

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 Filtern)	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
1.1.2.1 Aufbau des Gerstenkorns	42
1.1.2.2 Äußerer Aufbau	42
1.1.2.3 Innerer Aufbau	43
1.1.3 Zusammensetzung und Eigenschaften der Bestandteile	45
1.1.3.1 Kohlenhydrate	45
1.1.3.2 Eiweißstoffe (Proteine)	49
1.1.3.3 Fette (Lipide)	51
1.1.3.4 Mineralstoffe	53
1.1.3.5 Sonstige Stoffe	53
1.1.3.6 Enzyme der Gerste	54
1.1.4 Beurteilung der Gerste.....	56
1.1.4.1 Handbonitierung	57
1.1.4.2 Mechanische und chemische Untersuchungen	58
1.1.4.3 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	Hirschen	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	Zuckerkulör (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	Weichgefäß	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
			2.8.2.7	Blattkeimentwicklung	196
			2.8.2.8	Keimfähigkeit	196
			2.8.2.9	Dichte	196
			2.8.2.10	Calcofluor-Carlsberg Methode (Kornschleifmethode)	196
2.5	Darren des Malzes.....	178	2.8.3	Chemisch-technische Untersuchungen	196
2.5.1	Veränderungen beim Darren	178	2.8.3.1	Wassergehalt	196
2.5.1.1	Senkung des Wassergehaltes	178	2.8.3.2	Kongressmaischverfahren	196
2.5.1.2	Unterbrechung der Keimung und Auflösung	178	2.8.4	Malzlieferungsvertrag	200
2.5.1.3	Bildung von Farb- und Aroma- stoffen (Maillard-Reaktion)	179	2.9	Malzsorten und Malze aus anderem Getreide	201
2.5.1.4	Bildung von DMS-Vorstufe und freiem DMS beim Darren	180	2.9.1	Pilsener Malz (helles Malz).....	201
2.5.1.5	Einfluss von Darrtemperatur und Darrzeit	180	2.9.2	Dunkles Malz (Münchner Art) ...	201
2.5.1.6	Bildung von Nitrosaminen	181	2.9.3	Wiener Malz	201
2.5.1.7	Inaktivierung der Enzyme	182	2.9.4	Brühmalz/Melanoidinmalz	201
2.5.2	Bau der Darre.....	182	2.9.5	Caramelmalz	202
2.5.2.1	Beheizung u. Lüftung der Darre ..	183	2.9.6	Sauermalz	203
2.5.2.2	Zweihordendarre älterer Bauart .	185	2.9.7	Kurz- und Spitzmalz	204
2.5.2.3	Darren mit Kipphorde	186	2.9.8	Rauchmalz	204
2.5.2.4	Plandarren mit Be- und Entlader.	186	2.9.9	Diastasemalz	204
2.5.2.5	Vertikaldarren	188	2.9.10	Röstmalz	204
2.5.3	Durchführung des Darrens	189	2.9.11	Röstmalzbier	205
2.5.3.1	Herstellung von Pilsner Malz	190	2.9.12	Weizenmalz	205
2.5.3.2	Herstellung von Münchner Malz .	191	2.9.13	Malzextrakt	206
2.5.3.3	Darre abräumen	191	2.9.14	Malz aus anderem Brotgetreide .	207
2.5.3.4	Kontrolle der Darrarbeit	192	2.9.15	Sorghum-Malz	208
			2.9.16	Einsatz von Malztypen für verschiedene Biersorten	209
2.6	Behandlung des Malzes nach dem Darren.....	193	2.10	Unfallschutz in der Mälzerei ..	210
2.6.1	Abkühlen des abgedarrten Malzes	193	3	Herstellen der Würze.....	213
2.6.2	Putzen des Malzes	193	3.1	Schroten des Malzes	214
2.6.3	Lagern des Malzes	194	3.1.1	Vorbehandeln des Malzes	214
2.6.4	Polieren des Malzes	194	3.1.1.1	Entstauben und Entsteinen des Malzes	214
2.7	Ausbeute beim Mälzen	194			

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 älterer Bauart	285
3.1.3.5	Walzen der Schrotmühlen	220	3.3.3.2	Läuterbottiche neuer Bauart	287
3.1.3.6	Konditionierte Trockenschrotung	222	3.3.3.3	Arbeitsablauf beim Abläutern mit dem konvent. Läuterbottich	291
3.1.3.7	Schrotrumpf	223	3.3.4	Abläutern mit dem Maischefilter	293
3.1.3.8	Hammermühlen	223	3.3.4.1	Konventionelle Maischefilter	294
3.1.3.9	Andere Mühlensysteme	226	3.3.4.2	Maischefilter der neuen Generation	295
3.1.3.10	Spelzenabtrennung.....	227	3.3.5	Neuere Entwicklungen der Läutertechnik.....	304
3.1.4	Nassschrotung	227	3.3.6	Treber	304
3.1.5	Weichkonditionierung	228	3.3.6.1	Förderung der Treber	305
3.1.6	Feinstzerkleinerung mit Wasser..	231	3.3.6.2	Treberanalyse	305
3.1.7	Beurteilung des Schrotes	232			
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 Lösungs- vorgänge	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	Maischgefäß	255	3.4.2	Bau u. Beheizung Würzepfanne ..	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	Einmaischtemperatur	260	3.4.2.3	Würzepfannen 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 Würzekoch- systeme	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 Würzkekochsysteme	331	3.8.3.3	Durchführung der Würzeklärung im Whirlpool	369
3.4.2.7	Energieverbrauch beim Würzkekochen	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 Würzkekochens	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 Masseprozente (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_s) .	358	3.9.2	Geräte zum Kühlen der Würze ..	377
3.5.2	Beeinflussung der Sudhaus- ausbeute	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	Würzkekühlinnen	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	4.2.4	Hefeherführung im Betrieb
