Fachrechnen für Mälzerei- und Brauereitechnologen

Technologische Berechnungen, Richtwerte und Korrelationen zur Optimierung des Verfahrens

Prof. Dr. sc. techn. Gerolf Annemüller

Dr. sc. techn. Hans-J. Manger

VLB BERLIN

Im Verlag der VLB Berlin

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

Kontaktadresse der Autoren:
Prof. Dr. sc. techn. Gerolf Annemüller
Buschiner Str. 34 A
12683 Berlin
E-Mail: g.annemueller@t-online.de

1. Auflage 2015

ISBN 978-3-921690-78-9

© VLB Berlin, Seestraße 13, D-13353 Berlin, www.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.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form.

Herstellung: VLB Berlin, PR- und Verlagsabteilung
Titelfoto: © Gina Sanders, fotolia.com

Fachrechnen für Mälzerei- und Brauereitechnologen

Technologische Berechnungen, Richtwerte und Korrelationen zur Optimierung des Verfahrens

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 Kegelstumpf 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 Basisfeuchtewert 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 Elektroenergiever-brauch, 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 Einmaischwassers 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 Gesamtmaischevolumens 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 *Tabarié* 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 *Schröderheim* 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 *Reynolds*-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

Die Rechenbeispiele als Übersicht

Kapitel 1: Grundrechenarten

Beispiel 1.1: Bierpumpe 20
Beispiel 1.2: Lagerraum für Gerste 20
Beispiel 1.3: Dreisatz 21
Beispiel 1.4: Stammwürzeberechnung 21
Beispiel 1.5: Malzberechnung 22
Beispiel 1.6: Zinsbetrag 23
Beispiel 1.7: Einstellung der Wassertemperatur mittels Mischungskreuz und Mischungsrechnung 25
Beispiel 1.8: Mischungsrechnung mit mehreren Wassermengen und Wassertemperaturen 25
Beispiel 1.9: Berechnung einer Schwerpunktkoordinate 26
Beispiel 1.10: Spezifische Wärmekapazität 27
Beispiel 1.11: Wassermischung 27
Beispiel 1.12: Notendurchschnitt einer Klasse 28
Beispiel 1.13: Temperatur von Malzschrot 29

Statistische Berechnungen

Beispiel 1.14: Standardabweichung 39
Beispiel 1.15: Ausreißertest 1 42
Beispiel 1.16: Ausreißertest 2 43
Beispiel 1.17: Ausreißertest 3 44
Beispiel 1.18: Mittelwertvergleich 46
Beispiel 1.19: Interpretation einer Korrelations- und Regressionsanalyse 50
Beispiel 1.20: Partielles Bestimmtheitsmaß 53

Kapitel 2: Behältergeometrien

Beispiel 2.1: Getreidetransport auf einem Förderband 57
Beispiel 2.2: Läuterbodenbelastung 58
Beispiel 2.3: Berechnung einer Gerstenweiche 62
Beispiel 2.4: Volumen eines zylindrokonischen Schrotrumpfes 63
Beispiel 2.5: Volumenberechnung einer Maischepfanne 64
Beispiel 2.6: Volumenberechnung eines liegenden Lagertanks 64
Beispiel 2.7: Volumenberechnung eines Lager- oder klassischen Holztransportfasses 65
Beispiel 2.8: Berechnung eines zylindrokonischen Tanks (ZKT) 67

Kapitel 3: Getreidelagerung, Getreidepflege und Getreidetransport

Beispiel 3.1: Berechnung des Stoffumsatzes und der Lagerverluste bei der Gerstenlagerung 70
Beispiel 3.2: Berechnung der entstehende Wärmemenge 71
Beispiel 3.3: Berechnung der spezifischen Wärmekapazität c_P von Getreide 72
Beispiel 3.4: Theoretische Gerstenerwärmung 72
Beispiel 3.5: Berechnung der spezifischen Wärmekapazität c_P 72

