

# Schüttgut BRIEF

## Fachartikelserie „Die 8 Siloprobleme“

### 1. Kernfluss (Teil B)

2. Brückenbildung
3. Entmischung
4. Schießen
5. Schachtbildung
6. Silobeben/Silohupen
7. Tote Zonen durch einseitiges Fließen
8. Knicken / Beulen

## Die 8 Siloprobleme

Heute lesen Sie die Fortsetzung unserer Serie Fachartikel über „Die 8 Siloprobleme und wie man ihnen begegnet“ von Herrn Mario Dikty, Geschäftsführer der Schwedes + Schulze Schüttguttechnik GmbH.

Im ersten Teil wurde das Problem „Kernfluss“ und die daraus entstehenden Nachteile des Silobetriebes erläutert. Es wurde gezeigt, dass der Wandreibungswinkel und der effektive Reibungswinkel entscheidend für die Massenflussdimensionierung sind. Im folgenden Teil werden die Messmethoden zur Bestimmung der beiden Parameter vorgestellt und darauf aufbauend eine Massenauslegung an einem Beispiel durchgeführt.

## KERNFLUSS (Teil B) im Silo.

### Wandreibungswinkel

Wandreibung ist die Reibung zwischen einem Schüttgut und der Oberfläche eines Festkörpers, z.B. der Oberfläche einer Trichterwand. Zur Messung der Wandreibung wird das Schüttgut mit konstanter Geschwindigkeit  $v$  über eine ebene Probe der Oberfläche („Wand“) verschoben (Bild 1), wobei eine vertikal wirkende Normalspannung  $\sigma_w$  eingestellt wird. Gemessen wird die Schubspannung  $\tau_w$  die sich nach einer gewissen Zeit konstant (stationär) einstellt.



1. Wandreibungsmessung (im Prinzip) [1]



# Die 8 Siloprobleme –

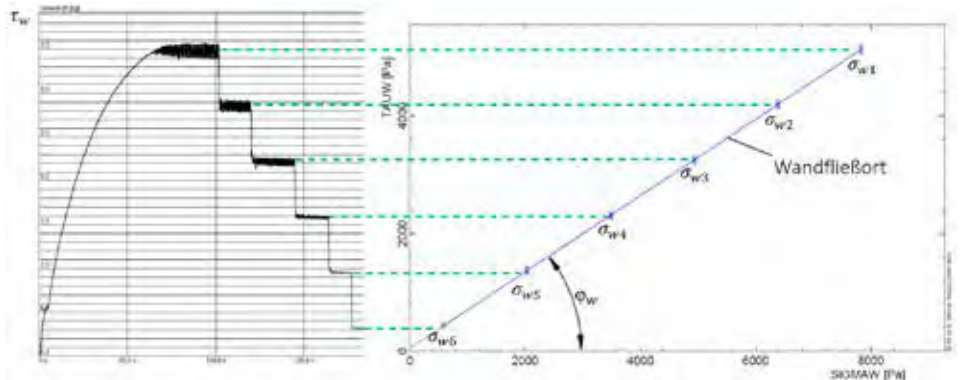
## Teil 1 Kernfluss – Part B

Fortsetzung  
von Seite 1

Bei einer Wandreibungsmessung wird die Schubspannung  $\tau_w$  nacheinander bei verschiedenen Normalspannungen  $\sigma_w$  gemessen, um so den Einfluss der Normalspannung erkennen zu können. Die Wertepaare  $(\sigma_w, \tau_w)$ , die sich jeweils bei stationären Verhältnissen ergeben, werden in ein  $\sigma_w$ - $\tau_w$ -Diagramm eingezeichnet. Durch die Punkte wird eine Gerade oder Kurve gezeichnet (Bild 2), die als Wandfließort bezeichnet wird. Wenn der Wandfließort wie im Bild 2 eine Ursprungsgerade ist, ist der Wand-

reibungswinkel  $\phi_x$  gleich der Steigung dieser Gerade. In anderen Fällen hängt der Wandreibungswinkel  $\phi_x$  von der Wandnormal-

spannung ab und muss separat für jede Normalspannung anhand des Wandfließortes ermittelt werden.



