

Matthias Stieß

Mechanische Verfahrenstechnik- Partikeltechnologie 1

3., vollst. neu bearb. Auflage

Mit 299 Abbildungen und CD-ROM

 Springer

Professor Dr.-Ing. Matthias Stieß
Längerbohlstr. 56
78467 Konstanz
Germany
matthias_stiess@gmx.de

ISBN 978-3-540-32551-2

e-ISBN 978-3-540-32552-9

DOI 10.1007/978/3-540-32552-9

Springer-Lehrbuch ISSN 0937-7433

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Library of Congress Control Number: 2008935621

©2009 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Satz: Digitale Druckvorlage des Autors

Herstellung: VTEX typesetting and electronic publishing services, Vilnius

Einbandgestaltung: WMXDesign, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

9 8 7 6 5 4 3 2 1

springer.de

Vorwort zur 3. Auflage

Die anhaltende Nachfrage nach dem Buch sowie die Fortschritte auf zahlreichen Einzelgebieten seines Themas seit der letzten Auflage haben eine vollständige Neubearbeitung nötig gemacht. Mit Rücksicht auf die Zweibändigkeits des Werkes habe ich die Konzeption im Wesentlichen beibehalten, lediglich die Anordnung der Kapitel ist geringfügig geändert worden. Außerdem sind zwei neue Kapitel hinzugekommen: Eine knappe Darstellung der Ähnlichkeitslehre und Dimensionsanalyse sowie die Zusammenfassung der bisher auf verschiedene Kapitel verteilten fluidmechanischen Grundlagen. Inhaltlich habe ich Bewährtes beibehalten, jedoch an zahllosen Stellen bereinigt oder ergänzt. Größere Veränderungen hat vor allem das Kapitel Partikelmesstechnik erfahren. Dort sind außer der Kurzbeschreibung neuerer Verfahren eine Einführung in die Staubmesstechnik und ein ausführlicher Abschnitt über die Probennahme neu verfasst worden.

Seit der letzten Auflage sind außer zahllosen Beiträgen in Fachzeitschriften einige Monographien zu den behandelten Gebieten erschienen. Zudem gibt es zu vielen Gegenständen neuere – auch internationale – Normen. Beides habe ich, soweit es mir für ein einführendes Lehrbuch angemessen schien, inhaltlich und durch Hinweise auf die weiterführende Literatur berücksichtigt.

Mein Dank geht an Herrn Prof. Dr.-Ing. Siegfried Ripperger für seine zahlreichen hilfreichen gedanklichen Anregungen und faktischen Beiträge, an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Springer-Verlages für die immer sehr angenehme und auch in Zeiten unvorhergesehener Verzögerungen langmütige Zusammenarbeit, vor allem aber an meine Frau Evelyn für alle Ermutigungen und ihre weitherzige und liebevolle Geduld.

Konstanz, im Juli 2008

Matthias Stieß

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Die Ingenieurdisziplin Verfahrenstechnik / Chemieingenieurwesen	1
1.2	Mechanische Verfahrenstechnik	1
1.3	Eigenschafts- und Prozessfunktionen	3
1.4	Inhalt des zweibändigen Lehrwerks	5
	Literatur	6
2	Kennzeichnungen von Partikeln und dispersen Stoffsystemen	9
2.1	Disperse Stoffsysteme	9
2.2	Konzentrationsangaben	10
2.3	Partikelgrößenabhängige Eigenschaften, Kennzeichnung von Einzelpartikeln	11
2.3.1	Geometrische Abmessungen	12
2.3.2	Äquivalentdurchmesser	13
2.3.3	Spezifische Oberfläche	16
2.4	Partikelform, Formfaktoren	17
2.4.1	Allgemeine Definition eines Formfaktors	17
2.4.2	Speziell definierte Formfaktoren	18
2.4.3	Fraktale Dimension	22
2.5	Partikelgrößenverteilungen	25
2.5.1	Allgemeine Darstellung	25
2.5.2	Mittelwerte und spezielle Kenngrößen von Verteilungen	31
2.5.3	Spezielle Verteilungsfunktionen	37
2.5.4	Zusammensetzung mehrerer Verteilungen	51
2.5.5	Umrechnung einer Partikelgrößenverteilung auf ein anderes Feinheitsmerkmal	52
2.5.6	Umrechnung einer Partikelgrößenverteilung in eine andere Mengenart	53
2.5.7	Allgemeine Darstellung von integralen Mittelwerten einer Verteilung (statistische Momente)	56
2.5.8	Verteilungen bei besonderen Partikelformen	58

