

BIOTECHNOLOGIE DES BIERBRAUENS

Ludwig Narziss, Werner Back, Markus Herrmann, Lehrstuhl für Technologie der Brauerei I Weihenstephan

Die Zielsetzung des Brauens ist ganz einfach zu schildern: Die Inhaltsstoffe des Mehlkörpers von Getreide werden durch dessen hydrolytische Enzyme während des Mälzens und Maischens zu einem vergärbaren Substrat abgebaut. Dieses wird anschließend durch einen zweiten Enzymkomplex, nämlich dem der Hefe, zu Alkohol und Kohlensäure vergoren. Dies ist eigentlich das gleiche Ziel wie bei der Gewinnung von Alkohol aus anderen Getreidearten oder anderen Kohlenhydratquellen, doch kommt es bei der Bierbereitung nicht auf die maximale erreichbare Ausbeute an, sondern auf die Erzielung eines Substrates, der „Würze“, die für die Eigenschaften des späteren Bieres verantwortlich ist: Nach Farbe, Geschmack, Schäumvermögen und Haltbarkeit. Hierfür sind eine Reihe von Voraussetzungen zu schaffen, von den Rohstoffen über die einzelnen Abschnitte des Mälzens, der Würzebereitung bis zur Gärung und Reifung.

Es ist bedeutsam, dass Bier in Deutschland ausschließlich nach dem Reinheitsgebot, d.h. nur aus den Rohstoffen Malz, Wasser, Hopfen und Hefe hergestellt werden darf. Das ist ein Punkt mehr, der den Biotechnologen, den Brauer und Mälzer herausfordert, Rohstoffe und Prozess – Parameter bestmöglich im Sinne „seines“ Produktes zu wählen.

Das Mälzen

Es wird hier der Keimprozess, der z.B. das Gerstenkorn in der Natur zur neuen Pflanze führt, unter ganz bestimmten, steuerbaren Bedingungen, wie Feuchte, Temperatur und Zeit nachgeahmt. Der lebende, aktive Keimling bedarf zu seinem Stoffwechsel (Atmung) und zu seinem Wachstum niedermolekularer, assimilierbarer, verwertbarer Substanzen wie Zucker, Aminosäuren, Fettsäuren, Mineralstoffe etc. Sie sind im ruhenden Korn nur in einer sehr kleinen Menge verfügbar; der weitaus größte Teil liegt im Mehlkörper als Stärke, Eiweiß, Fette, Phosphate, in Form von unlöslichen Reservestoffen vor. Die Stärke als der bedeutendste davon ist in Form von größeren und kleineren Stärkekörnern abgelagert, die ihrerseits wiederum von einer Matrix von Stütz- und Gerüstsubstanzen, bestehend aus β -Glucanen und Pentosanen sowie Eiweiß umgeben sind. Um diese Substanzen abzubauen und so in eine verwertbare Form überzuführen sind spezifische hydrolytische Enzyme nötig, die im Korn zum kleineren Teil in aktiver Form, zum größeren Teil aber latent vorliegen oder erst neu gebildet werden müssen. Gerade die letztere Gruppe tätigt die größten Umsetzungen, wie die α -Amylase beim Stärkeabbau, die β -Glucanasen beim Abbau der Zellwände oder einige der Endopeptidasen, um nur einige zu nennen. Die Neubildung erfolgt durch die Exkretion von Wuchsstoffen vom Keimling aus nach Zufuhr eines gewissen Vegetationswassergehaltes. Diese Gibberelline fördern aber auch die Freisetzung oder Aktivierung latenter Enzyme wie β -Amylase, einer Reihe von Peptidasen, Glucanasen und von Lipasen. Der Abbau der hochmolekularen Substanzen verläuft bis zu den einfachen Bausteinen, den Zuckern, Aminosäuren, Fettsäuren, die veratmet und zum Aufbau neuer Zellsubstanz in den Wurzelkeimen und im Blattkeim verwendet werden. Das Ziel des Mälzens ist aber nicht die neue Pflanze, sondern ein gezielter, möglichst weitgehender Abbau der Stütz- und Gerüstsubstanzen um den Mehlkörper des Kornes zugänglich zu machen, wobei die Stärke bzw. deren Abbauprodukte im Hinblick auf eine hohe

Extraktausbeute des Malzes möglichst „geschont“ werden soll. Auch der Eiweißabbau soll nicht zu weitgehend verlaufen; es werden etwa nur ca. 40% in lösliche Form übergeführt, wobei neben einem bestimmten Anteil an Aminostickstoff auch Gruppen höheren Molekulargewichts erhalten bleiben sollen. Neben diesen hydrolytischen Enzymen spielen technologisch auch die verschiedenen Oxidasen-Systeme eine Rolle (Katalasen, Peroxidasen, Phenoloxidasen, Lipoxygenasen), deren Aktivitäten wohl bekannt sind, aber kaum eigens beeinflusst werden können. Während die hydrolytischen Abbauvorgänge sehr gut beherrscht werden, zeichnet sich bei den Oxidations- und Reduktionsreaktionen, gerade im Hinblick auf spätere Biereigenschaften, noch ein großer Forschungsbedarf ab.

