

TECHNOLOGIE

Brauer & Mälzer

Herausgegeben und
bearbeitet von Olaf Hendel

Kapitel 11
In Zusammenarbeit mit
Dr. Hans-Jürgen Manger

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über dnb.dnb.de abrufbar.

Wolfgang Kunze

Technologie Brauer und Mälzer

Herausgegeben und bearbeitet von Olaf Hendel

12. überarbeitete Auflage 2023

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
6.	internationale Auflage	2019
12.	deutsche Auflage	2023

ISBN 978-3-921690-99-4

© 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 Kulessa, Dresden, Deutschland, www.anne-kulessa.de

Druck: BPP Best Preis Printing ug. & Co KG, Gilching – Gedruckt in der EU

Vorwort zur 12. deutschen Ausgabe von »Technologie Brauer und Mälzer«



Foto: Gerolsteiner

Im Jahre 2021 wurden weltweit rund 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. Wie kaum ein anderes Getränk spendet Bier als verbindendes Element Lebensfreude und Genuss. Dabei ist Bier gut für Geist und Körper. Die medizinische Forschung hat nachgewiesen, dass Bier – moderat genossen – auch positive Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben kann.

All dies ist für uns Brauer Verpflichtung, bei der Bierherstellung allerhöchste Ansprüche an die Qualität der Rohstoffe, Anlagen, Prozesse und nicht zuletzt auch an die Qualifikation unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zu stellen. In Deutschland mit mehr als 1500 Brauereien und rund 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 technischen und technologischen 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 beflügelt. Ein Teil dieses umfangreichen Fachwissens ist in dem vorliegenden Band von »Technologie Brauer und Mälzer« zusammengefasst. Seit der ersten Ausgabe im Jahre 1961 sind davon rund 70000 Exemplare verkauft worden. Mit Übersetzungen ins Englische, Spanische, Russische, Chinesische, Ungarische, Polnische, und Serbische hat »Technologie Brauer & Mälzer« in den vergangenen 30 Jahren auch den Weg zu Brauereipraktikern auf der ganzen Welt gefunden.

Der Autor Wolfgang Kunze hat bis zu seinem Tod 2016 über mehr als 50 Jahre hinweg das Buch ständig aktualisiert und um neue Erkenntnisse erweitert. Es war sein ausdrücklicher Wunsch, dass die VLB sein Lebenswerk in diesem Sinne weiterführen soll. Die vorliegende 12. deutsche Auflage wurde daher von der VLB Berlin unter der Leitung von Olaf Hendel wieder überarbeitet und in Teilen aktualisiert. Damit soll »Technologie Brauer und Mälzer« auch künftig seinem Ruf als das weltweit führende Standardwerk für Brauer und Mälzer gerecht werden und einen aktiven Beitrag für die hochwertige Ausbildung qualifizierter Fachkräfte leisten.

Ulrich Rust

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

Berlin / Gerolstein im Mai 2023

Vorwort des Herausgebers

Die vorliegende 12. deutsche Auflage von »Technologie Brauer & Mälzer« ist die zweite Ausgabe, die der 2016 im Alter von 89 Jahren verstorbene Wolfgang Kunze nicht mehr erleben kann. Noch zu Lebzeiten war es sein ausdrücklicher Wunsch, dass die VLB das Werk auch künftig weiterführt und sein Buch an die aktuellen technischen und technologischen Entwicklungen anpasst. Dieser Ehre und Verpflichtung kommen wir natürlich gerne nach.

Inzwischen ist »Technologie Brauer & Mälzer« selbst Gegenstand der Forschung geworden. Im Rahmen einer Masterarbeit im Forschungsprojekt »KornScout« des Fachgebiets »Bildung für Nachhaltige Ernährung und Lebensmittelwissenschaft (B!NErLe)« der Technischen Universität Berlin wurde es 2019 einer Schlagwortanalyse unterzogen. Dabei ergab sich in den Nachhaltigkeitsdimensionen »Ökologie, Gesamt« und »Ökologie, Energie« jeweils eine »auffallend hohe Anzahl an Treffern«. Ähnliches gilt für die untersuchte Dimension »Ökonomie«. Wir werten dies als deutlichen Hinweis für die nach wie vor hohe Relevanz der in diesem Lehrbuch behandelten Themen für eine moderne Ausbildung.

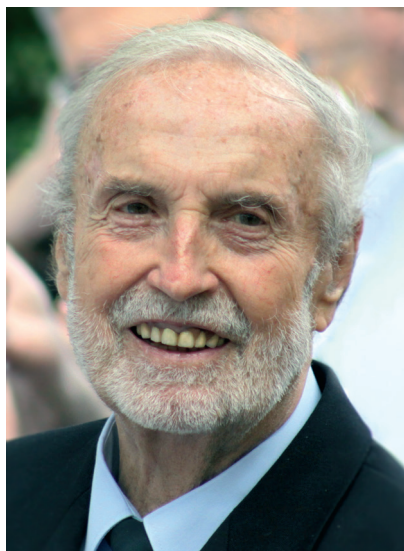
Die vorliegende Auflage wurde in vielen Details überarbeitet. Dabei konnte ich wieder auf die Erfahrung und Arbeit verschiedener Kolleginnen und Kollegen der VLB zurückgreifen. Außerdem haben wir zahlreiche Hinweise aus der Leserschaft und aus unseren Braumeisterkursen erhalten und ausgewertet.

Ein besonderer Dank für die inhaltliche Unterstützung dieser Auflage geht an Jan Biering (VLB) für die Sichtung und Überarbeitung von Kapitel 4. Unter den vielen Zuschriften unserer Leserinnen und Leser möchte ich insbesondere Carina Klinger (Österreich) und Thomas Jänsch (Dresden) für ihre ausführlichen Hinweise danken. Ebenso Eva Wiesgrill und Julia Bork von der PR- und Verlagsabteilung der VLB für das Korrekturlesen des gesamten Textes.

