



SCHWEDES + SCHULZE

SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK

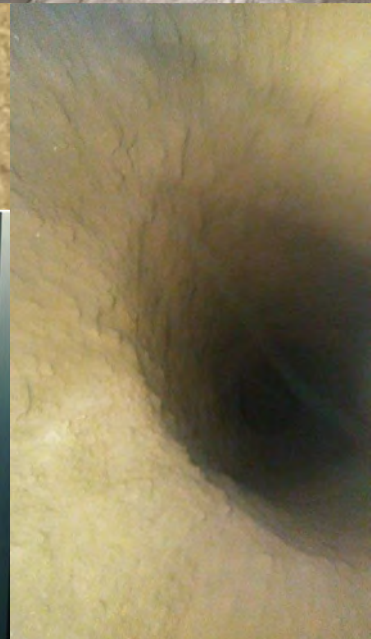
Die 8 Siloprobleme











Problem 1 – Kernfluss



SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK

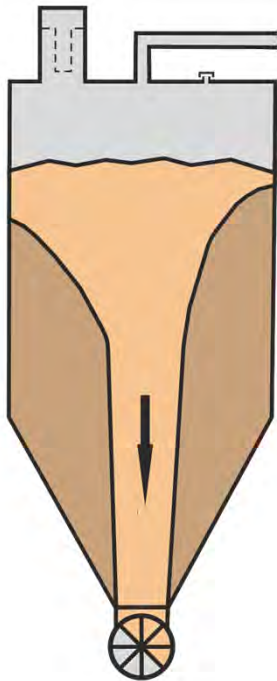


Problem 1 – Kernfluss



SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK





Gründe für Kernfluss

- Zu flache Trichterneigung
- Hoher Wandreibungswinkel (→ Wandmaterial)
- Schüttgut

Probleme durch Kernfluss

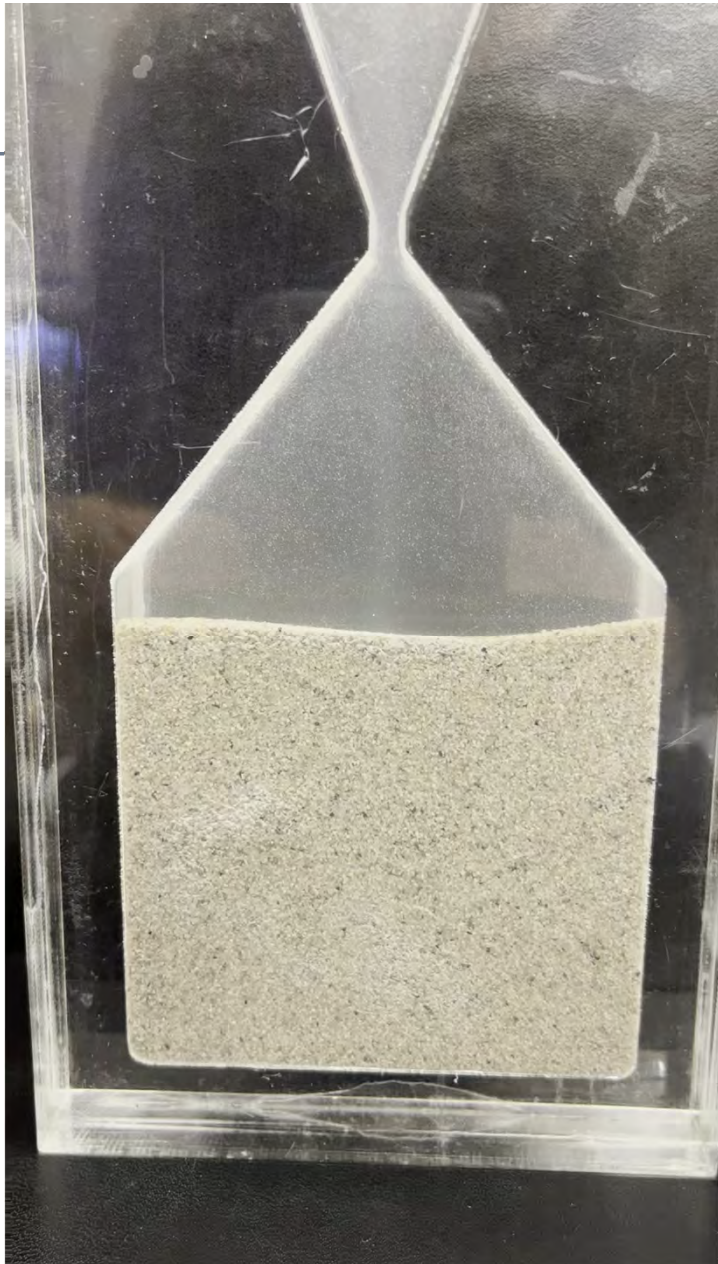
- Entmischung
- Schachtbildung
- Tote Zone → Zeitverfestigung
- Spannungsspitzen im zylindrischen Siloteil möglich
- Schießen
- ATEX: Schwelbrand

Lösung → Massenfluss

Problem 2 –
Entmischung

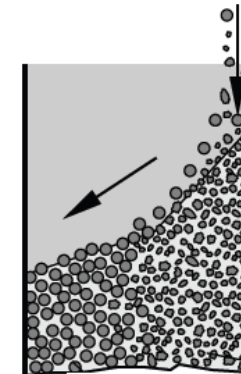
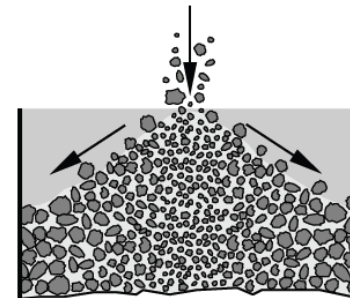
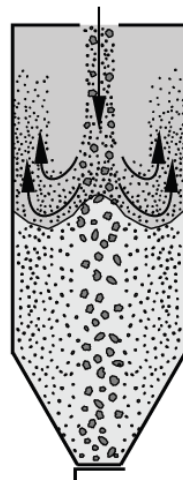
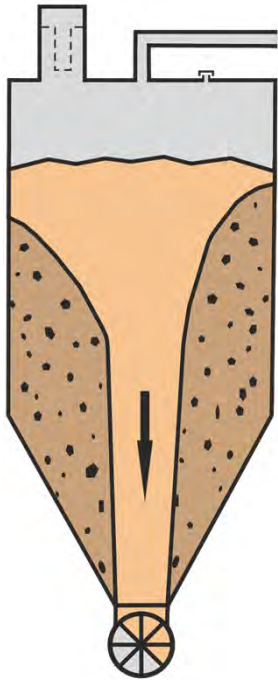


SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK



Schüttgut Gründe für Entmischung

- Entmischung nach der Dichte: Partikel mit geringerer Dichte können größere Strecken beim Fallen im Silo zurücklegen, diese finden sich oft im Silorandbereich wieder.
- Entmischung nach der Korngröße: Siebeffekt – auf einer Böschung rutschende Partikel finden je nach Partikelgröße ihre Position in den Lücken der liegenden Schüttung. Große Partikel finden sich in der Regel im Randbereich des Silos.
- Entmischung nach der Kornform: runde Partikel rollen entlang der Böschung



→ Entmischung ist quantitativ nicht vorausberechenbar [1]

Lösung → Messung des Fließverhaltens → korrekte Silodimensionierung → u.a. Massenfluss

Problem 3 – Brückenbildung

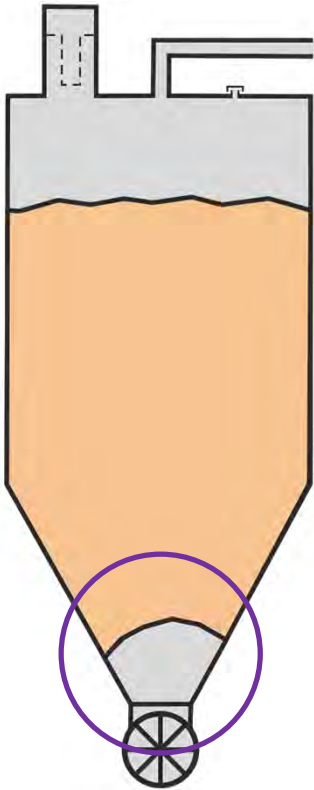


Problem 3 – Brückenbildung



SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK





Gründe für Brückenbildung

- Bei groben Partikeln → Verkeilen. Abhilfe → Auslaufdurchmesser $7 - 10 \times d_{\max}$
- Kohäsive Schüttgüter ($d_{50} < 100 \mu\text{m}$) → stabile Brücken / Gewölbe aufgrund der inneren Festigkeit von $> 10 \text{ m}$

Probleme durch Brückenbildung

- Kein Siloaustrag
- Unregelmäßiger Siloaustrag
- Schießen (Problem 4)
- Siloschäden (Unterdruckbeulen)

Lösung → Messung des Fließverhaltens → korrekte Silodimensionierung

Problem 4 – Schießen

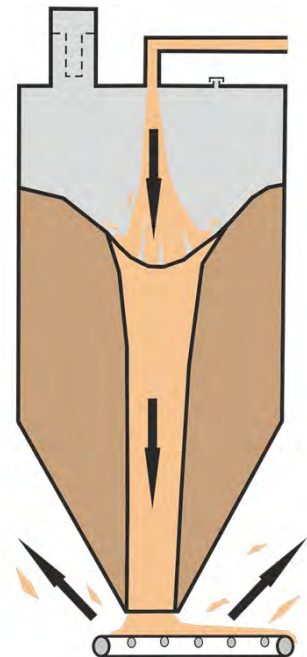


SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK



10





Gründe für Schießen

- Nicht hinreichende Entlüftung des Schüttgutes innerhalb des Silos, durch z.B. Schachtbildung (Problem 5)
- Große Siloabzugsleistungen
- Belüftungseinrichtungen
- Druckluftkanonen
- Einstürzende Brücken

Probleme durch Schießen

- Überflutung der Austragsorgane
- Personenschäden

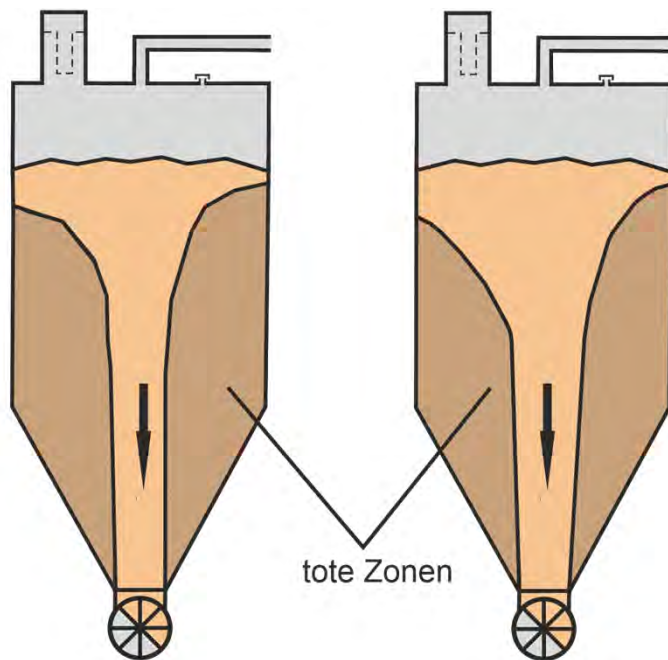
Lösung → Messung des Fließverhaltens → korrekte Silodimensionierung → u.a. Massenfluss

Problem 5 – Schachtbildung bei Kernfluss



SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK





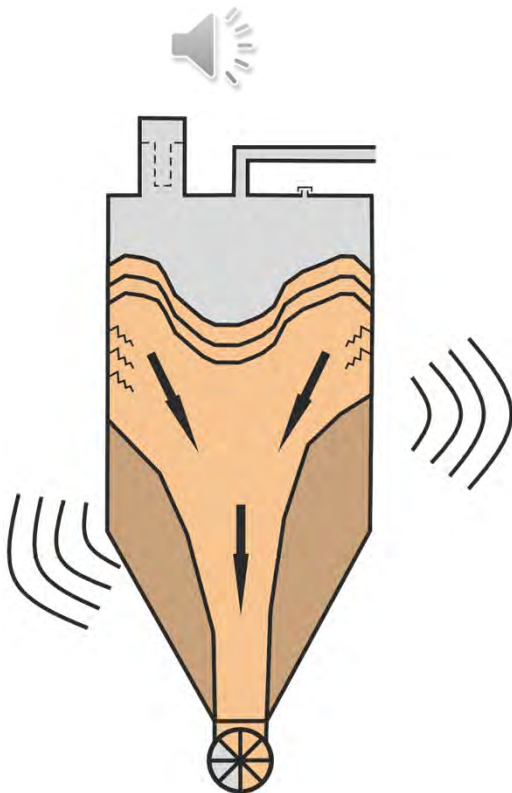
Gründe für Schachtbildung

- Kernfluss → Schächte haben größere Durchmesser als Brücken, somit kann trotz Berücksichtigung der Brückenbildung Schachtbildung entstehen

Probleme durch Schachtbildung

- Unregelmäßiger Siloaustrag
- Schießen (Problem 4)
- Personenschäden
- Siloschäden (Unterdruckbeulen)
- Tote Zonen → Zeitverfestigung
- ATEX: Schwelbrand

