

Trocknungstechnik

Dritter Band

K. Kröll

Trocknen und Trockner in der Produktion

Von

W. Kast

unter Mitarbeit zahlreicher Fachwissenschaftler

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1989

Inhaltsverzeichnis

1. Trocknungsgüter	1
1.1. Einteilung der Trocknungsgüter	1
1.2. Die Bindung der Feuchte an das Gut	4
1.3. Struktur der Trocknungsgüter	6
1.3.1. Feststoffe	6
1.3.2. Güter aus losen Feststoffteilen	9
1.3.2.1. Dichte, Lückenvolumen und Feuchtegehalt der Güter aus losen Feststoffteilen	9
1.3.2.2. Zusammenhalt der Güter aus locker vereinigten Feststoffteilen	17
1.3.2.3. Gleit-, Roll- und Fließfähigkeit der Schüttgüter	21
1.3.3. Fest-flüssige Gemenge	33
1.3.4. Lösungen	37
1.3.5. Makromolekulare Stoffe	40
1.3.6. Natürliche Zellulose und Zellstoff	42
1.3.7. Bereich der Lebewesen	45
1.4. Die Trocknung begleitende Veränderung der Güter	47
1.4.1. Chemische, kolloidale und biologische Veränderungen	47
1.4.2. Makroskopische Veränderungen	51
1.4.2.1. Änderungen der Raumfüllung durch Schrumpfen, Schwinden oder Krumpfen	51
1.4.2.2. Agglomerieren von Teilchen	58
1.4.2.3. Wandern disperser Stoffe im Gut, Verkrusten der Gutoberfläche ..	59
1.4.2.4. Sonstige makroskopische Veränderungen	62
2. Trocknen landwirtschaftlicher Produkte	64
2.1. Trocknen von Getreide	64
2.1.1. Verwendung von Getreide	64
2.1.2. Eigenschaften des Getreidekorns	64
2.1.3. Der Trocknungsverlauf bei Getreide	67
2.1.4. Einfluß der Trocknung auf die Produktqualität	73
2.1.5. Trocknungsverfahren	78
2.2. Trocknen von Halmfutter	93
2.2.1. Grundlagen der Trocknung von Halmfutter	93
2.2.1.1. Die wirtschaftliche Bedeutung pflanzlicher Futtermittel	93
2.2.1.2. Eigenschaften und Veränderungen des Halmfutters bei der Trocknung	94
2.2.2. Der Trocknungsverlauf von Halmfutter	97
2.2.2.1. Satztrocknungsanlagen	97
2.2.2.2. Der Trocknungsverlauf in Satztrocknern	98