2.6	Kennzeichnung von porösen Stoffsystemen	59
2.6.1	Porosität	61
2.6.2	Porenweite, Porenweitenverteilung	67
2.6.3	Dichte poröser Stoffsysteme	68
2.6.4	Kennzeichnungen des Flüssigkeitsinhalts poröser Stoffsysteme	70
2.7	Haftkräfte	72
2.7.1	Haftkräfte in gasförmiger Umgebung	77
2.7.2	Haftkräfte in flüssiger Umgebung	78
	Aufgaben zu Kapitel 2	80
	Literatur	94
3	Ähnlichkeitslehre und Dimensionsanalyse	97
3.1	Ähnlichkeit	97
3.2	Dimensionslose Kennzahlen	99
3.3	Das Π -Theorem (Buckingham-Theorem)	100
3.4	Bestimmung dimensionsloser Kennzahlen	101
	Literatur	104
4	Fluidmechanische Grundlagen	105
4.1	Kräfte auf Partikeln im Fluid	105
4.1.1	Massenkräfte	106
4.1.2	Oberflächenkräfte	106
4.1.3	Diffusionskräfte	110
4.1.4	Elektrische und magnetische Feldkräfte	111
4.2	Partikelbewegung im Schwerfeld	112
4.2.1	Partikelbewegung im ruhenden Fluid	112
4.2.2	Partikelbewegung im stationär strömenden Fluid	116
4.2.3	Beschleunigte Bewegung	119
4.2.4	Einflüsse auf die Sinkgeschwindigkeit	124
4.3	Partikelbewegung im Zentrifugalfeld	128
4.3.1	Partikelbewegung im Starrkörperwirbel	129
4.3.2	Partikelbewegung in der Wirbelsenke	131
4.4	Benetzung, Kapillarität, Flüssigkeitsbindung	134
4.4.1	Benetzung	134
4.4.2	Kapillarität	136
4.4.3	Flüssigkeitsbindung und Sättigungsgradbereiche	138
4.4.4	Ent- und Befeuchten, Kapillardruckkurve	140
4.5	Durchströmung von porösen Schichten	143
4.5.1	Allgemeiner dimensionsanalytischer Ansatz für die Durchströmungsgleichung	144
4.5.2	Empirische Durchströmungsgleichungen	146
	Aufgaben zu Kapitel 4	152
	Literatur	160

5	Partikelmesstechnik	161
5.1	Einführung	161
5.2	Siebverfahren	161
5.2.1	Grundlagen	162
5.2.2	Trockene Vibrationssiebung	164
5.2.3	Luftstrahlsiebung und Nasssiebung	165
5.3	Sedimentationsverfahren	166
5.3.1	Sinkgeschwindigkeit als Feinheitsmerkmal	166
5.3.2	Systematik der Sedimentationsverfahren	167
5.3.3	Inkrementalverfahren	168
5.3.4	Kumulativverfahren	171
5.3.5	Sedimentation im Zentrifugalfeld	173
5.4	Optische Verfahren, Zählverfahren	175
5.4.1	Abbildende Verfahren, Bildauswertung	175
5.4.2	Streulichtverfahren	178
5.4.3	Nichtoptische Zählverfahren nach dem Feldstörungsprinzip	185
5.5	Partikelgrößenmessung im Nanometerbereich	186
5.5.1	Elektronenmikroskopie	187
5.5.2	Dynamische Lichtstreuung (PCS, QELS)	188
5.5.3	Ultraschallspektroskopie	190
5.5.4	Elektroakustische Spektroskopie	191
5.5.5	Thermische Feldflussfraktionierung	191
5.5.6	Kondensationskernzähler (CPC, CNC)	193
5.5.7	Diffusionsbatterie	194
5.5.8	Elektrostatischer Klassierer (DMA,) und Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)	195
5.5.9	Laserinduzierte Inkandescenz (LII)	196
5.6	Staubmesstechnik	197
5.6.1	Allgemeines	197
5.6.2	Probennahme für die Staubmesstechnik	200
5.6.3	Messprinzipien und Geräte	202
5.7	Oberflächenmessung	208
5.7.1	Äußere und innere Oberfläche	208
5.7.2	Gasadsorptionsverfahren	209
5.7.3	Durchströmungsverfahren	212
5.7.4	Fotometrisches Verfahren	214
5.8	Porosimetrie	215
5.8.1	Bestimmung der Porosität	215
5.8.2	Messung von Porengrößen und Porengrößenverteilungen	216
5.9	Probennahme und Probenvorbereitung	219
5.9.1	Allgemeine Problematik	219
5.9.2	Probennahme und Probenvorbereitung für die Partikelmesstechnik	231
5.9.3	Probennehmer und Probenteiler	242
	Aufgaben zu Kapitel 5	245
	Literatur	258

