

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung und Begriffsdefinitionen	25
2. Zur Geschichte der Bierklärung, Bierstabilisierung und Haltbarmachung	40
3. Die Qualitätseigenschaften des Unfiltrates und dessen Einfluss auf die Filtrierbarkeit des Lagerbiers	77
4. Anforderungen an ein filtriertes, kolloidal stabiles und biologisch haltbares Bier ohne thermische Behandlung	123
5. Die Klärung des Bieres vor der Klärfiltration	132
6. Unfiltratbereitstellung für die Filtration	148
7. Die Klärfiltration von Bier unter Einsatz von Filterhilfsmitteln	150
8. Die Membranfiltration von Bier ohne Verwendung von FHM	276
9. Die Polier- und Entkeimungsfiltration	324
10. Bierpartikelfilter (Trap-Filter)	361
11. Verfahren und Anlagen mit regenerierbaren Filtermitteln	367
12. Drucktanks für filtriertes Bier	379
13. Die Filterhilfsmittel der Klärfiltration und die Filtermittel der Nachfiltration	386
14. Separation und Separatoren	502
15. Die kolloidale Bierstabilisierung, Stabilisierungsmittel, Technologie und Technik	528
16. Anlagen zur StammwürzeEinstellung und Carbonisierung	606
17. Die Mess- und Automatisierungstechnik im Prozess der Bierfiltration	634
18. Schwand bei der Bierfiltration	716
19. CIP-Anlagen für den Bereich Filtration und Drucktank	719
20. Planung einer Filteranlage, CIP-Anlagen, Betriebsabnahmen	721
21. Prozesskontrolle zur Überwachung der Bierfiltration und Bierstabilisierung, Maßnahmen zur Qualitätssicherung	742
22. Armaturen, Rohrleitungen, Pumpen, MSR-Stellen	747
23. Werkstoffe und Oberflächen	810
24. Arbeits- und Gesundheitsschutz, Gefahrenpunkte bei der Filtration und ihre Vermeidung	822

Inhaltsverzeichnis detailliert

Verwendete Abkürzungen	18
Vorwort	22
1. Einführung und Begriffsdefinitionen	25
1.1 Allgemeine Begriffsbestimmungen	25
1.2 Stellung der Bierklärung und -stabilisierung im Prozess der Bierherstellung und ihre Abgrenzung	25
1.3 Die Stufen der Bierklärung	26
1.4 Aufgaben und Ziele der Prozessstufe der künstlichen Bierklärung und Bierstabilisierung	27
1.4.1 Aufgaben	27
1.4.2 Ziele der Prozessstufe unter besonderer Beachtung der Bierstabilität	28
1.5 Verfahrenskombinationen zur Erzeugung eines blanken, kolloidal stabilen und keimfreien Bieres	29
1.6 Die wichtigsten Anforderungen an das filtrierte und stabilisierte Bier	30
1.7 Verfahrens- und apparatetechnische Begriffe zur Filtration	31
1.7.1 Allgemeine Hinweise	31
1.7.2 Einige Begriffe zur Filtration	32
1.8 Die Größenverhältnisse von Porenweiten der Filterschichten, Filterhilfsmittelschichten und Trubstoffen im Bier	36
1.9 Einteilung der Bierfilter und Filterkombinationen	38
2. Zur Geschichte der Bierklärung, Bierstabilisierung und Haltbarmachung	40
2.1 Überblick	40
2.2 Geschichtlicher Rückblick auf die natürliche Bierklärung (bis zum Ende des 19. Jahrhunderts)	44
2.2.1 Das 15. Jahrhundert	44
2.2.2 Das 16. Jahrhundert	45
2.2.3 Das 18. Jahrhundert	45
2.2.4 Das 19. Jahrhundert	46
2.2.5 Der Erkenntnisgewinn über die Voraussetzungen zur Erhöhung der biologischen Haltbarkeit ab 1885	57
2.3 Über die Anfänge der Bierfiltration am Ende des 19. Jahrhunderts	58
2.3.1 Trubsack	58
2.3.2 Zeitmeinungen zur Notwendigkeit einer mechanischen Bierfiltration	58
2.3.3 Das erste Bierfilter - Enzinger's Universal-Schnell-Filter	60
2.3.4 Bierfilter nach Stockheim (Mannheim)	65
2.3.5 Bierfilter-System nach Klein, Schanzlin und Becker	69
2.4 Erste Zentrifugen für die Würzeklämung bereits 1885 in Berlin	70