2.2.2.3. Planungsdaten für Satzrockner	101
2.2.2.4. Befüllen und Entnehmen	102
2.2.3. Heißlufttrocknung pflanzlicher Futtermittel	103
2.3. Trocknen von Hopfen	106
2.3.1. Morphologie des Kulturhopfens	106
2.3.2. Verarbeitung des Hopfens für Brauzwecke	107
2.3.3. Trocknung des Grünhopfens	107
2.3.3.1. Hopfendarre	107
2.3.3.1.1. Auslegedaten	108
2.3.3.1.2. Lufttemperatur	108
2.3.3.1.3. Luftdurchsatz	108
2.3.3.1.4. Verweilzeit	109
2.3.3.1.5. Energiebedarf, Anschlußwert und Trocknungsleistung ...	109
2.3.3.2. Bandtrockner	109
2.3.3.3. Hopfenkonditionierung	110
2.3.3.4. Nachtrocknung des Hopfens vor der industriellen Weiterverarbeitung	110
2.4. Trocknen von Malz	111
2.4.1. Eigenschaften und Trocknungsbedingungen	111
2.4.2. Verlauf der Tröcknung – Schwelken und Darren	112
2.4.3. Bauarten der Darren	115
2.4.3.1. Einteilung der Darren	115
2.4.3.2. Einhordenhochleistungsdarren	116
2.4.3.3. Keimdarrkasten	119
2.4.3.4. Mehrhordendarren	120
2.4.3.5. Vertikaldarren	120
2.4.3.6. Neueste Darrkonstruktionen	122
2.4.4. Maßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs	123
2.4.4.1. Trocknen der Darrluft	123
2.4.4.2. Mischluftbetrieb	123
2.4.4.3. Kreuzstromwärmeaustauscher zur Wärmerückgewinnung	123
2.4.4.4. Wärmepumpe zur Wärmerückgewinnung	126
2.4.4.5. Blockheizkraftwerke	127
2.4.5. Nachbehandlung und Lagerung des Malzes	128
2.5. Trocknen von Tabak	129
2.5.1. Einleitung	129
2.5.2. Vorgänge bei der Tabaktrocknung	131
2.5.3. Krankheiten während der Tabak-Lufttrocknung	133
2.5.4. Trocknungsverfahren	134
2.5.4.1. Lufttrocknung	134
2.5.4.2. Virgin-Heißlufttrocknung	136
2.5.4.3. Neue Verfahren der Lufttrocknung	138
3. Trocknen von Lebens- und Genußmitteln	141
3.1. Probleme der Trocknung, Eigenschaften und Veränderungen von Lebens- und Genußmitteln	141
3.1.1. Bedeutung der Lebensmittel-trocknung	141
3.1.2. Trocknungsverfahren in der Lebensmittelindustrie	143
3.1.2.1. Konventionelle Bauformen	143
3.1.2.2. Sonderbauformen	144
3.1.3. Bedeutung des Wassers für die Haltbarkeit von Lebensmitteln	145
3.1.4. Trocknungsmechanismus	149
3.1.5. Veränderungen während des Trocknungsvorgangs dargestellt am Beispiel pflanzlicher Erzeugnisse	151

3.1.5.1. Veränderungen an den Zellbestandteilen	152
3.1.5.2. Die nichtenzymatische Bräunung	152
3.1.5.3. Veränderung des ernährungsphysiologischen Wertes (Protein- und Vitaminveränderung)	153
3.1.5.4. Der Verlust aromagebender Substanzen	154
3.1.6. Quantitative Abschätzung chemischer Veränderungen während eines Trocknungsvorgangs	155
3.1.6.1. Elemente für die Modellierung des Trocknungsvorgangs	156
3.1.6.1.1. Möglicher Verlauf chemischer Umsetzungen bei Trocknungsvorgängen (Reaktionsmodell)	156
3.1.6.1.2. Trocknungsverlauf	156
3.1.6.1.3. Verlauf der Produkttemperatur	157
3.1.6.2. Ergebnisse von Optimierungsversuchen	158
3.1.7. Qualitätsveränderungen während Verarbeitung und Rekonstitution	159
3.1.8. Lagerung getrockneter Lebensmittel	163
3.2. Produkte pflanzlicher Herkunft	163
3.2.1. Die Herstellung von getrocknetem Gemüse und Obst	163
3.2.1.1. Rohmaterialauswahl	164
3.2.1.2. Wahl geeigneter Trocknungsbedingungen	164
3.2.1.3. Die mikrobiologische Beschaffenheit getrockneter Gemüse	165
3.2.1.3.1. Keimzahl der Rohware vor der Trocknung	165
3.2.1.3.2. Verhalten der Mikroorganismen bei der Trocknung	168
3.2.1.3.3. Maßnahmen zur hygienischen Verarbeitung getrockneter Gemüse	169
3.2.2. Die Herstellung von getrockneten Kartoffelerzeugnissen	169
3.2.2.1. Trockenkartoffel	170
3.2.2.2. Trockenkartoffelreibsel	172
3.2.2.3. Kartoffelpüree	172
3.2.2.3.1. Kartoffelflocken-Verfahren	172
3.2.2.3.2. „Add-back“-Verfahren	173
3.2.3. Die Herstellung von getrockneten Teigwaren	174
3.2.4. Die Herstellung von getrockneter Stärke	177
3.2.4.1. Technische Gewinnung	178
3.2.4.2. Pneumatische Trocknung	179
3.2.4.3. Walzentrocknung	181
3.2.4.4. Physikalische Daten	182
3.2.5. Die Trocknung von Kristallzucker	183
3.3. Genußmittel	186
3.3.1. Kaffee und Kaffee-Extrakt	186
3.3.1.1. Rohkaffeetrocknung	186
3.3.1.2. Kaffee-Extrakt	187
3.3.2. Tee und Tee-Extrakt	190
3.3.2.1. Allgemeines	190
3.3.2.2. Behandlung der Rohware	191
3.3.2.3. Herstellung von Instant-Tee	191
3.3.2.4. Präparierung zur Trocknung	193
3.3.2.5. Sprühtrocknung	194
3.3.2.6. Gefriertrocknung	194
3.3.2.7. Konfektionierung	196
3.4. Fleisch- und Wurstwaren	197
3.4.1. Einleitung	197
3.4.2. Zur Haltbarkeit von getrocknetem Fleisch	198
3.4.3. Einfluß des pH-Wertes auf die Trocknung	200
3.4.4. Gefriertrocknung	200
3.4.5. Gefrierbrand	202

