

## B DISPERSER STOFFSYSTEME

Wichtige Aufgabenbereiche der Verfahrenstechnik sind zunächst das **Aufbereiten** (Zerkleinern, Mischen oder Vereinigen) von Stoffen.

Diese werden anschließend **umgewandelt**. Die Umwandlungen (z.T. chemische Reaktionen) hängen von der Größe der Kontaktfläche zwischen den benötigten Stoffen ab.

Des Weiteren müssen die Stoffsysteme, die man dabei erhält, noch **aufgearbeitet** (z.B. getrennt) werden.

Man hat daher bei verfahrenstechnischen Herstellungsprozessen meistens mit so genannten **dispersen Systemen** zu tun, wie beispielsweise Suspensionen, Emulsionen, Schüttgüter, Stäube u.a. Die entsprechenden Begriffe sollen in der Folge erläutert werden.

### 1 Begriffserklärung

- **Teilchen = Partikel:** Bezeichnung der einzelnen Elemente ("Stückchen", "Bausteine") eines Stoffes, einer Materie.
- **Phase:** physikalisch gleichartiger Bereich von Materie, innerhalb von dem jedes betrachtete Volumenelement gleiche Zusammensetzung, gleiche Dichte, gleiche Temperatur und gleichen Druck besitzt.
- **Kontinuierliche Phase:** eine Phase, deren Bereiche zusammenhängend sind
- **Homogenes System:** System, das aus einer Phase besteht
- **Heterogenes System:** System, das aus mehreren Phasen besteht, die durch ihre Grenzfläche (Phasengrenze) voneinander getrennt sind
- **Disperses System:** Stoffmenge, das aus mindestens zwei Phasen besteht, der **Dispersionsmittelpfase** und der **dispersen Phase**.  
Das **Dispersionsmittel** besteht aus zusammenhängender Materie, die **disperse Phase** besteht aus mehreren, räumlich getrennten Teilen (mindestens einer Art von Teilchen, die sich nicht alle berühren).
  - **Monodisperses System:** System in dem alle dispersen Teilchen gleiche Größe und Form haben. In der Technik selten vorzufinden.
  - **Polydisperses System:** System in dem die dispersen Teilchen unterschiedliche Größen haben.
- **Schüttgut («produit en vrac»):** Haufwerk aus vielen festen Partikeln (Pulver oder Körner).

Heterogene Gemische von Stoffen lassen sich häufig durch mechanische Trennverfahren (Mechanische Verfahrenstechnik) in ihre homogenen Phasen zerlegen.

Bei homogenen Gemischen bedarf es meistens zusätzlicher Trennverfahren, die häufig mit Temperaturveränderungen (meist Erwärmen) verbunden sind. Dabei wird das

homogene Gemisch in mehrere Teilströme, so genannte Fraktionen, aufgetrennt. Dies ist Aufgabe der Thermischen Verfahrenstechnik.

## 2 Gliederung disperser System

Disperse Systeme werden je nach Aggregatzuständen der beteiligten Phasen unterschiedlich bezeichnet (Abb.1):

Dispersionsmittel (kontinuierliche Phase)	Disperse Phase	Disperses System	Beispiele
Gasförmig	gasförmig	Homogen (vollst. Mischung)	Luft
	flüssig	bis 0,05 mm: Nebel, Spray; größer: Gas-Flüssigkeitsmischung	Haarspray
	fest, ohne gegenseitige Berührung	bis 0,05 mm: Staub, Rauch; größer: Gas-Feststoffmischung	Eiskristalle in den Wolken
	fest, mit gegenseitiger Berührung	Schüttgut, Haufwerk, Packung	Sand
flüssig	gasförmig	Blasensystem, Schaum	Bierschaum
	Flüssig	Emulsion, Dispersion	Milch
	fest, ohne gegenseitige Berührung	Suspension, Dispersion, Trübe	Orangensaft mit Fruchtstücken
	fest, mit gegenseitiger Berührung	Schlamm, Filterkuchen	Klärschlamm
fest	gasförmig	Poröse Feststoffe, feste Schäume	Bimsstein, Tuff, Aktivkohle, Schaumstoff
	flüssig	Poröse, mit Flüssigkeit gefüllte Feststoffe	Mineralien mit flüssigen Einschlüssen, nasser Schwamm
	fest	Feste Solen, Mischkristalle, Verbundwerkstoffe	Stahl (Fe-C-Kristalle), glasfaserverstärkter Kunststoff

Abb.1: Gliederung disperser Systeme (Quellen: E.Müller (Mechanische Trennverfahren) u. M.Zogg (Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik))

Disperse Systeme können aus zwei oder mehreren Stoffen bestehen, wie in den meisten Beispielen in Abb.1 ersichtlich ist.