2.5 Keramikfilter	70
2.6 Die Filtration mit dem Massefilter	71
2.7 Ein kurzer Ausblick zur Weiterentwicklung der Bierfiltration	76
3. Die Qualitätseigenschaften des Unfiltrates und dessen Einfluss auf die Filtrierbarkeit des Lagerbiers	77
3.1 Die Filtrierbarkeit des Unfiltrates - ein wirtschaftlicher Faktor	77
3.2 Die Verursacher von Filtrationsproblemen	78
3.2.1 Größenordnung der Trübstoffe	78
3.2.2 Einiges über das Kolloidsystem des Bieres	79
3.2.3 Die beteiligten chemischen Stoffgruppen	81
3.2.4 Trübungskomplexe	82
3.2.5 Beeinflussung der Trübungskomplexe durch Filtrationsenzyme	83
3.2.6 Der biologische Anteil der Biertrübung	84
3.2.7 Die unterschiedliche Bedeutung der Hefekonzentration für die Filtrierbarkeit	86
3.3 Die Haupttrübungskomponenten im Unfiltrat und ihr Einfluss auf die Filtrierbarkeit	87
3.3.1 Die hochmolekularen β -Glucane	87
3.3.2 Höher molekulare und nicht jodnormale α -Glucane	91
3.3.3 Hochmolekulare Eiweiß-Gerbstoffverbindungen, der Resttrub- und Feststoffgehalt und der Einfluss des pH-Wertes	92
3.4 Die Bewertung der Filtrierbarkeit eines Unfiltrates	97
3.4.1 Membranfiltermethode nach <i>Esser</i>	98
3.4.2 Test zur Bestimmung der Filtrationseigenschaften von Bier nach <i>Raible</i>	100
3.4.3 Großtechnische Filtrationsergebnisse als Maß für die Filtrierbarkeit	101
3.5 Ursachenforschung bei Filtrationsproblemen	101
3.6 Technologische Einflussfaktoren auf die Filtrierbarkeit	104
3.6.1 Positive Einflussfaktoren auf die Filtrierbarkeit und kolloidale Stabilität	104
3.6.2 Lösungsansätze zur Verbesserung der Filtrierbarkeit bei Filtrationsproblemen	106
3.6.3 Über die filtrierbarkeitsverbessernden Maßnahmen in der Brauerei	111
3.7 Beispiele für Filtrierbarkeitsbefunde von Betriebsbieren	112
3.7.1 Rohfruchtverarbeitung und die Verwendung diverser mikrobieller Enzyme sind noch keine Gewähr für gut filtrierbare Biere	112
3.7.2 Effektivität der Unfiltratvorklärung durch Separation	113
3.7.3 Ein Problembier mit β -Glucanausfällungen	114
3.7.4 Ein Bier ohne Filtrationsschwierigkeiten, aber mit Trübungen im Filtrat	115
3.7.5 Qualitätsschäden bei einer zu scharfen Filtration	116
3.7.6 Trübungsprobleme in einem obergärigen, ausländischen Bier	118
3.8 Würzecheck zur Erfassung eventueller Filtrationsprobleme	120
3.8.1 Ein Würzecheck zur Erfassung evtl. Filtrationsprobleme im unfiltrierten Fertigbier	120

3.8.2 Beispiel: Würzecheck bei Brauversuchen mit 10...15 % Wintergerstenmalz in einer deutschen Großbrauerei	120
4. Anforderungen an ein filtriertes, kolloidal stabiles und biologisch haltbares Bier ohne thermische Behandlung	123
4.1 Qualitätsanforderungen an die unterschiedlichen Biertypen	123
4.2 Die wichtigsten Kontrollmethoden zur Bestimmung der Klarheit und voraussichtlichen kolloidalen Stabilität des fertigen Bieres	124
4.2.1 Die Beurteilung der Glanzfeinheit des Bieres	124
4.2.2 Messung der kolloidalen Stabilität im filtrierten Bier durch den Forciertest	125
4.2.3 Richtwerte des Alkohol-Kälte-Tests nach <i>Chapon</i> zur schnellen Abschätzung der kolloidalen Stabilität von Filtraten	126
4.3 Anforderungen an ein nur mit Kieselgur filtriertes Bier	127
4.4 Die wichtigsten Anforderungen an die Polier- bzw. Endfiltration zur Herstellung eines biologisch stabilen Bieres auf kaltem Wege	128
4.4.1 Trap-Filter	128
4.4.2 Tiefenfiltration	128
4.4.3 Anforderungen der Membranfiltration an ein vorfiltriertes Bier	129
4.4.4 Membranfiltration	130
4.5 Anforderungen an die kolloidale Stabilität	131
5. Die Klärung des Bieres vor der Klärfiltration	132
5.1 Der Einfluss physikochemischer Faktoren auf die natürliche Klärung des Unfiltrates	132
5.2 Einfluss der Dauer der Kaltlagerphase auf die Trübung und Filtrierbarkeit	132
5.3 Die Temperatur des Unfiltrates in der Kaltlagerphase und der Einfluss auf die Klärung und kolloidale Stabilität	133
5.4 Der negative Einfluss der Inhomogenität eines ZKT-Inhaltes auf die Trübung und kolloidale Stabilität des Bieres	134
5.5 Die Konzentration der Kulturhefen in der Klärphase und ihre Bedeutung für die Filtrierbarkeit	135
5.6 Zusammenfassung der Einflussfaktoren auf die natürliche Klärung untergäriger Biere	135
5.7 Klärhilfen in der Kaltlagerphase	136
5.7.1 Historische Verfahrensweisen zur Förderung der Bierklärung	136
5.7.2 Der Einsatz von Kieselöl zur Unterstützung der natürlichen Klärung in der Neuzeit	136
5.8 Die Klärseparation von Lagerbier	141
5.9 Verbesserung der Filtrierbarkeit durch thermische Verfahren	143
5.9.1 Temperatureinflüsse auf β -Glucangel	143
5.9.2 Anlagen zur thermischen Behandlung	145
5.9.3 Schlussfolgerungen	147
6. Unfiltratbereitstellung für die Filtration	148

