

# Klärung und Stabilisierung des Bieres

Grundlagen – Technologie – Anlagentechnik –  
Qualitätsmanagement

2. überarbeitete Auflage 2023

Prof. Dr. sc. techn. Gerolf Annemüller †

Dr. sc. techn. Hans-J. Manger



Im Verlag der VLB Berlin

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek  
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [dnb.ddb.de](http://dnb.ddb.de) abrufbar.

**Kontaktadresse:**

Dr. Hans-J. Manger  
Pflaumenallee 14  
15234 Frankfurt (Oder)  
E-mail: [hans.manger@t-online.de](mailto:hans.manger@t-online.de)

2. überarbeitete Auflage 2023

ISBN-13: 978-3-921690-98-7

© VLB Berlin, Seestraße 13, D-13353 Berlin, [www.vlb-berlin.org](http://www.vlb-berlin.org)

Alle Rechte, insbesondere die Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten.

Kein Teil des Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen in Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

All rights reserved (including those of translation into other languages).

No part of this book may be reproduced in any form.

Titelfoto: Pall Corporation

Herstellung: VLB Berlin, PR- und Verlagsabteilung

Druck: Advantage Printpool, Gilching

---

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis detailliert	5
Verwendete Abkürzungen	20
Vorwort zur zweiten Auflage	24
Vorwort zur ersten Auflage	25
1. Einführung und Begriffsdefinitionen	28
2. Zur Geschichte der Bierklärung, Bierstabilisierung und Haltbarmachung	42
3. Die Qualitätseigenschaften des Unfiltrates und dessen Einfluss auf die Filtrierbarkeit des Lagerbiers	81
4. Anforderungen an ein filtriertes, kolloidal stabiles und biologisch haltbares Bier ohne thermische Behandlung	127
5. Die Klärung des Bieres vor der Klärfiltration	136
6. Unfiltratbereitstellung für die Filtration	152
7. Die Klärfiltration von Bier unter Einsatz von Filterhilfsmitteln	154
8. Die Membranfiltration von Bier ohne Verwendung von Filterhilfsmittel	278
9. Die Polier- und Entkeimungsfiltration	332
10. Bierpartikelfilter (Trap-Filter)	370
11. Verfahren und Anlagen mit regenerierbaren Filtermitteln	376
12. Filtersysteme unter Verwendung von Filterhilfsmitteln auf Basis von Cellulose	385
13. Die Filterhilfsmittel der Klärfiltration und die Filtermittel einer Filtration	392
14. Drucktanks für filtriertes Bier	504
15. Separation und Separatoren	510
17. Anlagen zur StammwürzeEinstellung und Carbonisierung	613
18. Die Mess- und Automatisierungstechnik im Prozess der Bierfiltration	641
19. Schwand bei der Bierfiltration	726
20. CIP-Anlagen für den Bereich Filtration und Drucktank	729
21. Planung einer Filteranlage, CIP-Anlagen, Betriebsabnahmen	731
22. Prozesskontrolle zur Überwachung der Bierfiltration und Bierstabilisierung, Maßnahmen zur Qualitätssicherung	753
23. Armaturen, Rohrleitungen, MSR-Stellen	758

## Klärung und Stabilisierung des Bieres

---

24. Elektrische Antriebe	804
25. Pumpen	809
26. Filter für technische Gase und Dampf	837
27. Werkstoffe und Oberflächen	843
28. Gesetzliche Grundlagen der Anlagenplanung und -errichtung, erforderliche Genehmigungen	854
29. Unfallverhütung, technische Sicherheit, Hygiene	860
Anlage Dissertationen	863
Index	865
Quellennachweis und Anmerkungen	901

---

## Inhaltsverzeichnis detailliert

Inhaltsverzeichnis	5
Verwendete Abkürzungen	20
Vorwort zur zweiten Auflage	24
Vorwort zur ersten Auflage	25
1. Einführung und Begriffsdefinitionen	28
1.1 Allgemeine Begriffsbestimmungen	28
1.2 Stellung der Bierklärung und -stabilisierung im Prozess der Bierherstellung und ihre Abgrenzung	28
1.3 Die Stufen der Bierklärung	29
1.4 Aufgaben und Ziele der Prozessstufe der künstlichen Bierklärung und Bierstabilisierung	30
1.4.1 Aufgaben	30
1.4.2 Ziele der Prozessstufe unter besonderer Beachtung der Bierstabilität	31
1.5 Verfahrenskombinationen zur Erzeugung eines blanken, kolloidal stabilen und keimfreien Bieres	32
1.6 Die wichtigsten Anforderungen an das filtrierte und stabilisierte Bier	33
1.7 Verfahrens- und apparatetechnische Begriffe zur Filtration	33
1.7.1 Allgemeine Hinweise	33
1.7.2 Einige Begriffe zur Filtration	35
1.8 Die Größenverhältnisse von Porenweiten der Filterschichten, Filterhilfsmittelschichten und Trubstoffen im Bier	38
1.9 Einteilung der Bierfilter und Filterkombinationen	40
2. Zur Geschichte der Bierklärung, Bierstabilisierung und Haltbarmachung	42
2.1 Überblick	42
2.2 Geschichtlicher Rückblick auf die natürliche Bierklärung (bis zum Ende des 19. Jahrhunderts)	46
2.2.1 Das 15. Jahrhundert	46
2.2.2 Das 18. Jahrhundert	47
2.2.3 Das 19. Jahrhundert	48
2.2.4 Der Erkenntnisgewinn über die Voraussetzungen zur Erhöhung der biologischen Haltbarkeit ab 1885	59
2.3 Über die Anfänge der Bierfiltration am Ende des 19. Jahrhunderts	59
2.3.1 Trubsack	59
2.3.2 Zeitmeinungen zur Notwendigkeit einer mechanischen Bierfiltration	60
2.3.3 Das erste Bierfilter - Enzinger's Universal-Schnell-Filter	61
2.3.4 Bierfilter nach Stockheim (Mannheim)	66
2.3.5 Bierfilter-System nach Klein, Schanzlin und Becker	70
2.4 Erste Zentrifugen für die Würzeklämung bereits 1885 in Berlin	71

