

## CAHD: Computer-aided hopper design

Die Messergebnisse von Ringschergeräten werden neben Fließfähigkeitsmessungen, z. B. zur Produktentwicklung, auch für die Auslegung von Trichtern angewendet. Dabei werden Trichterneigungswinkel und Auslaufgrößen in Abhängigkeit der gemessenen Fließeigenschaften so bestimmt, dass Massenfluss erreicht wird und keine Brücken entstehen. Bei Kernflusssilos lässt sich der Auslaufdurchmesser zur Vermeidung von Schachtbildung vorhersagen, und für beide Auslegungen kann der häufig bestimmende Einfluss der Zeitverfestigung des Schüttgutes berücksichtigt werden.

Die neue Software CAHD liest mit unseren Ringschergeräten gemessene Fließeigenschaften unmittelbar aus den von der Ringschergeräte-Software RST-CONTROL 95 erzeugten Dateien ein. Messwerte anderer Herkunft können über eine Vorlage für Microsoft EXCEL\* importiert werden. Aus den Daten erzeugt CAHD interaktiv - also unter möglicher Einflussnahme des Users - die Verläufe von Festigkeit, Schüttgutdichte, innerer Reibung etc., um schließlich aus den gewählten Daten eine verfahrenstechnische Siloauslegung zu erstellen. Die Interaktivität ist wichtig, um eine transparente Vorgehensweise zu ermöglichen und um Fehler durch eine „sture“ Anwendung der Auslegungsverfahren zu vermeiden.

Mit der neuen Software gehören zeitraubende Iterationszyklen bei spannungsabhängigen Reibungswinkeln der Vergangenheit an: Alle als Messdaten vorgegebenen Abhängigkeiten werden berücksichtigt. So kann z.B. der Trichterneigungswinkel als Funktion der Auslaufgröße bzw. des örtlichen Trichterquerschnitts angegeben werden.

Die Ergebnisse werden in Form eines pdf-Dokuments ausgegeben, aus dem sich alle Schritte der Auslegung nachvollziehen lassen. Dies ist unverzichtbar für eine umfassende Dokumentation einer Siloauslegung.

Neben der Auslegung von Massenflusssilos für konische, keilförmige und asymmetrisch-keilförmige Trichter unter Berücksichtigung der Zeitverfestigung ist auch eine Bemessung von Kernflusssilos enthalten. Dazu wurden die Auslegungswerte (z.B. Fließfaktoren  $f_f$ ) basierend auf Jenikes Differentialgleichungen neu berechnet. Alternativ lassen sich auch andere bekannte Ansätze verwenden.

CAHD erfordert Microsoft Windows 7/8/10\*, einen USB-Anschluss für den Kopierschutz-Dongle und eine Bildschirmauslösung von mindestens 1024 x 768.

\*) Microsoft Windows 7, Microsoft Windows 8, Microsoft Windows 10 und Microsoft EXCEL sind geschützte Markennamen von Microsoft Corp., USA.

## Produkte

Dr. Dietmar Schulze Schüttgutmesstechnik entwickelt und fertigt Ringschergeräte zum Messen der Fließeigenschaften von Pulvern und Schüttgütern. Unser erstes Ringschergerät, das Anfang der 1990er Jahre entwickelt wurde, ist Grundlage der ASTM D6773. Unser aktueller Produktkatalog umfasst die automatischen Ringschergeräte RST-XS.s und RST-01.pc.



Das kleine Ringschergerät RST-XS.s arbeitet mit Scherzellen im Bereich von 3.5 cm<sup>3</sup> bis 70 cm<sup>3</sup> Probevolumen. Für das große Ringschergerät RST-01.pc sind Scherzellen bis zu 900 cm<sup>3</sup> Probevolumen verfügbar so dass Partikel bis zu 10 mm (Wert ist abhängig von der Partikelgrößenverteilung) untersucht werden können.

Die Ringschergeräte werden mit der Software RST-CONTROL 95 zum automatischen Messen von Fließeigenschaften (Fließort, Wandreibung, Zeitverfestigung,...) ausgeliefert. Sämtliches Kalibrierzubehör ist inbegriffen.

Für beide Ringschergeräte bieten wir weiteres Zubehör an: Wandreibungszellen (mit auswechselbarer Wandmaterialprobe, die auch kundenseitig beigestellt werden können), Scherzellen für kleine Spannungen (RST-XS.s), Zeitverfestigungsstände (für die Langzeitlagerung getrennt vom Messgerät, z. B. in einem Klimaschrank) und Gewichte.

