5. Die Klärung des Bieres vor der Klärfiltration

Die natürliche Klärung des Bieres im Prozess der Gärung und Reifung wird von allen technologischen Einflussfaktoren beeinflusst, die auch die Filtrierbarkeit des Unfiltrates beeinflussen (s.a. Kapitel 3.). Die natürlichen Klärprozesse, insbesondere in der Kaltlagerphase, beeinflussen selbst wiederum die Filtrierbarkeit und die durch die einfache Kieselgurfiltration erreichbare kolloidale Stabilität des Filtrats.

5.1 Der Einfluss physikochemischer Faktoren auf die natürliche Klärung des Unfiltrates

Die natürliche Klärung des Unfiltrates beginnt am Ende des Gärprozesses bei $\Delta Vs = Vsend - Vs \approx 0\ldots5$ %. Die CO_2-Entwicklung lässt nach bzw. hört auf, die Turbulenzen im Lagergefäß lassen deutlich nach und die Hefezellen lagern sich zusammen und sedimentieren. Durch eine intensive Hefevermehrung und Gärung und den damit verbundenen pH-Wert-Abfall ist es zur Ausscheidung und Vergröberung der Trübungspartikel gekommen. Instabile Eiweiß-Gerbstoffkomplexe werden zum Teil an der negativ geladenen Hefeoberfläche adsorbiert und sedimentieren mit der Hefe.

Die *Brown*'sche Molekularbewegung hört bei einem Partikelgrößendurchmesser von > 0,5 µm auf und im laminaren Strömungsbereich bei $Re < 0{,}2$ beginnt die Sedimentation, die nach dem Sedimentationsgesetz von *Stokes* zu mindestens für die Hefepartikel theoretisch berechenbar ist (siehe [76]). Die Ausscheidung der instabilen Eiweiß-Gerbstoff-Verbindungen nimmt mit fallender Biertemperatur und sinkendem pH-Wert zu, wobei die pH-Wert-Absenkung vom pH-Wert der Würze auf den pH-Wert des Bieres möglichst schon in der Angärphase erfolgen sollte. Dadurch wird die Anlagerung dieser Stoffgruppen durch die intensiven Bewegungen des Gärmediums in der Hauptgärphase an die Hefeoberfläche und aneinander, z. B. über Wasserstoffbrücken, gefördert und ihr Dispersitätsgrad vergröbert.

Ihre Dispersitätsgradvergröberung und damit ihre schnellere Sedimentation kann verzögert oder ganz unterbunden werden, wenn sich die Eiweiß-Gerbstoffkomplexe mit anderen Polymeren (α- und β-Glucanen) verbinden, die sie wie ein Schutzkolloid länger in Schwebe halten (s.a. Trübungsmodell in Kapitel 3.2.4).

5.2 Einfluss der Dauer der Kaltlagerphase auf die Trübung und Filtrierbarkeit

Abbildung 50 zeigt den normalen Trübungsverlauf und die davon abhängige Entwicklung der Bierfiltrierbarkeit. Man erkennt, dass eine gute Filtrierbarkeit bei diesem Bier mit Mmax > 100 g (Membranfiltertest nach *Esser* [112]) ab 6…8 Tagen Kaltlagerung mit Trübungswerten < 80 NTU (= < 20 EBC-Einheiten) erreicht ist. Diese Dauer der Kaltlagerphase wird für untergärige Vollbiere mit der jetzigen Filtrations- und Stabilisierungstechnologie auch als allgemeiner Orientierungswert angenommen.

5.3 Die Temperatur des Unfiltrates in der Kaltlagerphase und der Einfluss auf die Klärung und kolloidale Stabilität

Die Kaltlagerphase für Biere mit langen Mindesthaltbarkeiten von etwa > 90…180 d soll aus den praktischen Erfahrungen heraus im Bereich zwischen 0…-2 °C (kurz über dem Gefrierpunkt des Bieres) liegen.

Den Einfluss der Lager- und Filtrationstemperatur auf die nichtbiologische Stabilität (hier ausgedrückt als Anzahl der Warmtage beim 1/1-Test bei 60 °C bis zur Erreichung einer Trübungszunahme bei 0 °C auf 2 EBC-Einheiten) ohne zusätzliche Stabilisierungsmaßnahmen zeigt Tabelle 35.

