese Gärung lässt sich in die Hauptgärung und die Reifung unterteilen, beide Vorgänge gehen aber ineinander über und sind nicht streng getrennt. Es ist deshalb erforderlich, die Gärung und Reifung als zusammenhängenden Prozess zu betrachten.

Dabei spielt eine besondere Rolle, dass durch den Stoffwechsel der Hefe während der Gärung Nebenprodukte gebildet und manche davon auch teilweise wieder abgebaut werden. Diese Gärungsnebenprodukte bestimmen neben den Hopfenbestandteilen und den Aromakomponenten des Malzes maßgeblich den Geschmack und das Aroma des Bieres. Deshalb ist für uns die Kenntnis ihrer Bildung und ihres Abbaus besonders wichtig.

4.1.1 Hefe als wichtigster Partner des Brauers

Wir wissen (Kap. 1.4.1), dass der hellbraune Hefebrei aus vielen Millionen einzelner Hefezellen (Bild 4.2) besteht, die völlig unabhängig voneinander ein kompliziertes Eigenleben führen, das in ihren Genen gespeichert ist. Nicht wir bestimmen, was die Hefe zu machen hat, sondern der Brauer muss die Faktoren meistern, die die Arbeit der Hefe regulieren.

Man darf dabei nicht vergessen, dass die Interessenlage der Hefezelle ganz anders geartet ist als die des Brauers: Während wir besonders an den Endprodukten Alkohol und CO₂ interessiert sind, sind beide Verbindungen für die Hefe Zellgifte,

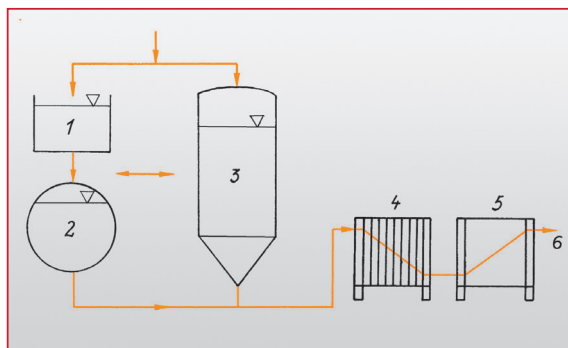


Bild 4.1
Gären, Reifen und Filtrieren
(1) Gärbottich, (2) Lagertank, (3) Zylindrokonuscher Tank (ZKT),
(4) Filter, (5) Kurzzeiterhitzer, (6) zur Abfüllung

die sie wieder loswerden muss und deshalb ausscheidet. Für die Hefezelle ist bei der Gärung hauptsächlich der Energiegewinn von Bedeutung, um unter Aufnahme von Nährstoffen neue Zellsubstanz bilden zu können.

Die Bierherstellung kann daher nur dann optimal verlaufen, wenn für die Hefezelle auch möglichst ideale Bedingungen geschaffen werden. Dazu kommt, dass die Qualität des Bieres in entscheidendem Maße von der Hefe und ihren Stoffwechselprodukten beeinflusst wird.

Bevor wir uns mit Einzelheiten beschäftigen, soll deshalb erst einmal ein kurzer Überblick über die Vorgänge in der Hefe während der Gärung und Reifung gegeben werden.

Nach dem Anstellen muss sich die Hefezelle erst einmal an ihre neue Umgebung gewöhnen: Sie muss unter anderem den Temperatur sprung, einen anderen pH-Wert und eine hohe Konzentration an Zuckern verkraften.

In dieser Adaptionsphase scheidet sie für einige Stunden Aminosäuren und Nucleotide aus, nimmt diese aber teilweise später wieder auf. Je höher die Temperatur, desto mehr wird ausgeschieden.

Allerdings dauert dieser Gewöhnungsvorgang (lag-Phase) nur eine kurze Zeit. In dieser ersten Phase greift die Hefezelle zunächst auf die in ihrer Zelle eingelagerten Reservestoffe zurück. Diese liefern ihr schnell erste Energie, dabei sinkt der Glycogengehalt in der Zelle.