3.4.6. Vakuumtrocknung	203
3.4.7. Sprühtrocknung	203
3.4.8. Trocknung in Klimakammern	203
3.5. Milch- und Eierprodukte	207
3.5.1. Milch und Milchprodukte	207
3.5.1.1. Allgemeines	207
3.5.1.2. Vorbehandlung der Milch und mögliche Veränderungen bei der Trocknung	208
3.5.1.3. Die Trocknung von Milch und Milchprodukten	211
3.5.1.4. Lagerung und Verpackung	214
3.5.2. Eier	215
4. Trocknen von Holz	219
4.1. Einführung	219
4.2. Aufbau des Holzes und Feuchtebewegung durch sein Gefüge	220
4.3. Veränderungen des Holzes beim Trocknen	222
4.3.1. Allgemeines	222
4.3.2. Gewichtsänderung	222
4.3.3. Formänderung	223
4.3.4. Ribbildung	224
4.3.5. Verschalung	225
4.3.6. Zellkollaps	226
4.3.7. Verfärbungen	226
4.3.8. Harzausfluß	227
4.3.9. Thermische Zersetzung	227
4.4. Trocknen von Schnittholz	228
4.4.1. Trocknungsbedarf, Anfangs- und Endfeuchten	228
4.4.2. Angewendete Verfahren	229
4.4.2.1. Allgemeines	229
4.4.2.2. Freilufttrocknung und Trocknung im Konstantklima	229
4.4.2.3. Umluft-Kammertrocknung	231
4.4.2.4. Sonderverfahren	232
4.4.2.4.1. Vakuumtrocknung	232
4.4.2.4.2. Elektrische Trocknung	233
4.4.2.4.3. Weitere Verfahren	234
4.4.3. Trocknungsablauf bei der Umluft-Kammertrocknung	234
4.5. Trocknen von Furnieren	236
4.5.1. Trocknungsbedarf, Anfangs- und Endfeuchten	236
4.5.2. Angewendete Verfahren	237
4.6. Trocknen von Holzspänen	237
4.6.1. Trocknungsbedarf, Anfangs- und Endfeuchten	237
4.6.2. Angewendete Verfahren	238
4.6.2.1. Düsenrohrtrockner	238
4.6.2.2. Trommeltrockner	239
4.6.2.3. Röhrenbündeltrockner	239
4.6.2.4. Stromtrockner	239
5. Trocknen in der Zellstoff-, Papier- und Pappenindustrie	240
5.1. Beschaffenheit der zu trocknenden Stoffe	240
5.2. Trocknen von Zellstoff	242