Lösung → Massenfluss

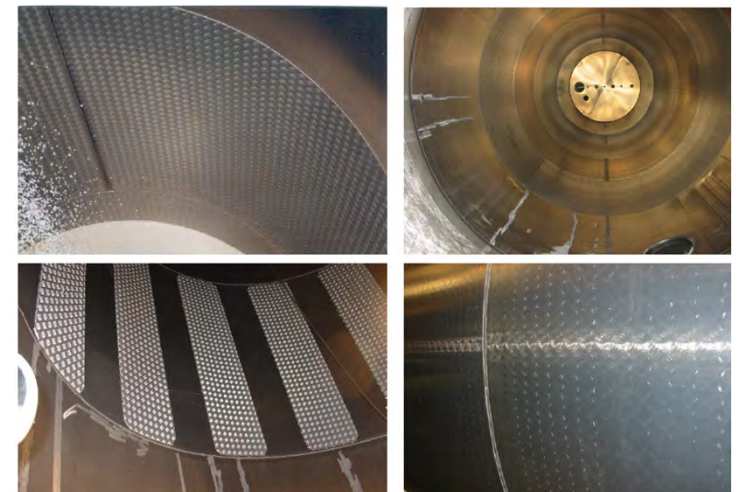


Gründe für Silobeben / Silohupen

- Stick-Slip Effekt: Rückartiges Fließen von Schüttgut. Es ist der Wechsel zw. Haftreibung und Gleitreibung.
- Voraussetzung → Materialverhalten: Gleitreibung kleiner als Haftreibung
→ Systemverhalten: Das System muss Schwingungen erlauben.

Probleme durch Silobeben / Silohupen

- Lärmbelästigung
- Schwingungen / Beben des Untergrundes
- Unregelmäßiger Siloaustrag
- Siloschäden
- Untergrundschäden (Stahlbau)



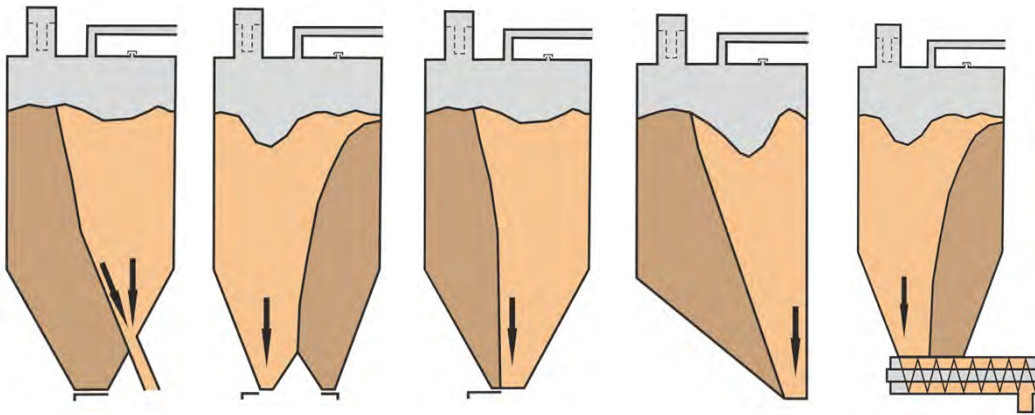
Erschütterungen können auf unterschiedlichen Mechanismen beruhen, die noch nicht vollständig erforscht sind. Daher gibt es auch keine Standardlösungen zur Vermeidung der Erschütterungen. [1]

Problem 7 – Einseitiger Abzug



SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK





Lösung → u.a. Massenfluss

Gründe für einseitigen Abzug

- Austragsgeräte haben keine steigende Förderkapazität in Förderrichtung
- Teilweise geschlossene Absperrorgane
- Siloeinbauten
- Seitlicher Abzug
- Tote Zonen

Probleme durch einseitigen Abzug

- Unregelmäßiger Siloaustrag
- Siloschäden durch exzentrisches Fließen und dadurch ungleichmäßige Lastverteilung auf die Silowand
- Tote Zonen → Zeitverfestigung

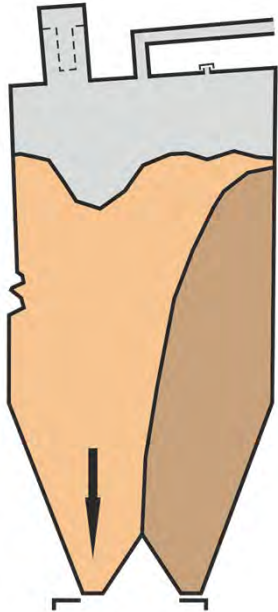
Problem 8 – Beulen / Knicken durch einseitiges Fließen



SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK







Gründe für Beulen / Knicken

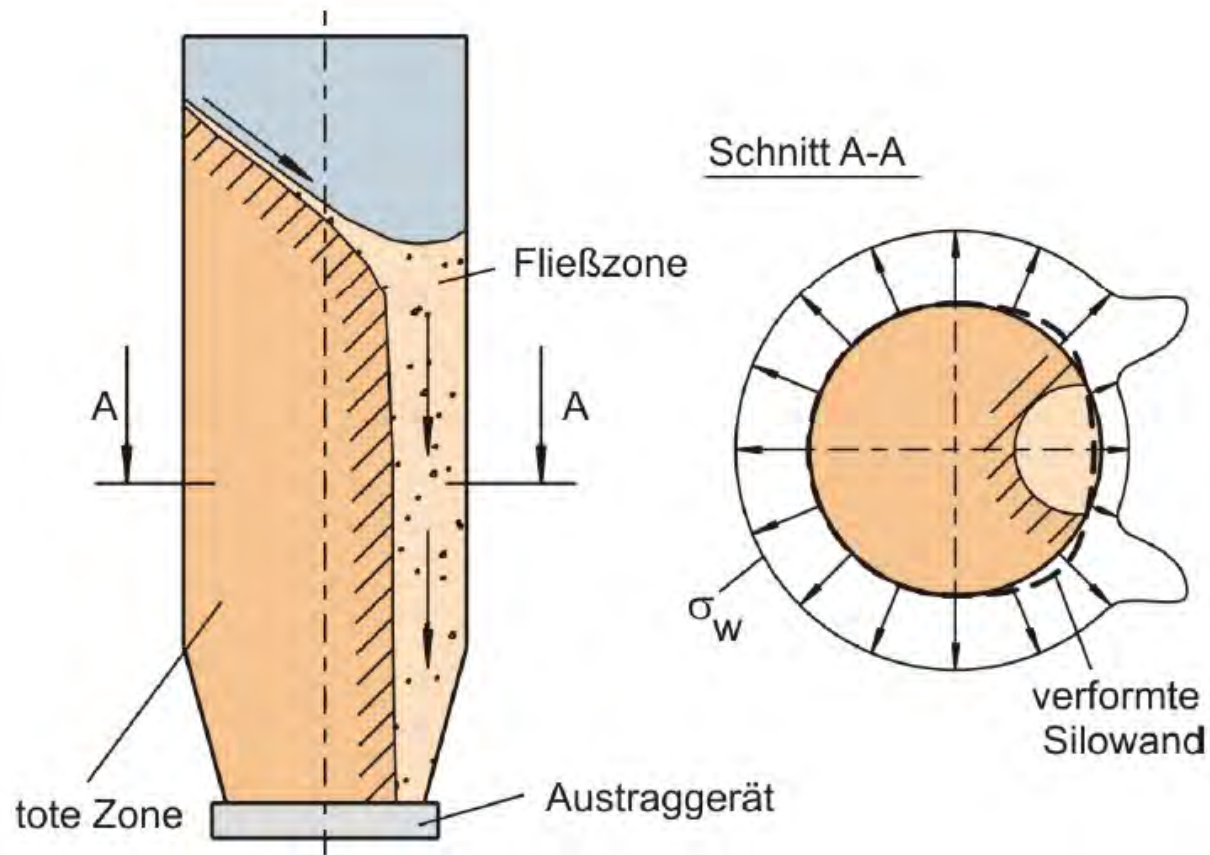
- Kernfluss
- Schachtbildung
- Einseitiger Abzug
- Siloeinbauten
- Exzentrisches Fließen
- Falsche Unterdrucksicherung
- U.v.m.