4.1.1	Hefe als wichtigster Partner des Brauers	391	4.2.4.1	Hefereinzuchtanlagen
4.1.2	Stoffwechsel der Hefe	393	4.2.4.2	Optimierte Hefewirtschaft nach Back
4.1.2.1	Vergären des Zuckers	394	4.2.4.3	Eintank-Reinzuchtverfahren
4.1.2.2	Eiweißstoffwechsel	399	4.2.4.4	Offene Hefeherführung
4.1.2.3	Fettstoffwechsel	400	4.3	Klassische Gärung und Reifung
4.1.2.4	Kohlenhydratstoffwechsel	401	4.3.1	Gärbottiche – Einrichtung des offenen Gärkellers
4.1.2.5	Mineralstoffwechsel	402	4.3.1.1	Gärbottiche
4.1.3	Bildung und Abbau von Gärungs- nebenprodukten	403	4.3.1.2	Einrichtung des offenen Gärkellers
4.1.3.1	Diacetyl (vicinale Diketone)	404	4.3.2	Gärkellerausbeute
4.1.3.2	Aldehyde (Carbonyle)	407	4.3.3	Durchführung der offenen Hauptgärung
4.1.3.3	Höhere Alkohole	407	4.3.3.1	Anstellen
4.1.3.4	Ester	408	4.3.3.2	Gärführung im Gärbottich
4.1.3.5	Schwefelverbindungen	409	4.3.3.3	Vergärungsgrad
4.1.3.6	Organische Säuren	410	4.3.3.4	Schlauchen aus dem Bottich
4.1.3.7	Beurteilungskriterien der Aroma- stoffe im Bier (nach Miedaner)	410	4.3.4	Hefeernte im Bottich
4.1.4	Weitere Vorgänge und Umwandlungen	412	4.3.5	Vorgänge bei der Reifung des Biers in konventionellen Tanks ...
4.1.4.1	Veränderungen der Zusam- mensetzung der Eiweißstoffe	412	4.3.5.1	443
4.1.4.2	Senkung des pH-Wertes	413	4.3.5.2	Sättigen des Bieres mit Kohlen- dioxid unter Überdruck
4.1.4.3	Veränderung der Redox- verhältnisse im Bier	413	4.3.6	444
4.1.4.4	Veränderung der Bierfarbe	413	4.3.6.1	Klären des Bieres
4.1.4.5	Ausscheidung von Bitterstoffen und Gerbstoffen	414	4.3.6.2	445
4.1.4.6	CO ₂ -Gehalt des Bieres.....	414	4.3.7	Durchführung der Lagerung in konventionellen Tanks
4.1.4.7	Klärung und kolloidale Stabilisierung des Biers	414	4.3.7.1	446
4.1.5	Auswirkungen verschiedener Faktoren auf die Hefe	414	4.3.7.2	Schlauchen
4.1.6	Flockulation der Hefe (Bruchbildung)	416	4.3.8	447
4.1.7	Degeneration der Hefe	417	4.3.8.1	Spunden
4.1.8	Physiologischer Zustand Hefe	417	4.3.8.2	448
4.2	Reinzucht der Hefe	418	4.3.9	Anstecken
4.2.1	Grundlagen der Hefevermehrung	418	4.3.9.1	Herstellen der Verbindung
4.2.2	Gewinnung geeigneter Hefezellen	420	4.3.9.2	448
4.2.3	Herführung im Labor	420	4.3.9.3	Druck beim Anstecken und Entleeren
			4.3.9.4	449
			4.3.9.5	Ziehen aus konventionellen Tanks
				449
				Verschneidbock
				449
				Druckregler
				450
				Gewinnen des Hefebieres
				450
				Tiefkühlen des Bieres
				450
				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 Tanks 451	4.5	Filtrieren 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	Anschwemfilter 500
4.4.3	Durchführung der Gärung und Reifung in ZKT 471	4.5.2.3	Schichtenfilter (Rahmenfilter) 513
4.4.3.1	Besondere Gesichtspunkte der Gärung und Reifung in ZKT474	4.5.2.4	Membranfilter 515
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	Filtrationsbereiche 517