Beispiel 3.6: Schnellbestimmung der spezif. Wärmeentwicklung mittels Nomogramm nach *Jouin* 74
Beispiel 3.7: Bestimmung der zulässigen Lagerdauer von Getreide 77
Beispiel 3.8: Berechnung der erforderlichen Wärmemenge für die Trocknung 79
Beispiel 3.9: Einstellung der Temperaturdifferenz zwischen Trockenluft und Trockengut 81
Beispiel 3.10: Luftmenge für die Belüftung/Kühlung Getreide 81
Beispiel 3.11: Druckverlust einer Gerstenschicht 83
Beispiel 3.12: Gurtbandförderer 84
Beispiel 3.13: Antriebsleistung eines Becherwerks 85
Beispiel 3.14: Fördermenge und Anschlussleistung eines Schneckenförderers 86
Beispiel 3.15: Pneumatische Förderanlage 88
Beispiel 3.16: Berechnung der vertraglich vereinbarten, exakten Liefermenge 88
Beispiel 3.17: Zusammensetzung eines Gerstenpostens 89
Beispiel 3.18: Berechnung eines Gerstenlagers 90

Kapitel 4: Malzherstellung

Beispiel 4.1: Berechnung des Weichgrades (Variante 1) 92
Beispiel 4.2: Berechnung des Weichgrades (Variante 2) 92
Beispiel 4.3: Berechnung der erforderlichen Weichwassermenge 94
Beispiel 4.4: Einfluss der Weichwassertemperatur auf die Weichzeit 94
Beispiel 4.5: Berechnung der aus einem Keimkasten abzuführenden Wärmemenge 95
Beispiel 4.6: Temperatur des Keimgutes bei Kühlungsausfall 95
Beispiel 4.7: Welche CO_2-Menge müsste abgeführt werden? 96
Beispiel 4.8: Berechnung einer Keimfläche 96
Beispiel 4.9: Mischung zweier Luftmengen 104
Beispiel 4.10: Mischung zweier Feuchtluftmengen 105
Beispiel 4.11: Luftbefeuchtung 105
Beispiel 4.12: Befeuchten und Kühlen von Luft 106
Beispiel 4.13: Trockner nicht beheizt 107
Beispiel 4.14: Trockner, beheizt 108
Beispiel 4.15: Malztrocknung 109
Beispiel 4.16: Bestimmung des Blattkeimentwicklungsgrades 110
Beispiel 4.17: Berechnung der Malzausbeute 111
Beispiel 4.18: Mälzungsschwand 111
Beispiel 4.19: Berechnung der Rohproteinmenge in Malzkeimen 112

Kapitel 5: Zerkleinerung des Malzes (Schroten)

Beispiel 5.1: Beurteilung eines Trockenschrotes 114
Beispiel 5.2: Beurteilung eines konditionierten Schrotes 114
Beispiel 5.3: Berechnung der Wassermenge beim Konditionieren 115
Beispiel 5.4: Wasserbilanz Schrot 115
Beispiel 5.5: Dimensionierung Schrotbehälter 116

Kapitel 6: Berechnungen zum Brauwasser und alkalischen Reinigungsmitteln

Beispiel 6.1: Beurteilung eines aufbereiteten Brauwassers 122
Beispiel 6.2: Kalkwasserzusatz zur Reduzierung der Carbonathärte 124
Beispiel 6.3: Einfluss der Restalkalität auf den pH-Wert der Maische 125
Beispiel 6.4: Berechnung des Ca-Ionenzusatzes zum Brauwasser 125
Beispiel 6.5: Überprüfung und Aufkonzentrierung einer Reinigungslauge 127