2. Wandfließort mit konstantem Wandreibungswinkel

In der Schüttguttechnik wird die Reibung meist als Reibungswinkel angegeben. Der Zusammenhang zwischen dem Wandreibungskoeffizienten  $\mu_w$  und dem Wandreibungswinkel  $\phi_x$  lautet:  $\mu_w = \tan(\phi_x)$

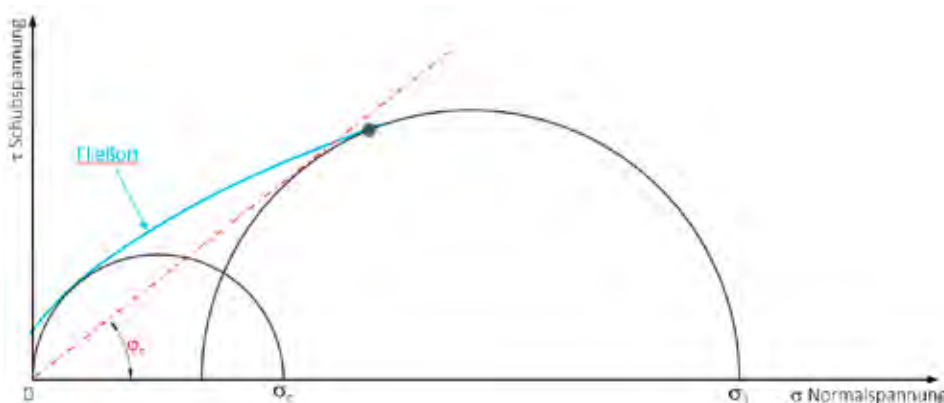
## Effektiver Reibungswinkel

Die Fließortmessung in der Silotechnik mit dem Schergerät ist eine Methode zur Bestimmung der Fließeigenschaften von Schüttgütern, die in Silos gelagert werden. Das

Verfahren beginnt mit dem Einfüllen des Schüttguts in eine zylindrische Scherzelle, in der das Material durch einen oberen Scherdeckel komprimiert wird. Anschließend wird

das Schüttgutfließverhalten durch Scherung unter verschiedenen Belastungsbedingungen bestimmt, um die Schüttgutfestigkeit und die Fließgrenzen des Materials zu ermitteln. Diese Messungen liefern wichtige Daten über die Kohäsion und den inneren Reibungswinkel des Materials, welche für die Konstruktion und Dimensionierung von Silos und anderen Schüttgutbehältern entscheidend sind.

Aus der Fließortmessung und den daraus resultierenden Mohrschen Spannungskreisen ergibt sich u.a. der effektive Reibungswinkel  $\phi_e$ . Er ist ein Maß für die innere Reibung (Bild 3).



3. Fließort mit effektivem Reibungswinkel (Mohrscher Spannungskreis)

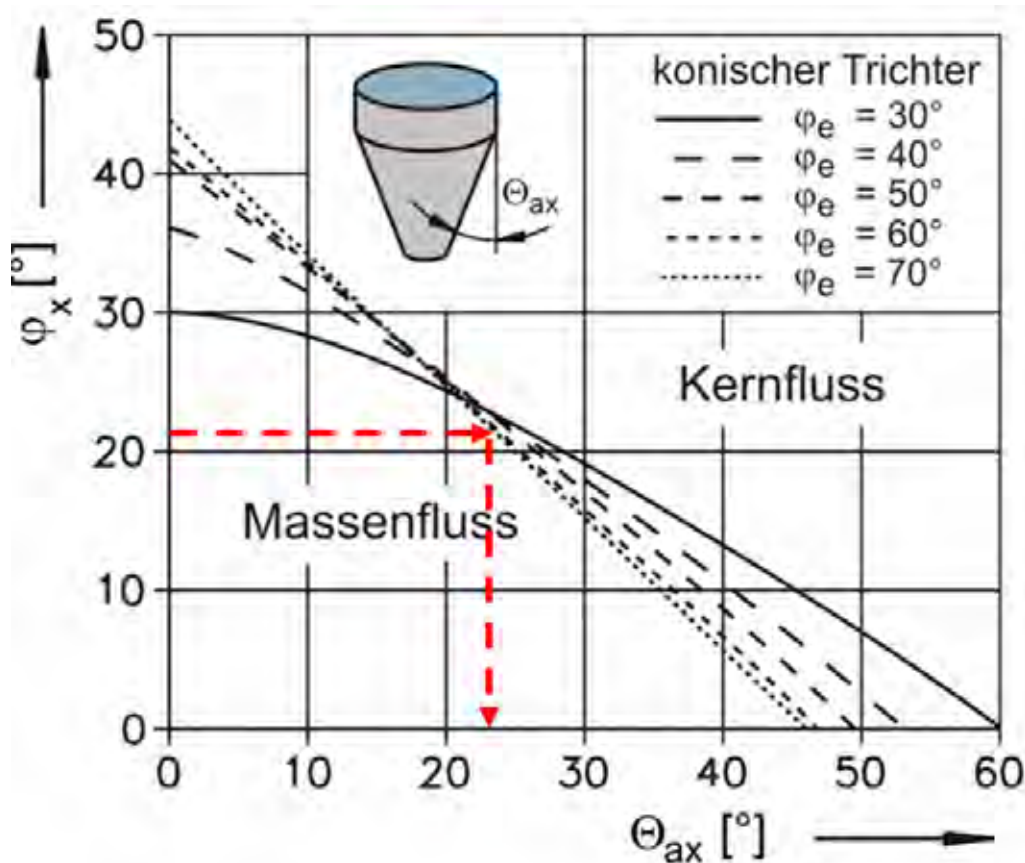
Die Messungen sind mit dem Schergerät nach SCHULZE [1] in wenigen Stunden durchgeführt. Anschließend erfolgt die Bestimmung des Trichterneigungswinkels nach dem Berechnungsansatzes von JENIKE [2].

