

---

## NEUE KONSTRUKTION EINES RINGSCHERGERÄTES

Ulrich SCHÜNEMANN<sup>a</sup>, Detlef HÖHNE<sup>a</sup>, Jiří ŠMÍD<sup>b</sup> und Jürgen NEUMANN<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Forschungsinstitut für Aufbereitung,  
Akademie der Wissenschaften der DDR, 9200 Freiberg, DDR und*

<sup>b</sup> *Institut für Theoretische Grundlagen der Chemischen Technik,  
Tschechoslowakische Akademie der Wissenschaften, 165 02 Praha 6-Suchbát, Tschechoslowakei*

Eingegangen am 24. Januar 1986

---

Die neue Konstruktion eines Ringschergerätes für Schüttgüter und Pulver zeichnet sich durch einen neuartigen Scherdeckel ab, der eine gleichzeitige und voneinander unabhängige Messung des wirklichen Normaldrucks in der Materialprobe und der Scherspannungskomponente ermöglicht. Die Funktion des Gerätes wird durch Ergebnisse von Messungen des Fließortes von Quarzmehl (mit Teilchen < 90 µm) belegt.

---

In vielen Zweigen der Volkswirtschaft erweist sich die Lagerung und kontinuierliche Bereitstellung von Schüttgütern als eine notwendige technologische Voraussetzung, um einen zuverlässigen und störungsfreien Produktionsablauf zu gewährleisten. Im Zuge der immer stärkeren Mechanisierung und Automatisierung ganzer Produktionslinien wird es erforderlich, dem Problem der Bunkerung von Schüttgütern eine erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen. Anderenfalls kommt es in der Praxis aufgrund ungenügender Kenntnisse über die zu lagernden Schüttgüter häufig zu Störungen beim Ausfließen aus Bunkern. Andererseits muß auch eine Bunkerüberdimensionierung vermieden werden, die oftmals unerwünscht und materialökonomisch nicht vertretbar ist.

Deshalb ist es notwendig, die charakteristischen mechanischen Eigenschaften und das Fließverhalten der Schüttgüter genauer zu untersuchen. Hierbei muß bemerkt werden, daß die Bunkerauslegung bei freifließenden Schüttgütern relativ problemlos ist. Bei schwierigen Gütern, wie den kohäsiven, trifft dies jedoch nicht mehr zu. Hier werden experimentelle Untersuchungen unumgänglich, damit das Schüttgutverhalten ausreichend beschrieben werden kann. Dabei sind zwei Hauptuntersuchungsmöglichkeiten zu unterscheiden. Zum einen ist es möglich, Modellversuche mit Bunkern durchzuführen, bei denen das Fließverhalten sowie das Auftreten von Brückenbildungen, die Abhängigkeit von konstruktiven Daten, wie z. B. Trichterneigung und Größe der Auslauföffnung, direkt beobachtet werden können<sup>1,2</sup>. Zum anderen besteht die Möglichkeit der Bunkerauslegung auf der Basis von Scherversuchen und vorhandenen Theorien, wie z. B.<sup>3-5</sup>. Dabei kommen hauptsächlich zwei verschiedene Gerätesysteme zur Anwendung. Eines davon ist

das Translationsschergerät nach Jenike (JSZ) und das zweite das Ringschergerät nach Carr und Walker (RSZ).

### Problemstellung

Die hier vorliegende Arbeit soll sich mit einer speziellen Problematik auseinandersetzen, die beim Ringschergerät auftritt. Beim herkömmlichen Ringschergerät (Abb. 1) wird die Normalspannung durch das Auftreten einer vertikalen Reibungskomponente an der Führungsschse verfälscht. Diese Reibungskomponente entsteht durch die Aufwärtsbewegung des Scherdeckels im Moment des Scherspannungspeaks beim Abscheren. Infolge der horizontalen Stützkraft im Lager bewirkt diese Bewegung eine Reibungskraft, die zusätzlich zur aufliegenden Normallast auf das Schüttgut einwirkt<sup>5</sup>. Das bedeutet, daß real nicht die Normalspannung wirkt, die theoretisch aus der Masse der aufgelegten Gewichte berechnet wurde.

