

Inhaltsverzeichnis

Rechenbeispiele als Übersicht	11
Abkürzungen und Formelzeichen	18
Vorwort	19
1. Einige Hinweise zur Dreisatz-, Prozent- und Zinsrechnung und zur einfachen Statistik	20
1.1 Hinweise zu den Grundrechenarten	20
1.2 Dreisatzrechnung bei direkter Proportionalität der Grund- und Teilbeträge	20
1.3 Dreisatzrechnung mit umgekehrter Proportionalität der Grund- und Teilbeträge	21
1.4 Die Prozentrechnung	22
1.5 Die Zinsrechnung	23
1.6 Die Mischungsrechnung und ihre erweiterte Anwendung	23
1.7 Die Anwendung statistischer Methoden bei der Auswertung von Untersuchungsergebnissen (eine Kurzfassung für Einsteiger)	30
2. Behältergeometrien – Berechnung von Flächen, Volumina und Füllmengen in Mälzereien und Brauereien	55
2.1 Die Berechnung der Flächeninhalte der wichtigsten Standardflächen	55
2.1.1 Das Rechteck und das Quadrat	55
2.1.2 Das Parallelogramm	55
2.1.3 Das Trapez	55
2.1.4 Das Dreieck	56
2.1.5 Der Kreis	56
2.1.6 Der Kreisring	56
2.1.7 Die Ellipse	57
2.2 Einige Beispielrechnungen unter Verwendung von Flächengleichungen	57
2.3 Berechnung der Rauminhalte V von den wichtigsten Körpern, die für die Mälzerei und Brauerei von Bedeutung sind	58
2.3.1 Der Quader	58
2.3.2 Der Kegel und der Kegelsegment	59
2.3.3 Die Pyramide und der Pyramidenstumpf	60
2.3.4 Die Kugel und das Kugelsegment	60
2.3.5 Der Zylinder	61

2.4 Einige Beispielrechnungen für die Mälzerei und Brauerei unter Verwendung von Volumengleichungen	62
3. Getreidelagerung, Getreidepflege und Getreidetransport	69
3.1 Die Berechnung von möglichen Lagerverlusten bei erntefrischem Getreide	69
3.1.1 Technologische Bedeutung und Richtwerte	69
3.1.2 Bilanzgleichungen des Stoffumsatzes lagernder Gerste	70
3.1.3 Berechnung des Substanzverlustes, des Sauerstoffbedarfs, der CO ₂ - und Wasserbildung bei der Lagerung der Gerste	70
3.1.4 Berechnung der Erwärmung der lagernden Gerste	71
3.2 Die Vorlagerung von erntefrischem Getreide ohne Konservierung und ohne Belüftung des Getreides	76
3.3 Die Belüftung des Getreides in der Vorlagerungsphase mit atmosphärischer Luft und mit gekühlter Luft	76
3.4 Die Getreidetrocknung	79
3.5 Die Belüftung und Kühlung von Getreide	81
3.5.1 Erforderliche Luftmenge	81
3.5.2 Druckverluste in der Schüttung	82
3.6 Innerbetrieblicher Transport von Getreide	84
3.6.1 Gurtbandförderer	84
3.6.2 Becherwerke	84
3.6.3 Schneckenförderer	85
3.6.4 Pneumatische Förderung	87
3.7 Umrechnung einer Getreidecharge auf einen Basisfeuchtwert	88
3.8 Putzen und Sortieren einer Gerstencharge	89
3.8.1 Technologische Zielstellung der Mälzerei:	89
3.9 Lagerflächenbedarf für Getreide	90
4. Malzherstellung	92
4.1 Berechnung des Weichgrades	92
4.2 Berechnung des erforderlichen Weichraumes	93
4.3 Wasserbedarf beim Weichen	93
4.4 Temperaturregulierung, CO ₂ -Absaugung und Wasseraufnahme beim Weichen	95
4.5 Keimkastenbelegung	96
4.6 Keimluftbedarf, Kühlung, Befeuchtung der Keimluft und Energieaufwand, Auslegung der Darrventilatoren und Elektroenergieverbrauch, Druckverlustberechnungen in Rohrkanälen für Gase und Dämpfe	97
4.7 h,x-Diagramm in der Mälzerei	97
4.7.1 Allgemeine Hinweise	97
4.7.2 Thermodynamische Gesetzmäßigkeiten	97
4.7.3 Das h,x-Diagramm für feuchte Luft	100
4.7.4 Wichtige Zustandsänderungen	103

