

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Matthias Stieß

Mechanische Verfahrens- technik 1

Zweite, neubearbeitete Auflage
mit 198 Abbildungen



Springer

Professor Dr.-Ing. Matthias Stieß

Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg

Fachbereich Verfahrenstechnik

Postfach 210 320

90121 Nürnberg

ISBN 978-3-540-59413-0

ISBN 978-3-662-08600-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-08600-1

CIP-Eintrag beantragt

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 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.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1995

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch 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.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Reproduktionsfertige Vorlage des Autors

60/3111 - 5 - Gedruckt auf säurefreiem Papier SPIN: 11327608

Vorwort zur 2. Auflage

Die erfreulich gute Aufnahme des vorliegenden Lehrbuchs an Fachhochschulen und Universitäten machte eine Neuauflage schon nach knapp zwei Jahren nötig. Das war Anlaß, nicht nur etliche kleine Druckfehler und Irrtümer auszumerzen, sondern auch viele Ergänzungen anzubringen und an einigen Stellen weitergehende umfangreiche Änderungen vorzunehmen. So wurden die Grundlagen der Schüttgutmechanik überarbeitet, die statistische Kennzeichnung und Bewertung von Mischungen nahezu gänzlich neu abgefaßt und beim Klassieren notwendige Erweiterungen angebracht. Auch die Beispiele und Aufgaben wurden überprüft, teilweise verändert und durch zusätzliche ergänzt.

Hilfreich waren dabei die zahlreichen Hinweise von Studenten und Fachkollegen, von denen ich die Herren Prof. Dr.-Ing. Hans H. Gildemeister und Prof. Dr.-Ing. Karl Sommer hervorheben möchte. Ganz besonders dankbar bin ich aber meinem Kollegen Prof. Dr.-Ing. Hans Peter Kurz, der das ganze Buch einer kritischen Durchsicht unterzogen und ungezählte beherzigenswerte Verbesserungsvorschläge gemacht hat. Auch in Zukunft nehme ich Hinweise zu notwendigen oder wünschenswerten Änderungen gerne an. Meiner Frau Evelyn danke ich von Herzen für die jahrelange Geduld mit dem Buchschreiber und für's intensive Korrekturlesen.

Schließlich bleibt mir noch, mich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Springer-Verlags für die stets erfreuliche und gute Zusammenarbeit herzlich zu bedanken.

Lauf a. d. Pegnitz, Mai 1995

Matthias Stieß

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
2 Partikeln und disperse Systeme	4
2.1 Disperse Systeme	4
2.2 Feinheitsmerkmale, Partikelgrößen	5
2.2.1 Geometrische Abmessungen	5
2.2.2 Die Sinkgeschwindigkeit als Feinheitsmerkmal	6
2.2.2.1 Kräfte auf Partikeln im Fluid	7
2.2.2.2 Sinkgeschwindigkeit im Schwerfeld	11
2.2.2.3 Sinkgeschwindigkeit im Zentrifugalfeld	13
2.2.2.4 Dimensionslose Darstellung (Ω -Ar- bzw. W^* - D^* -Diagramm)	15
2.2.3 Äquivalentdurchmesser	17
2.2.3.1 Geometrische Äquivalentdurchmesser	18
2.2.3.2 Physikalische Äquivalentdurchmesser	19
2.2.4 Spezifische Oberfläche	20
2.3 Partikelform, Formfaktoren	21
2.4 Partikelgrößenverteilungen	25
2.4.1 Allgemeine Darstellung	25
2.4.2 Mittelwerte, spezielle Kenngrößen von Verteilungen	32
2.4.3 Spezielle Verteilungen	36
2.4.3.1 Potenzfunktion	37
2.4.3.2 Logarithmische Normalverteilungsfunktion	40
2.4.3.3 RRSB-Funktion	46
2.4.3.4 Vergleich der drei speziellen Verteilungen	49
2.4.4 Ergänzungen zur Darstellung von Partikelgrößenverteilungen	50
2.4.4.1 Zusammensetzung mehrerer Verteilungen	50
2.4.4.2 Umrechnung einer Partikelgrößenverteilung auf ein anderes Feinheitsmerkmal	51
2.4.4.3 Umrechnung von einer Mengenart in eine andere	52
2.4.4.4 Allgemeine Darstellung von integralen Mittelwerten einer Verteilung (statistische Momente)	54
2.5 Haftkräfte zwischen Partikeln	56
2.5.1 Haftkräfte in gasförmiger Umgebung	57
2.5.2 Haftkräfte in flüssiger Umgebung	62
2.6 Poröse Systeme	64
2.6.1 Porosität	64
2.6.2 Porenweite	67
2.6.3 Mittlere Dichte (Schüttgutdichte)	68
2.6.4 Packungsstruktur	69
2.7 Aufgaben zu Kapitel 2	69