5.3. Trocknen des Faservlieses	242
5.4. Veränderungen des Papiers beim Trocknen	246
5.4.1. Chemische Kolloidale und Zellenveränderungen	246
5.4.2. Schrumpfung, Dehnungs- und Festigkeitsveränderungen, Dimensionsstabilität	246
5.4.2.1. Schrumpfung	246
5.4.2.2. Dehnungs- und Festigkeitsänderung	247
5.4.2.3. Dimensionsstabilität	248
5.4.2.4. Rollneigung	248
5.5. Entwicklung im Bereich der Zylindertrocknung	248
5.5.1. Papierführung	249
5.5.2. Kondensatführung	249
5.5.3. Prallstrahlhauben	251
5.5.4. Feuchtigkeitsprofilkorrektur	254
5.5.5. Kombinationstrocknung	256
5.6. Einflüsse auf den Trocknungsverlauf	256
5.6.1. Konvektionstrocknung	256
5.6.2. Kontaktstrocknung	257
5.7. Trocknen von Wickelpappen	259
5.8. Trocknen von Tissue und anderen luftdurchlässigen Papieren	261
5.9. Trocknen von gestrichenen Papieren	264
5.10. Trocknen von beschichteten, lackierten und kaschierten Papieren, Kunststoff- und Metallfolien	266
5.11. Trocknen von imprägnierten Papieren	269
5.12. Trocknen bei unterschiedlichen Druckverfahren	269
5.12.1. Allgemeines	269
5.12.2. Trocknen beim Hochdruckverfahren	274
5.12.3. Trocknen beim Flexodruckverfahren	274
5.12.4. Trocknen beim Offsetdruckverfahren	275
5.12.5. Trocknen beim Tiefdruckverfahren	276
5.12.6. Trocknen beim Siebdruckverfahren	277
5.13. Wirtschaftlichkeit und Wärmerückgewinnung ohne und mit Wärmepumpen bei der Papierherstellung	278
6. Trocknen in der Textilindustrie	281
6.1. Stoffliche Grundlagen	281
6.2. Veränderungen der Textilien beim Trocknen	284
6.2.1. Thermische Schädigungen und feinstrukturelle Veränderungen	284
6.2.2. Rückgang des Wasseraufnahmevermögens und der Sorptionsfähigkeit durch Strukturveränderungen	285
6.2.3. Wanderung bzw. Migration von Farbstoffen und Kunstharzen	285
6.2.4. Krumpfen bzw. Schrumpfen von Textilien	288
6.3. Trocknungsverfahren und -anlagen	290
6.3.1. Überblick	290
6.3.2. Trocknen von Fasern	290
6.3.3. Trocknen von Kammzügen und Kardenbändern	296
6.3.4. Trocknen der textilen Vliesstoffe (sog. Nonwovens)	296
6.3.5. Trocknen beim Veredeln von Garnen, Strängen und Spulen	299
6.3.5.1. Trocknen geschlichteter Garne	299
6.3.5.2. Trocknen von Textilsträngen	300
6.3.5.3. Trocknen aufgespulter Garne und Zwirne	301

6.3.6. Trocknen und Veredeln von textilen Flächengebilden	302
6.3.6.1. Trocknen von Geweben	303
6.3.6.1.1. Mechanisches Vorentwässern	303
6.3.6.1.2. Thermisches Trocknen und die Fixierung	304
6.3.6.2. Trocknen von Maschenware	306
6.3.6.2.1. Mechanisches Vorentwässern	307
6.3.6.2.2. Trocknen und Ausrüsten	307
6.3.6.3. Trocknen und Thermofixieren bei Färbeverfahren	310
6.3.6.4. Krumpffreies Trocknen, Appretieren und Hochveredeln	313
6.3.6.4.1. Trocknen bei mechanischen Appreturarbeiten	313
6.3.6.4.2. Trocknen bei chemischen Appreturarbeiten	315
6.3.6.5. Trocknen in Stoffdruckereien	317
6.3.6.6. Trocknen von Teppichen	319
6.3.6.7. Trocknen beim Beschichten, Kaschieren, Bondieren und Beflocken von Textilien	319
6.3.6.8. Trocknen von Halbfertig- und Fertigartikeln	321
6.3.7. Energieeinsparung und Wärmerückgewinnung	322
7. Trocknen in der Leder- und Schuhindustrie	325
7.1. Stoffliche Grundlagen	325
7.2. Veränderungen des Leders beim Trocknen	327
7.3. Der Trocknungsverlauf des Leders	328
7.4. Die Trocknungsverfahren für Leder	329
7.4.1. Trocknen des Leders nach dem Gerben	329
7.4.2. Trocknen des Leders nach dem Stollen	333
7.4.3. Trocknen des Leders beim Zurichten	334
7.4.4. Trocknen in den Schuhfabriken	335
8. Trocknen in der chemischen Industrie	336
8.1. Trocknen von organischen und anorganischen Salzen	336
8.1.1. Einleitung und Problemstellung	336
8.1.2. Stoffdaten einiger anorganischer Salze	337
8.1.3. Trocknerbauarten	338
8.1.3.1. Trommeltrockner für anorganische Salze	340
8.1.3.2. Fließbettrockner	342
8.1.3.3. Sprühwirbelbettrockner für anorganische Salze	346
8.1.3.4. Stromtrockner für anorganische Salze	346
8.1.3.5. Kontaktrockner für anorganische Salze	346
8.1.4. Abluftreinigung	347
8.1.5. Lagerung und Verpackung	348
8.2. Trocknen von Waschmitteln	349
8.2.1. Einleitung	349
8.2.2. Anforderungen	350
8.2.3. Einteilung der Waschmittel nach Verwendung	350
8.2.4. Trocknungsverfahren und Trockner	351
8.2.5. Trocknungsablauf	353
8.2.5.1. Trocknungsbedingungen	353
8.2.5.2. Feuchte	353
8.2.5.3. Lufttemperaturen	356
8.2.5.4. Zerstäubungsdruck, Luftdruck	356
8.3. Trocknen von anorganischen und organischen Farbstoffen und Farbvorgängen	357
8.3.1. Allgemeines	357