7. Die Klärfiltration von Bier unter Einsatz von Filterhilfsmitteln	150
7.1 Allgemeine Hinweise und Begriffe	150
7.2 Verfahrensführung der Klärfiltration unter Verwendung von Filterhilfsmitteln	150
7.2.1 Allgemeine Hinweise zur Ansatzbereitung der Filterhilfsmittel	150
7.2.2 Die Voranschwemmung	151
7.2.3 Der Einfluss der Kieselgurmischung für die 2. Voranschwemmung und die laufende Dosierung	154
7.2.4 Die Gleichmäßigkeit des Filterkuchens und die Differenzdruckkontrolle	155
7.2.5 Die laufende Dosierung und der normale Anstieg des Differenzdruckes	157
7.2.6 Fließgeschwindigkeit, spezifischer Volumenstrom und spezifisches Filtratvolumen	159
7.2.7 Auswirkungen und Ursachen von Druckstößen	160
7.2.8 Fehlerhafte Differenzdruckverläufe und ihre Ursachen	161
7.2.9 Technisch-technologische Filtrationsprobleme und weitere Hinweise für die Verfahrensführung der Anschwemmfiltration	163
7.3 Anlagen für die klassische Klärfiltration	171
7.3.1 Allgemeine Hinweise	171
7.3.2 Anschwemmfilteranlagen	174
7.3.3 Anschwemmfilter	178
7.3.4 Dosierung der FHM	216
7.3.5 Sedimentation der FHM	222
7.3.6 Ansatz der FHM	226
7.3.7 Automation der Filteranlage, Mess- und Regelungstechnik	231
7.3.8 Die Trübungsmessung als Kontroll- und Steuergröße bei der Klärfiltration	233
7.4 Arbeitsabläufe bei Anschwemmfilter-Anlagen	235
7.4.2 Wichtige Teilschritte beim Betrieb von Anschwemmfilter-Anlagen	235
7.4.3 Arbeitsabläufe bei A.-Schichtenfiltern	239
7.4.4 Arbeitsabläufe bei A.-Kerzenfiltern	240
7.4.5 Arbeitsabläufe beim TFS-Filtersystem	244
7.4.6 Arbeitsabläufe beim A.-Zentrifugalscheibenfilter	250
7.4.7 Spezifische Kennwerte	251
7.4.8 Reduzierung der Sauerstoffaufnahme bei Anschwemmfiltern	254
7.4.9 Reduzierung der Vor- und Nachlaufmengen bei Anschwemmfiltern	254
7.5 CIP und Filtersterilisation bei Anschwemmfilteranlagen	257
7.6 Zur Theorie der Anschwemmfiltration	259
7.6.1 Allgemeine Hinweise	259
7.6.2 Grundlagen der Filterströmung	260
7.7 Die Entsorgung der Abprodukte der Anschwemmfiltration	266
7.7.1 Kalkulation des anfallenden Kieselgurschlammes und seine Feststoffkonzentrationen	266
7.7.2 Anlagen für die Sammlung und Entfernung der Filterrückstände	266
7.7.3 Kieselgurschlamm als Sondermüll	268