4.4.3.4	Drucklose warme Gärung – kalte Reifung 478	4.5.2.7	Kieselgurfreie Bierfiltration 517
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	Kaltaseptische Behandlung des Bieres 529
4.4.4.3	Behandeln und Aufbewahren der Erntehefe 482	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	4.6.2.2	Verbesserung der kolloiden Haltbarkeit des Biers 531
	(Gelägerbier, Hefebier) 485	4.6.2.3	Technologische Maßnahmen zur Verbesserung der kolloiden Haltbarkeit..... 532
4.4.6.1	Trennung durch Sedimentation oder Filterpressen 486	4.6.2.4	Zusatz von Stabilisierungsmitteln 532
4.4.6.2	Separation der Hefe 486	4.6.2.5	Zudosierung von Hopfen-Downstream-Produkten 541
4.4.6.3	Bierrückgewinnung 487	4.6.3	Filtrationsanlage 541
4.4.6.4	mittels Dekanter 487	4.6.4	Geschmackliche Stabilität 543
4.4.6.5	Membranfiltration der Hefe 487	4.6.4.1	Alterungsprozess 543
4.4.7	Aufbereitung des Bieres aus Über-schusshefe (Hefebier) 488	4.6.4.2	Faktoren zur Förderung der Geschmacksstabilität 545
	CO ₂ -Rückgewinnung 490	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
			5.1.2.3	Flaschenreinigungsmaschinen ...	577
			5.1.2.4	Reinigungslauge	592
			5.1.2.5	Reinigungs- u. Wartungsarbeiten an der Flaschenreinigungs- maschine	597
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	598
4.8.1	High-Gravity-Brewing	550	5.1.4	Mehrweg-Glasflaschen	598
4.8.2	Eisbierherstellung	554	5.1.4.1	Befüllen von Flaschen	604
4.8.3	Verfahren zur Entfernung des Alkohols	555	5.1.4.2	Grundsätze beim Abfüllen	604
4.8.3.1	Membrantrennverfahren	556	5.1.4.3	Prinzipieller Aufbau von Flaschenfüllmaschinen	607
4.8.3.2	Thermische Verfahren/ Destillation	559	5.1.4.4	Wesentliche Baugruppen der Flaschenfüllmaschinen	608
4.8.3.3	Unterdrückung der Alkoholbildung (biologische Verfahren)	563	5.1.4.5	Bau und Funktionsweise der Füllorgane	611
4.9	Unfallschutz bei der Gärung, Reifung und Filtration	566	5.1.5	Hochdruckeinspritzung	622
4.9.1	Unfallgefahren durch Gärungskohlensäure	566	5.1.5.1	Verschließen der Flaschen	624
4.9.2	Arbeit im Druckbehältern	567	5.1.5.2	Verschließen mittels Kronenkorken	624
4.9.3	Arbeiten mit Kieselgur	568	5.1.6	Verschließen mit Bügelverschluss	629
4.9.4	Generelle Hinweise zum Unfallschutz.....	568	5.1.7	Reinigen des Füllers und Verschließers	630
5	Abfüllen des Bieres	571		Kontrolle der befüllten und verschlossenen Flaschen	634
5.1	Abfüllen in Mehrweg-Glasflaschen	571	5.1.7.1	Füllhöhenkontrolle	634
5.1.1	Mehrweg-Glasflaschen.....	571	5.1.7.2	Sauerstoff im Flaschenhals	636
5.1.1.1	Vor- und Nachteile von Glasflaschen	571	5.1.7.3	Vollflascheninspektion	638
5.1.1.2	Herstellen der Glasflaschen	571	5.1.8	Pasteurisieren in Flaschen	638
5.1.1.3	Flaschenformen	571	5.1.8.1	Grundlagen der Pasteurisation in Flaschen	638
5.1.1.4	Flaschenfarbe.....	573	5.1.8.2	Wesentliche Baugruppen des Tunnelpasteurs	639
5.1.1.5	Oberflächenvergütung	574	5.1.8.3	Sicherheitsmaßnahmen beim Pasteurisieren.....	641