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 Juli 2023



*In Gedenken an Wolfgang Kunze,
7. August 1926 – 17. Januar 2016*

Die Kapitel im Überblick

Bier – das älteste Volksgetränk	25
1 Rohstoffe	39
2 Herstellen des Malzes	117
3 Herstellen der Würze	213
4 Herstellen des Biers (Gären, Reifen und Filtrieren)	391
5 Abfüllen des Bieres	571
6 Reinigung und Desinfektion	739
7 Das fertige Bier	757
8 Kleine Brauer	821
9 Entsorgung und Umwelt	845
10 Energiewirtschaft in der Brauerei und Mälzerei	861
11 Automation und Anlagenplanung	913

Inhalt

Bier – das älteste Volksgetränk.....	25
1 Rohstoffe	39
1.1 Gerste.....	39
1.1.1 Gerstenanbau und Sorten	39
1.1.1.1 Gerstenanbau	39
1.1.1.2 Gerstensorten.....	40
1.1.2 Anbau der Gerste	41
1.1.3 Aufbau des Gerstenkorns	42
1.1.3.1 Äußerer Aufbau	42
1.1.3.2 Innerer Aufbau	43
1.1.4 Zusammensetzung und Eigenschaften der Bestandteile	45
1.1.4.1 Kohlenhydrate	45
1.1.4.2 Eiweißstoffe (Proteine)	49
1.1.4.3 Fette (Lipide)	51
1.1.4.4 Mineralstoffe	53
1.1.4.5 Sonstige Stoffe	53
1.1.4.6 Enzyme der Gerste	54
1.1.5 Beurteilung der Gerste.....	56
1.1.5.1 Handbonitierung	57
1.1.5.2 Mechanische und chemische Untersuchungen	58
1.1.5.3 Physiologische Untersuchungen	60
1.2 Hopfen.....	62
1.2.1 Hopfenanbaugebiete	62
1.2.2 Ernten, Trocknen und Haltbarmachen des Hopfens	64
1.2.2.1 Ernte	64
1.2.2.2 Trocknen.....	64
1.2.2.3 Haltbarmachen des Hopfens	65
1.2.3 Aufbau der Hopfendolde	65
1.2.4 Zusammensetzung und Eigenschaften der Hopfen- bestandteile	66
1.2.4.1 Bitterstoffe oder Hopfenharze	66
1.2.4.2 Hopfenöl	68
1.2.4.3 Gerbstoffe oder Polyphenole	69
1.2.4.4 Eiweißstoffe.....	70
1.2.5 Beurteilung des Hopfens	71
1.2.5.1 Handbonitierung Doldenhopfen ..	71
1.2.5.2 Bitterstoffgehalt	72
1.2.6 Hopfensorten	72
1.2.7 Hopfenprodukte	73
1.2.7.1 Hopfenpellets	74
1.2.7.2 Hopfenextrakte	76

1.3	Wasser	82	1.5.4	Hirsen	112
1.3.1	Kreislauf des Wassers	82	1.5.5	Weizen	113
1.3.2	Frischwasserverbrauch in der Brauerei	83	1.5.6	Zucker	113
1.3.3	Gewinnung des Wassers	83	1.5.7	Glucosesirup.....	114
1.3.3.1	Gewinnung von Grundwasser.....	84	1.5.8	Zuckerulör (auch -couleur).....	115
1.3.3.2	Gewinnung von Quellwasser	85	2	Herstellen des Malzes	117
1.3.3.3	Gewinnung von Oberflächenwasser	85	2.1	Annehmen, Putzen, Sortieren und Fördern der Gerste	118
1.3.3.4	Bedeutung der Eigenwasserversorgung	86	2.1.1	Annehmen der Gerste	118
1.3.4	Anforderungen an das Wasser	86	2.1.1.1	Annehmen von Straßen- oder Schienenfahrzeugen	118
1.3.4.1	Anforderungen an das Wasser als Trinkwasser	86	2.1.1.2	Annehmen von Schiffen	119
1.3.4.2	Anforderungen an das Wasser als Brauwasser	87	2.1.2	Putzen und Sortieren der Gerste	120
1.3.4.3	Bedeutung einzelner Ionen.....	90	2.1.2.1	Vorreinigen der Gerste.....	120
1.3.5	Verfahren zur Verbesserung des Wassers	91	2.1.2.2	Magnetapparate.....	121
1.3.5.1	Verfahren zur Entfernung von Schwebestoffen	91	2.1.2.3	Trockensteinausleser	122
1.3.5.2	Entfernen von gelösten Stoffen	92	2.1.2.4	Entgranner.....	123
1.3.5.3	Verfahren zur Verbesserung der Restalkalität.....	93	2.1.2.5	Trieur.....	123
1.3.5.4	Entkeimen des Wassers	96	2.1.2.6	Sortieren der Gerste	124
1.3.5.5	Entgasen des Wassers	97	2.1.3	Fördern von Gerste und Malz.....	128
1.3.6	Möglichkeiten der Wassereinsparung	100	2.1.3.1	Mechanische Fördermittel	128
1.4	Hefe	101	2.1.3.2	Pneumatische Fördermittel	131
1.4.1	Aufbau und Zusammensetzung der Hefezelle	101	2.1.4	Anlagen zur Staubentfernung ...	134
1.4.2	Stoffwechsel der Hefezelle	104	2.1.4.1	Zyklone	134
1.4.3	Fortpflanzung und Wachstum von Hefen	105	2.1.4.2	Staubfilter	135
1.4.4	Charakterisierung von Bierhefen .	107	2.2	Trocknen und Lagern der Gerste	137
1.4.4.1	Morphologische Merkmale	107	2.2.1	Atmung der Gerste	137
1.4.4.2	Physiologische Unterschiede	108	2.2.2	Trocknen der Gerste	138
1.4.4.3	Gärungstechnologische Unterschiede	108	2.2.3	Kühlen der Gerste	139
1.4.4.4	Systematische Einordnung	108	2.2.4	Lagern der Gerste	140
1.5	Rohfrucht	110	2.2.4.1	Silolagerung	140
1.5.1	Mais.....	110	2.2.4.2	Lagerung auf Speichern	141
1.5.2	Reis	111	2.2.4.3	Schädlingsbefall	142
1.5.3	Gerste	112	2.3	Weichen der Gerste	143
			2.3.1	Vorgänge beim Weichen	143
			2.3.1.1	Wasseraufnahme	143
			2.3.1.2	Versorgung mit Sauerstoff	146
			2.3.1.3	Reinigung	146
			2.3.2	Weichgefäße	147
			2.3.3	Durchführen des Weichens	152
			2.4	Keimen der Gerste	154
			2.4.1	Vorgänge beim Keimen	154