6	Mechanische Trennverfahren I – Trockenklassieren	261
6.1	Allgemeines zu den mechanischen Trennverfahren	261
6.1.1	Merkmale	261
6.1.2	Grundprinzip der mechanischen Trennungen	263
6.2	Kennzeichnung der Klassierung	263
6.2.1	Begriffe und Definitionen	263
6.2.2	Reihen- und Parallelschaltung von Klassierern	272
6.2.3	Praktische Bestimmung von Trenngradkurven	277
6.3	Siebklassieren	285
6.3.1	Grundaufgaben des Siebens	285
6.3.2	Grundlagen des Schwerkraftsiebens	287
6.3.3	Weitere Siebungsarten, Siebhilfen	298
6.3.4	Bauarten von Siebmaschinen	301
6.4	Strömungsklassieren – Windsichten	305
6.4.1	Aufgaben des Windsichtens	305
6.4.2	Sichtprinzipien und Trenneigenschaften	306
6.4.3	Zur Technik des Windsichtens	311
6.4.4	Bauarten von Windsichtern	314
	Aufgaben zu Kapitel 6	320
	Literatur	329
7	Feststoffmischen und Rühren	331
7.1	Übersicht über Mischverfahren und Mischmechanismen	331
7.2	Statistische Kennzeichnung und Beurteilung der Mischung	333
7.2.1	Kennzeichnung der Mischung	333
7.2.2	Beurteilung der Mischung	342
7.3	Mischgüteuntersuchungen	349
7.3.1	Zeitlicher Mischgüteverlauf	349
7.3.2	Probennahme	351
7.3.3	Zusammenfassende Regeln zur Mischgütebestimmung und Beispiel	363
7.4	Feststoffmischverfahren	366
7.4.1	Mischbewegungen, Entmischung	366
7.4.2	Bauarten von Feststoffmischern	367
7.4.3	Leistungsbedarf von Feststoffmischern	378
7.5	Rühren	379
7.5.1	Grundaufgaben des Rührens	379
7.5.2	Bauformen von Rührwerken und Rührern	381
7.5.3	Leistungsbedarf von Rührern	389
7.5.4	Verfahrenstechnische Grundlagen zu den Rühraufgaben	395
7.5.5	Modellübertragung (Scale-up)	422
7.6	Statisches Mischen	429
7.6.1	Bauformen und Mischmechanismen	430
7.6.2	Berechnungsgrundlagen für statische Mischer	432
	Aufgaben zu Kapitel 7	436
	Literatur	446

8	Lagern und Fließen von Schüttgütern	449
8.1	Aufgabenstellungen	449
8.2	Das Schüttgut als Kontinuum	451
8.3	Ruhende Schüttgüter	451
8.3.1	Janssen-Theorie	452
8.3.2	Schüttgutkennwerte für Silolasten	454
8.4	Fließende Schüttgüter	457
8.4.1	Spannungszustand und Fließkriterien	457
8.5	Messung von Fließorten	464
8.6	Ausfließen von Schüttgütern aus Silos und Bunkern	469
8.6.1	Fließprofile	469
8.6.2	Auslegung von Massenfluss-Silos	470
8.6.3	Auslegung des Auslaufs gegen Brückenbildung	472
8.6.4	Auslegungsgang und Beispiel	477
	Aufgaben zu Kapitel 8	481
	Literatur	485
	Index	487