Ausbildung zum Brauer & Mälzer

Berufsschule in Ulm (1994-97)

Fachkunde IV –
Gärung, Reifung & Filtration

Wie das Pier summer vñ winter auf dem Land sol gescheuckt vnd praüen werden

Item Wir ordnen/setzen/vnnd wöllen/ mit Rathe vnnser Lanndeschafft / das fürran allenthalben in dem Fürstenthümb Bayrñ/auff dem lande/ auch in vnsern Stettñ vñ Märckthen/da deßhalb hieuor kain sonndere ordnung ist/ von Michaelis biß auff Georij / ain mass oder kopffpiers über ainen pfenning Münncher werung/ vñ von sant Jorgen tag/biß auff Michaelis / die mass über zwen pfenning derselben werung / vnd derenden der kopff ist / über drey haller/bey nachgesetzter Pene/nicht gegeben noch außgeschenckht sol werden. Wo auch ainer nit Mertzñ / sonder annder Pier prawen/oder sonst haben würde/sol Er doch das/kains wegs höher/dann die maß vmb ainen pfenning schencken/vnd verkauffen. Wir wöllen auch sonderlichen/ das fürran allenthalben in vnsern Stetten/Märckthen/vñ auff dem Lannde/zů kainem Pier/ merer stückh / dañ allein Gersten /Hopffen/vñ wasser/genomen vñ gepraucht sölle werdñ. Welher aber dise vnsere Ordnung wissentlich überfaren vnnd nit halten wurde / dem sol von seiner gerichtzöbrigkait / dasselbig das Pier/zůstraff vnnachläßlich/ so offt es geschicht / genommen werden. Nedoch wo ain G:ůwirt von ainem Pierprewen in vnnsern Stettñ/ Märckten/oder auf m lande/yezůzeitñ ainen Eimer piers/ zwen oder drey/kauffen/ vnd wider vnnter den gemaynnen Pawrsuolck ausschenncken würde/ dem selben allain/ aber sonnst nyemandts/sol dye mass / oder der kopffpiers/ vmb ainen haller höher dann oben gesetzt ist/zegeben/ vñ/ außzeschencken erlaubt vnnd vnuerpotñ.

0. INHALTSVERZEICHNIS

0. Inhaltsverzeichnis 2

Abbildungsverzeichnis 3

I. Das Kühlhaus 4
1.1. Plattenkühler 6
1.2. Whirlpool 7
1.3. Abtrennung von Heiß- bzw. Kühltrub 8
1.3.1. Zentrifugen (Separatoren 8
1.3.2. Filtration 8

II. Gärkeller 10

III. Die Hefe 12
3.1 Gärverhalten der Brauereihefen 13
3.1.1 Anforderungen an Betriebshefen 14
3.1.2 Kontrolle bzw. Kontrollmöglichkeiten 14
3.2 Kulturhefen 14
3.2.1 Fremdhefen - Infektionshefen 15
3.3 Entartung der Betriebshefe 15
3.4 Bau der Hefezelle 16
3.4.1 Fortpflanzung der echten Hefen 17

IV. Hauptgärung 18
4.1 Grundlagen einer guten Hauptgärung 18
4.2 Stoffwechsel der Hefen 18
4.3 Wichtige Vorgänge der Hauptgärung 19
4.4 Alkoholische Gärung 20
4.5 Säurebildung bei der Gärung 21
4.6 Anstellen der Würze 22
4.7 Gärstadien 23
4.8 Kontrolle der Hauptgärung 23
4.9 Hefebehandlung 23
4.10 Hefereinzucht 24
4.11 Maßnahmen zur Beschleunigung der Hauptgärung 25
4.12 Nebenprodukte der Gärung 25
4.13 Schlauchreife 26
4.13.1 Schlauchen des Jungbieres 27

V. Lagerkeller / Reifung des Bieres 28
5.1 Vergärung des Restextraktes 28
5.2 Klärung des Bieres 29
5.3 CO_2 – Bildung und CO_2 – Bindung 29
5.4 Reifung des Bieres 30
5.5 Lagerung und Reifung im ZK-Tank 30
5.5.1 1-Tankverfahren 32
5.5.2 2-Tankverfahren 33
5.6 Kontrolle der Nachgärung 34
5.7 Spunden des Bieres 34

www.bierbrauerei.net

VI. Filtration / Klärung des Bieres 35
6.1 Kontrolle der Filtration 35
6.2 PVPP-Filtration 36
6.3 Cross-Flow-Filtration 37
6.4 Verbesserung der Bierstabilität 38

VII. Desinfektionstechnik 40
7.1 Desinfektionsmittel 41
7.2 Biersteinentfernung 41

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Verschiedene Arten der Würzekühlung 4
Abbildung 2: Aufbau eines Whirlpools 7
Abbildung 3: Stehende Kieselgur-Filtersysteme 9
Abbildung 4: Liegende Kieselgur-Filtersysteme 9
Abbildung 5: Zusammensetzung des Extraktes und seine Verwertung beim Gären 11
Abbildung 6: Die Phasen der Hefevermehrung 17
Abbildung 7: Gärdiagramm 20
Abbildung 8: Hefeherführungs-Schema 24
Abbildung 9: Kühlschema eines zylindrokonischen Gärtanks 32
Abbildung 10: Gärung, Reifung und Kaltlagerung des Bieres 33

I. DAS KÜHLHAUS

➲ Aufgaben:
⇨ (a) Kühlen der Würze
⇨ (b) Versorgung der Würze mit O_2
⇨ (c) Trubentfernung

➲ Einrichtung:
⇨ **{A} offener Würzeweg** (Kühlschiff, Berieselungskühler, Trubpresse, Anstellkeller oder Kühlschiff, Zentrifuge, Plattenkühler, Anstellkeller)
⇨ **{B} geschlossener Würzeweg** (Ausschlagtank oder Whirlpool, Zentrifuge oder Filter, Plattenkühler, Anstellkeller)

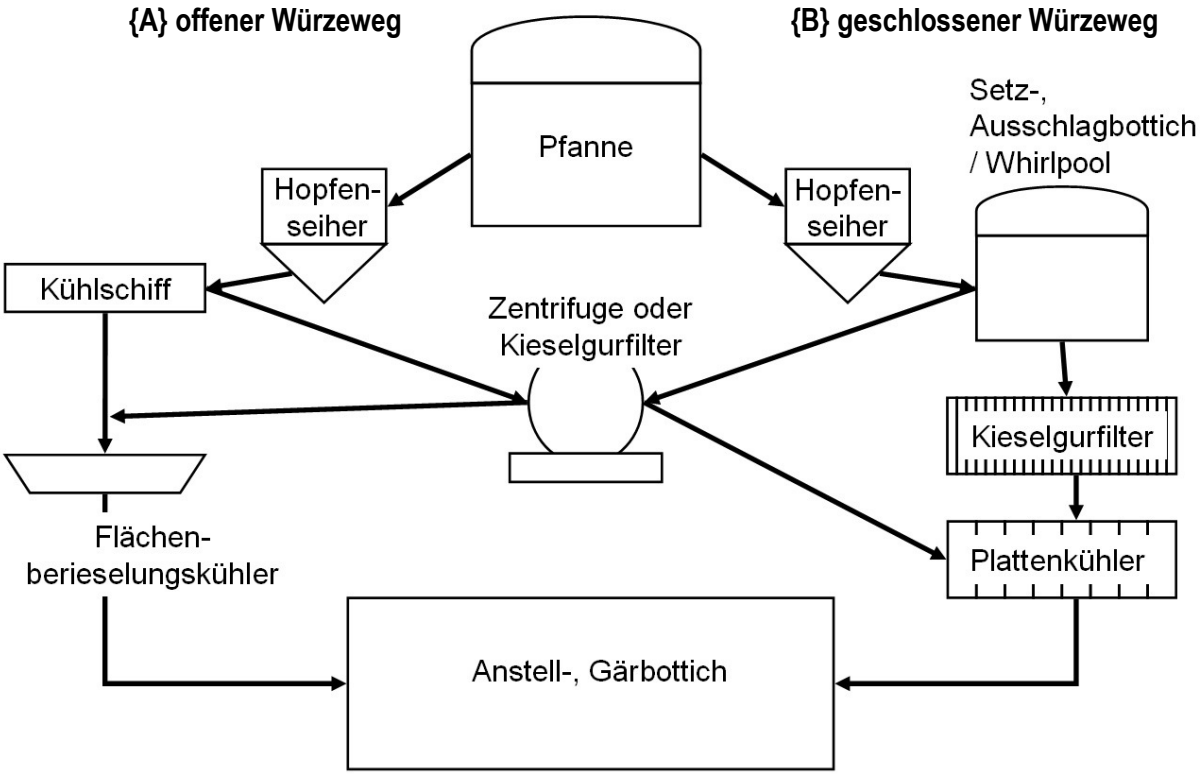


Abbildung 1: Verschiedene Arten der Würzekühlung

↳ zu (a) Kühlen der Würze: Würze muss auf Anstelltemperatur (ca. 5 °C untergärig) (ca. 15 °C obergärig) gebracht werden (normal 1 ½ - 2 h)

offener Würzeweg

⌦ Vorteile:
⇨ Konzentrationserhöhung (Verdampfung)
⇨ gute O_2 – Aufnahme
⇨ evtl. gute Heißtrubausscheidung

⌦ Nachteile:
⇨ großer Platzbedarf
⇨ Zufärbung
⇨ arbeitsaufwendig
⇨ Infektionsgefahr
⇨ große Belegzeiten

www.bierbrauerei.net

geschlossener Würzeweg ⌦ Vorteile:
- ⇨ geringerer Platzbedarf
- ⇨ weniger Arbeitsaufwand (CIP)
- ⇨ geringere Infektionsgefahr
- ⇨ fast keine Zufärbung
- ⇨ gezielte Trubentfernung möglich (z.B. Filtration)
- ⇨ bessere Energierückgewinnung

⌦ Nachteile:
- ⇨ Würze muss extra belüftet werden
- ⇨ weitere Geräte nötig (z.B. Zentrifuge, Filter)
- ⇨ evtl. hohe Stromkosten (Zentrifuge)

↳ zu (b) Versorgung der Würze mit O_2: Hefe benötigt ca. 7-8 mg O_2/ l Würze für gute Hauptgärung.

Bei offenem Würzeweg war dies erreichbar.

Bei geschlossenem Würzeweg muss künstlich belüftet werden (Sinterkerze; Schälscheibe der Zentrifuge; Metallplättchen; Venturirohr – ca. 20-30 l Luft / hl Würze, dazu Pumpe nötig)

⌦ Heißbelüftung ↳ Zufärbung der Würze

⌦ Kaltbelüftung ↳ *keine* Zufärbung, aber Luft *muss steril* sein (Infektionsgefahr)

Durch Übersättigung mit Luft ergibt sich die Möglichkeit der Flotation (↗ Kühltrub)

↳ zu (c) Trubentfernung: Ausschlagwürze enthält *Heiß-* und *Kühltrub* (Kalttrub). Infusionsverfahren bzw. Hochkurzmaischverfahren liefern ca. 10-25 % mehr Trub (heiß & kalt) als Dekoktionsverfahren (z.B. Zweimaischverfahren)

⌦ Heißtrub (40-80 g/hl, 30-80 µ Größe), besteht weitgehend aus Eiweiß, organischen Verbindungen, Bitterstoffen; bildet sich beim Würzekochen (Bruch-Koagulation), sie muss völlig entfernt werden, sonst verschmiert die Hefe:
- ↳ schleppende Gärung
- ↳ dumpfer Geschmack
- ↳ Schaumschwierigkeiten

⇨ Entfernung:
- ➢ absitzen lassen (Kühlschiff), Trubpresse
- ➢ Whirlpool
- ➢ Filtration (Kieselgurfilter)
- ➢ Zentrifugen (Kammer-, Teller-)

⇨ Wiederverwendung:
- ➢ Zugabe im Läuterbottich, meist nach Ablauf der Vorderwürze (↳ etwas härterer Geschmack)
- ➢ Vorteile:
  - ↳ keine Abwasserbelastung
  - ↳ bessere Sudhausausbeute (0,2 %)
  - ↳ Hopfenersparnis (5-10 %)

⌦ Kühltrub (15-30 g/hl, max. 1,0 µ Größe), Zusammensetzung ähnlich wie Heißtrub; in Hitze löslich, fällt beim Abkühlen unter 70 °C aus, sollte nur teilweise entfernt werden (50-70 %), sonst zu leere Biere

⇨ Entfernung:
- ➢ Adsorption (Anlagerung) an Heißtrub ↳ gemeinsame Entfernung
- ➢ Sedimenation (evtl. mit Kieselgur)
- ➢ Filtration
- ➢ Zentrifugen
- ➢ Flotation (Luftüberschuss erzeugt Schaumdecke von ca. 0,5-0,8 m über der kalten Würze)

⇨ Ausmaß der Trubausscheidung
- ➢ Kühlschiff ca. 25 % (bis 40 % bei Aufkrücken, tiefe Temperatur)
- ➢ Sedimentation 50-60 % bei Kieselgurzugabe bis 60-70 %)
- ➢ Flotation 50-65 %
- ➢ Zentrifugen ca. 50 %
- ➢ Filtration 75-85 % bei 5 °C
  95 % bei 0 °C

Merke: Sedimentation und Flotation sind mit oder ohne Hefe möglich!