2.5 Keramikfilter	72
2.6 Die Filtration mit dem Massefilter	72
2.7 Die Fördermittel der Filteranlagen	77
2.8 Ein kurzer Ausblick zur Weiterentwicklung der Bierfiltration	79
3. Die Qualitätseigenschaften des Unfiltrates und dessen Einfluss auf die Filtrierbarkeit des Lagerbiers	81
3.1 Die Filtrierbarkeit des Unfiltrates - ein wirtschaftlicher Faktor	81
3.2 Die Verursacher von Filtrationsproblemen	82
3.2.1 Größenordnung der Trübstoffe	82
3.2.2 Einiges über das Kolloidsystem des Bieres	83
3.2.3 Die beteiligten chemischen Stoffgruppen	85
3.2.4 Trübungskomplexe	86
3.2.5 Beeinflussung der Trübungskomplexe durch Filtrationsenzyme	87
3.2.6 Der biologische Anteil der Biertrübung	88
3.2.7 Die unterschiedliche Bedeutung der Hefekonzentration für die Filtrierbarkeit	90
3.3 Die Haupttrübungskomponenten im Unfiltrat und ihr Einfluss auf die Filtrierbarkeit	91
3.3.1 Die hochmolekularen $\beta$ -Glucane	91
3.3.2 Höhermolekulare und nicht jodnormale $\alpha$ -Glucane	95
3.3.3 Hochmolekulare Eiweiß-Gerbstoffverbindungen, der Resttrub- und Feststoffgehalt und der Einfluss des pH-Wertes	96
3.4 Die Bewertung der Filtrierbarkeit eines Unfiltrates	102
3.4.1 Membranfiltermethode nach <i>Esser</i>	103
3.4.2 Test zur Bestimmung der Filtrationseigenschaften von Bier nach <i>Raible</i>	104
3.4.3 Großtechnische Filtrationsergebnisse als Maß für die Filtrierbarkeit	105
3.4.4 Weitere Testverfahren für die Filtrierbarkeit	105
3.5 Ursachenforschung bei Filtrationsproblemen	106
3.6 Technologische Einflussfaktoren auf die Filtrierbarkeit	108
3.6.1 Positive Einflussfaktoren auf die Filtrierbarkeit und kolloidale Stabilität	108
3.6.2 Lösungsansätze zur Verbesserung der Filtrierbarkeit bei Filtrationsproblemen	110
3.6.3 Über die filtrierbarkeitsverbessernden Maßnahmen in der Brauerei	116
3.7 Beispiele für Filtrierbarkeitsbefunde von Betriebsbieren	116
3.7.1 Rohfruchtverarbeitung (Mais) und die Verwendung diverser mikrobieller Enzyme sind noch keine Gewähr für gut filtrierbare Biere	116
3.7.2 Effektivität der Unfiltratvorklärung durch Separation	118
3.7.3 Ein Problembier mit $\beta$ -Glucanauwfällungen	119
3.7.4 Ein Bier ohne Filtrationsschwierigkeiten, aber mit Trübungen im Filtrat	120
3.7.5 Qualitätsschäden bei einer zu scharfen Filtration	121
3.7.6 Trübungsprobleme in einem obergärigen, ausländischen Bier	122

---

3.8 Würzecheck zur Erfassung eventueller Filtrationsprobleme	125
3.8.1 Ein Würzecheck zur Erfassung evtl. Filtrationsprobleme im unfiltrierten Fertigbier	125
3.8.2 Beispiel: Würzecheck bei Brauversuchen mit 10...15 % Wintergerstenmalz in einer deutschen Großbrauerei	125
4. Anforderungen an ein filtriertes, kolloidal stabiles und biologisch haltbares Bier ohne thermische Behandlung	127
4.1 Qualitätsanforderungen an die unterschiedlichen Biertypen	127
4.2 Die wichtigsten Kontrollmethoden zur Bestimmung der Klarheit und voraussichtlichen kolloidalen Stabilität des fertigen Bieres	128
4.2.1 Die Beurteilung der Glanzfeinheit des Bieres	128
4.2.2 Messung der kolloidalen Stabilität im filtrierten Bier durch den Forciertest	129
4.2.3 Richtwerte des Alkohol-Kälte-Tests nach <i>Chapon</i> zur schnellen Abschätzung der kolloidalen Stabilität von Filtraten	130
4.3 Anforderungen an ein nur mit Kieselgur filtriertes Bier	131
4.4 Die wichtigsten Anforderungen an die Polier- bzw. Endfiltration zur Herstellung eines biologisch stabilen Bieres auf kaltem Wege	131
4.4.1 Trap-Filter	132
4.4.2 Tiefenfiltration	132
4.4.3 Anforderungen der Membranfiltration an ein vorfiltriertes Bier	133
4.4.4 Membranfiltration	134
4.5 Anforderungen an die kolloidale Stabilität	135
5. Die Klärung des Bieres vor der Klärfiltration	136
5.1 Der Einfluss physikochemischer Faktoren auf die natürliche Klärung des Unfiltrates	136
5.2 Einfluss der Dauer der Kaltlagerphase auf die Trübung und Filtrierbarkeit	136
5.3 Die Temperatur des Unfiltrates in der Kaltlagerphase und der Einfluss auf die Klärung und kolloidale Stabilität	136
5.4 Der negative Einfluss der Inhomogenität eines ZKT-Inhaltes auf die Trübung und kolloidale Stabilität des Bieres	138
5.5 Die Konzentration der Kulturhefen in der Klärphase und ihre Bedeutung für die Filtrierbarkeit	139
5.6 Zusammenfassung der Einflussfaktoren auf die natürliche Klärung untergäriger Biere	139
5.7 Klärhilfen in der Kaltlagerphase	140
5.7.1 Historische Verfahrensweisen zur Förderung der Bierklärung	140
5.7.2 Der Einsatz von Kieselöl zur Unterstützung der natürlichen Klärung in der Neuzeit	140
5.8 Die Klärseparation von Lagerbier	145
5.9 Verbesserung der Filtrierbarkeit durch thermische Verfahren	147
5.9.1 Temperatureinflüsse auf $\beta$ -Glucanase	147
5.9.2 Anlagen zur thermischen Behandlung	147
5.9.3 Schlussfolgerungen	151