Es bestehen nun zwei prinzipielle Möglichkeiten, diesen Fehler zu beheben. Erstens kann die vertikale Reibungskomponente durch den Einbau eines Luftlagers eliminiert werden, und zweitens besteht die Möglichkeit, den Reibungsbeiwert  $\mu$  zu ermitteln, der aus der Reibung zwischen Führungsschse und Lagerbuchse des Scherdeckels resultiert. Da aber die Bestimmung des Reibungsbeiwertes ebenfalls fehlerbehaftet und ungenau sein kann, wurde zugunsten einer anderen Lösungsvariante, der Direktmessung der Normalspannung, entschieden. Zu diesem Zweck wurden in den Scherdeckel drei, um  $120^\circ$  versetzt angeordnete, Kraftmeßringe eingebaut, mit denen sowohl die Normal- als auch die Scherspannung direkt gemessen werden können.

Abgeleitet aus der Problemstellung konzentrierten sich die Untersuchungen auf die folgenden Schwerpunkte:

1. Es galt nachzuweisen, daß sich Normal- und Scherspannung zur auftretenden Belastung proportional verhalten. Die Grundlage dafür bildet das lineare Deformationsverhalten der Meßringe.

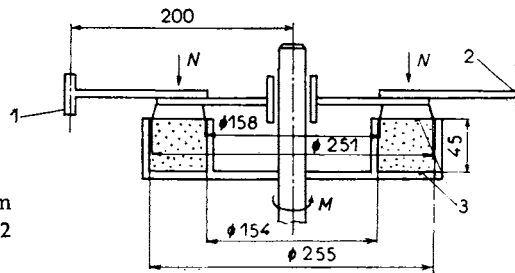


ABB. 1

Herkömmliches Ringschergerät. 1 Hebelarm für die Messung des Torsionsmomentes, 2 Hebelarm für die Eichung, 3 Sandpapier

2. Es mußte der Beweis erbracht werden, daß die Normal- und die Scherspannung gleichzeitig und unabhängig voneinander gemessen werden können.

3. Es mußte bewiesen werden, daß sich mit der gewählten Methode Fließborte messen lassen, die dann mit der herkömmlichen Ringscherzelle und der Jenike-Scherzelle vergleichbar sind.

#### AUFBAU UND MECHANISCHER AUFBAU

*Aufbau des Scherdeckels.* Wie bereits erwähnt, ist der ursprüngliche Scherdeckel modifiziert worden. Die untersuchte Ausführung mit eingebauten Meßringen ermöglicht es, die Scher- und Normalspannung gleichzeitig wie auch unabhängig voneinander zu erfassen.

Abb. 2 zeigt den Aufbau des Scherdeckels. Das Hauptbauteil des Scherdeckels bildet die Basisplatte. In ihr ist zentrisch die Lagerbuchse eingepaßt.

An der Unterseite der Basisplatte sind drei Aussparungen zur Aufnahme der Meßringe vorgesehen. Der Meßring selbst ist zur geometrischen Fixierung mittels Kerbstift und Schraubverbindung starr mit der Basisplatte verbunden, die Unterseiten der Meßringe sind jeweils über eine Paßschraube am Befestigungsring montiert. Um eine Beschädigung und Verschmutzung der Meßringe zu vermeiden, sind diese mit Schutzblechen verkleidet.

Der Befestigungsring und der darunter befindliche Scherring sind ebenfalls miteinander verschraubt. Die Unterseite des Scherringes ist mit Sandpapier beklebt. Um zu gewährleisten, daß sich beim Scheren auch tatsächlich eine innere Reibung des Schüttgutes einstellt, ist die Körnung des Sandpapiers so ausgewählt worden, daß sie mindestens das Fünffache des mittleren Gutkorndurchmessers beträgt.

