

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		1.5.6	Zucker	113
	in der Brauerei	83	1.5.7	Glucosesirup	114
1.3.3	Gewinnung des Wassers	83	1.5.8	Zuckerulör (auch -couleur)	115
1.3.3.1	Gewinnung von Grundwasser	84			
1.3.3.2	Gewinnung von		2	Herstellen des Malzes	117
	Quellwasser	85	2.1	Annehmen, Putzen, Sortieren	
1.3.3.3	Gewinnung von			und Fördern der Gerste	118
	Oberflächenwasser	85	2.1.1	Annehmen der Gerste	118
1.3.3.4	Bedeutung der		2.1.1.1	Annehmen von Straßen- oder	
	Eigenwasserversorgung	86		Schienenfahrzeugen	118
1.3.4	Anforderungen an das Wasser	86	2.1.1.2	Annehmen von Schiffen	119
1.3.4.1	Anforderungen an das Wasser		2.1.2	Putzen und Sortieren der Gerste	120
	als Trinkwasser	86	2.1.2.1	Vorreinigen der Gerste	120
1.3.4.2	Anforderungen an das Wasser		2.1.2.2	Magnetapparate	121
	als Brauwasser	87	2.1.2.3	Trockensteinausleser	122
1.3.4.3	Bedeutung einzelner Ionen	90	2.1.2.4	Entgranner	123
1.3.5	Verfahren zur Verbesserung des		2.1.2.5	Trieur	123
	Wassers	91	2.1.2.6	Sortieren der Gerste	124
1.3.5.1	Verfahren zur Entfernung von		2.1.3	Fördern von Gerste und Malz	128
	Schwebestoffen	91	2.1.3.1	Mechanische Fördermittel	128
1.3.5.2	Entfernen von gelösten Stoffen	92	2.1.3.2	Pneumatische Fördermittel	131
1.3.5.3	Verfahren zur Verbesserung		2.1.4	Anlagen zur Staubentfernung ...	134
	der Restalkalität	93	2.1.4.1	Zyklone	134
1.3.5.4	Entkeimen des Wassers	96	2.1.4.2	Staubfilter	135
1.3.5.5	Entgasen des Wassers	97			
1.3.6	Möglichkeiten der		2.2	Trocknen und Lagern	
	Wassereinsparung	100		der Gerste	137
1.4	Hefe	101	2.2.1	Atmung der Gerste	137
1.4.1	Aufbau und Zusammensetzung		2.2.2	Trocknen der Gerste	138
	der Hefezelle	101	2.2.3	Kühlen der Gerste	139
1.4.2	Stoffwechsel der Hefezelle	104	2.2.4	Lagern der Gerste	140
1.4.3	Fortpflanzung und Wachstum		2.2.4.1	Silolagerung	140
	von Hefen	105	2.2.4.2	Lagerung auf Speichern	141
1.4.4	Charakterisierung von Bierhefen .	107	2.2.4.3	Schädlingsbefall	142
1.4.4.1	Morphologische Merkmale	107			
1.4.4.2	Physiologische Unterschiede	108	2.3	Weichen der Gerste	143
1.4.4.3	Gärungstechnologische		2.3.1	Vorgänge beim Weichen	143
	Unterschiede	108	2.3.1.1	Wasseraufnahme	143
1.4.4.4	Systematische Einordnung	108	2.3.1.2	Versorgung mit Sauerstoff	146
			2.3.1.3	Reinigung	146
1.5	Rohfrucht	110	2.3.2	Weichgefäße	147
1.5.1	Mais	110	2.3.3	Durchführen des Weichens	152
1.5.2	Reis	111			
1.5.3	Gerste	112	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 (Münchener Art) ...	201
2.5.2.2	Zweihordendarre älterer Bauart .	185	2.9.3	Wiener Malz	201
2.5.2.3	Darren mit Kipphorde	186	2.9.4	Brühmalz/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		älter 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 Läutertechnik	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 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 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_s) ..	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	4.2.4	Hefehelführung im Betrieb