2.4.1.1	Wachstumsvorgänge	154	2.8	Beurteilen des Malzes	195
2.4.1.2	Enzymbildung	155	2.8.1	Handbonitierung	195
2.4.1.3	Stoffumwandlungen beim Keimen	157	2.8.2	Mechanische Untersuchungen ..	195
2.4.1.4	Schlussfolgerungen für die Durchführung der Keimung	164	2.8.2.1	Sortierung	195
2.4.2	Keimverfahren	165	2.8.2.2	Tausendkornmasse	195
2.4.2.1	Tennenmälzerei	165	2.8.2.3	Hektolitermasse	195
2.4.2.2	Pneumatisch betriebene Mälzungssysteme	166	2.8.2.4	Schwimmprobe (Sinkerprobe) ...	195
2.4.2.3	Durchführung der Keimung	176	2.8.2.5	Glasigkeit	195
2.4.2.4	Kontrolle der Keimung	177	2.8.2.6	Mürbigkeit	195
2.5	Darren des Malzes.....	178	2.8.2.7	Blattkeimentwicklung	196
2.5.1	Veränderungen beim Darren	178	2.8.2.8	Keimfähigkeit	196
2.5.1.1	Senkung des Wassergehaltes	178	2.8.2.9	Dichte	196
2.5.1.2	Unterbrechung der Keimung und Auflösung	178	2.8.2.10	Calcofluor-Carlsberg Methode (Kornschleifmethode)	196
2.5.1.3	Bildung von Farb- und Aroma- stoffen (Maillard-Reaktion)	179	2.8.3	Chemisch-technische Untersuchungen	196
2.5.1.4	Bildung von DMS-Vorstufe und freiem DMS beim Darren	180	2.8.3.1	Wassergehalt	196
2.5.1.5	Einfluss von Darrtemperatur und Darrzeit	180	2.8.3.2	Kongressmaischverfahren	196
2.5.1.6	Bildung von Nitrosaminen	181	2.8.4	Malzlieferungsvertrag	200
2.5.1.7	Inaktivierung der Enzyme	182	2.9	Malzsorten und Malze aus anderem Getreide	201
2.5.2	Bau der Darre.....	182	2.9.1	Pilsener Malz (helles Malz).....	201
2.5.2.1	Beheizung u. Lüftung der Darre ..	183	2.9.2	Dunkles Malz (Münchner Art) ...	201
2.5.2.2	Zweiholdendarre älterer Bauart .	185	2.9.3	Wiener Malz	201
2.5.2.3	Darren mit Kipphorde	186	2.9.4	Brühhmalz/Melanoidinmalz	201
2.5.2.4	Plandarren mit Be- und Entlader .	186	2.9.5	Caramelmalz	202
2.5.2.5	Vertikaldarren	188	2.9.6	Sauermalz	203
2.5.3	Durchführung des Darrens	189	2.9.7	Kurz- und Spitzmalz	204
2.5.3.1	Herstellung von Pilsner Malz	190	2.9.8	Rauchmalz	204
2.5.3.2	Herstellung von Münchner Malz .	191	2.9.9	Diastasemalz	204
2.5.3.3	Darre abräumen	191	2.9.10	Röstmalz	204
2.5.3.4	Kontrolle der Darrarbeit	192	2.9.11	Röstmalzbier	205
2.6	Behandlung des Malzes nach dem Darren.....	193	2.9.12	Weizenmalz	205
2.6.1	Abkühlen des abgedarrten Malzes	193	2.9.13	Malzextrakt	206
2.6.2	Putzen des Malzes	193	2.9.14	Malz aus anderem Brotgetreide .	207
2.6.3	Lagern des Malzes	194	2.9.15	Sorghum-Malz	208
2.6.4	Polieren des Malzes	194	2.9.16	Einsatz von Malztypen für verschiedene Biersorten	209
2.7	Ausbeute beim Mälzen	194	2.10	Unfallschutz in der Mälzerei ..	210
			3	Herstellen der Würze	213
			3.1	Schroten des Malzes	214
			3.1.1	Vorbehandeln des Malzes	214
			3.1.1.1	Entstauben und Entsteinen des Malzes	214

3.1.1.2	Verwiegen der Schüttungsmenge	215	3.2.6	Kontrolle des Maischens	282
3.1.2	Grundlagen des Schrotens	217	3.2.7	Maischintensität	282
3.1.3	Trockenschrotung	218	3.3	Abläutern	282
3.1.3.1	Sechswalzenmühlen	218	3.3.1	Hauptguss und Nachgüsse	282
3.1.3.2	Fünfwalzenmühlen	219	3.3.2	Glattwasser	284
3.1.3.3	Vierwalzenmühlen	219	3.3.3	Abläutern mit dem Läuterbottich	285
3.1.3.4	Zweiwalzenmühlen	220	3.3.3.1	Bau des Läuterbottichs	
3.1.3.5	Walzen der Schrotmühlen	220		älterer Bauart	285
3.1.3.6	Konditionierte Trockenschrotung	222	3.3.3.2	Läuterbottiche neuer Bauart	287
3.1.3.7	Schrotrumpf	223	3.3.3.3	Arbeitsablauf beim Abläutern mit dem konvent. Läuterbottich	291
3.1.3.8	Hammermühlen	223	3.3.4	Abläutern mit dem Maischefilter	293
3.1.3.9	Andere Mühlensysteme	226	3.3.4.1	Konventionelle Maischefilter	294
3.1.3.10	Spelzenabtrennung	227	3.3.4.2	Maischefilter der neuen Generation	295
3.1.4	Nassschrotung	227	3.3.5	Neuere Entwicklungen der Läu- tertechnik	304
3.1.5	Weichkonditionierung	228	3.3.6	Treber	304
3.1.6	Feinstzerkleinerung mit Wasser ..	231	3.3.6.1	Förderung der Treber	305
3.1.7	Beurteilung des Schrotes	232	3.3.6.2	Treberanalyse	305
3.2	Maischen	233	3.4	Würzekochen	308
3.2.1	Umwandlungen beim Maischen	233	3.4.1	Vorgänge beim Würzekochen ...	308
3.2.1.1	Zweck des Maischens	233	3.4.1.1	Lösung und Umwandlung der Hopfenbestandteile	308
3.2.1.2	Eigenschaften der Enzyme	233	3.4.1.2	Ausscheidung von Eiweiß	309
3.2.1.3	Abbau der Stärke	235	3.4.1.3	Verdampfung von Wasser	310
3.2.1.4	Abbau des β -Glucans	241	3.4.1.4	Sterilisierung der Würze	311
3.2.1.5	Abbau von Eiweißstoffen	245	3.4.1.5	Zerstörung aller Enzyme	311
3.2.1.6	Umwandlungen von Fettsäuren (Lipiden)	246	3.4.1.6	Thermische Belastung d. Würze ..	311
3.2.1.7	Weitere Abbau- und Lösungsvorgänge	248	3.4.1.7	pH-Wert-Senkung in der Würze ..	312
3.2.1.8	Biologische Säuerung	249	3.4.1.8	Bildung von reduzierenden Stoffen (Reduktonen)	312
3.2.1.9	Zusammensetzung des Extrakts ..	253	3.4.1.9	Ausdampfen flüchtiger Aromastoffe	312
3.2.1.10	Schlussfolgerungen für die Durchführung des Maischens	254	3.4.1.10	Zinkgehalt der Würze	315
3.2.2	Gefäße zum Maischen	254	3.4.1.11	Pfannevollwürze	315
3.2.2.1	Maischgefäße	255	3.4.2	Bau u. Beheizung Würzpfanne ..	315
3.2.3	Einmaischen	259	3.4.2.1	Braupfanne mit direkter Beheizung	315
3.2.3.1	Gussführung	259	3.4.2.2	Braupfanne mit Dampfbeheizung ..	315
3.2.3.2	Einmischtemperatur	260	3.4.2.3	Würzpfannen mit Niederdruckkochung	319
3.2.3.3	Vermischung von Wasser und Malzschrot	261	3.4.2.4	Hochtemperatur-Würzekochung	328
3.2.4	Maischverfahren	263	3.4.2.5	Energiesparende Würzekochsysteme	328
3.2.4.1	Gesichtspunkte zur Durchführung des Maischens	264			
3.2.4.2	Infusionsverfahren	267			
3.2.4.3	Dekoktionsverfahren	268			
3.2.5	Dauer der Maischverfahren	281			

