
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 Guteigenschaften 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 Kontakttrocknung unter Atmosphärendruck	97
2.4 Grundlagen der Trocknung unter Vakuum	101
2.4.1 Vakuumkontakteertrocknung	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-Bandtrockners	133
2.8	Strömungstechnische Gestaltung von Warmluftbandtrocknern	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 Siebenbandtrockner	156
2.9	CFD – Computational Fluid Dynamics (Ansys 2007)	162
2.9.1	Fünfbandtrockner für Gewürzkräuter	163
2.9.2	Vierbandtrockner für Klärschlamm	165
2.10	Mathematische Modellierung der Warmluftbandtrocknung	168
2.10.1	Mehrstufiger Einbandtrockner mit sektionaler Kreuz-Umluftführung	169
2.10.2	Einbandtrockner mit stufenförmiger Kreuz-Gegenstrom-Luftführung	173
2.11	Zusammenfassung	178
	Literatur	179
3	Praxis der Bandtrocknung	185
3.1	Bänder von Bandtrocknern	185
3.1.1	Bandarten	186
3.2	Aufbau von Bandtrocknungsanlagen für Warmlufttrocknung	208
3.2.1	Produktaufgabevorrichtungen	208
3.2.2	Warmlufterzeuger	221
3.2.3	Ventilatoren für Bandtrockner	248
3.3	Aufbau von Bandtrocknungsanlagen für Vakuumkontakttrocknung	255
3.4	Aufbau von Bandtrocknungsanlagen für Mikrowellen- und Hochfrequenztrocknung	257
3.4.1	Bandtrockner mit Hochfrequenzgeneratoren und Komponenten zur HF-Einspeisung sowie Abschirmung	257
3.4.2	Bandtrockner mit Mikrowellengeneratoren und Komponenten zur Mikrowellen-Einspeisung sowie Abschirmung	262
3.4.3	Aufbau und Berechnung eines Mikrowellenvakuumbandtrockners 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 komplettete Trocknungslinien	357
4.1	Historische Entwicklung von industriellen Ein- und Mehrbandtrocknern	357
4.2	Bandtrockner in der Lebensmittelindustrie	361
4.2.1	Bandtrockner für Gemüse, Kartoffeln, Zwiebeln und sowie Arznei- und Gewürzpflanzen	361
4.2.2	Bandtrockner für Pasta-Kurzwaren	382
4.2.3	Bandtrockner für Gelatine	384
4.3	Bandtrockner in der chemischen und pharmazeutischen Industrie	386
4.3.1	Mikrowellen-Vakuumbandtrockner für pankreatisches Enzymgemisch	386
4.3.2	Mikrowellenvakuumtrockner für Pflanzenextrakte	389
4.3.3	Atmosphärischer Kontakteinbandtrockner für Lackschlämme	390
4.3.4	Vakuumkontaktbandtrockner für Arzneipflanzenextrakte	392
4.4	Bandtrockner in der Holzindustrie	394
4.4.1	Ein- und Mehrbandtrockner für Holzfurniere	395
4.4.2	Mehrbandtrockner für Sägespäne	397

4.4.3	Einbandtrockner für Sägespäne	400
4.5	Bandtrockner für Klärschlamm	411
4.5.1	Mehrbandtrockner	411
4.5.2	Bandtrockner mit Trockengutrückführung	416
4.5.3	Einbandtrockner in Verbund mit der Zementherstellung	418
4.6	Bandtrockner in der Landwirtschaft	421
4.6.1	Hopfenbandtrockner	421
4.6.2	Grasbandtrockner	430
4.7	Bandtrockner zur Biogasabwärmenutzung	434
4.7.1	Bandtrockner zur Gärresttrocknung	434
4.8	Bandtrockner in der Zuckerindustrie	438
4.8.1	Heißdampfbandtrockner für Zuckerrübenpressschnitzel	438
4.9	Bandtrockner in der Verpackungs- und Grundstoffindustrie	441
4.9.1	Schleifenbandtrockner für Pappen, Kartonagen und Lederfasern	441
4.9.2	Bandtrockner für Bauplatten	442
4.10	Bandtrockner in der Textilindustrie	444
4.10.1	Hochfrequenz-Bandtrockner für Garnspulen	444
4.11	Bandtrockner in der Tierfutterindustrie	447
4.12	Zusammenfassung	448
	Literatur	449
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 Zuckerrübenschneidertrocknung	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 Bandtrockner zur Trocknung von Gewürzpflanzen	501
7.3.4 Berechnung der spezifischen Kosten einer Klärschlammabtrocknung	504
7.4 Energetisch-wirtschaftlicher Vergleich von Vakuumtrocknern 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 Wickelpappchen	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