8.3.2. Produktqualität	357
8.3.3. Allgemeine Randbedingungen	359
8.3.4. Trocknungsverfahren	359
8.3.4.1. Anorganische Pigmente	359
8.3.4.2. Organische Pigmente	360
8.3.4.3. Farbstoffe	362
8.3.4.4. Farbvorprodukte	364
8.4. Trocknen von Kunststoffen	364
8.4.1. Einleitung	364
8.4.2. Grundlagen der Kunststofftrocknung	365
8.4.2.1. Sorptionsisotherme	365
8.4.2.2. Trocknungsverlaufskurve	366
8.4.2.3. Partikelgröße und zweiter Trocknungsabschnitt	366
8.4.2.4. Produktverhalten beim Fördern	366
8.4.3. Besonderheiten der Kunststofftrocknung	367
8.4.3.1. Thermische Beständigkeit	367
8.4.3.2. Energieverbrauch	368
8.4.3.3. Trockner und Produktqualität	369
8.4.3.4. Sicherheit und Umweltschutz	369
8.4.4. Beispiele der Kunststofftrocknung	369
8.4.4.1. Dispersionstrockner	370
8.4.4.1.1. Sprühtrockner	370
8.4.4.1.2. Sprühgranulierer	370
8.4.4.1.3. Zirkulierendes Kugelbett	370
8.4.4.2. Suspensionstrockner	370
8.4.4.2.1. Stromrohr, Fließbett	371
8.4.4.2.2. Kontaktfießbett	371
8.4.4.2.3. Drallrohr Trockner	373
8.4.4.2.4. Convextrockner	373
8.4.4.2.5. MST-Zyklontrockner	374
8.4.4.2.6. Mechanisch bewegtes Festbett	375
8.4.4.2.7. Kontakttrockner mit Rührer	375
8.4.4.2.8. Trocknung lösungsmittelfeuchter Produkte	377
8.4.4.3. Trocknen von Granulat und Fasern	377
8.4.4.3.1. Bandrockner	378
8.4.4.3.2. Festbettrockner	378
8.4.4.3.3. Mikrowellentrockner	378
8.4.4.4. Trocknen von Folien	379
8.4.5. Energiesparmaßnahmen beim Trocknen	379
8.4.5.1. Vorentwässern des Feuchtgutes	379
8.4.5.1.1. Ultrafiltration	380
8.4.5.1.2. Elektrodekantation	380
8.4.5.2. Abwärmerückgewinnung	381
8.4.5.3. Feuchteregelung	381
8.4.5.4. Vortrocknen des Heizgases	382
8.4.6. Sonstige Besonderheiten der Kunststofftrocknung	382
8.4.6.1. Pneumatisches Fördern	383
8.4.6.2. Homogenisieren (Pulver, Granulat)	383
8.4.6.3. Polymerverpackung und -versand	383
8.5. Industrielle Trocknung von Arzneimitteln und ihren Vorstufen	384
8.5.1. Allgemeines	384
8.5.1.1. Arzneimittel, Arzneistoffe, Darreichungsformen, Fertigarzneimittel ..	384
8.5.1.2. Grundforderungen an die Trocknungstechnik bei Arzneimittelwirkstoffen	386
8.5.1.2.1. Flüssige Phase, Werkstoffauswahl	386
8.5.1.2.2. Feste Phase als Wirkstoff, Qualitätsanforderungen	387

