

Die Gestaltung von Silos zur Reduzierung von Verschleiß

Dipl.-Ing. Harald Heinrici,
Schwedes + Schulze Schüttguttechnik GmbH,
Wolfenbüttel

Sten Forsmo
Luossavaara-Kiirunavaara AB (LKAB)
Kiruna, Schweden

Gliederung

- Einleitung
- Fließprofil
- Spannungen in Silos
- Wie lassen sich die Belastungen reduzieren?
- Ausgeführte Anlagen

Abrieb der Silowand, außen



Abrieb der Silowand, außen



Abrieb der Silowand, innen



Stahlbetonsilo

Frei gelegter Bewehrungsstahl

Abrieb des Schüttgutes

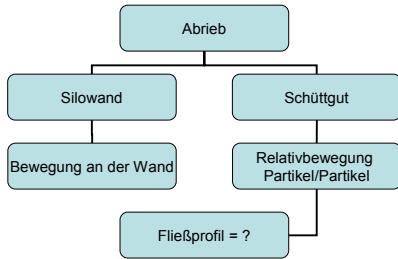


Abrieb des Schüttgutes

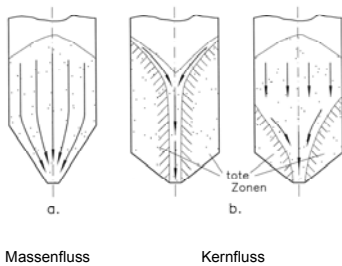
Folgen des Abriebs des gelagerten Schüttgutes:

- höhere Anforderungen an die Entstaubung nachfolgender Anlagenabschnitte
- größere Oberfläche und damit empfindlicher für Feuchtaufnahme oder – abgabe
- ungünstigere Fließeigenschaften verbunden mit:
 - größere Neigung zur Brückenbildung und Anbackungen
 - die Ausbildung von toten Zonen wird wahrscheinlicher
- die Schüttgutkennwerte für die statische Bemessung des Silos verändern sich

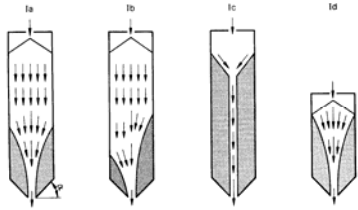
Abrieb und Fließprofil



Abrieb und Fließprofil

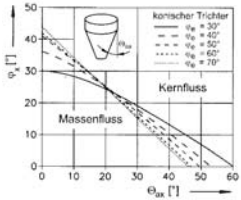


Kernfluss



Kernfluss lässt sich vorhersagen,
aber nicht die Grenzlinie zwischen Ruhe und Bewegung

Massenfluss - Auslegung



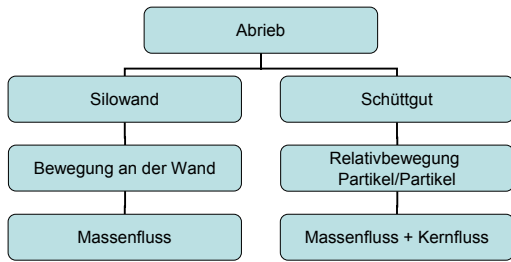
Massenfluss ergibt sich in Abhängigkeit von:

- > Wandreibung
- > Trichtergeometrie
- > Innerer Reibung

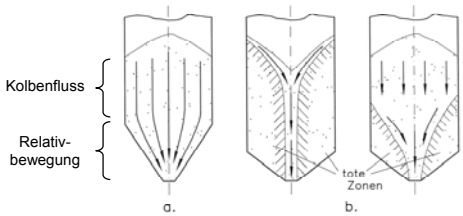
Auswirkungen auf den Silobetrieb

	Massenfluss	Kernfluss
Brückenbildung	ja	ja
Schachtbildung	nein	ja
Entmischung	nein	ja
Unregelmäßiger Fluss	nein	ja

Abrieb und Fließprofil



Schüttgut - Abrieb



Kernfluss kann, muss aber nicht Abrieb reduzieren.

Auf jeden Fall ergeben sich Fließstörungen.

Abrieb und Spannungen im Silo

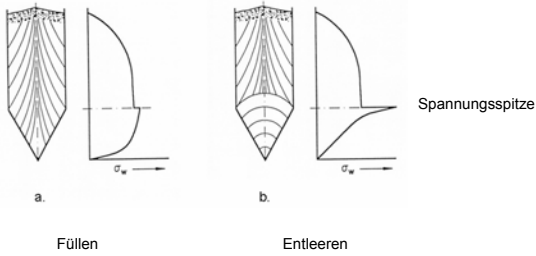
Abrieb erfordert:

- Fließen des Schüttgutes (Relativbewegung)
- genügend hohe Spannungen



Was bestimmt die Spannungen in einem Silo?