*Meßanordnung.* Mit Hilfe der in den Scherdeckel eingebauten Meßringe werden beim Scheren pro Meßring eine Normal- und eine Scherspannungskomponente erzeugt. Diese 6 induzierten Meßsignale werden getrennt über abgeschirmte Zuleitungen zu einem 6-Kanal-Trägerfrequenzmeßgerät geführt, so daß für jede Spannungskomponente ein Meßkanal zur Verfügung steht.

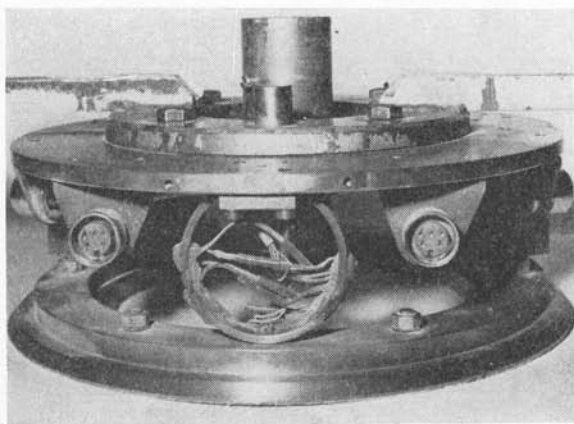


ABB. 2

Scherdeckel mit eingebautem Meßring

Das Trägerfrequenzmeßgerät (TFM) ermöglicht es, daß jede Brücke separat abgeglichen und die Meßsignale verstärkt werden können. In einem Zusatzgerät werden dann die drei Komponenten der Normal- bzw. Scherspannung summiert. Als Ergebnis erhält man den Gesamtwert der Scherspannung wie auch den der Normalspannung, deren zeitlicher Verlauf mit einem Laborbandschreiber aufgezeichnet wird. Neben diesen beiden Spannungen wird ebenfalls noch zusätzlich die Scherspannung als Kontrollgröße aufgenommen, die aus dem äußeren Kraftmeßgeber resultiert. Dazu werden ein Ein-Kanal-TFM und ein Laborbandschreiber benötigt.

## ERGEBNISSE

Mit dem in Abb. 3 dargestellten Versuchsergebnis wurde der Beweis erbracht, daß die im Scherdeckel eingebauten Meßbringe auch bei unsymmetrischer Normalbelastung nach der Summation einen analogen Wert zur zentrischen Belastung liefern. Die Abhängigkeit von der Belastung ist linear. Die Eichung der Meßgeber bezüglich der Scherspannung zeigt ebenfalls eine lineare Abhängigkeit zwischen dem aufgebrauchten Drehmoment und dem der Scherspannung proportionalen Schreiberausschlag (Abb. 4).

Zur Beweisführung gehörte, daß mit dem neuen Scherdeckel auch kombinierte Spannungen (Normal-Tangential) gleichzeitig gemessen werden können. Im vorliegenden Versuchsergebnis (Abb. 5) wurde eine Scherspannung  $\tau$  aufgebracht und die Normalspannung  $\sigma$  im Bereich  $0 \leq \sigma \leq 9,85$  kPa variiert. Die Versuchsergebnisse weisen keine Beeinflussung durch die Variation der Normalspannung auf.

Abb. 6 zeigt den Fließortverlauf für vier verschiedene Verfestigungsbedingungen. Jeder Meßpunkt eines Fließortes ist der Mittelwert von 20 Einzelmessungen<sup>6</sup>. In der Tabelle I sind die Kennwerte, die aus den Fließorten entnommen wurden, zusammengestellt.

Eine günstige Möglichkeit zum Vergleich von Scherversuchen stellt die Normierung der Meßwerte dar, die durch Bezug der Scher- und Normalspannungswerte auf die Anschernormalspannung  $\sigma_A$  erfolgt.

Im Abb. 7 sind die Ergebnisse des modifizierten Schergerätes denen eines herkömmlichen Gerätes<sup>7</sup> gegenübergestellt. Es ist erkennbar, daß die korrekte Messung der Spannungen zu einer deutlichen Verschiebung der Fließorte in Richtung größerer Normalspannungen führt. Diese Erscheinung resultiert aus den zum Meßzeitpunkt auftretenden Erhöhungen der Normalspannung infolge der o. a. Reibungskräfte (Abb. 8).

