

WOLFGANG KUNZE

TECHNOLOGIE

Brauer & Mälzer

Herausgegeben von
Olaf Hendel

Kapitel 11
In Zusammenarbeit mit
Dr. Hans-Jürgen Manger

11. überarbeitete Auflage

Im Verlag der



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 abrufbar.

Wolfgang Kunze, Olaf Hendel (Hrsg.)
Technologie Brauer und Mälzer
11. überarbeitete Auflage 2016

Bisher sind erschienen	
1. deutsche Auflage	1961
2. deutsche Auflage	1967
3. deutsche Auflage	1975
4. deutsche Auflage	1978
5. deutsche Auflage	1979
1. ungarische Auflage	1983
6. deutsche Auflage	1989
7. deutsche Auflage	1994
1. englische Auflage	1996
8. deutsche Auflage	1998
1. chinesische Auflage	1998
1. serbische Auflage	1998
2. englische Auflage	1999
1. polnische Auflage	1999
1. russische Auflage	2001
2. russische Auflage	2003
3. englische Auflage	2004
1. spanische Auflage	2006
9. deutsche Auflage	2007
2. chinesische Auflage	2008
3. russische Auflage	2008
4. internationale Auflage	2010
10. deutsche Auflage	2011
5. internationale Auflage	2014
11. deutsche Auflage	2016

ISBN 978-3-921690-81-9

© VLB Berlin, Germany

www.vlb-berlin.org

Hinweise und Kontakt: brewmaster@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.

Layout: Grafikdesign Anne Kulesa, Dresden, Deutschland, www.anne-kulesa.de

Druck: Westkreuz-Druckerei Ahrens KG Berlin/Bonn, www.westkreuz.de

Vorwort zur 11. deutschen Ausgabe von „Technologie Brauer und Mälzer“



Im Jahre 2015 wurden auf den fünf Kontinenten der Erde mehr als 1,9 Milliarden Hektoliter Bier gebraut und getrunken. Beschreibungen der Bierherstellung lassen sich fast 5000 Jahre zurückverfolgen. Bier ist damit ein einzigartiges Getränk, das auf der ganzen Welt über Kultur- und Sprachgrenzen hinweg seine Freunde gefunden hat und als verbindendes Element Lebensfreude und Genuss spendet. Dabei ist Bier gut für Geist und Körper. Die medizinische Forschung hat inzwischen nachgewiesen, dass ein moderater Bierkonsum positive Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat. All dies ist für uns Brauer Verpflichtung, bei der Bierherstellung allerhöchste Ansprüche an die Qualität der Rohstoffe, der Anlagen, der Prozesse und nicht zuletzt auch an die Qualifikation unserer Mitarbeiter zu stellen. In Deutschland mit seinen rund 1400 Brauereien und mehr als 5000 Biermarken genießt die Brauwissenschaft und die Brauerausbildung seit jeher einen hohen Stellenwert. Brauereispezifische Forschung und Entwicklung – unter anderem an den Universitäten in Weihenstephan und Berlin – haben zu großen Fortschritten geführt. Und nicht zuletzt hat das deutsche Reinheitsgebot mit seiner Beschränkung der Zutaten auf die natürlichen Rohstoffe Wasser, Hopfen, Malz und Hefe die Kreativität unserer Brauer und Ingenieure immer wieder inspiriert.

Ein Teil des daraus resultierenden umfangreichen Fachwissens ist in dem vorliegenden Band von „Technologie Brauer und Mälzer“ zusammengefasst. Seit der ersten Ausgabe im Jahre 1961 sind davon mehr als 60000 Exemplare verkauft worden.

Mit Übersetzungen ins Ungarische, Polnische, Englische, Jugoslawische, Chinesische, Russische und Spanische hat die deutsche Originalausgabe inzwischen auch den Weg zu Brauereipraktikern auf der ganzen Welt gefunden.

Erschienen erstmals 1961 in der DDR, hat der Autor Wolfgang Kunze über mehr als 50 Jahre hinweg das Buch ständig aktualisiert und um neue Erkenntnisse erweitert.

Leider ist Wolfgang Kunze am 17. Januar 2016 im Alter von 89 Jahren verstorben. Wir haben mit ihm aber noch zu Lebzeiten vereinbart, dass die VLB das Werk in seinem Sinne weiterführen wird. Die vorliegende 11. deutsche Auflage ist daher kein einfacher Nachdruck, sondern wurde von der VLB Berlin unter der Leitung von Olaf Hendel komplett überarbeitet.

Damit soll „Technologie Brauer und Mälzer“ auch künftig seinem Ruf als das weltweit führende Standardwerk für professionelle Brauer und Mälzer gerecht werden und einen aktiven Beitrag für die qualifizierte Brauerausbildung leisten.

Ulrich Rust
Präsident der Versuchs- und Lehranstalt für
Brauerei in Berlin e.V. (VLB)

Berlin/Gerolstein im Mai 2016

Vorwort des Herausgebers

Die vorliegende 11. deutsche Auflage von „Technologie Brauer und Mälzer“ bedeutet eine Zäsur in der 65-jährigen Geschichte dieses Fachbuchs. Sie ist leider die erste Ausgabe, die sein Autor nicht mehr erleben konnte.

Geboren 1926 in Radebeul, verstarb Wolfgang Kunze am 17. Januar 2016 im Alter von 89 Jahren. Bereits in den letzten beiden Jahren seines Wirkens zeichnete sich ab, dass er der Aufgabe, sein Buch weiter aktuell zu halten, nur noch sehr eingeschränkt nachkommen konnte. Von daher war es ihm ein großes Anliegen, die Zukunft seines Lebenswerkes rechtzeitig zu regeln. Im Oktober 2015 haben wir daher mit ihm eine Vereinbarung getroffen, mit der er die Urheber-Verwertungsrechte für „Technologie Brauer und Mälzer“ an die VLB Berlin übertragen hat. In dieser Vereinbarung erklärt er außerdem, dass die weitere Veröffentlichung des Buches auch über seinen Tod hinaus sein ausdrücklicher Wunsch sei. Wichtig war ihm, dass das Buch weiter an die aktuellen technischen und technologischen Entwicklungen angepasst wird und dass der Charakter und die Diktion des Werkes auch bei künftigen Überarbeitungen erhalten bleiben.

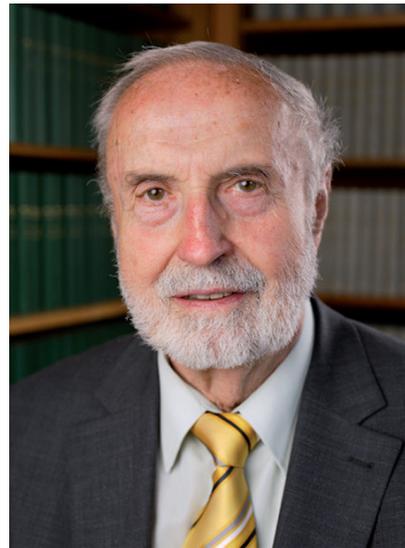
Dies ist für uns eine besondere Ehre, aber gleichzeitig auch eine große Verpflichtung.

