
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Anwendungsbereiche der Bandtrocknung	2
1.3	Einteilung der Bandtrockner	5
1.4	Zusammenfassung	15
	Literatur	16
2	Grundlagen der Trocknung	17
2.1	Massenbilanz bei kontinuierlichen Bandtrocknern	17
2.2	Grundlagen der Konvektionstrocknung	21
2.2.1	Trocknungsverlauf und -abschnitte der Konvektionstrocknung	24
2.2.2	Wärme- und Stoffübergang	27
2.2.3	Darstellung im Mollier-Diagramm für feuchte Luft	35
2.2.4	Einfluss von Trocknungsparametern und Güteigenschaften auf die Trocknungsgeschwindigkeit	58
2.2.5	Arten der Luftführung	59
2.2.6	Allgemeine Gleichung zur Ermittlung der Trocknungszeit für die Warmlufttrocknung nach Fabricius	85
2.2.7	Einflussfaktoren auf die Gleichmäßigkeit der Warmlufttrocknung	87
2.2.8	Widerstand von Produktschüttungen bei der Durchströmungstrocknung	92
2.3	Grundlagen der Kontaktstrocknung unter Atmosphärendruck	97
2.4	Grundlagen der Trocknung unter Vakuum	101
2.4.1	Vakuumkontaktstrocknung	101
2.4.2	Vakuumkonvektionstrocknung	107
2.5	Grundlagen der Strahlungstrocknung	107
2.5.1	Grundlagen der Hochfrequenz- und Mikrowellenerwärmung	110
2.5.2	Infrarottrocknung	120

2.6	Grundlagen der Heißdampftrocknung	123
2.6.1	Druckbereiche	124
2.6.2	Temperaturverlauf	125
2.6.3	Darstellung von Heißdampftrocknungsprozessen im Vits-Diagramm	128
2.6.4	Praktische Daten der Heißdampftrocknung und Anwendungsbeispiel	129
2.6.5	Vor- und Nachteile der Heißdampftrocknung	131
2.7	Energiebilanz am Beispiel eines Warmluft-Bandrockners	133
2.8	Strömungstechnische Gestaltung von Warmluftbandrocknern	149
2.8.1	Anordnung von Heizregistern und Ventilatoren	149
2.8.2	Einbauverluste	149
2.8.3	Verteil- und Glättungsgitter zur Strömungsverbesserung	154
2.8.4	Strömungswiderstandsberechnungen an einem Siebenbandrockner	156
2.9	CFD – Computational Fluid Dynamics (Ansys 2007)	162
2.9.1	Fünfbandrockner für Gewürzkräuter	163
2.9.2	Vierbandrockner für Klärschlamm	165
2.10	Mathematische Modellierung der Warmluftbandrocknung	168
2.10.1	Mehrstufiger Einbandrockner mit sektionaler Kreuz-Umluftführung	169
2.10.2	Einbandrockner mit stufenförmiger Kreuz-Gegenstrom-Luftführung	173
2.11	Zusammenfassung	178
	Literatur	179
3	Praxis der Bandrocknung	185
3.1	Bänder von Bandrocknern	185
3.1.1	Bandarten	186
3.2	Aufbau von Bandrocknungsanlagen für Warmlufttrocknung	208
3.2.1	Produktaufgabevorrichtungen	208
3.2.2	Warmlufterzeuger	221
3.2.3	Ventilatoren für Bandrockner	248
3.3	Aufbau von Bandrocknungsanlagen für Vakuumkontakttrocknung	255
3.4	Aufbau von Bandrocknungsanlagen für Mikrowellen- und Hochfrequenzrocknung	257
3.4.1	Bandrockner mit Hochfrequenzgeneratoren und Komponenten zur HF-Einspeisung sowie Abschirmung	257
3.4.2	Bandrockner mit Mikrowellengeneratoren und Komponenten zur Mikrowellen-Einspeisung sowie Abschirmung	262
3.4.3	Aufbau und Berechnung eines Mikrowellenvakuumbandrockners inklusive Vakuumsystem	281

