

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Wissenschaftlicher Film C 684/1954

Aus dem Forschungsinstitut Verfahrenstechnik der GVT
an der Technischen Hochschule Aachen
(Prof. Dr.-Ing. S. KIESSKALT)

Verhalten körniger Stoffe auf Wurfsieben

Von

Dr.-Ing. W. BATEL

Mit 3 Abbildungen

GÖTTINGEN 1954

Aus dem Forschungsinstitut Verfahrenstechnik der GVT
an der Technischen Hochschule Aachen
(Prof. Dr.-Ing. S. KIESSKALT)

Verhalten körniger Stoffe auf Wurfsieben

Von Dr.-Ing. W. BATEL

Das Klassieren von körnigen Stoffen, d. h. die Trennung eines Haufwerkes nach Korngrößen, z. B. durch Sieben oder Sichten, kann durch Feuchtigkeit stark behindert oder sogar völlig unterbunden werden. Diese Erscheinung wird durch die kapillaren Haftkräfte bedingt, deren Auswirkungen am Beispiel der Siebung im Film gezeigt werden. Ferner wird das dynamische Verhalten der Kapillarlammellen an einem einzelnen Korn dargestellt. Die genannten Vorgänge auf schnell-laufenden Schwingsieben werden der Betrachtung durch Zeitdehneraufnahmen zugänglich gemacht.

I. Allgemeine Vorbemerkungen

Die Klassierung von Haufwerken ist ein Verfahrensgang, der besonders bei der Aufbereitung von Massengütern, wie z. B. Kohle, Erze usw., eine wichtige Rolle spielt. Die im Betrieb wirtschaftlichste Klassier-
vorrichtung ist die Siebmaschine, wobei die untere Korngröße auf Sieben im Betrieb etwa im Bereich zwischen 0,1 und 0,5 mm liegt. Diese Werte gelten nur für die Siebung trockener Kornverbände. Sobald Feuchtigkeit vorhanden ist, wird das Verfahren erschwert. So ist z. B. die Absiebung einer Kohlensorte bei 5% Gesamtfeuchtigkeit (Wasser) auf einem 3-mm-Sieb bereits nicht mehr möglich. Es war Aufgabe einer größeren Forschungsarbeit, die Ursachen für dieses Verhalten zu klären [1]¹⁾. Der vorliegende Film gibt einige neue Erkenntnisse aus dieser Arbeit wieder.

In einem feuchten Kornverband, wobei die Betrachtung für den Fall eines Wassergehaltes durchgeführt wird, tritt außer Innen-, Adsorptions- und Adhäsionswasser auch noch Zwickelkapillarwasser auf, das ringwulstartig die Berührungspunkte der Körner umgibt [2]. Hieraus resultieren Kapillarkräfte, die ein mehr oder weniger starkes Zusammenhaften der Körner bedingen. Diese Kraftwirkungen sollen nun am Beispiel einer feuchten Kugelschüttung erklärt werden.

¹⁾ Siehe Literaturverzeichnis am Ende des Textes.

In Abb. 1 ist an den Berührungsstellen von vier Kugeln das System des Zwickelkapillarwassers dargestellt. Die resultierende Haftkraft wird durch folgende Gleichung beschrieben [1]:

$$K = \sigma_1 \cdot \pi \cdot d \cdot \sin \alpha \left[\sin (\alpha + \vartheta) + \frac{d}{4} \sin \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \right] \text{ [dyn]}$$

Diese Gleichung zeigt, daß die Haftkraft K außer von der Oberflächenspannung σ_1 , der Korngröße d und dem Randwinkel ϑ vor allem von dem Winkel α und damit von der Zwickelkapillarmenge abhängt. Aus der graphischen Darstellung dieser Gleichung in Abb. 2 (d , σ_1 und ϑ sind dabei konstant) ergibt sich weiterhin, daß die kapillare

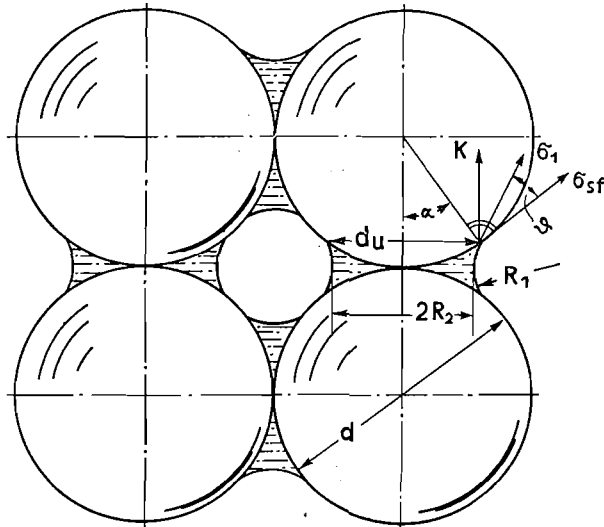


Abb. 1. Zwickelkapillarflüssigkeit an den Berührungsstellen von kugelförmigen Körnern als Ursache der Anziehungskräfte (kapillare Haftkräfte) zwischen den Kugeln