Ein Buch mit einer solch hohen Informationsdichte auf 1 000 Seiten, mit 800 Abbildungen und 80 Tabellen zu bearbeiten, ist eine Aufgabe, die von einer Einzelperson nicht „nebenbei“ geleistet werden kann. Von daher haben wir mit Wolfgang Kunze vereinbart, dass die VLB unter der Federführung von mir das Buch künftig bewahrt und weiter entwickelt. Dabei können wir bei einzelnen Themen auf das Expertenteam der VLB zurückgreifen, sodass die inhaltliche Integrität auch in der Zukunft gewährleistet ist.

Die vorliegende 11. Auflage wurde daher von mir komplett durchgearbeitet. Wolfgang Kunze war bei einigen Detailfragen noch involviert, das Ende dieser Arbeit hat er aber nicht mehr erleben können. Wir haben das Buch an der einen oder anderen Stelle etwas gestrafft, viele

Zahlen wurden aktualisiert und einige neue Technologien aufgenommen. Dabei gilt der besondere Dank Dr. Hans-J. Manger (Frankfurt/Oder) für die komplette Durchsicht des Buchs und die zahlreichen Hinweise. Dr. Roland Pahl (VLB Berlin) sei gedankt für die Durchsicht von Kapitel 3 und VLB-Redaktionsmitarbeiter Dieter Prokein für das Lektorat des gesamten Textes. Auch den zahlreichen Firmen der Zulieferindustrie, die ihr Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben, sei an dieser Stelle gedankt. Und nicht zuletzt soll auch die Arbeit der Grafikdesignerin Anne Kulesa aus Dresden hervorgehoben werden, die in bewährter Weise das Layout dieser Auflage umgesetzt hat. Wir denken, dass wir damit den Ansprüchen des verstorbenen Autors gerecht geworden sind.

Olaf Hendel, VLB Berlin
Berlin, im Mai 2016



Wolfgang Kunze

Die Kapitel im Überblick

Bier – das älteste Volksgetränk	23
1 Rohstoffe	37
2 Herstellen des Malzes	115
3 Herstellen der Würze	211
4 Herstellen des Bieres (Gären, Reifen und Filtrieren)	391
5 Abfüllen des Bieres	571
6 Reinigung und Desinfektion	739
7 Das fertige Bier	757
8 Kleine Brauer	819
9 Entsorgung und Umwelt	843
10 Energiewirtschaft in der Brauerei und Mälzerei	859
11 Automation und Anlagenplanung	913

Inhalt

Bier – das älteste Volksgetränk	23
1 Rohstoffe	37
1.1 Gerste	37
1.1.1 Gerstenanbau und Sorten	37
1.1.1.1 Gerstenanbau	37
1.1.1.2 Gerstensorten	38
1.1.3 Aufbau des Gerstenkorns	40
1.1.3.1 Äußerer Aufbau	40
1.1.3.2 Innerer Aufbau	41
1.1.4 Zusammensetzung und Eigenschaften der Bestandteile	43
1.1.4.1 Kohlenhydrate	43
1.1.4.2 Eiweißstoffe (Proteine)	47
1.1.4.3 Fette (Lipide)	49
1.1.4.4 Mineralstoffe	51
1.1.4.5 Sonstige Stoffe	51
1.1.4.6 Enzyme der Gerste	52
1.1.5 Beurteilung der Gerste	54
1.1.5.1 Handbonitierung	55
1.1.5.2 Mechanische und chemische Untersuchungen	56
1.1.5.3 Physiologische Untersuchungen	58
1.2 Hopfen	60
1.2.1 Hopfenanbaugebiete	60
1.2.2 Ernten, Trocknen und Haltbarmachen des Hopfens	62
1.2.2.1 Ernte	62
1.2.2.2 Trocknen	62
1.2.2.3 Haltbarmachen des Hopfens	63
1.2.3 Aufbau der Hopfendolde	63
1.2.4 Zusammensetzung und Eigenschaften der Hopfen- bestandteile	64
1.2.4.1 Bitterstoffe oder Hopfenharze	64
1.2.4.2 Hopfenöl	66
1.2.4.3 Gerbstoffe oder Polyphenole	67
1.2.4.4 Eiweißstoffe	68
1.2.5 Beurteilung des Hopfens	69
1.2.5.1 Handbonitierung des Doldenhopfens	69
1.2.5.2 Bitterstoffgehalt	70
1.2.6 Hopfensorten	70
1.2.7 Hopfenprodukte	71
1.2.7.1 Hopfenpellets	72

1.2.7.2	Hopfenextrakte	74	1.5.4	Hirsen	110
1.3	Wasser	80	1.5.5	Weizen	111
1.3.1	Kreislauf des Wassers	80	1.5.6	Zucker	111
1.3.2	Frischwasserverbrauch in der Brauerei	81 81	1.5.7	Glucosesirup	112
1.3.3	Gewinnung des Wassers	81	1.5.8	Zuckerkulör (auch -couleur)	113
1.3.3.1	Gewinnung von Grundwasser	82	2	Herstellen des Malzes	115
1.3.3.2	Gewinnung von Quellwasser	83 83	2.1	Annehmen, Putzen, Sortieren und Fördern der Gerste	116
1.3.3.3	Gewinnung von Oberflächenwasser	83 83	2.1.1	Annehmen der Gerste	116
1.3.3.4	Bedeutung der Eigenwasserversorgung	84 84	2.1.1.1	Annehmen von Straßen- oder Schienenfahrzeugen	116
1.3.4	Anforderungen an das Wasser	84	2.1.1.2	Annehmen von Schiffen	117
1.3.4.1	Anforderungen an das Wasser als Trinkwasser	84 84	2.1.2	Putzen & Sortieren der Gerste	118
1.3.4.2	Anforderungen an das Wasser als Brauwasser	85 85	2.1.2.1	Vorreinigen der Gerste	118
1.3.4.3	Bedeutung einzelner Ionen	88	2.1.2.2	Magnetapparate	119
1.3.5	Verfahren zur Verbesserung des Wassers	89 89	2.1.2.3	Trockensteinausleser	120
1.3.5.1	Verfahren zur Entfernung von Schwebestoffen	89 89	2.1.2.4	Entgranner	121
1.3.5.2	Entfernen von gelösten Stoffen	90	2.1.2.5	Trieur	121
1.3.5.3	Verfahren zur Verbesserung der Restalkalität	91 91	2.1.2.6	Sortieren der Gerste	122
1.3.5.4	Entkeimen des Wassers	94	2.1.3	Fördern von Gerste und Malz	126
1.3.5.5	Entgasen des Wassers	95	2.1.3.1	Mechanische Fördermittel	126
1.3.6	Möglichkeiten der Wassereinsparung	97 97	2.1.3.2	Pneumatische Fördermittel	129
1.4	Hefe	99	2.1.4	Anlagen zur Staubentfernung	132
1.4.1	Aufbau und Zusammensetzung der Hefezelle	99 99	2.1.4.1	Zyklone	132
1.4.2	Stoffwechsel der Hefezelle	102	2.1.4.2	Staubfilter	133
1.4.3	Fortpflanzung und Wachstum von Hefen	103 103	2.2	Gerste Trocknen und Lagern	135
1.4.4	Charakterisierung von Bierhefen	105 105	2.2.1	Atmung der Gerste	135
1.4.4.1	Morphologische Merkmale	105	2.2.2	Trocknen der Gerste	136
1.4.4.2	Physiologische Unterschiede	106	2.2.3	Kühlen der Gerste	137
1.4.4.3	Gärungstechnologische Unter- schiede	106 106	2.2.4	Lagern der Gerste	138
1.4.4.4	Systematische Einordnung	106	2.2.4.1	Silolagerung	138
1.5	Rohfrucht	108	2.2.4.2	Lagerung auf Speichern	139
1.5.1	Mais	108	2.2.4.3	Schädlingsbefall	140
1.5.2	Reis	109	2.3	Weichen der Gerste	141
1.5.3	Gerste	110	2.3.1	Vorgänge beim Weichen	141
			2.3.1.1	Wasseraufnahme	141
			2.3.1.2	Versorgung mit Sauerstoff	144
			2.3.1.3	Reinigung	144
			2.3.2	Weichgefäße	145
			2.3.3	Durchführen des Weichens	150
			2.4	Keimen der Gerste	151
			2.4.1	Vorgänge beim Keimen	152
			2.4.1.1	Wachstumsvorgänge	152
			2.4.1.2	Enzymbildung	153
			2.4.1.3	Stoffumwandlungen beim Keimen	155

