Kapitel 1
Einführung

1.1 Die Ingenieurdisziplin Verfahrenstechnik / Chemieingenieurwesen

Die Verfahrenstechnik ist die Ingenieurdisziplin, die sich mit der Behandlung und Umwandlung von Stoffen befasst. Häufig wurde für die Verfahrenstechnik auch die treffendere Bezeichnung Stoffwandlungstechnik vorgeschlagen. Da das Berufsbild des Verfahrensingenieurs seinen Ursprung in der Chemischen Industrie hat, wird sein Arbeitsgebiet auch als Chemie-Ingenieur-Technik bezeichnet. Das entspricht der weltweit benutzten Bezeichnung Chemical-Engineering, im Deutschen auch Chemieingenieurwesen.

Der Begriff *Stoff* ist in der Verfahrenstechnik sehr umfassend zu verstehen, von den organischen und anorganischen Rohstoffen aus der Natur, einschließlich Luft und Wasser, über Baustoffe, Chemikalien, Lebensmittel und andere Verbrauchsgüter bis hin zu den Abfallstoffen der Zivilisation. Die *Behandlungen* und *Umwandlungen* können biologische, chemische, mechanische oder thermische Verfahren anwenden und erfolgen immer mit dem Ziel, End- oder Zwischenprodukte mit gewünschten Eigenschaften zu erzeugen, z.B. Baustoffe mit bestimmten Festigkeiten, als Pulver dosierbare Chemikalien, pharmazeutische Produkte mit vorhersehbaren Wirkungen, schmackhafte und farblich ansprechende Lebensmittel (Produktionstechnik), oder schädliche Stoffe in unschädliche oder wenn möglich in verwertbare Produkte umzuwandeln, z.B. Abluft in saubere Luft bzw. Abwasser in Brauchwasser (Umweltschutztechnik). Als *Ingenieurdisziplin* steht für die Verfahrenstechnik die technisch-wirtschaftliche Realisierung dieser Behandlungen und Umwandlungen in Anlagen, Apparaten und Maschinen im Mittelpunkt der Bemühungen. Das schließt die Anwendung naturwissenschaftlicher und mathematischer Grundlagen ebenso ein wie experimentelle, konstruktive und planerische Aufgaben, und kann die umweltrelevanten Aspekte ebenso wenig wie die betriebs- und volkswirtschaftlichen Erfordernisse außer Acht lassen.

1.2 Mechanische Verfahrenstechnik

Gegenstand der mechanischen Verfahrenstechnik sind alle diejenigen Einwirkungen auf Stoffe, die deren Eigenschaften und Verhalten mit mechanischen Mitteln beeinflussen und verändern. Mechanische Einwirkungen sind vor allem Kräfte, die auf die Stoffe ausgeübt werden: Impulsänderungen, Strömungswiderstände (Reibungs- und Druckkräfte) sowie Kontaktkräfte (Druckkräfte und Haftkräfte). Mit mechanischen Kräften kann man Partikel bis herab zu ca. 1 μm unmittelbar beeinflussen.

M. Stieß, *Mechanische Verfahrenstechnik - Partikeltechnologie* 1,
doi: 10.1007/978-3-540-32552-9, © Springer 2009

Tabelle 1.1 Einteilung der mechanischen Verfahrenstechnik

Zerkleinern	Agglomerieren	mit	Änderung der Partikelgröße
Trennen	Mischen	ohne	
Lagern, Fördern und Dosieren von dispersen Stoffen			
Partikelmesstechnik (Partikelgrößen- und Partikelformanalyse, Staubmesstechnik)			

Tabelle 1.2 Grundoperationen der mechanischen Verfahrenstechnik und einige zugeordnete Bezeichnungen

Zerkleinern Brechen, Mahlen Schneiden, Zerfasern, Desagglomerieren	Agglomerieren Granulieren, Pelletieren, Dragieren, Kompaktieren, Tablettieren, Brikettieren
Trennen Klassieren, Sieben, Sichten, Sortieren, Abscheiden, Klären, Sedimentieren, Filtrieren, Zentrifugieren, Entstauben	Mischen Homogenisieren, Rühren, Feststoffmischen, Kneten, Dispergieren, Emulgieren, Begasen, Zerstäuben

Auch kleinere Partikel werden noch durch äußere Kräfte beeinflusst, jedoch nehmen die Wechselwirkungen zwischen den Partikeln, zwischen den Partikeln und den Wänden sowie mit dem umgebenden Medium mit kleiner werdender Partikelgröße stark zu. Die ablaufenden Vorgänge werden ab diesem Größenbereich daher nicht nur durch die äußere Krafteinwirkung bestimmt.