d : Korndurchmesser; σ_1 : Oberflächenspannung; σ_{sf} : Haftspannung; R_1 , R_2 : Hauptkrümmungsradien der Zwickelflüssigkeitsoberfläche; ϑ : Randwinkel

Haftkraft mit zunehmender Feuchtigkeit, d. h. ansteigendem Winkel α zunimmt, um nach einem Maximum wieder abzufallen. Dieser Abfall setzt dann ein, wenn die Zwickelflüssigkeiten ineinander übergehen, wie es nach Abb. 1 idealisiert für $\alpha > 45^\circ$ der Fall ist. Es ist zweckmäßig, das in Schüttgütern zwischen den Körnern vorhandene Zwischenraumvolumen nach dem Verhalten der darin vorliegende Feuchtigkeit aufzuteilen, und zwar in Zwickelräume sowie in zusammenhängende Kanäle, die bei feinkörnigen Stoffen auch als Zwischenraumkapillaren bezeichnet werden [2]. Sobald also Flüssigkeit in diesen Kapillaren

— Zwischenraumkapillarwasser — auftritt, nehmen die zwickelkapillaren Haftkräfte ab. Ist schließlich das gesamte Volumen zwischen den Körnern mit Wasser ausgefüllt, dann sind sämtliche Zwickelflüssigkeitsoberflächen beseitigt, und es treten keine kapillaren Haftkräfte der geschilderten Art mehr auf.

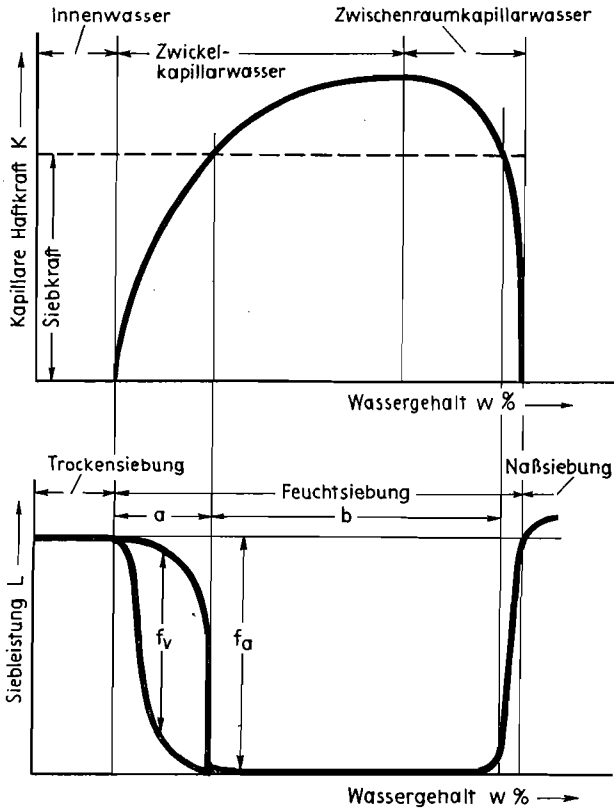


Abb. 2. Kapillare Haftkraft K und Siebleistung L bei feuchten, losen, kugeligen Kornverbänden in Abhängigkeit vom Wassergehalt w

Einiges sei zur Größenordnung der Haftkräfte bemerkt: Für eine Korngröße von 1 mm und einen Randwinkel $\vartheta \approx 30^\circ$ können die Kapillarkräfte bereits das 20fache des Korngewichts betragen. Dieses Verhältnis steigt quadratisch mit abnehmender Korngröße, weil das Korngewicht mit der dritten Potenz, die kapillare Haftkraft aber nur linear mit der Korngröße abnimmt. Diese kapillaren Haftkräfte bestimmen weitgehend die Fließeigenschaften sämtlicher feuchter Schütt-

güter und sind nicht nur für die Siebung und Sichtung von grundlegender Bedeutung, sondern auch für andere Vorgänge, z.B. Fließvorgänge in Rohrmühlen, Trommeltrocknern, Mischmaschinen usw.