Um nun geeignetes „Braumalz“ herstellen zu können, sind an die verwendete „Braugerste“ hohe Anforderungen zu stellen: Sie muss – möglichst zu 100% - keimfähig sein; der Eiweißgehalt darf 11.5% nicht überschreiten und der Spelzengehalt soll unter 10% liegen. Die durch Züchtung laufend verbesserten Sorten vermitteln hohe Extraktgehalte, hohe (eigentlich eher zu hohe) Enzymgehalte sowie von der landwirtschaftlichen Seite aus gesehen hohe Erträge sowie eine gute Resistenz gegenüber Krankheiten, was den Einsatz von Herbiziden etc. minimieren hilft. Der Weizen für Weizenmalz (im Weizenbier sind über 50% davon) wird nicht eigens gezüchtet; er wird nach Eiweißgehalt und seinen Enzymkapazitäten ausgewählt.

Die große Palette an Biersorten erfordert naturgemäß auch verschiedene Malztypen; es soll in der Folge kurz auf die hellen „Pilsener“ und die dunklen „Münchener“ Malze eingegangen werden.

Der Mälzer kann den Keimprozeß durch physikalische Parameter steuern. So bedarf es einer bestimmten Feuchte, die in speziellen Weichbehältern dargestellt wird, um bei ca. 30% die Lebensvorgänge einzuleiten; die gleichmäßigste Ankeimung wird bei etwa 38% erreicht, wobei diese aber schon im Keimapparat erfolgt. Die optimale Enzyymbildung und –Wirkung erfordern, je nach Gerste (Sorte, Anbaugebiet, Jahrgang) und je nach dem gewünschten Malztyp 43-48% Feuchte. Die Keimtemperatur liegt am günstigsten bei 14 – 15°C. Es dauert naturgemäß eine bestimmte Zeit bis unter diesen Bedingungen die Zellwände soweit abgebaut sind, dass das Korn zerreiblich wird. Normal sind ein Weichtag und 6 Keimtage, also eine Woche. Eine Beschleunigung kann ungleiches Wachstum und Inhomogenitäten bewirken.

Früher, in den alten Tennenmälzereien konnte nur in der kühleren Jahreszeit gemälzt werden, auch dauerten die Prozesse des Weichens und Keimens 3+7-9 Tage, wobei auf der Tenne täglich 2 – 3 mal täglich gewendet wurde. Die Größe einer Charge lag bei maximal 10 t. Die heutige Technologie sieht voll klimatisierte Weichbehälter und zumeist Keimkasten mit mechanischen Wendern, Vorrichtungen zur Befeuchtung, d.h. zur stufenweisen Einstellung des Wassergehaltes und computergesteuerte Temperaturführung vor. Um die Atmung in späteren Stadien etwas einzuschränken, kann eine CO₂-Anreicherung der Prozessluft sinnvoll sein. Die Grundlagenforschung und hochstehende Maschinenteknik erlaubten in den letzten 4 Jahrzehnten eine bessere und gleichmäßigere Malzqualität und dies bei Chargen von 200 t.

Der Charakter des Malzes wird wohl schon durch die Gerste (für dunkle Malze kann sie etwas eiweißreicher sein) und durch die Intensität der Keimung und das Ausmaß der Enzyymbildung und „Auflösung“(mehr Feuchte, etwas höhere Temperaturen)

vorbereitet werden, maßgeblich sind aber die Prozesse des Trocknens („Schwelken“) und des Darrens. Beim hellen Malz werden bei rascher Trocknung mit steigenden Temperaturen (von 50 auf 65°C) und hohem Luftdurchsatz weitere Abbauvorgänge vermieden, um so bei Abdarrtemperaturen von 80-85°C eine zu starke Farbbildung zu vermeiden. Beim dunklen Malz wird die Trocknung langsam durchgeführt, um bei 50-65°C und genügend Feuchte niedermolekulare Abbauprodukte zu erzielen, die dann bei den hohen Abdarrtemperaturen von 100-105°C zu Maillardprodukten führen, die Farbe und ein typisches Aroma vermitteln. Hierbei kommt es zu Enzymverlusten, die bei der weiteren Verarbeitung des dunklen Malzes zu beachten sind. Bedeutsam ist, dass am energieaufwendigen Prozess des Darrens durch Verwendung der Abwärme (um 40-50%) und durch Einsatz von Blockheizkraftwerken um insgesamt 72% Primärenergie eingespart werden konnten.

Zwischen diesen beiden extremen Malztypen gibt es viele Zwischenstufen; es werden aber auch Spezialmalze eingesetzt um entweder mehr Vollmundigkeit oder mehr Farbe und Aroma in die Maische einzubringen wie Caramelmalze verschiedener Schattierungen oder gar tiefdunkle Röstmalze.

Brauwasser

In der Mälzerei spielt die Wasserbeschaffenheit kaum eine Rolle, vorausgesetzt es ist biologisch einwandfrei und frei von Umweltkontaminanten. Beim Brauvorgang ist die Härte nach Carbonat- und Nichtcarbonat-, Calcium- und Magnesium-Härte von großer Bedeutung. Pilsener und helle Biere bedürfen (wie auch das Pilsner Urquell) eines weichen Wassers, dunkle Biere „vertragen“ ein mittelhartes Brauwasser. Eine erhöhte Carbonathärte verringert die Acidität der Maische, behindert die enzymatischen Abbauvorgänge und fördert die Auslaugung unedler Substanzen z.B. aus der Spelze des Malzes. Auch werden die Hopfeninhaltsstoffe im Sinne einer unedleren Bittere verändert. So hat sich schon mit der Einführung heller Biere frühzeitig eine Enthärtung des Wassers empfohlen. Sie war ursprünglich sehr energieintensiv („Aufkochen“); sie hat sich aber über Kalkfällungs- über Ionenaustausch- und Gegenosmoseverfahren soweit entwickelt, dass aus jedem Rohwasser jede gewünschte Wasserqualität dargestellt werden kann – es ist „nur“ eine Frage der Kosten.