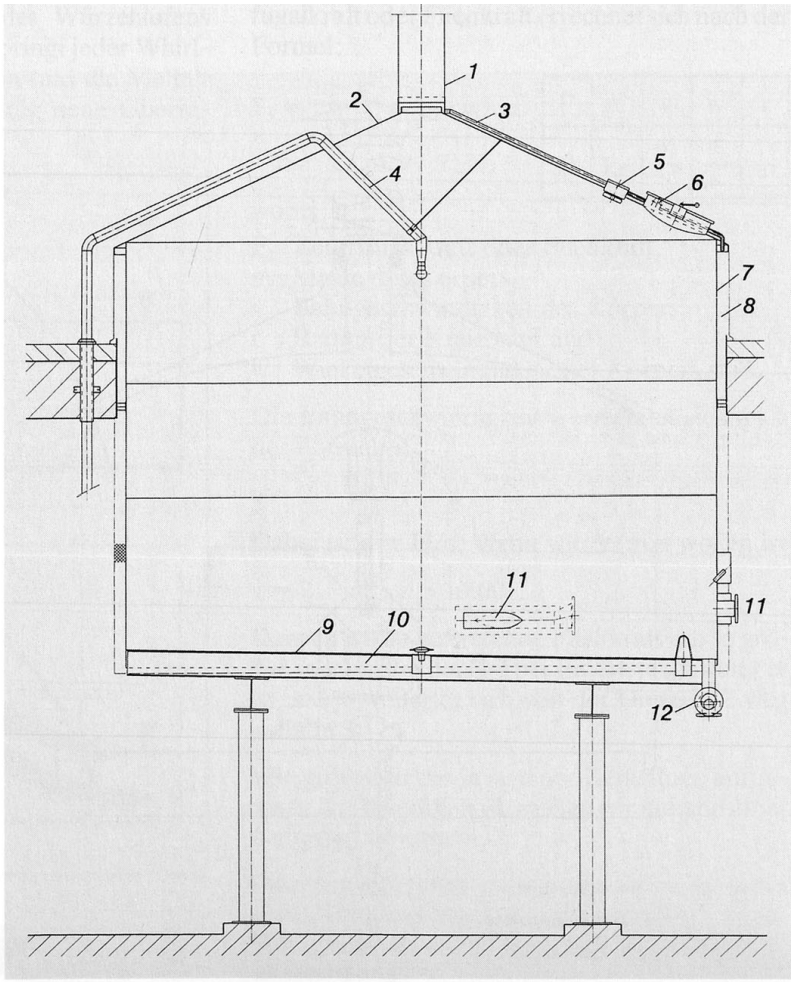
1.1. Plattenkühler

➲ Aufbau:
⇨ Gestell, vorderer und hinterer Lagebock
⇨ Holme, Spannvorrichtung, Druckplatten
⇨ Platten (gewellt mit Distanzstegen, ca. 0,8 mm Abstand V_2A; V_4A-Platten bei Sole)

➲ Arbeitsweise:
⇨ Vorkühlen (mit Brauwasser)
Würzeaustrittstemperatur ca. 3-4 °C über H_2O-Eintrittstemperatur
↳ H_2O-Austrittstemperatur 40-60 °C
Verhältnis Würze : H_2O = 1 : 2
⇨ Tiefkühlzone (mit Eiswasser bzw. Sole)
↳ Würzeaustrittstemperatur 4-6 °C (bzw. Anstelltemperatur)
Verhältnis Würze : Eiswasser = 1 : 2-3
Plattenschaltung:
- ➢ jeweils 4-6 Plattenpaare parallel
- ➢ Gegenstrom bei jeder Platte

Würze muss gepumpt werden, da Plattenapparat ca. 2,5-3,5 bar Widerstand bildet.

1.2. Whirlpool



(1) Dunstabzug
(2) Dunstabzugshaube
(3) Kondenswasser-ableitung
(4) CIP-Reinigung
(5) Beleuchtung
(6) Sichtfenster mit Mannloch
(7) Seitenzarge
(8) Isolierung
(9) Whirlpoolboden mit 1 % Neigung
(10) CIP-Bodendüse
(11) Tangentialer Einlauf
(12) Auslauf

Abbildung 2: Aufbau eines Whirlpools

➲ Aufbau:
- ⇨ rund, aus Aluminium oder Edelstahl
- ⇨ tangentialer Würzeeinlauf (ca. 0,3 m über Boden)
- ⇨ Eintrittsgeschwindigkeit 5-6 m/s ↳ Rotation
- ⇨ normal: 2-3 Anstiche (halbe Höhe, sowie 0,3 m über Boden, am Boden)
- ⇨ Boden:
  - ↳ waagrecht
  - ↳ leichtes Gefälle (1-2 %)
  - ↳ leicht gewölbt
  - ↳ mit konischem Auslauf
- ⇨ Verhältnis: h / d = 1-1,3 / 2
- ⇨ evtl. mit Einbauten (Siebe, Ringe, ...)

Merke: je geringer d,
➢ desto langsamer sinkt Würzespiegel
➢ desto bessere Trubentwässerung

➲ Arbeitsweise:

⇨ Ausschlagen	ca. 30 min.
⇨ Ruhe	ca. 20-30 min.
⇨ Würzekühlung	ca. 90-120 min.
⇨ Reinigung (Trubausscheidung, CIP)	ca. 10 min.

➲ Ursachen für fehlerhafte Trubausscheidung:
⇨ schlechte Malzqualität
⇨ mangelhaftes Maischverfahren
⇨ zu hohe od. zu niedrige Einrittsgeschwindigkeit (zu hoch ↯ zerschlägt Trub)
⇨ falsche Würzepumpe (zerschlägt Trub)

1.3. Abtrennung von Heiß- bzw. Kühltrub

1.3.1. Zentrifugen (Separatoren

Druck an Schälscheibe ca. 6 bar, reicht aus für Plattenkühler

➲ Prinzip: ⇨ Fliehkraft ersetzt Sedimentation

➲ Leistung: ⇨ bis 450 hl/h Heißwürze (50 °C) oder ⇨ bis 400 hl/h Anstellwürze (5 °C) } abhängig von Viskosität, Temperatur, … der Flüssigkeit

➲ Nachteile: ⇨ hohe Stromkosten (große Anschlusswerte)

↯ **Kammerzentrifugen** (ca. 4.000 U/min., Ø bis 400 mm); 3-4 Kammern (Trommeln) bis 65/70 kg = ca. 5.000 kg Schüttung
➲ Nachteile: ⇨ kein kontinuierliches Verfahren

↯ **Tellerzentrifugen** (ca. 6.000 U/min.); Vielzahl konischer Teller in geringem Abstand (< 1 cm); kurzer Weg der Teilchen ➢ gute Klärwirkung
⌦ nicht selbstaustragend; muss zurückgespült oder geöffnet werden ➢ arbeitsaufwendig

⌦ selbstaustragend; Trub sammelt sich in trichterförmigem Raum, Entschlammung durch Öffnen dieses Raumes (Druck- oder Zeitschalter, Fotozelle)

Über Schälscheibe der Zentrifugen kann belüftet werden ➢ Flotation möglich

1.3.2. Filtration

50-70 g Gur oder Perlite / hl

➲ Prinzip: ⇨ Siebwirkung, unterstützt durch angeschwemmte Gur oder Perlite

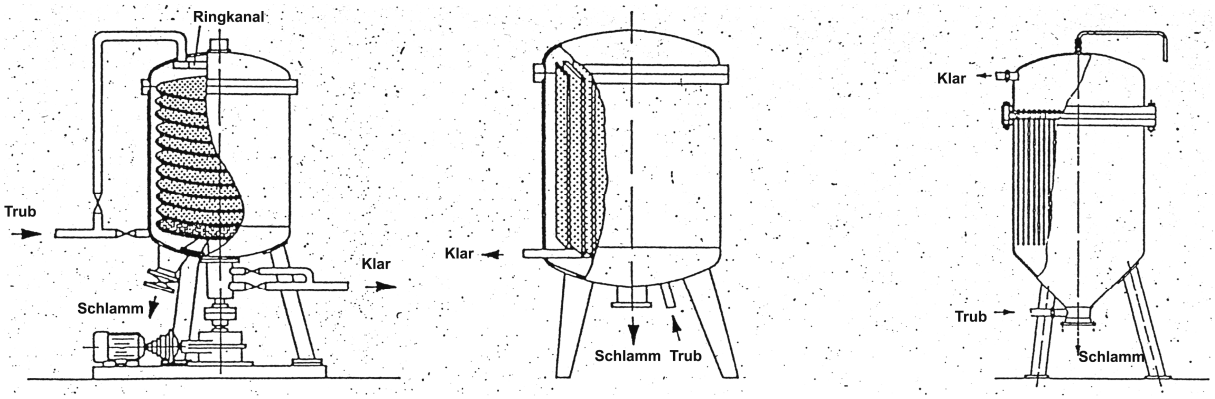
➲ Vorteile: ⇨ Trubentfernung kann besser gesteuert werden

↯ **Rahmenfilter** Platten-, Rahmen und Stützschichten (5-6 hl pro m^2 pro h)

↯ **Kesselfilter** Gewebte V_2A Siebelemente (liegend, stehend); teilweise selbstaustragend

↯ **Spaltfilter** (Kerzenfilter) – bis 10 hl/m^2

www.bierbrauerei.net

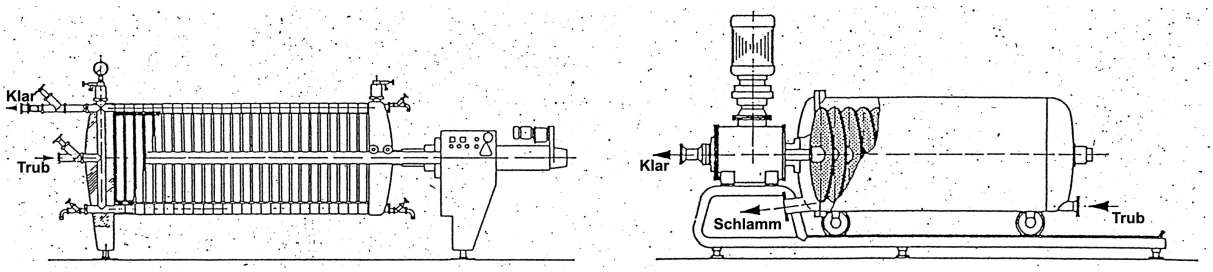


Stehender Zentrifugalhochleistungsfilter mit horizontal angeordneten Filterelementen Typ ZHF/S

Stehender Kesselfilter mit vertikal angeordneten Filterelementen

Stehender Kesselfilter mit vertikal angeordneten Filterkerzen

Abbildung 3: Stehende Kieselgur-Filtersysteme



Rahmenfilterpresse Typ NIRO-1000

Liegender Zentrifugalreinigungsfilter mit vertikal angeordneten Filterelementen

Abbildung 4: Liegende Kieselgur-Filtersysteme

II. GÄRKELLER

➲ Aufgaben: ⇨ Vergären der Würze ⌦ Bildung von Alkohol, CO_2, Geruchs- und Geschmacksstoffen ↳ Bieraroma

↳ Nebeneffekte:
⇨ Wärmebildung
⇨ Ausscheidung von Hopfenbitterstoffen
⇨ Bildung von Bukettstoffen (Säuren, Ester, S-haltige Verbindungen)
⇨ Bildung von Gärungsnebenprodukten (höhere Alkohole = Fuselöle, Diacetyl, …)
⇨ Hefevermehrung
⇨ pH-Abfall, sowie Farbaufhellung

➲ Auslegung: ⇨ ca. 1/25 – 1/30 des Jahresausstoßes

➲ Gärgefäße:
⇨ offen ↳ Betonbottiche mit V_2A-, Alu-, Bitumenauskleidung oder emailliert

⇨ geschlossen ↳ Bottiche mit Abdeckhauben (Alu, …)
↳ liegende Tanks (z.B. Kombi-Tanks, …)
↳ Stahlbetontanks (Fa. Krick/Ffm, …)
↳ stehende Tanks (ZKG, …)

➲ Kühlung:
⇨ Mantelkühlung, Schwimmer oder Kühlschlangen bei Bottichen, …
⇨ Mantelkühlung (Zonen bzw. Taschen bei Tanks bzw. ZKG's, …)

➲ Kältemittel:
⇨ Eiswasser (gekühltes Süßwasser)
⇨ Sole (Lösungen techn. Salze, z.B. NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$, in H_2O ↳ Gefrierpunktserniedrigung
⇨ Alkohol/H_2O – Gemisch (Glykol, …)
⇨ Frigen, Freon, … bei Direktverdampfung, z.B. ZKG's
[⇨ evtl. NH_3]

www.bierbrauerei.net

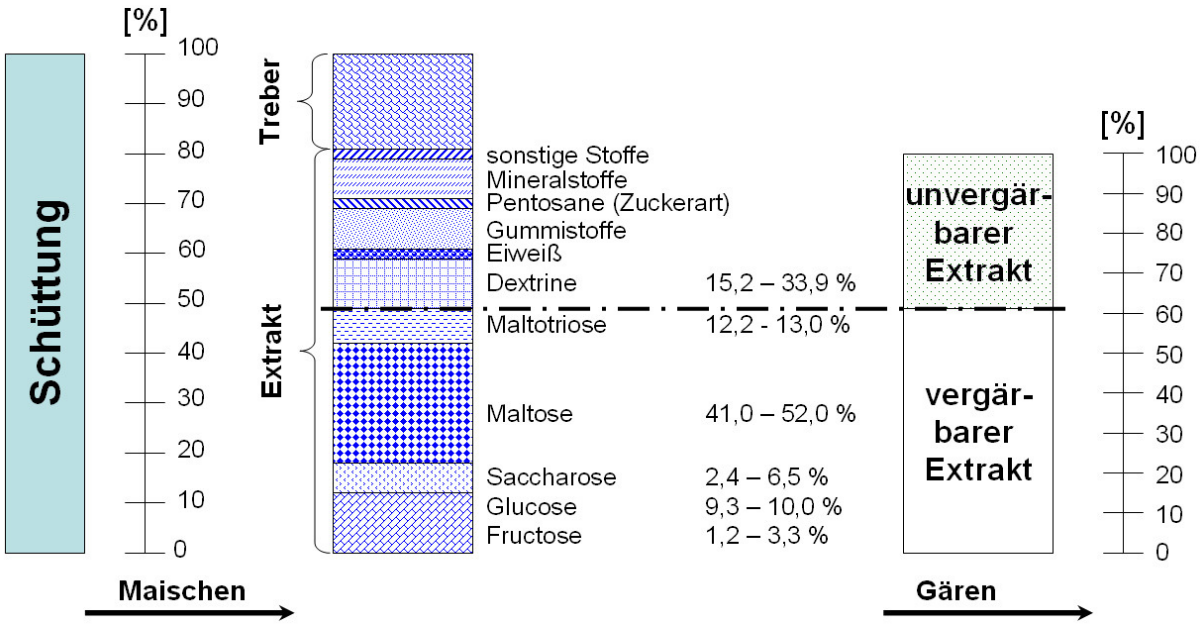


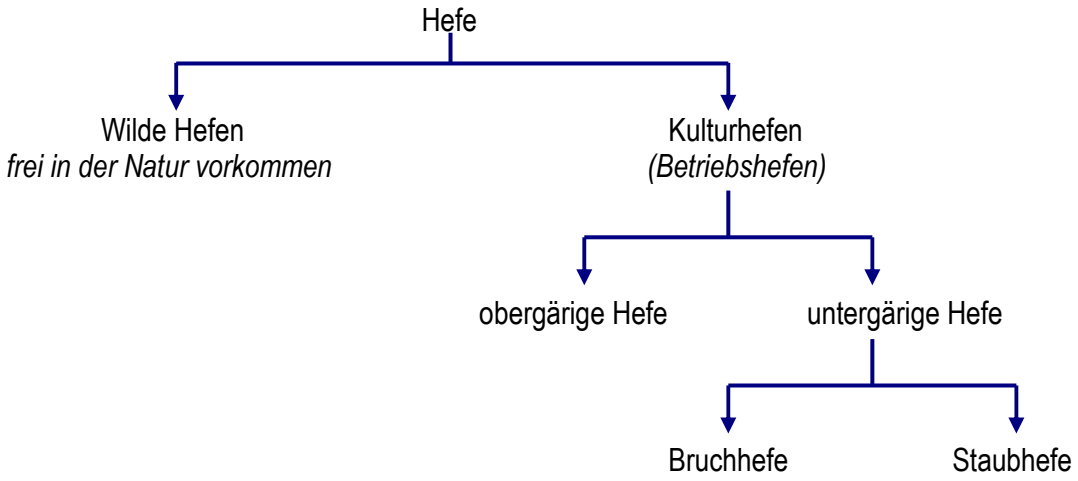
Abbildung 5: Zusammensetzung des Extraktes und seine Verwertung beim Gären

Ca. 75-80 % der Schüttung werden extrahiert, der Rest wird mit den Trebern ausgeschieden.
Vergärbare Zucker: 61-62 % des Gesamtextraktes

III. Die Hefe

Hefen gehören zu den niederen Pflanzen ohne Chlorophyll.