Bei der Siebung eines Massengutes auf einem Schwingsieb greifen am Siebgut Stoß- und Trägheitskräfte an, die im weiteren als Siebkräfte bezeichnet werden. Diese Siebkräfte, die beispielsweise die in Abb. 2 angegebene Größe haben mögen, fördern das Feinkorn durch die Maschen und lösen somit die Aufgabe der Siebung. Bei der Feuchtsiebung konkurrieren diese Kräfte aber mit den erwähnten Kapillarkräften. Je nachdem wie das Verhältnis zwischen Sieb- und Kapillarkräften zueinander ausfällt, wird die Siebung einen anderen Charakter haben. Diese Verknüpfung von Feuchtigkeitseinfluß und Siebleistung ist in Abb. 2 angegeben. Im Bereich *a* überwiegen die Siebkräfte. Die Siebleistung wird infolge der kapillaren Haftkräfte, die die Abgabe von Feinkorn erschweren (Anteil f_a), und deren Einfluß mit wachsender Feuchtigkeit zunimmt, verringert. Im Bereich *b* überwiegen die Zwickelkapillarkräfte, und es ist dadurch überhaupt keine Siebung mehr möglich.

Eine scharfe Grenze zwischen den Bereichen *a* und *b* tritt praktisch nicht auf, weil die Haftkräfte an den Berührungsstellen zwischen den Körnern um einen Mittelwert schwanken. Bei technischen Kornverteilungen ist daher der Übergang zwischen den genannten Bereichen stetig und kann sich über mehrere Feuchtigkeitsprozente erstrecken.

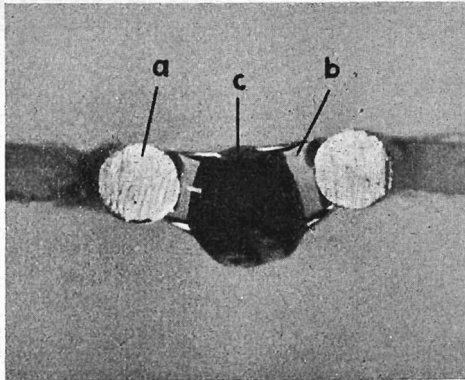


Abb. 3. Siebverstopfung infolge Kapillarflüssigkeit
Siebmasche aufgeschnitten; *a*: Siebdraht; *b*: Kapillarflüssigkeit; *c*: Kohlekorn

Im Bereich *a* kann die Siebung außer durch erschwerte Abgabe von Feinkorn auch noch durch Siebverstopfungen verringert werden. Diese treten auf, weil sich das Feinkorn beim Eintritt in die Siebmaschen wegen der Kapillarkräfte festhängt, wie es Abb. 3 zeigt. Der zusätzliche Anteil der Siebverstopfungen an der Verkleinerung der Siebleistung

infolge Feuchtigkeit ist durch den Anteil f_b in Abb. 2 angegeben. Dieses Bild zeigt aber, daß im allgemeinen nicht so sehr die Siebverstopfungen als vielmehr die Anziehungskräfte im Siebgut und damit das Anhaften von Feinkorn am Siebgroben (Anteil f_a) die großen Schwierigkeiten bei der Feuchtsiebung bedingen.

Auf Grund dieser grundlegenden Erkenntnisse können ohne weiteres Maßnahmen angegeben werden, durch die sich die Schwierigkeiten bei der Feuchtsiebung verringern oder sogar überwinden lassen. Eine Steigerung der Siebleistung ist möglich entweder durch Vergrößerung der Siebkraft oder durch Verkleinerung der Haftkräfte im Siebgut, z. B. Erniedrigung der Oberflächenspannung, Vergrößerung des Randwinkels. Natürlich können mehrere Maßnahmen auch gleichzeitig zur Anwendung gelangen. Ferner können die Siebverstopfungen durch Sieberwärmung, Oberschwingungen des Siebbodens mit ausreichender Amplitude, Änderung des Randwinkels zwischen Kapillarflüssigkeit und Siebboden, mechanische Vorrichtungen und durch entsprechende Formgebung des Siebbodens verhindert oder verringert werden [1]. Von diesen Möglichkeiten zeigt der Film die Vergrößerung der Siebkraft durch Steigerung der Amplitude und das Abtrocknen der Kapillarflüssigkeit und damit Verkleinerung des Winkels α durch Erwärmen des Siebbodens auf etwa 80°C .

Im Film werden alle Vorgänge in einem Querschnitt durch den Siebboden betrachtet. Für die Aufnahmen der Trocken- und Feuchtsiebung wurde ein Plexiglasmodell des Siebkastens verwendet; das Verhalten des einzelnen Kornes wurde an dem in Abb. 3 gezeigten Siebmaschen-Modell aufgenommen.