5.1.1.6	Scuffing	574	5.1.9	Etikettieren und Folieren der Flaschen	642
5.1.1.7	Flaschennachvergütung	574	5.1.9.1	Etiketten und Folien	642
5.1.1.8	Leichtglas-Mehrwegflaschen	574	5.1.9.2	Etikettenleim	644
5.1.1.9	Verfahrensschritte bei der Abfüllung von Mehrweg-Glasflaschen	575	5.1.9.3	Grundprinzip der Etikettierung ..	645
5.1.2	Reinigen von Mehrweg- Glasflaschen	575	5.1.9.4	Bauarten Etikettiermaschinen....	646
5.1.2.1	Leergutsortierung	575	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	Holzfässer 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 Neuflaschen	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	Transportgebinde	705
5.3.5	Verschließen der PET-Flaschen ...	659	5.7.2	Behandlung der Kunststoff-kästen	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	Transporttechnik	710
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	Gebindetransport	714
5.4.3	Leerflascheninspektion	665	5.7.4	Verpackungstechnik	715
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	Packerarten	717
5.5.2	Einlagern, Entpalettieren und Abschieben der Leerdosen	674	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 Entpalettiereinrichtungen ...	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
			7.2.1.1	Bieraroma	762
			7.2.1.2	Vollmundigkeit	765
5.9	Bierschwand	733	7.2.1.3	Rezenz	766
5.9.1	Berechnung der hergestellten Verkaufsbiermenge.....	733	7.2.1.4	Bittere des Bieres	766
5.9.2	Bestandsaufnahme und Umrechnung auf Verkaufsbier ...	734	7.2.2	Schaum des Bieres	767
5.9.3	Berechnung des Volumenschwandes	735	7.3	Biersorten und ihre Besonderheiten	771
5.9.4	Berechnung des Malzverbrauches in kg Malz/hl Verkaufsbier	736	7.3.1	Obergärig hergestellte Biere	771
5.9.5	Bedeutung des Schwandes und Möglichkeiten der Minderung ...	736	7.3.1.1	Besonderheiten der Obergärung	772
			7.3.1.2	Weizenbiere	774
			7.3.1.3	Berliner Weiße	779
			7.3.1.4	Altbier	779
			7.3.1.5	Kölsch	780
			7.3.1.6	Ale	780
			7.3.1.7	Stout	781
6.1	Reinigung und Desinfektion	739	7.3.1.8	Porter	781
6.1.1	Materialien und ihr Verhalten gegenüber Reinigungsmitteln	740	7.3.1.9	Belgische Biersorten	782
6.1.2	Gefäße, Leitungen und Armatuuren aus Chromnickelstahl	741	7.3.2	Untergärtige Biersorten	783
6.1.3	Schläuche und Dichtungen	743	7.3.2.1	Biere nach Pilsner Typ	783
6.2	Reinigungsmittel	744	7.3.2.2	Lagerbiere/Vollbiere	784
6.3	Desinfektionsmittel	746	7.3.2.3	Export/Helles	785
6.4	Durchführung der Reinigung und Desinfektion (CIP).....	747	7.3.2.4	Schwarzbiere	785
6.5	Reinigungsvorgang	753	7.3.2.5	Festbiere	785
6.6	Mechanische Reinigung	755	7.3.2.6	Eisbier	785
6.7	Kontrolle der Reinigung und Desinfektion	756	7.3.2.7	Märzen	786
6.8	Arbeitsschutz bei Reinigung und Desinfektion	756	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	787
			7.3.2.12	(Diätbier)	787
			7.3.2.13	Leichtbier (Light)	789
			7.3.2.14	Malztrunk	789