2.4.1.4	Schlussfolgerungen für die Durchführung der Keimung	162	2.8.2	Mechanische Untersuchungen	192
2.4.2	Keimverfahren	162	2.8.2.1	Sortierung	192
2.4.2.1	Tennenmälzerei	162	2.8.2.2	Tausendkornmasse	192
2.4.2.2	Pneumatisch betriebene Mälzungssysteme	163	2.8.2.3	Hektolitermasse	192
2.4.2.3	Durchführung der Keimung	174	2.8.2.4	Schwimmprobe (Sinkerprobe)	192
2.4.2.4	Kontrolle der Keimung	174	2.8.2.5	Glasigkeit	193
2.5	Darren des Malzes	175	2.8.2.6	Mürbigkeit	193
2.5.1	Veränderungen beim Darren	176	2.8.2.7	Blattkeimentwicklung	193
2.5.1.1	Senkung des Wassergehaltes	176	2.8.2.8	Keimfähigkeit	193
2.5.1.2	Unterbrechung der Keimung und Auflösung	176	2.8.2.9	Dichte	193
2.5.1.3	Bildung von Farb- und Aromastoffen (Maillard-Reaktion)	176	2.8.2.10	Calcofluor-Carlsberg Methode (Kornschleifmethode)	193
2.5.1.4	Bildung von DMS-Vorstufe und freiem DMS beim Darren	178	2.8.3	Chemisch-technische Untersuchungen	194
2.5.1.5	Einfluss von Darrtemperatur und Darrzeit	178	2.8.3.1	Wassergehalt	194
2.5.1.6	Bildung von Nitrosaminen	179	2.8.3.2	Kongressmaisverfahren	194
2.5.1.7	Inaktivierung der Enzyme	180	2.8.4	Malzlieferungsvertrag	197
2.5.2	Bau der Darre	180	2.9	Malzsorten und Malze aus anderem Getreide	198
2.5.2.1	Beheizung und Lüftung der Darre	180	2.9.1	Pilsener Malz (helles Malz)	198
2.5.2.2	Zweihordendarre älterer Bauart	183	2.9.2	Dunkles Malz (Münchener Art)	198
2.5.2.3	Darren mit Kipphorde	183	2.9.3	Wiener Malz	199
2.5.2.4	Plandarren mit Be- und Entlader	184	2.9.4	Brühmalz/Melanoidinmalz	199
2.5.2.5	Vertikalдарren	186	2.9.5	Caramelmalz	199
2.5.3	Durchführung des Darrens	187	2.9.6	Sauermalz	200
2.5.3.1	Herstellung von Pilsner Malz	188	2.9.7	Kurz- und Spitzmalz	201
2.5.3.2	Herstellung von Münchner Malz	189	2.9.8	Rauchmalz	201
2.5.3.3	Darre abräumen	190	2.9.9	Diastasemalz	201
2.5.3.4	Kontrolle der Darrarbeit	190	2.9.10	Röstmalz	201
2.6	Behandlung des Malzes nach dem Darren	190	2.9.11	Röstmalzbier	202
2.6.1	Abkühlen des abgedarrten Malzes	190	2.9.12	Weizenmalz	202
2.6.2	Putzen des Malzes	190	2.9.13	Malzextrakt	203
2.6.3	Lagern des Malzes	191	2.9.14	Malz aus anderem Brotgetreide	204
2.6.4	Polieren des Malzes	191	2.9.15	Sorghum-Malz	205
2.7	Ausbeute beim Mälzen	191	2.9.16	Einsatz von Malztypen für verschiedene Biersorten	206
2.8	Beurteilen des Malzes	192	2.10	Unfallschutz in der Mälzerei	208
2.8.1	Handbonitierung	192	3	Herstellen der Würze	211
			3.1	Schroten des Malzes	212
			3.1.1	Vorbehandeln des Malzes	212
			3.1.1.1	Entstauben und Entsteinen	212
			3.1.1.2	Verwiegen der Schüttungsmenge	213
			3.1.2	Grundlagen des Schrotens	215
			3.1.3	Trockenschrotung	216