Sie können jedoch auch aus nur einem Stoff bestehen, der in zwei unterschiedlichen Phasen vorliegt. Ein Beispiel wären kondensierte Tropfen in einem Gas, ein anderes siedendes Wasser (Gasblasen in einer Flüssigkeit).

### 3 Partikelgröße und Eigenschaften

#### 3.1 Partikel in Stoffsystemen

In dispersen Systemen finden sich häufig Partikel (oder Teilchen). Je nach Aggregatzustand verwendet man hierbei unterschiedliche Bezeichnungen (Abb.2).

<b>Aggregatzustand</b>	fest	flüssig	gasförmig (in Flüssigkeit)	gasförmig/flüssig (als Hohlraum)
<b>Partikel = Teilchen</b>	Korn	Tropfen	Blase	Pore

Abb.2: Benennung von Partikeln

In der Mechanischen Verfahrenstechnik ist der **feste Aggregatzustand** besonders wichtig, da bei den meisten Verfahrensschritten Körner vorzufinden sind. Die Bezeichnung **Korn** verwendet man für kleinste Feststoffteilchen hin bis zu Teilchen mit einer Größe von einigen Zentimetern.

In der Thermischen Verfahrenstechnik hat man es häufig mit Flüssigkeiten und Gasen zu tun, dementsprechend treten hier öfter die Begriffe **Tropfen** und **Blase** auf.

#### 3.2 Eigenschaften disperser Systeme

Die Eigenschaften der Partikel (und somit der Phase und des Gemenges) hängen stark von deren **Größe** ab. Betrachtet man zwei disperse Systeme, die sich nur durch die Größe der Partikel der dispersen Phase unterscheiden, so stellt man bei den **kleineren Partikeln** fest:

- Die **Homogenität** des Stoffes nimmt **zu**.
- Die **Festigkeit** der Einzelpartikel und des Stoffes nimmt **zu**.
- Die **Haftkräfte** wirken **stärker** als die Massenkräfte.
- Die **Löslichkeit** und **chemische Reaktionsfreudigkeit** nehmen **zu**.
- Die **Sinkgeschwindigkeit** in Flüssigkeiten und Gasen nimmt **ab**.
- Es sind **weniger Hohlräume** zwischen den Teilchen.
- Der **Durchströmungswiderstand** nimmt **zu**.
- Die Neigung zum **Verklumpen** nimmt **zu**.
- Die **Explosionsgefahr** nimmt **zu**.

Aufgabe der Verfahrenstechnik ist es daher häufig, disperse Systeme mit Partikeln bestimmter Größe herzustellen.

Die Ermittlung der Partikelgröße ist Aufgabe der **Partikelmesstechnik**. Bei festen Stoffen spricht man auch von **Korngrößenanalyse**.

Im nachfolgenden Kapitel 4.1 wird auf die Darstellung der Messergebnisse und die Kennzeichnung der Partikelgröße eingegangen.

## 4 Kennzeichnende Größen disperser Systeme

### 4.1 Partikelgrößenverteilung

In einem dispersen System sind sehr viele Partikel, die nicht alle die gleiche Größe haben. Anhand von Partikelgrößenverteilungen wird in Diagrammen und mit Zahlenwerten beschrieben, wie der kennzeichnende Wert für die Größe über alle Partikel „verteilt“ ist, d.h. wie groß dieser Wert ist und wie er bei den einzelnen Partikeln schwankt.

#### 4.1.1 Korngröße und Form

Die Festlegung der Größe eines einfachen, geometrisch regelmäßig geformten Partikels, wie beispielsweise einer Kugel oder eines Würfels, erfolgt durch Angabe einer kennzeichnenden Abmessung wie Durchmesser oder Kantenlänge.

Die meisten Partikel sind jedoch unregelmäßig geformt, so dass zur Kennzeichnung der Größe ein geeignetes Maß gefunden werden muss. Hierzu wird eine **physikalische Eigenschaft** des Partikels gemessen, die eindeutig auf die Partikelgröße schließen lässt. Als physikalische Größe, die man **Dispersitätsgröße** oder **Feinheitmerkmal** nennt, kann eine der folgenden Eigenschaften ermittelt werden:

- Ein **geometrisches Merkmal** (charakteristische Länge, Oberfläche, Projektionsfläche, Volumen).
- Die **Masse** des Partikels.
- Die **Sinkgeschwindigkeit** des Partikels in einem Fluid (Flüssigkeit oder Gas).
- Die **Intensität von Störungen** eines elektrischen oder magnetischen **Feldes**.