3.5	Förderung und Lagerung von Trockengut	288
3.6	Messtechnik an Bandtrocknungsanlagen	290
3.6.1	Gas-Temperaturmessung	291
3.6.2	Oberflächentemperaturmessung am Trocknungsgut mittels Pyrometer	294
3.6.3	Gasgeschwindigkeits- und Volumenstrommessung	295
3.6.4	Gasfeuchtemessung	297
3.6.5	Materialfeuchtemessung	297
3.6.6	Druckmessung	301
3.6.7	Messsensoreinbau bei Mikrowellentrocknern	303
3.7	Praxisorientierte Themen der Bandtrocknung	304
3.7.1	Möglichkeiten der Einsparung an thermischer Energie bei Warmluftbandtrocknern	304
3.7.2	Luftentfeuchtung für temperaturempfindliche Produkte	328
3.7.3	Reinigung von Bandtrocknern	331
3.8	Möglichkeiten der Automatisierung	334
3.8.1	Störgrößen des Trocknungsprozesses	335
3.8.2	Regelung über Produktfeuchtemessung	336
3.8.3	Regelung über Abluftfeuchtemessung	339
3.9	An- und Abfahren von Bandtrocknern	340
3.10	Möglichkeiten der Durchsatzsteigerung bei Warmluft-Bandtrocknern	342
3.11	Versuchsanlagen zur Simulation der industriellen Bandtrocknung	346
	Literatur	350
4	Industrielle Bandtrockner in verschiedenen Industriebereichen und ihre Integration in komplette Trocknungslinien	357
4.1	Historische Entwicklung von industriellen Ein- und Mehrbandtrocknern	357
4.2	Bandtrockner in der Lebensmittelindustrie	360
4.2.1	Bandtrockner für Gemüse, Kartoffeln, Zwiebeln und sowie Arznei- und Gewürzpflanzen	360
4.2.2	Bandtrockner für Pasta-Kurzwaren	381
4.2.3	Bandtrockner für Gelatine	383
4.3	Bandtrockner in der chemischen und pharmazeutischen Industrie	385
4.3.1	Mikrowellen-Vakuumbandtrockner für pankreatisches Enzymgemisch	385
4.3.2	Mikrowellenvakuumtrockner für Pflanzenextrakte	388
4.3.3	Atmosphärischer Kontakteinbandtrockner für Lackschlämme	389
4.3.4	Vakuumkontaktbandtrockner für Arzneipflanzenextrakte	391
4.4	Bandtrockner in der Holzindustrie	393
4.4.1	Ein- und Mehrbandtrockner für Holzfurniere	394
4.4.2	Mehrbandtrockner für Sägespäne	396

4.4.3	Einbandtrockner für Sägespäne	399
4.5	Bandtrockner für Klärschlamm	410
4.5.1	Mehrbandtrockner	410
4.5.2	Bandtrockner mit Trockengutrückführung	415
4.5.3	Einbandtrockner in Verbund mit der Zementherstellung	417
4.6	Bandtrockner in der Landwirtschaft	420
4.6.1	Hopfenbandtrockner	420
4.6.2	Grasbandtrockner	429
4.7	Bandtrockner zur Biogasabwärmenutzung	433
4.7.1	Bandtrockner zur Gärresttrocknung	433
4.8	Bandtrockner in der Zuckerindustrie	437
4.8.1	Heißdampfbandtrockner für Zuckerrübenpressschnitzel	437
4.9	Bandtrockner in der Verpackungs- und Grundstoffindustrie	440
4.9.1	Schleifenbandtrockner für Pappen, Kartonagen und Lederfasern	440
4.9.2	Bandtrockner für Bauplatten	441
4.10	Bandtrockner in der Textilindustrie	443
4.10.1	Hochfrequenz-Bandtrockner für Garnspulen	443
4.11	Bandtrockner in der Tierfutterindustrie	446
4.12	Zusammenfassung	447
	Literatur	448
5	Kombinierte Trocknungsverfahren unter Einbindung der Bandtrocknung	453
5.1	Rillenwalzentrocknung von Pasten und Kaolin	453
5.1.1	Pasten	453
5.1.2	Kaolin	456
5.2	Sprühbandtrocknung von Arzneimittelextrakten	457
5.3	Gras- und Zuckerrübenschnitzeltrocknung	459
5.3.1	Grastrocknung als Kombination von Band- und Trommeltrockner	459
5.3.2	Trocknung von Zuckerrübenpressschnitzeln als Kombination von Band- und Trommeltrockner	463
5.4	Zusammenfassung	471
	Literatur	471
6	Wirtschaftliche Abwärme- und Solarenergienutzung in der Bandtrocknung	473
6.1	Abwärmenutzung	473
6.2	Nutzung von Solarenergie	486
6.3	Zusammenfassung	490
	Literatur	490