Weitere Informationen: [www.dietmar-schulze.de](http://www.dietmar-schulze.de)



**Dr. Dietmar Schulze**  
Schüttgutmesstechnik

Dr. Dietmar Schulze Schüttgutmesstechnik  
Am Forst 20, 38302 Wolfenbüttel / Germany  
Phone +49 5331 935 490, Fax +49 5331 978 001  
mail@dietmar-schulze.de, [www.dietmar-schulze.de](http://www.dietmar-schulze.de)



(c) 2021 Dietmar Schulze. Alle Rechte vorbehalten.  
Technische Änderungen, Liefermöglichkeiten, Druckfehler und Irrtümer vorbehalten-

# Computer-aided Hopper Design

Interaktive Software zur  
verfahrenstechnischen Siloauslegung



**Dr. Dietmar Schulze**  
Schüttgutmesstechnik

# Von der Schüttgutprobe zum geeigneten Trichter

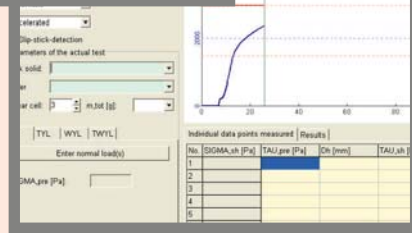
## Start

1 Messen Sie die Fließeigenschaften (Ringschergerät und Mess-Software RST-CONTROL 95)

Zeitverfestigungsmessung

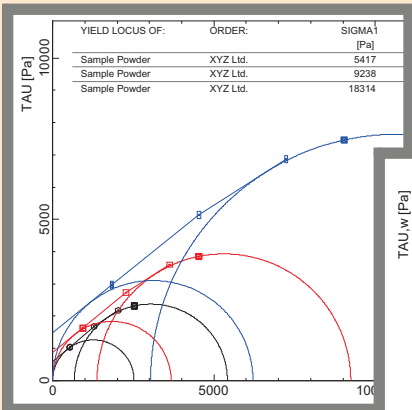


Scherzelle Ringschergerät RST-01.pc



RST-CONTROL 95

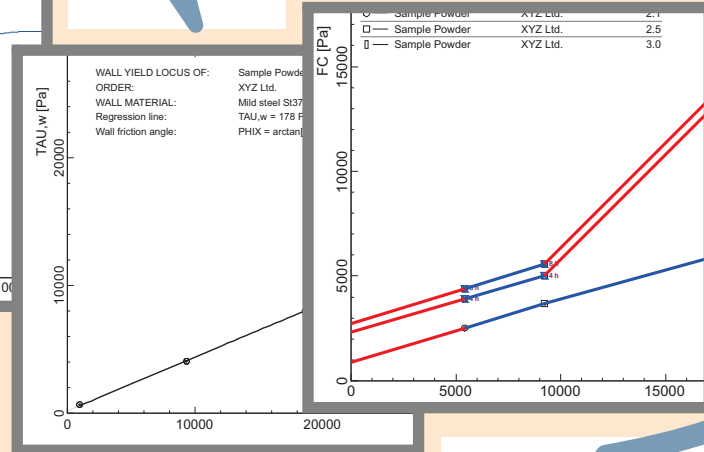
Yield loci



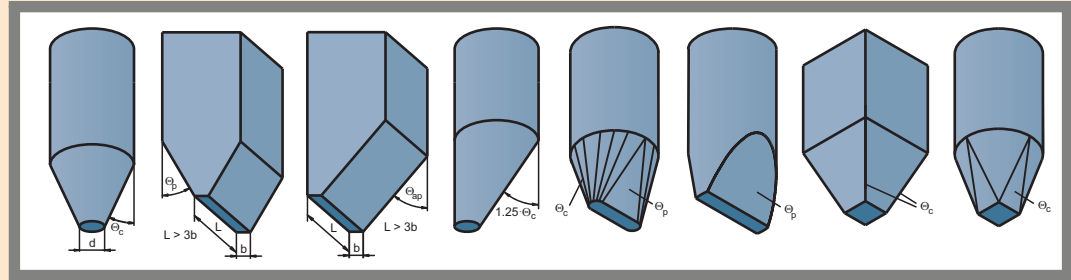
2 Messergebnisse: Festigkeit, Dichte, innere Reibung, Wandreibung