3.1.3.1	Sechswalzenmühlen	216	3.3	Abläutern	280
3.1.3.2	Fünfwalzenmühlen	217	3.3.1	Hauptguss und Nachgüsse	280
3.1.3.3	Vierwalzenmühlen	217	3.3.2	Glattwasser	282
3.1.3.4	Zweiwalzenmühlen	218	3.3.3	Abläutern mit dem Läuterbottich	283
3.1.3.5	Walzen der Schrotmühlen	218	3.3.3.1	Bau des Läuterbottichs (ältere Bauart)	283
3.1.3.6	Konditionierte Trocken- schrotung	220	3.3.3.2	Bau der Läuterbottiche neuer Bauart	285
3.1.3.7	Schrotrumpf	221	3.3.3.3	Arbeitsablauf beim Abläutern mit dem konventionellen Läuterbottich	289
3.1.3.8	Hammermühlen	221	3.3.4	Abläutern mit Maischefilter	291
3.1.3.9	Andere Mühlensysteme	224	3.3.4.1	Konventionelle Maischefilter	292
3.1.4	Nassschrotung	225	3.3.4.2	Maischefilter der neuen Generation	293
3.1.5	Weichkonditionierung	226	3.3.5	Treber	302
3.1.6	Feinstzerkleinerung mit Wasser	229	3.3.5.1	Förderung der Treber	302
3.1.7	Beurteilung des Schrotes	230	3.3.5.2	Treberanalyse	302
3.2	Maischen	231	3.4	Würzekochen	306
3.2.1	Umwandlungen beim Maischen	231	3.4.1	Vorgänge beim Würzekochen	306
3.2.1.1	Zweck des Maischens	231	3.4.1.1	Lösung und Umwandlung der Hopfenbestandteile	306
3.2.1.2	Eigenschaften der Enzyme	231	3.4.1.2	Ausscheidung von Eiweiß	307
3.2.1.3	Abbau der Stärke	233	3.4.1.3	Verdampfung von Wasser	308
3.2.1.4	Abbau des β -Glucans	239	3.4.1.4	Sterilisierung der Würze	309
3.2.1.5	Abbau von Eiweißstoffen	243	3.4.1.5	Zerstörung aller Enzyme	309
3.2.1.6	Umwandlungen von Fettsäuren (Lipiden)	244	3.4.1.6	Thermische Belastung der Würze	309
3.2.1.7	Weitere Abbau- und Lösungs- vorgänge	246	3.4.1.7	pH-Wert-Senkung in der Würze	310
3.2.1.8	Biologische Säuerung	247	3.4.1.8	Bildung von reduzierenden Stoffen (Reduktonen)	310
3.2.1.9	Zusammensetzung des Extraktes	251	3.4.1.9	Ausdampfen flüchtiger Aromastoffe	310
3.2.1.10	Schlussfolgerungen für die Durchführung des Maischens	252	3.4.1.10	Zinkgehalt der Würze	313
3.2.2	Gefäße zum Maischen	252	3.4.1.11	Pfannevollwürze	313
3.2.2.1	Maischgefäße	253	3.4.2	Bau und Beheizung der Würzepfanne	313
3.2.3	Einmaischen	257	3.4.2.1	Braupfanne mit direkter Beheizung	313
3.2.3.1	Gussführung	257	3.4.2.2	Braupfanne mit Dampf- beheizung	313
3.2.3.2	Einmischtemperatur	258	3.4.2.3	Würzepfannen mit Niederdruckkochung	317
3.2.3.3	Vermischung von Wasser und Malzschrot	259	3.4.2.4	Hochtemperatur-Würze- kochung	326
3.2.4	Maischverfahren	261			
3.2.4.1	Gesichtspunkte zur Durch- führung des Maischens	262			
3.2.4.2	Infusionsverfahren	265			
3.2.4.3	Dekoktionsverfahren	266			
3.2.5	Dauer der Maischverfahren	279			
3.2.6	Kontrolle des Maischens	280			
3.2.7	Maischintensität	280			

3.4.2.5	Energiesparende Würzekochsysteme	326	3.8.3.2	Bau des Whirlpools	366
3.4.2.6	Moderne Würzekochsysteme	329	3.8.3.3	Durchführung der Würzeklärung im Whirlpool	367
3.4.2.7	Energieverbrauch beim Würzekochen	340	3.8.3.4	Klärung mittels Clarisaver	369
3.4.2.8	Brüdenkondensatkühler	343	3.8.4	Separatoren	369
3.4.2.9	Vorlaufgefäß	344	3.8.4.1	Prinzip der Zentrifugation	369
3.4.3	Durchführung des Würzekochens	344	3.8.4.2	Arten von Zentrifugal-Separatoren	370
3.4.3.1	Kochen der Würze	345	3.8.4.3	Selbstaustragende Separatoren	371
3.4.3.2	Hopfungabe	345	3.8.4.4	Heißwürzeseparation	373
3.4.4	Kontrolle der Ausschlagwürze	349	3.8.4.5	Entfernung des Heißtrubes mittels Dekanter	373
3.5	Sudhausausbeute	350	3.8.5	Gewinnung der Trubwürze	374
3.5.1	Berechnung Sudhausausbeute	350	3.9	Kühlen und Klären der Würze	374
3.5.1.1	Ermittlung der Masseprozentage	351	3.9.1	Vorgänge beim Kühlen	374
3.5.1.2	Ermittlung der Masse des Extraktes je 1 hl Würze	352	3.9.1.1	Kühlung der Würze	374
3.5.1.3	Umrechnung des Volumens der heißen Ausschlagwürze in das der kalten Würze	356	3.9.1.2	Bildung und optimale Entfernung des Kühltrubes	375
3.5.1.4	Berechnung der Extraktmenge	356	3.9.1.3	Veränderungen in der Konzentration der Würze	375
3.5.1.5	Ermittlung der Sudhausausbeute (A_s)	357	3.9.2	Geräte zum Kühlen der Würze	375
3.5.2	Beeinflussung der Sudhausausbeute	358	3.9.2.1	Aufbau des Plattenwärmeübertragers	376
3.5.3	Bewertung der Sudhausausbeute	358	3.9.2.2	Wirkungsweise des Plattenwärmeübertragers	377
3.6	Sudhauseinrichtung	359	3.9.2.3	Vorteile des Plattenwärmeübertragers	379
3.6.1	Anzahl und Aufstellung der Gefäße	359	3.9.3	Grundlagen und Durchführung der Würzebelüftung	379
3.6.2	Gefäßgröße	360	3.9.3.1	Verfahren zur Würzebelüftung	380
3.6.3	Gefäßmaterial	360	3.9.3.2	Zeitpunkt der Hefebelüftung	382
3.6.4	Produktionskapazität des Sudhauses	360	3.9.4	Geräte zum Entfernen des Kühltrubes	382
3.6.5	Sudwerke besonderer Art	361	3.9.5	Würzekühllinien	382
3.6.5.1	Sudwerke von Gasthausbrauereien	361	3.10	Kontinuierliche Würzeherstellung	382
3.6.5.2	Integralsudwerk	362	3.11	Steuerung und Kontrolle der Vorgänge bei der Würzeherstellung	385
3.6.5.3	Versuchs- und Lehrsudwerke	362	3.12	Arbeitssicherheit bei der Würzeherstellung	386
3.7	Ausschlagen	363	3.12.1	Unfallverhütung im Bereich der Mühle	386
3.8	Entfernen des Heißtrubes	363	3.12.2	Unfallverhütung bei Arbeiten in Sudgefäßen	386
3.8.1	Kühlschiff	364	3.12.3	Unfallverhütung bei der Arbeit mit Separatoren	387
3.8.2	Setzbottich	364			
3.8.3	Whirlpools	365			
3.8.3.1	Wirkungsprinzip des Whirlpools	365			