Es gibt nach Rumpf (1975) [1.10] fünf übergeordnete mechanische Grundverfahren, die sich wie in Tabelle 1.1 gruppieren lassen.

Die letzte Zeile nennt die Partikelmesstechnik als die für die mechanische Verfahrenstechnik spezifische Messtechnik.

Zur Veranschaulichung werden in Tabelle 1.2 einige anwendungstechnische Bezeichnungen zu den Grundoperationen der mechanischen Verfahrenstechnik genannt, ohne dass dabei Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Sie sollen Zuordnungen zeigen und gleichzeitig auf die breite Anwendung dieser Grundoperationen hinweisen.

Beim Zerkleinern und beim Agglomerieren (Kornvergrößerung) wird die Größe von Partikeln, aus denen der zu behandelnde Stoff besteht, gezielt verändert. Von außen aufgebrachte Kräfte bewirken im Inneren von zu zerkleinernden Partikeln so große *Spannungen*, dass der Stoffzusammenhalt durch Brüche zerstört wird. Im Gegensatz dazu müssen bei Kornvergrößerungsverfahren *Haftkräfte* an Kontaktstellen zwischen Partikeln nutzbar gemacht oder verstärkt werden. Dazu sind entweder äußere Kräfte auf das gesamte Produkt aufzubringen (z.B. Pressen) oder durch erzwungene Bewegungen zahlreiche Partikelberührungen zu erzeugen, so dass Bindungsmechanismen zwischen den einzelnen Partikeln wirksam werden können.

Die mechanischen Trennverfahren ebenso wie das Mischen und die Lagerungs- und Transportvorgänge lassen in der Regel die Partikelgrößen unverändert. Hier-

bei sind es vor allem gezielte und zufällige *Bewegungen* einzelner Partikeln oder Partikelgruppen gegeneinander, die in Trenn- und Mischapparaten sowie in Transporteinrichtungen zu den erwünschten Veränderungen der Stoffeigenschaften und -verhaltensweisen führen.

Aus all dem wird deutlich, dass die Stoffe und Stoffsysteme, mit denen sich die mechanische Verfahrenstechnik zu beschäftigen hat, aus Ansammlungen (Kollektiven) sehr vieler Partikeln bestehen. Man nennt sie je nach Zusammenhang Mischkomponenten, Haufwerke, Schüttgüter, Staubwolken, Suspensionen, Schlämme usw.

Allgemein spricht man von *dispersen Stoffen* oder *dispersen Stoffsystemen*. Größtenteils handelt es sich um Feststoffe (Körner), aber auch Flüssigkeiten (als Tröpfchen) oder Gase (als Bläschen) bilden solche Systeme. Das Wort „dispers“ wird im gebräuchlichen Sinn von „(fein) verteilt“ und die Bezeichnung „Partikel“ auch als Oberbegriff für Körner, Tropfen, Blasen oder Mikroorganismen verwendet. Daher bezeichnet man die „Verfahrenstechnik der dispersen Stoffe“ auch als „Partikeltechnologie“. In diesem Rahmen nimmt die mechanische Verfahrenstechnik den Part ein, das Stoffverhalten aufgrund eben dieser „Dispersität“ zu beschreiben und durch mechanische Mittel zu beeinflussen.

1.3 Eigenschafts- und Prozessfunktionen

Nach M. Polke (1993) [1.7] bezeichnet man allgemein als *Qualität* die Fähigkeit eines Produkts, geforderte Produkteigenschaften zu erfüllen. Die damit gemeinten Produkte sind die oben bereits erwähnten Stoffe, beispielsweise Rohstoffe wie Erze und Mineralien, Baustoffe, Brennstoffe, Werkstoffe, Zwischen- und Fertigprodukte der Chemie, der Pharmazie Kosmetik und Lebensmittel. Demgegenüber steht die *Funktionalität* als Fähigkeit eines Produkts, geforderte Funktionen zu erfüllen. Solche Produkte sind z.B. Anlagen, Maschinen und Apparate, Fahrzeuge, Rechner usw.