4.8 Beurteilung des Mälzungsprozesses und der Malzqualität	110
4.8.1 Beurteilung der Blattkeimlänge	110
4.8.2 Malzausbeute, Mälzungsschwand und Mälzungsfaktor	111
4.9 Anfallende Malzkeime	112
5. Zerkleinerung des Malzes (Schroten)	113
5.1 Richtwerte für Malzschrote	113
5.2 Beurteilungen von Läuterbottichschrot	114
5.3 Benetzen von Getreide vor dem Vermahlen oder Schroten	115
5.4 Schrotvolumen	116
6. Berechnungen zum Brauwasser und alkalischen Reinigungsmitteln	118
6.1 Richtwerte und technologische Bedeutung des Brauwassers	118
6.2 Umrechnungen in der Wasserchemie	120
6.3 Hinweise zur Analytik der Wassersalze und ihrer Berechnung	120
6.4 Berechnungen zur Restalkalität RA des Brauwassers	122
6.5 Entcarbonisierung eines Brauwassers mit Kalkwasser	123
6.5.1 Chemische Reaktionen	123
6.5.2 Konzentrationsbestimmung des Kalkwassers	123
6.5.3 Konzentrationsbestimmung des gelösten CO ₂ -Gehaltes des Rohwassers	124
6.5.4 Berechnung der erforderlichen Kalkwassermenge zur Reduzierung der Carbonathärte im vorliegenden Rohwasser	124
6.5.5 Erforderliche Gesamtmenge an Kalkwasser	124
6.6 Abschätzungen des Maische-pH-Wertes in Abhängigkeit von der Malzqualität und der Restalkalität des Brauwassers	125
6.7 Senkung der Restalkalität des Einmischwassers durch den Zusatz von Ca-Ionen	125
6.8 Bestimmung des reinigungswirksamen Anteils in alkalischen Reinigungslösungen	126
7. Würzeherstellung	130
7.1 Gussführung und Sudhausausbeute	130
7.1.1 Erforderliche Hauptgussmenge in Abhängigkeit von der gewünschten Vorderwürzekonzentration	130
7.1.2 Berechnung des Gesamtmaishevolumens und des erforderlichen Maischbehältervolumens	131
7.1.3 Berechnung der erforderlichen Wassermenge für die Nachgüsse	132
7.1.4 Volumen der Vorderwürze und Pfannevollwürze je Sud	133
7.1.5 Berechnung der Sudhausausbeute	134
7.1.6 Berechnung der voraussichtlichen Menge an heißer Ausschlagwürze	134
7.1.7 Erforderliche Gesamtverdampfung, bezogen auf Pfannevollwürze	135