7.7.4 Entwässerung des Kieselgurschlammes	269
7.7.5 Varianten für die Kieselgurschlamm Entsorgung	269
7.7.6 Verwertung des Kieselgurschlammes in der Landwirtschaft	273
7.7.7 Verwertung des Kieselgurschlammes in der Bauindustrie	274
7.7.8 Entsorgung der Filterschichten der Bierfiltration	274
8. Die Membranfiltration von Bier ohne Verwendung von FHM	276
8.1 Allgemeiner Überblick	276
8.2 Anlagen für die Membranfiltration	281
8.2.1 PROFI®-System	281
8.2.2 System Norit	287
8.2.3 System AlfaBright™ Beer Filtration	292
8.3 Membranen für Crossflow-Filteranlagen	294
8.4 Verfahrenstechnische Aspekte der Crossflow-Mikrofiltration von Bier	295
8.4.1 Druckverlust in einer Hohlfasermembran	296
8.4.2 Kinematische Viskosität des Bieres	299
8.4.3 Deckschichtbildung	302
8.4.4 Transmembrandruck	306
8.4.5 Pinch-Effekt	308
8.4.6 Allgemeine Wirkungen und Zusammenhänge bei der CMF	308
8.5 Verfahrensablauf der Crossflow-Filtration	309
8.6 Grundlagen der CMF	312
8.7 Membranreinigung	316
8.7.1 Rückspülungen	316
8.7.2 Membran-CIP-Reinigung	317
8.8 Die möglichen Varianten der Bierstabilisierung bei einer CMF	322
8.8.1 CMF-Verfahren mit Vorklärung	322
8.8.2 CMF-Verfahren ohne Vorklärung	323
9. Die Polier- und Entkeimungsfiltration	324
9.1 Zur Stellung der Polier- und Entkeimungsfiltration	324
9.2 Anforderungen an die Polier- und Entkeimungsfiltration	324
9.2.1 Tiefenfiltration	325
9.2.2 Membranfiltration	325
9.3 Die Wahl des Filtersystems, seine Anordnung und die erforderlichen Zusatzfilter	326
9.4 Zur Beurteilung bzw. Validierung von Tiefenfiltern und Membranfiltern	327
9.4.1 Einführung und Definitionen	327
9.4.2 Die Entfernung der Mikroorganismen durch die Filtration	329
9.4.3 Angaben für die Partikelabscheidung in Filtern	337
9.4.4 Validierung von Membranen und Membranfiltersystemen	341
9.5 Schichtenfiltration	345
9.5.1 Zur Stellung des Schichtenfilters	345

9.5.2	Aufbau und Funktion des Schichtenfilters	346
9.5.3	Auswahl der Filterschichten	346
9.5.4	Die erforderliche Filterfläche und die Wahl des Filterschichtentyps	347
9.5.5	Der spezifische Filterdurchsatz, spezifisches Filtratvolumen, Standzeit des Filters und maximal zulässiger Differenzdruck	347
9.5.6	Vorbereitung des Schichtenfilters und Filtration	348
9.5.7	Regenerierung des Schichtenfilters	349
9.6	Filtration mit Kerzen- und Modulfiltern	351
9.6.1	Allgemeine Hinweise zur Filtration mittels Kerzen- und Modulfiltern	351
9.6.2	Reinigung und Sterilisation der Kerzen- und Modultiefenfiltersysteme	351
9.7	Membranfiltration	352
9.7.1	Zur Geschichte und den Besonderheiten der Membranfiltration	352
9.7.2	Membrankerzenfilter in Clusteranordnung	355
9.7.3	Reinigung und Sterilisation von Membranfilterkerzen, Anforderungen an die Spülwässer	356
9.7.4	Betriebliche Erfahrungen mit der Membranfiltration	358
10.	Bierpartikelfilter (Trap-Filter)	361
10.1	Aufgabe der Trap-Filter	361
10.2	Gestaltung der Trap-Filter	361
10.3	Prüfung von Trap-Filtern	365
11.	Verfahren und Anlagen mit regenerierbaren Filtermitteln	367
11.1	Filtrationsverfahren mit integrierter Kieselgurregeneration	367
11.2	Das System F&S-Filtration	372
11.3	Das System KOMETRONIC	373
11.3.1	Allgemeines zum System Innopro KOMETRONIC	373
11.3.2	Aufbau des Systems Innopro KOMETRONIC	374
12.	Drucktanks für filtriertes Bier	379
12.1	Allgemeine Hinweise zu Drucktanks	379
12.2	Bauformen und Aufstellung von Drucktanks	379
12.3	Betriebsdruck der Drucktanks	380
12.4	Spanngas für Drucktanks	381
12.5	Drucktankzubehör	381
12.6	Rohrleitungen und Armaturen	384
12.7	Entleerung eines DT	385
13.	Die Filterhilfsmittel der Klärfiltration und die Filtermittel der Nachfiltration	386
13.1	Definition der Filterhilfsmittel (FHM), Filtermittel und Stabilisierungsmittel	386
13.1.1	Filterhilfsmittel	386
13.1.2	Filtermittel	386
13.1.3	Mechanismus der Partikelabtrennung bei der Bierfiltration	386