6. Unfiltratbereitstellung für die Filtration	152
7. Die Klärfiltration von Bier unter Einsatz von Filterhilfsmitteln	154
7.1 Allgemeine Hinweise und Begriffe	154
7.2 Verfahrensführung der Klärfiltration unter Verwendung von Filterhilfsmitteln	154
7.2.1 Allgemeine Hinweise zur Ansatzbereitung der Filterhilfsmittel	154
7.2.2 Die Voranschwemmung	155
7.2.3 Der Einfluss der Kieselgurmischung für die zweite Voranschwemmung und die laufende Dosierung	158
7.2.4 Die Gleichmäßigkeit des Filterkuchens und die Differenzdruckkontrolle	159
7.2.5 Die laufende Dosierung und der normale Anstieg des Differenzdruckes	161
7.2.6 Fließgeschwindigkeit, spezifischer Volumenstrom und spezifisches Filtratvolumen	163
7.2.7 Auswirkungen und Ursachen von Druckstößen	165
7.2.8 Fehlerhafte Differenzdruckverläufe und ihre Ursachen	166
7.2.9 Technisch-technologische Filtrationsprobleme und weitere Hinweise für die Verfahrensführung der Anschwemmfiltration	167
7.3 Anlagen für die klassische Klärfiltration	175
7.3.1 Allgemeine Hinweise	175
7.3.2 Anschwemmfilteranlagen	178
7.3.3 Anschwemmfilter	182
7.3.4 Dosierung der Filterhilfsmittel	219
7.3.5 Sedimentation der Filterhilfsmittel	227
7.3.6 Ansatz der Filterhilfsmittel	228
7.3.7 Automation der Filteranlage, Mess- und Regelungstechnik	234
7.3.8 Die Trübungsmessung als Kontroll- und Steuergröße bei der Klärfiltration	236
7.4 Arbeitsabläufe bei Anschwemmfilter-Anlagen	237
7.4.1 Allgemeine Hinweise	237
7.4.2 Wichtige Teilschritte beim Betrieb von Anschwemmfilter-Anlagen	237
7.4.3 Arbeitsabläufe bei Anschwemm-Schichtenfiltern	241
7.4.4 Arbeitsabläufe bei Anschwemm-Kerzenfiltern	242
7.4.5 Arbeitsabläufe beim TFS-Filtersystem	247
7.4.6 Arbeitsabläufe beim Anschwemm-Zentrifugalscheibenfilter	253
7.4.7 Spezifische Kennwerte	254
7.4.8 Reduzierung der Sauerstoffaufnahme bei Anschwemmfiltern	257
7.4.9 Reduzierung der Vor- und Nachlaufmengen bei Anschwemmfiltern	257
7.5 CIP und Filtersterilisation bei Anschwemmfilteranlagen	260
7.6 Zur Theorie der Anschwemmfiltration	261
7.6.1 Allgemeine Hinweise	261
7.6.2 Grundlagen der Filterströmung	263