Probleme durch einseitigen Abzug

- Siloschäden

Lösung → Massenfluss, Vermeidung exzentrisches Fließen

Hohe Wandnormalspannungen durch exzentrisches Fließen

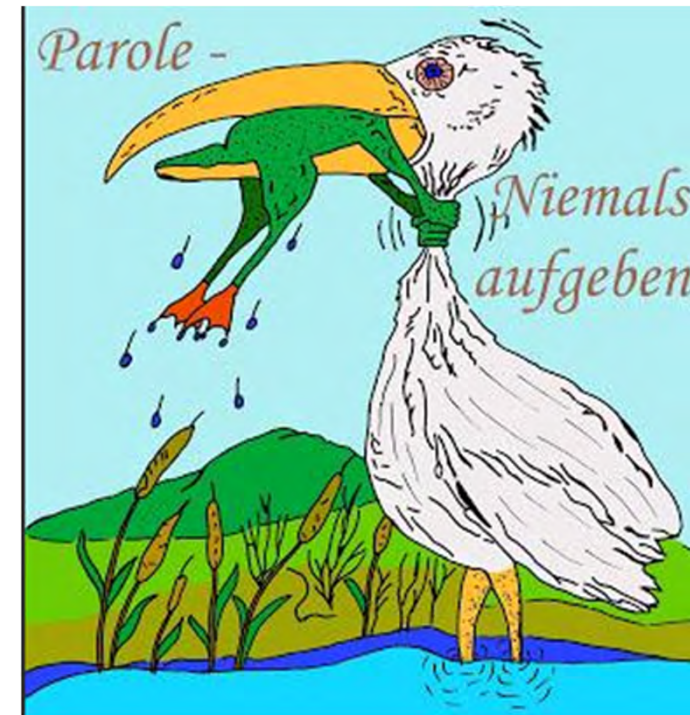


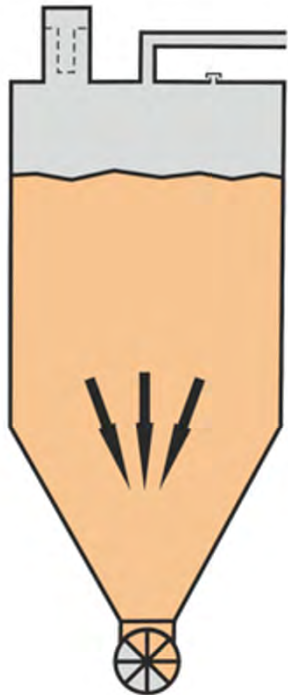
PROBLEM

1. Kernfluss
2. Entmischung
3. Brückenbildung
4. Schießen
5. Schachtbildung
6. Silobeben / Silohupen
7. Exzentrisches Fließen
8. Beulen / Knicken

LÖSUNG

- Massenfluss
- u.a. Massenfluss
- Silodimensionierung auf Basis von Scheranalysen
- u.a. Massenfluss
- Massenfluss
- divers
- u.a. Massenfluss
- u.a. Massenfluss



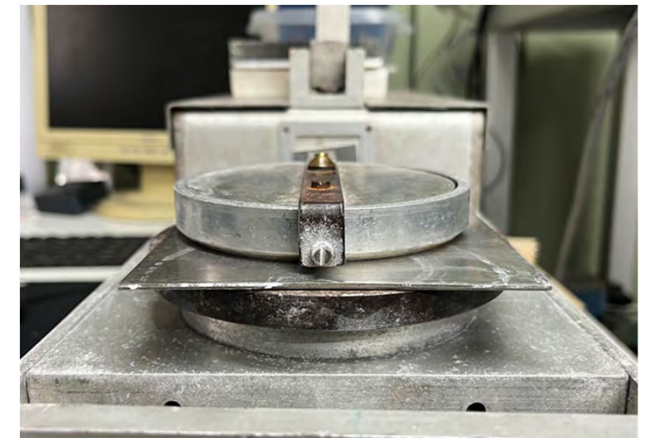
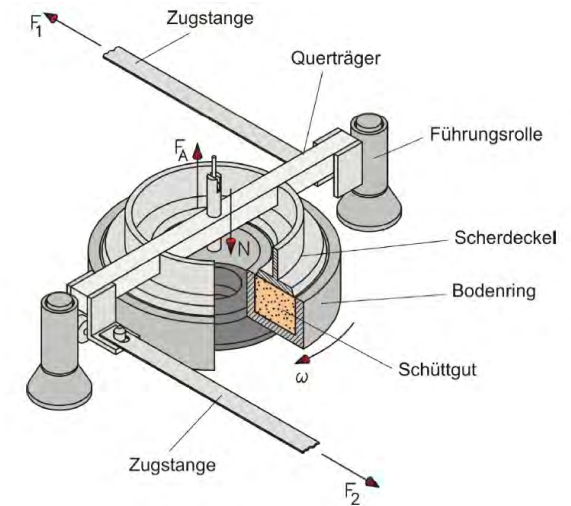


