

Partikelgrößenanalyse

Sichtanalyse

Grundlagen

DIN

66 118

Particle size analysis, size analysis by air classification; fundamentals
Granulométrie; analyse granulométrique par élutriation, principes

Ersatz für Ausgabe 08.77

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich und Zweck	1	6 Kennzeichnung des Trennergebnisses einer Sichtanalyse [14] bis [16]	4
2 Allgemeines	1	7 Bestimmung der Trenngrenze aus dem Feingut-Massenanteil	4
3 Sichtprinzipien	1	8 Mikroskopische Bestimmung der Trenngrenze	5
3.1 Schwerkraft-Gegenstromsichter	2	9 Probenvorbereitung	6
3.2 Fliehkraft-Gegenstromsichter	2	10 Analysenbericht	6
3.3 Schwerkraft-Querstromsichter	3	11 Formelzeichen	6
3.4 Fliehkraft-Querstromsichter	3		
4 Anforderungen an Analysenwindsichter	3		
5 Dispergieren	4		

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm behandelt die Grundlagen der Messung von Verteilungskurven im Partikelgrößenbereich von etwa 1 bis $100\ \mu\text{m}$ ¹⁾ durch die Verfahren der Sichtanalyse²⁾. Analysenwindsichter können außerdem für die Herstellung von Partikelklassen verwendet werden. Diese Norm gilt nicht für Trennverfahren der Aerosolmeßtechnik, sie kann jedoch zum Teil darauf angewandt werden.

2 Allgemeines

Bei der Sichtanalyse wird die Feinheit eines Einzelpartikels durch seine Sinkgeschwindigkeit in einem Gas, meist Luft, gekennzeichnet. Die Sinkgeschwindigkeit ist deshalb das gemeinsame Feinheitsmerkmal aller Verfahren der Sichtanalyse.

Analysenwindsichter (im folgenden kurz Sichter genannt) trennen ein disperses Aufgabegut in wenigstens zwei Sinkgeschwindigkeitsklassen, von denen eine bevorzugt Partikel unterhalb, die andere bevorzugt Partikel oberhalb einer bestimmten Sinkgeschwindigkeit enthält. Diese Trennung wird dadurch hervorgerufen, daß an den in die Trennzone eines Sichters eingebrachten Partikeln Kräfte angreifen, die in unterschiedlichem Maße von der Partikelgröße abhängen und die die Partikel auf sinkgeschwindigkeits- bzw. größenabhängigen Bahnen in der Trennzone bewegen.

Die voneinander getrennten Partikelklassen werden im allgemeinen an unterschiedlichen Stellen aus der Trennzone ausgetragen, zum Teil quantitativ aufgefangen und ihre Massenanteile ermittelt. Die Bewegungsbahnen der Partikel werden im wesentlichen von drei Arten von Kräften bestimmt [1]:

- a) vom Strömungsmittel auf die Partikeloberfläche wirkende Kräfte:

- Widerstandskräfte oder
- statische Auftriebskräfte

Statische Auftriebskräfte werden durch Druckgradienten im Strömungsmittel hervorgerufen, die von Kraftfeldern oder einer beschleunigten Bewegung des Strömungsfeldes herrühren. Bei Trennungen in der Luft, d. h. in Sichtern, wird der statische Auftrieb im allgemeinen vernachlässigt.

- b) Feldkräfte, wie beispielsweise die Schwerkraft
c) Trägheitskräfte bei beschleunigter Partikelbewegung, und zwar sowohl in Bahnrichtung als auch senkrecht dazu.

Bahnkurven einzelner Partikel lassen sich für ein bekanntes Strömungsfeld aus dem Gleichgewicht der an den Partikeln angreifenden Kräfte errechnen [2] bis [6].

3 Sichtprinzipien

Für die angestrebte Trennung in Partikelklassen werden im wesentlichen die Prinzipien der Gegenstrom- und Querstromsichtung benutzt, die man einzeln oder in Kombination unter Wirkung von Schwer- oder Fliehkraft anwendet. Die Begriffe Gegenstrom und Querstrom leiten sich von der Bewegung des Grobgutes ab, das sich in der Trennzone eines Sichters im wesentlichen entgegen oder quer zur Hauptströmungsrichtung bewegt.

¹⁾ Der angegebene Partikelgrößenbereich bezieht sich auf eine Feststoffdichte von $2,5\ \text{g/cm}^3$.

²⁾ Begriffe siehe DIN 66 160 (z. Z. Entwurf), DIN 66 142 Teil 1 und Teil 2.