3 Meßverfahren der Partikelgrößenanalyse	85
3.1 Probennahme, Probenteilung, Fehlerarten	85
3.2 Analysenklassierverfahren (Siebung und Sichtung)	91
3.2.1 Analysensiebung	91
3.2.2 Analysensichtung	93
3.3 Sedimentationsverfahren	97
3.3.1 Sinkgeschwindigkeit als Feinheitsmerkmal	97
3.3.2 Systematik der Sedimentationsverfahren	98
3.3.3 Inkrementalverfahren	99
3.3.4 Kumulativverfahren	102
3.4 Optische Verfahren, Zählverfahren	105
3.4.2 Streulichtverfahren	107
3.4.2.1 Streuungsmessung am Einzelteilchen	107
3.4.2.2 Streuungsmessung an Partikelkollektiven (Laserbeugungsverfahren)	110
3.4.2.3 Extinktionsmessung	112
3.4.3 Nichtoptische Zählverfahren nach dem Feldstörungsprinzip	113
3.4.4 Mindestprobengröße bei Zählverfahren	115
3.5 Oberflächenmessung	119
3.5.1 Gasadsorptionsverfahren	120
3.5.2 Durchströmungsverfahren	123
3.5.3 Fotometrisches Verfahren	124
3.6 Aufgaben zu Kapitel 3	125
4 Lagern und Fließen von Schüttgütern	132
4.1 Aufgabenstellungen	132
4.2 Das Schüttgut als Kontinuum	133
4.3 Ruhende Schüttgüter	134
4.4 Fließende Schüttgüter	139
4.4.1 Spannungszustand und Fließkriterien	139
4.4.1.1 Spannungszustand	139
4.4.1.2 Fließkriterien	145
4.4.2 Ausfließen von Schüttgütern aus Silos und Bunkern	151
4.4.2.1 Flußtypen	151
4.4.2.2 Brückenbildung	153
4.4.2.3 Auslegungsgang und Beispiel	160
4.5 Aufgaben zu Kapitel 4	163
5 Feststoffmischen und Rühren	168
5.1 Übersicht über die Mischverfahren	168
5.2 Statistische Kennzeichnung und Beurteilung der Mischung	170
5.2.1 Kennzeichnung der Mischung	170
5.2.1.1 Mischungszusammensetzung und Mischgüte (Mittelwert und Varianz)	170
5.2.1.2 Mischungszustände	172