8.5.1.3.	Kapazität und Ausbeute	392
8.5.1.4.	Variation der Trocknungsparameter als wirtschaftliche Zielsetzung ..	395
8.5.1.5.	Räumliche Anordnung von Trocknern, Raumbedarf und Verbindung mehrerer Arbeitsgänge	396
8.5.1.5.1.	Räumliche Anordnung und Raumbedarf	396
8.5.1.5.2.	Verbindung mehrerer Arbeitsgänge in der Trocknungs- anlage	397
8.5.1.6.	Energieverbrauch und -optimierung	399
8.5.1.7.	Sicherheit und Umweltschutz	400
8.5.1.7.1.	Sicherheit in der Anlage zum Schutz des Menschen	400
8.5.1.7.2.	Sicherheit in der Anlage gegen unzulässige Emissionen ..	401
8.5.1.8.	Anlagenkomponenten für Arzneistofftrockner	406
8.5.1.8.1.	Staubabscheider	406
8.5.1.8.2.	Ein- und Ausschleussysteme	407
8.5.1.8.3.	Reinigung von Schalen für Schranktrockner	412
8.5.1.9.	Auswahl der Trockner	413
8.5.2.	Industrielle Trocknung von Arzneistoffen und ihren Vorprodukten	414
8.5.2.1.	Unstetige Trockner für Feststoffe, die aus Suspensionen abgetrennt werden	414
8.5.2.1.1.	Unstetige Kontakttrockner	414
8.5.2.1.2.	Unstetige Konvektionstrockner	426
8.5.2.1.3.	Unstetige Trockner mit Kontakt und Konvektion	430
8.5.2.1.4.	Unstetige Trockner mit Strahlung im Mikrowellenbereich ..	430
8.5.2.2.	Stetige Trockner für Feststoffe, die aus Suspensionen abgetrennt werden	431
8.5.2.2.1.	Allgemeines	431
8.5.2.2.2.	Stetige Kontakttrockner	432
8.5.2.2.3.	Stetige Konvektionstrockner	432
8.5.2.2.4.	Stetige Trockner mit Strahlung im Mikrowellenbereich ..	434
8.5.2.3.	Trockner für Feststoffe, die aus Lösungen und Schmelzen abgetrennt werden	434
8.5.2.3.1.	Unstetige Trockner (Vakuumtrocknungsschränke, Wirbel- schichttrockner, Rotationsverdampfer)	434
8.5.2.3.2.	Stetige Trockner (Dünnschichtverdampfer, Sprühtrockner, Haftschicht-Zylindertrockner, Vakuumbandtrockner, Kontakt-Abriesel-Drehröhrentrockner)	435
8.5.3.	Industrielle Trocknung von Arzneimittel-Darreichungsformen und ihren Vor- stufen	436
8.5.3.1.	Allgemeines	436
8.5.3.2.	Unstetige Trockner	437
8.5.3.2.1.	Unstetige Kontakttrockner, Vakuum-Kontakt- Umwälzschichttrockner	437
8.5.3.2.2.	Unstetige Konvektionstrockner	438
8.5.3.3.	Stetige Trockner	440
8.5.3.3.1.	Stetige Konvektionstrockner/Wirbelschicht-Schwingförder- trockner und Durchström-Förderbandtrockner	440
8.5.3.3.2.	Stetige Strahlungstrockner/Strahlungs-Wirbelschicht- Schwingfördertrockner	441
8.6.	Trocknen von Fermentationsprodukten und Proteinen	441
8.6.1.	Bedeutung	441
8.6.2.	Besondere apparative Anforderungen	443
8.6.3.	Besonderheiten der Aufgabenstellung	444
8.6.4.	Apparateauswahl	444
8.6.5.	Das Trocknungsverhalten von Fermentationsprodukten	445
8.6.5.1.	Trocknung lebender Zellen	446
8.6.5.2.	Trocknung abgetöteter Zellmasse	447