- Vorkommen: ⇨ im Boden; Wasser, auf Pflanzen (süße Früchte), Luft
- Bedeutung: ⇨ Abbau organischer Stoffe
  - ↳ Kreislauf der Stoffe
  - ↳ Bildung von Alkohol, organ. Säuren, usw.
- Ernährung: ⇨ heterotroph (= auf hochwertige, organische, fremde Nahrung angewiesen), da Chlorophyll fehlt.
  - ⇨ Nahrungsquellen:
    - ↳ Zucker (Stärkeprodukte)
    - ↳ Eiweiß (Aminosäuren)
    - ↳ Fett
    - ↳ Mineralien
    - ↳ Sauerstoff wird teilweise benötigt
- Einteilung:



Bruchhefen bilden mehr Agglutinationsschleim, d.h. sie setzen sich schneller ab, sind niedervergärend!

Der Mensch sollte maximal 30 g Hefe pro Tag konsumieren, sonst besteht die Gefahr, dass aus der N-Verbindung Purin Harnsäure gebildet wird (Gicht). Diese Vorsicht gilt auch bei hefetrüben Bieren.

Hefen haben einen hohen Eiweißgehalt, sie sind deshalb ein wertvolles Futtermittel. Bei Wiederkäuern kann man die Hefe direkt verfüttern, bei Schweinen muss die Hefe vorher aufgeschlossen werden, z.B. durch Erhitzen, Propionsäure usw.

Hefen sind einzellige Pilze (0,006-0,01 mm groß), die überall in der Natur vorkommen. Der Brauer unterscheidet zwischen wilden Hefen und Kulturhefen. Alle diejenigen Hefen, welche nicht zur Bierherstellung verwendet werden, heißen wilde Hefen. Kulturhefen der Brauerei sind die untergärigen und obergärigen Bierhefen.

➲ Aufbau der Hefezelle:

⇨ Die Zellwand dient zum Schutz des Zellinhaltes und dem Stoffaustausch. Sie nimmt Zucker und Sauerstoff auf und gibt Alkohol und Kohlendioxid ab. In der eiweißreichen Zellflüssigkeit (Zellplasma) erfolgt die alkoholische Gärung. Der Zellkern steuert die Lebensvorgänge der Zelle, wie Gärung und Zellteilung. Manche Zellen zeigen 1-2 helle Tröpfchen, die man Safträume (Vakuole) nennt.

➲ Lebensbedingungen der Hefezelle:

⇨ *Nahrung:* Einfach-, Doppelzucker und Eiweiß (AS). Stärke kann von der Hefezelle nicht aufgenommen und deshalb nicht vergoren werden. Stärke wird hauptsächlich im Sudhaus durch Enzyme (Amylasen) zu vergärbaren Zuckern abgebaut.
⇨ *Wässrige Lösung:* Würze
⇨ *Bestimmte Temperaturen:* Das Temperaturoptimum der alkoholischen Gärung liegt bei 30-35 °C. Die untergärige Hefe arbeitet bei Gärtemperaturen von 5-8 °C, die obergärige Hefe von 18-23 °C.
⇨ *Sauerstoff:* Für eine gute Gärung muss die Würze mit Sauerstoff angereichert werden. Dies erfolgt auf dem Kühlschiff oder durch Einpressen von steriler Luft in die Würzeleitung.

3.1 Gärverhalten der Brauereihefen

	untergärige Bierherstellung	obergärige Bierherstellung
Rohstoffe	Gerstenmalz	Gerstenmalz, teilweise durch Weizenmalz usw. bzw. Zucker ersetzt
Gärung		
⇨ verwendete Hefe	untergärige Brauereihefen	obergärige Brauereihefen
⇨ Anstelltemperatur	ca. 5 °C	15,0 – 18,0 °C
⇨ Hauptgärtemperatur	8,5 – 9,0 °C	22,0 – (25) °C
⇨ Schlauchtemperatur	ca. 5 °C	15,0 -20,0 °C
⇨ Gärdauer	6 – 7 Tage	ca. 3 Tage
⇨ pH – Änderung	ca. 0,8 Einheiten	ca. 0,8 Einheiten
⇨ Hefeernte	unten; Hefe setzt sich am Boden ab	normalerweise oben: Hefe schwimmt nach Hauptgärung auf dem Jungbier
⇨ Hefeführungen	5 – (10) x	über Jahre möglich
⇨ Hefebehandlung	Waschen, Sieben möglich	normal keine Hefebehandlung
⇨ Sporenbildung	gering (ca. 72 h)	deutlich (ca. 48 h)
⇨ Sprossenbildung	zerfällt rasch in Mutter- und Tochterzelle	Sprossverbände mit 8 – 10 Zellen
⇨ Agglutination	deutlich (bei Bruchhefen)	gering
⇨ Temperaturempfindlichkeit	gering	deutlich bei niederen Temp.
⇨ Enzymgehalt der Hefen	Melibiase vorhanden	höherer Enzymgehalt; aber Melibiase für Raffinoseabbau fehlt
⇨ Stoffwechselprodukte		
⌦ Diacetyl	Ø 0,08 mg/l	Ø 0,05 mg/l
⌦ Isoamylalkohol	Ø 55 mg/l	Ø 75 mg/l

www.bierbrauerei.net

3.1.1 Anforderungen an Betriebshefen

- biologisch einwandfrei (keine Infektion)
- gärkräftig
- gute Vermehrung (Hefeernte)
- weniger als 5 % tote Zellen
- geringe Verschmutzung (Trub, Hopfenharze, …)
- für Biertyp entsprechenden Geschmack liefern

3.1.2 Kontrolle bzw. Kontrollmöglichkeiten

- sofort mikroskopieren: ⇨ tote Hefezellen (anfärben mit Methylenblau)
  ⇨ Bierschädlinge (Dunkelfeld)
- Anreicherungskulturen: ⇨ (z.B. NH_3 – Gärprobe, VLB-S, NBB, …) nach 3 – 5 d mikroskopieren bzw. auswerten
- Kontrolle des Gärverlaufs: ⇨ Gärbilder, Standgläschen, Aroma, Hefeernte, …
- Probesud anstellen (Kleinsud): ⇨ Kontrolle des Gärverlaufs (Gärbilder, …)
  ⇨ Kontrolle des fertigen Bieres (Labor)
- Eigenschaften der Hefe erfragen:
  ⇨ Gärverlauf, Ernte, Nebenprodukte, …

3.2 Kulturhefen

- in der Brauerei: ⇨ **obergärige Brauereihefen** (saccharomyces cerevisiae)
  bilden Sprossverbände und steigen am Ende der Hauptgärung nach oben.
  ↳ Verwendung: Weizenbier, Kölsch, Altbier, Ale, Porter, Düssel, Berliner Weiße, Stout, …

  ⇨ **untergärige Brauereihefen** (saccharomyces carlbergensis bzw. uvarum)
  bestehen aus 1 oder 2 Zellen und sinken am Ende der Hauptgärung zum Boden ab. Dabei unterscheidet man zwei Arten:
  - ⌦ **Bruchhefen;** setzen sich schneller ab, da sie viel Agglutinationsschleim bilden und sich die Zellen zusammenballen (verkleben).
  - ⌦ **Staubhefen;** bleiben länger im Schweben und sind höher vergärend.

  ↳ Verwendung: Vollbiere, Export, Pils, Märzen, Bockbiere, …

www.bierbrauerei.net

➲ außerhalb der Brauerei: ⇨ von den über 600 Hefearten werden einige zur Lebensmittelherstellung benutzt;
z. B. Backhefe (saccharomyces cerevisiae)
Weinhefe (saccharomyces ellipsoideus)
Milchhefe (endomyces lactis)
Fruchthefe (saccharomyces apiculatus)
Rohwursthefe (debariomyces kloeckeri)

Merke: Kulturhefen sind für bestimmte Betriebsbereiche speziell gezüchtete Hefen. Die Kulturhefe eines Betriebes kann in einem anderen Betrieb eine wilde Hefe (Fremdhefe) sein, z.B.: Weinhefe in Brauerei oder Brennerei; oder obergärige Brauereihefe in untergäriger Brauerei

Manche Hefen zerstören Lebensmittel, z.B. bilden Kahmhefen auf der Flüssigkeit eine typische Kahmhaut (Pichia, Willia, Mycoderma, …).

3.2.1 Fremdhefen - Infektionshefen

Alle in einem Produktionsbereich vorkommenden nicht erwünschten Hefen sind Fremdhefen. Diese können entweder Kulturhefen anderer Betriebe oder frei von der Natur vorkommende Hefen sein. Im Brauereibereich sind solche Fremdhefen nicht erwünscht, da sie die Produktion stören. Diese unerwünschten Hefen erzeugen teilweise andere Aromakomponenten (↳ Biergeschmack), teilweise beeinflussen sie auch die biologische Bierstabilität (↳ Bodensatz, Trübung). Diese Fremd- bzw. Infektionshefen werden auch als „Wilde Hefen“ bezeichnet.

Eine besondere Gruppe sind die so genannten „Killerhefen“, welche schon in einer geringen Konzentration (ca. 2 %) eine Gärung stark beeinflussen können. Glücklicherweise sind diese Killerhefen in Mitteleuropa bisher ohne Bedeutung, da sie hauptsächlich in Großbritannien auftreten.

Um ein Qualitätsbier zu erzeugen, ist u. a. auf peinliche Sauberkeit zu achten, dies gilt besonders auch im Zusammenhang mit Hefen.

3.3 Entartung der Betriebshefe

➲ Ursachen: ⇨ (a) veränderte Lebensbedingungen der Hefe
⇨ (b) Infektion der Hefe
⇨ (c) durch Heferasse bedingt

↳ zu (a):
⌦ schlechte O_2-Versorgung der Würze
⌦ schlechte Trubentfernung der Würze
⌦ ungünstige Würzezusammensetzung (N-Quelle; Z : NZ, Jodnormalität, …)
⌦ Gifte im Brauwasser (Nitrat, Cu, Arsen)
⌦ Druckgärung
⌦ Stammwürze > 18 %
⌦ Alkohol > 5 %
⌦ langes Aufbewahren unter Wasser

➲ Folgen:
- ⇨ schlechtes Ankommen
- ⇨ schleppende Gärung
- ⇨ stecken bleibende Gärung
- ⇨ schlechte Bruchbildung
- ⇨ geringe Hefeernte
- ⇨ ungleiche Gärung (kahle Stellen, grobe Blasen, …)
- ⇨ Durchfallen der Decke
- ⇨ kochende Gärung
- ⇨ Aufsteigen der Hefe
- ⇨ hoher Anteil an Gärungsnebenprodukten

➲ Abhilfen bzw. Gegenmaßnahmen:

↳ zu (a): ⌦ Erscheinungen können teilweise behoben werden, wenn Ursachen beseitigt werden

↳ zu (b) / (c): ⌦ Hefen verwerfen, Jungbier getrennt lagern, Bier EK-filtrieren und getrennt abfüllen

3.4 Bau der Hefezelle

Hefezellen treten in einfachen, veränderlichen Formen auf. Je nah Lebensbedingungen (Temperatur, Druck, Alter, aerob bzw. anaerob, …) können ähnliche Formen oder bizarre Gestalten auftreten.

➲ Zellformen der Brauereihefen:

⇨ Form	rund bis oval bzw. elliptisch
⇨ Länge	ca. 4 -14 µ (Ø 9 - 11 µ)
⇨ Breite	ca. 3 -10 µ (Ø 6 - 8 µ)
⇨ Verhältnis L:B	ca. 2:1 bzw. 1:1
⇨ spez. Gewicht	ca. 1,087 g/cm^3
⇨ Oberfläche	ca. 150 µ^2/Zelle ↳ ca. 220 m^2/hl bei 0,5 l dickbreiige Hefe/hl
⇨ Farbe	beige-hellgelb

Über die riesige Oberfläche erfolgt der gesamte Stoffwechselaustausch der Gärung, d.h. Nahrungsaufnahme bzw. -abgabe der Stoffwechselprodukte (Alkohol, CO_2, Gärungsnebenprodukte usw.)

➲ Inhaltsstoffe der Hefezelle:

⇨ Wasser	⌦ Betriebsstoff
⇨ Eiweiß/Aminosäuren	⌦ Baustoffe
⇨ Kohlenhydrate/Zucker	⌦ Betriebsstoffe
⇨ Fette	⌦ Bau- und Betriebsstoffe
⇨ Mineralien/Spurenelemente	⌦ Bau- und Regelstoffe
⇨ Vitamine	⌦ Betriebsstoffe, Katalysatoren
⇨ Enzyme	⌦ Betriebsstoffe, Katalysatoren
⇨ Alkohol, org. Säuren usw.	⌦ Stoffwechselprodukte

3.4.1 Fortpflanzung der echten Hefen

➲ Vegetativ durch Sprossung: ⇨ Bei stark gärenden Hefezellen bilden sich an bestimmten Stellen Knospen, die sich als Tochterzellen meist rasch von der Mutterzelle abtrennen. Teilweise erfolgt eine weitere Sprossung vor der Abschnürung ↳ Sprossverbände (obergärige Hefen, ...). Die Sprossung kann an verschiedenen Stellen erfolgen; es sind bis zu 20 Narben pro Hefezelle möglich.

