

# Die Haftfähigkeit von Pulvern und ihre Anwendung zur Bestimmung von Korngrößen

Von Prof. Dr. E. CREMER, Dr. F. CONRAD und TH. KRAUS, Innsbruck  
Aus dem Physikalisch-chemischen Institut der Universität Innsbruck

Das Haften von Pulvern auf einer festen Unterlage ist außer durch die Korngröße auch noch durch eine charakteristische Materialkonstante bestimmt.

Eine mit Pulver bestreute Platte kann bis zu einem bestimmten Winkel  $\varphi$  geneigt werden, bis das Pulver gleichzeitig und als ganzes von selbst abrutscht. Bild 1 zeigt das Kräfteparallelogramm, wobei im Moment des Abgleitens

$$K = L \quad (1)$$

ist. Legt man die klassische Coulombsche Theorie der Haftreibung zugrunde, so ist  $L$  gleich der Reibungskraft  $R$  und

$$R = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

( $\mu$  = Reibungskoeffizient,  $g$  = Erdbeschleunigung,  $m$  = Masse des Pulvers). Wie aus Bild 1 ersichtlich, ist

$$K = m \cdot g \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

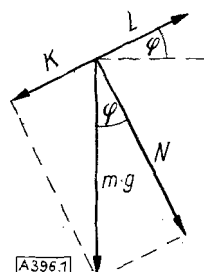


Bild 1

wir erhalten also aus (1), (2) und (3):

$$m \cdot g \cdot \sin \varphi = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \varphi \quad (4)$$

und hieraus

$$\mu = \tan \varphi \quad (5)$$

Wird  $m$  durch Veränderung der Dicke der aufgetragenen Pulverschicht variiert, so erhält man für  $m \cdot g \cdot \cos \varphi$  und  $m \cdot g \cdot \sin \varphi$  eine Reihe von Werten, die gegeneinander aufgetragen eine durch den Koordinatenursprung gehende Gerade der Steigung  $\mu$  ergeben<sup>1)</sup>.

In Bild 2 ist eine solche Meßreihe für Dolomitpulver von verhältnismäßig großer Korngröße wiedergegeben, bei der, wie man sieht, die Bedingungen (4) bzw. (5) erfüllt sind.

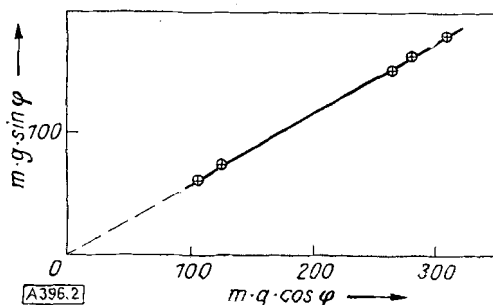


Bild 2

Dolomitpulver 400-500·10<sup>-4</sup> cm

<sup>1)</sup> Vgl. F. Conrad, E. Cremer u. Th. Kraus, Radex-Rundschau 1951 (im Druck), sowie über die Haftreibung bei H. Donandt, Z. Ver. Dtsch. Ing. 80, 821 [1936] und die dort angeführte Literatur.

Bei feinkörnigerem Material findet man jedoch ein Verhalten, wie es Bild 3 darstellt: Die Werte liegen wieder auf einer Geraden, die jedoch nicht durch den Nullpunkt geht,

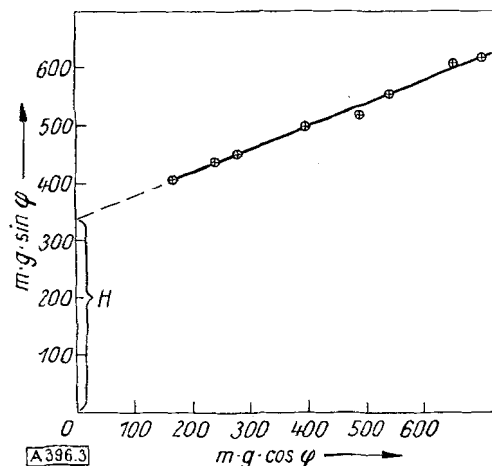


Bild 3

Dolomitpulver 75-88·10<sup>-4</sup> cm

sondern die Ordinate in einer bestimmten Höhe  $H$  schneidet. In diesem Falle haben wir also statt Gl. (4) zu setzen:

$$m \cdot g \cdot \sin \varphi = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \varphi + H \quad (6)$$

bzw.

$$L = R + H.$$

Es tritt also zusätzlich zur Reibung noch eine Haftkraft  $H$  auf.