Eine häufige Methode zur Ermittlung der Größe von Feststoffpartikeln ist die **Siebung** oder **Siebanalyse**. Dispersitätsgröße ist hier die **Siebmaschenweite** d.h. die Größe der hohlen Flächen im Sieb, durch die ein Teilchen durchfällt oder zurückgehalten wird.

Bei Kugeln würden sich genaue Durchmesser ergeben, bei unregelmäßig geformten Partikeln spielt die Form der Teilchen eine Rolle.

Weitere bekannte Verfahren sind Sedimentationsverfahren, bei denen die Sinkgeschwindigkeit von Partikeln in einer ruhenden Flüssigkeit gemessen wird.

Allgemein muss man bemerken, dass sich mit **unterschiedlichen Messverfahren** am gleichen Partikel **unterschiedliche Dispersitätsgrößen** ergeben. Diese hängen demzufolge von dem Messverfahren ab. Unterschiedlich ermittelte Dispersitätsgrößen können jedoch anhand von so genannten **Formfaktoren** rechnerisch verglichen werden. Auf diese soll an dieser Stelle jedoch nicht eingegangen werden.

#### 4.1.2 Darstellung des dispersen Zustandes

In der Partikelmesstechnik wird für **viele Partikel** eines dispersen Systems eine bestimmte **Dispersitätsgröße** gemessen. Um das System zu kennzeichnen, betrachtet man die Größe der einzelnen Partikel und deren Schwankungen in so genannten **Partikelgrößenverteilungen**.

Diese charakterisieren das System und lassen auf dessen Eigenschaften schließen.

Partikelgrößenverteilungen werden allgemein graphisch dargestellt (nach DIN 66141), wobei man zwischen **Dichteverteilungen** und **Summenverteilungen** unterscheidet.

### ○ **Summenverteilung**

Summenverteilungen (Abb.3) eines dispersen Systems zeigen den **Mengenanteil**  $Q_i$  an Partikeln, deren **Dispersitätsgröße**  $x$  zwischen dem kleinsten Wert und dem Wert liegt, für den man die Summenverteilung betrachtet.

Die Menge  $Q$  kann dabei unterschiedlich ermittelt werden: die Mengenarten **Anzahl**, **Masse** und **Volumen** werden dabei am häufigsten verwendet.

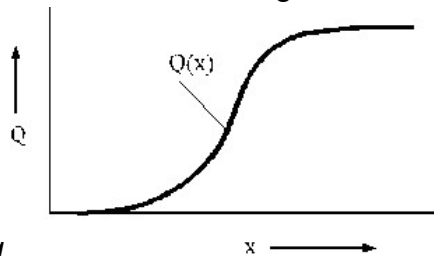


Abb.3: Summenverteilung

Bei einer **Siebanalyse** beispielsweise verwendet man die Mengenart Masse, so dass man von der Massensummenverteilung spricht.

### ○ **Dichteverteilung**

Dichteverteilungen eines dispersen Systems (Abb.4) zeigen, mit welcher **Häufigkeit**  $q$  eine bestimmte Dispersitätsgröße  $x$  vorhanden ist.

Daraus ergeben sich demnach in einem dispersen System die Mengen (z.B. Anzahl, Masse oder Volumen) an Partikeln bestimmter Größen.

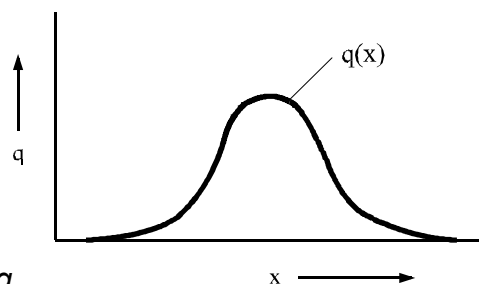


Abb.4: Dichteverteilung

Bei einer **Siebanalyse** bezeichnet man die Verteilung demnach Massenanteildichte(verteilung).

Die gesamte Fläche unter der Dichteverteilung beträgt immer 100% (oder 1).

Der relative Mengenanteil in einem differentiellen d.h. sehr kleinen Teilchenintervall  $dx$  beträgt:

$$dQ = q(x) \cdot dx$$

Der Mengenanteil an Teilchen einer bestimmten Partikelgröße entspricht daher einer Fläche unterhalb der Dichteverteilung.