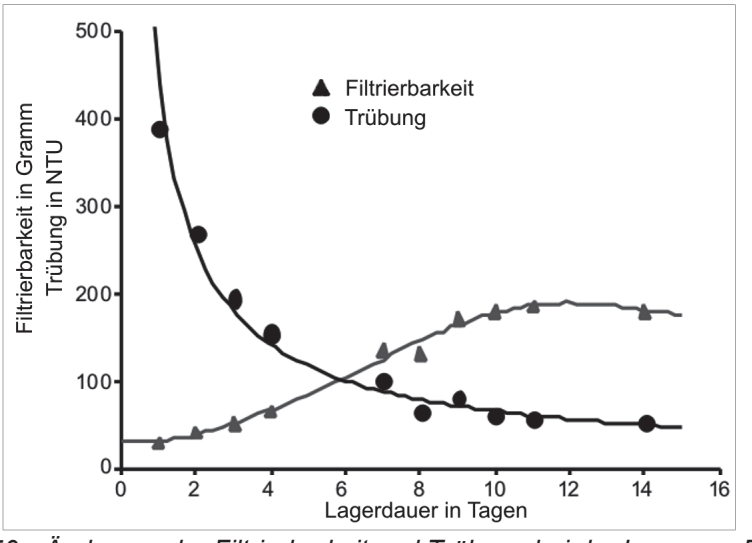


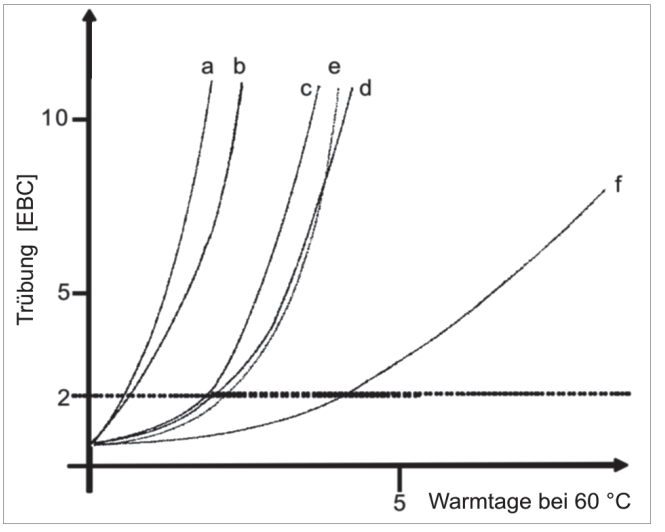
Abbildung 50 Änderung der Filtrierbarkeit und Trübung bei der Lagerung [113] NTU = Nephelometric Turbidity Unit; 1 NTU = 0,25 EBC-Einheiten; 1 EBC-Einheit = 4 NTU

Tabelle 35 Einfluss der Lager- und Filtrationstemperatur auf die kolloidale Haltbarkeit nach 7 Tagen Lagerung

Lager- und Filtrationstemperatur	4 °C	2 °C	0 °C	-2 °C
Anzahl der Warmtage bei 0 °C/60 °C/0 °C 1/1-Test	1,0 Tage	1,6 Tage	1,8 Tage	4,0 Tage

Für eine gute Vorstabilisierung der Biere allein durch die Temperatur und Dauer der Kaltlagerung sind bei normalen untergärigen Vollbieren 7…8 Tage bei 0…-2 °C erforderlich, wie es z. B. Abbildung 51 zeigt.

Welchen Einfluss die Kaltlagertemperatur auf das Unfiltrat des gleichen ZKT hat, zeigen auch die nachfolgend aufgeführten großtechnischen Versuchsergebnisse bei der Überprüfung der Inhomogenitäten eines ZKT mit Mantelkühlung.