Kapitel 7: Würzeherstellung

Beispiel 7.1: Berechnung der spezifischen Hauptgussmenge 131
Beispiel 7.2: Erforderliches Bruttovolumen des Maischgefäßes 132
Beispiel 7.3: Berechnung der erforderlichen Nachgussmenge 133
Beispiel 7.4: Berechnung der Pfannevollwürzemenge 133
Beispiel 7.5: Berechnung der Sudhausausbeute im Rahmen der Gussführung 134
Beispiel 7.6: Berechnung der voraussichtlichen heißen Ausschlagwürzemenge 134
Beispiel 7.7: Berechnung der erforderlichen Verdampfung 135
Beispiel 7.8: Berechnung des Treberanfallmenge 136
Beispiel 7.9: Erforderliche Wassermenge für die Würzeherstellung 136
Beispiel 7.10: Berechnung des erforderlichen Kochmaischevolumens 138
Beispiel 7.11: Berechnung des erforderlichen Kochmaischevolumens 139
Beispiel 7.12: Berechnung der Wärmemenge für das Aufheizen 142
Beispiel 7.13: Berechnung der benötigten Heizfläche 144
Beispiel 7.14: Berechnung einer Wärmedurchgangszahl 145
Beispiel 7.15: Maischeaufheizung durch Mischkondensation 147
Beispiel 7.16: Maischeaufheizung durch Mischkondensation 148
Beispiel 7.17: Würzeaufheizung durch Mischkondensation 149
Beispiel 7.18: Berechnung von Variablen beim Läutern 152
Beispiel 7.19: Abschätzung des Einflusses der Veränderung der Treberhöhe auf die spezifische Läutergeschwindigkeit 153
Beispiel 7.20: Abschätzung des Einflusses der Veränderung der Stoffkennwerte auf die spezifische Läutergeschwindigkeit 153
Beispiel 7.21: Treberauftrieb in Abhängigkeit von der Läutertechnologie im Läuterbottich 154
Beispiel 7.22: Berechnung der erforderlichen Anzahl der Filterrahmen eines Maischefilters und ihres spezifischen Fassungsvermögens 154
Beispiel 7.23: Berechnung des erforderlichen Trebersilovolumens 155
Beispiel 7.24: Extraktgehalt eines Glattwassers 155
Beispiel 7.25: Einfluss der Verdampfungsziffer auf den Energieverbrauch beim Würzekochen 158
Beispiel 7.26: Berechnung der Bitterstoffgabe und Bitterstoffbilanz 160
Beispiel 7.27: Berechnung: Bitterstoffgabe nach α-Säure pro Sud 161
Beispiel 7.28: Berechnung: Durchschnittliche Hopfenkochdauer 162
Beispiel 7.29: Berechnung der vereinfachten Bitterstoffausbeute BA in der kalten Anstellwürze und Korrektur der spezifischen α-Säuregabe 163
Beispiel 7.30: Berechnung der vereinfachten Bitterstoffausbeute, bezogen auf das Fertigbier 164
Beispiel 7.31: Berechnung der gewünschten Malzfarbe für eine Malzmischung in der Schüttung 164

Beispiel 7.32: Berechnung der Schüttungsanteile bei der Verwendung von Malzsurrogaten 165
Beispiel 7.33: Berechnung der klassische Sudhausausbeute und Bewertung 168
Beispiel 7.34: Einfache Berechnung des Overall Brewhouse Yield (OBY) 168
Beispiel 7.35: Extraktkorrekturen durch das Trub- und Glattwassermanagement 169
Beispiel 7.36: Ausbeutebilanzierung unter Berücksichtigung des Treberrestextraktes 171
Beispiel 7.37: Kühlung der Würze auf Anstelltemperatur 173

Kapitel 8: Gärung und Reifung des Bieres

Beispiel 8.1: Berechnung der wirksamen Stoffaustauschfläche nach dem Anstellen der Würze 179
Beispiel 8.2: Welchen Einfluss hat die Dichte der Hefezelle auf ihr Sedimentationsverhalten 180
Beispiel 8.3: Flüssige Hefegabe je 1 hL Anstellwürze 181
Beispiel 8.4: Hefegabe unter Verwendung einer Trockenhefe 181
Beispiel 8.5: Sedimentationsgeschwindigkeit unterschiedlicher Hefezellgrößen 183
Beispiel 8.6: Einfluss der Agglomeratgröße einer Bruchhefe auf ihre Absetzgeschwindigkeit und Klärdauer 184
Beispiel 8.7: Zulässiges Drauflassvolumen 189
Beispiel 8.8: Berechnung der erforderlichen Prozesszeit für die Propagation 189
Beispiel 8.9: Erforderliches Behältervolumen für eine Hefepropagationsanlage 190
Beispiel 8.10: Berechnung des erforderlichen Behältervolumens für eine Hefepropagationsanlage im Chargenbetrieb 191
Beispiel 8.11: Berechnung des Gesamtsauerstoff- und Luftbedarfes 194
Beispiel 8.12: Berechnung des erforderlichen Sauerstoffeintrages in der Start- und in der Endphase der Hefepropagation 195
Beispiel 8.13: Abschätzung der erforderlichen Belüftungszeit bei einer Hefepropagation in Brauereiwürze 196
Beispiel 8.14: Stammwürzeberechnung eines Versandbieres 198
Beispiel 8.15: Endvergärungsgrade, die vergorenen Extrakte und ihre Restextrakte bei drei Biersorten 201
Beispiel 8.16: Berechnung des Alkoholgehaltes A, des noch vorhandenen unvergorenen Extraktes Ew, der gebildeten Hefemenge HTS und der gebildeten CO_2-Menge im endvergorenen Bier aus 1000 g Würze für die drei Biersorten 202
Beispiel 8.17: Berechnung des Alkoholgehaltes und des wirklichen Restextraktgehaltes 203
Beispiel 8.18: Die anfallende Wassermenge im endvergorenen Bier aus 1000 g Anstellwürze 203
Beispiel 8.19: Würze- und Biervolumen V aus 1000g Anstellwürze 204
Beispiel 8.20: Berechnung der Gärkellervergärungsgrade und der noch vorhandenen vergärbaren Restextrakte bei den drei Biersorten aus Beispiel 8.15 (Probenahme am Ende der Hauptgärung) 205
Beispiel 8.21: Berechnungen nach *Tabarié* 206
Beispiel 8.22: Der erforderliche vergärbare Restextrakt für die CO_2-Bildung 206
Beispiel 8.23: Eine schnelle Näherungslösung für den Zeitpunkt der Spundung 207
Beispiel 8.24: Berechnung der durchschnittlichen Vergärung G_d 209