7.1.8 Abschätzung des Treberanfalls je Sud	136
7.1.9 Erforderliche Wassermenge für die Würzeherstellung	136
7.2 Einstellung des pH-Wertes in Maische und Würze	137
7.2.1 Technologische Bedeutung	137
7.2.2 Richtwerte für die Säuerung mit Milchsäure	137
7.3 Berechnung des Kochmaischeanteils	139
7.4 Maischgefäßbeheizung	139
7.4.1 Wärmeübertragung	140
7.4.2 Die Berechnung von Wärmemengen und Heizflächen	140
7.4.3 Die Gestaltung von Wärmeübertragerflächen an Sudgefäßen	144
7.4.4 Temperaturerhöhung durch Mischkondensation	146
7.5 Läutern der Würze	150
7.5.1 Technologische Zusammenhänge	150
7.5.2 Einige Richtwerte für den Läuterprozess	151
7.5.3 Versuch den Einfluss der Treberhöhe und den Einfluss der Stoffkennwerte der Läuterwürze auf die Läutergeschwindigkeit zu demonstrieren	151
7.5.4 Einfluss der Läutertechnologie beim Aussüßen der Treber auf die Porosität des Treberkuchens im Läuterbottich	153
7.5.5 Berechnung des erforderlichen Maischefassungsvermögens eines Maischefilters	154
7.5.6 Erforderliche Größe des Trebersilos	155
7.5.7 Extraktgehalt des Glattwassers	155
7.6 Das Kochen der Bierwürze	156
7.6.1 Technologische Ziele und Richtwerte des Würzekochprozesses	156
7.6.2 Die Wasserverdampfung beim Würzekochen und der dafür erforderliche Energieaufwand	157
7.7 Bitterstoffgabe und Bitterstoffausbeute (BA)	158
7.7.1 Orientierungswerte für Bitterstoffausbeuten (BA) in der Würze und für Bitterstoffverluste von der Anstellwürze bis zum Fertigbier bei unterschiedlicher technologischer Verfahrensführung	158
7.7.2 Berechnung der erforderlichen Hopfenmenge und Bitterstoffbilanz	160
7.7.3 Vereinfachte Berechnung der im Betrieb vorhandenen Bitterstoffausbeute und zur Korrektur der α -Säure-Gabe je Hektoliter Pfannevollwürze (kalt)	162
7.7.4 Vereinfachte Berechnung der Bitterstoffausbeute BA bezogen auf das Fertigbier	163
7.8 Berechnungen zur Veränderung der Schüttungszusammensetzung	164
7.8.1 Berechnung der gewünschten Malzfarbe für eine Malzmischung	164
7.8.2 Eine einfache Methode zur Umrechnung des Extrakteintrages durch Malzsurrogate für die Extraktbilanzierung mittels Sudhausausbeute	165

7.9 Extraktausbeute und Ausbeutebilanz	166
7.9.1 Richtwerte für die Bewertung der Extraktausbeuten	166
7.9.2 Berechnung der klassischen Sudhausbeute SHA	167
7.9.3 Beurteilung der Extraktgewinnung nach der Methode „Overall Brewhouse Yield“ (OBY)	168
7.9.4 Erforderliche Präzisierungen der Zu- bzw. Abgänge von Extrakt durch die Glattwasser- und Trubverwendung	169
7.9.5 Beispiel einer Extraktbilanz in Verbindung mit der dazugehörigen Treberanalyse	171
7.10 Die Abkühlung der Ausschlagwürze auf Anstelltemperatur und Varianten zur Nutzung der Flüssigkeitswärme	171
7.10.1 Vergleich der Würzekühlungs-Varianten mittels Modellrechnung	172
7.10.2 Ergebnisse einer Modellrechnung und Schlussfolgerungen	176
8. Gärung und Reifung des Bieres	178
8.1 Berechnungen zur Brauereihefe	178
8.1.1 Physikalische Richtwerte der Hefezelle und ihr Einfluss auf die wirksame Stoffaustauschfläche der Hefe	178
8.1.2 Die Dichte der Hefezelle und ihr Sedimentationsverhalten	179
8.1.3 Der Hefegehalt der unterschiedlichen Hefeprodukte und ihr Einfluss auf die Hefegabe beim Anstellen	180
8.1.4 Die Größe der Hefezellen und ihr Einfluss auf das Klärverhalten	182
8.1.5 Die Vermehrungskinetik der Hefe und ihr Einfluss auf die Auslegung der Hefepropagationsanlagen	185
8.1.6 Berechnung des erforderlichen Sauerstoff- und Lufteintrages bei der Hefevermehrung in Bierwürze	192
8.2 Vergärung, Vergärungsgrad, Stammwürze, Geschwindigkeit der Vergärung	197
8.2.1 Stoffumsätze im Prozess der Gärung und Stammwürze des Bieres	197
8.2.2 Vergärung und Vergärungsgrade	199
8.2.3 Die anfallende Wassermenge aus 1000 g Würze	203
8.2.4 Volumenumrechnung von Würze und Bier	204
8.2.5 Beurteilung eines Jungbieres beim Schlauchen	204
8.2.6 Alkohol- und Extraktberechnungen nach <i>Tabarié</i>	205
8.3 Der vergärbare Restextrakt zum richtigen Zeitpunkt für das Spunden und die maximal mögliche CO ₂ -Bildung	206
8.4 Die Geschwindigkeit der Vergärung	208
8.4.1 Durchschnittliche Abnahme des scheinbaren Extraktes in der An- und Hauptgärphase je 24 h	208
8.4.2 Die durchschnittliche Vergärung je Volumeneinheit	208
8.4.3 Technologische Einflussgrößen auf die durchschnittliche Vergärung	210
8.4.4 Spezifischer Extraktabbau pro Hefezelle	212
8.4.5 Gärgeschwindigkeit nach <i>Schröderheim</i>	212
8.5 Berechnung des Spundungsdruckes	212