3.4.2.6	Moderne Würzekochsysteme	331	3.8.3.3	Durchführung der Würzeklärung im Whirlpool	369
3.4.2.7	Energieverbrauch beim Würzekochen	341	3.8.3.4	Klärung mittels Clarisaver	370
3.4.2.8	Brüdenkondensatkühler	345	3.8.4	Separatoren	371
3.4.2.9	Vorlaufgefäß	345	3.8.4.1	Prinzip der Zentrifugation	371
3.4.3	Durchführung des Würzekochens	346	3.8.4.2	Arten von Zentrifugal-Separatoren (Zentrifugen).....	372
3.4.3.1	Kochen der Würze	346	3.8.4.3	Bau und Arbeitsweise von selbst-austragenden Separatoren	372
3.4.3.2	Hopfengabe	346	3.8.4.4	Heißwürzeseparation	374
3.4.4	Kontrolle der Ausschlagwürze	351	3.8.4.5	Entfernung des Heißtrubes mittels Dekanter	375
3.5	Sudhausausbeute	352	3.8.5	Gewinnung der Trubwürze	375
3.5.1	Berechnung Sudhausausbeute ...	352	3.9	Kühlen und Klären der Würze 376	
3.5.1.1	Ermittlung der Masseprozentage (Ma-%)	352	3.9.1	Vorgänge beim Kühlen	376
3.5.1.2	Ermittlung der Masse des Extrakts je 1 hl Würze	354	3.9.1.1	Kühlung der Würze	376
3.5.1.3	Umrechnung Volumen der heißen Ausschlagwürze in das der kalten Würze	357	3.9.1.2	Bildung und optimale Entfernung des Kühltrubes	376
3.5.1.4	Berechnung der im Sudhaus gewonnenen Extraktmenge	358	3.9.1.3	Veränderungen in der Konzentration der Würze	377
3.5.1.5	Ermittlung Sudhausausbeute (A_3) ..	358	3.9.2	Geräte zum Kühlen der Würze ..	377
3.5.2	Beeinflussung der Sudhausausbeute	359	3.9.2.1	Aufbau des Plattenwärmeübertragers	377
3.5.3	Bewertung Sudhausausbeute	360	3.9.2.2	Wirkungsweise des Plattenwärmeübertragers	379
3.6	Sudhauseinrichtung	360	3.9.2.3	Vorteile des Plattenwärmeübertragers	381
3.6.1	Anzahl und Aufstellung der Gefäße	360	3.9.3	Grundlagen und Durchführung der Würzebelüftung	381
3.6.2	Gefäßgröße	361	3.9.3.1	Verfahren zur Würzebelüftung ..	382
3.6.3	Gefäßmaterial	361	3.9.3.2	Zeitpunkt der Hefebelüftung	383
3.6.4	Produktionskapazität des Sudhauses	362	3.9.4	Geräte zum Entfernen des Kühltrubes	384
3.6.5	Sudwerke besonderer Art	363	3.9.5	Würzekühllinien	384
3.6.5.1	Sudwerke Gasthausbrauereien ..	363	3.10	Kontinuierliche Würzeherstellung	384
3.6.5.2	Integral-Sudwerk	363	3.11	Arbeitssicherheit bei der Würzeherstellung	387
3.6.5.3	Versuchs- und Lehrsudwerke	364	3.11.1	Unfallverhütung im Bereich der Mühle	387
3.7	Ausschlagen	365	3.11.2	Unfallverhütung bei Arbeiten in Sudgefäßen	387
3.8	Entfernen des Heißtrubes	365	3.11.3	Unfallverhütung bei der Arbeit mit Separatoren	388
3.8.1	Kühlschiff	366			
3.8.2	Setzbottich	366			
3.8.3	Whirlpool	366			
3.8.3.1	Wirkungsprinzip Whirlpool	367			
3.8.3.2	Bau des Whirlpools	368			