# Bestimmung des Trichterneigungswinkels für Massenfluss

Wurden die Messungen durchgeführt, so ist der Trichterneigungswinkel grafisch lösbar. Dafür wird auf die Auswertediagramme von JENIKE zurückgegriffen. Bild 4 zeigt eines der von JENIKE zur Verfügung gestellten Diagramme. Mit dem oben bestimmten Wandreibungswinkel

und dem effektiven Reibungswinkel ergibt sich der notwendige Trichterneigungswinkel um Massenfluss zu erlangen. JENIKE empfiehlt noch eine Sicherheit von ca. 3°. Das in Bild 4 aufgeführte Beispiel zeigt bei einem Wandreibungswinkel von 22° und einem effektiven Reibungs-

winkel von 70° einen notwendigen Trichterneigungswinkel gegen die Vertikale von 23°. Abzüglich 3° Sicherheit sollte der Trichter mit einem Winkel von 20° gegen die Vertikale ausgeführt werden, um Massenfluss zu erzielen.



4. Bestimmung des Trichterneigungswinkels für Massenfluss nach JENIKE [1, 2]

## Zusammenfassung

Um einen Großteil der Siloprobleme zu vermeiden ist das Silo für Massenfluss auszulegen. Das größte Problem der Silotechnik ist

der Kernfluss. Es zeigt sich, dass mit einfachen Scheranalysen ein Silo für Massenfluss ausgelegt werden kann. Somit ist es sinnvoll und

wirtschaftlich das Silo vor dem Bau verfahrenstechnisch zu bewerten, um nachträgliche Siloprobleme zu vermeiden.

[1] Schulze, Dietmar: Pulver und Schüttgüter, Springer Verlag (2006) (ISBN-10 3-540-34082-3 Springer Berlin Heidelberg New York, ISBN-13 978-3-540-34082-9 Springer Berlin Heidelberg New York)

[2] Jenike, A.W.: Storage and flow of solids, Bull. No. 123, Engng. Exp. Station, Univ. Utah, Salt Lake City (1964)

**Freuen Sie sich auf die nächste Ausgabe des Schüttgutbriefes, in der das Problem der Brückenbildung erläutert wird.**

# SOLIDS

09. - 10. Oktober 2024 Messe Dortmund

Am 09. und 10. Oktober 2024 treffen sich wieder Experten der Schüttgutbranche und Fachbesucher zum persönlichen Dialog auf der SOLIDS in Dortmund.

Die Fachmesse für Granulat-, Pulver- und Schüttgut-Technologien bietet eine Plattform für nationale und internationale Aussteller, um innovative Lösungen für die Verarbeitung und Aufbereitung verschiedener Materialien zu präsentieren.

Wir sind selbstverständlich auch wieder dabei!

**Sie finden uns in Halle 6, Stand 6-D54.**

Gerne senden wir Ihnen einen Registrierungscode für Ihr kostenfreies Tagesticket.

Hierfür wenden Sie sich bitte an **Frau Elke Hilgert:**

E-Mail: [e.hilgert@agrichema.de](mailto:e.hilgert@agrichema.de)

Telefon: +49 67 07 / 91 40 – 39



An beiden Messtagen erwartet Sie ein vielseitiges Rahmenprogramm mit Expertenvorträgen zu

aktuellen Themen, Trends und Innovationen der Schüttgutindustrie.

**Wir sehen uns in Dortmund!**



Rückblick: SOLIDS 2022



*Wir sehen uns  
in Dortmund  
auf der SOLIDS!*

**Anlagenverfügbarkeit  
durch besten Service**

+49 (0) 6707 9140 0



**AGRICHEMA**

Schüttguttechnik GmbH & Co. KG

Feldborn 5 (Gewerbepark)

D-55444 Waldlaubersheim

Tel.: +49 (0) 6707 / 9140 -0

Fax: +49 (0) 6707 / 9140 -11

[info@agrichema.de](mailto:info@agrichema.de)

[www.agrichema.de](http://www.agrichema.de)

**AGRICHEMA**  
SCHÜTTGUTTECHNIK