Maischen

Das gelagerte Malz wird nochmals gereinigt und zerkleinert, wobei die Vorrichtung zur Maischetrennung eine jeweils unterschiedliche Technik erfordert: Der sog. Läuterbottich mit Siebboden benötigt ein gröberes Schrot mit gut erhaltenen Spelzen, die als Filtermaterial dienen, der mit Filtertüchern versehene Maischefilter wird heutzutage meist mit Pulver-Schrot beschickt, wobei die Spelzen ebenfalls zerkleinert sind. Für das erstere Schrot dienen sehr hochentwickelte 6-Walzenmühlen mit Siebsichtung. Es konnten sich aber auch relativ einfache „Nassschrotmühlen“ einführen. Für Maischefilter kommen Hammermühlen zum Einsatz.

Beim Maischen setzen nun die Enzyme des Malzes ihre Abbautätigkeit fort: der Stärkeabbau wird durch die beiden (α - und β -)Amylasen bis zur Maltose geführt, wobei auch noch andere vergärbare Zucker (Maltotriose, Glucose, Fructose) entstehen; die restlichen Kohlenhydrate wie niedrige und höhere Dextrine können

von der Brauereihefe nicht vergoren werden. Je nachdem Enzymphasen bei niedrigeren (62-65°C) oder höheren Temperaturen (68-72°C) eingehalten werden, entstehen mehr oder weniger vergärbare Zucker, maximal etwa 70% des Extraktes. Werden 80% oder gar etwas mehr angestrebt (z.B. für Diätbiere), so müssen spezielle Maßnahmen ergriffen werden (z.B. Malzmehl zur Gärung) um auch die Grenzextrinase zur Wirkung zu bringen. Der Eiweißabbau läuft bei Maischen ebenfalls weiter. Die Optimaltemperaturen liegen zwischen 45° (mehr Aminosäuren) und 55°C (mehr Peptide), doch ist die Eiweißlösung der Malzes heutzutage so weit gediehen, dass ein weiterer Abbau im Hinblick auf den Bierschaum gedämpft wird. Es wird häufig der Maischprozess bei 60-63°C begonnen. Dies ist jedoch nur dann ohne Nachteile, wenn auch die Zellwandlösung des Malzes genügend weit gediehen ist, sonst sind Filtrationsschwierigkeiten im Sudhaus oder bei der Bierfiltration unvermeidlich. Es kann nämlich bei schlecht oder ungleich „gelösten“ „Malzen eine weitere Freisetzung von hochmolekularem β -Glucan durch eine β -Glucan-Solubilase erfolgen. Für dieses hochviskose Material sind dann keine aktiven Enzyme (Endo- β -Glucanasen, Optimum 45°C) mehr zur Verfügung. Hohe Temperaturen beschränken auch den Abbau der Lipide und – ganz wichtig – die Wirkung der Lipoxygenasen. Diese oxidieren die höheren ungesättigten Fettsäuren zu Hydroxyfettsäuren und Peroxiden, die dann beim Mechanismus der Bieralterung eine Rolle spielen. Die seit 20-25 Jahren eingeführte Beschränkung einer Sauerstoffaufnahme beim Maischen schützt auch andere, in dieser Beziehung wichtige reduzierende Substanzen wie Polyphenole, die schon beim Mälzen, etwa parallel zum Eiweißabbau freigesetzt wurden.

Früher wurden die einzelnen Temperaturstufen durch das Kochen und „Zubrühren“ von Teilmaischen definiert. Bei diesem Maischekochen wurden noch die stärkeführenden Zellen gesprengt und damit die freigesetzte Stärke anschließend leichter verzuckert. Es wurden auch Maillardprodukte gebildet, die den Geschmack kerniger gestalteten. Das Kochen von 1-2 Teilmaischen wird vor allem noch bei dunklen und Weizenbieren mit Erfolg angewendet, bei sehr hellen Bieren kann, vor allem bei sehr enzymstarken Malzen, u.U. darauf verzichtet werden. Es wird die Maische von Stufe zu Stufe zu den einzelnen Rasten geheizt.

Dies erfordert aber Gefäße mit sehr effizienten, stufenlos regulierbaren Rührwerken, eine klumpenfreie Vermischung von Schrot und Wasser beim Einmaischen, sowie eine genügend leistungsfähige Heizfläche. Immerhin gelang es innerhalb von 40 Jahren die Maischzeit auf 2 – 2.5 Stunden abzusinken und damit praktisch zu halbieren. Korrekturen in geschmacklicher Hinsicht sind durch Spezialmalze vorzunehmen.

Nach erfolgter „Verzuckerung“ der Maische, die mittels einer Jodlösung überprüft wird, wird auf 75-77°C aufgeheizt, um weitere Abbauvorgänge zu beschränken. Beim Würzekochen werden die Malzenzyme inaktiviert und damit die Zusammensetzung der Würze fixiert.