Ist der Stoffwechsel in der Hefe erst einmal angelaufen, findet sie in der Würze ein reiches Angebot an Zuckern vor und beginnt mit deren Abbau. Der hohe Zuckergehalt bremst jedoch die Atmung und forciert die Gärung, die sofort verstärkt eintritt (Crabtree-Effekt).

Zugleich beginnt die Hefe mit der Bildung neuer Zellsubstanz, indem sie sich durch Sprossung stark vermehrt. Diese Vermehrung ist in der Anfangsphase der Gärung erwünscht. Je mehr Zellen gebildet werden, desto schneller kann der Zucker in der Würze umgesetzt werden. Die für den Aufbau neuer Zellsubstanz notwendigen Stoffe entnimmt die Hefe der Würze. Der Brauer muss daher dafür sorgen, dass die notwendigen Bausteine ausreichend vorhanden sind, z. B.

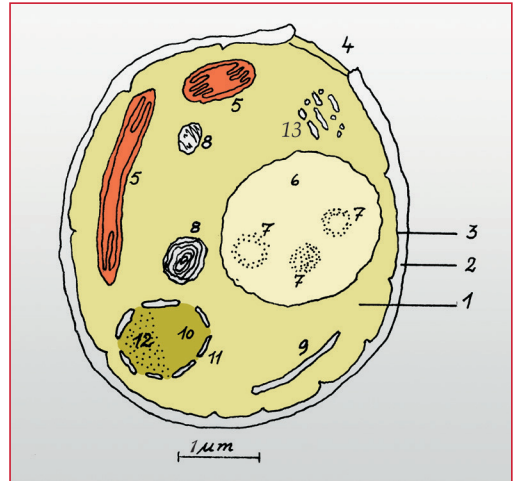


Bild 4.2

Querschnitt durch die Hefezelle [4-1]

(1) Cytoplasma, (2) Zellwand, (3) Zellmembran, (4) Sprossnarbe, (5) Mitochondrien, (6) Vakuole, (7) Polymetaphosphatgranula, (8) Lipidgranula, (9) endoplasmatisches Reticulum, (10) Zellkern (Nucleus), (11) nucleare Membran, (12) Nucleolus, (13) Golgi-Apparat

- Aminosäuren für den Aufbau neuer Zellsubstanzen (allerdings kann die Hefe ihre eigenen Aminosäuren auch aus anderen Stickstoffquellen synthetisieren),
- Phosphate für die Bindung im ATP (Kap. 4.1.2.1.2) und in der Phospholipid-Doppelschicht der Zellmembran und den Membranen im Zellinnern,
- Zucker zum Aufbau von Reservekohlenhydraten,
- Salze und Spurenelemente (z. B. Zink),
- genügend Sauerstoff für die Synthese von Fettsäuren und Sterinen, die für den Aufbau neuer Zellmembranen unbedingt erforderlich sind.

Die meisten dieser Stoffe sind in Voll-Malz-Würzen fast immer in genügender Menge vorhanden oder können von der Hefe selbst synthetisiert werden. Bei Mangel an einzelnen Stoffen kann es aber zu Gärstörungen kommen. Daran muss der Brauer denken, wenn er seine Rohstoffe ändert oder einen Teil seiner Schütung durch (ungemälzte) Rohfrucht oder Zucker ersetzt, der beispielsweise überhaupt keine Aminosäuren und Salze einbringt.

In dieser für die Hefezelle äußerst aktiven Phase, in der noch viele Nährstoffe in Form von vergärbaren Zuckern in der Würze vorhanden sind, legt sich die Hefe ein Depot von Reservekohlenhydraten (Glycogen und Trehalose) an, um bei Nährstoffmangel ein Polster für den ständig notwendigen Energiegewinn zu haben.