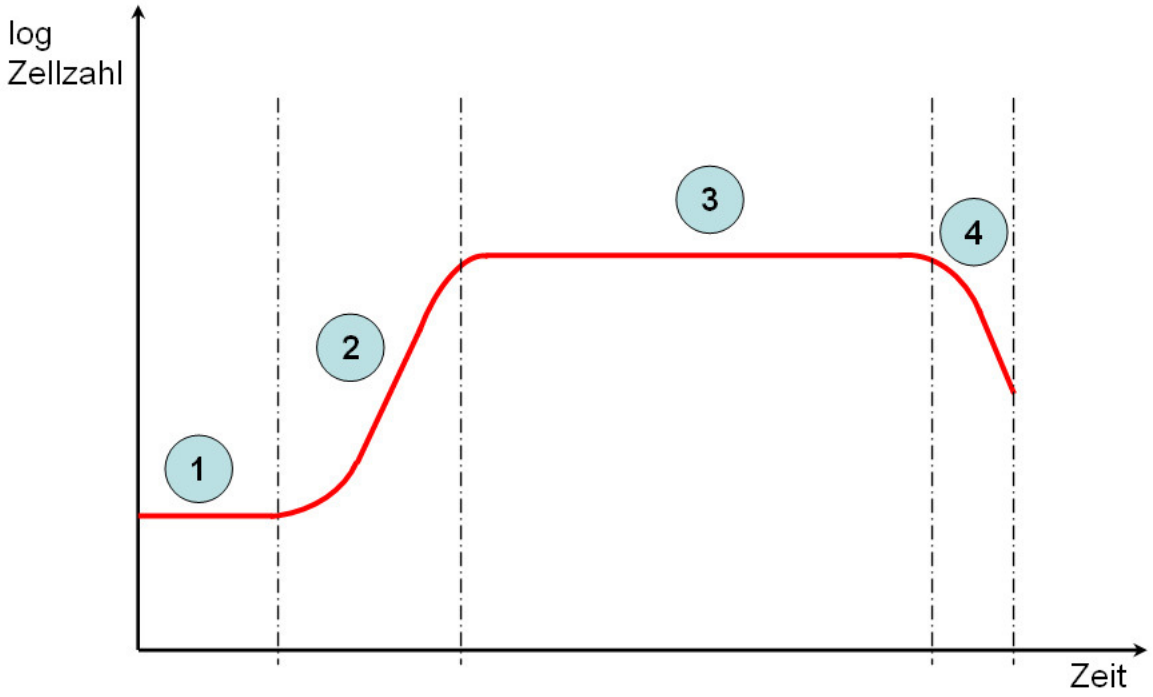


Abbildung 6: Die Phasen der Hefevermehrung

⌦ Hefevermehrung verläuft in mehreren Phasen:

↳ ① Angärphase (latente Phase) – einige Stunden; keine Vermehrung
↳ ② logarithmische (exponentielle) Phase – einige Tage; starke Vermehrung
↳ ③ Hemmphase (stationäre Phase) – einige Tage; Vermehrung wird gebremst durch gebildeten Alkohol, organischen Säuren sowie die Extraktabnahme (Ende der HG)
↳ ④ Absterbephase (➔ evtl. Autolyse) – einige Tage bzw. Wochen

➲ Geschlechtlich durch Sporen: ⇨ , die direkt in der Hefezelle entstehen. Zwei Zellen verschmelzen und es werden – je nach Kernteilung – 8 bzw. 4 Sporen (Ascosporen im Ascus = Schlauch) gebildet.
Die Sporen sind sehr widerstandsfähig (teilweise Temperaturen bis 125 °C) und keimen bei geeigneten Bedingungen wieder aus.

⌦ Sporenbildung: ↳ bei untergärigen Hefen – ca. 72 h ➢ wenig Sporen
↳ bei obergärigen und wilden Hefen – ca. 48 h ➢ viele Sporen

IV. HAUPTGÄRUNG

4.1 Grundlagen einer guten Hauptgärung

➲ Optimale Würze:
- ⇨ Zusammensetzung (Zucker zu Nichtzucker; Eiweiß; Aminosäuren)
- ⇨ Trubentfernung
- ⇨ O_2 – Versorgung (7 – 8 mg/l)
- ⇨ Mineralien (Zink, Phosphate, …)

➲ Gute Betriebshefe:
- ⇨ (siehe *„3.1.1 Anforderungen an Betriebshefe“*)

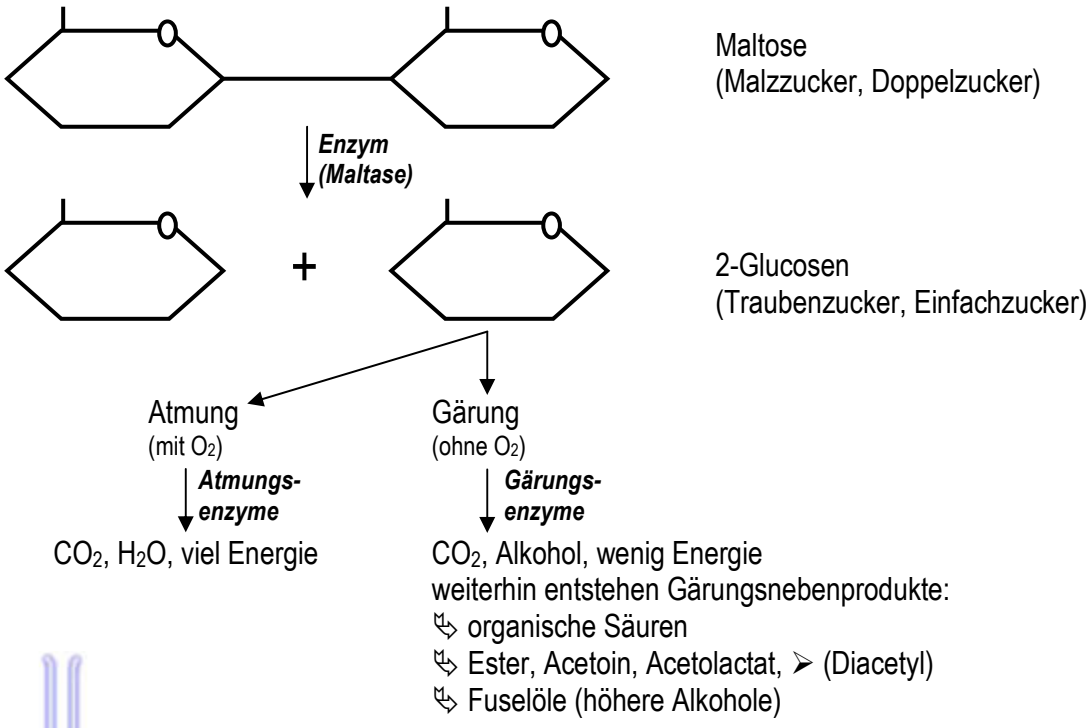
➲ Günstige Gärbedingungen:
- ⇨ Temperatur
- ⇨ Druckverhältnisse, …

4.2 Stoffwechsel der Hefen

= stufenweise, enzymatische Umsetzung organischer Stoffe zu körpereigenen Substanzen bzw. Ausscheidung von Farbstoffen. Dabei wird Energie umgesetzt (bei mäßigen Temperaturen).

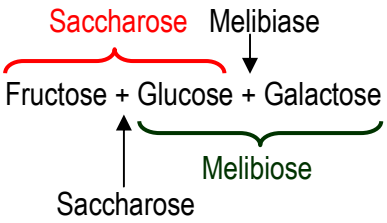
➲ Baustoffwechsel
- ⇨ Bildung neuer Zellen bzw. Zellbestandteilen
- ⇨ weitgehend Eiweißstoffwechsel
- ⇨ benötigt Energie

➲ Betriebsstoffwechsel:
- ⇨ weitgehend Abbau der Zucker (stufenweise, enzymatisch)
- ⇨ liefert Energie



www.bierbrauerei.net

Raffinose



4.3 Wichtige Vorgänge der Hauptgärung

= Vergärung des Würzeextraktes (Zucker ⇨ Alkoholm CO_2 und Wärme bzw. Eiweiß, Aminosäuren ↳ Bausteine für neue Zellen bzw. Zellbestandteile)

➲ <u>Folgen:</u>

⇨ Zuckergehalt } sinkt
⇨ Eiweißgehalt }
⇨ Bildung der Endprodukte der Gärung (Alkohol, CO_2)
⇨ Bildung der Gärungsnebenprodukte (org. Säuren, Ester, Fuselöle, …)
⇨ pH-Wert ändert, d.h. senkt sich (Eiweißpuffer wird geringer, CO_2-Bildung, …)
⇨ Farbaufhellung (Ursache: pH-Wertänderung)
⇨ Bier reichert sich mit O_2 an (wird bekömmlicher)
⇨ unreifes Jungbieraroma geht verloren (CO_2 – Wäsche)

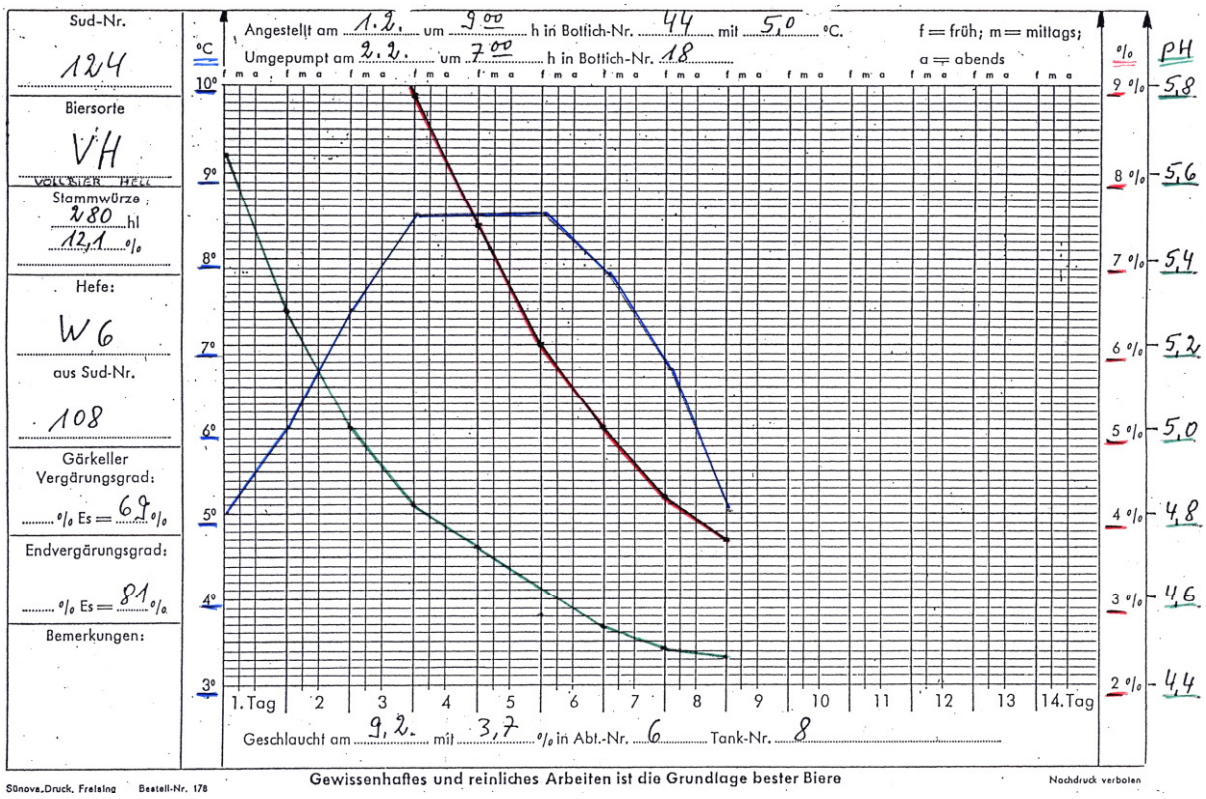
➲ <u>Gärung hängt ab von:</u>

⇨ Würzezusammensetzung (N-Gehalte, Vergärungsgrad, Mineralien)
⇨ Stammwürzegehalt
⇨ Gärbedingungen (Temperatur, Druck)
⇨ Hefe (Menge, Alter, Rasse, Verschmutzung)
⇨ Würzebehandlung

➲ <u>Verwertung der Zucker:</u>

⇨ **Angärzucker:** Einfachzucker – 6er Zucker = Hexosen, Glucose, Fructose
⇨ **Hauptgärzucker:** Doppelzucker – Maltose
⇨ **Nachgärzucker:** Mehrfachzucker – Maltotriose, evtl. Maltotetraose (bzw. Isomaltose)

Saccharose erst nach Spaltung (➔ Glucose + Fructose); ab 10 % hemmend



Temperaturverlauf	5,0	5,4	6,0	6,7	7,4	8,2	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,3	7,8	7,3	6,7	6,0	5,0
Abnahme des scheinb. Extrakts	12,0		11,4		10,2		8,9		7,4		6,0		5,0		4,2		3,7
pH-Abnahme	5,62		5,24		5,0		4,81		4,66		4,58		4,53		4,49		4,47

Abbildung 7: Gärdiagramm

4.4 Alkoholische Gärung

➲ Verlauf der alkoholischen Gärung:

⇨ Von den vergärbaren Zuckern werden Monosaccharide (= Einfachzucker, z.B. Glucose, Fructose) in die Glycolyse eingeschleust. Maltose, Maltotriose und Saccharose werden ins Zellinnere transportiert und gespalten. Die Zucker müssen erst mit Phosphat aktiviert werden, damit die Gärung verlaufen kann.