Die Maischefiltration – das „Abläutern“

konnte in den letzten 40 Jahren ebenfalls wesentlich beschleunigt werden: Waren noch 1964 bestenfalls 6 Sude pro Tag mit Läuterbottichen bzw. 8 mit Maischefiltern möglich, so sind es heute mit jedem dieser Geräte 12 und mehr Sude pro Tag. Beim Läuterbottich, dessen Größe von 5-6t Schüttung pro Sud auf 20-25 t gesteigert werden konnte war diese Entwicklung einer verbesserten Maischequalität (bessere Malze, luftfreie Arbeitsweise!) sowie vielen kleinen Schritten bei der Ausstattung dieses Gerätes sowie in der Prozessführung, nicht zuletzt der Vollautomatisierung

zuzuschreiben. Bei den Maischefiltern war allerdings eine weitgehend andere Bauweise mit Abpressen der ersten Würze und des letzten Wassers notwendig, um auch die erforderliche Ausbeute zu erhalten. Es ist wichtig herauszustellen, dass die neuen Geräte nur Vorteile erbringen: Kürzere Kontaktzeiten, gut filtrierte Würzen ohne Sauerstoff und hohe Ausbeuten, ohne Qualitätsnachteile in Kauf nehmen zu müssen.

Das Kochen der Würze

Hier kommt der dritte Rohstoff, der Hopfen zum Zusatz.

Hopfen enthält Bitterstoffe, die der Würze bzw. dem späteren Bier einen bitteren Geschmack verleihen sowie auch bakteriostatische Eigenschaften vermitteln. Seine Hopfenöle können bestimmten Biersorten ein spezifisches Hopfenaroma erteilen, seine Gerbstoffe (Polyphenole) weisen nicht nur eine eiweißfällende Wirkung auf, sondern wirken auch reduzierend. In letzter Zeit wurde Xanthohumol, ein Prenylflavonoid durch seine anticancerogenen Eigenschaften bekannt; es gelingt durch technologische Maßnahmen diese Substanz in der Würze anzureichern. Die Hopfensorten werden in „Aroma“- und „Bitter“-Hopfen unterteilt, die sich in der Zusammensetzung der Bitterstoffe und der Aromasubstanzen unterscheiden und die zur Differenzierung der Biersorten variiert werden. Nachdem sich die Inhaltsstoffe, selbst des getrockneten und kühl gelagerten Hopfens bereits innerhalb eines Jahres deutlich verändern können, werden heutzutage fast ausschließlich Produkte wie Hopfenpulver-Pellets inert verpackt sowie Ethanol- oder CO₂-Reinharzextrakte verwendet, die die Wertbestandteile des Hopfens über einen längeren Zeitraum erhalten.

Die über 5 Jahrzehnte sehr aktive Hopfenzüchtung zielt nicht nur auf wünschenswerte brautechnische Eigenschaften wie Gehalt und Zusammensetzung von Bitter- und Aroma-Stoffen ab, sondern vor allem auf Resistenz bzw. Toleranz gegen Pflanzenkrankheiten und Schädlingen. Es gelang so, den Spritzmitteleinsatz weitgehend zu reduzieren.

Der Kochprozess

hat sich seit den beiden Energiekrisen der 70er Jahre entscheidend verändert. Seine Ziele sind: Inaktivierung der Malzenzyme, Sterilisation der Würze, Lösen und Isomerisierung der Hopfenbitterstoffe, Fällung von hochmolekularen Stickstoffsubstanzen, Bildung und Ausdampfen von Aromasubstanzen, wobei durch Verdampfen von Wasser eine gewisse Konzentrierung der Würze erfolgt. Dieser letztere Vorgang ist energieaufwendig. Ursprünglich wurde 90-120 Minuten (bei Spezialsorten länger) bei einer Verdampfung von 10-15% gekocht. Es liefen alle geschilderten Vorgänge in zufriedenstellender Weise ab. Dies betraf vor allem Würzearomastoffe, die mit dem strömenden Wasserdampf ausgetrieben wurden: Maillard-Produkte, Strecker-Aldehyde, die vom Malz stammend durch die thermischen Reaktionen beim Kochen vermehrt, aber auch wieder zum Teil ausgedampft wurden; Aromastoffe, wie Carbonyle aus dem Lipidabbau und der Lipidoxidation, die eine stete Verringerung erfuhren sowie das Dimethylsulfid, das aus einem Vorläufer, dem S-Methylmethionin abgebaut wird und ebenfalls mit dem Schwaden entweicht. Dem Verlust an (gewünschten) Hopfenaromastoffen konnte durch einen späteren Zusatz von Aromahopfen –wenigstens teilweise – begegnet werden.