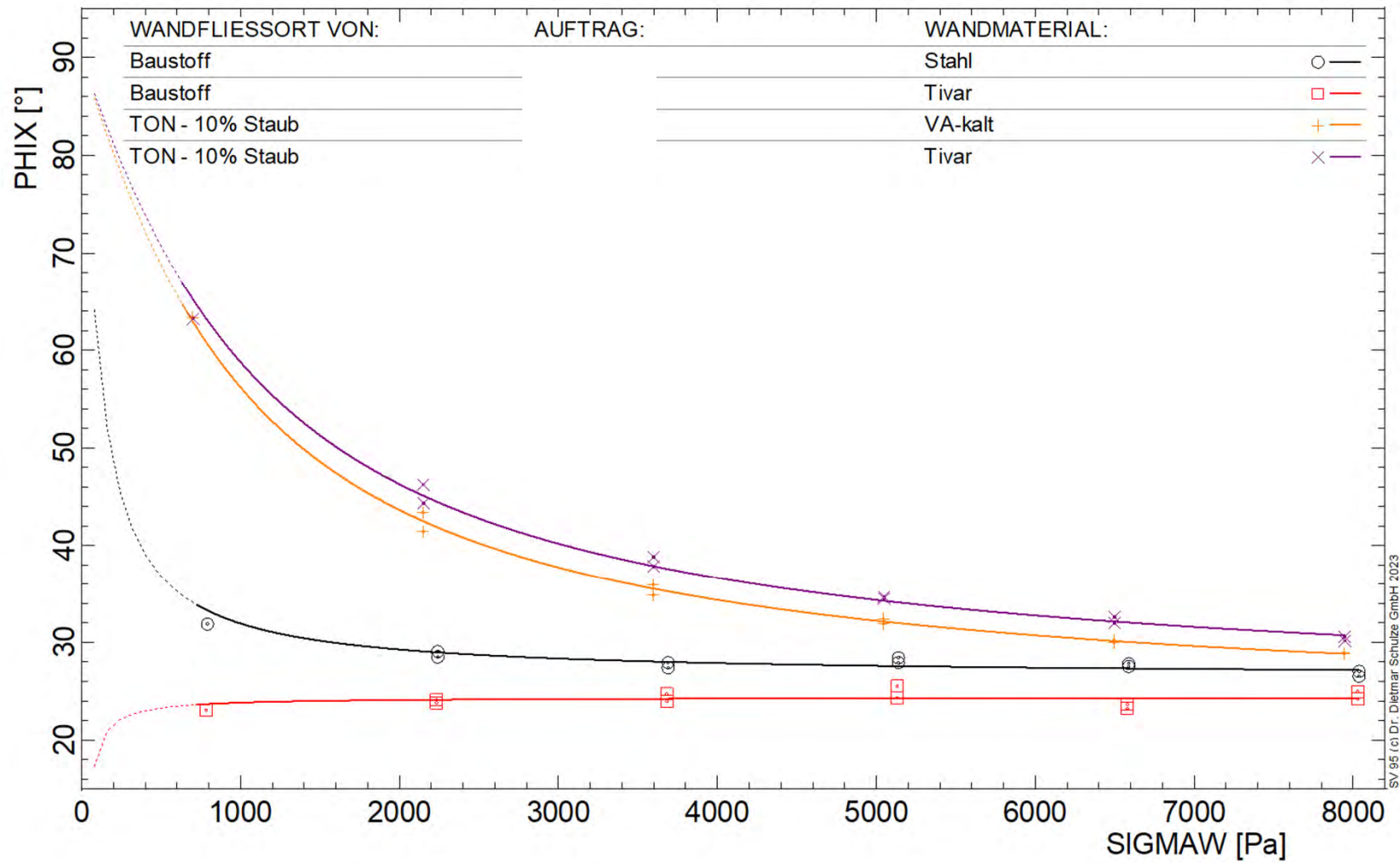
Messen der schüttgutspezifischen Eigenschaften

1. Wandreibungswinkel
2. Fließeigenschaften
 - a. Fließfunktion
 - b. Zeitverfestigung
 - c. Lastabhängige Schüttgutdichte

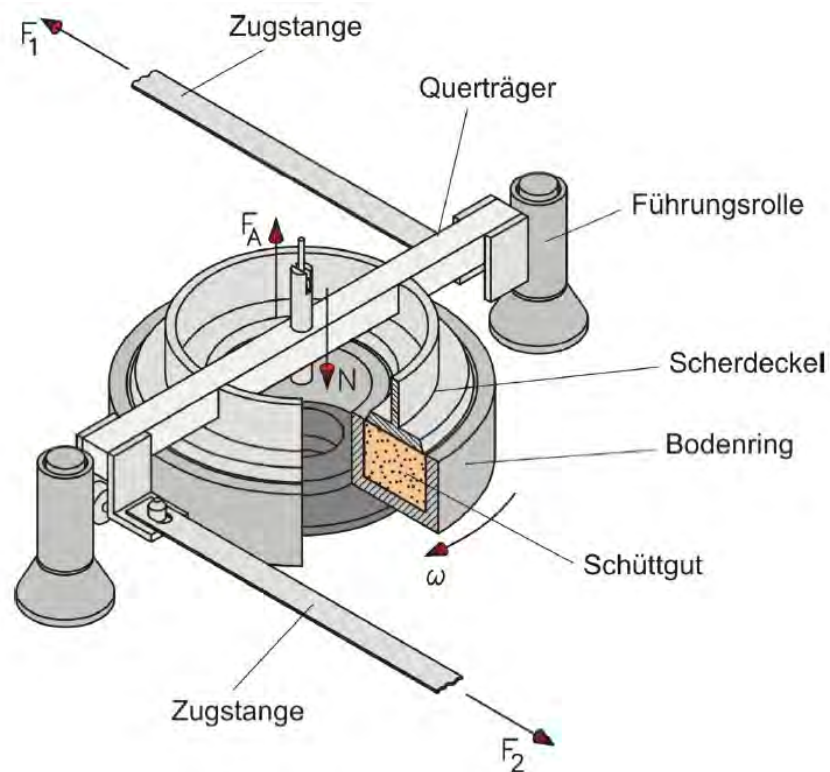
↓
Auslegungsverfahren von Jenike anwenden