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Siebböden und Kornmessung (NASK) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Jeder Sichter besteht aus einer oder mehreren Trennzonen, in denen eines der in den Abschnitten 3.1 bis 3.4 beschriebenen Sichtprinzipien allein oder gemeinsam mit anderen die Trennung bewirkt. Außerdem sind Einrichtungen zum Transport und zur Desagglomeration des Aufgabegutes sowie zur Erzeugung und Einstellung der Strömung erforderlich.

3.1 Schwerkraft-Gegenstromsichter

Der Trenngrenzenbereich¹⁾ liegt etwa zwischen 5 und 40 µm. Beide Zahlenwerte können schwanken, sie hängen von der verwendeten konstruktiven Ausbildung der Trennzone ab. Im allgemeinen ist die untere Grenze durch die Strömungsgeschwindigkeit, die das Aufgabegut noch im Luftstrom dispergiert, und die obere Grenze durch Einhaltung der auf die Trenngrenze bezogenen Reynolds-Zahl $Re \leq 0,25$ gegeben.

Die Trennzone eines Schwerkraft-Gegenstromsichters besteht aus einem zylindrischen, lotrechten Rohr, das von einem zeitlich konstanten Luftstrom von unten nach oben durchströmt wird (siehe Bild 1) [7] bis [10], [18], [19].

In die Strömung eingebrachte Feststoffpartikel mit Sinkgeschwindigkeiten w_g , die kleiner sind als die örtliche Strömungsgeschwindigkeit der Luft v , folgen der Strömung und verlassen die Trennzone mit der Geschwindigkeit $v_p = v - w_g$. Partikel mit $w_g = v$ (Trenngrenze) schweben in der Trennzone, während Partikel mit $w_g > v$ aus der Trennzone mit $v_p = w_g - v$ der Strömung entgegen nach unten aussedimentieren (siehe Bild 2).

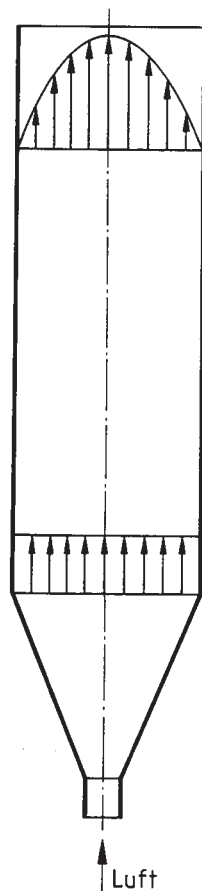


Bild 1. Trennzone eines Schwerkraft-Gegenstromsichters

¹⁾ Siehe Seite 1

Die örtliche Strömungsgeschwindigkeit der Luft v bestimmt die Trennung. Der der Trenngrenze zugeordnete Sinkgeschwindigkeits-Äquivalentdurchmesser x_t läßt sich nach Gleichung (1) errechnen.

$$x_t^2 = \frac{18 \cdot \eta}{\rho_s \cdot g} \cdot v \quad (1)$$

Voraussetzung: $Re \leq 0,25$

Da ρ_s sehr viel größer als ρ_g ist, wurde die Gasdichte ρ_g in Gleichung (1) vernachlässigt.

Die örtliche Strömungsgeschwindigkeit der Luft v wird meist durch die über den Rohrquerschnitt A gemittelte, aus dem Luftvolumenstrom $\dot{V}$ errechnete Strömungsgeschwindigkeit $v = \dot{V}/A$ ersetzt. Der für die Einstellung des Sichters aus einer vorgegebenen Trenngrenze erforderliche Luftvolumenstrom $\dot{V}$ errechnet sich demnach aus:

$$\dot{V} = \frac{\rho_s \cdot g \cdot A}{18 \cdot \eta} \cdot x_t^2 \quad (2)$$

Um eine hohe Trennschärfe und eine kurze Sichtdauer zu erreichen, sollten alle der Trennzone zugeführten Partikel derselben Trennbedingung unterworfen werden [7]. Dies ist beispielsweise sichergestellt, wenn in der Trennzone eine Gleichverteilung der Strömungsgeschwindigkeit vorliegt [8].

Für den Bereich $Re < 10$ errechnet man den Luftvolumenstrom $\dot{V}$ aus

$$\dot{V} = \bar{v} \cdot A = \frac{\pi}{4} \cdot D_S^2 \cdot \left(\sqrt{\frac{36 \eta^2}{x_t^2 \cdot \rho_g} + \frac{2g \cdot x_t \cdot \rho_s}{3 \cdot \rho_g}} - \frac{6\eta}{x_t^2 \cdot \rho_g} \right) \quad (3)$$