4	Herstellen des Bieres (Gären, Reifen & Filtrieren) 391		
4.1	Umwandlungen beim Gären und Reifen 391	4.2.3	Hefezellen 420
4.1.1	Hefe als wichtigster Partner des Brauers 391	4.2.4	Herführung im Labor 420
4.1.2	Stoffwechsel der Hefe 393	4.2.4.1	Hefeführung im Betrieb 421
4.1.2.1	Vergären des Zuckers 394	4.2.4.2	Hefereinzuchtanlagen 422
4.1.2.2	Eiweißstoffwechsel 399	4.2.4.2	Optimierte Hefewirtschaft nach Back 425
4.1.2.3	Fettstoffwechsel 400	4.2.4.3	Eintank-Reinzuchtverfahren 426
4.1.2.4	Kohlenhydratstoffwechsel 401	4.2.4.4	Offene Hefeführung 428
4.1.2.5	Mineralstoffwechsel 402	4.3	Klassische Gärung und Reifung 429
4.1.3	Bildung und Abbau von Gärungs-nebenprodukten 403	4.3.1	Gärbottiche – Einrichtung des offenen Gärkellers 429
4.1.3.1	Diacetyl (vicinale Diketone) 404	4.3.1.1	Gärbottiche 429
4.1.3.2	Aldehyde (Carbonyle) 407	4.3.1.2	Einrichtung des offenen Gärkellers 430
4.1.3.3	Höhere Alkohole 407	4.3.2	Gärkellerausbeute 432
4.1.3.4	Ester 408	4.3.3	Durchführung der offenen Hauptgärung 433
4.1.3.5	Schwefelverbindungen 409	4.3.3.1	Anstellen 433
4.1.3.6	Organische Säuren 410	4.3.3.2	Gärführung im Gärbottich 435
4.1.3.7	Beurteilungskriterien der Aromastoffe im Bier (nach Miedaner) 410	4.3.3.3	Vergärungsgrad 437
4.1.4	Weitere Vorgänge und Umwandlungen 412	4.3.3.4	Schläuchen aus dem Bottich 440
4.1.4.1	Veränderungen der Zusammen- setzung der Eiweißstoffe 412	4.3.4	Hefeernte im Bottich 442
4.1.4.2	Senkung des pH-Wertes 413	4.3.5	Reifung des Bieres in konventionellen Tanks 443
4.1.4.3	Veränderung der Redox- verhältnisse im Bier 413	4.3.5.1	Sättigen des Bieres mit Kohlen- dioxid unter Überdruck 443
4.1.4.4	Veränderung in der Farbe des Bieres 413	4.3.5.2	Klären des Bieres 444
4.1.4.5	Ausscheidung von Bitterstoffen und Gerbstoffen 414	4.3.6	Einrichtung des konventionellen Lagerkellers 444
4.1.4.6	CO ₂ -Gehalt des Bieres 414	4.3.6.1	Einrichtung des Lagerkellers 444
4.1.4.7	Klärung und kolloidale Stabilisie- rung des Bieres 414	4.3.6.2	Lagertanks 445
4.1.5	Auswirkungen verschiedener Faktoren auf die Hefe 414	4.3.7	Durchführung der Lagerung in konventionellen Tanks 446
4.1.6	Flockulation der Hefe 416	4.3.7.1	Schläuchen 447
4.1.7	Degeneration der Hefe 417	4.3.7.2	Spunden 447
4.1.8	Physiologischer Zustand der Hefe 417	4.3.8	Anstecken 448
4.2	Reinzucht der Hefe 418	4.3.8.1	Herstellen der Verbindung 448
4.2.1	Grundlagen der Hefe- vermehrung 418	4.3.8.2	Druck beim Anstecken und Entleeren 449
4.2.2	Gewinnung geeigneter	4.3.9	Ziehen aus konventionellen Tanks 449
		4.3.9.1	Verschneidbock 449
		4.3.9.2	Druckregler 450
		4.3.9.3	Gewinnen des Hefebieres 450
		4.3.9.4	Tiefkühlen des Bieres 450
		4.3.9.5	Vor- und Nachlauf 450

4.4	Gärung und Reifung in zylindrokonischen Tanks (ZKT)	450	4.4.7	Überschusshefe (Hefebier)	487
4.4.1	Bau und Aufstellung von zylindrokonischen Tanks	451	4.4.8	CO ₂ -Rückgewinnung	489
4.4.1.1	Bau, Form, Material der ZKT	451	4.5	Immobilisierte Hefen	491
4.4.1.2	Größenordnung der ZKT	452	4.5.1	Filtrieren des Bieres	492
4.4.1.3	Aufstellung und Anordnung der ZKT	454	4.5.1.1	Möglichkeiten der Filtration	493
4.4.2	Ausrüstung der zylindrokonischen Tanks	455	4.5.1.1.1	Abscheidemechanismen	493
4.4.2.1	Kontroll- und Bedienelemente und Sicherheitsarmaturen	455	4.5.1.2	Filtermittelträger	494
4.4.2.2	Kühlen der ZKT	463	4.5.1.3	Filterhilfsmittel	496
4.4.2.3	Möglichkeiten zur Steuerung und Automatisierung der Kühlung	470	4.5.2	Bauformen von Filtern	498
4.4.3	Durchführung der Gärung und Reifung in ZKT	471	4.5.2.1	Massefilter	498
4.4.3.1	Besondere Gesichtspunkte der Gärung und Reifung in ZKT	473	4.5.2.2	Anschwemmfilter	499
4.4.3.2	Kalte Gärung – kalte Reifung	476	4.5.2.3	Schichtenfilter (Rahmenfilter)	513
4.4.3.3	Kalte Gärung mit gezielter Reifung im ZKT	477	4.5.2.4	Membranfilter	515
4.4.3.4	Drucklose warme Gärung – kalte Reifung	478	4.5.2.5	Multi-Micro-System	516
4.4.3.5	Druckgärung	478	4.5.2.6	Filtrationsbereiche	517
4.4.3.6	Kalte Gärung – warme Reifung	478	4.5.2.7	Kieselgurfreie Bierfiltration	517
4.4.3.7	Kalte Hauptgärung mit programmierter Reifung	478	4.6	Haltbarmachen des Bieres	524
4.4.3.8	Warme Hauptgärung mit normaler oder forcierter Reifung	480	4.6.1	Biologische Haltbarmachung	525
4.4.4	Hefeernte aus dem ZKT	480	4.6.1.1	Pasteurisation	526
4.4.4.1	Zeitpunkt der Hefeernte	480	4.6.1.2	Kurzzeiterhitzung (KZE)	526
4.4.4.2	Methoden der Hefeernte	481	4.6.1.3	Heißabfüllung von Bier	528
4.4.4.3	Behandeln und Aufbewahren der Erntehefe	482	4.6.1.4	Pasteurisation im Tunnelpasteur	528
4.4.4.4	Kontrolle der Erntehefe	483	4.6.1.5	Kaltseptische Behandlung des Bieres	529
4.4.5	Bierqualität vor der Filtration	484	4.6.2	Kolloidale Stabilisierung des Bieres	530
4.4.6	Rückgewinnung von Bier aus Überschusshefe	485	4.6.2.1	Charakter der kolloiden Trübungen	530
4.4.6.1	Trennung durch Sedimentation oder Filterpressen	485	4.6.2.2	Verbesserung der kolloiden Haltbarkeit des Bieres	531
4.4.6.2	Separation der Hefe	485	4.6.2.3	Technologische Maßnahmen zur Verbesserung der kolloiden Haltbarkeit	532
4.4.6.3	Bierrückgewinnung mittels Dekanter	486	4.6.2.4	Zusatz von Stabilisierungsmitteln	532
4.4.6.4	Membranfiltration der Hefe	487	4.6.2.5	Zudosierung von Hopfen-Downstream-Produkten	540
4.4.6.5	Aufbereitung des Bieres aus		4.6.3	Filtrationsanlage	541
			4.6.4	Geschmackliche Stabilität	543
			4.6.4.1	Alterungsprozess	543
			4.6.4.2	Faktoren zur Förderung der Geschmacksstabilität	545
			4.6.4.3	Maßnahmen zur Vermeidung des Sauerstoffeintrages	547
			4.6.4.4	Maßnahmen zur Vermeidung negativer Einflüsse	547