13.1.4 Stabilisierungsmittel	387
13.2 Filtermasse	387
13.3 Kieselguren	387
13.3.1 Allgemeine Hinweise zu Kieselgur	387
13.3.2 Kurzcharakteristik der Kieselgur	388
13.3.3 Zur Entstehung und Gewinnung der Rohguren	389
13.3.4 Aufbereitungsprozesse der Rohguren	390
13.3.5 Der Cristobalitgehalt der aufbereiteten Kieselgur	392
13.3.6 Einfluss der Diatomeenformen und des Zerstörungsgrades auf die Eigenschaften des Filterhilfsmittels	393
13.3.7 Allgemeine Anforderungen an die Qualitätsparameter einer Kieselgur für die Bierfiltration	398
13.3.8 Die drei wichtigsten Kieselgurtypen für die Bierfiltration und ihre Qualitätskennwerte	407
13.3.9 Charakteristika verschiedener Handelsguren für die Bierfiltration	410
13.3.10 Vor- und Nachteile der Kieselguren als Filterhilfsmittel	412
13.3.11 Einige Hinweise zu den rechtlichen Vorschriften für den Umgang mit Kieselgur	413
13.4 Perlite	415
13.4.1 Gewinnung und Aufbereitung von Perliten	415
13.4.2 Eigenschaften und Anforderungen	416
13.4.3 Angaben zu einigen handelsüblichen Perliten	417
13.4.4 Vor- und Nachteile der Perlite	418
13.5 Asbest	418
13.6 Cellulose	419
13.6.1 Allgemeine Charakteristik von Cellulose	419
13.6.2 Herstellung	420
13.6.3 Grenzflächenkräfte bei der Fest-Flüssig-Trennung	423
13.6.4 Einige Eigenschaften der hochreinen Celluloseprodukte	427
13.6.5 Celluloseprodukte bei der Bierfiltration	428
13.6.6 Einige Hinweise zu den filtrationsspezifischen Eigenschaften cellulosehaltiger Filterhilfsmittel	429
13.6.7 Regeneration cellulosebasierter Filterhilfsmittel	430
13.6.8 Wirtschaftliche Bewertung der Bierfiltration nur mit reiner Cellulose	430
13.6.9 Vor- und Nachteile von Celluloseprodukte als Filterhilfsmittel	431
13.7 Alternative Filterhilfsmittel	432
13.7.1 Fällungskieselsäure	432
13.7.2 Aktivkohle	433
13.7.3 Polymere Kunststoffe als Filterhilfsmittel	435
13.7.4 Versuche mit ausgefallenen Filterhilfsmitteln	438
13.8 Filtermittel der Nachfiltersysteme bei der klassischen Dead-End-Filtration	441
13.8.1 Die verschiedenen Systeme im Vergleich	442
13.8.2 Cellulosehaltige Filterschichten und einige Weiterentwicklungen	447

13.8.3 Tiefenfilterkerzen	453
13.8.4 Tiefenfiltermodule	459
13.9 Membranen und Membranfilter für die Dead-End-Filtration	469
13.9.1 Allgemeine Bemerkungen	469
13.9.2 Werkstoffe der Polymermembranen	469
13.9.3 Herstellung der Membranen	472
13.9.4 Mögliche Varianten für den Aufbau von Vorfilterkerzen	474
13.9.5 Membranfilterkerzen	478
13.9.6 Prüfmöglichkeiten für Membranen	485
13.10 Membranen für die Crossflow-Filtration	486
13.10.1 Der Unterschied der Crossflow-Technik zur klassischen Dead-End-Filtration	486
13.10.2 Membranen für die Crossflow-Filtration von Bier	487
13.11 Lagerung von Filtermitteln, FHM und Stabilisierungsmitteln	498
13.11.1 Allgemeine Hinweise	498
13.11.2 Lagerung von Filtermitteln und Stabilisierungsmitteln	498
13.11.3 Lagerung von FHM	498
14. Separation und Separatoren	502
14.1 Allgemeiner Überblick	502
14.2 Grundlagen der Zentrifugation/Separation	503
14.2.1 Grundfälle der Zentrifugation/Separation	503
14.2.2 Gesetzmäßigkeiten der Separation	504
14.2.3 Volumenstrom der Separatortrommel	507
14.3 Wichtige Baugruppen des Separators	509
14.3.1 Maschinengestell	509
14.3.2 Antriebsmotor	509
14.3.3 Kupplung	510
14.3.4 Getriebe	510
14.3.5 Trommelwelle/Spindellagerung	513
14.3.6 Trommel	515
14.3.7 Flüssigkeits-Zu- und Ablauf	517
14.3.8 Separatorenhaube	518
14.3.9 Aufstellungsbedingungen und Zubehör	519
14.4 Feststoffaustrag	519
14.4.1 Trommeln mit beweglichem Schleuderraumboden	521
14.4.2 Trommeln mit Ringkolben	524
14.4.3 Trommeln mit Kolbenschieber	525
14.4.4 Messung des Feststoff-Füllungsgrades in der Trommel	525
14.5 CIP-Reinigung	527