In dieser Phase sollte unsere Hefe zum Anstellen oder Drauffassen zugegeben werden. Sie ist dann in der Phase der schnellsten Vermehrung und ermöglicht eine rasche Vergärung. Diese logarithmische (log) Phase ist der wichtigste Abschnitt bei der Gärung. Hier verschwindet der Würzegeschmack und wird durch den sogenannten Jungbiergeschmack ersetzt. Sobald das Angebot an vergärbaren Zuckern stark abgenommen hat, bis schließlich fast nichts Vergärbares mehr vorhanden ist, geht die log-Phase zu Ende. Die Hefe beginnt auszuflocken, die Vermehrung ist zum Stillstand gekommen, der gebildete Alkohol und das CO₂ behindern als Zellgifte die Hefe zunehmend. Da die Turbulenzen im Tank während der intensiven Hauptgärung nachgelassen oder ganz aufgehört haben, sinken die Hefezellen langsam zu Boden. Jetzt kommt die schlimme Zeit für die Hefe, da es nun an verwertbaren Nährstoffen mangelt und sie auf eigene Reserven zurückgreifen muss. Dabei beginnt sie langsam mit dem Ausscheiden von Stoffwechselprodukten und Enzymen, insbesondere von FAN und dem Hefeprotein A, die sich negativ auf den Schaum auswirken. Die Hefe muss daher zügig geerntet werden.

Auch bei der Kaltlagerung benötigt die Hefe ein Minimum an Energie, um ihre Lebensprozesse aufrechterhalten zu können. Sie beginnt mit dem Abbau von Reservekohlenhydraten und anderen Stoffen und scheidet immer mehr Stoffwechselprodukte aus. Schließlich kann die Hefezelle absterben und die dabei frei werdenden Verdauungsenzyme beginnen, das Zellinnere aufzulösen. Dabei wird die Zellwand geschädigt und der Zellinhalt der sich auflösenden (autolysierenden)

Zelle geht in das Bier über. Dieser Effekt ist unerwünscht, da diese Zellinhaltsstoffe Schaum und Geschmack wesentlich beeinträchtigen, den pH-Wert im Bier erhöhen und auch die Gefahr mikrobieller Kontaminationen vergrößern. Der Brauer muss deshalb rechtzeitig und auch wiederholt die Hefe ernten.

Aber auch bei der rechtzeitigen Hefeernte muss der Brauer weiterhin für seine Hefe Sorge tragen. Sie muss von dem für sie giftigen CO₂ befreit werden, gekühlt und so aufbewahrt werden, dass sie bei einer erneuten baldigen Führung ihre Aktivitäten schnell und voll entfalten kann.

Diese Vorbemerkung erscheint notwendig, um jedem Brauer klarzumachen, dass er in der Hefe seinen wichtigsten Partner bei der Bierherstellung hat. Nur wenn er diesem Partner optimale Bedingungen bietet, kann er darauf hoffen, auch in seiner Bierqualität optimale Ergebnisse zu erreichen.

Darauf wird im Folgenden näher eingegangen.

Im Gegensatz zur alkoholischen Gärung wird bei der Back- und Futterhefeherstellung ein zuckerarmes Nährsubstrat (z. B. verdünnte Melasse) verwendet und viel Luft zugeführt. Dort ist die Gewinnung von möglichst viel Zellsubstanz das Ziel. Um den Crabtree-Effekt zu umgehen, wird ständig nur so viel Zuckerlösung zugeführt, dass die Zuckerkonzentration im Fermenter ständig unter 100 mg/l liegt (Zulaufverfahren). Durch die kräftige Atmung erfolgt eine massenhafte Vermehrung der Hefezellen, aber die Alkoholbildung wird unterdrückt (Pasteur-Effekt).

4.1.2 Stoffwechsel der Hefe

Die Kenntnis des Stoffwechsels der Hefe ist für den Brauer von fundamentaler Bedeutung, da hiervon die Qualität des Bieres entscheidend beeinflusst wird. Dabei interessieren

- die Vergärung der Zucker und der Kohlenhydratstoffwechsel,
- der Eiweißstoffwechsel,
- der Fettstoffwechsel und
- der Mineralstoffwechsel.

4.1.2.1 Vergären des Zuckers

Die Hefe ist das einzige Lebewesen, das in der Lage und auch bereit ist, die Gärung an die Stelle der energieintensiveren Atmung zu setzen. Es gilt nun zu klären,

- worin die Besonderheit der alkoholischen Gärung besteht und
- wie die energetischen Verhältnisse sind.