Beispiel 8.25: Verwendung eines ermittelten statistisch abgesicherten, technologischen Zusammenhangs für die konkrete Berechnung des Einflusses einzelner Einflussgrößen 210
Beispiel 8.26: Verwendung des ermittelten technologischen Zusammenhanges für die Berechnung der erforderlichen Gärdauer in Abhängigkeit von der vorhandenen vergärbaren Zuckermenge 211
Beispiel 8.27: Gärgeschwindigkeit Gw nach *Schröderheim* 212
Beispiel 8.28: Berechnung des Spundungsdruckes 213

Kapitel 9: Die Klärung und Stabilisierung des Bieres

Beispiel 9.1: Berechnung der 1. Voranschwemmung 214
Beispiel 9.2: Berechnung der 2. Voranschwemmung 215
Beispiel 9.3: Berechnung des freien Trubraumes und seine mögliche Auslastung 216
Beispiel 9.4: Differenzdruckanstieg, Filtrationsdauer und Filtratmenge 216
Beispiel 9.5: Vergleich der Berechnungen mit den Richtwerten aus der Literatur 217
Beispiel 9.6: Berechnung des FHM-Ansatzes 217
Beispiel 9.7: Verdünnung des Bieres durch die laufende Kieselgurdosierung 218
Beispiel 9.8: Kapazitätsberechnung einer Crossflow-Membranfilteranlage 219
Beispiel 9.9: Kieselguransatzbereitung unter Mitverwendung von Kieselgel 220

Kapitel 10: Thermische Haltbarmachung von Bier (Pasteurisation)

Beispiel 10.1: Berechnung der erforderlichen Heißhaltetemperatur 223
Beispiel 10.2: Berechnung der PE bei konstanter Heißhaltezeit und in Abhängigkeit der Heißhaltetemperatur über 60 °C 224
Beispiel 10.3: Ermittlung von PE-Einheiten beim Tunnelpasteur, Variante 1 225
Beispiel 10.4: Ermittlung von PE-Einheiten beim Tunnelpastuer, Variante 2 226
Beispiel 10.5: Berechnung der erforderlichen Heißhaltezeit bei alkoholfreiem Bier unter Berücksichtigung der Wildhefesporen 230
Beispiel 10.6: Einfluss der Erhöhung der Heißhaltetemperatur auf die Heißhaltezeit bei dem heterofermentativen *Lactobacillus* Stamm G 230
Beispiel 10.7: Erforderliche Heißhaltetemperatur und Heißhaltezeit bei einer Würzeinfektion mit dem mesophilem Bakterium *Clostridium sporogenes* 231

Kapitel 11: Der Energiegehalt des Bieres und der Ethanolabbau beim Menschen

Beispiel 11.1: Energiegehalt eines Vollbieres 232
Beispiel 11.2: Einfache Näherungsrechnung zur Abschätzung des Alkoholgehaltes im Blut 234
Beispiel 11.3: Berechnung der erforderlichen Zeit für den Alkoholabbau im Blut 234
Beispiel 11.4: Umrechnung der Alkoholkonzentrationen von Vol.-% in Gramm/Liter 235