4	Herstellen des Biers 391		
4.1	Umwandlungen beim Gären und Reifen 391		
4.1.1	Hefe als wichtigster Partner des Brauers 391		
4.1.2	Stoffwechsel der Hefe 393		
4.1.2.1	Vergären des Zuckers 394		
4.1.2.2	Eiweißstoffwechsel 399		
4.1.2.3	Fettstoffwechsel 400		
4.1.2.4	Kohlenhydratstoffwechsel 401		
4.1.2.5	Mineralstoffwechsel 402		
4.1.3	Bildung und Abbau von Gärungsnebenprodukten 403		
4.1.3.1	Diacetyl (vicinale Diketone) 404		
4.1.3.2	Aldehyde (Carbonyle) 407		
4.1.3.3	Höhere Alkohole 407		
4.1.3.4	Ester 408		
4.1.3.5	Schwefelverbindungen 409		
4.1.3.6	Organische Säuren 410		
4.1.3.7	Beurteilungskriterien der Aromastoffe im Bier (nach Miedaner) 410		
4.1.4	Weitere Vorgänge und Umwandlungen 412		
4.1.4.1	Veränderungen der Zusammensetzung der Eiweißstoffe 412		
4.1.4.2	Senkung des pH-Wertes 413		
4.1.4.3	Veränderung der Redoxverhältnisse im Bier 413		
4.1.4.4	Veränderung der Bierfarbe 413		
4.1.4.5	Ausscheidung von Bitterstoffen und Gerbstoffen 414		
4.1.4.6	CO ₂ -Gehalt des Bieres 414		
4.1.4.7	Klärung und kolloidale Stabilisierung des Biers 414		
4.1.5	Auswirkungen verschiedener Faktoren auf die Hefe 414		
4.1.6	Flockulation der Hefe (Bruchbildung) 416		
4.1.7	Degeneration der Hefe 417		
4.1.8	Physiologischer Zustand Hefe 417		
4.2	Reinzucht der Hefe 418		
4.2.1	Grundlagen der Hefevermehrung 418		
4.2.2	Gewinnung geeigneter Hefezellen 420		
4.2.3	Herführung im Labor 420		
4.2.4	Hefeherführung im Betrieb 421		
4.2.4.1	Hefereinzuchtanlagen 422		
4.2.4.2	Optimierte Hefewirtschaft nach Back 425		
4.2.4.3	Eintank-Reinzuchtverfahren 426		
4.2.4.4	Offene Hefeherführung 428		
4.3	Klassische Gärung und Reifung 429		
4.3.1	Gärbottiche – Einrichtung des offenen Gärkellers 429		
4.3.1.1	Gärbottiche 429		
4.3.1.2	Einrichtung des offenen Gärkellers 430		
4.3.2	Gärkellerausbeute 432		
4.3.3	Durchführung der offenen Hauptgärung 433		
4.3.3.1	Anstellen 433		
4.3.3.2	Gärführung im Gärbottich 435		
4.3.3.3	Vergärungsgrad 437		
4.3.3.4	Schläuchen aus dem Bottich 440		
4.3.4	Hefeerte im Bottich 442		
4.3.5	Vorgänge bei der Reifung des Biers in konventionellen Tanks ... 443		
4.3.5.1	Sättigen des Bieres mit Kohlendioxid unter Überdruck 443		
4.3.5.2	Klären des Bieres 444		
4.3.6	Einrichtung des konventionellen Lagerkellers 444		
4.3.6.1	Einrichtung des Lagerkellers 444		
4.3.6.2	Lagertanks 445		
4.3.7	Durchführung der Lagerung in konventionellen Tanks 446		
4.3.7.1	Schläuchen 447		
4.3.7.2	Spunden 447		
4.3.8	Anstecken 448		
4.3.8.1	Herstellen der Verbindung 448		
4.3.8.2	Druck beim Anstecken und Entleeren 449		
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) 451	4.4.8	Immobilisierte Hefen 491
4.4.1	Bau und Aufstellung von zylindrokonischen Tanks451	4.5	Filtern des Bieres 493
4.4.1.1	Bau, Form und Material der ZKT..451	4.5.1	Möglichkeiten der Filtration 493
4.4.1.2	Größenordnung der ZKT 452	4.5.1.1	Abscheidemechanismen 493
4.4.1.3	Aufstellung und Anordnung ZKT.. 454	4.5.1.2	Filtermittelträger 494
4.4.2	Ausrüstung der zylindrokonischen Tanks 455	4.5.1.3	Filterhilfsmittel 496
4.4.2.1	Kontroll- und Bedienelemente und Sicherheitsarmaturen 455	4.5.2	Bauformen von Filtern 499
4.4.2.2	Kühlen der ZKT 463	4.5.2.1	Massefilter 499
4.4.2.3	Möglichkeiten zur Steuerung und Automatisierung der Kühlung ... 470	4.5.2.2	Anschwemmfilter 500
4.4.3	Durchführung der Gärung und Reifung in ZKT471	4.5.2.3	Schichtenfilter (Rahmenfilter)513
4.4.3.1	Besondere Gesichtspunkte der Gärung und Reifung in ZKT474	4.5.2.4	Membranfilter515
4.4.3.2	Kalte Gärung – kalte Reifung476	4.5.2.5	Multi-Micro-System516
4.4.3.3	Kalte Gärung mit gezielter Reifung im ZKT 477	4.5.2.6	Filtrationsbereiche517
4.4.3.4	Drucklose warme Gärung – kalte Reifung 478	4.5.2.7	Kieselgurfreie Bierfiltration517
4.4.3.5	Druckgärung 478	4.6	Haltbarmachen des Bieres..... 524
4.4.3.6	Kalte Gärung – warme Reifung . 478	4.6.1	Biologische Haltbarmachung des Bieres 525
4.4.3.7	Kalte Hauptgärung mit programmierter Reifung 478	4.6.1.1	Pasteurisation 526
4.4.3.8	Warme Hauptgärung mit forcierter Reifung im Ein-Tank-Verfahren ... 479	4.6.1.2	Kurzzeiterhitzung (KZE) 526
4.4.4	Hefeernte aus dem ZKT 480	4.6.1.3	Heißabfüllung von Bier 528
4.4.4.1	Zeitpunkt der Hefeernte 481	4.6.1.4	Pasteurisation im Tunnel-pasteur 528
4.4.4.2	Methoden der Hefeernte 482	4.6.1.5	Kaltseptische Behandlung des Bieres 529
4.4.4.3	Behandeln und Aufbewahren der Erntehefe482	4.6.2	Kolloidale Stabilisierung des Biers 530
4.4.5	Bierqualität vor der Filtration 485	4.6.2.1	Charakter der kolloiden Trübungen 530
4.4.6	Rückgewinnung von Bier aus Überschusshefe (Gelägerbier, Hefebier) 485	4.6.2.2	Verbesserung der kolloiden Haltbarkeit des Biers 531
4.4.6.1	Trennung durch Sedimentation oder Filterpressen 486	4.6.2.3	Technologische Maßnahmen zur Verbesserung der kolloiden Haltbarkeit..... 532
4.4.6.2	Separation der Hefe 486	4.6.2.4	Zusatz von Stabilisierungsmitteln 532
4.4.6.3	Bierrückgewinnung 487	4.6.2.5	Zudosierung von Hopfen-Downstream-Produkten 541
4.4.6.4	Membranfiltration der Hefe 487	4.6.3	Filtrationsanlage 541
4.4.6.5	Aufbereitung des Bieres aus Überschusshefe (Hefebier) 488	4.6.4	Geschmackliche Stabilität 543
4.4.7	CO ₂ -Rückgewinnung 490	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 auf dem Filtrations- und Abfüllweg 547

