

# **Mechanische Verfahrenstechnik**

von Prof. Dr.-Ing. Hans Rumpf

Mit 95 Bildern und 12 Tabellen

J. Gaube



Carl Hanser Verlag  
München Wien 1975

Leser, der mehr an einem allgemeinen Überblick und weniger an konkreter formelmäßiger Darstellung interessiert ist, kann über die Formeln hinweglesen. Er wird auch dann einen Einblick in die Fragestellungen und die wissenschaftlich-methodische Erschließung der Mechanischen Verfahrenstechnik gewinnen können.

Für Diskussionen und konkrete Mitarbeit danke ich zahlreichen Mitarbeitern des Institutes. Sie sind bei den einzelnen Kapiteln genannt. Die Herren Dipl.-Ing. W. Gleißle und Dipl.-Ing. G. Schädel haben für die formale Fertigstellung des Manuskriptes und die Herstellung der Bilder gesorgt und insgesamt wertvolle Hilfe geleistet.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einführung . . . . .	1
1.1. Abgrenzung der Mechanischen Verfahrenstechnik . . . . .	1
1.2. Aufgaben der Mechanischen Verfahrenstechnik . . . . .	2
1.3. Hauptgebiete und Vorgänge . . . . .	4
2. Kennzeichnung der Systemzustände und Zustandsänderungen . . . . .	6
2.1. Disperse Systeme . . . . .	6
2.2. Kennzeichnung und Darstellung von Partikelkollektiven . . . . .	8
2.21. Dispersitätsgröße, Feinheitkennwert . . . . .	8
2.22. Äquivalentdurchmesser . . . . .	9
2.23. Partikelform . . . . .	11
2.24. Allgemeine Darstellung von Partikelkollektiven . . . . .	12
2.25. Die <i>Gaußsche</i> Normalverteilung . . . . .	15
2.26. Partikelverteilungen, Approximationen der Verteilungsfunktionen . . . . .	17
2.27. Ähnliche Verteilungen . . . . .	21
2.3. Trennen disperser Systeme . . . . .	22
2.31. Mengenbilanzen . . . . .	22
2.32. Trenngrad und Trennkurve, Trenngrenze, Trennschärfe . . . . .	22
2.4. Mischen disperser Systeme . . . . .	25
2.41. Mischungszustand und Mischgüte . . . . .	25
2.42. Die Varianz der Konzentrationsverteilung während des Mischvorgangs. . . . .	28
2.43. Auswertung von Mischversuchen . . . . .	29
2.5. Packung . . . . .	31
2.51. Systemzustände von Packungen . . . . .	31
2.52. Partikel und Hohlraumssystem . . . . .	32
2.53. Die Packungsstruktur . . . . .	33
2.54. Die Flüssigkeitserfüllung des Hohlraums . . . . .	34

2.55. Kapillardruck und Porosimetrie . . . . .	35
2.56. Von der Packung übertragbare Kräfte . . . . .	38
3. Grundlegende physikalische Vorgänge und Partikelmeßtechnik . . . . .	39
3.1. Die Bewegung von Partikeln in der Strömung . . . . .	39
3.1.1. Die Kräfte auf eine einzelne Partikel. . . . .	39
3.1.2. Die Bewegung einer einzelnen Partikel . . . . .	51
3.1.3. Die Strömungswechselwirkung von Partikeln . . . . .	54
3.2. Strömung durch Packungen . . . . .	57
3.2.1. Dimensionsanalytischer Ansatz . . . . .	57
3.2.2. Empirische Durchströmungsgesetze . . . . .	58
3.3. Mechanik des Fließbettes . . . . .	59
3.3.1. Phänomenologie . . . . .	59
3.3.2. Durchströmungsgesetz . . . . .	62
3.3.3. Stabilität des Fließbettes . . . . .	62
3.4. Kontinuumsmechanik der Packungen, Schüttgutmechanik . . . . .	63
3.4.1. Ruhedruckbeiwert. . . . .	63
3.4.2. Spannungszustand . . . . .	64
3.4.3. Fließkriterien für Packungen . . . . .	65
3.4.4. Auslegung von Bunkern nach <i>Jenike</i> . . . . .	70
3.5. Verformung und Bruch von Feststoffen . . . . .	71
3.5.1. Bruchbedingung . . . . .	72
3.5.2. Verformung und Bruchvorgänge in beanspruchten Partikeln . . . . .	73
3.5.3. Zerkleinerungstechnische Stoffeigenschaften . . . . .	75
3.6. Adhäsion . . . . .	79
3.6.1. Flüssigkeitsbrücken . . . . .	79
3.6.2. <i>Van der Waals</i> -Kräfte (Dispersionskräfte) . . . . .	80
3.6.3. Elektrostatische Kräfte . . . . .	81
3.6.4. Feststoffbrücken . . . . .	81
3.6.5. Vergleich der ersten drei Haftmechanismen und der Einfluß der Oberflächen- rauhigkeit . . . . .	82
3.7. Partikelgrößenmeßtechnik. . . . .	82
3.7.1. Probenahme und Probenteilung . . . . .	86
3.7.2. Dispergierung . . . . .	87
3.7.3. Zählverfahren . . . . .	88
3.7.4. Sedimentationsverfahren . . . . .	89
3.7.5. Trennverfahren . . . . .	91
3.7.6. Oberflächenmeßverfahren . . . . .	92
3.7.7. Porengrößenmessung . . . . .	94

## VIII *Inhaltsverzeichnis*

4. Verfahren . . . . .	95
4.1. Trennverfahren . . . . .	95
4.11. Strömungstrennverfahren . . . . .	96
4.12. Auftriebsortierung . . . . .	102
4.13. Elektrische und magnetische Trennverfahren . . . . .	103
4.14. Trennverfahren unter Ausnutzung der Wandreibung . . . . .	105
4.15. Siebung . . . . .	105
4.16. Kuchenfiltration . . . . .	106
4.2. Mischverfahren . . . . .	108
4.21. Mischen von Gasen . . . . .	108
4.22. Einmischen eines Gases in eine Flüssigkeit (Begasen) . . . . .	109
4.23. Dispergieren einer Flüssigkeit in Gas (Zerstäuben). . . . .	109
4.24. Mischen von Flüssigkeiten . . . . .	110
4.25. Dispergieren von Feststoffen in Gasen . . . . .	111
4.26. Dispergieren von Feststoffen in Flüssigkeiten . . . . .	112
4.27. Mischen von Feststoffen . . . . .	112
4.3. Verfahren der Agglomeration und Koagulation . . . . .	113
4.31. Aufbaugranulation . . . . .	114
4.32. Preßagglomeration . . . . .	115
4.33. Sintern . . . . .	117
4.34. Koagulation . . . . .	118
4.4. Zerkleinerungsverfahren . . . . .	118
4.41. Brecher . . . . .	119
4.42. Wälzmühlen . . . . .	121
4.43. Mühlen mit losen Mahlwerkzeugen . . . . .	122
4.44. Prallzerkleinerungsmaschinen . . . . .	124
4.45. Schneidmühlen . . . . .	126
4.46. Naßmahlung . . . . .	127
4.5. Fördern, Lagern und Dosieren von Schüttgütern . . . . .	128
4.51. Fördern . . . . .	128
4.52. Lagern und Dosieren . . . . .	129
Literaturverzeichnis . . . . .	131
Sachverzeichnis . . . . .	135