5.2.1.3	Weitere Mischgütemaße	177
5.2.2	Beurteilung der Mischung	179
5.2.2.1	Vertrauensbereich des Mittelwerts	179
5.2.2.2	Verteilung und Vertrauensbereich der Varianz	181
5.2.2.3	Varianz der Meßungenauigkeiten	185
5.3	Mischgüteuntersuchungen	186
5.3.1	Zeitlicher Mischgüteverlauf	186
5.3.2	Probennahme	190
5.3.2.1	Ort und Häufigkeit der Probennahme	190
5.3.2.2	Probengröße	191
5.3.2.3	Erforderliche Anzahl der Proben	195
5.3.2.4	Kunden- und Produzentenrisiko	195
5.3.2.5	Zusammenfassende Regeln zur Mischgütebestimmung und Beispiel	201
5.4	Feststoffmischverfahren	204
5.4.1	Mischbewegungen, Entmischung	204
5.4.2	Bauformen von Feststoffmischern	206
5.4.2.1	Übersicht	206
5.4.2.2	Mischer mit bewegtem Mischbehälter	208
5.4.2.3	Mischer mit bewegten Mischwerkzeugen in feststehendem Behälter	209
5.4.2.3	Pneumatische Mischer	211
5.4.2.4	Mischbetten, Mischhalden	214
5.4.3	Leistungsbedarf von Feststoffmischern	215
5.5	Rühren	217
5.5.1	Grundaufgaben des Rührens	217
5.5.2	Bauformen von Rührwerken und Rührern	219
5.5.3	Leistungsbedarf von Rührern	226
5.5.4	Verfahrenstechnische Grundlagen zu den Rühraufgaben	231
5.5.4.1	Homogenisieren	232
5.5.4.2	Suspendieren	236
5.5.4.3	Emulgieren	241
5.5.4.4	Begasen	243
5.5.4.5	Wärmeaustausch	250
5.5.5	Modellübertragung (Scale-up)	253
5.6	Statisches Mischen	261
5.6.1	Bauformen und Mischmechanismen	261
5.6.2	Berechnungsgrundlagen für statische Mischer	263
5.7	Aufgaben zu Kapitel 5	266
6	Klassieren	276
6.1	Allgemeines zu den mechanischen Trennverfahren	276
6.2	Kennzeichnung der Klassierung	278
6.2.1	Begriffe und Definitionen	278

6.2.2	Trenngradkurve bei Reihen- und Parallelschaltung von Klassierern	287
6.2.3	Praktische Bestimmung von Trenngradkurven	292
6.2.3.1	Differenzenformel	292
6.2.3.2	Fehlerkorrektur der Trenngradkurve	294
6.2.3.3	Berechnung von Gesamt- und Teil-Massenausbringen aus Trenngradkurve und Aufgabegut-Verteilung	296
6.3	Siebklassieren	300
6.3.1	Grundaufgaben des Siebens	300
6.3.2	Grundlagen des Schwerkraftsiebens	301
6.3.2.1	Grundvorgänge	301
6.3.2.2	Einzelkorndynamik	303
6.3.2.3	Durchtrittswahrscheinlichkeit	306
6.3.2.4	Trenngrenze, Trennschärfe, Siebgütegrad	308
6.3.2.5	Durchsatzabschätzung bei kontinuierlicher Siebung	309
6.3.2.6	Bestimmung der Siebfläche	311
6.3.3	Weitere Siebungsarten, Siebhilfen	313
6.3.4	Bauarten von Siebmaschinen	316
6.4	Fluidmechanische Grundlagen der Strömungsklassierung	320
6.4.1	Partikelbewegung im Schwerkraftfeld	320
6.4.1.1	Partikelbewegung in stationärer senkrechter Aufwärtsströmung	320
6.4.1.2	Partikelbewegung in geradliniger stationärer Strömung beliebiger Richtung	321
6.4.2	Partikelbewegung im Fliehkraftfeld	323
6.5	Windsichten	331
6.5.1	Aufgaben des Windsichtens	331
6.5.2	Sichtprinzipien	331
6.5.3	Bauarten von Windsichtern	335
6.6	Aufgaben zu Kapitel 6	342
	Literaturverzeichnis	351
	Stichwortverzeichnis	355

Inhaltsübersicht Band 2:

- 7 Partikelabscheidung aus Gasen**
- 8 Fest-Flüssig-Trennen**
- 9 Agglomerieren**
- 10 Zerkleinern**
- 11 Wirbelschichten und pneumatische Förderung**