➲ Stufen der alkoholischen Gärung

Glucose (Ausgangspunkt)
⇩ + *p*
Glucose-Phosphat
⇩ *Umwandlung*
Fructose-Phosphat
⇩ + *p*
Fructose-Diphosphat
⇩ + *p*
2-C_3-Stücke (mit Phosphat)
⇩ *Spaltung*
Brenztraubensäure
⇩ *Umwandlung über Stufen; Phospatabbau*
Acetaldehyd + **CO_2**
⇩ *Umwandlung*
Ethanol ← ***Endprodukte***

Brenztraubensäure (Pyruvat = ein Salz davon) ist Ausgangsprodukt für:
- Zitronensäurezyklus
- Fett- und Eiweißstoffwechsel
- Bildung von Acetaldehyd und daraus Ethanol

4.5 Säurebildung bei der Gärung

Die anfallende Brenztraubensäure (Zwischenprodukt) kann – bei O_2-Zufuhr – auch dem Zitronensäurezyklus zugeführt werden. Bei normaler Gärung und keiner weiteren O_2-Zufuhr nach dem Anstellen geschieht dies nur zu einem geringen Anteil.
Beim Zitronensäurezyklus (kreisförmiger Ablauf) entstehen aus der Brenztraubensäure eine Reihe organischer Säuren.
Die Säurebildung spielt für den gesamten Produktionsverlauf und für das fertige Bier eine große Rolle. Der pH-Wert (beim Anstellen 5,3 - 5,5) fällt zum Ende der Hauptgärung auf ca. 4,3 - 4,5. Von diesem „pH-Sturz“ hängt die Intensität der Bruchbildung ab. Außerdem beeinflusst er beim fertigen Bier folgendes:
- Stabilität
- Biercharakter
- Grad der Anfälligkeit gegen Bakterien

Der aktive Hefestoffwechsel beeinflusst die Ausscheidung zahlreicher Gärungsnebenprodukte, die das Aroma eines fertigen Bieres mitbestimmen. Die Bildung der Einzelstoffe wird durch das Ineinandergreifen von Kohlenhydraten, Eiweiß- und Fettstoffwechsel bestimmt.

4.6 Anstellen der Würze

➲ Hefegabe:
⇨ (a) In Würzeleitung einmischen (Dosage nach Zellzahl)
⇨ (b) direkt von Bottich zu Bottich (= vorlegen; ca. ½ l dickbreiige Hefe/hl Ausschlagwürze)
⇨ (c) Anstellen mit Kräusen
⇨ (d) „Drauflassen“ auf Jungbier mit Hefe

↳ zu (c) Anstellen mit Kräusen:
Anstellen, Jungbier bis ca. 25/35 % vergären (Hefe ist im Kräusenstadium); 12 – 16 h im Anstellkeller ➢ dann umpumpen.
Vorlage ca. 1/3 Kräusen; Auffüllen mit voll belüfteter Würze (Gärung setzt kurz aus ➢ Hefevermehrung)

Vorteile:
⌦ bessere Ausscheidung von Verunreinigungen
⌦ Verjüngung der Hefe

Nachteile:
⌦ Arbeitsaufwendig
⌦ höhere Reinigungskosten (H_2O, …)
⌦ evtl. Probleme bei vielen Biersorten

↳ zu (d) Drauflassen:
Ersten Sud mit Hefe anstellen ➢ auf z.B. drei Bottiche verteilen, dann mit belüfteter Anstellwürze auf 1-2 mal auffüllen.

Vorteile:
⌦ schnellere Gärung
⌦ höhere Vergärungsgrade (GVG)

Nachteile:
⌦ Arbeitsaufwendig
⌦ evtl. Probleme bei vielen Biersorten
⌦ Bottiche müssen in 16-18 h befüllt sein

➲ Hefegabe bei ZKG's:
⇨ in Anstellleitung beigeben
⇨ Drauflassen
⇨ Vorlegen (evtl. als Kräusengabe)

➲ Hefemenge:
⇨ normale Hefegabe (ca. 0,5 l dickbreiige Hefe / hl Würze = ca. $15 \cdot 10^6$ Hefezellen / ml Würze) Ankommen bei 5-6 °C in 12-16 h gewährleistet
⇨ knappe Hefegabe (ca. 0,3 l dickbreiige Hefe / hl Würze)
↳ Hefe wird nicht gärträge
↳ mehr Führungen möglich (Hefe verjüngt sich)
⇨ große Hefegabe (ca. 1-2 l dickbreiige Hefe / hl Würze)
↳ Gärung beginnt spontan
↳ Hefe wird gemästet, setzt sich rasch ab
↳ evtl. stärkere Diacetylbildung

4.7 Gärstadien

- 1. Tag: ⇨ **Ankommen oder Überweißen;** nach 12-16 h ist Jungbier mit weißer Schaumdecke überzogen
- 2. & 3. Tag: ⇨ **niedere Kräusen;** CO_2 bringt Harze, Gerbstoffe und Eiweiße an die Oberfläche (↳ Gärdecke wird braun)
- 4. & 5. Tag: ⇨ **Hochkräusen;** (kräftige Kräusen)
- 6. & 7. Tag: ⇨ **Schlaucherdecke;** Einfallen bzw. Zusammenfallen der Decke (↳ zusammenhängende, geschlossene Gärdecke)

4.8 Kontrolle der Hauptgärung

Offene Bottiche	Tanks (ZKG, …)
↳ Gärtemperatur (2 x / Tag)	↳ Gärtemperatur
↳ Spindelung (1-2 x / Tag)	↳ Spindelung
↳ Gärbilder beobachten	↳ -------
↳ Standgläschen ➢ Klärung ➢ Geschmack, Geruch	↳ Standgläschen ➢ Klärung ➢ Geschmack, Geruch
↳ biologische Probe (Bottichprobe)	↳ biologische Probe (Zwickelprobe)
↳ evtl. pH messen	↳ evtl. pH messen
	↳ CO_2-Bildung (Spundung, …)
	↳ Diacetyl
	bei Schnellgärverfahren:
	↳ Druck
	↳ Gärungsnebenprodukte (Diacetyl, …)

4.9 Hefebehandlung

- nach Hauptgärung:
  - ⇨ Trennen:
    - ↳ Oberzeug (Vorzeug) ➢ gärkräftige Hefezellen, aber auch Harze, Eiweiß, Gerbstoffe
    - ↳ Kernzeug (Kernhefe) ➢ reine Hefe, wird für weitere Gärungen (Führungen) benutzt.
    - ↳ Nachzeug (Bodensatz) ➢ viele tote Hefezellen, schwere aber gärkräftige Hefen, Trubteilchen, …
  - ⇨ Sieben: } ↳ evtl. in einem Arbeitsgang
  - ⇨ Waschen: }
  - ⇨ Aufbewahren: (unter Wasser oder Würze)
    - aber: Wasser muss
      - ↳ biologisch einwandfrei sein
      - ↳ frei von Giften sein (z.B. Nitrat, Chlor, …)
      - ↳ kalt sein (max. 4-5 °C)
      - ↳ geringer Härte haben (ca. 8-9 °dH)

Einige Betriebe belüften die gereinigte Hefe. Bei dieser Atmungsphase (mehrere h) erholt sich die Hefe für weitere Gärungen.

www.bierbrauerei.net

➲ Hefeerntemenge hängt ab von:
- ↳ Würzezusammensetzung
- ↳ Heferasse
- ↳ Gärbedingungen
- ↳ Alter der Hefe

4.10 Hefereinzucht

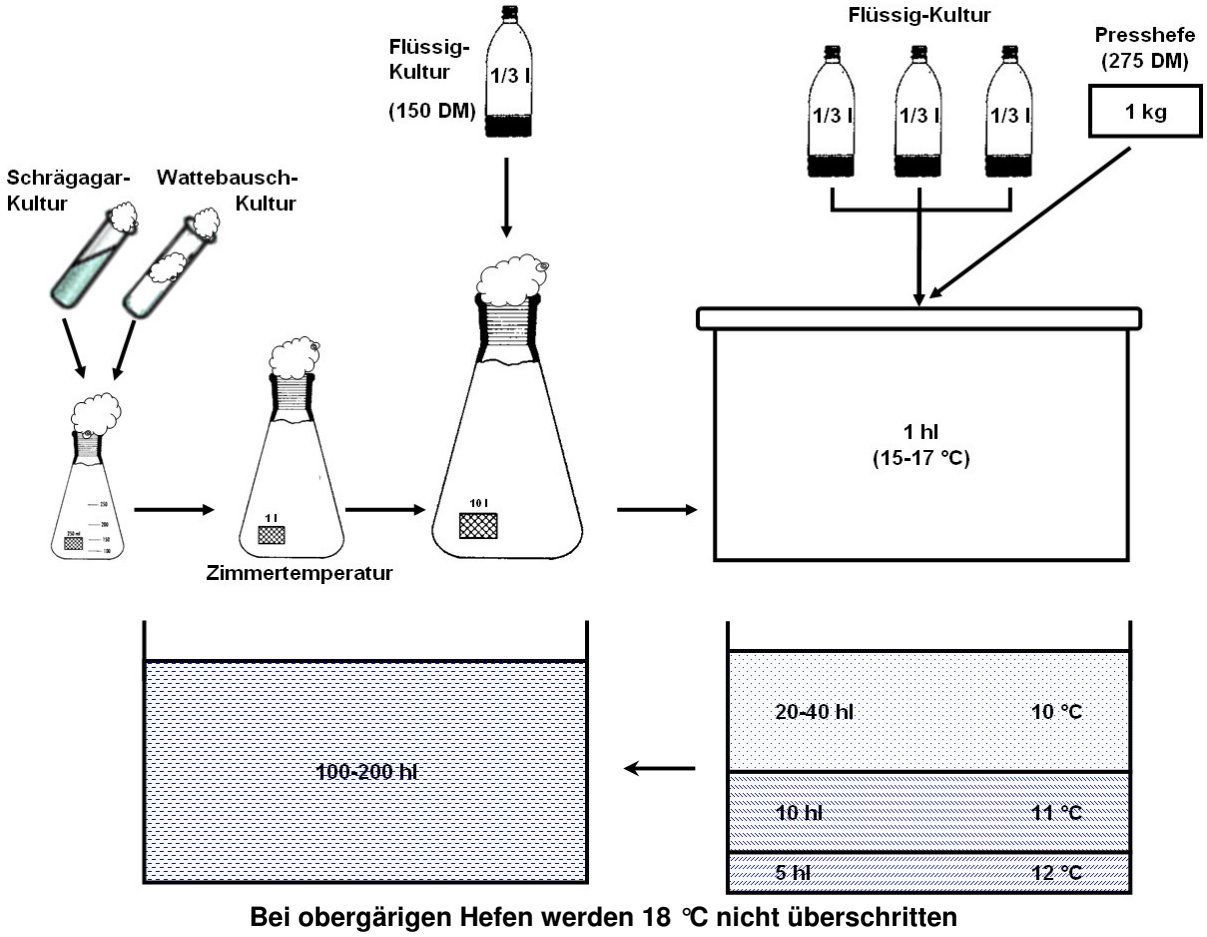


Abbildung 8: Hefeherführungs-Schema

➲ Anforderungen an Betriebshefe: ⇨ (siehe *„3.1.1 Anforderungen an Betriebshefe“*)

➲ Gewinnung der Betriebshefe (Anstellhefe):
- ⇨ im Betrieb herführen (keimarm)
- ⇨ Bezug von anderen Brauereien (dortige Betriebshefe; flüssig oder fest)
- ⇨ Reinzucht
  - ➢ Bezug von Instituten (Hefebank; flüssig oder fest)
  - ➢ eigene Hefereinzucht

➲ Vorteile einer eigenen Hefereinzucht:
- ⇨ keine Infektion von außen
- ⇨ Betrieb hat immer genügend biologisch einwandfreie Hefe
- ⇨ Hefegewinnung kann gesteigert werden (z.B. Hefeverkauf)
- ⇨ Herführung von besonderen Hefen möglich

➲ Nachteile einer eigenen Hefereinzucht:
⇨ hohe Anschaffungskosten
⇨ hohe laufende Kosten (arbeitsaufwendig)
⇨ Hefe braucht sehr gute Würzezusammensetzung (Gefahr bei Rohfruchtbieren)
⇨ Hefe muss regelmäßig entnommen werden (Autolyse-Gefahr)
⇨ Gärkraft der Hefe kann nachlassen (bei Betrieb über längere Zeit)

4.11 Maßnahmen zur Beschleunigung der Hauptgärung

➲ Beschleunigte Gärung durch:
⇨ höhere Hefegabe (Vorsicht ⌦ Autolysegefahr!)
⇨ höhere Gärtemperaturen
⇨ besondere Gärverfahren (Wellhoener, Nathan)
⇨ Druckgärverfahren
⇨ kontinuierliche Verfahren (Gärturm, 2-Tage-Bier, …)
⇨ Bewegung der Hauptgärung

➲ Vorteile:
⇨ kürzere Gär- und Lagerzeiten (Summe ca. 10-14 d)
⇨ geringerer Platzbedarf
⇨ geringere Betriebskosten
⇨ geringere Investitionskosten

➲ Nachteile:
⇨ oft höherer Anteil an Gärungsnebenprodukten
⇨ Nachbehandlung der Biere nötig (CO_2-Wäsche, Stabilisierung)
⇨ Biere sind oft geschmacklich instabil
⇨ Gefahr der Hefeautolyse

4.12 Nebenprodukte der Gärung

Alle Hefen bilden – je nach Gärbedingungen – organische Verbindungen (Säuren, Ester, Aldehyde, S-haltige Verbindungen, …) und Fuselöle (höhere Alkohole).

Etwa 2 % der Glucose der Würze gelangt in den Baustoffwechsel, weitere 3 % der Glucose ergeben Gärungsnebenprodukte – außer Fuselöle.

Anteil der Gärungsnebenprodukte hängt ab von:
⇨ Gärbedingungen (Temperatur, Druck, …)
⇨ Heferasse
⇨ Hefemenge
⇨ Hefebehandlung
⇨ Würzezusammensetzung (AS, Mineralien, …)
⇨ Würzebehandlung
⇨ vorhandenem Sauerstoff

Die organischen Verbindungen (Ester, Aldehyde, …) werden meistens zum Beginn der Hauptgärung gebildet und ergeben den unreifen Jungbiergeschmack. Einige (Ester) werden später nicht mehr abgebaut, andere (Aldehyde, S-haltige Verbindungen, …) werden gegen Ende der Hauptgärung bzw. bei der Lagerung (*Nachgärung*) abgebaut bzw. durch die Gärgase ausgeschieden.