4.6.4.4	Maßnahmen zur Vermeidung negativer Einflüsse auf die geschmackliche Stabilität nach der Abfüllung	547	5.1.2.2	Einwirkungsfaktoren bei der Flaschenreinigung	576
4.7	Karbonisieren des Bieres	549	5.1.2.3	Flaschenreinigungsmaschinen ...	577
4.8	Besondere Verfahren zur Bierherstellung	550	5.1.2.4	Reinigungslauge	592
4.8.1	High-Gravity-Brewing	550	5.1.2.5	Reinigungs- u. Wartungsarbeiten an der Flaschenreinigungsmaschine	597
4.8.2	Eisbierherstellung	554	5.1.2.6	Abräumen von Neuglasflaschen und Dosen	597
4.8.3	Verfahren zur Entfernung des Alkohols	555	5.1.3	Kontrolle der gereinigten Mehrweg-Glasflaschen	598
4.8.3.1	Membrantrennverfahren	556	5.1.4	Befüllen von Flaschen	604
4.8.3.2	Thermische Verfahren/ Destillation	559	5.1.4.1	Grundsätze beim Abfüllen	604
4.8.3.3	Unterdrückung der Alkoholbildung (biologische Verfahren)	563	5.1.4.2	Prinzipieller Aufbau von Flaschenfüllmaschinen	607
4.9	Unfallschutz bei der Gärung, Reifung und Filtration	566	5.1.4.3	Wesentliche Baugruppen der Flaschenfüllmaschinen	608
4.9.1	Unfallgefahren durch Gärungskohlensäure	566	5.1.4.4	Bau und Funktionsweise der Füllorgane	611
4.9.2	Arbeit im Druckbehältern	567	5.1.4.5	Hochdruckeinspritzung	622
4.9.3	Arbeiten mit Kieselgur	568	5.1.5	Verschließen der Flaschen	624
4.9.4	Generelle Hinweise zum Unfallschutz	568	5.1.5.1	Verschließen mittels Kronenkorken	624
5	Abfüllen des Bieres	571	5.1.5.2	Verschließen mit Bügelverschluss	629
5.1	Abfüllen in Mehrweg-Glasflaschen	571	5.1.6	Reinigen des Füllers und Verschließers	630
5.1.1	Mehrweg-Glasflaschen	571	5.1.7	Kontrolle der befüllten und verschlossenen Flaschen	634
5.1.1.1	Vor- und Nachteile von Glasflaschen	571	5.1.7.1	Füllhöhenkontrolle	634
5.1.1.2	Herstellen der Glasflaschen	571	5.1.7.2	Sauerstoff im Flaschenhals	636
5.1.1.3	Flaschenformen	571	5.1.7.3	Vollflascheninspektion	638
5.1.1.4	Flaschenfarbe	573	5.1.8	Pasteurisieren in Flaschen	638
5.1.1.5	Oberflächenvergütung	574	5.1.8.1	Grundlagen der Pasteurisation in Flaschen	638
5.1.1.6	Scuffing	574	5.1.8.2	Wesentliche Baugruppen des Tunnelpasteurs	639
5.1.1.7	Flaschennachvergütung	574	5.1.8.3	Sicherheitsmaßnahmen beim Pasteurisieren	641
5.1.1.8	Leichtglas-Mehrwegflaschen	574	5.1.9	Etikettieren und Folieren der Flaschen	642
5.1.1.9	Verfahrensschritte bei der Abfüllung von Mehrweg-Glasflaschen	575	5.1.9.1	Etiketten und Folien	642
5.1.2	Reinigen von Mehrweg-Glasflaschen	575	5.1.9.2	Etikettenleim	644
5.1.2.1	Leergutsortierung	575	5.1.9.3	Grundprinzip der Etikettierung ..	645
			5.1.9.4	Bauarten Etikettiermaschinen	646
			5.1.9.5	Kopfeinfaltung mit Folien	647
			5.1.10	Datieren der Etiketten	648

5.2	Besonderheiten beim Abfüllen in Einweg-Glasflaschen 649	5.5.11	Rundumetikettierung von Dosen 691
5.2.1	Abräumen von Neuglasflaschen 649	5.5.12	Datieren der Dosen 692
5.2.2	Rinsen (Spülen) 649	5.6	Abfüllen in Fässer, Kegs, Partyfässer und Großdosen.... 693
5.3	Abfüllen in PET-Flaschen 651	5.6.1	Holzfüßer und Fassabfüllung 693
5.3.1	PET-Flaschen.....651	5.6.2	Kegs und Fittings 697
5.3.1.1	Struktureigenschaften von PET...651	5.6.2.1	Material, Form und Größe der Kegs 697
5.3.1.2	Barriereeigenschaften von PET ...651	5.6.2.2	Kegarmaturen..... 698
5.3.1.3	Barriertechnologien 652	5.6.2.3	Kunststoff-Kegs 700
5.3.1.4	Bedeutung der Scavenger 654	5.6.3	Reinigen u. Befüllen der Kegs 700
5.3.2	Herstellen der PET-Flaschen 655	5.6.3.1	Reinigen der Kegs 701
5.3.2.1	Herstellen der Preforms..... 655	5.6.3.2	Befüllen der Kegs 702
5.3.2.2	PET-Flaschen 656	5.6.4	Keg-Komplettanlagen 703
5.3.2.3	Kontrolle der hergestellten PET-Flaschen 656	5.6.5	Befüllen von Klein- und Partyfässern 703
5.3.2.4	Rinsen von Neufaschen 658	5.6.6	Befüllen von Großdosen 705
5.3.3	Transportieren der PET-Flaschen 658	5.7	Transportieren und Verpacken 705
5.3.4	Befüllen der PET-Flaschen 658	5.7.1	Transportgebilde 705
5.3.5	Verschließen der PET-Flaschen ... 659	5.7.2	Behandlung der Kunststoffkästen 708
5.3.5.1	Kunststoff-Schraubverschlüsse .. 659	5.7.2.1	Aussortieren fremder u. beschädigter Kästen u. Flaschen 708
5.3.5.2	Aluminium-Anrollverschlüsse 661	5.7.2.2	Waschen der Kästen 709
5.3.6	Etikettieren von PET-Flaschen..... 663	5.7.2.3	Kastenmagazin 709
5.4	Abfüllen in Mehrweg-Kunststoff-Flaschen665	5.7.3	Transporttechnik710
5.4.1	PEN / PLA..... 665	5.7.3.1	Flaschen- und Dosentransport ...710
5.4.2	Reinigung von Mehrweg-Kunststoffflaschen 665	5.7.3.2	Gebindettransport714
5.4.3	Leerflascheninspektion 665	5.7.4	Verpackungstechnik715
5.5	Abfüllen in Dosen 670	5.7.4.1	Packkopf und Packtulpen.....715
5.5.1	Dosen und Dosenverschlüsse 670	5.7.4.2	Packerarten717
5.5.2	Einlagern, Entpalettieren und Abschieben der Leerdosen674	5.7.5	Palettier- und Entpalettier-einrichtungen 722
5.5.3	Inspektion der Leerdosen 675	5.7.5.1	Robotertechnik 722
5.5.4	Rinsen der Dosen 676	5.7.5.2	Bau und Funktion der Palettier- und Entpalettier-einrichtungen ... 723
5.5.5	Befüllen der Dosen 676	5.7.5.3	Stapelung von Vollgutpaletten .. 726
5.5.5.1	Mechanische Dosenfüller 678	5.7.5.4	Transportanlagen für Paletten .. 726
5.5.5.2	Dosenfüller mit volumetrischer Füllung 680	5.7.5.5	Paletten-Stellplätze 726
5.5.6	Verschließen der Dosen 687	5.7.5.6	Zu- und Ablaufvorrichtungen 726
5.5.7	Reinigung des Dosenfüllers und Verschließers 689	5.7.5.7	Palettenmagazine 726
5.5.8	Widgets 689	5.7.5.8	Palettenkontrolle 727
5.5.9	Inspektion der gefüllten Dosen .. 690	5.7.5.9	Palettensicherung 727
5.5.10	Pasteurisieren der Dosen 691	5.7.5.10	Palettierung in der Fassfüllung ... 727