Eine andere Möglichkeit des Vergleiches von Meßergebnissen ist die Gegenüberstellung der für die Bunkerdimensionierung benötigten Fließfunktionsverläufe. Im Abb. 9 ist die aus den Fließorten gewonnene Druckfestigkeit  $f_c$  über der Verfestigungsspannung  $\sigma_1$  aufgetragen. Die Ausschaltung der aus den Reibungskräften resultierenden Meßfehler führt zu einer Verringerung der ermittelten Druckfestigkeiten  $f_c$  und damit zu übereinstimmenden Fließfunktionsverläufen von Ringscherzellen (RSZ) und Jenike-Scherzellenmessung (JSZ).

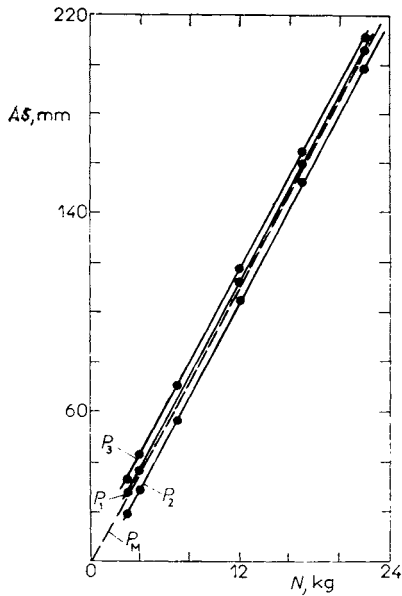


ABB. 3

Reaktionsverhalten der Meßbringe: Abhängigkeit des Schreiberausschlages  $AS$  von der Normallast  $N$ . Stellung der Normallast  $N$ :  $P_1$  — über Meßbringe 1,  $P_2$  — über Meßbringe 2,  $P_3$  — über Meßbringe 3,  $P_M$  — mittig auf Scherdeckel

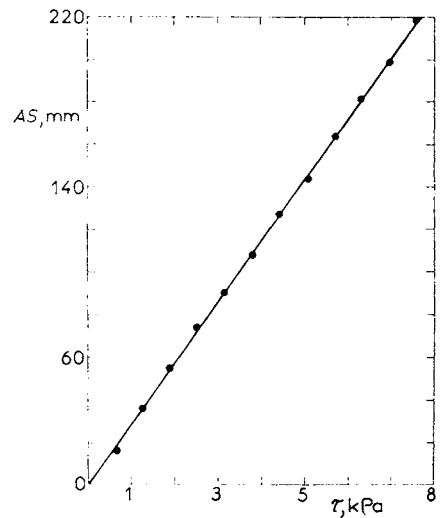


ABB. 4

Eichung der Scherspannung: Abhängigkeit des Schreiberausschlages  $AS$  von der Scherspannung  $\tau$

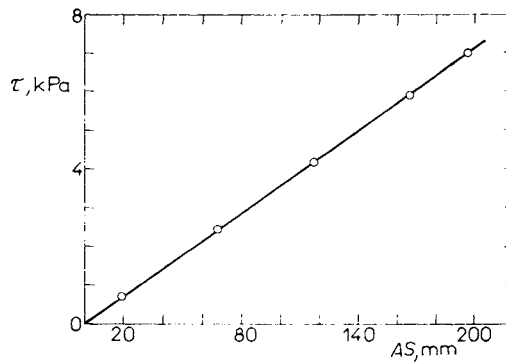


ABB. 5

Unabhängigkeitsnachweis  $\tau$  von  $\sigma$ : gültig für  $0 \leq \sigma \leq 9,850$  kPa. Abhängigkeit der Scherspannung  $\tau$  von dem Schreiberausschlag  $AS$

## Schlußfolgerungen

1. Bei den durchgeführten Versuchen hat sich der neu entwickelte Scherdeckel bewährt. Die eingebauten Kraftmeßringe sichern eine direkte Messung von Normal- und Scherspannung. Der Reibungseinfluß konnte ausgeschaltet werden.