Der Zwang zur Energieersparnis bewirkte eine sehr rasche Einführung neuer Heizsysteme, wie effizienter Innen- oder Außenkocher, die die Würze höheren Temperaturen aussetzten und damit die Reaktionen beschleunigten. Kürzere Kochzeiten von ca. 60 Minuten und eine auf 6-8% verringerte Verdampfung hatten aber häufig auch eine unbefriedigende Ausdampfung von Aromastoffen zur Folge, wodurch die Biere verschiedentlich „spelzige“, „grasige“, „rohe“ oder „gemüseartige“ Geruchs- und Geschmacksnoten erhielten. Die erhöhten Temperaturen in den Kochern riefen eine zu weitgehende Eiweißfällung hervor, die zu Verlusten an „Körper“ und Schaum führten. Eine Verbesserung erbrachten Maßnahmen wie Optimierung der Kochbewegung, Reduzierung der Heizmitteltemperaturen und Vergrößerung der Oberflächen zum effizienteren Ausdampfen von Aromastoffen. Ein Problem stellte sich noch insofern, als nach dem eigentlichen Kochprozess infolge einer Heißwürzerast zum Klären und bis zum Abkühlen der Würze die Reaktionen der Bildung von Maillard-Produkten und Strecker-Aldehyden sowie der Spaltung des DMS-Vorläufers ohne gleichzeitige Ausdampfung weiter liefen. Letztere war vor allem bei kurzen Kochzeiten ein Thema. So führen sich heute Kochverfahren ein, die den Prozess in zwei Phasen unterteilen: In eine relativ kurze Kochzeit oder eine Heißhaltung bei geringer Verdampfung und eine zweite Verdampfungsstufe nach der Heißwürzerast, entweder durch Vakuum oder durch „Strippen“, d.h. ein Ausdampfen an einer beheizten großen Oberfläche. Hierdurch gelingt es die Kochung auf die Schonung der schaumwichtigen Eiweißfraktionen auszurichten und dabei trotzdem die gewünschten Verdampfungseffekte zu erzielen. Die Energieersparnis ist, zusammen mit einer weitgehenden Abwärmeverwertung gegenüber den obengenannten Verfahren bis auf ca. 70% geführt worden.

Gärung – Reifung – Lagerung

Die gekochte, geklärte (d.h. von Eiweißkoagulaten und Hopfenrückständen befreite) Würze wird nun innerhalb von 45-60 min (wieder unter Energierückgewinnung) auf eine Temperatur gekühlt, bei der die Hefe zugesetzt wird. Diese „Anstelltemperatur“ ist je nach der Art der Gärung nzw. Nach Art des Gärverfahrens verschieden.

Die allgemein verwendeten Brauerei-Kulturhefen lassen sich in zwei große Gruppen einteilen: Die obergärigen Hefen („*Saccharomyces Cerevisiae*“), wahrscheinlich die Stammform, gären bei Temperaturen von 15-25°C; sie bilden Sprossverbände und steigen während der intensiven Gärung nach oben, d.h. in die Decke des Jungbieres. Sie vermögen Sporen zu bilden.

Die untergärigen Hefen („*Saccharomyces Uvarum* var. *Carlsbergensis*“) sind in ihrem Sporenbildungsvermögen beeinträchtigt, sie bilden keine Sprossverbände und setzen sich am Ende der bei 6-10°C (bei neueren Verfahren auch bei 12-18°C) verlaufenden Untergärung zu Boden.

Die beiden Hefearten sind genetisch verschieden; während die obergärigen Hefen genomische Unterschiede zwischen Altbier-/Kölsch- und vor allem Weizenbierhefen erkennen lassen, sind bei untergärigen Stämmen nur geringe Variationen festzustellen. Dennoch zeigen die heute gängigen untergärigen Heferassen Unterschiede im Hinblick auf Gärgeschwindigkeit, Säurebildungsvermögen, ihre Vermehrungscharakteristik, ihr Sedimentationsverhalten („Bruch“- und „Staubhefen“) sowie in ihrem Vermögen Gärungsnebenprodukte wie höhere Alkohole und Ester zu bilden. Sie haben damit, je nach der angewendeten Technologie einen Einfluss auf den Biercharakter. Weizenbierhefen sind in der Lage während der Gärung typische

Phenole zu bilden wie z.B. 4-Vinylguajacol, das für den „Nelkengeschmack“ des Weizenbieres verantwortlich ist.

In der Folge soll nur die Untergärung besprochen werden.

Die Hefe, die in einer Menge von 15 Millionen Zellen/ml dosiert wird, vermehrt sich auf 50-70 mio Zellen. Die erforderliche Energie wird – gerade zu Beginn des Prozesses aus der Veratmung von Zuckern gewonnen, wozu zur Würze Luftsauerstoff in Mengen von ca. 8 mg/l dosiert wird. Sobald der Sauerstoff verbraucht ist, stellt die Hefe auf Gärung um, sodass im Laufe einer normalen Gärung 98% des Zuckers vergoren und nur 2% veratmet werden. Für den Aufbau von Zellsubstanz benötigt die Hefe hauptsächlich Aminosäuren die sie wohl zum Teil aus dem Substrat, der Würze entnimmt, zum Großteil aber selbst synthetisiert. Neben den Proteinen werden auch Lipide, die als Bestandteil der Zellwände wichtig sind, aufgebaut. Fettsäuren sind wohl in der Würze enthalten, doch bei den modernen Läutersystemen weniger als früher. Sie müssen von der Hefe synthetisiert werden, wozu molekularere Sauerstoff (Würze-Belüftung!) erforderlich ist. Mineralstoffe haben eine sehr große Bedeutung für den Hefestoffwechsel, z.T. als Aktivatoren der Enzyme. Hier ist besonders Zink als Bestandteil der Alkoholdehydrogenase, aber auch in seiner Bedeutung für die Eiweißsynthese und damit für die Zellvermehrung zu erwähnen. Schwefel wird in anorganischer und organischer Form (z.B. schwefelhaltigen Aminosäuren) zur Synthese von Zelleiweiß benötigt. Hierbei entsteht eine Fülle von flüchtigen Schwefelverbindungen, die zum Teil zum Biercharakter beitragen, zum Teil aber auch Fehlgerüche verursachen, etwa wie Schwefelwasserstoff. Dimethylsulfid, das von der Würze her stammt wird nicht verändert; zu hohe Gehalte können „gemüseartige“ Noten vermitteln. Schwefeldioxid wird aus dem Sulfat der Würze im Laufe der Synthese schwefelhaltiger Aminosäuren gebildet. Lässt das Hefewachstum nach, dann läuft wohl die Sulfataufnahme weiter, doch das überschüssige Sulfit wird von der Zelle ausgeschieden und ist als SO₂ im Bier zu finden. Hier hat es eine große Bedeutung für die spätere Stabilität des Biergeschmacks.