Von der Seite der Verfahrenstechnik her gesehen, bezieht sich die Qualitätsdefinition auf Produkteigenschaften, die Funktionalität auf Prozesseigenschaften.

Bei den Produkteigenschaften kann man – mit fließenden Grenzen – unterscheiden zwischen, *anwendungstechnischen, verarbeitungstechnischen* und *physikalisch-chemischen* (genauer: Messsignale erzeugenden) Eigenschaften. Die anwendungstechnischen Eigenschaften interessieren den Verbraucher, die verarbeitungstechnischen den Produzenten und die physikalisch-chemischen den mit der Kontrolle, d.h. mit der Messtechnik befassten Ingenieur. Die folgenden wenigen Beispiele dienen zur Veranschaulichung dieser Eigenschaften bei dispersen Stoffen:

Anwendungstechnische Eigenschaften

Baustoff Zement: Verpackungsdichte (Rütteldichte), Abbindezeit, Festigkeit, Schwindungseigenschaft.

Farben und Lacke: Verstreichbarkeit, Farbstärke, Deckungsvermögen, Oberflächencharakteristik.

Pharmazeutika, Kosmetika: Wirksamkeit, Löslichkeit, Bioverfügbarkeit, Verträglichkeit, Freisetzungsrate, Haltbarkeit, Aussehen,

Dünge- und Futtermittel: Handling (Transport, Ausbringen, Dosieren, Staubfreiheit, Festigkeit und Fließverhalten des Schüttguts) Wirksamkeit, Darreichungsformen.

Lebensmittel: Aussehen, sensorische Eigenschaften („mouth feeling", Geruch und Geschmack), Haltbarkeit, Löslichkeit, Verarbeitbarkeit.

Verarbeitungstechnische Eigenschaften

Filtrierbarkeit: Durchströmbarkeit poröser Schichten, Fließverhalten von Suspensionen und Pasten,

Stabilität von Suspensionen und Emulsionen: Absetzverhalten von Suspensionen, Koagulations- und Aufstiegsverhalten von Emulsionen,

Mischbarkeit, Entmischungsverhalten trockener disperser Stoffe: Fließverhalten von Schüttgütern, Rieselfähigkeit, Abriebverhalten, Staubfreiheit,

Mischungsverhalten in Flüssigkeiten: Rühraufwand, rheologische Eigenschaften von Suspensionen und Emulsionen,

Mahlbarkeit: Partikelfestigkeit, Sprödigkeit, Agglomerationsverhalten,

Agglomerationsverhalten: Hafteigenschaften, Feuchte, Verpressbarkeit, Abrieb- und Festigkeitsverhalten.

Physikalisch-chemische Eigenschaften

Dichte, Viskosität, Partikelgrößenverteilung, pH-Wert, Löslichkeit, Lichtstreuverhalten, Temperatur, Konzentration, chemische Zusammensetzung.

Bei dispersen Stoffsystemen ist die Gewährleistung eines bestimmten festgelegten Qualitätsparameters Q_i an die Einhaltung von zahlreichen Eigenschaftsparametern E_i zur Kennzeichnung der einzelnen Phasen, des dispersen Zustandes und der Grenzflächeneigenschaften gekoppelt. Der Zusammenhang

$$Q_i = f(E_1, E_2 \ldots E_j) \tag{1.1}$$

mit Q_i = Qualitätsparameter (qualitätsbestimmende Produkteigenschaft)
E_j = Dispersitätsparameter oder sonstige physikalische Größen
heißt nach Rumpf (1967) [1.9] *Eigenschaftsfunktion*. Borho et al. [1.2]. haben beispielhaft Zusammenhänge zwischen Dispersitätsgrößen und Produkteigenschaften dargestellt und erläutert.