	Lager-zeit in Tagen	Temperatur in °C
a	0	10
b	0	5
c	0	0
d	2	0
e	4	0
f	8	0

Abbildung 51 Einfluss von Lagerdauer und Temperatur auf die nichtbiologische Stabilität von unstabilisiertem Bier (nach [113])

5.4 Der negative Einfluss der Inhomogenität eines ZKT-Inhaltes auf die Trübung und kolloidale Stabilität des Bieres

Die Auswirkungen einer Überfüllung eines ZKT mit Mantelkühlung bzw. eine nicht korrekte Auslegung der Kühlflächen unter Berücksichtigung des Bruttoinhaltes des ZKT können zu deutlich inhomogenen Tankinhalten führen, wie die Ergebnisse einer Betriebsuntersuchung in Tabelle 36 zeigen:

- Die oberen ca. 300 hL Bier in der sog. „Warmzone“ wurden, wie die Temperaturmessungen am Filtereinlauf zeigen, nur unbefriedigend abgekühlt.
- Das mit gleicher Schärfe filtrierte wärmere Bier hatte gegenüber dem kälteren Bier eine deutlich schlechtere Kältetrübungsstabilität (siehe Alkohol-Kälte-Test im Kieselgurfiltrat) und eine deutlich schlechtere kolloidale Langzeitstabilität (siehe Anzahl der Warmtage bei 60 °C im 1/1-Test).
- Die Ursachen dieser Unterschiede liegen an der unbefriedigenden Ausscheidung von instabilen Eiweiß-Gerbstoff-Trübungskomplexen bei wärmeren Lagertemperaturen (siehe Unterschiede in der Konzentration der Gesamtpolyphenole und Anthocyanogene im filtrierten Bier).
- Auch die Unterschiede in der Kältetrübungsstabilität der unfiltrierten Bierchargen weisen auf die mangelhafte Ausscheidung in der Warmphase hin.

Um derartige Inhomogenitäten zu vermeiden, muss:

- Die Abkühlung des Tankinhaltes durch die Konuskühlung bis auf die Temperatur kurz über den Gefrierpunkt erfolgen, oder
- die Befüllung sollte oberhalb der obersten Mantelkühlfläche maximal 1 m nicht übersteigen.

- Bei der ZKT-Variante mit externem Kühlkreislauf unterstützt der Flüssigkeitsstrom der Rücklaufleitung den Temperaturausgleich oberhalb der Austrittsöffnung.

Tabelle 36 Einfluss der Temperaturschichtung in einem ZKT mit Mantelkühlung auf die Qualität des filtrierten Bieres (nach Betriebsmessergebnissen von [105])

Untersuchung	Maßeinheit	Warmzone [2])	Gekühlte Zone [2])
Biertemperatur am Filtereinlauf	°C	5,0	1,0
Filtrattrübung (25 °C)	EBC - Trübungseinheiten [1])	0,43	0,43
Alkohol-Kälte-Test der Filtrate [3])	EBC - Trübungseinheiten [1])	79,9	25,6
Gesamtpolyphenole	mg/L	131 (s = 0,6)	101 (s = 0,4)
Anthocyanogene	mg/L	36 (s = 2,3)	25 (s = 0,4)
Warmtage bei 60 °C 1/1-Test	Tage	4	> 15
Alkohol-Kälte-Test der Unfiltrate [3])	EBC - Trübungseinheiten [1])	140	102

[1]) gemessen mit dem Tannometer der Fa. *Pfeuffer*
[2]) Tankinhalt 2000 hL, davon ca. 300 hL Bier in der Warmzone
[3]) Alkohol-Kälte-Test nach Ethanolzugabe bei -8 °C

5.5 Die Konzentration der Kulturhefen in der Klärphase und ihre Bedeutung für die Filtrierbarkeit

Die Konzentration der Betriebshefe im fertigen, für die Filtration frei gegebenen Unfiltrat ist differenziert zu bewerten. Eine ausführliche Übersicht gibt Kapitel 3.2.6.