			7.3.2.15	Weitere spezielle Biersorten	790
			7.3.2.16	Biermischgetränke	791
			7.3.3	Hard Seltzer	793
				Tendenzen bei der Entwicklung von Biersorten, die nicht dem Reinheitsgebot entsprechen	793
7	Das fertige Bier	757	7.4	Qualitätsprüfung	796
7.1	Inhaltsstoffe des Bieres	757	7.4.1	Verkostung des Bieres	796
7.1.1	Bestandteile des Bieres	757	7.4.2	Mikrobiologische Prüfung	798
7.1.2	Bier und Gesundheit	760	7.4.3	Bieranalyse	802
7.2	Geschmack und Schaum	762	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	Ablüttern	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
			9.2.3.1	Aerobe Abwasser- behandlungsanlagen	850
7.5	Prozessmess- und Analysentechnik	813	9.2.3.2	Anaerobe Abwasser- behandlungsanlagen	850
7.5.1	Temperaturmessgeräte	813	9.2.3.3	Menge und Zusammensetzung des Brauereiabwassers	851
7.5.2	Durchflussmessgeräte	814	9.2.3.4	Abwasserbehandlung mit Misch-und Ausgleichsbecken ...	852
7.5.3	Füllstandsmessgeräte	815			
7.5.4	Dichtemessgeräte	815			
7.5.5	Optische Online-Messtechnik.....	816			
7.5.6	Sauerstoffmessgeräte	818			
7.5.7	pH-Wert-Messgeräte	818	9.3	Reststoffe und Abfälle	853
7.5.8	Leitfähigkeitsmessgeräte	818	9.3.1	Malz- und Hopfentreber	853
7.5.9	Grenzwertsonden	819	9.3.2	Trub	855
7.5.10	Druckmessgeräte	819	9.3.3	Überschusshefe	856
			9.3.4	Kieselgurschlamm	856
8	Kleine Brauer	821	9.3.5	Altetiketten	856
8.1	Gasthausbrauerei (Brewpub) 823		9.3.6	Glasbruch	857
8.1.1	Überlegungen zur Planung einer Gasthausbrauerei.....	823	9.3.7	Bierdosen	857
			9.3.8	Kleine Abfallmengen	857
8.2	Mikrobrauer	830	9.4	Emissionen	857
			9.4.1	Staub und Staubemissionen	857
8.3	Vertragsbrauer	832	9.4.2	Emissionen aus dem Sudhaus	858
			9.4.3	Rauchgasemissionen	858
			9.4.4	Schallemissionen	858
8.4	Haus- und Hobbybrauer	832			
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			
8.4.4	Bierherstellung für Heimbrauer ..	835	10	Energiewirtschaft in der Brauerei und Mälzerei 861	
8.4.4.1	Vorgaben.....	835	10.1	Energiebedarf bei der Malz- und Bierherstellung	861
8.4.4.2	Berechnung der Schüttung	835			
8.4.4.3	Berechnung des Hauptgusses....	839	10.2	Dampfkesselanlagen	862
8.4.4.4	Berechnung d. Gesamtmaische ..	839	10.2.1	Brennstoffe	862

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	Überhitzter 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 Kälteträger	872	10.5.3.4	Druckluftleitungsnetz	911
10.3.1.1	Kältemittel	872	10.5.3.5	Luftfilter	912
10.3.1.2	Kälteträger	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	Projektabchluss	933	11.3.6.6	Armaturenbaufomren	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 Rohrleitungsvorschaltung, zum Einsatz von Armaturen und zur Probeentnahme	950			
11.3.6.1	Allgemeine Hinweise	950			
11.3.6.2	Die manuelle Verbindungs-technik	950			
11.3.6.3	Festverrohrung	951			
11.3.6.4	Armaturen für Rohrleitungen und Anlagenelemente	952			