Bei genügend kleiner Pulvermenge wächst der Neigungswinkel über 90°. Der Grenzwert für  $m$ , bei dem das Pulver eben noch bei 90° abgleitet, ergibt sich rechnerisch aus Gl. (6) durch Einsetzen der Werte der Winkelfunktionen für 90°:

$$m = \frac{H}{g} \quad (7)$$

Damit hat man eine sehr anschauliche Bedeutung für die Größe  $H$  gewonnen:  $H$  ist ein Maß für die maximale Menge ( $m$ ), die auf der Platte bei Drehung um 90°, ohne abzufallen, haften kann.

Die Haftkraft ist dem Korndurchmesser  $d$  umgekehrt proportional (vgl. letzte Spalte der Tabelle). Ferner ist  $H$  auch der Fläche  $F$  proportional, es gilt also

$$H = h \cdot \frac{F}{d} \quad (8)$$

wobei  $h$ , das die Dimension einer Oberflächenspannung (dyn/cm) besitzt, als Haftspannung bezeichnet sei.

Die nach (8) definierte Haftkraft  $H$  enthält noch eine Apparaturkonstante ( $F$ ). Man kann dies vermeiden, wenn man statt der Masse  $m$  des gesamten Pulvers die Masse  $m_K$  einsetzt, die im Mittel auf einem die Fläche berührenden Korn aufliegt. Dann ist

$$m_K = \frac{m \cdot d^2}{F}$$

und Gl. (6) erhält dann die Form

$$m_K \cdot g \cdot \sin \varphi = \mu \cdot m_K \cdot g \cdot \cos \varphi + H_K.$$

Die entsprechende Haftkraft für ein Korn ist dann

$$H_K = \frac{H \cdot d^2}{F} = h \cdot d$$

und enthält F nicht mehr. Wir haben aber die erste Formulierung vorgezogen, da sie nur die beiden unmittelbar aus den Versuchen gewonnenen Meßgrößen  $m$  und  $\varphi$  enthält.

Für Dolomit ergab sich aus Meßreihen mit Pulvern der Korndurchmesser 75–88 und 150–200  $\cdot 10^{-4}$  cm für die Haftspannung  $h$  der Wert 0,99. Über die Ergebnisse mit Pulvern aus Magnesit, abgebautem Magnesit sowie Eisen und Molybdän gibt nachfolgende Tabelle Aufschluß:

Material	d Korngroße [ $\mu$ ] $10^{-4}$ cm	Unterlage (F cm <sup>2</sup> )	H Haft- kraft [dyn]	$\frac{H^2}{F}$	$h = \frac{H}{F}$ Haft- spannung	H · d
Magnesit	200–300	Glas (2,84)	110	39	0,97	2,8
	150–200	"	160	56	0,99	2,8
	88–150	"	235	83	0,99	2,8
	75–88	"	330	116	0,95	2,7
	60–75	"	480	169	1,14	3,2
	200–300	Magnesit (3,48) <sup>a)</sup>	100	29	0,72	2,5
	150–200	"	140	40	0,70	2,5
	88–150	"	210	60	0,72	2,5
	75–88	"	310	89	0,72	2,5
	60–75	"	360	103	0,70	2,4
	200–300	Nickel (3,83)	105	27	0,69	2,6
	150–200	"	150	39	0,69	2,6
Abgebauter Magnesit, Abbauprodukt 500° C	150–200	Glas (2,84)	40	14	0,25	0,7
	60–75	"	105	37	0,25	0,7
	150–200	Abbauprodukt 800° C	55	19	0,34	1,0
	60–75	"	140	49	0,33	1,0
Hamettag-Eisenpulver	100–150	Glas (2,84)	> 10	—	—	—
	60–100	"	80	28	0,23	0,6
	< 60	"	290	102	—	—
	150–200	Nickel (3,83)	15	4	0,07	0,2
	100–150	"	20	5	0,06	0,2
	60–100	"	30	8	0,06	0,2
Molybdän-Pulver	11	Molybdän (4,0)	1400	350	0,38	1,5
	2,5	"	6100	1525	0,38	1,5

Tabelle 1

Wegen der in der letzten Spalte der Tabelle gezeigten Abhängigkeit der Haftkraft vom Korndurchmesser kann bei bekannter Haftspannung umgekehrt auch der Korndurchmesser eines Pulvers aus der Haftkraft bestimmt werden.

Liegt ein Gemisch von zwei Pulvern vor, von denen das eine sich entsprechend dem Coulombschen Reibungsgesetz verhält (Bild 2) (= nichthaftendes Pulver), das andere aber eine Haftkraft besitzt (= haftendes Pulver), so resultiert bei Mischung der beiden die in Bild 4 aufgetragene Haftkraft, die sehr nahe der aus dem prozentualen Gewichtsanteil des haftenden Pulvers berechneten Haftkraft entspricht. Man kann in diesem Falle lediglich eine obere Grenze für den Korndurchmesser des haftenden Pulvers bestimmen.