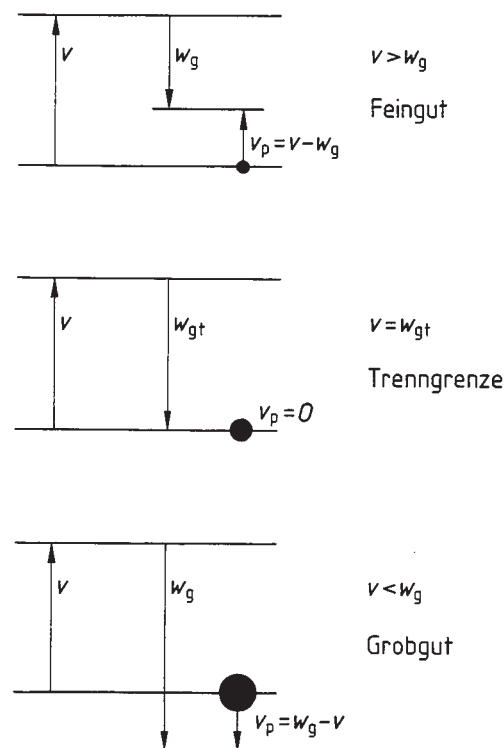


Bild 2. Geschwindigkeit von Partikeln in der Trennzone

3.2 Fliehkraft-Gegenstromsichter

Der Trenngrenzenbereich¹⁾ liegt etwa zwischen 2 und 40 µm. Die angegebenen Grenzen sind in starkem Maße von der jeweiligen Konstruktion abhängig, in den meisten Fällen

läßt sich der genannte Trenngrenzenbereich nicht in einem Gerät verwirklichen.

Dieses Sichtprinzip wird vorzugsweise in Spiralwindsichtern angewendet [3], [11], [18], [19] (siehe Bild 3). Die Trennzone von Spiralwindsichtern ist ein flachzylindrischer Strömungsraum, der von einem Gas auf spiralförmigen Bahnen von außen nach innen durchströmt wird.

Die ungestörte Kernströmung ist die einer Wirbelsenke, in die das Aufgabegut in der Nähe des Außenumfanges unter möglichst definierten Bedingungen eingebracht wird. Das Feingut verläßt die Trennzone mit der Strömung, während das Grobgut am Umfang der Trennzone abgeschieden wird. Die Trenngrenze der Trennung läßt sich theoretisch nur angenähert berechnen, die tatsächliche Trenngrenze ist deshalb nachträglich, wie in Abschnitt 7 angegeben, zu ermitteln.

Das Trennkorn eines Fliehkraft-Gegenstromsichters bewegt sich theoretisch mit der Umfangsgeschwindigkeit $v_{p\phi}$ und der Beschleunigung $a = v_{p\phi}^2/r$ auf einer Kreisbahn vom Radius r in der Trennzone.

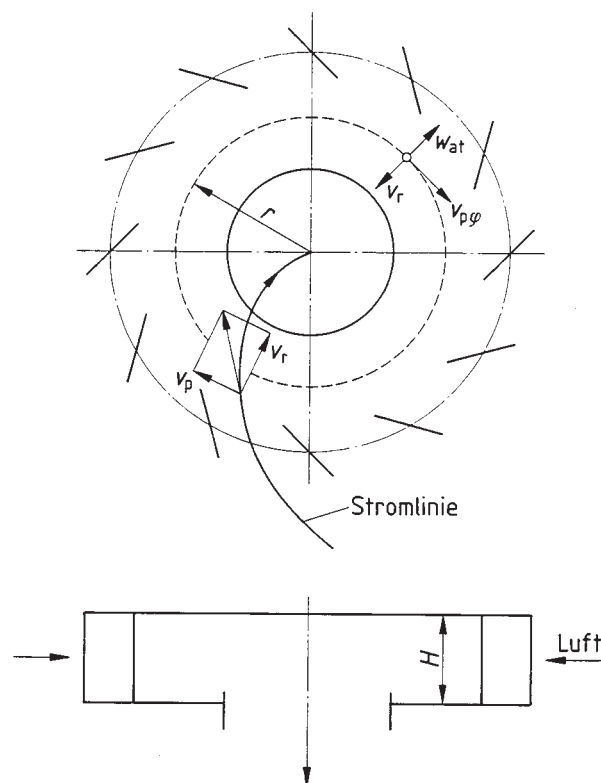


Bild 3. Trennzone eines Spiralwindsichters

Die Sinkgeschwindigkeit des Trennkorns unter Fliehkrafteinfluß w_{at} ist auf diesem Radius gleich der radialen, nach innen gerichteten Geschwindigkeitskomponente der Luft $v_r = V/(2\pi \cdot r \cdot H)$.

$$w_{at} = v_r \quad (4)$$

Mit

$$w_{gt} = w_{at} \cdot \frac{g}{a} = w_{at} \cdot \frac{r g}{v_p^2} = v_r \cdot \frac{r g}{v_p^2} \quad (5)$$

und Gleichung (1) erhält man Gleichung (6) für den der Trenngrenze x_t gleichgesetzten Sinkgeschwindigkeits-Äquivalentdurchmesser:

¹⁾ Siehe Seite 1

$$x_t^2 = \frac{18 \eta}{\rho_s} \cdot \frac{v_r r}{v_{p\phi}^2} = \frac{18 \eta}{2 \pi \rho_s \cdot H} \cdot \frac{\dot{V}}{v_{p\phi}^2} \quad (6)$$

Anhand der Gleichung (6) ließe sich die Trenngrenze x_t der Trennung berechnen, wenn die Umfangsgeschwindigkeit des Trennkorns im Sichtraum $v_{p\phi}$ bekannt wäre. Dies hängt jedoch von der Krümmung der Spiralströmung, der Partikelgrößenverteilung des der Trennzone zugeführten Aufgabegutes $Q_A(a)$ und der Gutbeladung der Strömung ab, die alle unbekannt sind. In der Regel ist auch die Anwendung von Gleichung (1) nicht mehr zulässig, da die Partikelbewegung in der Trennzone bei $Re > 0,25$ stattfindet.

Gleichung (6) gibt jedoch die prinzipiellen Möglichkeiten zur Änderung der Trenngrenze eines Spiralwindsichters an. Danach ist bei vorgegebener Geometrie des Sichters eine Änderung der Trenngrenze durch Ändern von $v_{p\phi}$ bzw. $\dot{V}$, das heißt von v_r , möglich.

3.3 Schwerkraft-Querstromsichter

Der Trenngrenzenbereich¹⁾ reicht von etwa 10 µm bis zu einigen mm. Bei nahezu allen Schwerkraft-Querstromsichtern [1], [12] wird das Aufgabegut senkrecht zur Strömungsrichtung in die Trennzone aufgegeben. Eine mögliche Anordnung zeigt Bild 4.

Bei punkt- bzw. linienförmiger Gutaufgabe in die Trennzone bewegen sich die Partikel auf sinkgeschwindigkeitsabhängigen Bahnen und werden in der Trennzone aufgefächert. Sie können deshalb an der der Aufgabestelle gegenüberliegenden Wand der Trennzone nach Sinkgeschwindigkeitsklassen geordnet aufgefangen und abgeschieden werden. Im Gegensatz zum Prinzip der Gegenstromsichtung kann das Aufgabegut bei einem Trennvorgang in mehr als zwei Fraktionen getrennt werden.

Die Modelltheorie eines Schwerkraft-Querstromsichters läßt sich bei bestimmten Modellströmungen für kugelförmige Einzelpartikel in Form von Partikelbahnen aus dem Gleichgewicht der an den Partikeln angreifenden Kräfte angeben. Die Vektor-Differentialgleichung der Partikelbewegung [2], [5] läßt sich für vorgegebene Randbedingungen, die das Sichtprinzip kennzeichnen, im allgemeinen numerisch lösen. Lediglich für $Re < 0,25$ sind analytische Lösungen in einem Strömungsfeld konstanter Geschwindigkeit möglich [13].

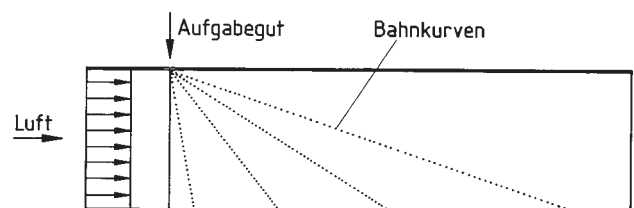


Bild 4. Trennzone eines Schwerkraft-Querstromsichters

3.4 Fliehkraft-Querstromsichter

Der Trenngrenzenbereich¹⁾ liegt etwa zwischen 2 und 30 µm. Das Prinzip ist in Bild 5 dargestellt. Der Sichter besteht aus einem kreiszylindrischen, lotrechten Rohr, das um seine Achse rotiert. Die Luft durchströmt das Rohr von oben nach unten. Beim Eintritt in die Trennzone wird der Strömung eine Rotationskomponente aufgeprägt, die infolge Wandhaftung über die Rohrlänge beibehalten wird. Die verwendete Strömungsform ist die einer Wirbelkernströmung mit überlagerter Axialströmung. Das Aufgabegut wird in der Nähe der Rohrachse am oberen Ende der Trennzone aufgegeben und dispergiert. Die Feststoffpartikel werden längs der Rohrachse in Klassen abnehmender Sinkgeschwindigkeit aufgefächert und auf der Innenwand des Trennrohres aufgefangen und abgeschieden. Auch bei diesem Sichtprinzip wird das Aufgabegut bei einem Trennvorgang in mehr als zwei Fraktionen getrennt.