4.7	Karbonisieren des Bieres	549	5.1.2.6	Abräumen von Neuglasflaschen und Dosen	597
4.8	Besondere Verfahren zur Bierherstellung	550	5.1.3	Kontrolle der gereinigten Mehrweg-Glasflaschen	598
4.8.1	High-Gravity-Brewing	550	5.1.4	Befüllen von Flaschen	604
4.8.2	Eisbierherstellung	554	5.1.4.1	Grundsätze beim Abfüllen	604
4.8.3	Verfahren zur Entfernung des Alkohols	555	5.1.4.2	Prinzipieller Aufbau von Flaschenfüllmaschinen	607
4.8.3.1	Membrantrennverfahren	555	5.1.4.3	Wesentliche Baugruppen der Flaschenfüllmaschinen	607
4.8.3.2	Thermische Verfahren/ Destillation	559	5.1.4.4	Bau und Funktionsweise der Füllorgane	611
4.8.3.3	Unterdrückung der Alkoholbildung	563	5.1.4.5	Hochdruckeinspritzung	622
4.9	Unfallschutz bei der Gärung, Reifung und Filtration	565	5.1.5	Verschließen der Flaschen	624
4.9.1	Unfallgefahren durch Gärungskohlensäure	565	5.1.5.1	Verschließen Kronenkorken	624
4.9.2	Arbeit im Druckbehältern	566	5.1.5.2	Verschließen Bügelverschluss	629
4.9.3	Arbeiten mit Kieselgur	567	5.1.6	Reinigen des Füllers und Verschließers	630
4.9.4	Generelle Hinweise zum Unfallschutz	568	5.1.7	Kontrolle der befüllten und verschlossenen Flaschen	634
5	Abfüllen des Bieres	571	5.1.7.1	Füllhöhenkontrolle	634
5.1	Abfüllen in Mehrweg-Glasflaschen	571	5.1.7.2	Sauerstoff im Flaschenhals	636
5.1.1	Mehrweg-Glasflaschen	571	5.1.8	Pasteurisieren in Flaschen	638
5.1.1.1	Vor- und Nachteile von Glasflaschen	571	5.1.8.1	Grundlagen der Pasteurisation in Flaschen	638
5.1.1.2	Herstellen der Glasflaschen	571	5.1.8.2	Wesentliche Baugruppen des Tunnelpasteurs	639
5.1.1.3	Flaschenformen	571	5.1.8.3	Sicherheitsmaßnahmen beim Pasteurisieren	641
5.1.1.4	Flaschenfarbe	573	5.1.9	Etikettieren und Folieren der Flaschen	641
5.1.1.5	Oberflächenvergütung	574	5.1.9.1	Etiketten und Folien	641
5.1.1.6	Scuffing	574	5.1.9.2	Etikettenleim	643
5.1.1.7	Flaschennachvergütung	574	5.1.9.3	Grundprinzip der Etikettierung	645
5.1.1.8	Leichtglas-Mehrwegflaschen	574	5.1.9.4	Bauarten von Etikettiermaschinen	646
5.1.1.9	Verfahrensschritte bei der Abfüllung von Mehrweg-Glasflaschen	575	5.1.9.5	Kopfeinfaltung mit Folien	647
5.1.2	Reinigen von Mehrweg-Glasflaschen	575	5.1.10	Datieren der Etiketten	647
5.1.2.1	Leergutsortierung	575	5.2	Besonderheiten beim Abfüllen in Einweg-Glasflaschen	649
5.1.2.2	Einwirkungsfaktoren bei der Flaschenreinigung	576	5.2.1	Abräumen von Neuglasflaschen	649
5.1.2.3	Bauformen	577	5.2.2	Rinsen (Spülen)	649
5.1.2.4	Reinigungslauge	592	5.3	Abfüllen in PET-Flaschen	650
5.1.2.5	Reinigungs- und Wartungsarbeiten an der Flaschenreinigungsmaschine	597	5.3.1	PET-Flaschen	650
			5.3.1.1	Struktureigenschaften von PET	650

5.3.1.2	Barriereigenschaften von PET	651	5.6.2.1	Material, Form und Größe der Kegs	696
5.3.1.3	Barriertechnologien	652	5.6.2.2	Kegarmaturen	697
5.3.1.4	Bedeutung der Scavenger	653	5.6.2.3	Kunststoff-Kegs	699
5.3.2	Herstellen der PET-Flaschen	655	5.6.3	Reinigen und Befüllen d. Kegs	699
5.3.2.1	Herstellen der Preforms	655	5.6.3.1	Reinigen der Kegs	700
5.3.2.2	Strecken und Blasen der PET-Flaschen	655	5.6.3.2	Befüllen der Kegs	701
5.3.2.3	Kontrolle der hergestellten PET-Flaschen	657	5.6.4	Keg-Gesamtanlagen	702
5.3.2.4	Rinsen von Neufaschen	657	5.6.5	Befüllen Klein- und Partyfässer	702
5.3.3	Transportieren der PET-Flaschen	657	5.6.6	Befüllen von Großdosen	704
5.3.4	Befüllen der PET-Flaschen	658	5.7	Transportieren und Verpacken	704
5.3.5	Verschließen der PET-Flaschen	658	5.7.1	Transportgebinde	704
5.3.5.1	Kunststoff-Schraubverschlüsse	658	5.7.2	Behandlung der Kunststoff- kästen	707
5.3.5.2	Aluminium-Anrollverschlüsse	660	5.7.2.1	Aussortieren fremder und beschädigter Kästen und Flaschen	707
5.3.6	Etikettieren von PET-Flaschen	662	5.7.2.2	Waschen der Kästen	708
5.4	Abfüllen von Kunststoffflaschen in Mehrweg-Flaschen	664	5.7.2.3	Kastenmagazin	708
5.4.1	PEN / PLA	664	5.7.3	Transporttechnik	709
5.4.2	Reinigung von Mehrweg-Kunststoffflaschen	664	5.7.3.1	Flaschen- und Dosentransport	709
5.4.3	Fremdstoffinspektion	666	5.7.3.2	Gebindetransport	713
5.5	Abfüllen in Dosen	669	5.7.4	Verpackungstechnik	714
5.5.1	Dosen und Dosenverschlüsse	669	5.7.4.1	Packkopf und Packtulpen	714
5.5.2	Einlagern, Entpalettieren und Abschieben der Leerdosen	673	5.7.4.2	Packerarten	716
5.5.3	Inspektion der Leerdosen	674	5.7.5	Palettier- und Entpalettier- einrichtungen	721
5.5.4	Rinsen der Dosen	675	5.7.5.1	Robotertechnik	721
5.5.5	Befüllen der Dosen	675	5.7.5.2	Bau und Funktion der Palettier- und Entpalettier- einrichtungen	722
5.5.5.1	Mechanische Dosenfüller	677	5.7.5.3	Stapelung von Vollgutpaletten	725
5.5.5.2	Dosenfüller mit volumetrischer Füllung	679	5.7.5.4	Transportanlagen für Paletten	725
5.5.6	Verschließen der Dosen	686	5.7.5.5	Paletten-Stellplätze	725
5.5.7	Reinigung des Dosenfüllers und Verschließers	688	5.7.5.6	Zu- und Ablaufvorrichtungen	725
5.5.8	Widgets	688	5.7.5.7	Palettenmagazine	725
5.5.9	Inspektion der gefüllten Dosen	689	5.7.5.8	Palettenkontrolle	726
5.5.10	Pasteurisieren der Dosen	690	5.7.5.9	Palettensicherung	726
5.5.11	Rundumetikettierung von Dosen	690	5.7.5.10	Palettierung in der Fassfüllung	726
5.5.12	Datieren der Dosen	691	5.8	Gesamt-Abfüllanlagen	727
5.6	Abfüllen in Fässer, Kegs, Partyfässer und Großdosen	692	5.9	Bierschwand	732
5.6.1	Holzfässer und Fassabfüllung	692	5.9.1	Berechnung der hergestellten Verkaufsbiermenge	732
5.6.2	Kegs und Fittings	696	5.9.2	Bestandsaufnahme und Umrechnung auf Verkaufsbier	733
			5.9.3	Berechnung des Volumenschwandes	734