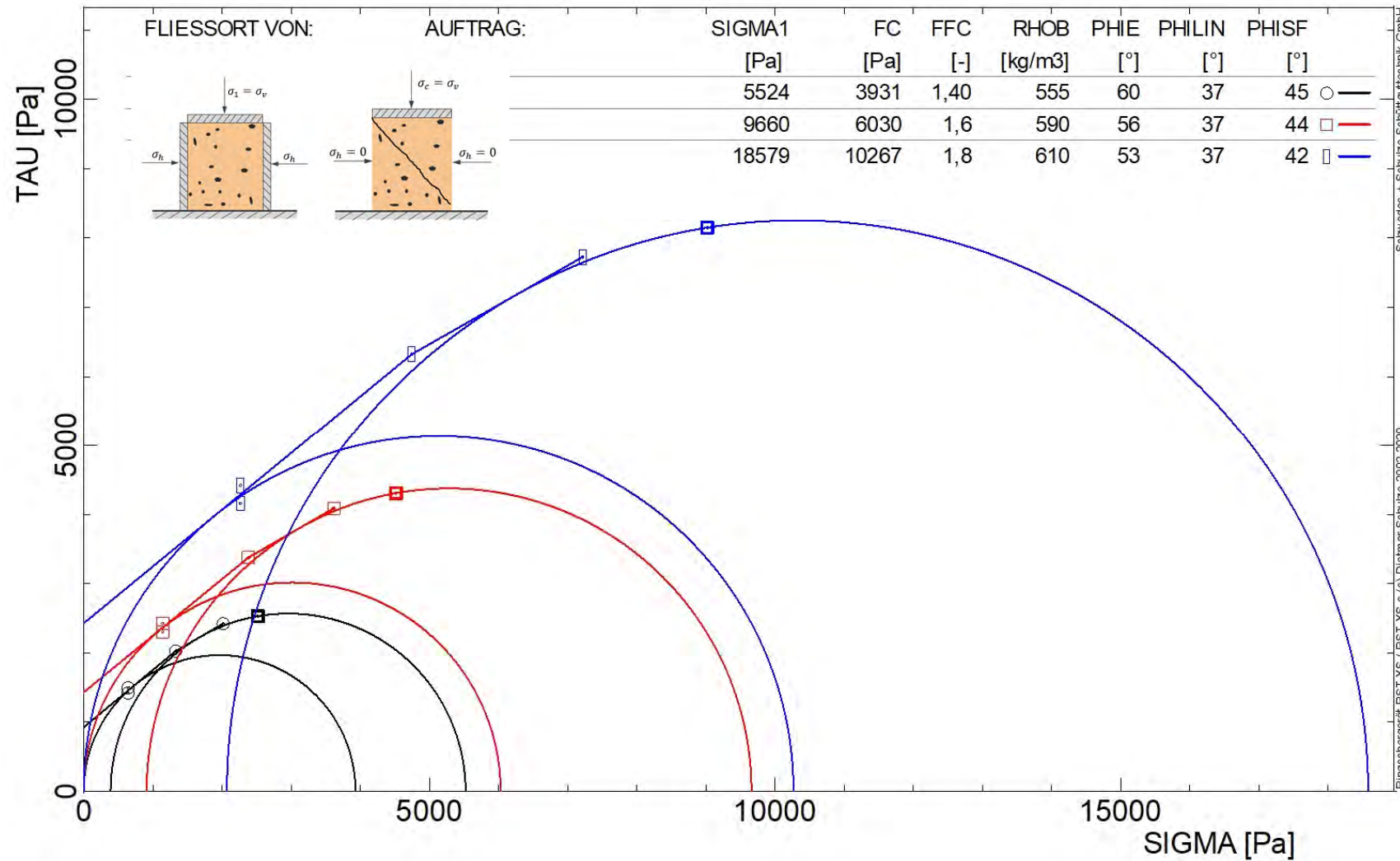
↓
Ergebnis: verfahrenstechnische Silogestaltung



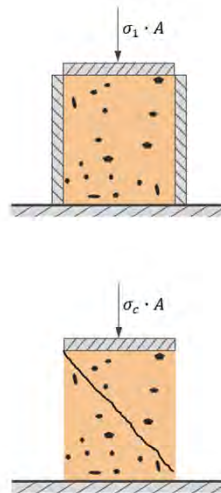


Messung auf Basis des Jenike Prinzips mit dem „Schulze Ring Shear Tester“ (ASTM D6773)



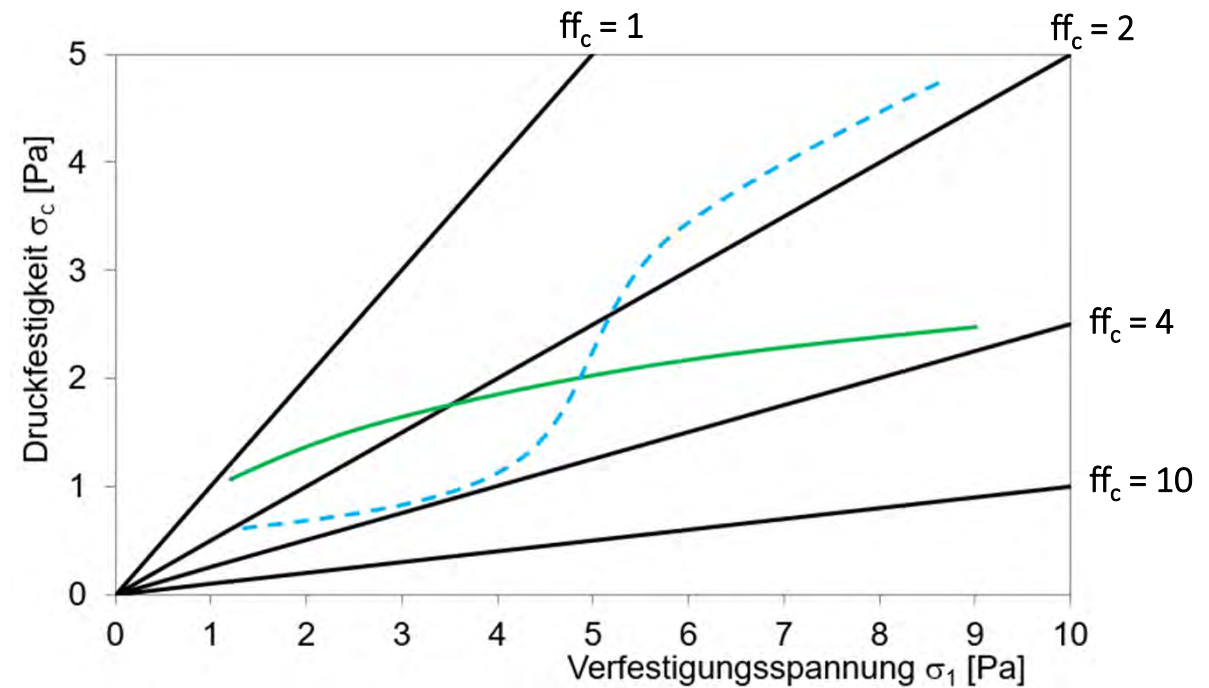


$$ff_c = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} = \frac{\text{Verfestigungsspannung}}{\text{Druckfestigkeit}}$$



