

Fließeigenschaften von Schüttgütern und verfahrenstechnische Siloauslegung

Dietmar Schulze

Fließfähigkeit

Mit dem Begriff "gute Fließfähigkeit" wird ausgedrückt, dass ein Schüttgut leicht zum Fließen zu bringen ist. Als "nicht fließend" werden Produkte bezeichnet, die zu Auslaufstörungen neigen (z.B. durch Bildung von Schüttgutbrücken oder Schächten, s. Bild 1) oder sich während Lagerung und Transport verfestigen. Ursache hierfür ist die Druckfestigkeit des Schüttgutes (Schüttgutfestigkeit).

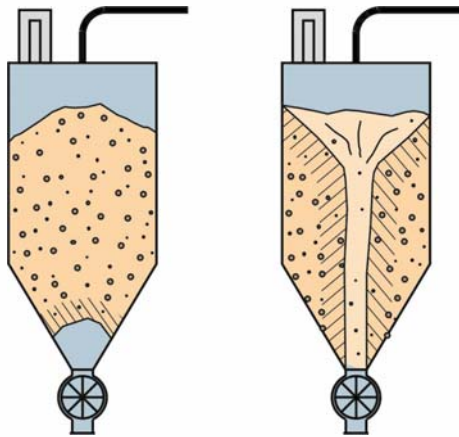


Bild 1: links: Brückenbildung, rechts: Schachtbildung

Bild 2 zeigt einen mit einem feinkörnigen Schüttgut gefüllten Hohlzylinder mit reibungsfreien Wänden. Das Schüttgut wird zuerst durch die Verfestigungsspannung σ_1 verfestigt. Anschließend setzt man die zylindrische Schüttgutprobe nach Wegnahme des Hohlzylinders einer zunehmenden Druckspannung aus. Die zum Bruch (zum Fließen) der Schüttgutprobe führende Spannung ist die Schüttgutfestigkeit σ_c .

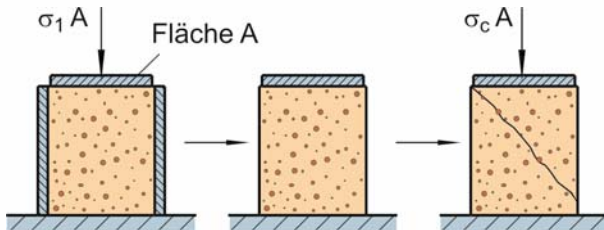


Bild 2: Modellversuch zur Druckfestigkeit

Die Schüttgutfestigkeit σ_c steigt mit zunehmender Verfestigungsspannung σ_1 an. Einen typischen Verlauf der Schüttgutfestigkeit σ_c in Abhängigkeit von der Verfestigungsspannung σ_1 zeigt Kurve A (Bild 3). Die **Fließfähigkeit** ist das Verhältnis ff_c von Verfestigungsspannung σ_1 zu Schüttgutfestigkeit σ_c :

$$ff_c = \sigma_1 / \sigma_c \quad (1)$$

Um so größer die Fließfähigkeit ff_c ist, desto besser fließt das Schüttgut. Folgende Einteilung ist üblich [4]:

$ff_c < 1$	nicht fließend, verhärtet
$1 < ff_c < 2$	sehr kohäsiv (bis nicht fließend)
$2 < ff_c < 4$	kohäsiv
$4 < ff_c < 10$	leicht fließend
$10 < ff_c$	frei fließend

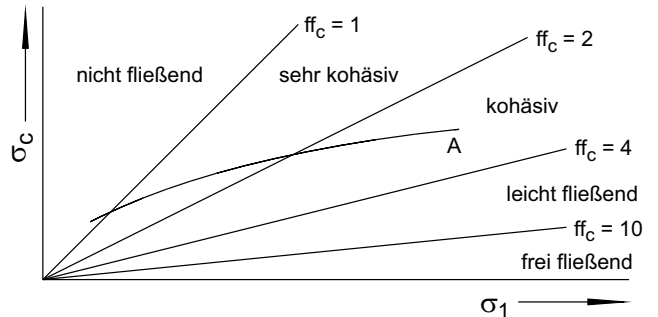


Bild 3: Schüttgutfestigkeit σ_c in Abhängigkeit von der Verfestigungsspannung σ_1 ; Bereiche unterschiedlicher Fließfähigkeit

Im Bild 3 sind auch die Grenzen der Bereiche eingezeichnet, die sich aus der oben angegebenen Einteilung ergeben. Das Verhältnis ff_c und damit auch die Beurteilung der Fließfähigkeit ändert sich mit der Verfestigungsspannung σ_1 . Daher ist für Vergleiche ein Messverfahren erforderlich, das die Messung der oben erläuterten Größen bei definierten Verfestigungsspannungen erlaubt (Schergerät).

Ringschergerät

Typische Schergeräte sind die Ringschergeräte RST-01.pc [1] und RST-XS.s (Bilder 4 und 5), die in Industrie und Forschung eingesetzt werden.