Bedeutsam sind neben der Hauptaufgabe der Gärung, der Bildung von Alkohol und Kohlensäure auch weitere Gärungsnebenprodukte, wie höhere Alkohole, Ester, Aldehyde, Diacetyl und Acetoin, die Aroma und Geschmack des Bieres beeinflussen können.

So werden die höheren Alkohole (aliphatische und aromatische) aus Aminosäuren gebildet, die bei Transaminierungsreaktionen in die entsprechenden α -Ketosäuren und durch Decarboxylierung und Reduktion in die entsprechenden Alkohole umgewandelt werden. Der größere Teil entsteht auf dem Wege der intrazellulären Synthese der Aminosäuren aus α -Ketosäuren. Ihre Menge läuft wohl parallel der Menge des gebildeten Ethanol, doch ist sie weiterhin abhängig vom Niveau des assimilierbaren Stickstoffs: eine normale Ausstattung führt zu einer geringeren Bildung der höheren Alkohole, eine Unter- oder Überversorgung zu verstärkter Bildung Anlass gibt. Neben dem Einfluss der Heferasse ist vor allem die Gärführung von Bedeutung: Bei höheren Temperaturen und stärkerer Hefevermehrung steigen die Gehalte an höheren Alkoholen an. Während die Menge der aliphatischen Alkohole durch die Anwendung von Druck etwas gedämpft werden kann, reagieren die aromatischen Alkohole auf diese Maßnahme kaum.

Ester sind die hauptsächlichlichen Träger des Bieraromas. Sie sind die Produkte interzellulärer enzymatischer Katalyse; ihre Bildung ist deutlich abhängig von Zellwachstum und Lipid-Metabolismus. Je stärker die Hefevermehrung, etwa durch intensive Belüftung, umso niedriger sind die Estergehalte. Auch eine starke Bewegung in großen Gärtanks vermag die Esterbildung zu verringern. Heferasse und

Gärführung (Temperatur, Druck) üben ebenfalls einen Einfluss aus, wie bei den höheren Alkoholen beschrieben; es reagieren aber die Ester weit empfindlicher, sodass sich das Verhältnis von höheren aliphatischen Alkoholen zu Estern von 3 : 1 (günstig) bis auf 10 : 1 (ungünstig) verschieben kann.

Von den Aldehyden spielt der Acetaldehyd als Zwischenprodukt des Hefestoffwechsels eine große Rolle. Er wird während der ersten 48 Stunden der Hauptgärung gebildet, nimmt aber dann im Verlauf der Gärung und Reifung ab. Er wird auch in den frühen Stadien der Bieralterung gebildet, reagiert aber dann zu geschmacksstärkeren Alterungskomponenten weiter. Aldehyde aus der Würze (Strecker-Aldehyde, Carbonyle aus dem Fettmetabolismus) werden bei der Gärung zu den entsprechenden Alkohole reduziert, steigen aber bei der Bieralterung wieder an.

Geschmacklich von großer Bedeutung sind die beiden vicinalen Diketone Diacetyl und Pentandion-2,3. Der Vorläufer des besonders relevanten Diacetyls ist das 2-Acetylactat, das ein Intermediärprodukt bei der Biosynthese des Valins darstellt. Bei genügendem Gehalt an Valin, wie auch generell an Aminostickstoff, wird weniger Acetylactat gebildet, bei einer Unter- oder Überbilanzierung können größere Mengen entstehen, deren weitere Reaktion zu Diacetyl (deutlicher Fehlgeschmack, Geschmacksschwelle unter 0.08 ppm) schließlich zu Butandiol-2,3 u.U. Schwierigkeiten bereiten kann. Naturgemäß hängt auch die Bildung der vicinalen Diketone von der Heferasse und von der jeweiligen Gärungstechnologie ab: Höhere Gärtemperaturen führen zwar zu höheren Maximalwerten, die aber auch wieder rascher reduziert werden. Der Abbau derselben unter die kritische Schwelle von 0.08 ppm wird als Reifungs-Indikator angesehen.

Die Hefe wird nach ihrer Gärleistung sowie ihren Charaktereigenschaften, vor allem aber nach dem Geschmack des resultierenden Bieres ausgewählt. Sie wird in Form von Stammkulturen in Hefebanken oder in spezialisierten Laboratorien aufbewahrt. Bei Bedarf wird die Hefe von dieser Kultur bezogen, in steigenden Würzemengen propagiert und schließlich in einer Hefereinzucht-Anlage oder aber in einfacheren Herfür- oder Assimilationstanks vermehrt. Dies geschieht bei Temperaturen von 12-18°C, durch periodische Belüftung und rechtzeitige Zugabe einer 3-5-fachen Menge belüfteter Würze. Dabei soll die Hefe stets in der logarithmischen Phase verbleiben und der Extraktgehalt nicht unter 7% abfallen. Jeweils nach Erreichen einer Zellzahl von 80-100 Mio Hefezellen wird dann wieder Würze zugegeben, bis die Menge z.B. für einen Gärtank-Inhalt ausreicht.