Grobe Einteilung mit Worten:

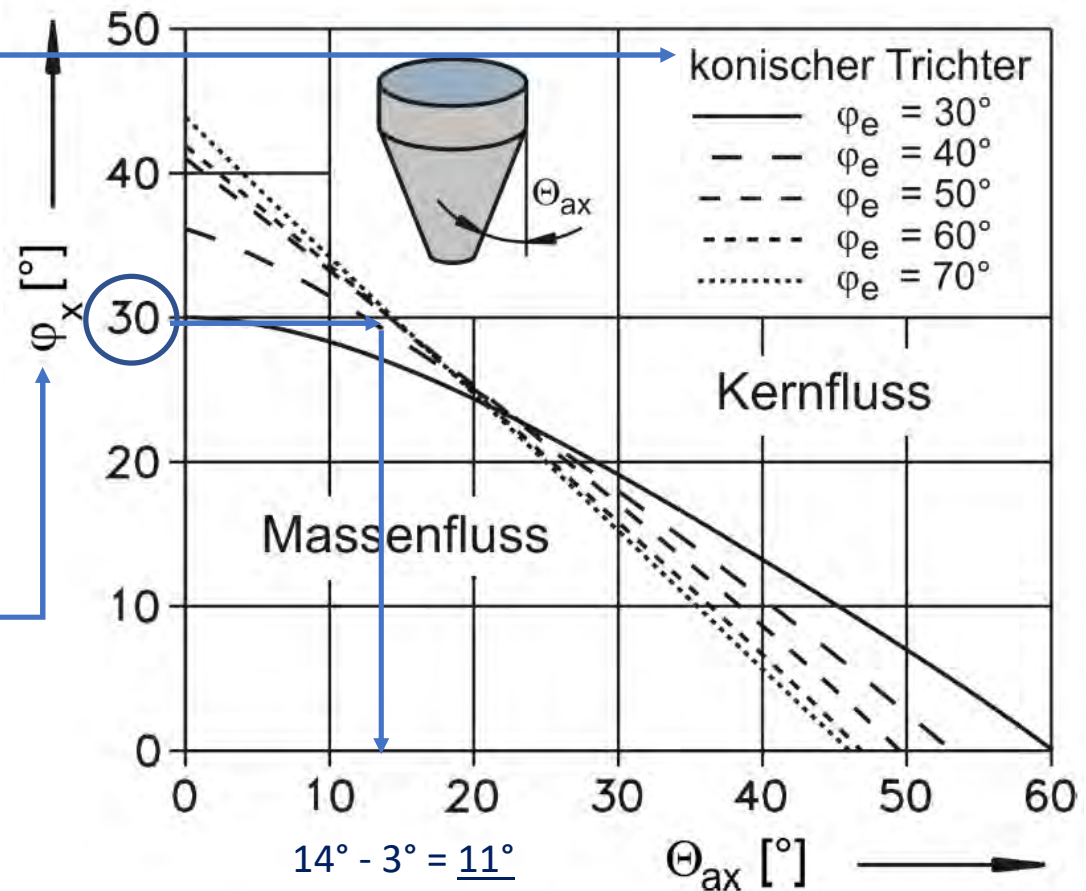
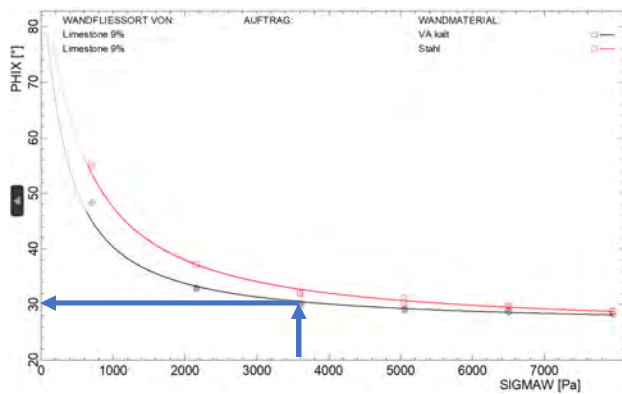
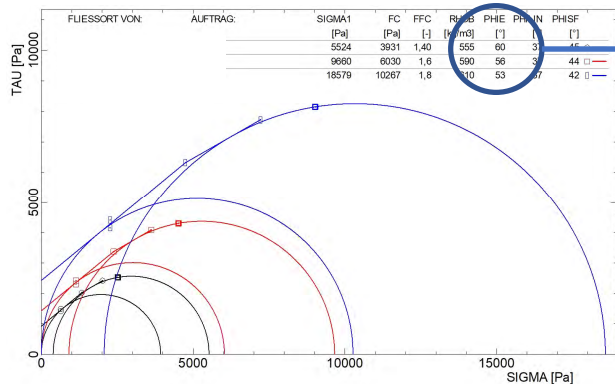
$ff_c < 1$	nicht fließend, verhärtet
$1 < ff_c < 2$	sehr kohäsiv, schwer fließend
$2 < ff_c < 4$	kohäsiv
$4 < ff_c < 10$	gut fließend
$10 < ff_c$	frei fließend