15. Die kolloidale Bierstabilisierung, Stabilisierungsmittel, Technologie und Technik	528
15.1 Einführung	528
15.2 Abgrenzungen zum Begriff Bierstabilität	529
15.3 Die Trübung als Maß für die erreichte Klärung und kolloidale Stabilität	530
15.3.1 Nichtbiologische Trübungskomponenten im Bier	530
15.3.2 Kolloidcharakter der Bierinhaltsstoffe als Ursache für das Auftreten von kolloidalen Trübungen	535
15.3.3 Nichtbiologische Trübungsarten im Bier	538
15.3.4 Über die Größenordnung der Kältetrübung	540
15.3.5 Über die erforderliche Zeit für die Ausbildung der Kältetrübung	541
15.3.6 Zur Trübungsmessung	542
15.3.7 Einschätzung der voraussichtlichen kolloidalen Haltbarkeit von Filtraten unter Verwendung von Trübungsmessungen	544
15.4 Die eiweißseitige Stabilisierung	544
15.4.1 Geschichtliche Einordnung der eiweißseitigen Bierstabilisierung	544
15.4.2 Stabilisierung mit Kieselgelen	545
15.4.3 Der Einsatz von Bentoniten	557
15.4.4 Der Einsatz von Tannin	560
15.4.5 Der Einsatz proteolytischer Enzyme bei der Eiweißstabilisierung	563
15.5 Die gerbstoffseitige Stabilisierung	569
15.5.1 Stabilisierung mit PVPP	569
15.5.2 Quasikontinuierliche, gerbstoffseitige Stabilisierung	581
15.5.3 Der Einsatz von Nylonpulver zur gerbstoffseitigen Stabilisierung	587
15.5.4 Der Einsatz von Methanal (Formaldehyd) zur gerbstoffseitigen Stabilisierung	587
15.5.5 Polyphenolfällende Wirkung der Gelatine	588
15.5.6 An Kieselgel fixiertes PVP	588
15.6 Komplex wirkende Stabilisierungsverfahren	589
15.6.1 Das CSS-System	589
15.6.2 Kombiniertes Filterhilfs- und Stabilisierungsmittel Crosspure®	594
15.6.3 Einsatz einer stabilisierend wirkenden, modifizierten Kieselgur	595
15.7 Zusammenfassung zu den Varianten der Bierstabilisierung	595
15.8 Überblick über die wichtigsten technologischen Maßnahmen zur Vermeidung von kolloidalen Trübungen im Bier	596
15.9 Vermeidung von Oxidation im Prozess der Bierherstellung	598
15.9.1 Technologische Bedeutung der Oxidationsprozesse	598
15.9.2 Technologische Maßnahmen zur Reduzierung des Sauerstoffeintrages	600
15.9.3 Verwendung von Antioxidantien zur Reduzierung der Oxidationsgefahr	600
15.10 Prozesskontrolle zur Charakterisierung der kolloidalen Stabilität	603

16. Anlagen zur StammwürzeEinstellung und Carbonisierung	606
16.1 Allgemeine Hinweise	606
16.2 Rückverdünnung und Konditionierung	606
16.2.1 Zeitpunkt der Rückverdünnung	606
16.2.2 Allgemeine Anforderungen an das Verschnittwasser	606
16.2.3 Zur Abschätzung der Gushing-Gefahr durch Calciumoxalat	607
16.2.4 Varianten der Verschnittwasserentkeimung	608
16.3 Anlagen für die Rückverdünnung	609
16.3.1 Hinweise zur überschlägigen Verdünnungsrechnung ohne Berücksichtigung der Bierdichte	611
16.3.2 Anlagentechnik zum Mischen	612
16.4 Anlagen für die Wasserentgasung	614
16.4.1 Allgemeine Hinweise	614
16.4.2 Varianten der Entgasung	615
16.5 Nachcarbonisierung des Bieres	624
16.5.1 Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeit der CO ₂ -Lösung	625
16.5.2 Kriterien für die Auslegung einer Carbonisieranlage	627
16.5.3 Qualitätsanforderungen an die Kohlensäure	629
16.6 Minimierung des Sauerstoffeintrages im Prozess der Bierfiltration	633
17. Die Mess- und Automatisierungstechnik im Prozess der Bierfiltration	634
17.1 Allgemeine Hinweise	634
17.2 Allgemeine Messgrößen	634
17.3 Sauerstoffmessung	635
17.3.1 Bedeutung des Sauerstoffgehaltes und der Sauerstoffmessung	635
17.3.2 Messung des Sauerstoffs in Flüssigkeiten und Gasen	637
17.3.3 Allgemeine Funktionsweise amperometrischer O ₂ -Sensoren	637
17.3.4 Potenziostatische Sensoren	652
17.3.5 Sensor mit Festelektrolyt	656
17.3.6 Optische Sensoren	659
17.4 Messung des CO ₂ -Gehaltes	665
17.4.1 Bestimmung des CO ₂ -Gehaltes durch Titration	666
17.4.2 Bestimmung des CO ₂ -Gehaltes durch Messung des CO ₂ -Partialdruckes in der Gasphase	667
17.4.3 Bestimmung des CO ₂ -Gehaltes durch Messung des CO ₂ -Partialdruckes in der flüssigen Phase	669
17.4.4 Bestimmung des CO ₂ -Gehaltes mittels Membransensoren	676
17.4.5 Berechnung des CO ₂ -Gehaltes aus den Parametern Druck und Temperatur	679
17.4.6 Berechnungsgleichungen für verschiedene Getränke	682
17.4.7 Kalibrierung	683
17.4.8 Zusammenfassung	683