4.1.2	Stoffwechsel der Hefe	393	4.2.4.1	Hefereinzuchtanlagen
4.1.2.1	Vergären des Zuckers	394	4.2.4.2	Optimierte Hefewirtschaft nach Back
4.1.2.2	Eiweißstoffwechsel	399	4.2.4.3	Eintank-Reinzuchtverfahren
4.1.2.3	Fettstoffwechsel	400	4.2.4.4	Offene Hefehelführung
4.1.2.4	Kohlenhydratstoffwechsel	401		
4.1.2.5	Mineralstoffwechsel	402	4.3	Klassische Gärung und Reifung
4.1.3	Bildung und Abbau von Gärungsnebenprodukten	403	4.3.1	Gärbottiche – Einrichtung des offenen Gärkellers
4.1.3.1	Diacetyl (vicinale Diketone)	404	4.3.1.1	Gärbottiche
4.1.3.2	Aldehyde (Carbonyl)	407	4.3.1.2	Einrichtung des offenen Gärkellers
4.1.3.3	Höhere Alkohole	407	4.3.2	Gärkellerausbeute
4.1.3.4	Ester	408	4.3.3	Durchführung der offenen Hauptgärung
4.1.3.5	Schwefelverbindungen	409	4.3.3.1	Anstellen
4.1.3.6	Organische Säuren	410	4.3.3.2	Gärführung im Gärbottich
4.1.3.7	Beurteilungskriterien der Aromastoffe im Bier (nach Miedaner)	410	4.3.3.3	Vergärungsgrad
4.1.4	Weitere Vorgänge und Umwandlungen	412	4.3.3.4	Schläuchen aus dem Bottich
4.1.4.1	Veränderungen der Zusammensetzung der Eiweißstoffe	412	4.3.4	Hefeernte im Bottich
4.1.4.2	Senkung des pH-Wertes	413	4.3.5	Vorgänge bei der Reifung des Biers in konventionellen Tanks ...
4.1.4.3	Veränderung der Redoxverhältnisse im Bier	413	4.3.5.1	Sättigen des Bieres mit Kohlendioxid unter Überdruck
4.1.4.4	Veränderung der Bierfarbe	413	4.3.5.2	Klären des Bieres
4.1.4.5	Ausscheidung von Bitterstoffen und Gerbstoffen	414	4.3.6	Einrichtung des konventionellen Lagerkellers
4.1.4.6	CO ₂ -Gehalt des Bieres	414	4.3.6.1	Einrichtung des Lagerkellers
4.1.4.7	Klärung und kolloidale Stabilisierung des Biers	414	4.3.6.2	Lagertanks
4.1.5	Auswirkungen verschiedener Faktoren auf die Hefe	414	4.3.7	Durchführung der Lagerung in konventionellen Tanks
4.1.6	Flockulation der Hefe (Bruchbildung)	416	4.3.7.1	Schläuchen
4.1.7	Degeneration der Hefe	417	4.3.7.2	Spunden
4.1.8	Physiologischer Zustand Hefe	417	4.3.8	Anstecken
			4.3.8.1	Herstellen der Verbindung
			4.3.8.2	Druck beim Anstecken und Entleeren
4.2	Reinzucht der Hefe	418	4.3.9	Ziehen aus konventionellen Tanks
4.2.1	Grundlagen der Hefevermehrung	418	4.3.9.1	Verschneidbock
4.2.2	Gewinnung geeigneter Hefezellen	420	4.3.9.2	Druckregler
4.2.3	Helführung im Labor	420	4.3.9.3	Gewinnen des Hefebieres
			4.3.9.4	Tiefkühlen des Bieres
			4.3.9.5	Vor- und Nachlauf

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	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	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	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 (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 Stabilisierungs- mitteln 532
4.4.6.3	Bierrückgewinnung mittels Dekanter 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 Über- schusshefe (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
			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 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	556	5.1.4.3	Wesentliche Baugruppen der Flaschenfüllmaschinen	608
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 (biologische Verfahren)	563	5.1.4.5	Hochdruckeinspritzung	622
4.9	Unfallschutz bei der Gärung, Reifung und Filtration	566	5.1.5	Verschließen der Flaschen	624
4.9.1	Unfallgefahren durch Gärungskohlensäure	566	5.1.5.1	Verschließen mittels Kronenkorken	624
4.9.2	Arbeit im Druckbehältern	567	5.1.5.2	Verschließen mit Bügelverschluss	629
4.9.3	Arbeiten mit Kieselgur	568	5.1.6	Reinigen des Füllers und Verschleißers	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	5.1.7.3	Vollflascheninspektion	638
5.1.1.1	Vor- und Nachteile von Glasflaschen	571	5.1.8	Pasteurisieren in Flaschen	638
5.1.1.2	Herstellen der Glasflaschen	571	5.1.8.1	Grundlagen der Pasteurisation in Flaschen	638