Wenn die Eigenschaftsfunktion bekannt ist, können qualitätsrelevante Eigenschaften der Produkte über die Messung von Dispersitätsgrößen oder anderen physikalischen Größen bestimmt und kontrolliert werden.

Darüber hinaus besteht die Aufgabe, den geforderten Zustand des dispersen Systems mit dem verfahrenstechnischen *Prozess* einzustellen. Hierzu ist es notwendig, den Einfluss von Maschinen-, Apparate- und Prozessparametern P_i auf die charakteristischen Parameter des dispersen Stoffsystems E_i zu kennen. Krekel und R. Polke (1992) [1.4] haben diesen Zusammenhang als *Prozessfunktion* bezeichnet:

$$E_i = f(P_1, P_2 \ldots P_j), \tag{1.2}$$

P_i = Maschinen-, Apparate- und Prozessparameter.

Beispiele für Prozessparameter sind:

- Betriebsweisen (kontinuierlich oder diskontinuierlich),
- Betriebsbedingungen (Drehzahl, Temperatur, Druck, Dauer, Durchsätze, Geschwindigkeiten),
- Maschineneinstellungen,
- Dosierungen, Konzentrationen,
- Produktzufuhren und -entnahmen,
- Reaktionsführung, zeitliche Fahrweisen.

Prozessfunktionen können zum einen aufgrund praktischer Betriebsergebnisse bekannt sein (empirisches Wissen), oder zum anderen auf Basis einer physikalisch/mathematischen Modellierung des Prozesses hergeleitet werden.

Auch im Rahmen der *Produktgestaltung und -entwicklung* kann die Erforschung und Kenntnis von Eigenschafts- und Prozessfunktionen ein wichtiger Baustein sein, und zwar unmittelbar bzgl. solcher Produkte, die aus dispersen Stoffen im weitesten Sinne bestehen, sowie mittelbar bzgl. der Apparate, Maschinen, Anlagen und Fahrweisen zur Herstellung solcher Produkte bis hin zur mathematischen Modellierung der Prozesse. Zahlreiche Beiträge hierzu aus den unterschiedlichsten industriellen und forschungsorientierten Bereichen enthält das Buch von Teipel (2002) [1.13].

1.4 Inhalt des zweibändigen Lehrwerks

Ziel dieses Lehrbuchs ist, dem Lernenden von den Grundlagen her einen Einstieg in die Behandlung der vielfältigen verfahrenstechnischen Aufgaben mit dispersen Stoffen zu vermitteln. Es ist daher sinnvoll, die Darstellung mit der allgemeinen Beschreibung der Partikeln und der dispersen Systeme zu beginnen, und ihre wichtigsten Wechselwirkungen mit dem umgebenden Fluid (Flüssigkeit und Gas) und miteinander (Haftkräfte) zu betrachten (Kap. 2). Dazu werden Grundkenntnisse der Mathematik, insbesondere der Statistik, der technischen Mechanik und der Fluidmechanik vorausgesetzt. Notwendige Ergänzungen zu Letzterer sowie ein kurzer Abriss der Grundlagen der Ähnlichkeitslehre und Dimensionsanalyse werden im Kap. 3 und 4 vermittelt.

Eng mit der Kennzeichnung disperser Stoffe ist die Partikelmesstechnik verknüpft. Sie erfasst quantitativ mit verschiedenen physikalischen Methoden anwendungsrelevante Eigenschaften von Einzelpartikeln und Partikelkollektiven (Kap. 5).

Diese Darstellung wurde gegenüber früheren Auflagen wesentlich erweitert, es sind auch die Nanopartikelmesstechnik, die Staubmesstechnik sowie Probleme der Probennahme und -präparation einbezogen.

In Kap. 6 werden in einem ersten Teil der mechanischen Trennverfahren die Kennzeichnung der Klassierung sowie die „trockenen“ Klassierverfahren Sieben und Sichten behandelt, in Kap. 7 das Mischen von Feststoffen und Flüssigkeiten (Rühren) und in Kap. 8 schließlich die Kennzeichnung der besonderen Eigenschaften von Schüttgütern sowie deren Lager- und Fließverhalten.

