

# INHALT

<b>1 Zerkleinern – Schrotten</b>	<b>13</b>
1.1 Allgemeines	13
1.2 Bruchmechanische Grundlagen	13
1.3 Einteilung der Zerkleinerungsprozesse und Beanspruchungsarten	19
1.4 Zerkleinerungsmaschinen	21
1.4.1 Trockenzerkleinerung	22
1.4.1.1 Walzenmühlen	22
1.4.1.2 Prallmühlen	25
1.4.2 Nasszerkleinerung	28
1.4.2.1 Dispergiermaschinen	28
1.4.2.2 Rührwerkskugelmühle	30
1.4.2.3 Nassschrotung	31
1.5 Charakterisierung des zerkleinerten Produkts	33
1.5.1 Partikelgrößenverteilung	34
1.5.2 Kontrolle der Zerkleinerung (Analysenmethoden)	36
1.5.2.1 Siebturm	36
1.5.2.2 Luftstrahlsieb	36
1.5.2.3 Laserbeugungsspektrometer (Streulichtmessung)	37
1.5.2.4 Bildanalyse	38
1.6 Zerkleinerung des Malzes	38
1.6.1 Aufgaben	38
1.6.2 Malzlösung	39
1.7 Praktische Anwendung von selektiven Zerkleinerungstechniken	43
1.7.1 Einfluss des Spelzeneintrags auf den Brauprozess	43
1.7.2 Einfluss des Blattkeims auf den Brauprozess	43
<b>Literatur</b>	<b>45</b>
<b>2 Maischen</b>	<b>47</b>
2.1 Kennzeichnung der Stoffsysteme	47
2.2 Verfahrenstechnische Ziele des Maischens	47
2.2.1 Wärmeübertragung	47
2.2.2 Stoffübertragung	52
2.3 Ausführung von Maischgefäßen	56
2.4 Prozessparameter - Bierqualität	57
2.5 Reaktionskinetik	61
2.5.1 Grundlagen	61
2.5.2 Untersuchungen zur Zeitoptimierung von Maischverfahren	62
2.5.2.1 Stärkeabbau	65
2.5.2.2 Eiweißabbau	71
2.5.2.3 $\beta$ -Glucanabbau	72
2.5.2.4 Schlussfolgerung zur Zeitoptimierung von Maischverfahren	74
<b>Literatur</b>	<b>77</b>

<b>3 Röhren</b>	<b>81</b>
3.1 Sedimentation im Schwerfeld	81
3.2 Rührertypen	84
3.3 Rührerleistung	90
3.4 Turbulenz und mechanische Beanspruchung	91
3.4.1 Theorie	91
3.4.2 Betrachtungen zur mechanischen Belastung der Maische	94
3.5 Rheologie	98
3.5.1 Theorie	98
3.5.2 Viskositätsbestimmung in der Maische	101
<b>Literatur</b>	<b>105</b>
<b>4 Kontinuierliches Maischen</b>	<b>107</b>
4.1 Theoretische Grundlagen	107
4.2 Ermittlung der Verweilzeitspektren einer 2-stufigen Rührkesselkaskade	109
4.3 Kontinuierlicher Maischversuch	112
<b>Literatur</b>	<b>113</b>
<b>5 Abläutern</b>	<b>115</b>
5.1 Theoretische Grundlagen	115
5.1.1 Sedimentation im Schwerfeld	116
5.1.2 Filtration	117
5.1.3 Stofftransport	118
5.2 Der Läuterbottich	118
5.3 Untersuchungen zur Durchlässigkeit von Treberschichten in Läuterbottichen	123
5.4 Der Maischefilter	127
5.5 Alternative Trennsysteme	130
5.5.1 Kontinuierliches Abläutern mit Dekanter	130
5.5.2 Dynamische Membranfiltration	134
5.5.2.1 Trennsystem mit oszillierenden Membranen	134
5.5.2.2 Trennsystem mit Drehscheibenfiltern	134
<b>Literatur</b>	<b>137</b>
<b>6 Würzekochung</b>	<b>139</b>
6.1 Ausdampfverhalten von Aromastoffen bei der Würzekochung	139
6.1.1 Atmosphärische Kochung	142
6.1.2. Entspannungsverdampfung	142
6.1.3 Verdunstung	145
6.2 Wärmeübertragung	145
6.2.1 Dampfseitiger Wärmeübergang	145
6.2.2 Produktseitiger Wärmeübergang	148
6.3 Heißhalten der Würze	149
6.3.1 Thermische Belastung – Thiobarbitursäurezahl (TBZ)	149
6.3.2 Eiweißauscheidung – Koagulierbarer Stickstoff	150
6.3.3 Isomerisierung – Bitterstoffe	153
6.3.4 Entfernung flüchtiger Würzeinhaltsstoffe – Dimethylsulfid (DMS)	153