5.1.1.3	Flaschenformen	571	5.1.8.2	Wesentliche Baugruppen des Tunnelpasteurs	639
5.1.1.4	Flaschenfarbe	573	5.1.8.3	Sicherheitsmaßnahmen beim Pasteurisieren	641
5.1.1.5	Oberflächenvergütung	574	5.1.9	Etikettieren und Folieren der Flaschen	642
5.1.1.6	Scuffing	574	5.1.9.1	Etiketten und Folien	642
5.1.1.7	Flaschennachvergütung	574	5.1.9.2	Etikettenleim	644
5.1.1.8	Leichtglas-Mehrwegflaschen	574	5.1.9.3	Grundprinzip der Etikettierung ..	645
5.1.1.9	Verfahrensschritte bei der Abfüllung von Mehrweg-Glasflaschen	575	5.1.9.4	Bauarten Etikettiermaschinen	646
5.1.2	Reinigen von Mehrweg-Glasflaschen	575	5.1.9.5	Kopfeinfaltung mit Folien	647
5.1.2.1	Leergutsortierung	575	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		
5.3	Abfüllen in PET-Flaschen 651	5.6	Abfüllen in Fässer, Kegs, Partyfässer und Großdosen.... 693
5.3.1	PET-Flaschen.....651	5.6.1	Holzfässer und Fassabfüllung 693
5.3.1.1	Struktureigenschaften von PET651	5.6.2	Kegs und Fittings 697
5.3.1.2	Barriereigenschaften von PET651	5.6.2.1	Material, Form und Größe der Kegs 697
5.3.1.3	Barriertechnologien 652	5.6.2.2	Kegarmaturen..... 698
5.3.1.4	Bedeutung der Scavenger 654	5.6.2.3	Kunststoff-Kegs 700
5.3.2	Herstellen der PET-Flaschen 655	5.6.3	Reinigen u. Befüllen der Kegs 700
5.3.2.1	Herstellen der Preforms..... 655	5.6.3.1	Reinigen der Kegs 701
5.3.2.2	PET-Flaschen 656	5.6.3.2	Befüllen der Kegs 702
5.3.2.3	Kontrolle der hergestellten PET-Flaschen 656	5.6.4	Keg-Komplettanlagen 703
5.3.2.4	Rinsen von Neuflaschen 658	5.6.5	Befüllen von Klein- und Partyfässern 703
5.3.3	Transportieren der PET-Flaschen 658	5.6.6	Befüllen von Großdosen 705
5.3.4	Befüllen der PET-Flaschen 658		
5.3.5	Verschließen der PET-Flaschen ... 659	5.7	Transportieren und Verpacken 705
5.3.5.1	Kunststoff-Schraubverschlüsse .. 659	5.7.1	Transportgebinde 705
5.3.5.2	Aluminium-Anrollverschlüsse 661	5.7.2	Behandlung der Kunststoff- kästen 708
5.3.6	Etikettieren von PET-Flaschen 663	5.7.2.1	Aussortieren fremder u. beschädigter Kästen u. Flaschen 708
5.4	Abfüllen in Mehrweg-Kunststoff-Flaschen665	5.7.2.2	Waschen der Kästen 709
5.4.1	PEN / PLA..... 665	5.7.2.3	Kastenmagazin 709
5.4.2	Reinigung von Mehrweg-Kunststoffflaschen 665	5.7.3	Transporttechnik 710
5.4.3	Leerflascheninspektion 665	5.7.3.1	Flaschen- und Dosentransport 710
5.5	Abfüllen in Dosen 670	5.7.3.2	Gebindettransport 714
5.5.1	Dosen und Dosenverschlüsse 670	5.7.4	Verpackungstechnik 715
5.5.2	Einlagern, Entpalettieren und Abschieben der Leerdosen674	5.7.4.1	Packkopf und Packtulpen 715
5.5.3	Inspektion der Leerdosen 675	5.7.4.2	Packerarten 717
5.5.4	Rinsen der Dosen 676	5.7.5	Palettier- und Entpalettier- einrichtungen 722
5.5.5	Befüllen der Dosen 676	5.7.5.1	Robotertechnik 722
5.5.5.1	Mechanische Dosenfüller 678	5.7.5.2	Bau und Funktion der Palettier- und Entpalettierereinrichtungen ... 723
5.5.5.2	Dosenfüller mit volumetrischer Füllung 680	5.7.5.3	Stapelung von Vollgutpaletten .. 726
5.5.6	Verschließen der Dosen 687	5.7.5.4	Transportanlagen für Paletten .. 726
5.5.7	Reinigung des Dosenfüllers und Verschließers 689	5.7.5.5	Paletten-Stellplätze 726
5.5.8	Widgets 689	5.7.5.6	Zu- und Ablaufvorrichtungen 726
5.5.9	Inspektion der gefüllten Dosen .. 690	5.7.5.7	Palettenmagazine 726
5.5.10	Pasteurisieren der Dosen 691	5.7.5.8	Palettenkontrolle 727
		5.7.5.9	Palettensicherung 727
		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 Analysetechnik	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 Hopfentreiber	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	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 Kälteerzeugung	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 Rohrleitungsverschaltung, 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			