9. Die Klärung und Stabilisierung des Bieres	214
9.1 Zielstellung und Verfahrensstufen	214
9.2 Berechnungen zur Kieselgurdosage	214
9.2.1 Voranschwemmungen	214
9.2.2 Filtrationsdauer und laufende Dosierung	215
9.2.3 Differenzdruckanstieg und Filtrationsdauer	216
9.3 Die Filterhilfsmittelansatzbereitung	217
9.4 Die Crossflow-Membranfiltration	219
9.5 Ansatzbereitung bei Verwendung des Eiweißstabilisierungsmittels Kieselgel	220
10. Thermische Haltbarmachung von Bier (Pasteurisation)	222
10.1 Ziele, Definitionen und Richtwerte	222
10.2 Pasteurisation durch Kurzzeiterhitzung	222
10.3 Die Flaschenpasteurisation im Tunnelpasteur	225
10.4 Der D-Wert und der z-Wert als ermittelte Richtwerte für die Abtötung eines speziellen Mikroorganismus	226
11. Der Energiegehalt des Bieres und der Ethanolabbau beim Menschen	232
11.1 Energieäquivalente von Bierinhaltsstoffen	232
11.2 Biergenuss und Alkoholgehalt im Blut	233
12. Abfüllung	237
12.1 Gasdiffusion	237
12.2 Speicherkapazität eines Flaschenpufferbandes	240
12.3 Laugeverschleppung in einer Flaschenreinigungsmaschine	242
12.4 Wrasenbesaugung einer Flaschenreinigungsmaschine (FRM)	246
12.5 Gabelstapler	249
12.6 Abnahme von Füllanlagen, Gewährleistungen	250
12.6.1 Allgemeine Hinweise	250
12.5.2 Ergebnis der Abnahme und Ermittlung der Verbrauchswerte	251
12.6.3 Internationale Abnahme und Ermittlung der Verbrauchswerte	253
12.6.4. Wichtige Begriffe zur Einschätzung von Füllanlagen	255
12.6.5 Zeitbegriffe	255
12.7 Einhaltung der Nennfüllmenge	256
12.8 Der Flächenbedarf für die Lagerung von Leer- und Vollgutflaschen	260
12.9 Der Flächen- und Raumbedarf für Füllanlagen	261
13. Beispielrechnungen für die Ansatzbereitung von alkoholfreien Erfrischungsgetränken	263
13.1 Überblick und einige Anforderungen	263
13.2 Ansatzberechnung für eine Zitronenlimonade	264
13.3 Das Zucker-Säure-Verhältnis	267