Folgende Hefekonzentrationen c_H und Qualitätswerte sollten aus der Sicht der natürlichen Klärung und Filtrierbarkeit als Richtwerte besonders angestrebt werden:

- Bei Beginn der Tiefkühlung im Bereich von c_H = > $10 \cdot 10^6$ Zellen/mL
- Ein Totzellenanteil in der Erntehefe von < 2…4 %
- Am Kieselgurfiltereinlauf im Bereich von c_H = $0{,}5 \ldots 2 \cdot 10^6$ Zellen/mL
- Verschnitt von kleinzelligen Propagationshefen beim Anstellen mit bereits geführten, gesunden Erntehefen im Verhältnis 1 **:** 1.

5.6 Zusammenfassung der Einflussfaktoren auf die natürliche Klärung untergäriger Biere

Tabelle 37 gibt einen Überblick über einige technologische Einflussfaktoren, die die rechtzeitige Ausscheidung der Trübstoffe und damit die natürliche Klärung der Biere positiv (+) oder negativ (-) beeinflussen.

Tabelle 37 Positive und negative Einflussfaktoren auf die natürliche Klärung und Ausscheidung der Trübstoffe

Einflussfaktoren	Einfluss
Schnelle Angärung mit einer pH-Wert-Absenkung um ΔpH-Wert = 0,3…0,4 in den ersten 24 h der Hauptgärung	+
Zügige Vergärung bis Vs ≈ Vsend	+
pH-Werte im ausgereiften Unfiltrat von = 4,1… ≤ 4,45	+
Eine Hefekonzentration am Beginn der Abkühlung in der Klärphase bei ϑ < 10 °C von $c_H > 10 \cdot 10^6$ Zellen/mL	+
Eine Hefekonzentration am Ende der Klär- und Kaltlagerphase von $c_H = 0{,}5 \ldots 2 \cdot 10^6$ Zellen/mL	+
Biertemperaturen in der Kaltlagerphase bis zum Bierfiltereinlauf von ϑ = 0…-2 °C	+
Eine Tiefkühlung erst unmittelbar vor dem Bierfilter	-/0
Flüssigkeitsschichthöhen im ZKT von > 1 m über der Kühlfläche	-
Plötzliche Druckentlastungen am Ende der Kaltlagerphase	-
Staubhefen und intensiv propagierte Reinzuchthefen mit einem Zellvolumen von $V_H < 150 \cdot 10^{-18}$ m³/Zelle	-

+ positiver Einfluss **0** kein Einfluss **-** negativer Einfluss

5.7 Klärhilfen in der Kaltlagerphase

5.7.1 Historische Verfahrensweisen zur Förderung der Bierklärung

Die Bierklärung war in den vergangenen Jahrhunderten bis etwa zum Jahr 1880 ausschließlich auf die natürliche Klärung beschränkt. Einen Überblick über die historischen Klärmittel geben Kapitel 2.1 und Kapitel 2.2. Während in einzelnen Ländern noch mit Hausenblase und Spänen gearbeitet wird, werden in Deutschland zur Unterstützung der natürlichen Klärung Kieselsol und für die Stabilisierung im ZKT modifizierte Kieselgele und PVPP-Präparate eingesetzt. Letztere besitzen neben der stabilisierenden Wirkung auch eine Klärwirkung.

5.7.2 Der Einsatz von Kieselsol zur Unterstützung der natürlichen Klärung in der Neuzeit

Sehr feindisperse, das Bier trübende Eiweiß-Gerbstoffkomplexe können oft durch die nachfolgende Bierfiltration und -stabilisierung nicht ausreichend entfernt werden.

Die Ursachen für die Ausbildung einer derartigen feindispersen Trübung, die sich in der Kaltlagerphase schlecht absetzt, sind u.a.:

- pH-Werte im Unfiltrat von > 4,5,
- Eine zu langsame Angärung,
- Eine weitere langsame pH-Absenkung in der Nachgär- und Reifungsphase durch mikrobielle Infektionen,
- Eine Tiefkühlung des Bieres bei einem weitgehend hefefreien Unfiltrat mit $c_H < 0{,}5 \cdot 10^6$ Zellen/mL und
- Die Verwendung sehr eiweißreicher Malze.

Für derartige Problemfälle empfiehlt sich der Einsatz von Kieselsol. Am wirkungsvollsten und unproblematischsten ist der Einsatz in der Kaltlagerphase. Prinzipiell ist