Ermittlung der Trichterneigung (gegen die Vertikale) für Massenfluss

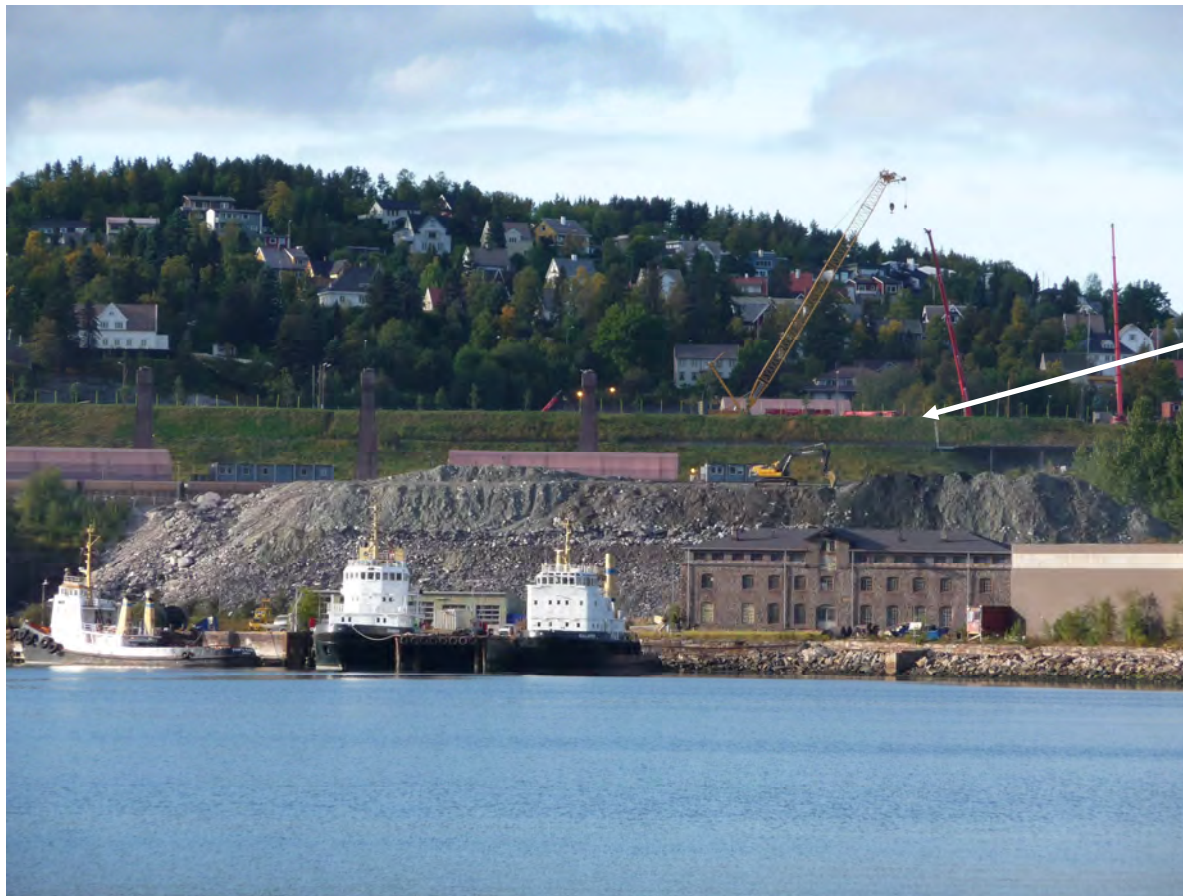


SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK



Quelle [2]

Es sind 3° Sicherheitsabstand laut Jenike anzuwenden



Top of silo

Silo height

Silobatterie für Eisenerz - Norwegen

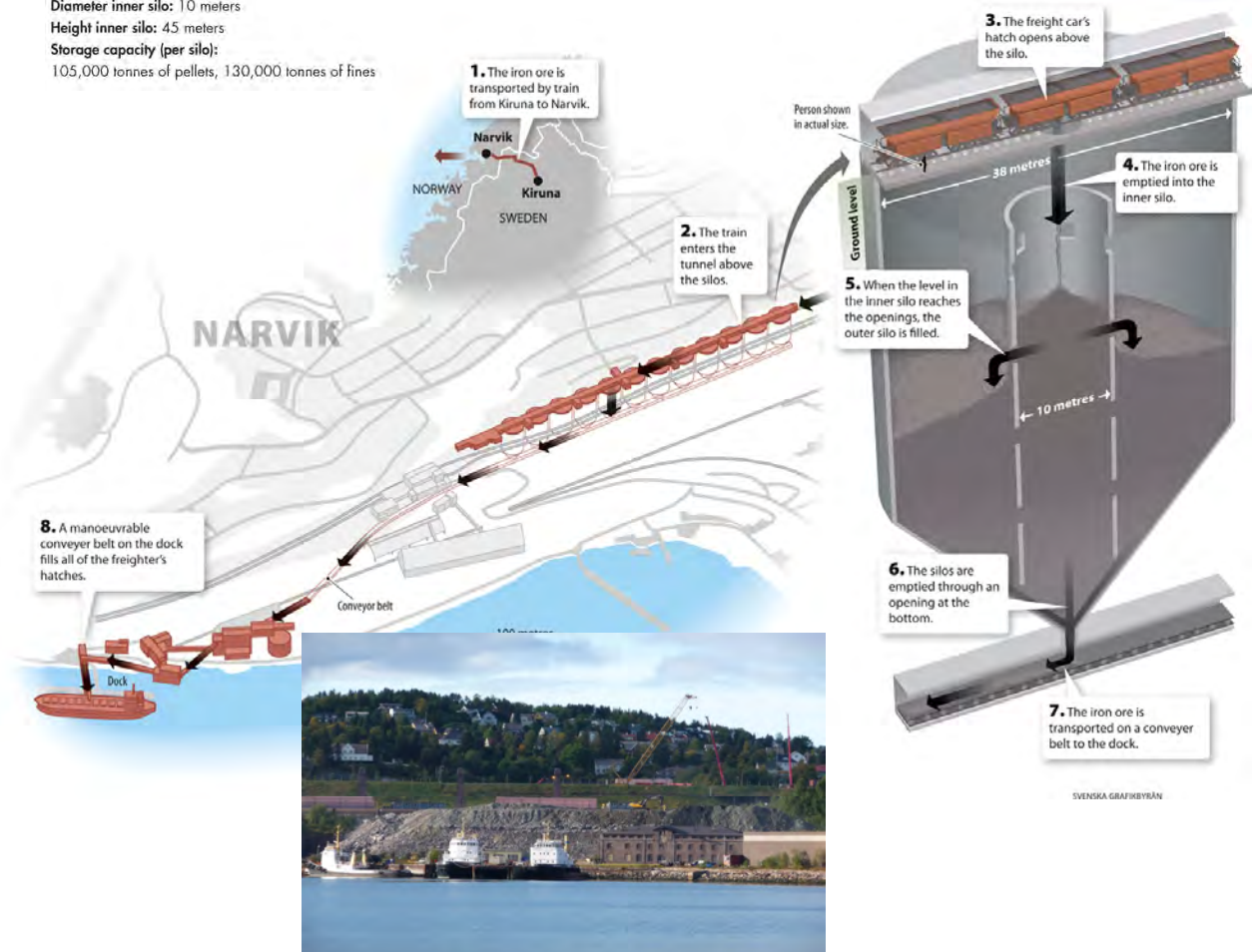


SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK



SILA in brief:

Number of silos: 12
Diameter outer silo: 38 meters
Height outer silo: 60 meters
Diameter inner silo: 10 meters
Height inner silo: 45 meters
Storage capacity (per silo):
105,000 tonnes of pellets, 130,000 tonnes of fines



- [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] GVT Hochschulkurs: Vom Schüttgut zum Silo (2023)
- [3] www.schwedes-und-schulze.de



SCHWEDES + SCHULZE
SCHÜTTGUTTECHNIK - SILO - PNEUMATIK

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Mario Dikty
Schwedes + Schulze Schüttguttechnik GmbH
Teichstraße 4
D-21641 Apensen
+ 49 4167 699 56 89
+ 49 176 236 18 669
m.dikty@schwedes-und-Schulze.de
www.schwedes-und-Schulze.de