8.6.5.3. Schonende Trocknung von Enzymen und empfindlichen Proteinen	450
8.6.5.4. Trocknung von Sekundärmetaboliten und Zellbausteinen	452
8.6.5.5. Trocknung von Primärmetaboliten, Vitaminen und Polysacchariden	453
8.6.5.6. Trocknung anderer biologischer Produkte	453
8.6.6. Trends	453
8.7. Trocknen von Kolloiden und Gelen	454
8.7.1. Definition der Gele	454
8.7.2. Gelatine	456
8.7.2.1. Feuchtebindung an die Gelatinestruktur	457
8.7.2.2. Qualitätsbestimmende Eigenschaften	458
8.7.2.2.1. Fließpunkt (Gel-, Solübergang)	458
8.7.2.2.2. Gelatinestruktur	459
8.7.2.2.3. Kinetik der Gelbildung	459
8.7.3. Trocknung von Gelatinegelelen	460
8.7.3.1. Trocknungsverlauf	460
8.7.3.2. Quantitative Beschreibung des Trocknungsverlaufes	462
8.7.3.3. Näherungsweise Beschreibung des Trocknungsverlaufes	463
8.7.4. Praktischer Trocknungsverlauf	464
8.7.4.1. Erstarrungsphase	464
8.7.4.2. Der 1. Trockenabschnitt	465
8.7.4.3. Der 2. Trockenabschnitt (Endtrocknung)	465
8.7.5. Trocknungsapparate	465
8.8. Trocknen von Klärschlamm	467
8.8.1. Probleme und Möglichkeiten der Klärschlamm Entsorgung	467
8.8.2. Konditionierung in Hinblick auf die Verbrennung	469
8.8.3. Energierückführung durch Trocknung	473
8.8.4. Trocknungsverfahren	474
8.8.4.1. Direkte Trocknung	474
8.8.4.2. Indirekte Trocknung	474
8.8.5. Betriebskosten mit und ohne Vortrocknung	476
9. Trocknen von Grundstoffen	478
9.1. Trocknen von Gips und Gipszeugnissen	478
9.1.1. Gips	478
9.1.1.1. Begriffsbildung	478
9.1.1.2. Verwendung	478
9.1.1.3. Naturgips	479
9.1.1.4. Abfallgipse	480
9.1.1.4.1. Entstehung und Verwendung	480
9.1.1.4.2. Trocknung	481
9.1.1.4.3. Trockner	483
9.1.1.4.4. Leistungsdaten der Trockner	483
9.1.1.4.5. Besondere Gesichtspunkte	486
9.1.1.5. Trocknung von α -Halbhydrat	486
9.1.2. Gipszeugnisse	487
9.1.2.1. Allgemeines	487
9.1.2.2. Gipskartonplatten	489
9.1.2.2.1. Herstellung von Gipskartonplatten	489
9.1.2.2.2. Trocknung	491
9.1.2.2.3. Trockner	492
9.1.2.3. Gipsfaserplatten und Gipsspanplatten	494
9.1.2.3.1. Herstellung und Trocknung von Gipsfaserplatten	494
9.1.2.3.2. Herstellung und Trocknung von Gipsspanplatten	496
9.1.2.3.3. Trockner	498