---

7.7 Die Entsorgung der Abprodukte der Anschwemmfiltration	268
7.7.1 Kalkulation des anfallenden Kieselgurschlammes und seine Feststoffkonzentrationen	268
7.7.2 Anlagen für die Sammlung und Entfernung der Filterrückstände	269
7.7.3 Kieselgurschlamm als Sondermüll	271
7.7.4 Entwässerung des Kieselgurschlammes	271
7.7.5 Varianten für die Kieselgurschlamm Entsorgung	272
7.7.6 Verwertung des Kieselgurschlammes in der Landwirtschaft	275
7.7.7 Verwertung des Kieselgurschlammes in der Bauindustrie	276
7.7.8 Entsorgung der Filterschichten der Bierfiltration	277
7.8 Gesamteinschätzung der Anschwemmfiltration	277
8. Die Membranfiltration von Bier ohne Verwendung von Filterhilfsmittel	278
8.1 Allgemeiner Überblick	278
8.2 Anlagen für die Membranfiltration	281
8.2.1 PROFI®-System	282
8.2.2 Das Pentair Bier Membran Filter System	289
8.2.3 Steinecker Membranfilter Phoebus	295
8.2.4 GEA Clearamic	299
8.2.5 Bucher	302
8.2.6 System AlfaBright™ Beer Filtration	302
8.3 Membranen für Crossflow-Filteranlagen	304
8.4 Verfahrenstechnische Aspekte der Crossflow-Mikrofiltration von Bier	305
8.4.1 Druckverlust in einer Hohlfasermembran	306
8.4.2 Kinematische Viskosität des Bieres	307
8.4.3 Deckschichtbildung	311
8.4.4 Transmembrandruck	316
8.4.5 Pinch-Effekt	317
8.4.6 Allgemeine Wirkungen und Zusammenhänge bei der Crossflow-Mikrofiltration	318
8.5 Verfahrensablauf einer Crossflow Filtration	319
8.6 Grundlagen der Crossflow-Mikrofiltration	320
8.7 Membranreinigung von PES-Membranen	325
8.7.1 Alkalische Zwischenreinigung (Rückspülungen)	325
8.7.2 Membran-CIP-Reinigung	325
8.8 Die möglichen Varianten der Bierstabilisierung bei einer Crossflow-Mikrofiltration	329
8.8.1 Crossflow-Mikrofiltration: Verfahren mit Vorklärung	330
8.8.2 Crossflow-Mikrofiltration: Verfahren ohne Vorklärung	330
9. Die Polier- und Entkeimungsfiltration	332
9.1 Zur Stellung der Polier- und Entkeimungsfiltration	332
9.2 Anforderungen an die Polier- und Entkeimungsfiltration	332
9.2.1 Tiefenfiltration	333
9.2.2 Membranfiltration	333

9.3 Die Wahl des Filtersystems, seine Anordnung und die erforderlichen Zusatzfilter	334
9.4 Zur Beurteilung bzw. Validierung von Tiefenfiltern und Membranfiltern	335
9.4.1 Einführung und Definitionen	335
9.4.2 Die Entfernung der Mikroorganismen durch Filtration	337
9.4.3 Angaben für die Partikelabscheidung in Filtern	345
9.4.3.1 Bestimmung der Partikelabgabe	345
9.4.3.2 Ermittlung der Trenngrenze und der Rückhalteeffizienz	345
9.4.3.3 Betriebsmessungen zum Abscheidegrad der Trubstoffe durch Filtermaterialien und Filterhilfsmittel	346
9.4.4 Validierung von Membranen und Membranfiltersystemen	348
9.4.4.1 Integritätstests	349
9.4.4.2 Spezifische Durchflussrate von Membranfilterelementen	351
9.5 Schichtenfiltration	352
9.5.1 Zur Stellung des Schichtenfilters	352
9.5.2 Aufbau und Funktion des Schichtenfilters	353
9.5.3 Auswahl der Filterschichten	354
9.5.4 Die erforderliche Filterfläche und die Wahl des Filterschichtentyps	354
9.5.5 Der spezifische Filterdurchsatz, spezifisches Filtratvolumen, Standzeit des Schichtenfilters und maximal zulässiger Differenzdruck	354
9.5.6 Vorbereitung des Schichtenfilters und Filtration	355
9.5.7 Regenerierung des Schichtenfilters	356
9.6 Filtration mit Kerzen- und Modulfiltern	358
9.6.1 Allgemeine Hinweise zur Filtration mittels Kerzen- und Modulfiltern	358
9.6.2 Reinigung und Sterilisation der Kerzen- und Modultiefenfiltersysteme	358
9.6.3 Hinweise zur Montage von Filterkerzen	359
9.7 Membranfiltration	360
9.7.1 Zur Geschichte und den Besonderheiten der Membranfiltration	360
9.7.2 Membrankerzenfilter in Clusteranordnung	361
9.7.3 Vorteile eines Membranfilters gegenüber einer thermischen Haltbarkeitsverbesserung	366
9.7.4 Abscheideraten bei Membranfiltern und thermischen Verfahren	366
9.7.5 Reinigung und Sterilisation von Membranfilterkerzen, Anforderungen an die Spülwässer	367
10. Bierpartikelfilter (Trap-Filter)	370
10.1 Aufgabe der Trap-Filter	370
10.2 Gestaltung der Trap-Filter	370
10.3 Prüfung von Trap-Filtern	374
11. Verfahren und Anlagen mit regenerierbaren Filtermitteln	376
11.1 Filtrationsverfahren mit integrierter Kieselgurregeneration nach Pall	376
11.2 Filtrationssystem M & L FISTA	381
11.3 Das System F&S-Filtration	383