17.5	Optische Messverfahren	683
17.5.1	Überblick zu optischen Sensoren und Messverfahren	683
17.5.2	Einsatzorte für optische Sensoren und Anforderungen	684
17.5.3	Prinzipieller Aufbau eines optischen Sensors	686
17.5.4	Messprinzipien bei optischen Sensoren	688
17.6	Grundlagen der optischen Messtechnik	688
17.6.1	Lichtabsorption	688
17.6.2	Streulichtmessung	691
17.6.3	Messwellenlänge	692
17.6.4	Einheiten der optischen Strahlung	693
17.6.5	Werkstoffe für optische Sensoren	693
17.6.6	Vorteile optischer Sensoren	694
17.7	Anwendungsbeispiele für den Einsatz optischer Sensoren	695
17.7.1	Transmissionsmessung	695
17.7.2	Trübungsmessung	695
17.7.3	Farbmessung	702
17.7.4	Faseroptik	703
17.7.5	Fluoreszenzmessung	703
17.7.6	Trennung mischbarer Medien	704
17.7.7	Partikelzählgeräte	704
17.7.8	Staubgehaltsmessung/Streulicht	708
17.7.9	Lichtschraken	708
17.7.10	Reflexionsmessung	708
17.8	Stammwürze- und Ethanolmessung	710
17.8.1	Stammwürze-Messung	710
17.8.2	Ethanol-Messung	713
17.9	Grenzwertsonden	714
18.	Schwand bei der Bierfiltration	716
18.1	Allgemeine Hinweise	716
18.2	Vor- und Nachlaufverwendung	717
18.3	Probleme bei vor- und nachlaufreier Arbeitsweise	718
18.4	Schwand bei der Crossflow-Membranfiltration	718
19.	CIP-Anlagen für den Bereich Filtration und Drucktank	719
19.1	Allgemeiner Hinweis	719
19.2	Stapelreinigung oder verlorene Reinigung	719
19.3	Besonderheiten der Reinigung von Drucktanks	719
19.4	Reinigung der Unfiltratleitungen	720
19.5	Reinigung der Filtratleitungen	720
20.	Planung einer Filteranlage, CIP-Anlagen, Betriebsabnahmen	721
20.1	Allgemeine Hinweise	721
20.2	Gestaltung der Gesamtanlage und räumliche Anordnung	722

20.2.1 Fragestellungen zum Einsatz der Anlagentechnik	722
20.2.2 Spezifische Kennwerte für die Auswahl eines Filter- und Stabilisierungssystems	724
20.2.3 Zur Kapazitätsauslegung einer Filteranlage	724
20.2.4 Betriebsweise der Anlage	725
20.2.5 Festlegungen zum Drucktankvolumen	726
20.2.6 Verknüpfung von Filteranlagenkomponenten	727
20.2.7 Arbeitskräftebedarf	727
20.2.8 Automation	727
20.3 Raumgestaltung der Filteranlage	728
20.3.1 Allgemeine Hinweise	728
20.3.2 Allgemeine Raumgestaltung	729
20.3.3 FHM-Lagerung und -Bereitstellung	730
20.3.4 CIP-Anlage der Filteranlage	730
20.4 Entsorgung von Filtermitteln	731
20.5 Abnahme von Filteranlagen	731
20.6 Hinweise zur Auswahl der Filteranlagen und ihrer Zusatzaggregate	733
20.6.1 Technologische Zielstellungen der Filtration und Nachfiltration	733
20.6.2 Ausrüstungsvorschläge für die Variante 1	733
20.6.3 Ausrüstungsvorschläge für die Variante 2	733
20.6.4 Ausrüstungsvorschläge für die Variante 3	733
20.6.5 Auswahl von Filtersystemen unter Beachtung der evtl. häufig im Betrieb vorkommenden Problemfälle	735
20.7 Einige Richtwerte zu den Kosten der Bierklärung, -stabilisierung und -haltbarmachung und zur Bewertung der Bierfiltration aus betriebswirtschaftlicher Sicht	736
20.7.1 Allgemeine Hinweise	736
20.7.2 Einige Hinweise zum Umfang der Kostenermittlung	737
20.7.3 Verbrauchswerte	739
20.7.4 Kosten für die biologische Haltbarmachung	740
20.7.5 Hinweise zur Abwasserbelastung durch die Bierfiltration	740
21. Prozesskontrolle zur Überwachung der Bierfiltration und Bierstabilisierung, Maßnahmen zur Qualitätssicherung	742
21.1 Visuelle Filterkontrollen	742
21.2 Technische Prozesskontrolle in der Filtration	742
21.3 Biologische Filtrationskontrolle	743
21.4 Kontrolle der Bierfiltrierbarkeit	744
21.5 Überprüfung der kolloidalen Bierstabilität	744
21.6 Ursachenforschung bei unbefriedigendem Filtrationsergebnis	744
22. Armaturen, Rohrleitungen, Pumpen, MSR-Stellen	747
22.1 Allgemeine Hinweise	747
22.2 Armaturen für Rohrleitungen und Anlagenelemente	747