13.4 Brennwertverminderte alkoholfreie Erfrischungsgetränke	268
13.5 Die Carbonisierung alkoholfreier Erfrischungsgetränke	270
13.5.1 CO ₂ -Lösung, Richtwerte und Definitionen	270
13.5.2 Berechnungen zur Einstellung der CO ₂ -Konzentration in Wasser und Limonaden	272
14. Produktrohrleitungen in der Brauerei	274
14.1 Wichtige Aspekte für die Auslegung von Rohrleitungen in der Getränkeindustrie	274
14.1.1 Die Fließgeschwindigkeit	274
14.1.2 Der Druckverlust beim Durchströmen einer Rohrleitung oder Armatur	275
14.1.3 Druckverlustabschätzung mittels Nomogramm für Flüssigkeiten	278
14.1.3 Die <i>Reynolds</i> -Zahl	282
14.1.4 Die Grenzschichtdicke	283
14.2 Die Fließgeschwindigkeit bei der Produktförderung	288
14.3 Hinweise für die Gestaltung von Rohrleitungen	290
14.3.1 Allgemeine Hinweise	290
14.3.2 Thermisch bedingte Längenänderungen	291
14.3.3 Entlüftung der Rohrleitungen, Sauerstoffentfernung	292
15. Pumpen	297
15.1 Geodätische Förderhöhe	297
15.2 Wirkungsgrad der Antriebsmotoren	300
15.3 Kavitation	300
15.4 Leistungsbedarf einer Kreiselpumpe	302
15.5 Hinweise zur Pumpenauswahl	306
15.5.1 Kennlinien und Möglichkeiten ihrer Beeinflussung	306
15.5.2 Anlaufbedingungen:	308
16. Verdichter	312
16.1 Allgemeine Hinweise	312
16.2 Energiebedarf von Verdichtern	313
16.3 Hinweise zum Einsatz von Verdichtern	315
16.3.1 Möglichkeiten zur Wirkungsgradverbesserung	315
16.3.2 Hinweise zu Verdichtern in der Getränkeindustrie	315
16.3.3 Allgemeine Hinweise zu Verdichtern	316
17. Wärmeübertrager	317
17.1 Wärmestrom	317
17.2 Wärmedurchgangskoeffizient	317
17.3 Allgemeine Hinweise zur Berechnung von WÜ	317
17.4 Wärmetechnische Dimensionierung	319

17.5 Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz	321
18. Kennziffern für die Anlagenplanung	323
18.1 Rohstoffe	323
18.2 Bilanzgleichungen Atmung und Gärung	323
18.3 Spezifische Wärmekapazität	324
18.4 Spezifische Verbrauchswerte Brauerei	324
18.5 Spezifische Kennwerte Mälzerei	325
18.5.1 Verbrauchswerte	325
18.5.2 Spezifische Beladung/Belegung in der Mälzerei	325
18.5.3 Mälzungsschwand	325
18.5.4 Energieverbrauchswerte	325
18.5.5 Elektroenergie: Siehe Tabelle 120:	326
18.5.6 Wasserverbrauch/Abwasser	327
18.6 Spezifische Verbrauchswerte Flaschenreinigung	327
18.7 Spezifische Volumina für Sudgefäße, Kennwerte Sudhaus	327
18.8 ZKT für Gärung/Reifung/Lagerung	328
18.9 Filteranlagen für Bier	329
18.10 Extrakt- und Volumen-Schwand	329
18.11 Ausgewählte Kennwerte für Dampf und Wasser	330
18.12 Kennwerte von ausgewählten Verpackungsmitteln:	331
19. Physikalisch-technische Einheiten in der Brau- und Malzindustrie	336
Index	345
Quellennachweis	355