9.1.2.4. Gipswandbauplatten/Gipsformkörper	499
9.1.2.4.1. Herstellung	499
9.1.2.4.2. Trocknung	499
9.1.2.4.3. Trockner	501
9.2. Trocknen von Kalk, Sand, Steine, Erden und Torf	503
9.2.1. Kalk	503
9.2.1.1. Begriffsbildung	503
9.2.1.2. Verwendung	503
9.2.1.3. Kalksteinmehle	504
9.2.1.4. Kalkabfallschlämme	505
9.2.1.5. Kalkbeschichtungen	505
9.2.1.6. Trockenhydrate	505
9.2.1.7. Kalkbaustoffe	505
9.2.2. Sonstige anorganische Baustoffe	506
9.2.3. Steine/Sand	508
9.2.3.1. Trocknung	509
9.2.3.2. Trockner	509
9.2.4. Erden	510
9.2.4.1. Trocknung	511
9.2.4.2. Trockner für naßaufbereitete Tonminerale	511
9.2.5. Torf	511
9.2.5.1. Torfgewinnung	511
9.2.5.2. Trocknung	512
9.3. Trocknen von Kohle	514
9.3.1. Technologische Eigenschaften	514
9.3.1.1. Entstehung und Vorkommen	514
9.3.1.2. Chemisches und physikalisches Verhalten	515
9.3.1.3. Brenn- und Explosionsverhalten	515
9.3.2. Trocknung von Braunkohlen	519
9.3.2.1. Indirekte Trocknung	521
9.3.2.2. Direkte Trocknung	522
9.3.2.3. Mahltrocknung	523
9.3.3. Trocknung von Steinkohlen	526
9.3.3.1. Steinkohlenaufbereitung	526
9.3.3.2. Eigenschaften	527
9.3.3.2.1. Trocknungsverhalten	527
9.3.3.2.2. Wasserdampfsorption	527
9.3.3.3. Verfahren	528
9.3.3.3.1. Trocknungsverfahren in der Steinkohlenaufbereitung	528
9.3.3.3.2. Verfahren zum Trocknen und Vorerhitzen von Koks kohlen vor der Verkokung	532
10. Trocknen in der keramischen Industrie	536
10.1. Stoffliche Grundlagen	536
10.2. Veränderungen der keramischen Güter beim Trocknen	539
10.2.1. Thermische Veränderungen	539
10.2.2. Wanderung gelöster Stoffe	540
10.2.3. Schwinden und Reißen der Formlinge	540
10.3. Anforderungen der keramischen Massen an den Trocknungsprozeß	542
10.3.1. Der Ablauf der Trocknung von keramischen Massen	542
10.3.2. Maßnahmen zur Verhinderung von Trockenrissen und Verformungen ..	545
10.4. Trocknungsanlagen für die Produktion keramischer Güter	548
10.4.1. Energieaufwand zur Trocknung keramischer Massengüter	548

10.4.2. Trocknen in Ziegeleien	550
10.4.2.1. Verfahren	550
10.4.2.2. Kammertrockner	552
10.4.2.3. Durchlauftrockner	553
10.4.2.4. Sonstige Trockner	554
10.4.3. Trocknen bei der Herstellung von feuerfesten Steinen	555
10.4.4. Trocknen in der Steinzeugröhrenindustrie	555
10.4.5. Trocknen in der Fliesenindustrie	557
10.4.6. Trocknen in der Porzellanindustrie	558
11. Trocknen von organischen Beschichtungsstoffen	561
11.1. Einführung	561
11.1.1. Aufgabe von organischen Beschichtungen	561
11.1.2. Einteilung der Beschichtungsträger	562
11.2.3. Beschichtungsverfahren	562
11.1.4. Der Begriff der Trocknung bei organischen Beschichtungen	562
11.2. Organische Beschichtungsstoffe und ihre Trocknung	564
11.2.1. Bestandteile und ihre Funktion	564
11.2.2. Mechanismen der Trocknung	565
11.3. Trocknungsanlagen	566
11.3.1. Einteilung der Trockner	566
11.3.2. Trocknen in Konvektions- und Infrarotöfen	567
11.3.3. Trocknen mit Elektronenstrahlen und UV-Strahlen	569
11.4. Der Trocknungsprozeß am Beispiel der Metalleffektlackierung	569
11.4.1. Aufbau einer Metalleffektlackierung	569
11.4.2. Trocknen des Metallic-Basislacks	569
11.4.3. Trocknen des Klarlacks	573
Anhang: Geschichtliche Entwicklung der Trocknungstechnik	575
Literatur	577
Sachverzeichnis	616