22.3 Rohrleitungen	749
22.3.1 Rohrleitungsverbindungen	749
22.3.2 Verlegung von Rohrleitungen und die Gestaltung von Rohrleitungs- halterungen, Wärmedehnungen	752
22.3.3 Die Fließgeschwindigkeit in Rohrleitungen, Druckverluste	756
22.3.4 Maßnahmen gegen Flüssigkeitsschläge und Schwingungen	760
22.3.5 Entlüftung der Rohrleitungen, Sauerstoffentfernung	760
22.3.6 Gestaltung von Wärmedämmungen bei Rohrleitungen	761
22.3.7 Gestaltung von Rohrausläufen	762
22.3.8 Sicherung der Rohrleitungen gegen Frost und Verstopfungen	762
22.3.9 Toträume in Rohrleitungen	763
22.3.10 Einbau von Sensoren zur Onlinemessung von Prozessgrößen	764
22.3.11 Hinweise zur Rohrleitungsverschaltung und zum Einsatz von Armaturen	765
22.4 Rohrleitungszubehör	772
22.5 Probeentnahmearmaturen	773
22.6 Hinweise zum Einsatz und zur Gestaltung von MSR-Stellen und von automatischen Steuerungen	785
22.6.1 Allgemeine Hinweise	785
22.6.2 Anforderungen an die Messunsicherheit der verwendeten Messtechnik	785
22.6.3 Messwertauswertung	786
22.6.4 Anforderungen des Einbauortes und der Reinigung/Desinfektion	787
22.6.5 Anforderungen der Betriebssicherheit und Anlagensicherheit	789
22.6.6 Anforderungen der Wartung und Instandhaltung	789
22.6.7 Anforderungen an automatische Steuerungen	790
22.7 Hinweise zum Einsatz von Pumpen	794
22.7.1 Allgemeine Hinweise	794
22.7.2 Verdrängerpumpen	794
22.7.3 Zentrifugalpumpen	796
22.7.5 Scherkräfte	809
23. Werkstoffe und Oberflächen	810
23.1 Metallische Werkstoffe	810
23.2 Kunststoffe	815
23.3 Oberflächenzustand	816
23.4 Dichtungswerkstoffe	817
23.4.1 Unterscheidungsmöglichkeiten für Elastomere	818
23.4.2 Hinweise zur Beständigkeit der Dichtungswerkstoffe	818
23.4.3 Schmierstoffe für Dichtungen	819
23.4.4 Form der Dichtungen	820
23.4.4 Haltbarkeit von Dichtungen	820

24. Arbeits- und Gesundheitsschutz, Gefahrenpunkte bei der Filtration und ihre Vermeidung	822
24.1 Die Stellung der gewerblichen Berufsgenossenschaften	822
24.2 Wichtige Informationsquellen zum Unfallschutz und der technischen Sicherheit	823
24.3 Weitere gesetzliche Grundlagen zum Unfallschutz und zur technischen Sicherheit	823
24.4 Wichtige Dokumente zur Anlagenplanung, zum Unfallschutz und zum Gesundheitsschutz	823
24.4.1 Europäisches Recht	823
24.4.2 Nationale gesetzliche Grundlagen	824
24.4.3 Wichtige Regeln der BGN zum Umgang mit Kieselguren	825
24.4.4 Sonstige Schriften	825
Anlage Dissertationen	827
Index	829
Quellennachweis und Anmerkungen	869