12. Filtersysteme unter Verwendung von Filterhilfsmitteln auf Basis von Cellulose	385
12.1 Anschwemmfiltersystem mit dem Filterhilfsmittel celcare	385
12.1.1 Filterhilfsmittel Krones celcare	385
12.1.2 Eigenschaften von celcare:	385
12.2 Das System Kometronik®	388
12.2.1 Allgemeines zum System Innopro Kometronik®	388
12.2.2 Aufbau des Systems Innopro Kometronik®	388
13. Die Filterhilfsmittel der Klärfiltration und die Filtermittel einer Filtration	392
13.1 Definition der Filterhilfsmittel (Filterhilfsmittel), Filtermittel und Stabilisierungsmittel	392
13.1.1 Filterhilfsmittel	392
13.1.2 Filtermittel	392
13.1.3 Mechanismus der Partikelabtrennung bei der Bierfiltration	392
13.1.4 Stabilisierungsmittel	393
13.2 Filtermasse	393
13.3 Kieselguren	393
13.3.1 Allgemeine Hinweise zu Kieselgur	393
13.3.2 Kurzcharakteristik der Kieselgur	394
13.3.3 Zur Entstehung und Gewinnung der Rohguren	395
13.3.4 Aufbereitungsprozesse der Rohguren	396
13.3.5 Der Cristobalitgehalt der aufbereiteten Kieselgur	398
13.3.6 Einfluss der Diatomeenformen und des Zerstörungsgrades auf die Eigenschaften des Filterhilfsmittels	399
13.3.7 Allgemeine Anforderungen an die Qualitätsparameter einer Kieselgur für die Bierfiltration	404
13.3.8 Die drei wichtigsten Kieselgurtypen für die Bierfiltration und ihre Qualitätskennwerte	412
13.3.9 Charakteristika verschiedener Handelsguren für die Bierfiltration	416
13.3.10 Vor- und Nachteile der Kieselguren als Filterhilfsmittel	418
13.3.11 Einige Hinweise zu den rechtlichen Vorschriften für den Umgang mit Kieselgur	418
13.4 Perlite	419
13.4.1 Gewinnung und Aufbereitung von Perliten	419
13.4.2 Eigenschaften und Anforderungen	421
13.4.3 Angaben zu einigen handelsüblichen Perliten	421
13.4.4 Vor- und Nachteile der Perlite	423
13.5 Asbest	423
13.6 Cellulose	424
13.6.1 Allgemeine Charakteristik von Cellulose	424
13.6.2 Herstellung	425
13.6.3 Grenzflächenkräfte bei der Fest-Flüssig-Trennung	427
13.6.4 Einige Eigenschaften der hochreinen Celluloseprodukte	432
13.6.5 Celluloseprodukte bei der Bierfiltration	432

## Klärung und Stabilisierung des Bieres

---

13.6.6 Einige Hinweise zu den filtrationspezifischen Eigenschaften cellulosehaltiger Filterhilfsmittel	433
13.6.7 Regeneration cellulosebasierter Filterhilfsmittel	435
13.6.8 Wirtschaftliche Bewertung der Bierfiltration nur mit reiner Cellulose	435
13.6.9 Vor- und Nachteile von Celluloseprodukte als Filterhilfsmittel	435
13.7 Alternative Filterhilfsmittel	437
13.7.1 Fällungskieselsäure	437
13.7.2 Aktivkohle	438
13.7.3 Alginit	439
13.7.4 Polymere Kunststoffe als Filterhilfsmittel	439
13.7.5 Versuche mit ausgefallenen Filterhilfsmitteln	443
13.8 Filtermittel der Nachfiltersysteme bei der klassischen Dead End Filtration	445
13.8.1 Die verschiedenen Systeme im Vergleich	446
13.8.2 Cellulosehaltige Filterschichten und einige Weiterentwicklungen	451
13.8.3 Tiefenfilterkerzen	457
13.8.4 Tiefenfiltermodule	463
13.9 Membranen und Membranfilter für die Dead End Filtration	472
13.9.1 Allgemeine Bemerkungen	472
13.9.2 Werkstoffe der Polymermembranen	472
13.9.3 Herstellung der Membranen	475
13.9.4 Mögliche Varianten für den Aufbau von Vorfilterkerzen	477
13.9.5 Membranfilterkerzen	481
13.9.6 Prüfmöglichkeiten für Membranen	487
13.10 Membranen für die Crossflow Filtration	488
13.10.1 Der Unterschied der Crossflow-Technik zur klassischen Dead End Filtration	488
13.10.2 Membranen für die Crossflow Filtration von Bier	489
13.11 Lagerung von Filtermitteln, Filterhilfsmittel und Stabilisierungsmitteln	500
13.11.1 Allgemeine Hinweise	500
13.11.2 Lagerung von Filtermitteln und Stabilisierungsmitteln	500
13.11.3 Lagerung von Filterhilfsmittel	500
14. Drucktanks für filtriertes Bier	504
14.1 Allgemeine Hinweise zu Drucktanks	504
14.2 Bauformen und Aufstellung von Drucktanks	504
14.3 Betriebsdruck der Drucktanks	505
14.4 Spanngas für Drucktanks	505
14.5 Drucktankzubehör	506
14.6 Rohrleitungen und Armaturen	509
14.7 Entleerung eines DT	509
15. Separation und Separatoren	510
15.1 Allgemeiner Überblick	510
15.2 Grundlagen der Zentrifugation/Separation	511
15.2.1 Grundbegriffe der Zentrifugation/Separation	511
15.2.2 Gesetzmäßigkeiten der Separation	512