Diese Hefe kann theoretisch solange im Betrieb „geführt“ werden, als sie frei von bierschädlichen Organismen ist, die gewünschte Gärleistung erbringt (Extraktabnahme, pH, Geschmack) d.h. hinsichtlich Vitalität und Viabilität entspricht. Bei sehr großen bzw. sehr hohen Gärtanks (>12-15m Bierhöhe) oder bei Druckgärung kann die Hefe ihre ursprünglichen Eigenschaften verändern, so dass nach 4-5 Führungen eine neue Hefecharge eingeführt werden muss. Sehr günstig ist es auch ein Gemisch von ¼ bis 1/3 frischer und den Rest ein- bis maximal zweimal geführter Hefe zu verwenden.

Die Hefe-Ernte soll möglichst frühzeitig, d.h. nach Erreichen des gewünschten Vergärungsgrades erfolgen, um negative Auswirkungen von statischem Druck, CO₂ und Alkohol zu vermeiden. Sie ist zu entspannen und auf ca. 3°C zu kühlen, eine längere Lagerung als 2-3 Tage ist zu vermeiden.

Diese Maßnahmen sind besonders bei Großgärgefäßen angebracht, die aus den kleinen Holzbottichen von rund 40hl, bzw. Metallgefäßen mit Flüssigkeitshöhen von unter 1.8 m entwickelt wurden. Diese können bis zu 6000 hl aufnehmen, wobei Höhen von 24m wieder verlassen wurden, und sich 12, maximal 15 m bei den

gängigen zylindrokonischen Tanks (Verhältnis Höhe:Durchmesser 2 (-2.3 :1) am besten bewährt haben.

Die Gärung, die früher bei Höchsttemperaturen von 9°C 7-10 Tage dauerte erfuh auch bei konventionellen Verfahren eine Optimierung auf unter 7 Tage; bei höheren Gärtemperaturen von 12-14°C die bei geeigneter Hefenachführung gut „vertragen“ werden benötigt man nur mehr 4-5 Tage, wobei der Schritt der Reifung in den Wochenrhythmus mit eingeschlossen wird.

Die Lagerung

diente in ihrer ursprünglichen Form der weiteren Vergärung restlichen Extrakts, der Bindung der sich dabei bildenden Kohlensäure, der Reifung, wie dem Auswaschen von Jungbukett-Stoffen, der Reduzierung des „Gesamtdiacetyls“ unter die Geschmacksschwelle von 0.08 ppm, der weiteren Bildung von höheren Alkoholen und Estern, der Klärung des Bieres durch Sedimentation der verbliebenen Hefe und trübender Eiweiß-Gerbstoff-Komplexe.

Sie nahm bei von 5° auf 0°C fallenden Temperaturen 4-12 Wochen, in Anspruch, bei Fest- und Bockbieren sogar mehr.

Die moderne Technologie erlaubt es, durch individuelle Tankkühlung, die einzelnen Schritte genauer zu definieren und dabei Zeit zu sparen. So dauert die „Reifung“, erkennbar am Abbau des Gesamtdiacetyls bei 5-6°C 7-10 Tage, bei 12-14°C in Fortführung der Gärtemperatur nur mehr 3-4 Tage (Wochenrhythmus). Es sind dann auch alle anderen Vorgänge abgelaufen, so dass anschließend auf 0°C, besser auf – 1/1.5C abgekühlt werden kann. Dies erfordert rund 3 Tage. Die weitere Kaltlagerung bei dieser Temperatur beträgt ca. 7 Tage, wobei sich eine gewisse Mindestzeit für Schaum, kolloidale Stabilität und geschmackliche Abrundung als wichtig erwiesen hat.

Es gelang also, durch diese angepasste Arbeitsweise die Produktionszeit von 6-8 Wochen auf 14-17 Tage ohne qualitative Nachteile zu verkürzen, wobei allerdings eine laufende Kontrolle der einzelnen Verfahrensschritte erforderlich ist – je kürzer, desto genauer mit hochstehender Analytik.

Sonstige Maßnahmen

Die geforderte Haltbarkeit des Bieres im Markt macht eine Filtration des Bieres (mit Ausnahme von Weizen- und naturtrüben Kellerbieren) notwendig. Die noch überwiegend verbreitete Kieselgurfiltration dient dann zugleich der kolloidalen Stabilisierung des Bieres mit Adsorptionsmitteln (Kieselgele, Polyvinylpolypyrrolidon PVPP), die biologische Sicherheit wird durch entkeimende Filtration oder durch thermische Behandlung erreicht. Nicht weniger bedeutsam ist die geschmackliche Stabilität, die durch Sauerstoff – freie Filtration und Abfüllung, aber vor allem aber auch durch das Bier selbst garantiert sein muss.

Hierauf, wie auch auf die anderen Eigenschaften wie der Bierschaum und der eigentliche Charakter des Bieres zielen alle Maßnahmen von der Rohstoffauswahl und der bestmöglichen Technologie hin.