7 Wirtschaftlichkeit in der Herstellung und im Einsatz	
von Bandtrocknern	493
7.1 Modulbauweise für wirtschaftliche Herstellung von Bandtrocknern	493
7.2 Durchsatz, Investitionskosten und jährliche Betriebszeit	495
7.3 Wirtschaftlichkeitsberechnungen	496
7.3.1 Allgemeine Berechnungen	496
7.3.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Bandtrocknungsanlage in einer Produktionslinie für Holzpellets	497
7.3.3 Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Wärmerückgewinnungsanlage für einen Bandrockner zur Trocknung von Gewürzpflanzen	501
7.3.4 Berechnung der spezifischen Kosten einer Klärschlammbandtrocknung	504
7.4 Energetisch-wirtschaftlicher Vergleich von Vakuumbandtrocknern mit anderen Trocknungsverfahren im Bereich der Lebensmittelindustrie	507
7.5 Zusammenfassung	508
Literatur	509
8 Sicherheit bei Bandtrocknungsanlagen	511
8.1 Brand- und Explosionsschutz (ATEX)	511
8.1.1 Feuchtgutlagerung vor der Trocknung	512
8.1.2 Brand- und Explosionsgefahr bei der Bandtrocknung	515
8.1.3 Trockengutförderung und -lagerung	527
8.1.4 Brand- und Explosionsschutz für Anlagen zur Herstellung von Holzpellets	533
8.1.5 HAZOP	534
8.2 Berühr- und Temperaturschutz sowie Unterdruckbetrieb	535
8.2.1 Berühr- und Temperaturschutz	535
8.2.2 Unterdruckbetrieb	536
8.3 Sicherheit und Strahlungsschutz bei Mikrowellen- und Hochfrequenztrocknern	536
8.4 Zusammenfassung	537
Literatur	538
9 Rechtliche Grundlagen für das Betreiben einer Bandtrocknungsanlage – Arbeitsschutz und Emissionen	539
9.1 Betriebssicherheitsverordnung	539
9.1.1 ATEX 137	539
9.1.2 Lärmemission von Bandtrocknungsanlagen (Aufstellung in der Halle und im Freien)	548

9.2	Bundesimmissionsschutzverordnung BImSchV	550
9.3	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft TA Luft	551
9.3.1	Schadstoffe in der Abluft von Trocknern	551
9.3.2	Abscheidung von Staub	553
9.3.3	Abscheidung von gasförmigen Schad- und Geruchsstoffen	558
9.4	Zusammenfassung	566
	Literatur	567
10	Abnahme von Bandtrocknern	569
10.1	Grundlagen und Voraussetzungen für einen Abnahmeversuch	569
10.2	Bestimmung des Anfangs- und Endfeuchtegehaltes	571
	Literatur	572
11	Trocknung und Qualität	573
11.1	Gemüsetrocknung	578
11.2	Trocknung von Pasta-Kurzwaren	585
11.3	Holzfurniertrocknung	586
11.4	Trocknung von Gips- und Zementfaserplatten	589
11.5	Trocknung von Wickelpappen	590
11.6	Qualitätseinfluss von Aufbereitungsverfahren in der Lebensmittelindustrie	591
11.6.1	Obst und Gemüse	591
11.6.2	Arznei- und Gewürzpflanzen	594
11.7	Schnellkochende Hülsenfrüchte	599
11.8	Zusammenfassung	600
	Literatur	601
12	Forschungs- und Entwicklungsfelder der Zukunft	603
12.1	Minimierung des Energieverbrauchs der energieintensiven Bandtrocknung	603
12.2	Vereinfachung des Bandtrocknerbetriebes	604
12.3	Erhöhung der Sicherheit des Bandtrocknerbetriebes	605
12.4	Verbesserung des Umweltschutzes	605
12.5	Verbesserung der Produktqualität	606
Anhang	607
Formelzeichen	683
Sachwortverzeichnis	687

Praxisbuch Bandtrocknung

Grundlagen, Anwendung, Berechnung

Heindl, A.

2016, XIV, 699 S. 17 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-642-53904-6