Wandnormalspannung

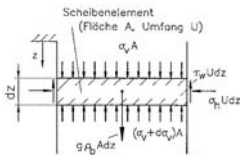


Spannungsspitze



Zylindrischer Silo
Flacher Boden
Schaden,
wo die Fließzone die Wand trifft

Vertikalspannung in einem zylindrischen Silo



Kräftegleichgewicht in z-Richtung:

$$A \cdot p_v + g \rho_b A dz = A (p_v + dp_v) + \tau_w U dz$$

Einführung von Wandreibung τ_w und Horizontalallastverhältnis λ

$$\tau_w = p_h \tan \varphi_w = \lambda \cdot p_v \cdot \tan \varphi_w$$

Differentialgleichung für Vertikalspannung p_v oder σ_v

$$\frac{dp_v}{dz} + p_v \lambda \cdot \tan \varphi_w \frac{U}{A} = g \rho_b$$



Vertikalspannung in einem zylindrischen Silo

Nach Integration und unter der Annahme, dass die Vertikalspannung am oberen Schüttgutspiegel 0 ist, folgt für die Vertikalspannung:

$$p_v = \frac{g\rho_s A}{\lambda \tan\varphi_w U} \left\{ 1 - e^{-\lambda \tan\varphi_w U z / A} \right\}$$

Die e-Funktion geht für große Füllhöhen gegen 0.
Damit ist die maximale Vertikalspannung:

$$p_v = \frac{g\rho_s A}{\lambda \tan\varphi_w U}$$



Vertikalspannung in einem zylindrischen Silo

$$p_v = \frac{g\rho_b D}{4\lambda \tan\varphi_w}$$

Horizontallastverhältnis: ca. = 0,5

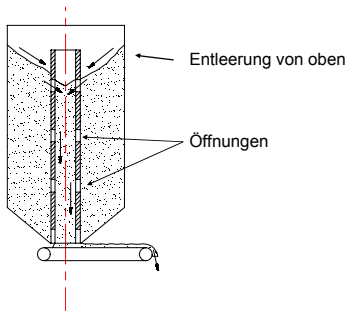
Wandreibung: ca. 26° = 0,5

$$P_v = g \rho_b D$$

- Um die Beanspruchungen zu reduzieren, sollten daher:
- der Silodurchmesser klein sein, und
 - der Switch nur wenig ausgeprägt sein.



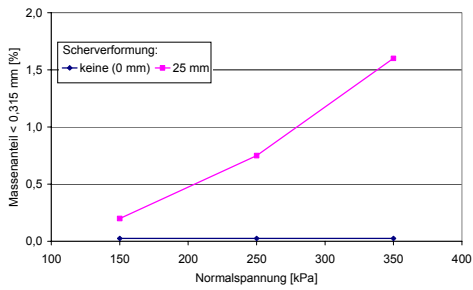
Entleerungsrohr



Entleerungsrohr

- > Schüttgut fließt an der freien Oberfläche
- > Schüttgut fließt im Entleerungsrohr mit kleinem Querschnitt
- > Spannungsspitze entfällt oder ist minimiert

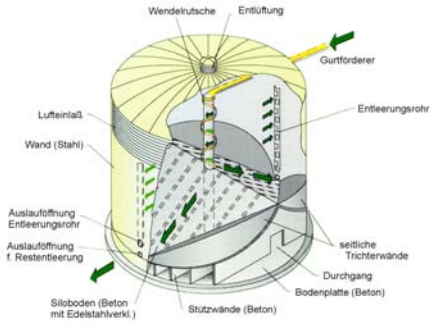
Abriebmessungen



Silokonzept



Silokonzept



Silokonzept

Entleerungsrohr



Eisenerzpellet-Silo



Schüttgut: Eisenerzpellets
Lagermenge: 100.000 t
Anzahl der Silos: 11
Lagermenge/Silo: 40.000 t
Silodurchmesser: 38 m
Silohöhe: 60 m



Eisenerzpellet-Silo





Eisenerzpellet-Silo



Oberkante Silo

Silohöhe



Eisenerzpellet-Silo





Eisenerzpellet-Silo





Eisenerzpellet-Silo