2. Es wurde nachgewiesen, daß sich Normal- und Scherspannungen zur auftretenden Belastung proportional verhalten. Die Grundlage dafür bildet das lineare Deformationsverhalten der Meßringe.

TABELLE I

Fließortkennwerte zu der Abbildung 6

	$\sigma_1$ kPa	$f_c$ kPa	$ff_c$ —	$\varphi_c$ deg	$\tau_c$ kPa	$Q_s$ $\text{kgm}^{-3}$
FO 1 △	5,18	1,60	3,24	40,8	0,48	1 460
FO 2 ○	7,90	2,30	3,43	41,4	0,65	1 520
FO 3 ▲	12,75	3,00	4,25	41,2	0,83	1 540
FO 4 ●	19,72	4,05	4,86	40,5	1,10	1 630

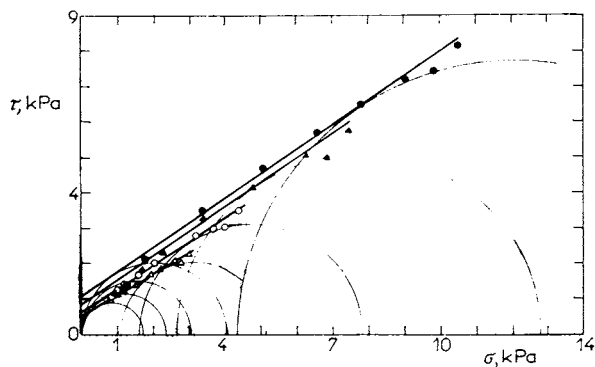


ABB. 6

Fließortverläufe: Abhängigkeit der Scherspannung  $\tau$  von der Normalspannung  $\sigma$ . (Charakterisierung der Fließorte FO — s. Tab. I). △ FO 1, ○ FO 2, ▲ FO 3, ● FO 4

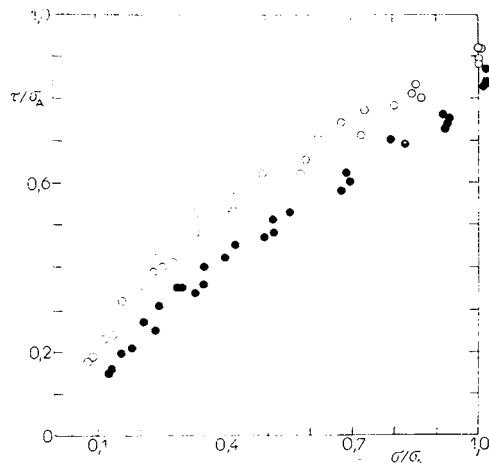


ABB. 7

Gegenüberstellung der normierten Fließorte: Abhängigkeit der normierten Scherspannung  $\tau/\sigma_A$  von der normierten Normalspannung  $\sigma/\sigma_A$ . ● RSZ direkte Messung der Normalspannung, ○ RSZ mit Lagerreibung (Ringscherzelle)

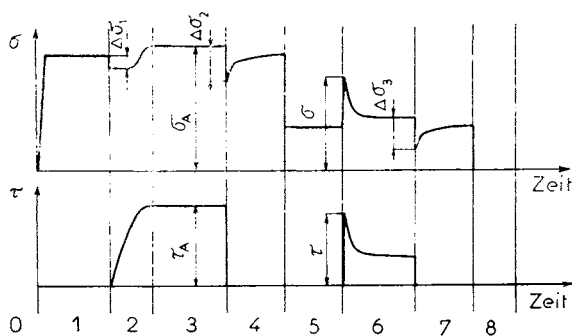


ABB. 8

Qualitativer Verlauf von  $\sigma$  und  $\tau$  beim Scherversuch: Abhängigkeit der Normalspannung  $\sigma$  und der Scherspannung  $\tau$  von der Zeit. Erläuterung der Versuchsschritte: 0 — Versuchsbeginn, 1 — Auflegen der Normallast, 2 — beginnendes Fließen — Anscheren, 3 — stationäres Fließen ( $\sigma_A$ ;  $\tau_A$ ) — Anscheren, 4 — Scherspannung reduziert auf Null, 5 — Reduzierung der Normallast auf Abscherwert, 6 — Abscheren ( $\sigma$ ;  $\tau$ ), 7 — Scherspannung reduziert auf Null, 8 — Normallast abgenommen