15.2.3 Volumenstrom der Separatortrommel	515
15.3 Wichtige Baugruppen des Separators	517
15.3.1 Maschinengestell	517
15.3.2 Antriebsmotor	517
15.3.3 Kupplung	518
15.3.4 Getriebe	518
15.3.5 Trommelwelle/Spindellagerung	521
15.3.6 Trommel	523
15.3.7 Flüssigkeits-Zu- und Ablauf	525
15.3.8 Separatorenhaube	527
15.3.9 Aufstellungsbedingungen und Zubehör	527
15.4 Feststoffaustrag	528
15.4.1 Trommeln mit beweglichem Schleuderraumboden	529
15.4.2 Trommeln mit Ringkolben	532
15.4.3 Trommeln mit Kolbenschieber	533
15.4.4 Messung des Feststoff-Füllungsgrades in der Trommel	533
15.5 CIP-Reinigung	534
16. Die kolloidale Bierstabilisierung, Stabilisierungsmittel, Technologie und Technik	535
16.1 Einführung	535
16.2 Abgrenzungen zum Begriff Bierstabilität	536
16.3 Die Trübung als Maß für die erreichte Klärung und kolloidale Stabilität	537
16.3.1 Nichtbiologische Trübungskomponenten im Bier	537
16.3.2 Kolloidcharakter der Bierinhaltsstoffe als Ursache für das Auftreten von kolloidalen Trübungen	542
16.3.3 Nichtbiologische Trübungsarten im Bier	545
16.3.4 Über die Größenordnung der Kältetrübung	547
16.3.5 Über die erforderliche Zeit für die Ausbildung der Kältetrübung	548
16.3.6 Zur Trübungsmessung	549
16.3.7 Einschätzung der voraussichtlichen kolloidalen Haltbarkeit von Filtraten unter Verwendung von Trübungsmessungen	551
16.4 Die eiweißseitige Stabilisierung	551
16.4.1 Geschichtliche Einordnung der eiweißseitigen Bierstabilisierung	551
16.4.2 Stabilisierung mit Kieselgelen	552
16.4.3 Der Einsatz von Bentoniten	564
16.4.4 Der Einsatz von Tannin	567
16.4.4.1 Kurzcharakteristik von Tannin als Eiweißfällungsmittel und Hinweise zur Dosage	567
16.4.4.2 Anwendungsergebnisse	568
16.4.4.3 Brewtan <sup>®</sup> -Produkte	569
16.4.5 Der Einsatz proteolytischer Enzyme bei der Eiweißstabilisierung	570
16.4.5.3 Pepsin	574
16.4.5.4 Brewers Clarex <sup>™</sup>	575
16.4.5.5 Weitere Proteasepräparate für die Stabilisierung	576

## Klärung und Stabilisierung des Bieres

---

16.5. Die gerbstoffseitige Stabilisierung	576
16.5.1 Stabilisierung mit PVPP	576
16.5.2 Quasikontinuierliche, gerbstoffseitige Stabilisierung	588
16.5.3 Der Einsatz von Nylonpulver zur gerbstoffseitigen Stabilisierung	594
16.5.4 Der Einsatz von Methanal (Formaldehyd) zur gerbstoffseitigen Stabilisierung	594
16.5.5 Polyphenolfällende Wirkung der Gelatine	595
16.5.6 An Kieselgel fixiertes PVP	595
16.6 Komplex wirkende Stabilisierungsverfahren	596
16.6.1 Das CSS-System	596
16.6.2 Kombiniertes Filterhilfs- und Stabilisierungsmittel Crosspure®	601
16.6.3 Einsatz einer stabilisierend wirkenden, modifizierten Kieselgur	602
16.7 Zusammenfassung zu den Varianten der Bierstabilisierung	602
16.8 Überblick über die wichtigsten technologischen Maßnahmen zur Vermeidung von kolloidalen Trübungen im Bier	603
16.9 Vermeidung von Oxidationen im Prozess der Bierherstellung	604
16.9.1 Technologische Bedeutung der Oxidationsprozesse	605
16.9.2 Technologische Maßnahmen zur Reduzierung des Sauerstoffeintrages	606
16.9.3 Verwendung von Antioxidantien zur Reduzierung der Oxidationsgefahr	607
16.10 Prozesskontrolle zur Charakterisierung der kolloidalen Stabilität	610
17. Anlagen zur StammwürzeEinstellung und Carbonisierung	613
17.1 Allgemeine Hinweise	613
17.2 Rückverdünnung und Konditionierung	613
17.2.1 Zeitpunkt der Rückverdünnung	613
17.2.2 Allgemeine Anforderungen an das Verschnittwasser	613
17.2.3 Zur Abschätzung der Gushing-Gefahr durch Calciumoxalat	614
17.2.4 Varianten der Verschnittwasserentkeimung	615
17.3 Anlagen zur Rückverdünnung	616
17.3.1 Hinweise zur überschlägigen Verdünnungsrechnung ohne Berücksichtigung der Bierdichte	617
17.3.2 Anlagentechnik zum Mischen	618
17.4 Anlagen für die Wasserentgasung	620
17.4.1 Allgemeine Hinweise	620
17.4.2 Varianten der Entgasung	621
17.5 Nachcarbonisierung des Bieres	630
17.5.1 Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeit der CO <sub>2</sub> -Lösung	632
17.5.2 Kriterien für die Auslegung einer Carbonisieranlage	634
17.5.3 Qualitätsanforderungen an die Kohlensäure	635
17.5.3.1 Diskussion der Qualitätsforderungen aus der Sicht der Anwender in der Brauindustrie	637
17.5.3.2 Sauerstoffgehalt	637
17.5.3.3 Ölgehalt	638
17.5.3.4 Keimgehalt des CO <sub>2</sub>	639