5.8	Komplett-Layouts von Abfüllanlagen 728	7.2.1	Geschmack des Bieres 762
5.9	Bierschwand 733	7.2.1.1	Bieraroma 762
5.9.1	Berechnung der hergestellten Verkaufsbiermenge 733	7.2.1.2	Vollmundigkeit 765
5.9.2	Bestandsaufnahme und Umrechnung auf Verkaufsbier ... 734	7.2.1.3	Rezenz 766
5.9.3	Berechnung des Volumenschwandes 735	7.2.1.4	Bittere des Bieres 766
5.9.4	Berechnung des Malzverbrauches in kg Malz/hl Verkaufsbier 736	7.2.2	Schaum des Bieres 767
5.9.5	Bedeutung des Schwandes und Möglichkeiten der Minderung ... 736	7.3	Biersorten und ihre Besonderheiten 771
6	Reinigung und Desinfektion 739	7.3.1	Obergärig hergestellte Biere 771
6.1	Materialien und ihr Verhalten gegenüber Reinigungsmitteln 740	7.3.1.1	Besonderheiten der Obergärung 772
6.1.1	Aluminiumgefäße 740	7.3.1.2	Weizenbiere 774
6.1.2	Gefäße, Leitungen und Armaturen aus Chromnickelstahl 741	7.3.1.3	Berliner Weiße 779
6.1.3	Schläuche und Dichtungen 743	7.3.1.4	Altbier 779
6.2	Reinigungsmittel 744	7.3.1.5	Kölsch 780
6.3	Desinfektionsmittel 746	7.3.1.6	Ale 780
6.4	Durchführung der Reinigung und Desinfektion (CIP) 747	7.3.1.7	Stout 781
6.5	Reinigungsvorgang 753	7.3.1.8	Porter 781
6.6	Mechanische Reinigung 755	7.3.1.9	Belgische Biersorten 782
6.7	Kontrolle der Reinigung und Desinfektion 756	7.3.2	Untergärige Biersorten 783
6.8	Arbeitsschutz bei Reinigung und Desinfektion 756	7.3.2.1	Biere nach Pilsner Typ 783
7	Das fertige Bier 757	7.3.2.2	Lagerbiere/Vollbiere 784
7.1	Inhaltsstoffe des Bieres 757	7.3.2.3	Export/Helles 785
7.1.1	Bestandteile des Bieres 757	7.3.2.4	Schwarzbiere 785
7.1.2	Bier und Gesundheit 760	7.3.2.5	Festbiere 785
7.2	Geschmack und Schaum 762	7.3.2.6	Eisbier 785
		7.3.2.7	Märzen 786
		7.3.2.8	Bockbier 786
		7.3.2.9	Doppelbock 786
		7.3.2.10	Alkoholfreies Bier 787
		7.3.2.11	Kohlenhydratreduziertes Bier (Diätbier) 787
		7.3.2.12	Leichtbier (Light) 789
		7.3.2.13	Malztrunk 789
		7.3.2.14	Weitere spezielle Biersorten 790
		7.3.2.15	Biermischgetränke 791
		7.3.2.16	Hard Seltzer 793
		7.3.3	Tendenzen bei der Entwicklung von Biersorten, die nicht dem Reinheitsgebot entsprechen 793
		7.4	Qualitätsprüfung 796
		7.4.1	Verkostung des Bieres 796
		7.4.2	Mikrobiologische Prüfung 798
		7.4.3	Bieranalyse 802
		7.4.3.1	Bestimmung der Stammwürze .. 803
		7.4.3.2	Bestimmung der Bierfarbe 807

7.4.3.3	Bestimmung des pH-Wertes	807	8.4.4.5	Abläutern	840
7.4.3.4	Bestimmung Sauerstoffgehalt im Bier	807	8.4.4.6	Berechnung des Nachgusses	840
7.4.3.5	Bestimmung Diacetylgehalt.....	809	8.4.4.7	Würzekochung	840
7.4.3.6	Bestimmung der Schaumhaltbarkeit	809	9	Entsorgung und Umwelt .845	
7.4.3.7	Bestimmung des Kohlendioxid- gehaltes	810	9.1	Umweltrecht	846
7.4.3.8	Bestimmung Bittereinheiten	811	9.2	Abwasser	846
7.4.3.9	Bestimmung Trübungsneigung ...	811	9.2.1	Abwasserkosten	846
7.4.3.10	Filtrierbarkeit des Biers	812	9.2.2	Begriffsdefinitionen beim Abwasser	848
7.4.3.11	Weitere Untersuchungen	812	9.2.3	Abwasserbehandlung	849
7.5	Prozessmess- und Analysentechnik	813	9.2.3.1	Aerobe Abwasser- behandlungsanlagen	850
7.5.1	Temperaturmessgeräte	813	9.2.3.2	Anaerobe Abwasser- behandlungsanlagen	850
7.5.2	Durchflussmessgeräte	814	9.2.3.3	Menge und Zusammensetzung des Brauereiabwassers	851
7.5.3	Füllstandsmessgeräte	815	9.2.3.4	Abwasserbehandlung mit Misch- und Ausgleichsbecken ...	852
7.5.4	Dichtemessgeräte	815	9.3	Reststoffe und Abfälle	853
7.5.5	Optische Online-Messtechnik.....	816	9.3.1	Malz- und Hopfentreber	853
7.5.6	Sauerstoffmessgeräte	818	9.3.2	Trub	855
7.5.7	pH-Wert-Messgeräte	818	9.3.3	Überschusshefe	856
7.5.8	Leitfähigkeitsmessgeräte	818	9.3.4	Kieselgurschlamm	856
7.5.9	Grenzwertsonden	819	9.3.5	Altetiketten	856
7.5.10	Druckmessgeräte	819	9.3.6	Glasbruch	857
8	Kleine Brauer	821	9.3.7	Bierdosen	857
8.1	Gasthausbrauerei (Brewpub) 823		9.3.8	Kleine Abfallmengen	857
8.1.1	Überlegungen zur Planung einer Gasthausbrauerei.....	823	9.4	Emissionen	857
8.2	Mikrobrauer	830	9.4.1	Staub und Staubemissionen	857
8.3	Vertragsbrauer	832	9.4.2	Emissionen aus dem Sudhaus	858
	(»Contract Brewer«).....	832	9.4.3	Rauchgasemissionen	858
8.4	Haus- und Hobbybrauer	832	9.4.4	Schallemissionen	858
8.4.1	Die rechtliche Seite des Hobbybrauens	832	9.5	Recycling von PET-Flaschen ...	858
8.4.2	Bezug der Rohstoffe.....	832	9.5.1	Prüfung der PET-Recyclate	860
8.4.3	Herstellung von Malz im Kleinverfahren	833	10	Energiewirtschaft in der Brauerei und Mälzerei	861
8.4.4	Bierherstellung für Heimbrauer ..	835	10.1	Energiebedarf bei der Malz- und Bierherstellung	861
8.4.4.1	Vorgaben.....	835	10.2	Dampfkesselanlagen	862
8.4.4.2	Berechnung der Schüttung	835	10.2.1	Brennstoffe	862
8.4.4.3	Berechnung des Hauptgusses.....	839			
8.4.4.4	Berechnung d. Gesamtmaische ..	839			