5.9.4	Berechnung des Malzverbrauches	735	7.3.2	Untergärige Biersorten	782
5.9.5	Bedeutung des Schwandes und dessen Minderung	735	7.3.2.1	Biere nach Pilsner Typ	782
6	Reinigung & Desinfektion	739	7.3.2.2	Lagerbiere/Vollbiere	783
6.1	Materialien und ihr Verhalten gegenüber Reinigungsmitteln	739	7.3.2.3	Export	784
6.1.1	Aluminiumgefäße	739	7.3.2.4	Schwarzbiere	784
6.1.2	Gefäße, Leitungen und Armaturen aus Chromnickelstahl	740	7.3.2.5	Festbiere	784
6.1.3	Schläuche und Dichtungen	742	7.3.2.6	Eisbier	785
6.2	Reinigungsmittel	743	7.3.2.7	Märzen	785
6.3	Desinfektionsmittel	745	7.3.2.8	Bockbier	785
6.4	Durchführung der Reinigung und Desinfektion (CIP)	746	7.3.2.9	Doppelbock	786
6.5	Reinigungsvorgang	752	7.3.2.10	Alkoholfreies Bier	786
6.6	Mechanische Reinigung	754	7.3.2.11	Kohlenhydratreduziertes Bier (Diätbier)	787
6.7	Kontrolle der Reinigung und Desinfektion	755	7.3.2.12	Leichtbier (Light)	788
6.8	Arbeitsschutz bei der Reinigung und Desinfektion	755	7.3.2.13	Malztrunk	788
7	Das fertige Bier	757	7.3.2.14	Weitere spezielle Biersorten	789
7.1	Inhaltsstoffe des Bieres	757	7.3.2.15	Biermischgetränke	790
7.1.1	Bestandteile des Bieres	757	7.3.3	Tendenzen der Entwicklung von Biersorten, die nicht dem Reinheitsgebot entsprechen	792
7.1.2	Bier und Gesundheit	760	7.4	Qualitätsprüfung	795
7.2	Geschmack und Schaum	762	7.4.1	Verkostung des Bieres	795
7.2.1	Geschmack des Bieres	762	7.4.2	Mikrobiologische Prüfung	797
7.2.1.1	Bieraroma	762	7.4.3	Bieranalyse	801
7.2.1.2	Vollmundigkeit	765	7.4.3.1	Bestimmung der Stammwürze	802
7.2.1.3	Rezenz	765	7.4.3.2	Bestimmung der Bierfarbe	806
7.2.1.4	Bittere des Bieres	766	7.4.3.3	Bestimmung des pH-Wertes	806
7.2.2	Schaum des Bieres	766	7.4.3.4	Bestimmung des Sauerstoffgehaltes im Bier	806
7.3	Biersorten und ihre Besonderheiten	770	7.4.3.5	Bestimmung des Diacetylgehaltes im Bier	808
7.3.1	Obergärig hergestellte Biere	771	7.4.3.6	Bestimmung der Schaumhaltbarkeit	808
7.3.1.1	Besonderheiten der Obergärung	771	7.4.3.7	Bestimmung des Kohlendioxidgehaltes	809
7.3.1.2	Weizenbiere	773	7.4.3.8	Bestimmung Bittereinheiten	810
7.3.1.3	Berliner Weiße	778	7.4.3.9	Bestimmung Trübungsneigung	810
7.3.1.4	Altbier	779	7.4.3.10	Filtrierbarkeit des Bieres	811
7.3.1.5	Kölsch	779	7.4.3.11	Weitere Untersuchungen	811
7.3.1.6	Ale	779	7.5	Prozessmess- und Analysetechnik	812
7.3.1.7	Stout	780	7.5.1	Temperaturmessgeräte	812
7.3.1.8	Porter	781	7.5.2	Durchflussmessgeräte	812
7.3.1.9	Belgische Biersorten	781	7.5.3	Füllstandsmessgeräte	813
			7.5.4	Dichtemessgeräte	814
			7.5.5	Optische Online-Messtechnik	814
			7.5.6	Sauerstoffmessgeräte	816

7.5.7	pH-Wert-Messgeräte	816	9.3.5	Altetiketten	854
7.5.8	Leitfähigkeitsmessgeräte	817	9.3.6	Glasbruch	855
7.5.9	Grenzwertsonden	817	9.3.7	Bierdosen	855
7.5.10	Druckmessgeräte	817	9.3.8	Kleine Abfallmengen	855
			9.4	Emissionen	855
8	Kleine Brauer	819	9.4.1	Staub und Staubemissionen	855
8.1	Gasthausbrauerei (Brewpub)	821	9.4.2	Emissionen aus dem Sudhaus	855
8.1.2	Überlegungen zur Planung einer Gasthausbrauerei	821	9.4.3	Rauchgasemissionen	856
8.2	Mikrobrauer	828	9.4.4	Schallemissionen	856
8.3	Vertragsbrauer („Contract Brewer“)	830	9.5	Recycling von PET-Flaschen	856
8.4	Heimbrauer	830	9.5.1	Prüfung der PET-Recyclate	857
8.4.1	Die rechtliche Seite des Hobbybrauens	830	10	Energiewirtschaft in der Brauerei und Mälzerei	859
8.4.2	Bezug der Rohstoffe	830	10.1	Energiebedarf bei der Malz- und Bierherstellung	859
8.4.3	Herstellung von Malz im Kleinverfahren	831	10.2	Dampfkesselanlagen	860
8.4.4	Bierherstellung für Heimbrauer	833	10.2.1	Brennstoffe	860
8.4.4.1	Vorgaben	833	10.2.2	Dampf	861
8.4.4.2	Berechnung der Schüttung	833	10.2.2.1	Verdampfungswärme	861
8.4.4.3	Berechnung des Hauptgusses	837	10.2.2.2	Nassdampf	863
8.4.4.4	Berechnung Gesamtmaische	837	10.2.2.3	Überhitzter Dampf	863
8.4.4.5	Abläutern	838	10.2.2.4	Heißwasser	863
8.4.4.6	Berechnung des Nachgusses	838	10.2.3	Dampfkessel	863
8.4.4.7	Würzekochung	838	10.2.3.1	Einteilung der Dampfkessel	863
			10.2.3.2	Bauarten von Dampfkesseln	864
9	Entsorgung und Umwelt	843	10.2.3.3	Dreizugkessel	864
9.1	Umweltrecht	844	10.2.3.4	Energierückgewinnung und Wirkungsgradverbesserung	866
9.2	Abwasser	844	10.2.4	Dampfkraftmaschinen	868
9.2.1	Abwasserkosten	844	10.2.5	Blockheizkraftwerke (BHKW)	868
9.2.2	Begriffsdefinitionen beim Abwasser	846	10.3	Kälteanlagen	870
9.2.3	Abwasserbehandlung	847	10.3.1	Kältemittel und Kälte­träger	870
9.2.3.1	Aerobe Abwasserbehandlungs- anlagen	847	10.3.1.1	Kältemittel	870
9.2.3.2	Anaerobe Abwasser- behandlungsanlagen	848	10.3.1.2	Kälte­träger	871
9.2.3.3	Menge und Zusammensetzung des Brauereiabwassers	849	10.3.1.3	Wirkungsprinzip bei der Kälte­zeugung	871
9.2.3.4	Abwasserbehandlung mit Misch- und Ausgleichsbecken	850	10.3.2	Kompressionskälteanlagen	876
9.3	Reststoffe und Abfälle	851	10.3.2.1	Arbeitsprinzip	876
9.3.1	Malz- und Hopfentreber	851	10.3.2.2	Verdampfer	877
9.3.2	Trub	853	10.3.2.3	Kompressor (Verdichter)	878
9.3.3	Überschusshefe	854	10.3.2.4	Kondensator (Verflüssiger)	880
9.3.4	Kieselgurschlamm	854	10.3.2.5	Regelventil	881
			10.3.2.6	Eiswasserspeichersystem	882
			10.3.3	Absorptionskühlanlage	883
			10.3.4	Raum- und Flüssigkeits- kühlung	883