Wandfließort

Fließfunktion, Zeitfließfunktionen

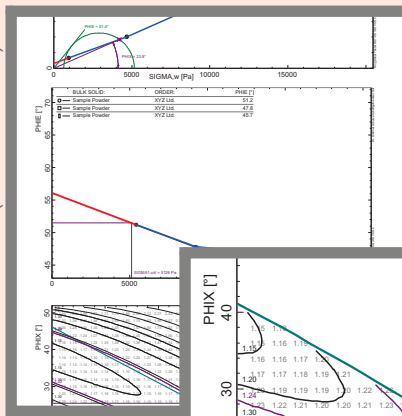


Anwendung der Ergebnisse der Siloauslegung auf verschiedene Siloformen



4 Wählen Sie mit den Ergebnissen die optimale Siloform.

Seite des Berichts (kritische Punkte)



Hopper wall slope in dependence on local hopper diameter  
Here you can find the maximum hopper wall slope against the vertical as a function of the local hopper diameter. This is NO statement on the minimum outlet diameter to avoid arching!

d [m]	Theta.c [°]	d [m]	Theta.c [°]	d [m]	Theta.c [°]
0.000	14.5	1.800	18.6	-	-
0.200	15.4	1.900	18.7	-	-
0.400	16.1	1.900	18.9	-	-
0.600	16.7	1.900	18.9	-	-
0.800	17.1	2.000	19.0	-	-
1.000	17.5	2.250	19.2	-	-
1.200	17.8	2.500	19.3	-	-
1.300	18.0	2.750	19.4	-	-
1.400	18.2	-	-	-	-
1.500	18.4	-	-	-	-

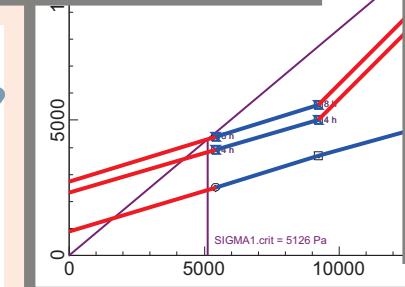
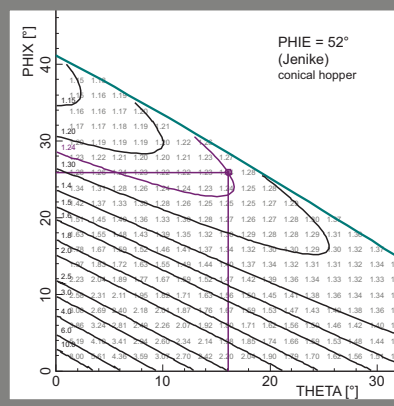
Minimum outlet diameter to avoid arching in dependence on hopper wall slope and storage time at rest  
Here you can find the minimum outlet diameter d to avoid arching for the measured storage times as a function of hopper wall slope Theta.

Theta.c [°]	Storage time [h]			
	0	4.00	8.00	
17.0	-	0.971	m	
16.0	-	0.797	0.960	m
15.0	-	0.758	0.950	m
14.0	-	0.751	0.941	m
13.0	-	0.774	0.933	m
12.0	-	0.768	0.925	m
11.0	-	0.762	0.919	m
10.0	-	0.757	0.914	m
9.0	-	0.752	0.909	m
8.0	-	0.746	0.905	m
7.0	-	0.744	0.902	m
6.0	0.265	0.742	0.898	m
5.0	0.295	0.739	0.895	m
4.0	0.265	0.737	0.892	m

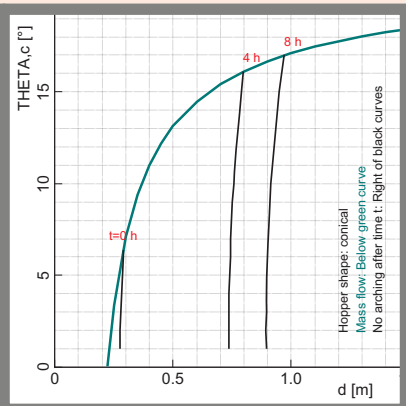
Seite des Berichts (Neig. vs. Durchm.)

3 Computer-aided hopper design: Das Programm berechnet ff-Diagramme, bestimmt interaktiv Auslaufgrößen, Wandneigungen, etc., und erzeugt einen Bericht.

Fließfaktor-Diagramm



Bestimmung der minimalen Auslaufgröße



Max. Wandneigung vs. Durchmesser