10.2.2	Dampf	863	10.5	Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren	896
10.2.2.1	Verdampfungswärme	863	10.5.1	Pumpen	896
10.2.2.2	Nassdampf	865	10.5.1.1	Kreiselpumpen	897
10.2.2.3	Überhitzer Dampf	865	10.5.1.2	Verdrängerpumpen	900
10.2.2.4	Heißwasser	865	10.5.1.3	Dimensionierung von Pumpen ..	904
10.2.3	Dampfkessel	865	10.5.1.4	Drehzahlregelung von Pumpen	905
10.2.3.1	Einteilung der Dampfkessel	865	10.5.1.5	Gleitringdichtung	905
10.2.3.2	Bauarten von Dampfkesseln	866	10.5.2	Ventilatoren und Verdichter	906
10.2.3.3	Dreizugkessel	866	10.5.2.1	Lüfter und Gebläse	906
10.2.3.4	Energierückgewinnung und Wirkungsgradverbesserung	868	10.5.3	Druckluftanlagen	906
10.2.4	Dampfkraftmaschinen	869	10.5.3.1	Druckluftverdichter (Kompressoren)	908
10.2.5	Blockheizkraftwerke (BHKW)	870	10.5.3.2	Lufttrockner.....	910
10.3	Kälteanlagen	872	10.5.3.3	Druckbehälter	911
10.3.1	Kältemittel und Kälte-träger	872	10.5.3.4	Druckluftleitungsnetz	911
10.3.1.1	Kältemittel	872	10.5.3.5	Luftfilter	912
10.3.1.2	Kälte-träger	873	11	Automation und Anlagenplanung	913
10.3.1.3	Wirkungsprinzip bei der Kälte-erzeugung	873	11.1	Prozesssteuerung und Automatisierung	913
10.3.2	Kompressionskälteanlagen	878	11.2	Anlagenplanung	917
10.3.2.1	Arbeitsprinzip	878	11.2.1	Einführung	917
10.3.2.2	Verdampfer	879	11.2.1.2	Grundsätzliches zum Ablauf der Anlagenplanung	919
10.3.2.3	Kompressor (Verdichter)	880	11.2.2	Grundlagen der Anlagenplanung	920
10.3.2.4	Kondensator (Verflüssiger)	882	11.2.3	Varianten für die Durchführung der Anlagenplanung und -realisierung	921
10.3.2.5	Regelventil	883	11.2.4	Wichtige Dokumente und Unterlagen d. Anlagenplanung ...	923
10.3.2.6	Eiswasserspeichersystem	884	11.2.4.1	Allgemeine Hinweise	923
10.3.3	Absorptionskälteanlage	884	11.2.4.2	Das Verfahrensschema	924
10.3.4	Raum- und Flüssigkeitskühlung .	885	11.2.4.3	Das Grundfließbild	924
10.3.4.1	Kühlung von konventionellen Gär- und Lagerkellern	885	11.2.4.4	Das Verfahrensfließbild	924
10.3.4.2	Moderne Kälteanlagen	887	11.2.4.5	Das Rohrleitungs- und Instrumenten-Fließbild	925
10.3.4.3	Flüssigkeitskühlung	887	11.2.4.6	Rohrleitungs- und Montagepläne	929
10.3.5	Hinweise für den wirtschaftlichen Betrieb der Kälteanlage	890	11.2.4.7	Die Verfahrensbeschreibung	929
10.4	Elektrische Anlagen	891	11.2.4.8	Die Gestaltung von Ausführungsunterlagen	930
10.4.1	Bezug der elektrischen Energie ..	891	11.2.5	Hinweise für die Vertragsgestaltung	931
10.4.2	Leistungsfaktor $\cos \varphi$	892			
10.4.3	Umwandeln des elektrischen Stromes	894			
10.4.4	Schutzmaßnahmen	895			
10.4.5	Hinweise für den wirtschaftlichen Verbrauch von Elektroenergie ...	895			
10.4.6	Sonstige Energiequellen.....	896			

11.2.6	Inbetriebnahme und Leistungsfahrt	932	11.3.6.5	Probeentnahmearmaturen	953
11.2.7	Projektabschluss	933	11.3.6.6	ArmaturenbaufORMen	954
11.2.8	Projektdokumentation	933	11.3.7	Hinweise zur Gestaltung und zum Betrieb von CIP-Stationen	
11.3	Gestaltung und Anforderungen an die Anlagen	934		Voraussetzungen für die automatische Reinigung und Desinfektion	957
11.3.1	Allgemeine Hinweise	934	11.3.8	Hinweise zur Chemikalienlagerung	959
11.3.2	Voraussetzungen f. d. Automation moderner Anlagen	934	11.3.9	Hinweise zur Oberflächenbeschaffenheit von Maschinen und Apparaten	959
11.3.3	Hygienic Design von Rohrleitungen und Anlagen	935		Abkürzungsverzeichnis	932
11.3.4	Anforderungen an die Betriebssicherheit der Anlagen	935		Verzeichnis der Inserenten	963
11.3.4.1	Medientrennung	935		Alterungsrelevante Substanzen	964
11.3.4.2	Sicherung der Anlage gegen unzulässige Drücke	938		Messgrößen und Umwandlungen	965
11.3.5	Hinweise für die Gestaltung von Rohrleitungen	939		Hinweise auf verwendete Zeichnungen und Unterlagen.....	968
11.3.5.1	Allgemeine Hinweise	939		Literaturverzeichnis.....	972
11.3.5.2	Rohrleitungsverbindungen	939		Sachindex	984
11.3.5.3	Verlegung von Rohrleitungen und die Gestaltung von Rohrleitungshalterungen	941			
11.3.5.4	Die Fließgeschwindigkeit in Rohrleitungen, Druckverluste	943			
11.3.5.5	Maßnahmen gegen Flüssigkeitsschläge und Schwingungen	946			
11.3.5.6	Entlüftung der Rohrleitungen, Sauerstoffentfernung	947			
11.3.5.7	Gestaltung v. Wärmedämmungen bei Rohrleitungen	947			
11.3.5.8	Gestaltung von Rohrausläufen ...	948			
11.3.5.9	Sicherung der Rohrleitungen gegen Frost und Verstopfungen .	949			
11.3.5.10	Toträume in Rohrleitungen	949			
11.3.5.11	Dampfleitungen	949			
11.3.6	Hinweise zur Rohrleitungsver-schaltung, zum Einsatz von Armaturen und zur Probeentnahme	950			
11.3.6.1	Allgemeine Hinweise	950			
11.3.6.2	Die manuelle Verbindungstechnik	950			
11.3.6.3	Festverrohrung	951			
11.3.6.4	Armaturen für Rohrleitungen und Anlagenelemente	952			