---

17.5.3.5 Sonstige Beimengungen in der Gärungskohlensäure	640
17.5.3.6 CO <sub>2</sub> -Versorgung und CO <sub>2</sub> -Gewinnungsanlagen	640
17.6 Minimierung des Sauerstoffeintrages im Prozess der Bierfiltration	640
18. Die Mess- und Automatisierungstechnik im Prozess der Bierfiltration	641
18.1 Allgemeine Hinweise	641
18.2 Allgemeine Messgrößen	641
18.3 Sauerstoffmessung	642
18.3.1 Bedeutung des Sauerstoffgehaltes und der Sauerstoffmessung	642
18.3.2 Messung des Sauerstoffs in Flüssigkeiten und Gasen	644
18.3.3 Allgemeine Funktionsweise amperometrischer O <sub>2</sub> -Sensoren	644
18.3.4 Potenziostatische Sensoren	659
18.3.5 Sensor mit Festelektrolyt	663
18.3.6 Optische Sensoren	664
18.4 Messung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes	669
18.4.1 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes durch Titration	671
18.4.2 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes durch Messung des CO <sub>2</sub> -Partialdruckes in der Gasphase	671
18.4.3 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes durch Messung des CO <sub>2</sub> -Partialdruckes in der flüssigen Phase	673
18.4.4 Bestimmung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes mittels Membransensoren	680
18.4.5 Berechnung des CO <sub>2</sub> -Gehaltes aus den Parametern Druck und Temperatur	683
18.4.6 Berechnungsgleichungen für verschiedene Getränke	686
18.4.7 CO <sub>2</sub> -Messung mit optischen Sensoren	686
18.4.8 Kalibrierung	688
18.4.9 Zusammenfassung	689
18.5 Optische Messverfahren	690
18.5.1 Überblick zu optischen Sensoren und Messverfahren	690
18.5.2 Einsatzorte für optische Sensoren und Anforderungen	690
18.5.3 Prinzipieller Aufbau eines optischen Sensors	692
18.5.4 Messprinzipien bei optischen Sensoren	694
18.6 Grundlagen der optischen Messtechnik	694
18.6.1 Lichtabsorption	694
18.6.2 Streulichtmessung	697
18.6.3 Messwellenlänge	698
18.6.4 Einheiten der optischen Strahlung	699
18.6.5 Werkstoffe für optische Sensoren	699
18.6.6 Vorteile optischer Sensoren	700
18.7 Anwendungsbeispiele für den Einsatz optischer Sensoren	700
18.7.1 Transmissionsmessung	700
18.7.2 Trübungsmessung	701
18.7.2.1 Der Trübungsmessungssensor InPro 8600 von Mettler Toledo	704
18.7.2.2 Zur Funktion des Sensors InPro 8600	705

## Klärung und Stabilisierung des Bieres

---

18.7.3 Farbmessung	708
18.7.4 Faseroptik	709
18.7.5 Fluoreszenzmessung	709
18.7.6 Trennung mischbarer Medien	710
18.7.7 Partikelzählgeräte	710
18.7.8 Staubgehaltsmessung/Streulicht	713
18.7.9 Lichtschranken	714
18.7.10 Reflexionsmessung - Erfassung von Biofilmen	714
18.7.11 Absorptionsmessung	719
18.8 Stammwürze- und Ethanolmessung	719
18.8.1 Stammwürze-Messung	719
18.8.2 Ethanol-Messung	722
18.9 Grenzwertsonden	723
18.10 Ein Nachsatz zur Messtechnik	725
19. Schwand bei der Bierfiltration	726
19.1 Allgemeine Hinweise	726
19.2 Vor- und Nachlaufverwendung	727
19.3 Probleme bei vor- und nachlaufreier Arbeitsweise	728
19.4 Schwand bei der Crossflow-Membranfiltration	728
20. CIP-Anlagen für den Bereich Filtration und Drucktank	729
20.1 Allgemeiner Hinweis	729
20.2 Stapelreinigung oder verlorene Reinigung	729
20.3 Besonderheiten der Reinigung von Drucktanks	729
20.4 Reinigung der Unfiltratleitungen	730
20.5 Reinigung der Filtratleitungen	730
21. Planung einer Filteranlage, CIP-Anlagen, Betriebsabnahmen	731
21.1 Allgemeine Hinweise	731
21.2 Gestaltung der Gesamtanlage und räumliche Anordnung	732
21.2.1 Fragestellungen zum Einsatz der Anlagentechnik	732
21.2.2 Spezifische Kennwerte für die Auswahl eines Filter- und Stabilisierungssystems	734
21.2.3 Zur Kapazitätsauslegung einer Filteranlage	734
21.2.4 Betriebsweise der Anlage	735
21.2.5 Festlegungen zum Drucktankvolumen	736
21.2.6 Verknüpfung von Filteranlagenkomponenten	737
21.2.7 Arbeitskräftebedarf	737
21.2.8 Automation	737
21.3 Raumgestaltung der Filteranlage	738
21.3.1 Allgemeine Hinweise	738
21.3.2 Allgemeine Raumgestaltung	739
21.3.3 Filterhilfsmittel-Lagerung und -Bereitstellung	740
21.3.4 CIP-Anlage der Filteranlage	740
21.4 Entsorgung von Filtermitteln	741