Band 2 bringt dann den zweiten Teil der mechanischen Stofftrennverfahren (Staubabscheiden, Fest-Flüssig-Trennen), das Zerkleinern, das Agglomerieren sowie die Wirbelschichttechnik und den pneumatischen Transport.

In den einzelnen Kapiteln werden sowohl die Grundlagen, wie auch darauf beruhende und weiterführende Anwendungen bis hin zu technischen Lösungen behandelt. Natürlich können das nur die sog. Standardlösungen sein. Sie sind absichtlich so allgemein gefasst, dass sie in den sehr unterschiedlichen Branchen, in denen der Verfahrensingenieur tätig werden kann, auf Spezialprobleme übertragbar sind. Zur Vertiefung und Kontrolle sind jedem Kapitel Aufgaben mit Lösungen angefügt. Auf ausführlichere Abhandlungen wird im jeweils zugehörigen Literaturverzeichnis verwiesen.

Als zusammenfassende Darstellungen des Gesamtgebietes seien außer den Büchern von Rumpf (1975) [1.10] und Löffler/Raasch (1992) [1.5] noch diejenigen von Zogg (1987) [1.15], sowie der von Leschonski verfasste Teil „Grundzüge der mechanischen Verfahrenstechnik“ in [1.3] (1986) genannt. Neuere Gesamtdarstellungen wurden von Heinrich Schubert (2003) [1.11] und Bohnet (2004) [1.1] herausgegeben. Im englischsprachigen Raum decken die Bücher von Seville/Tüzün/Clift (1997) [1.12] sowie von Rhodes (1998) [1.8] zum großen Teil den hier behandelten Stoff ab. Fakten zum gesamten Gebiet der Verfahrenstechnik sind in älteren Auflagen der mehrbändigen „Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry“ (1988) [1.14] und in Perry’s Chemical Engineers’ Handbook 1998 [1.6] zu finden.

Literatur

[1.1] Bohnet M (Hrsg) (2004) Mechanische Verfahrenstechnik. Wiley-VCH, Weinheim

[1.2] Borho K, Polke R, Wintermantel K, Schubert Helmar, Sommer K (1991) Produkteigenschaften und Verfahrenstechnik. Chem.-Ing.-Tech. **63**:792–808

[1.3] Dialer K, Onken U, Leschonski K (1986) Grundzüge der Verfahrenstechnik und Reaktionstechnik, Sonderdruck aus Winnacker/Küchler Chemische Technologie, Bd 1. Hanser, München

[1.4] Krekel J, Polke R (1992) Qualitätssicherung bei der Verfahrensentwicklung. Chem.-Ing.-Tech. **64**:528–535

[1.5] Löffler F, Raasch J (1992) Grundlagen der Mechanischen Verfahrenstechnik. Vieweg, Wiesbaden

[1.6] Perry’s Chemical Engineers’ Handbook (1997) McGraw-Hill Book Company, New York, 7th edn.

[1.7] Polke M (1993) Erforderliche Informationsstrukturen für die Qualitätssicherung. Chem.-Ing.-Tech. **65**(7):791–796
[1.8] Rhodes MJ (1998) Introduction to Particle Technology. Wiley, Chichester
[1.9] Rumpf H (1967) Über die Eigenschaften von Nutzstäuben. Staub Reinh. Luft **27**:3–13
[1.10] Rumpf H (1975) Mechanische Verfahrenstechnik. Monographie aus Winnacker-Küchler Chemische Technologie Bd 7, 3. Aufl. Hanser, München
[1.11] Schubert H (Hrsg) (2003) Handbuch der Mechanischen Verfahrenstechnik. Wiley-VCH, Weinheim
[1.12] Seville J, Tüzün U, Clift R (1997) Processing of Particulate Solids. Kluwer Academic, Dordrecht
[1.13] Teipel U (Hrsg) (2002) Produktgestaltung in der Partikeltechnologie. Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart
[1.14] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (1988) Teil B, 5. Aufl. VCH, Weinheim
[1.15] Zogg M (1993) Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik, 3. Aufl. Teubner, Stuttgart

http://www.springer.com/978-3-540-32551-2

Mechanische Verfahrenstechnik - Partikeltechnologie 1
Stieß, M.
2009, XI, 499 S., Softcover
ISBN: 978-3-540-32551-2