

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung	1
1.2	Anwendungsbereiche der Bandtrocknung	2
1.3	Einteilung der Bandtrockner	5
1.4	Zusammenfassung	15
	Literatur	16
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Trocknung</b>	<b>17</b>
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
<b>3</b>	<b>Praxis der Bandrocknung .....</b>	<b>185</b>
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
<b>4</b>	<b>Industrielle Bandtrockner in verschiedenen Industriebereichen und ihre Integration in komplette Trocknungslinien .....</b>	<b>357</b>
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 Holzfuhrniere .....	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
<b>5</b>	<b>Kombinierte Trocknungsverfahren unter Einbindung der Bandtrocknung .....</b>	<b>453</b>
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
<b>6</b>	<b>Wirtschaftliche Abwärme- und Solarenergienutzung in der Bandtrocknung .....</b>	<b>473</b>
6.1	Abwärmenutzung .....	473
6.2	Nutzung von Solarenergie .....	486
6.3	Zusammenfassung .....	490
	Literatur .....	490

<b>7 Wirtschaftlichkeit in der Herstellung und im Einsatz</b>	
<b>von Bandtrocknern</b>	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 Klärschlammbandtrocknung	504
7.4 Energetisch-wirtschaftlicher Vergleich von Vakuumbandtrocknern mit anderen Trocknungsverfahren im Bereich der Lebensmittelindustrie	507
7.5 Zusammenfassung	508
Literatur	509
<b>8 Sicherheit bei Bandtrocknungsanlagen</b>	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
<b>9 Rechtliche Grundlagen für das Betreiben einer Bandtrocknungsanlage – Arbeitsschutz und Emissionen</b>	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
<b>10</b>	<b>Abnahme von Bandtrocknern .....</b>	<b>569</b>
10.1	Grundlagen und Voraussetzungen für einen Abnahmeversuch .....	569
10.2	Bestimmung des Anfangs- und Endfeuchtegehaltes .....	571
	Literatur .....	572
<b>11</b>	<b>Trocknung und Qualität .....</b>	<b>573</b>
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
<b>12</b>	<b>Forschungs- und Entwicklungsfelder der Zukunft .....</b>	<b>603</b>
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
	<b>Anhang .....</b>	<b>607</b>
	<b>Formelzeichen .....</b>	<b>683</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>687</b>