---

21.5 Abnahme von Filteranlagen	741
21.6 Hinweise zur Auswahl der Filteranlagen und ihrer Zusatzaggregate	743
21.6.1 Technologische Zielstellungen der Filtration und Nachfiltration	743
21.6.2 Ausrüstungsvorschläge für die Variante 1	743
21.6.3 Ausrüstungsvorschläge für die Variante 2	743
21.6.4 Ausrüstungsvorschläge für die Variante 3	744
21.6.5 Auswahl von Filtersystemen unter Beachtung der evtl. häufig im Betrieb vorkommenden Problemfälle	745
21.7 Einige Richtwerte zu den Kosten der Bierklärung, -stabilisierung und -haltbarmachung und zur Bewertung der Bierfiltration aus betriebswirtschaftlicher Sicht	746
21.7.1 Allgemeine Hinweise	746
21.7.2 Einige Hinweise zum Umfang der Kostenermittlung	747
21.7.3 Verbrauchswerte	749
21.7.4 Kosten für die biologische Haltbarmachung	750
21.7.5 Hinweise zur Abwasserbelastung durch die Bierfiltration	750
22. Prozesskontrolle zur Überwachung der Bierfiltration und Bierstabilisierung, Maßnahmen zur Qualitätssicherung	753
22.1 Visuelle Filterkontrollen	753
22.2 Technische Prozesskontrolle in der Filtration	753
22.3 Biologische Filtrationskontrolle	754
22.4 Kontrolle der Bierfiltrierbarkeit	755
22.5 Überprüfung der kolloidalen Bierstabilität	755
22.6 Ursachenforschung bei unbefriedigendem Filtrationsergebnis	755
23. Armaturen, Rohrleitungen, MSR-Stellen	758
23.1 Allgemeine Hinweise	758
23.2 Armaturen für Rohrleitungen und Anlagenelemente	758
23.3 Rohrleitungen	760
23.3.1 Rohrleitungsverbindungen	760
23.3.2 Verlegung von Rohrleitungen und die Gestaltung von Rohrleitungshalterungen, Wärmedehnungen	763
23.3.3 Die Fließgeschwindigkeit in Rohrleitungen, Druckverluste	766
23.3.4 Maßnahmen gegen Flüssigkeitsschläge und Schwingungen	771
23.3.5 Entlüftung der Rohrleitungen, Sauerstoffentfernung	771
23.3.6 Gestaltung von Wärmedämmungen bei Rohrleitungen	772
23.3.7 Gestaltung von Rohrausläufen	773
23.3.8 Sicherung der Rohrleitungen gegen Frost und Verstopfungen	773
23.3.9 Toträume in Rohrleitungen	774
23.3.10 Einbau von Sensoren zur Onlinemessung von Prozessgrößen	775
23.3.11 Hinweise zur Rohrleitungsverschaltung und zum Einsatz von Armaturen	776
23.4 Rohrleitungszubehör	782
23.5 Probeentnahmearmaturen	783

## Klärung und Stabilisierung des Bieres

---

23.6 Hinweise zum Einsatz und zur Gestaltung von MSR-Stellen und von automatischen Steuerungen	794
23.6.1 Allgemeine Hinweise	794
23.6.2 Anforderungen an die Messunsicherheit der verwendeten Messtechnik	794
23.6.3 Messwertauswertung	796
23.6.4 Anforderungen des Einbauortes und der Reinigung/Desinfektion	797
23.6.5 Anforderungen der Betriebssicherheit und Anlagensicherheit	798
23.6.6 Anforderungen der Wartung und Instandhaltung	798
23.6.7 Anforderungen an automatische Steuerungen	799
24. Elektrische Antriebe	804
24.1 Elektrische Antriebe	804
24.2 Sonstige Antriebe	808
25. Pumpen	809
25.1 Allgemeine Hinweise	809
25.2 Flüssigkeitspumpen	810
25.2.1 Kreiselpumpen für die allgemeine Verwendung	810
25.2.2 Kreiselpumpen für die Getränkeindustrie	810
25.3 Seitenkanalpumpen	811
25.4 Verdrängerpumpen	813
25.5 Die Wellendichtung	814
25.5.1 Wozu dient eine Wellendichtung	814
25.5.2 Varianten einer Wellendichtung	815
25.5.3 Bauformen der Gleitringdichtung	819
25.5.4 Anforderungen an eine Wellendichtung	821
25.5.5 Kavitation	822
25.6 Hinweise zum Einsatz von Zentrifugalpumpen	823
25.6.1 Allgemeine Hinweise	823
25.6.2 Kennlinien und Möglichkeiten ihrer Beeinflussung	827
25.6.3 Die Kennlinie einer Zentrifugalpumpe	828
25.6.4 Möglichkeiten der Zusammenschaltung von Pumpen	832
25.6.5 Hinweise zur Pumpenauswahl	833
25.6.6 Scherkräfte	836
26. Filter für technische Gase und Dampf	837
26.1 Filter für Spanngase	837
26.2 Filter für sonstige Anwendungen	838
26.3 Filter für Dampf	840
26.4 Filtersysteme für Filterscheiben	840
26.5 Filtersterilisation	842
27. Werkstoffe und Oberflächen	843
27.1 Metallische Werkstoffe	843
27.2 Kunststoffe	848
27.3 Oberflächenzustand	849

---

27.4 Dichtungswerkstoffe	850
27.4.1 Unterscheidungsmöglichkeiten für Elastomere	851
27.4.2 Hinweise zur Beständigkeit der Dichtungswerkstoffe	851
27.4.3 Schmierstoffe für Dichtungen	852
27.4.4 Form der Dichtungen	853
27.4.5 Haltbarkeit von Dichtungen	853
28. Gesetzliche Grundlagen der Anlagenplanung und -errichtung, erforderliche Genehmigungen	854
28.1 Europäisches Recht	855
28.2 Gesetze und Verordnungen	855
28.3 Technische Regeln	857
28.4 Vorschriften der Berufsgenossenschaften	857
28.5 Hinweis für die Beschaffung aktueller Informationen	858
28.6 Wichtige Informationsquellen zum Unfallschutz und der technischen Sicherheit	858
28.7 Die Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe	859
27.7.1 Wichtige Informationsquellen zum Unfallschutz und der technischen Sicherheit	859
27.7.2 Wichtige Regeln der BGN zum Umgang mit Kieselguren	859
27.7.3 Sonstige Schriften	859
29. Unfallverhütung, technische Sicherheit, Hygiene	860
29.1 Allgemeine Hinweise	860
29.2 Unterweisung der Mitarbeiter	860
29.3 Hygiene	860
29.4 Betriebsanweisungen	861
29.5 Betrieb von Staplern	861
29.6 Lichtschranken und Endschalter	861
Anlage Dissertationen	863
Index	865
Quellennachweise und Anmerkungen	901