3. Es wurde der Beweis erbracht, daß mit den Kraftmeßringen die Normalspannung und Scherspannung gleichzeitig und unabhängig voneinander gemessen werden können.

4. Aufgrund der Vertikalbewegung treten Reibungskräfte im Lager des Deckels auf, daher ist der Normalspannungsverlauf beim Scherversuch nicht konstant. Beim Abscheren tritt analog zur Scherspannung ein Spannungsspeak auf.

5. Der Fließfunktionsverlauf  $f_c$  über  $\sigma_1$  zeigt eine direkte Übereinstimmung mit dem in der Jenike-Scherzelle ermittelten Kenngrößen.

6. Bei der Fließortbestimmung mit dem neu entwickelten Scherdeckel werden zuverlässigere Grenzspannungsverläufe gemessen, die sich bei der Bunkerauslaufdimensionierung dahingehend auswirken, daß kleinere Austragsöffnungen ermittelt werden.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Bei herkömmlichen Ringschergeräten zur Messung der Scherfestigkeit von Schüttgütern treten infolge von vertikalen Lagerreibungskräften Fehlbewertungen der Normalspannung und damit Meßfehler auf. Das neue Gerät verfügt über einen Scherdeckel, der gleichzeitig und unabhängig voneinander die real auftretenden Normal- und Scherspannungen mißt. Als Meßglieder dienen drei mit Dehnungsmeßstreifen versehene Stahlringe.

Als Ergebnis zeigte sich, wie auch durch die theoretischen Überlegungen zu erwarten war, daß Normalspannungsspeaks im Moment des Abscherens auftreten. Diese Vergrößerung der Normalspannung gegenüber der herkömmlichen Messung führt zur Verschiebung der Fließorte. Ein Vergleich mit einer Jenike-Scherzellenmessung anhand der Fließfunktion ergibt eine sehr gute Übereinstimmung.

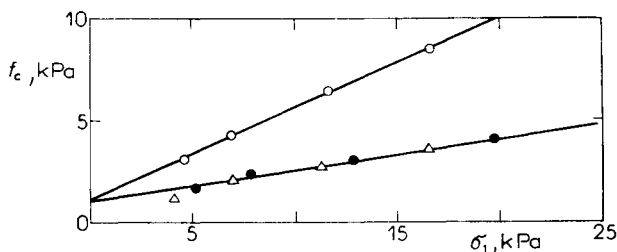


ABB. 9

Darstellung der Fließfunktionen: Abhängigkeit der Druckfestigkeit  $f_c$  von der Verfestigungshauptspannung  $\sigma_1$ . ● RSZ direkte Messung der Normalspannung, ○ RSZ mit Lagerreibung (Ringscherzelle), △ JSZ (Jenike-Scherzelle)



## LITERATUR

1. Lehmann H.-J.: Freiburger Forschungsheft A 634, 191 (1980).
2. Egerer B.: *Dissertation*. Universität Erlangen-Nürnberg, Nürnberg 1982.
3. Jenike A. W.: Bulletin 123. University of Utah, Salt Lake City 1964.
4. Schwedes J.: *Fließverhalten von Schüttgütern in Bunkern*. Verlag Chemie GmbH, Weinheim/Bergstraße 1968.
5. Carr J. F., Walker D. M.: *Powder Technology 1*, 369 (1968).
6. Neumann J.: *Praktikumsarbeit*. Forschungsinstitut für Aufbereitung, Freiberg 1985.
7. Höhne D.: Freiburger Forschungsheft A 694, 4 (1984).