Anders verhält es sich jedoch bei Gemischen aus zwei haftenden Pulvern. Hier stimmt die gemessene Haftkraft mit der nach (Gl. 8) berechneten innerhalb der Meßgenauigkeit überein (für  $d$  ist hierbei der nach der Mischungsregel errechnete mittlere Korndurchmesser eingesetzt) (Bild 5). Diese Übereinstimmung ist von großer praktischer Be-

deutung, da die in der Praxis vorkommenden Pulver fast nie von einheitlicher Korngroße sind. Unabhängig von der vorliegenden Verteilungsfunktion erhält man aus der Haftkraft den wirklichen mittleren Korndurchmesser. Bei

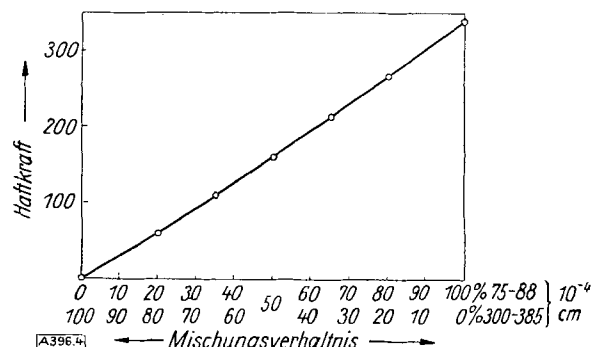


Bild 4  
Haftkraft bei Gemischen aus haftendem und nichthaftendem Dolomitpulver

Pulvern, die sehr feine Anteile enthalten (Korndurchmesser wenige  $\mu$ ) kann der Fall eintreten, daß die groberen Körner von einer sehr fest haftenden Schicht feinsten Körnchen gewissermaßen „überzuckert“ sind. In diesem Falle ergibt sich aus der Haftkraft die Korngroße der feinen Teilchen, da diese es sind, die die Unterlage berühren und für die Haftfähigkeit entscheidend sind.

#### Zum Experimentellen:

Die Pulverschicht muß an allen Stellen möglichst gleich dick, ihre Oberfläche möglichst eben sein. Man erreicht dies am besten durch gleichmäßiges Aufstäuben durch ein Sieb (Pulverschichten, die z. B. durch Festdrücken mit einem ebenen Gegenstand geebnet werden, haften nicht). Durch Aufbringen verschieden dicker Schichten kann so  $m$  leicht variiert und durch Auffangen in einem Wägeschälchen nachträglich durch Wägung genau bestimmt werden. Der jeweils zugehörige Abgleitwinkel  $\varphi$  wird mittels einer Winkelskala abgelesen. Zwischen den einzelnen Messungen wird die Unterlage auf trockenem Wege möglichst gut (z. B. durch Abpinseln) gesäubert. Änderungen der Luftfeuchtigkeit können Schwankungen der gemessenen H-Werte hervorrufen, doch sind diese (abgesehen von extremen Feuchtigkeitsgraden) nach unseren bisherigen Untersuchungen nicht so groß, daß sie zu wesentlichen Fehlern bei der Korngroßenermittlung führen können.

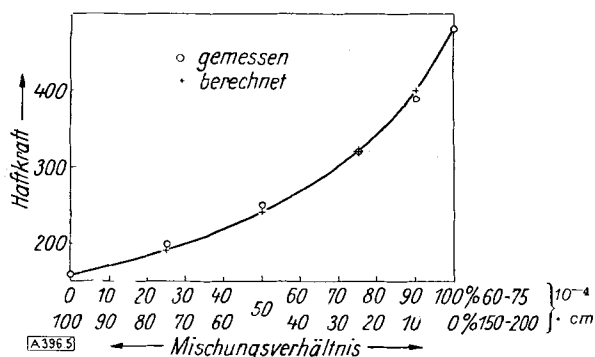


Bild 5  
Haftkraft bei Gemischen aus zwei haftenden Magnesitpulvern

#### Zusammenfassung

Das Haften eines Pulvers wird außer durch die Reibung noch durch eine Haftkraft  $H$  verursacht, die dem Korndurchmesser umgekehrt proportional ist. Der Proportionalitätsfaktor  $h$  ist eine für das System Pulver/Unterlage charakteristische Materialkonstante von der Dimension einer Oberflächenspannung. Ist  $h$  bekannt, so kann für Pulver unbekannter Größe durch Haftmessungen der mittlere Korndurchmesser bestimmt werden.

Eingeg. am 26. Juli 1951 [A 396]

<sup>a)</sup> Da die Größe der einzelnen verwendeten Gleitflächen verschieden war, wurde, um vergleichsfähige H-Werte zu erhalten, der Wert für die auf die Flächeneinheit reduzierte Haftkraft ( $H/F$ ) mit in die Tabelle aufgenommen.

<sup>b)</sup> Als Unterlage diente ein Preßling aus Magnesit < 60  $\cdot 10^{-4}$  cm. Preßdruck war 6000 kg/cm<sup>2</sup>.