Diacetyl (Schwellenwert 0,12 mg/l)
Bei der Hauptgärung wird die Vorstufe (Acetolactat) gebildet. Durch Oxidation entsteht daraus Diacetyl. Diacetyl ergibt einen unreinen Sarcina- /Pasteur-Geschmack. Gegen Ende der Hauptgärung wird es über Acetoin zu Butandiol abgebaut. Wird das Jungbier während der Gärung nochmals belüftet (z.B. Fehler beim Schlauchen), so vergärt die Hefe mit einer verstärkten Acetolactatbildung. Eine weitere Ursache für Diacetyl sind Infektionen (Sarcina, …).
Je gärkräftiger die Hefe, desto besserer Abbau.

Fuselöle
Fuselöle werden aus einigen Aminosäuren durch Verkürzen der C-Kette (Decarboxylierung) und Abspalten der NH_2-Gruppe (Desaminierung) gebildet. Dies erfolgt besonders bei Starkbieren bzw. hohen Gärtemperaturen. Fuselöle werden später nicht mehr abgebaut.

Der Anteil der Gärungsnebenprodukten kann teilweise gesenkt werden durch:
- optimale Würzezusammensetzung
- kalte Gärtemperaturen
- gärkräftige Hefen
- Nachgärung bei der Lagerung

4.13 Schlauchreife

➲ hängt ab von:
- ⇨ Vergärungsgrad (GVG ca. 12-15 % unter EVG; = ca. 1,2-1,4 % Spindeldifferenz)
- ⇨ Bruchbildung der Hefe (Hefe sollte nach 24 h abgesetzt sein)
- ⇨ Hefemenge der Nachgärung (grün bzw. lauter schlauchen; durchschnittlich 10-15 $\cdot 10^6$ Hefezellen/ml Jungbier)
- ⇨ Temperatur des Jungbieres (Bruchhefe 3,5-5 °C; Staubhefe 2-3 °C)
- ⇨ Geschmack (frei von Geschmacksfehlern, Diacetyl, …)

➲ Überprüfung durch:
- ⇨ Spindelung
- ⇨ Gläschen-(Zwickel)probe
- ⇨ Temperatur im Bottich/Tank
- ⇨ Geschmacksprobe

weiterhin:
- *⇨ biologische Probe (NH_3, NBB, …)*
- *⇨ ph-Wert (Ø 4,35-4,65)*
- *⇨ Nebenprodukte (Diacetyl, …), besonders bei Schnellgärverfahren*

4.13.1 Schlauchen des Jungbieres

➲ Arbeitsgänge:
- ⇨ Decke abheben
- ⇨ Wechsel reinigen und desinfizieren
- ⇨ Leitung mit Wasser befüllen
- ⇨ Lagertanks evtl. vorspannen
- ⇨ Jungbier auf verschiedene Tanks verteilen (stoßfrei pumpen)
- ⇨ Füllen der Lagertanks bis Handbreite unter Spundloch (ZKL bis ca. 1-1,5 m)

➲ Möglichkeiten:
- ⇨ (a) grün schlauchen – viel Hefe und viel Extrakt im Jungbier
  - ↳ bei kalten Lagertemperaturen bzw. längeren Nachgärzeiten
- ⇨ (b) lauter schlauchen – wenig Hefe und wenig Extrakt im Jungbier
  - ↳ bei warmen Lagertemperaturen
- ⇨ (c) Aufkräusen (Menge 8-12 %; Vergärungsgrad 20-25 %)
  - ↳ entspricht etwa (a)

Maximale Fließgeschwindigkeit beim Schlauchen 1,5 m/s; bei höheren Geschwindigkeiten entbindet sich CO_2.

www.bierbrauerei.net

V. LAGERKELLER / REIFUNG DES BIERES

➲ Aufgaben:
- ⇨ Nachgärung
- ⇨ Vergärung des Restextraktes (↳ AVG)
- ⇨ Klärung des Bieres (Hefe, Eiweiße, Hopfenbitterstoffe, …)
- ⇨ CO_2 – Bildung und –Bindung (Sättigung)
- ⇨ Reifung, Abrundung, Geschmacksveredelung (CO_2-Wäsche)

➲ Auslegung:
- ⇨ ca. 1/7 bis 1/10 des Jahresausstoßes

➲ Ausstattung:
- ⇨ liegende Tanks (Alu, Stahl, evtl. emailliert, …)
- ⇨ stehende Tanks (ZKL, out-door-Tanks, …)
- ⇨ Krick-Tanks (eckige, gemauerte Tanks)

➲ Kühlung:
- ⇨ Raumkühlung
  - ➢ *Umluft*
  - ➢ *stille Kühlung* (K-Schlangen mit Sole oder Verdampfung von NH_3, Frigen)
- ⇨ Einzelkühlung
  - ➢ *Mantelkühlung* (Sole; Alkohol/H_2O-Gemisch, Glykol; direkte Verdampfung von NH_3, Frigen, …)
  - ➢ *Kühlschlangen* (in Krick-Tanks)

➲ Lagerzeit hängt ab von:
- ⇨ Biertyp
- ⇨ Konzentration (Stammwürze)
- ⇨ Hopfengabe
- ⇨ Vergärungsgrad (Restextrakt)

➲ Brauerregel:
- ⇨ „alt und kalt“ ⌦ je stärker ein Bier und je höher die Hopfengabe, desto länger sollte gelagert werden!

5.1 Vergärung des Restextraktes

Sollte gleichmäßig über gesamte Lagerzeit erfolgen (1. bis 3. Tag ca. 0,2-0,4 % Extraktabnahme)

➲ Nachgärung hängt ab von:
- ⇨ Würzezusammensetzung
- ⇨ Hefeart, Hefemenge
- ⇨ Menge des Restextraktes
- ⇨ Verwendung von Kräusen
- ⇨ Schlauchtemperatur } Gefäßgröße ➢ langsame Abkühlung
- ⇨ Lagerkellertemperatur } Gefäßgröße ➢ langsame Abkühlung
- ⇨ Verwendung von Hilfsstoffen (z.B. Biospäne)

➲ Beispiels-Verlauf:

Lagerzeit [d]	0	3	7	14	21	35	49
Biertemperatur [°C]	4,5	3,0	2,7	1,0	0,0	-0,7	-1,0
Spindel-Diff. EVG-AVG [%]	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2

www.bierbrauerei.net

➲ AVG_S (Ausstoßvergärungsgrad):
- ⇨ helle Biere bis 0,5-2 (- 4) % ➢ unter EVG_S; Pils oft max. 0,5 %
- ⇨ dunkle Biere bis 3 % ➢ unter EVG_S; Pils oft max. 0,5 %
- ⇨ Volksfestbiere teikweise 2-3) % ➢ unter EVG_S; (Differenz ↳ Vollmundigkeit)

Merke: Je höher EVG_S und je geringer die Differenz EVG_S – AVG_S, desto stabiler sind die Biere!

5.2 Klärung des Bieres

➲ Klärung hängt ab von:
- ⇨ Hefeart (Bruchhefe / Staubhefe)
- ⇨ Intensität der Nachgärung (Restextrakt, …)
- ⇨ Lagerkellertemperatur (lösliche Eiweißgerbstoffverbindungen ↳ unlöslich)
- ⇨ Bauart der Lagergefäße (Fallhöhe, …)
- ⇨ Lagerzeit
- ⇨ Biertemperatur (je tiefer – desto langsamer)
- ⇨ Viskosität der Biere (je höher – desto langsamer)
- ⇨ Menge & Beschaffenheit der Trübungsteilchen (Hefezellen, Eiweiße, Bitterstoffe, …)
- ⇨ Zugabe von Hilfsmitteln (Stabilisierungsmittel, Biospäne, …)

➲ Verbesserte Klärung durch:
- ⇨ Späne (= Buchen- bzw. Haselnussholz, 15-20 cm lang) bzw. Bio- /Ultraspäne (= imprägnierte Holzteilchen) 5-20 g/hl
  ↳ Adsorption
- ⇨ Kieselgele bzw. Bentonite (= Alu-silikate) 50-100 g/hl
  ↳ Adsorption
- ⇨ Alufolien (mit aufgerauter Oberfläche) 5-10 g/hl (selten)

➲ Im Ausland:
- ⇨ Gelatine 3-5 g/hl (bzw. Agar-Agar)
- ⇨ Tannin 3-10 g/hl
- ⇨ Hausenblase, isländisch Moos usw. 3-5 (10) g/hl

5.3 CO_2 – Bildung und CO_2 – Bindung

➲ CO_2 – Gehalt hängt ab von:
- ⇨ Intensität der Nachgärung (Temperatur, …)
- ⇨ Restextrakt
- ⇨ Spundungsdruck (0,1 bar höher ➢ 0,03 % CO_2 mehr)
- ⇨ Lagertemperatur (1 °C kälter ➢ 0,01 % CO_2 mehr)
- ⇨ Lagerzeit

➲ Angestrebte Endwerte:
- ⇨ Fassbier ➢ 0,45 %
- ⇨ Flaschenbier ➢ 0,45 %
- ⇨ Weizenbier ➢ 0,45 %

➲ CO_2-Gehalt ist verantwortlich für:
- ⇨ Geschmack (Rezens)
- ⇨ Bekömmlichkeit
- ⇨ Schaum
- ⇨ Stabilität (gute Nachgärung ➢ gute Klärung)

➲ Nachkarbonisieren:
- ⇨ bei zu geringem CO_2-Gehalt des Bieres
- ⇨ max. 0,07 - 0,1 % möglich (nur Zugabe von brauerei-eigener CO_2 erlaubt!)

5.4 Reifung des Bieres

➲ Reifung hängt ab von:
- ⇨ Intensität der Nachgärung (CO_2-Wäsche, …)
- ⇨ Hefeart
- ⇨ Klärung des Bieres
- ⇨ Lagerzeit
- ⇨ evtl. zusätzliche CO_2-Wäsche

➲ Überlagerte Biere:
- ⇨ schmecken leer (AVG = EVG)
- ⇨ haben evtl. unreinen Geschmack (Hefeautolyse, …)
- ⇨ enthalten evtl. viele Ester und Fuselöle

➲ Reifung bedeutet:
- ⇨ Abrundung und Veredelung des Geschmackes (Jungbiergeschmack - Acetaldehyd, SO_2, Diacetyl… nehmen ab)
- ⇨ Verbesserung des Geruchs
- ⇨ Anhebung der Bekömmlichkeit (CO_2, Restextrakt, …)
- ⇨ Ausscheiden von Eiweiß-Gerbstoffverbindungen
- ⇨ Bitterstoffausscheidung
- ⇨ Klärung (Hefe setzt sich ab)

Diacetylabbau besonders bei warmer Lagerung (z.B. von 0,35 mg/l → < 0,1 mg/l)

5.5 Lagerung und Reifung im ZK-Tank

➲ Daten zu ZK-Tanks:
- ⇨ Durchmesser 3-6,5 m
- ⇨ h_{ges} 10-25 (40) m
- ⇨ Inhalt 700-5.000 hl
- ⇨ Konus < 60-70°
- ⇨ Steigraum 20-25 % (ca. 1,5 m)
- ⇨ je nach Gärung neue Forderung (seit ca. 3-4 Jahren)
  - ↳ h_{max} 10-12 m (D : H = 1 : 2)

➲ Allgemeine Vorteile:
⇨ bessere Reinigung (CIP) möglich
⇨ jeder Tank einzeln gekühlt (Vergleich – große, alte LK)
⇨ für Schnellgärverfahren gut geeignet ↳ billigere Produktion
⇨ geringer Platzbedarf
⇨ leicht zu demontieren (↳ Betriebsverlagerung - Vergleich Kricktank)
⇨ schnellere Hauptgärung (bei kalten Temperaturen ca. 1 d weniger – Konvektion, …)

➲ Allgemeine Nachteile:
⇨ Konuskühlung nötig (für Konvektion – sonst Temperaturschichtung unten warm / oben Eis)
⇨ Tank sollte in ca. 12-15 h befüllt sein.
⇨ Bitterstoffverluste (besonders bei Schnellgärverfahren)
⇨ für obergärige Biere schlecht geeignet (Druck auf Hefezelle ↳ neg. Biergeschmack)
⇨ geringere Hefeernte (besonders bei Staubhefen und Schnellgärverfahren ↳ evtl. Filtrationsprobleme; Abhilfe – starke Kühlung, Hefe öfter weg)
⇨ evtl. besondere Heferasse nötig (Temperatur, Druck, …)
⇨ Biere müssen oft nachkarbonisiert werden.

⌦ Bei ZK-Tanks über 12/15 m Gesamthöhe:
⇨ evtl. schlechterer Schaum (Konvektion, Kolloide fallen aus, …)
⇨ schlechtere Klärung (Hefeseparator, starke Kühlung ca. 24 h vor Filtration nötig)
⇨ evtl. höherer Anteil an Gärungsnebenprodukten (Fuselöle, Ester, DMS)
⇨ Hefe oft nur 2-3 x verwendbar (besonders bei Schnellgärverfahren)
⇨ Gärdecke bricht bei Druck zusammen ↳ breite Nachbittre…

➲ Verfahrensweisen:
⇨ Lagerung nur zusammen mit Hauptgärung sehen.
⇨ Oft werden Aufgaben der Nachgärung nicht erfüllt (Reifung, CO_2-Anreicherung, …). Lagerung hängt vom VG der Hauptgärung ab (Temperatur, EVG, Würzezusammensetzung, FAN, pH-Wert, …)
⇨ EVG (AVG) sollte mind. 24 h vor Filtration erreicht sein
⇨ Diacetyl sollte vor Lagerung unter 0,12 mg/l liegen (muss beim Ausstoß abgebaut sein).

Viele Kombinationsmöglichkeiten der Vergärung, z.B.:

↳ kalte HG (max. 9 °C)	➢ kalte NG (bis unter 0 °C	- 2-4 Wochen)
↳ kalte HG (max. 9 °C)	➢ warme NG (ca. 9 °C	- 2-3 Wochen)
↳ warme HG (15-20 °C) evtl. als Druckgärung	➢ warme NG (ca. 20 °C	- 2 -3 d, danach Kaltlagerung)

➲ Diacetylabbau besser bei:
⇨ hohe (NG) Temperatur
⇨ höhere pH-Werte (statt 4,2/4,0)
⇨ FAN ca. 21-25 mg/100 ml

➲ Bei allen Verfahren:
⇨ Diacetylgrenze max. 0,12 mg/l
⇨ evtl. mit Kräusen (ca. 20 %) arbeiten
⇨ DMS (Dimethylsulfid) mit CO_2 austreiben

5.5.1 1-Tankverfahren

Haupt- und Nachgärung im selben ZK-Tank. Nach der Hauptgärung wird die Hefe vom Jungbier getrennt („abschießen“ lassen).