<b>6.4 Kochsysteme</b>	<b>153</b>
6.4.1 Außenkocher	155
6.4.2 Innenkocher (Robertverdampfer, Naturumlaufverdampfer)	156
6.4.2.1 Jet-Star® (submerged jet)	160
6.4.2.2 Stromboli®	160
6.4.2.3 Shark®	161
6.4.3 Niederdruckkochung	162
6.4.3.1 Dynamische Niederdruckkochung (NDK)	163
6.4.4 Hochtemperaturwürzekochung (HTWK)	163
6.4.5 Dünnfilmverdampfer (Merlin®)	164
6.4.6 Externe Hopfenisomerisierung	165
<b>6.5 Beurteilung von Würzekochsystemen</b>	<b>167</b>
<b>6.6 Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung</b>	<b>169</b>
6.6.1 Energiespeicher	169
6.6.2 Würzekochung und Brüdenverdichtung	171
<b>6.7 Korrektur der Würze aromastoffe</b>	<b>171</b>
6.7.1 Verdampfung im Vakuum	172
6.7.1.1 Entspannungskühler	172
6.7.1.2 Vakuumnachverdampfung	172
6.7.1.3 Schonkochverfahren	173
6.7.2 Volatile Stripping mittels Gas	174
6.7.2.1 Stripping mittels Dampf	174
6.7.2.2 Stripping System Boreas®	174
6.7.3 Dünnfilmverdampfung	175
6.7.4 Schaffung großer Oberflächen	175
6.7.5 Unterdrückung der Nachbildung von Aromastoffen	176
6.8 Das Sudhauskonzept OMNIUM®	177
<b>Literatur</b>	<b>184</b>
<b>7 Heißtrubentfernung</b>	<b>187</b>
7.1 Whirlpool	187
7.2 Alternative Trennapparate	190
<b>Literatur</b>	<b>192</b>
<b>8 Würzekühlung</b>	<b>193</b>
<b>Literatur</b>	<b>195</b>
<b>9 Belüftung</b>	<b>197</b>
<b>Literatur</b>	<b>199</b>
<b>10 Kühltrubentfernung</b>	<b>201</b>
<b>Literatur</b>	<b>202</b>

<b>11 Gärung und Reifung</b>	<b>203</b>
11.1 Allgemein	203
11.2 Kontinuierliche Verfahren	209
11.2.1 Coutts-Verfahren (Zulaufverfahren)	211
11.2.2 APV-Gärturm (Durchlaufverfahren)	212
11.2.3 Bio-Brew-Verfahren (Durchlaufverfahren)	212
11.2.4 Optimiertes Bio-Brew-Verfahren	214
11.2.5 Immobilisierung	214
11.2.6 Reaktortypen	215
11.3 Regelung und Optimierung von Gärung und Reifung	216
11.4 Kalthopfung	220
<b>Literatur</b>	<b>221</b>
<b>12 Filtration</b>	<b>223</b>
12.1 Prinzip	223
12.2 Filtrationsarten	223
12.3 Theoretische Modellbeziehungen	224
12.4 Kuchenfiltration	225
12.4.1 Konstanter Volumenstrom ( $dV/dt = \text{konst.}$ )	226
12.4.2 Konstanter Druck ( $\Delta p = \text{konst.}, V_2 \sim t$ )	227
12.4.3 Filtration mit veränderlichem Druck und veränderlicher Leistung	227
12.5 Filtration in der Praxis	228
12.5.1 Vorfiltration	232
12.5.2 Filterbauarten	232
12.5.2.1 Kieselgurschichtenfilter	233
12.5.2.2 Horizontalfilter (Drahtgewebefilter)	233
12.5.2.3 Kerzenfilter	234
12.5.2.3.1 Spaltfilter	234
12.5.2.3.2 Kerzenfilter mit Drahtspirale	234
12.5.2.3.3 Kerzenfilter System Twin-Flow®	234
12.5.3 Membranfiltration	236
12.5.3.1 Cross-Flow-Filtration	236
12.5.3.2 Scherspaltfilter	246
12.5.3.3 Filter mit oszillierenden Membranen (VMF-Verfahren)	246
12.5.4 Nachfiltration	247
<b>Literatur</b>	<b>250</b>
<b>13 Stabilisierung</b>	<b>253</b>
<b>Literatur</b>	<b>256</b>

<b>14 Probennahme</b>	<b>259</b>
14.1 Die Bedeutung der Probennahme im Brauprozess	259
14.2 Probennahme und Probenteilung	260
14.3 Eingangskontrolle am Beispiel Malz	263
14.4 Zwischenproduktkontrolle	265
14.4.1 Schrotprobe	265
14.4.2 Treberprobe	266
14.4.3 Pfanne-Voll-Würze	266
14.4.4 Ausschlagwürze	267
14.4.5. Heißwürze nach dem Whirlpool	269
14.4.6 Kühlmittewürze	269
14.4.7 Kaltwürze	269
14.4.8 Reifungsprobe	271
<b>Literatur</b>	<b>274</b>
<b>15 Anhang</b>	<b>275</b>
15.1 Formelzeichen und Abkürzungen	275
15.2 Gebrauchsformeln für den Wärmeübergang (Quelle: Lehrstuhl V.d.S., Weihenstephan)	279
15.2.1 Strömung in Rohren	279
15.2.2 Strömung längs einer ebenen Wand	280
15.2.3 Umströmter Einzelkörper (Kugel)	280
15.3 Stoffwerte	281
15.4 Wasserdampftafel	282
15.5 $A_R$ - $\Omega$ -Diagramm	283
<b>Register</b>	<b>284</b>