10.3.4.1	Kühlung von konventionellen Gär- und Lagerkellern	884	11.1.6	Anforderungen an automatische Steuerungen	917
10.3.4.2	Moderne Kälteanlagen	885	11.2	Anlagenplanung	920
10.3.4.3	Flüssigkeitskühlung	887	11.2.1	Einführung	920
10.3.5	Hinweise für den Betrieb der Kälteanlage	888	11.2.1.1	Allgemeine Betrachtungen zur Anlagenplanung	920
10.4	Elektrische Anlagen	889	11.2.1.2	Grundsätzliches zum Ablauf der Anlagenplanung	921
10.4.1	Bezug der elektrischen Energie	889	11.2.2	Grundlagen Anlagenplanung	923
10.4.2	Leistungsfaktor $\cos \varphi$	890	11.2.3	Varianten der Durchführung der Anlagenplanung und -realisierung	925
10.4.3	Umwandeln des elektrischen Stromes	892	11.2.4	Wichtige Dokumente und Unterlagen	927
10.4.4	Schutzmaßnahmen	893	11.2.4.1	Allgemeine Hinweise	927
10.4.5	Hinweise für den Verbrauch von Elektroenergie	893	11.2.4.2	Das Verfahrensschema	927
10.4.6	Sonstige Energiequellen	894	11.2.4.3	Das Grundfließbild	928
10.5	Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren	894	11.2.4.4	Das Verfahrensfließbild	928
10.5.1	Pumpen	894	11.2.4.5	Das Rohrleitungs- und Instrumenten-Fließbild	931
10.5.1.1	Kreiselpumpen	895	11.2.4.6	Rohrleitungs- und Montagepläne	933
10.5.1.2	Verdrängerpumpen	898	11.2.4.7	Die Verfahrensbeschreibung	933
10.5.1.3	Dimensionierung Pumpen	902	11.2.4.8	Die Gestaltung von Ausführungsunterlagen	934
10.5.1.4	Drehzahlregelung Pumpen	903	11.2.5	Hinweise für die Vertragsgestaltung	935
10.5.1.5	Gleitringdichtung	903	11.2.6	Inbetriebnahme und Leistungsfahrt	936
10.5.2	Ventilatoren und Verdichter	904	11.2.7	Projektabschluss	937
10.5.2.1	Lüfter und Gebläse	904	11.2.8	Projektdokumentation	937
10.5.3	Druckluftanlagen	904	11.3	Gestaltung von Anlagen, Anforderungen an die Anlagen	938
10.5.3.1	Druckluftverdichter (Kompressoren)	906	11.3.1	Allgemeine Hinweise	938
10.5.3.2	Lufttrockner	908	11.3.2	Voraussetzungen für die Automation moderner Anlagen	938
10.5.3.3	Druckbehälter	909	11.3.3	Hygienic Design von Rohrleitungen und Anlagen	939
10.5.3.4	Druckluftleitungsnetz	910	11.3.4	Anforderungen an die Betriebssicherheit der Anlagen	939
10.5.3.5	Luftfilter	910	11.3.4.1	Medientrennung	939
			11.3.4.2	Sicherung der Anlage gegen unzulässige Drücke	942
11	Automation und Anlagenplanung	913	11.3.5	Hinweise für die Gestaltung von Rohrleitungen	943
11.1	Hinweise zum Einsatz der Mess-, Steuer- und Regeltechnik	913	11.3.5.1	Allgemeine Hinweise	943
11.1.1	Allgemeine Hinweise	913	11.3.5.2	Rohrleitungsverbindungen	943
11.1.2	Anforderungen an die Messunsicherheit der verwendeten Messtechnik	913			
11.1.3	Anforderungen an Einbauort und an Reinigung/Desinfektion	914			
11.1.4	Anforderungen der Betriebs- und Anlagensicherheit	916			
11.1.5	Anforderungen der Wartung und Instandhaltung	916			

11.3.5.3	Verlegung von Rohrleitungen, Gestaltung von Rohrleitungshalterungen	945	11.3.6.3	Festverrohrung	955
11.3.5.4	Die Fließgeschwindigkeit in Rohrleitungen, Druckverluste	947	11.3.6.4	Armaturen für Rohrleitungen und Anlagenelemente	956
11.3.5.5	Maßnahmen gegen Flüssigkeitsschläge und Schwingungen	950	11.3.6.5	Probeentnahmearmaturen	956
11.3.5.6	Entlüftung der Rohrleitungen, Sauerstoffentfernung	951	11.3.6.6	Armaturenbauformen	958
11.3.5.7	Gestaltung von Wärmedämmungen bei Rohrleitungen	951	11.3.7	Hinweise zur Gestaltung und zum Betrieb von CIP-Stationen	961
11.3.5.8	Gestaltung von Rohrausläufen	952	11.3.8	Hinweise zur Chemikalienlagerung	962
11.3.5.9	Sicherung der Rohrleitungen	952	11.3.9	Hinweise zur Oberflächenbeschaffenheit von Maschinen und Apparaten	963
11.3.5.10	Toträume in Rohrleitungen	953	Im Text verwendete Abkürzungen		966
11.3.5.11	Dampfleitungen	953	Verzeichnis der Inserenten		967
11.3.6	Hinweise zur Rohrleitungsverschaltung, Einsatz von Armaturen und Probeentnahme	953	Alterungsrelevante Substanzen		968
11.3.6.1	Allgemeine Hinweise	953	Messgrößen und Umwandlungen		969
11.3.6.2	Manuelle Verbindungstechnik	954	Hinweise auf verwendete Zeichnungen und Unterlagen		972
			Literaturverzeichnis		976
			Index		987