### 4.1.3 Kennzeichnende Größen

Häufig reicht zur Kennzeichnung eines dispersen Systems die Angabe von einem oder wenigen Zahlenwerten aus. Diese werden aus den Verteilungen ermittelt.

Man unterscheidet zwischen Lageparametern und Streuungsparametern.

#### ○ Lageparameter

Diese geben an, in welchem Größenbereich die Partikel eines dispersen Systems sich hauptsächlich befinden, d.h. wo die Partikelgröße "liegt".

Neben der kleinsten und der größten Partikelgröße interessieren vor allem mittlere Maße, wobei man unter anderem zwischen dem **Modalwert** und dem **Medianwert** unterscheidet.

- Der **Modalwert**  $x_h$  ist die häufigste Partikelgröße.
- Der **Medianwert**  $x_{med}$  oder die Halbwertspartikelgröße. Die Hälfte der Partikel ist größer bzw. kleiner als dieser Wert.

Der Modalwert  $x_h$  und der Medianwert  $x_{med}$  haben normalerweise unterschiedliche Zahlenwerte.

#### ○ Streuungsparameter

Diese sind ein Maß für die Abweichungen aller Partikelgrößen vom Mittelwert, sie beschreiben die „**Breite**“ der **Verteilung**.

Streuungsparameter sagen etwas darüber aus, wie nahe kleinste und größte Partikel am Mittelwert liegen. Sind alle Partikelgrößen eng beieinander, so ist der Streuungsparameter klein. Dann ist der Verlauf der Summenverteilung steil und die Dichteverteilung hat eine schmale und hohe Spitze.

Bei breiten Verteilungen d.h. wenn kleinste und größte Partikel weit auseinander liegen, ist der Streuungsparameter groß. Die Summenverteilung verläuft dann sehr flach und die Dichteverteilung ist sehr breit und niedrig.

## 4.2 Dichte disperser Systeme

Für (Mischungen von) Flüssigkeiten ist die **Dichte** -ebenso wie für Feststoffe- als das Verhältnis von **Masse zu Volumen** definiert.

Bei dispersen Systemen, die aus Phasen mit unterschiedlichen Aggregatzuständen bestehen, ist sie analog definiert. Am häufigsten treten dabei **Schüttgüter** auf, d.h. Haufwerke aus festen Partikeln (oder Körnern) und Luft. Die so genannte **Schüttdichte** oder **scheinbare Dichte** eines Schüttgutes ist demnach wie folgt definiert:

Als **Schüttdichte** oder **scheinbare Dichte** eines Schüttgutes bezeichnet man das Verhältnis der **Masse** des **Schüttgutes** zu seinem **Volumen**.

$$\rho_{s,SG} = \frac{m_{SG}}{V_{SG}}$$

$\rho_{s,SG}$ : Schüttdichte oder scheinbare Dichte des Schüttgutes in  $\text{kg/m}^3$

$m_{SG}$ : Masse aller Schüttgutteilchen in kg

$V_{SG}$ : Schüttvolumen in  $\text{m}^3$

Die Dichte der einzelnen, meist unregelmäßig geformten Partikel des Schüttgutes, deren **Feststoffdichte**, ist dabei im Allgemeinen (aufgrund der schwierigeren Bestimmung des Volumens) aufwendiger zu ermitteln.

### 4.3 Porosität

Für disperse Systeme, die eine gasförmige Phase haben (z.B. Schüttgüter oder Filtermaterialien), ist oft die Porosität von Bedeutung:

Die **Porosität** oder der **Hohlraumvolumenanteil** eines Schüttgutes ist das Verhältnis aus dem **Volumen** aller **Hohlräume** zu dem gesamten **Schüttvolumen**.

$$\varepsilon = \frac{V_{H,SG}}{V_{SG}}$$

$\varepsilon$ : Porosität oder Hohlraumvolumenanteil (ohne Einheit)  
 $V_{H,SG}$ : Volumen der Hohlräume in  $m^3$   
 $V_{SG}$ : Schüttvolumen in  $m^3$

Für Schüttgüter erhält man durch Formelumstellung eine weitere Berechnungsformel:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{s,SG}}{\rho_{SG}}$$

$\varepsilon$ : Porosität oder Hohlraumvolumenanteil (ohne Einheit)  
 $\rho_{s,SG}$ : Schüttdichte oder scheinbare Dichte des Schüttgutes in  $kg/m^3$   
 $\rho_{SG}$ : Feststoffdichte der Schüttgutteilchen in  $kg/m^3$