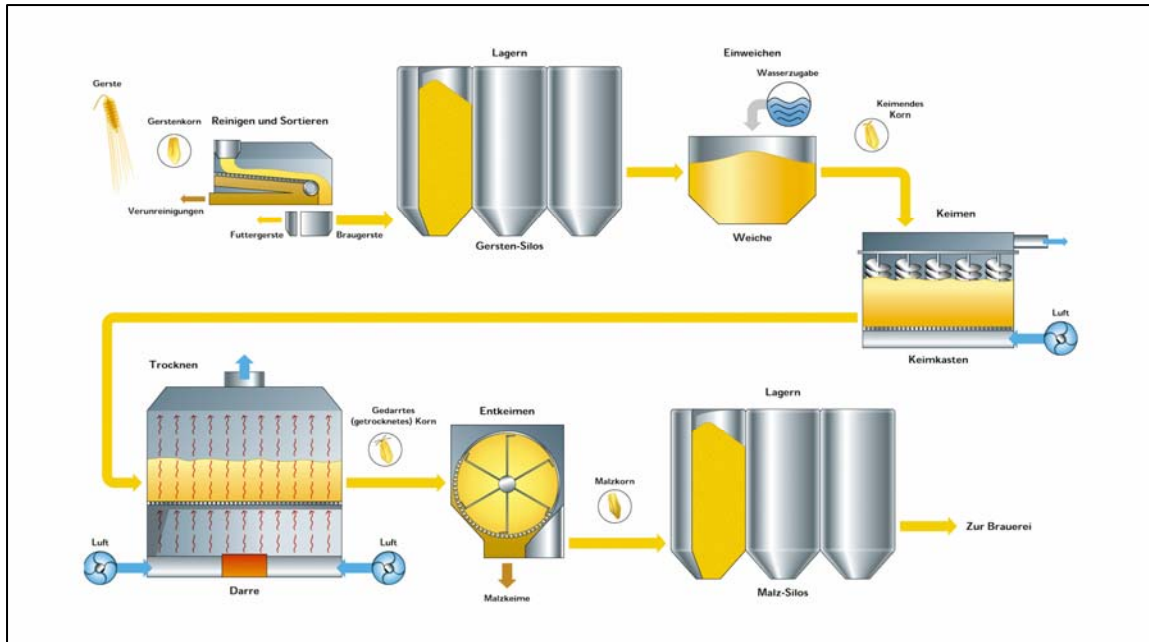


Abb. 1.: Der Malzbereitungsprozess von der Gerste bis zum Sudhaus [Quelle: Gesellschaft für Öffentlichkeitsarbeit der Deutschen Brauwirtschaft e. V.]

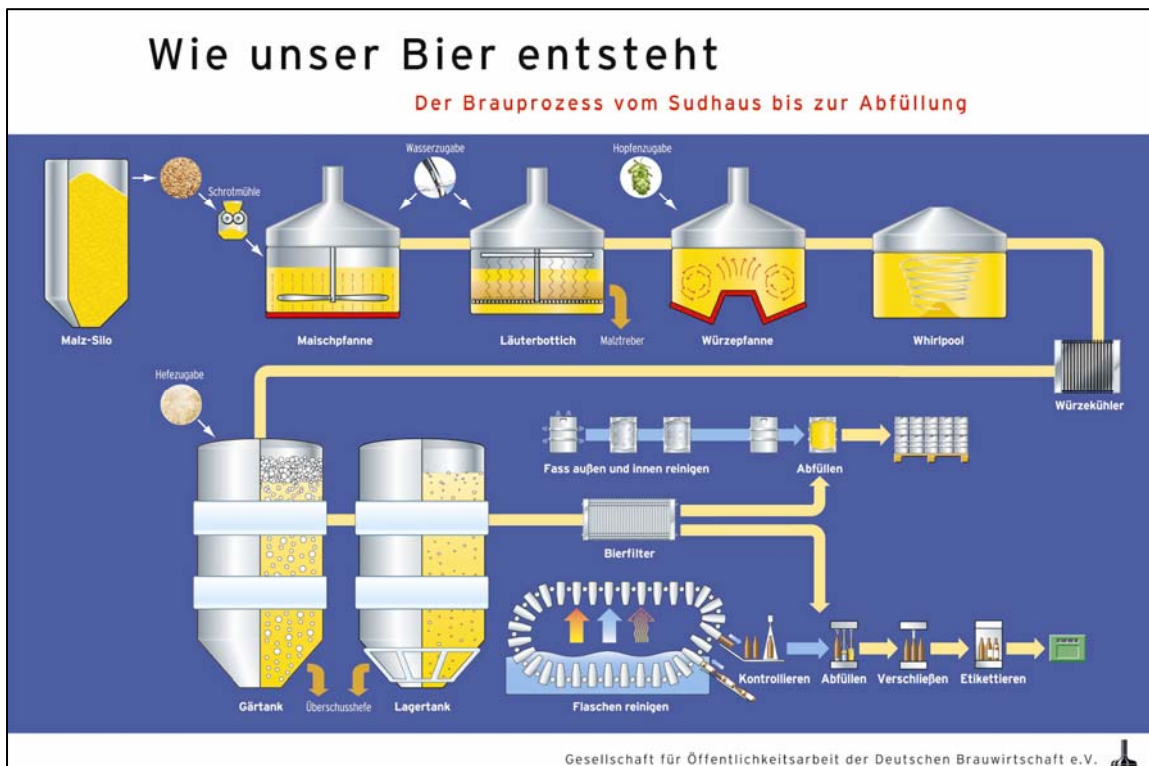


Abb. 2.: Der Brauprozess vom Sudhaus bis zur Abfüllung [Quelle: Gesellschaft für Öffentlichkeitsarbeit der Deutschen Brauwirtschaft e. V.]