Kapitel 12: Abfüllung

Beispiel 12.1: Welche Sauerstoffmenge diffundiert in 30 Tagen in eine PET-Flasche und welche CO_2-Menge wird in dieser Zeit an die Umgebung bei etwa 23 °C abgegeben 237
Beispiel 12.2: Welche Sauerstoffmenge wird in 60 Tagen in eine PET-Flasche diffundieren? 239
Beispiel 12.3: Welche Sauerstoffmenge wird durch die Dichtung eines Kronenkorken in eine Flaschen in 3 Monaten diffundieren? 240
Beispiel 12.4: Wie viele Flaschen können auf einer Pufferfläche A_P von 3 m^2 stehen? 241
Beispiel 12.5: Berechnung der Lauge-Konzentrationen in einer Flaschenreinigungsmaschine 243
Beispiel 12.6: Bestimmung der Konzentrationen in den Spritzzonen 244
Beispiel 12.7: Bestimmung der eingetragenen Schmutzmenge, des ausgetragenen Flüssigkeitsvolumens und der Lauge-Konzentration zur Zeit t 245
Beispiel 12.8: Welche Wärmemenge wird aus einer FRM abgeführt, wenn die Maschine mit 80 °C betrieben wird und der Ventilator bei 0 °C 3500 m^3/h fördert 247
Beispiel 12.9: Welche H_2-Menge muss abgeleitet werden? 247
Beispiel 12.10: Berechnung der erforderlichen Staplermasse m_S 249
Beispiel 12.11: Ermittlung von Kenngrößen nach DIN 8782 252
Beispiel 12.12: Ermittlung der Linieneffizienz 253
Beispiel 12.13: Bestimmung des OEE 253
Beispiel 12.14: Prüfung der Füllmenge von Bierflaschen 259
Beispiel 12.15: Prüfung der Füllmenge von Bierflaschen 259
Beispiel 12.16: Spezif. Flächenbedarf einer Abfüllanlage für 250.000 hL VB/a 260
Beispiel 12.17: Flächenbedarf einer Abfüllanlage Variante 1 262
Beispiel 12.18: Flächenbedarf einer Abfüllanlage Variante 2 262

Kapitel 13: Beispielrechnungen für die Ansatzbereitung von alkoholfreien Erfrischungsgetränke

Beispiel 13.1: Berechnung des Getränkeansatzes für eine Zitronenlimonade 265
Beispiel 13.2: Berechnung des Ratio des Getränkes nach Beispiel 13.1 268
Beispiel 13.3: Vergleiche den Kaloriengehalt einer normalen Zitronenlimonade mit einer auf ca. 15 % brennwertverminderten Zitronenlimonade 269
Beispiel 13.4: Mögliche CO_2-Konzentration in Wasser 272
Beispiel 13.5: Carbonisierung einer Zitronenlimonade bei 20 °C 273
Beispiel 13.6: Carbonisierung einer Zitronenlimonade bei 10 °C 273

Kapitel 14: Produktrohrleitungen in der Brauerei

Beispiel 14.1: Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit 275
Beispiel 14.2: Abschätzung des Druckverlustes einer Rohrleitung 277
Beispiel 14.3: Nomogramm-Anwendung 280
Beispiel 14.4: Berechnung einer Re-Zahl 282
Beispiel 14.5: Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit 286
Beispiel 14.6: Berechnung der Grenzschichtdicke 288
Beispiel 14.7: Strömungsgeschwindigkeit an der Grenzschichtoberfläche 288

Beispiel 14.8: Ausdehnung einer Rohrleitung durch Temperaturerhöhung 292
Beispiel 14.9: Ermittlung der Druckspannung bei Ausdehnungsverhinderung 292
Beispiel 14.10: Entfernung von Gas aus einer Rohrleitung 293
Beispiel 14.11: Entfernung von Sauerstoff aus eine Rohrleitung 294

Kapitel 15: Pumpen

Beispiel 15.1: Ermittlung der Druckdifferenz beim Fördern 298
Beispiel 15.2: Ermittlung der Antriebsleistung eines Pumpenmotors 298
Beispiel 15.3: Leistungsbedarf einer Kreiselpumpe 304
Beispiel 15.4:Filterpumpe 309

Kapitel 16: Verdichter

Beispiel 16.1: Auslegung eines Darrventilators 314

Kapitel 17: Wärmeübertrager

Beispiel 17.1: Berechnung des Wärmerückgewinns 320
Beispiel 17.2: Mittlere logarithmische Temperaturdifferenz 322
Beispiel 17.3: Würzekühler 322