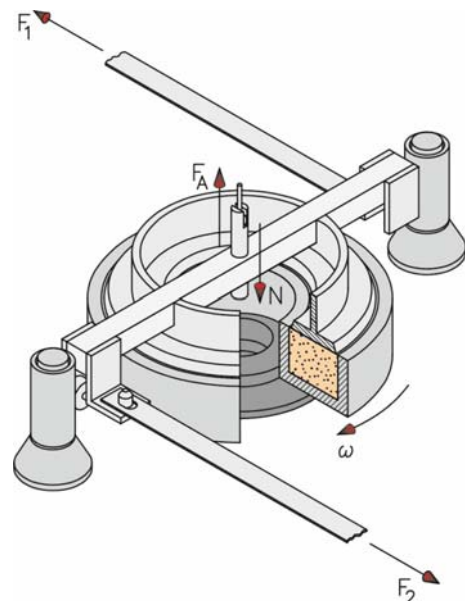


Bild 4: Ringschergerät RST-01.pc (Scherzelle)

Die Schüttgutprobe (Bild 4) wird in den von der Scherzelle gebildeten ringförmigen Scherkanal gefüllt und von oben über einen Deckel mit einer Kraft N belastet (Einstellung des Spannungsniveaus). Bei der Messung rotiert die Scherzelle langsam in Pfeilrichtung ω , während der Deckel mit Hilfe von zwei Zugstangen am Drehen gehindert wird. Dadurch entsteht eine Scherverformung der Schüttgutprobe. Die hierzu notwendige Kraft (F_1+F_2) wird gemessen. Aus einem vorgegebenen Ablauf der Messung ergeben sich die Fließeigenschaften [1,2].

Bei den Ringschergeräten RST-01.pc und RST-XS.s (Bild 5) laufen Messung und Auswertung automatisch (vom PC gesteuert) ab, was Zeit spart und den Bedieneinfluss minimiert. Für feine Pulver (< 1 mm) reicht das kleine Ringschergerät RST-XS.s aus. Es ist wegen der kleinen Probemengen bis herab zu 3,5 ml gut für Anwendungen in der Pharmazeutischen Industrie geeignet. Sind auch größere Partikel (bis 10 mm) zu untersuchen, ist das Ringschergerät RST-01.pc vorzuziehen.



Bild 5: Automatische Ringschergeräte

Vorteile der oben gezeigten Ringschergeräte sind:

- Vielseitige Anwendbarkeit
- Messung definierter Fließeigenschaften
- Unterschiedliche Spannungsniveaus
- Einfach zu bedienen
- Automatische Messung/Auswertung

Damit ist das Ringschergerät eine sinnvolle Alternative zu so genannten Einfachmessgeräten, da es leicht zu bedienen ist, dabei aber klar definierte physikalische Größen liefert [2].

Fließen von Schüttgütern in Silos

Beim Fließen von Schüttgütern in Silos ist zwischen Massenfluss und Kernfluss zu unterscheiden (Bild 6) [3,4]. Bei Massenfluss ist beim Schüttgutabzug der ganze Siloinhalt in Bewegung. Massenfluss ist nur möglich, wenn die Trichterwände ausreichend steil und/oder glatt sind. Ist dies nicht der Fall, stellt sich Kernfluss ein. Dabei wird das Schüttgut in den "toten Zonen" im Randbereich erst bei der vollständigen Entleerung des Silos ausgetragen.

Die häufigsten Probleme bei Silos sind:

- Brückenbildung (Bild 1).
- Schachtbildung (Bild 1).
- Unregelmäßiger Fluss und Schießen durch alternierendes Aufbauen und Zusammenbrechen von Brücken oder Schächten.
- Breite Verweilzeitverteilung: Das Schüttgut in den toten Zonen eines Kernflusssilos befindet sich u.U. eine sehr lange Zeit im Silo.
- Entmischung nach der Partikelgröße, -dichte oder -form. In Kernflusssilos entsteht dadurch eine schwankende Produktzusammensetzung am Auslauf.

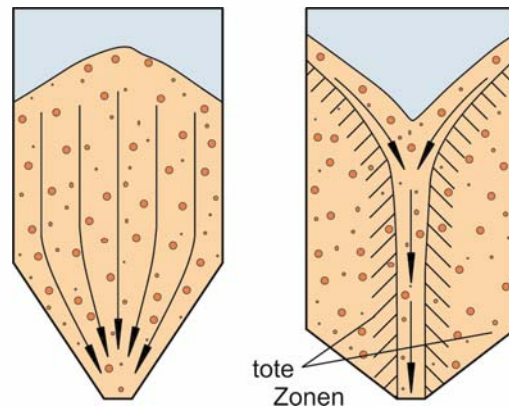


Bild 6: links: Massenfluss, rechts: Kernfluss

Im Kernflusssilo können alle genannten Probleme auftreten, während beim Massenflusssilo nur das Problem der Brückenbildung berücksichtigt werden muss. Auch die praktische Erfahrung bestätigt, dass Kernfluss die Hauptursache für Fließprobleme ist.

Zur Auslegung eines Massenflusssilos muss zum einen die erforderliche Steilheit der Trichterwände berechnet werden. Zum anderen ist die minimale Auslaufgröße zur Vermeidung von Brückenbildung festzulegen. Für die Auslegung sind die Fließeigenschaften des Schüttgutes zu messen (Schergerät) [3,4]. Mit der entsprechenden Erfahrung in der Anwendung dieser Größen lassen sich Silos unterschiedlichster Form auslegen, aber auch bestehende Silos sanieren.

Literatur

- [1] Schulze, D.: Schüttgut 2 (1996) 3, S. 347-356
- [2] Schulze, D.: Chem.-Ing.-Techn. 67 (1995) 1, S. 60-68
- [3] Jenike, A.W.: Storage and Flow of Solids, Bull. 123, Engng. Exp. Station, Univ. Utah, Salt Lake City (1964)
- [4] Schulze, D.: Pulver und Schüttgüter, 4. Aufl. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (2019).

(c) D. Schulze 2022. Alle Rechte vorbehalten.
Druckfehler und Irrtümer vorbehalten.