➲ Vorteile:
⇨ geringerer Arbeitsaufwand
⇨ geringere Tankanzahl nötig (weniger Pufferkapazität, geringere Investitionskosten)

➲ Nachteile:
⇨ evtl. Hefegeschmack, falls bei Nachgärung zu viel Hefe
⇨ evtl. härterer Biergeschmack
⇨ evtl. Reinigungsprobleme (Brandhefe, …)

Direktor G. Zasio aus Rom schilderte das

Eintankverfahren

mit Erkenntnissen aus mehreren Jahren praktischer Anwendung. In der Peroni-Brauerei in Padua ermittelte man seinerzeit eine Differenz in den Gesamtkosten zwischen Einzelisolierung und herkömmlicher Tankaufstellung von rund 0,7 %. Man wählte zylindrokonische Gärtanks aus Flussstahl mit Innenauskleidung, ausgelegt für einen Betriebsdruck von 2 bar. Die 1.600 hl fassenden Tanks weisen ein Verhältnis von Höhe zu Durchmesser wie 3,9 : 1 auf. Für Spezialbiersorten existieren daneben ZKG's mit 850 hl Inhalt, bei denen das Verhältnis Höhe zu Durchmesser wie 3,4 : 1 liegt.

43 % der Gefäßoberfläche sind mantelgekühlt, von den Kühlzonen befinden sich zwei im Zylinder, die dritte im Konus, sie werden mit Propylen-Glykol beschickt. Der Konuswinkel beträgt 60 Grad.

Der gesamte Bierwerdegang in Padua erstreckt sich auf 21 Tage vom Sudhaus bis zur Abfüllung.

Durch das Arbeiten mit den beschriebenen Gärtanks erzielte man u. a. eine Hopfenersparnis von etwa 12 %. Es wird mit 5 °C und 20-22 Mio. Hefezellen/ml angestellt, wobei man die Würze mit 7-8 mg O_2/l sättigt. Die Befüllzeit der Tanks beträgt 6 h. Man lässt die Gärtemperatur auf max. 12 °C steigen und kühlt in 70 h von 12 °C auf -1,5 °C ab, das Bier ist dann endvergoren und liegt 4-7 d bei -1,5 °C (Kaltphase).

Jeder Tank wird einzeln filtriert und abgefüllt

Die großen Tanks fassen 2 Sude, der erste Sud wird mit 8 Mio. Hefezellen/ml, der zweite Sud mit 25 Mio. Hefezellen/ml angestellt. Die Belüftung verteilt sich auf 4 mg O_2/l im ersten und 7-8 mg O_2/l im zweiten Sud. Die Würze wird kalt filtriert. Sie ist mittels Zitronensäure auf pH 5,1 eingestellt. Die Hefe geht acht mal und wird gesiebt, der max. Gärdruck beträgt 0,9 bar.

Der Kieselgurverbrauch für die Bierfiltration liegt unter 130g/hl.

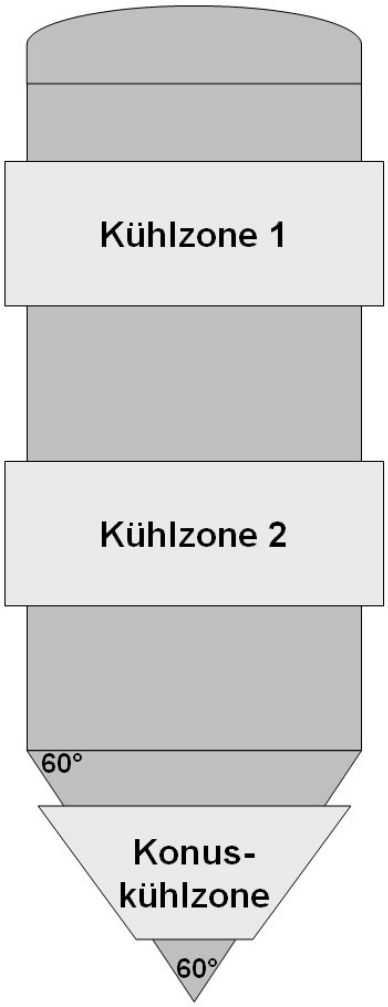


Abbildung 9: Kühlschema eines zylindrokonischen Gärtanks

5.5.2 2-Tankverfahren

Hauptgärung im ZGK, Nachgärung im zweiten anderen Tank (z.B. ZKL, Kombitank oder normaler Lagertank, …). Je nach Gärverfahren erfolgt im Lagertank eine Ruhephase oder eine echte Nachgärung. Auch ist die Verwendung von Kräusen beim Schlauchen möglich.

- Vorteile:
  - ⇨ bessere Trennung von Hefe möglich (kein Hefegeschmack, …)
  - ⇨ mehr Möglichkeiten der Technologie (Verschneiden, Aufkräusen, Stabilisierung, …)
- Nachteile:
  - ⇨ arbeitsaufwendiger (doppelte Reinigung, … ↳ höhere Wasserkosten)
  - ⇨ mehr Tanks nötig (Investitionskosten, …)

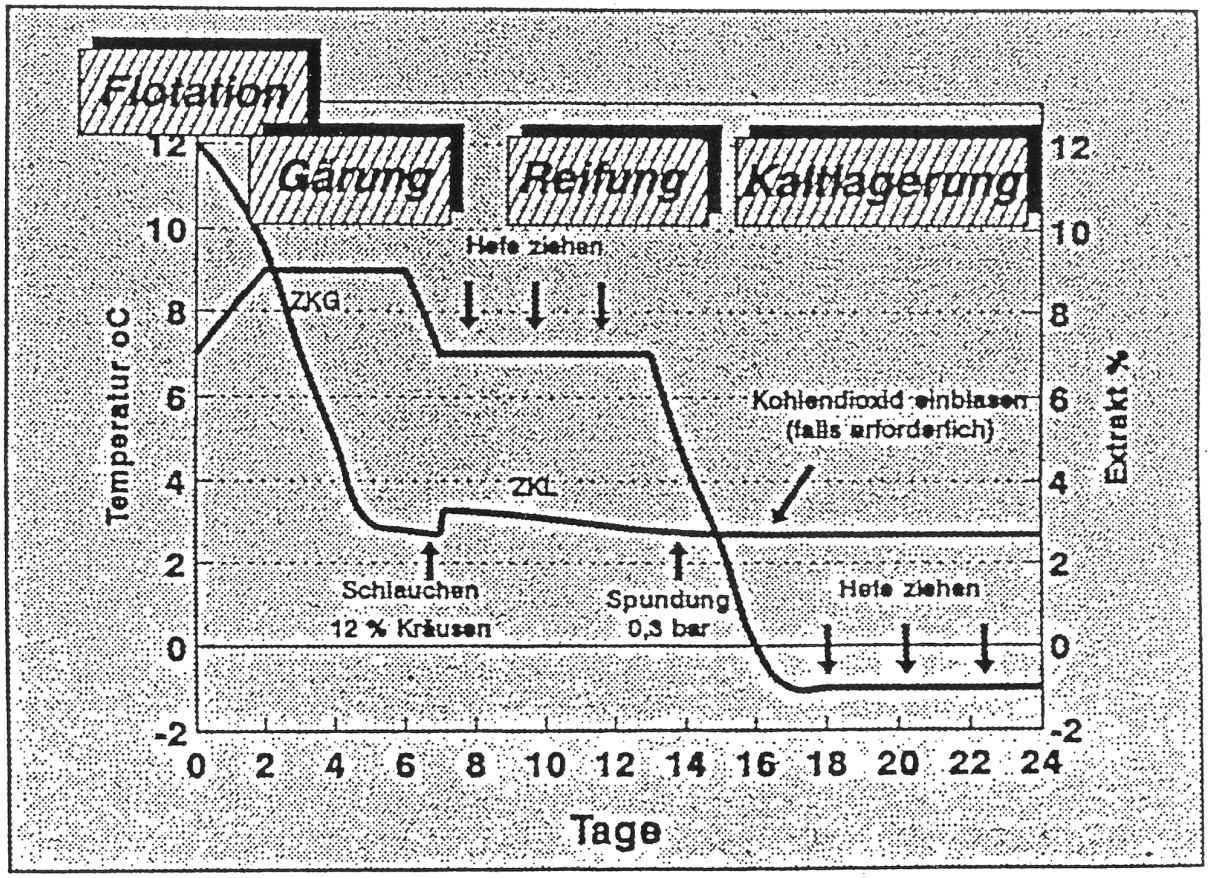


Abbildung 10: Gärung, Reifung und Kaltlagerung des Bieres

5.6 Kontrolle der Nachgärung

- Biertemperatur
- Extrakt (Spindelung)

} anfangs wöchentlich, später (nach 2-3 Wochen) 14-tägig

- CO_2-Gehalt
- Natürliche Klärung
- Geschmack
- Farbe
- pH-Wert
- Schaum
- biologische Haltbarkeit

bei Schnellgärverfahren:
- *Kontrolle der Gärungsnebenprodukte (Diacetyl, …)*

5.7 Spunden des Bieres

Spundung ist notwendig, um eine CO_2-Anreicherung im Bier zu erhalten.

Aber: erst prüfen, ob Tank „kommt", d.h. angärt!

- Möglichkeiten:
  - ⇨ *Einzelspundung,* d.h. ein Spundapparat für jeden Tank
  - ⇨ *Gruppenspundung,* d.h. vier Tanks gehen in gemeinsamen Spundapparat
  - ⇨ *Kolonnenspundung,* d.h. ein Spundapparat für mehrere hintereinander gehängte Tanks (Gefahr, dass Spundapparat sprudelt, obwohl ein Tank nicht (mehr) arbeitet)

- Spundapparate:
  - ⇨ Wassersäule (eine hohe oder mehrere Säulen in Reihe geschaltet); 1m Wassersäule = 0,1 bar
  - ⇨ Federspundapparat (Federkraft drückt auf Membran)
  - ⇨ Gewichte – Spundapparat

Während der Lagerung ist gleichmäßiges CO_2-Abblasen wichtig!

www.bierbrauerei.net

VI. FILTRATION / KLÄRUNG DES BIERES

➲ Aufgaben:
- ⇨ Entfernung von Teilchen ↳ glanzfeines Bier
- ⇨ Entfernung von Geschmacksträgern ↳ besserer Biergeschmack
- ⇨ Verbesserung der Haltbarkeit (biologisch, chemisch-physikalisch, sensorisch)

➲ Arbeitsweise: (= weitgehend mechanische Trennung von Teilchen und Flüssigkeit durch:)
- ⇨ (a) Sedimentation (Separieren) ↳ Zentrifugen; scheidet grobe Teilchen Hefen, koag. Eiweiß) aus
- ⇨ (b) Siebwirkung ↳ Filter; scheidet (a) und Kolloide (Eiweiß-Gerbstoffe, Hopfenharze) aus
- ⇨ (c) Adsorption (elektr. Anlagerung) ↳ Filter; scheidet (a) und (b) und kleine Teilchen (Moleküle, Molekülverbände) aus

➲ Nachteile der Klärung:
- ⇨ schlechterer Schaum
- ⇨ leerer Biergeschmack

} Schaumträger und Aromaträger werden je nach Filtrationsschärfe untersch. entfernt
- ⇨ arbeits- und kostenaufwendig
- ⇨ evtl. Abfallprobleme (Kieselgur)

➲ Klärung bzw. Filtration hängt ab von:
- ⇨ Trübungsteilchen (Größe, Menge, Verformbarkeit)
- ⇨ Filtrationsdruck (> CO_2-Sättigungsdruck)
- ⇨ Viskosität der Flüssigkeit
- ⇨ Temperatur der Flüssigkeit

⇨ Verwendung von Filter-(hilfs-)mitteln

➲ reine Filtermittel (↳haben nur Siebwirkung)
- ⌦ Kieselgur
- ⌦ Zellulose
- ⌦ Baumwollfasern
- ⌦ Perlite

➲ Filterhilfsmittel (↳ mit Adsorptivwirkung)
- ⌦ Aktivkohle
- ⌦ Asbest
- ⌦ Kieselgele
- ⌦ Bentonite
- ⌦ PVPP

} gleichzeitig bzw. weitestgehend Stabilisierungsmittel

6.1 Kontrolle der Filtration

➲ Kontrolle von:
- ⇨ Filterleistung (hl/h)
- ⇨ Druckanstieg (bar/h)
- ⇨ Druckschwankungen (Diagramm)
- ⇨ Temperatur des Bieres
- ⇨ Laufende Dosage (g KG/hl)
- ⇨ Trübung
- ⇨ O_2-Verhältnisse
- ⇨ Geschmack, Geruch
- ⇨ biologische Haltbarkeit (Probefläschchen, Birkenstock)

➲ Kontrolle des Filtrates auf:
- ⇨ Trübungseinheiten
- ⇨ Eiweißstabilität
- ⇨ Hefezellen pro 100 ml (biologische Probe)
- ⇨ evtl. Sauerstoff (ml O_2/l)
- ⇨ CO_2-Gehalt
- ⇨ Geschmack, Geruch

6.2 PVPP-Filtration

(PVPP = **P**oly**v**inyl**p**oly**p**yrrolidon = Harz = Nylon, 5-400 µ Teilchengröße)

Dritte, zusätzliche Filtration zwischen KG- und Schichtenfilter; zur Verbesserung der chemisch-physikalischen sowie der geschmackliche Stabilität der Biere.
PVPP-Filtration wird meist mit zusätzlichem ZHF-Filter durchgeführt.
PVPP lagert Polyphenole (Anthozyanogene sowie Gerbstoffe) an - senkt Polyphenolgehalt auf 30-60 %.