4.1.2.1.1 Alkoholische Gärung als anaerobe Glycolyse

Wie alle anderen Lebewesen – Pflanzen wie Tiere – benötigt auch die Hefezelle Energie für alle energieabhängigen Prozesse, z. B. für

- den Aufbau neuer Zellsubstanzen,
- die Aufnahme und die Assimilation von Stoffen aus der Umgebung,
- den Abbau und die Ausscheidung nicht benötigter oder schädlicher Verbindungen,
- den Stofftransport innerhalb der Zelle.

Die benötigte Energie gewinnen alle Lebewesen (Pflanzen, Tiere, Mensch) durch die intrazellu-

läre Atmung. Der Prozess beginnt mit dem Abbau der Glucose im Cytoplasma (Cytosol). Diesen Vorgang nennt man Glycolyse. Das Endprodukt der Glycolyse ist das Pyruvat, auch Brenztraubensäure genannt (Bild 4.3, 10). In Anwesenheit von Sauerstoff wird dieses Pyruvat in der Zelle in die Mitochondrien geleitet und über den sogenannten Zitronensäure-Zyklus bei erheblichem Energiegewinn bis zu CO_2 und Wasser abgebaut. CO_2 und H_2O stehen auf der untersten Sprosse der Energieleiter. Sie können nur noch unter Energiezufuhr in ihre Bestandteile zerlegt werden.

Bei der alkoholischen Gärung verläuft die Glycolyse bis zum Pyruvat nach dem gleichen Schema wie bei der Atmung. Allerdings wird in Abwesenheit von Sauerstoff das Pyruvat dann nicht in die Mitochondrien transportiert, sondern im Cytoplasma zunächst in Ethanal (Acetaldehyd) und CO_2 und schließlich zu Ethanol abgebaut. Der Energiegewinn für die Zelle ist bei der Gärung deutlich geringer als bei der Atmung.

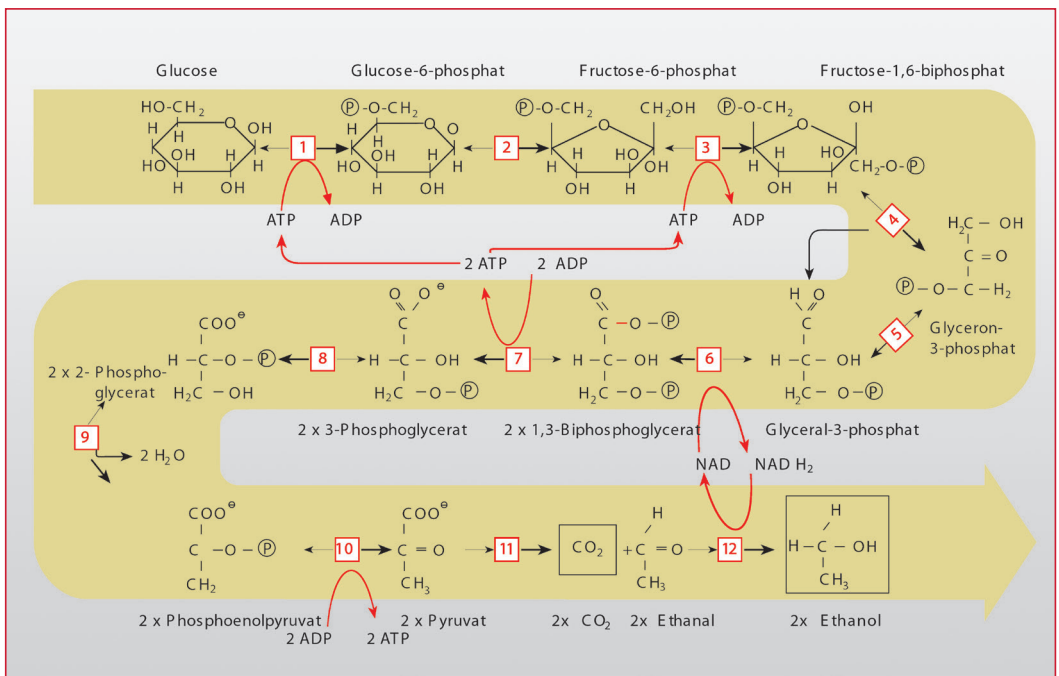


Bild 4.3

Schema der alkoholischen Gärung nach Embden-Meyerhof-Parnas