➲ Arbeitsweise:
- ⇨ Voranschwemmung ca. 200 g PVPP/m^2 mit H_2O;
- ⇨ Filter mit CO_2 leer drücken, vorspannen
- ⇨ laufende Dosage 20-35 g/hl (in BRD max. 50 g/hl erlaubt)
- ⇨ bei Filtrationsende mit CO_2 leer drücken

➲ Regenerieren des PVPP: (nach 3-4 Filtrationen)
- ⇨ z.B. ca. 10 min. mit 1 %-iger NaOH bei 70 °C
- ⇨ 5 min. Heißwasser
- ⇨ 10-15 min. 0,8 %-ige NaOH bei 85 °C oder angesäuertes Wasser (Salpetersäure)
- ⇨ dann Heißwasser
- ⇨ Kaltwasser (mit CO_2-Anreicherung)

➲ Vorteile:
- ⇨ Verbesserung der Stabilität
- ⇨ Kombination mit Kieselgelen möglich
- ⇨ automatisierbar

➲ Nachteile:
- ⇨ teuer (Anschaffung dritte Filtration)
- ⇨ PVPP-Verluste (1-2 %)
- ⇨ senkt Pufferung des Bieres (Bier „altert“ evtl. schneller)
- ⇨ O_2-Aufnahme ca. 0,02 mg/l

➲ Anmerkungen zur PVPP-Filtration:
Die Filtration greift in das kolloidale Gefüge des Bieres ein. Sie verändert den Anteil der Tannoide (=Polyphenole aus Malz und Hopfen). Obwohl diese Tannoide nur in geringen Mengen im Bier vorkommen, haben sie große Bedeutung bei der chemisch-physikalischen sowie geschmacklichen Stabilität des Bieres. Einerseits können sie empfindliche Eiweiße aus Würze und Bier ausfällen, andererseits wirken sie als Pufferstoffe, welche den Alterungsprozess verzögern. PVPP reagiert als eiweißähnliche Verbindung mit den reduzierenden Substanzen aus Malz und Hopfen (Tannoide, Melanoidine, …)
Würze oder Bier können nicht gleichzeitig tannoid- und proteinfrei sein. Es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Proteinen und Tannoiden ein. Im Laufe der Alterung des Bieres werden

www.bierbrauerei.net

die Tannoide zu echten Gerbstoffen überführt. Diese können jetzt mit einigen Eiweißen reagieren und weniger lösliche Verbindungen bilden. Dieser Vorgang ist die erste Stufe für Trübungen und nimmt viel Zeit in Anspruch. Die Pufferstoffe des Bieres sind oxidationsanfällig und mindern dadurch die geschmackliche Qualität und die kolloidale Stabilität. Hauptsächlich wird der Frischegeschmack durch einen Alterungsgeschmack verdrängt. Einem durch Luftsauerstoff geschädigten Bier fehlt die Rezenz. Im Hinblick auf die Transportbewegungen und die meist ungünstigen Lagerbedingungen, denen die Biere bis zum Konsum ausgesetzt sind, ist die Kontrolle der reduzierenden Substanzen besonders wichtig. Es zeigte sich, dass die Geschmacksstabilität der Biere mit Pufferstoffen (reduzierende Substanzen) im Allgemeinen gut ist.

6.3 Cross-Flow-Filtration

Die herkömmliche KG-Filtration hat große (ökologische) Nachteile. Deshalb versucht man seit Jahren neue Wege der Filtration – auch für Bier – zu gehen, ohne dass KG oder ähnliche Filterhilfsmittel nur einmal benutzt werden. Die Verwendung von aufbereiteter KG (Anwendung 20-30 %) brahcte nicht den gewünschten Erfolg, da

1) die aufbereitete KG keine finanziellen Vorteile bringt,
2) vereinzelt Probleme beim Filtrat auftraten.

Ein völlig neuer Weg ist die „Cross-Flow-Filtration“. Dabei fließt das Unfiltrat, z.B. Bier, an einem vorgefertigten Modul (aus KF, Filtermasse, usw.) vorbei und während der waagerechten Fließrichtung geht die Flüssigkeit durch das Modul und wird dabei geklärt. Von der Bauweise unterscheidet man

a) Röhrenmodule – mit geringerer Stundenleistung (ca. 1 hl/100 hl)
b) Flächenmodule – mit höherer Stundenleistung (ca. 7 hl/100 hl)

Während der Filtration wird das Unfiltrat im Kreislauf gepumpt.

Bisher wird die Cross-Flow-Filtration in Deutschland nur als Nachfilter gefahren (Vorfiltration: z.B. Zentrifugen oder KG-Filter). Bessere Erfolge erzielt man zurzeit bei der Weinfiltration bzw. im Ausland, wobei dort die Biere zum Teil enzymatisch vorbehandelt werden.

➲ <u>Allgemeine Vorteile:</u>
⇨ längere Standzeiten, da teilweise Selbstreinigung der Module durch waagerechte Fließrichtung
⇨ druckunempfindlicher als klassische KG-Filtration

➲ <u>Allgemeine Nachteile:</u>
⇨ keine biologische Sicherheit (EK-Nachfiltration nötig)
⇨ Module erwärmen sich während der Filtration
⇨ geringe Leistung (besonders Platten-, Röhrenmodule)
⇨ nur begrenzte Betriebsdrücke möglich
⇨ begrenzte Filtrierbarkeit (β – Glucane, Schnellgärverfahren, …)
⇨ evtl. Abfall-/ Entsorgungskosten

6.4 Verbesserung der Bierstabilität

- (a) biologische Haltbarkeit
- (b) chemisch-physikalische Haltbarkeit
- (c) geschmackliche (sensorische) Haltbarkeit

zu (a) biologische Haltbarkeit:

Gefahren:
- mangelhafte Filtration
- Infektionen bei der Gärung
- Sekundärinfektionen
- viel Restextrakt
- alkoholarme bzw. alkoholfreie Biere

Folgen:
- Bodensatz
- Trübungen
- Geschmacksveränderungen
- evtl. höherer Druck (➢ Flaschenbruch)

Abhilfen durch:
- peinliche Sauberkeit
- gute Vergärung (hoher AVG)
- einwandfreie Desinfektionsmaßnahmen
- ausreichende Filtration
- Kurzzeiterhitzen, Pasteurisation, Heißabfüllung

➢ Pasteurisation:
Bier ist mit pH 4,3-4,6 ein selektiver Nährboden. Bierschädliche Mikroorganismen bilden normal keine Sporen, deshalb reicht für Abtötung:
- ca. 5 min. bei 54 °C für Hefen
- ca. 10 min. bei 58 °C für Lactobazillen.

1 PE (Pasteureinheit) = 1 min. bei 60 °C
Berechnung: PE = min. x 1,393

Je höher die Temperatur, desto kürzer die Zeit.
Normal reichen 10-14 PE, d.h. 1 min. bei 68 °C. Flaschen ca. 60 min. durch Pasteur ($T_{H\,20}$ max. 67 °C, ca. 15 min. halten ➢ Biertemperatur ca. 62 ^C).

zu (b) chemisch-physikalische Haltbarkeit:

Gefahren:
- schlechte Würzezusammensetzung
- schlechte Trubausscheidung
- schlechte Gärung, warme Lagerung
- mangelhafte Filtration
- hohe Luft- bzw. O_2-Werte im Bier
- Desinfektionsmittelrückstände
- Kontakt zu (Schwer-)Metallen

www.bierbrauerei.net

⌦ Folgen:
⇨ mangelhafte Klärung
⇨ Reaktionen im fertigen Bier ↳ Trübungen oder Bodensatz, Geschmacksveränderungen (O_2)

⌦ Abhilfen durch:
⇨ gute Sudhausarbeit
⇨ einwandfreie Trubausscheidungen
⇨ intensive, kalte Gärung und Lagerung
⇨ scharfe Filtration (unter 0 °C)
⇨ Zugabe von Stabilisierungsmitteln bei Lagerung und Filtration
⇨ Fernhalten von Luft (O_2) von Bier
z.B. 1. durch Konstruktion (kein Haubenfüller; Füllrohr, Vorevakuierung, CO_2-Vorspannung, …)
2. beim Befüllen
➢ Überschäumen durch Beklopfen, Ultraschall, H_2O-Einspritzung (8-14 bar), …
➢ störungsfreier Füllablauf (keine Stillstandszeiten)
⇨ Desinfektionsmittel gut ausspülen
⇨ im Ausland: Zugabe von Enzymen (Papain, usw.)

<u>↳ zu (c) geschmackliche (sensorische) Haltbarkeit:</u>

⌦ Gefahren:
⇨ Licht
⇨ Luft (O_2)
⇨ Gärungsnebenprodukte
⇨ Wärme

⌦ Folgen:
⇨ Reaktionen im fertigen Bier mit geschmacklichen Verschlechterungen (↳ Lichtgeschmack, Oxidationsgeschmack, …)

⌦ Abhilfen durch:
⇨ Fernhalten von Luft im Bier
⇨ abgefülltes Bier lichtgeschützt lagern
⇨ evtl. PVPP-Filtration
⇨ im Ausland: Zugabe von Antioxidantien (Ascorbinsäure)

VII. DESINFEKTIONSTECHNIK

Grundlage einer einwandfreien Desinfektion ist eine einwandfreie, (oft mechanische) Reinigung. Als Reinigungsmittel werden weitgehend alkalische Mittel verwendet.
Viele Betriebe trennen Reinigung und Desinfektion. Dadurch kann man gezielter in den einzelnen Bereichen vorgehen, z.B. Wechsel von Desinfektionsmitteln, … Man kann auch beide Arbeitsgänge zusammenfassen und mit einem kombinierten Mittel arbeiten. Dabei besteht aber die Gefahr, dass bei starker Verschmutzung das Mittel schon weitgehend für Reinigungszwecke verbraucht wird.

Desinfektionsmittel sollten in gewissen Zeitabständen, z.B. quartalsweise, gewechselt werden, wobei auch die Desinfektionsgruppen gewechselt werden sollten, z.B. von sauer zu alkalisch oder quaternär…

➲ <u>Definition:</u>
- ⇨ Desinfektion ➢ Bekämpfung einer Infektion (Kontamination)
- ⇨ Infektion ➢ Befall durch Mikroorganismen
- ⇨ Sterilisation ➢ Keimfreimachung

⌦ heiß; z.B. Dampf (10' bei 120 °C oder 3 x 20' bei 100 °C)
Heißluft (3 h bei 150 °C oder 30' bei 180 °C)
evtl. Druck (Autoklav, …)
⌦ kalt; z.B. EK-Filtration, Membranfiltration, …
⌦ Zugabe von Desinfektionsmitteln
⌦ Verwendung von Strahlung, Schutzgas, …
⌦ Ausglühen, Abflambieren von Kleingeräten (Impfösen usw.)

⇨ Konservierung ➢ Haltbarmachung bei niederen Temperaturen z.B. für Bier
⌦ Hochkurzzeit (Plattenapparat) 30-60'' bei ca. 80 °C
⌦ Pasteurisation im Gebinde, ca. 45-60' durch Pasteur, davon ca. 10' bei 65-70 °C.

➲ <u>Anforderungen an Desinfektionsmittel:</u>
- ⇨ Material nicht angreifen
- ⇨ kein negativer Einfluss auf Halb- oder Endprodukte
- ⇨ für Menschen verträglich (Handhabung, Schutzmaßnahmen)
- ⇨ wirksam gegen Mikroorganismen
- ⇨ geringe Anwendungskonzentration
- ⇨ abwasserneutral (leicht abbaubar)
- ⇨ evtl. Möglichkeit der Wiederverwendung (stapelbar – nachschärfen)
- ⇨ preisgünstig
- ⇨ mögliche Einsatzbereiche (heiß/kalt, CIP-Schaum?)

➲ <u>Einteilung der Desinfektionsmittel:</u> (siehe auch „*7.1 Desinfektionsmittel*“)
- ⇨ saure Desinfektionsmittel
- ⇨ alkalische Desinfektionsmittel
- ⇨ neutrale Desinfektionsmittel
- ⇨ quaternäre Desinfektionsmittel

7.1 Desinfektionsmittel

	Anwendungs-konzentration	*Resistenzbildung*	*Nebenwirkungen*
(a) saure	1-2 %	Hefen, Schimmelpilze	senken pH – unbedenklich
(b) alkalische	2-5 %	bierschädliche Bakterien	Cl gibt schlechten Geschmack
(c) neutrale	0,5-1,0 %	--	fällen weitgehend Eiweiß aus
(d) quaternäre	0,05-0,1(1,0) %	--	fällen Eiweiß aus, schlechter Geschmack

zu (a):
⌦ Salze anorganischer Säuren, z.B.
H_2SO_3; H_2SO_4; H_2SiF_6 (Kieselfluorwasserstoffsäure); HF (Flusssäure) = Flammon
HNO_3 (Salpetersäure) = Elmocid sauer
HNO_3 + Al ➢ giftige Gase;
SO_2 greift Eisen an

zu (b):
⌦ enthalten Cl oder ClO (Hypochlorid)
Alkalität = Trägersubstanz (reagiert mit Schmutz, schneller Verbrauch)
Cl – Desinfektion; aber Cl greift Schweißnähte bei Edelstahl an

zu (c):
⌦ HCHO (Formaldehyd) zerfällt: Rückstände ➢ Trübung (Eiweißausfällung)
$2\ HCHO + O_2 \rightarrow 2\ HCOOH$ (Ameisenäure)
$H_2O_2 \rightarrow H_2O + ½\ O_2$ (nicht für Apparate!)
O_3 (Ozon) $\rightarrow O_2 + ½\ O_2$ (für Wasser und Luft)

zu (d):
⌦ Komplexe organische Verbindungen (Ammonium-, Phosphor,)
Rückstände ➢ unangenehmer, bieruntypischer Geschmack
➢ Trübungen (Eiweißausfällung)

7.2 Biersteinentfernung

Bierstein besteht aus ca. 80 % Calciumoxalat und ca. 20 % organischen Substanzen. Die Entstehung hängt hauptsächlich von Wasserhärte, Malzzusammensetzung (Oxalsäure) und Lagerzeit ab. Die Entfernung ist notwendig, da der großvolumige poröse Bierstein ideale Nistplätze für Mikroorganismen liefert.
Die Entfernung erfolgt meist durch saure Mittel (H_3PO_4, H_2SO_4, …), dabei wird der Bierstein schwammig und porös und kann leicht (mechanisch) entfernt werden. Das Prinzip lautet: *„Starke Säure treibt die Oxalsäure aus“*.
Die verwendeten Biersteinentfernungsmittel sind als Pasten oder Lösungen im Handel. Alkalische Mittel greifen nur das Metall (Alu) – nicht aber den Bierstein an. Einige Mittel (HNO_3, HCl, …) bilden giftige Gase.