II. Erläuterungen zum Film

Trockensiebung

Zunächst wird die Trockensiebung gezeigt, um einen Vergleichsmaßstab für das Verhalten feuchter Güter zu gewinnen. Das Siebgut besteht, von dem ersten Bild (Kohle) abgesehen, aus nahezu gleichkörnigem Quarz mit einer Korngröße von 0,75 bis 1 mm. Die Maschenweite des Siebbodens beträgt 1 mm, so daß das Siebgut, wie überhaupt in allen gezeigten Fällen, nur aus Siebunterkorn (Siebfeines) besteht. Der Siebboden schwingt linear mit 50 Hz (3000 U/Min.).

Die Trockensiebung wird zuerst in normaler Ablaufgeschwindigkeit, dann in 50facher Zeitdehnung¹⁾ wiedergegeben. Die Aufnahmen geben einen Einblick in die Statistik der Wurfverhältnisse auf dem Siebboden und ebenso in die Statistik der Stoßvorgänge zwischen Siebgut und Siebboden, Vorgänge, aus denen der mengenmäßige Strom von Feinkorn durch die Siebmaschen letzten Endes resultiert. Infolge der Zu-

¹⁾ Bezogen auf die normale Vorführgeschwindigkeit von 24 B/s (Bildfrequenz bei der Aufnahme: 1200 B/s).

sammenstöße zwischen Siebgut und Siebboden wird dieser zu Oberschwingungen angeregt, so daß die Schwingungsbewegung nicht mehr harmonisch verläuft.

Feuchtsiebung

Auch bei den Feuchtsiebvorgängen, die mit dem gleichen Siebgut, Siebboden und der gleichen Siebbodengeschwindigkeit wie bei der Trockensiebung durchgeführt werden, wird jeweils eine kurze Bildfolge vorangestellt, die den normalen Ablauf des Vorgangs zeigt. Daran schließt sich der gleiche Vorgang in 50facher Zeitdehnung an.

Die Gesamtheuchtigkeit im Siebgut, die bei Quarz von 1 mm Korngröße praktisch nur aus Oberflächenfeuchtigkeit besteht, beträgt zuerst 6%. Bei einer derartigen Feuchtigkeit sind die Siebkräfte noch größer als die Kapillarkräfte. Es läuft also ein Vorgang im Bereich *a* der Abb. 2 ab. Die Siebleistung wird hier, wie schon erwähnt, durch erschwerte Abgabe von Feinkorn und durch Siebverstopfungen verringert. Wird die Gesamtheuchtigkeit auf 15% erhöht, so überwiegen die Kapillarkräfte. Es treten Vorgänge auf, wie sie für den Bereich *b* der Abb. 2 beschrieben worden sind. Die Siebleistung wird ausschließlich durch das Anhaften von Feinkorn unmöglich gemacht. Es ist zu beachten, daß keine Verstopfungen auftreten. Für derartige Feuchtigkeitswerte mit überwiegenden Kapillarkräften sind Maßnahmen zur Beseitigung von Verstopfungen sinnlos.

Haften des einzelnen Kornes infolge Kapillarwirkung

Siebmasche, kapillare Flüssigkeitslamelle und verstopfendes Korn stellen ein Schwingungsgebilde dar, in dem die Kapillarflüssigkeit die elastische Kraft ausübt. Mit dem Siebboden als Erreger kann ein verstopfendes Korn zu Schwingungen angeregt werden, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Eigenschwingungszahl wegen der nicht linearen Rückstellkraft der Kapillarlamellen auch von der Größe der Auslenkung des Kornes abhängig ist.

Bei einer Siebfrequenz von 100 U/Min. liegt die Erregerfrequenz unterhalb der Eigenschwingungszahl und damit auch der Resonanz. Dieser Zustand ist im Film in Analogie zur kritischen Drehzahl von umlaufenden Wellen mit „unterkritisch“ bezeichnet. Das verstopfende Korn führt etwa die gleichen Bewegungen wie das Sieb aus.

Schwingt der Siebboden mit 3000 U/Min., dann liegt die erregende Frequenz wesentlich höher als die Eigenschwingungszahl. Elastische und erregende Kraft wirken der am Korn angreifenden Trägheitskraft entgegen (Dämpfung vernachlässigt), so daß es nur mit sehr kleiner Amplitude schwingt. Für das Auge steht es im Raum fast still, während der Siebboden relativ dazu schwingt.

Es sei betont, daß die am Beispiel eines verstopfenden Kornes gezeigten Kapillarwirkungen sinngemäß auch für die Vorgänge im Siebgut selbst, z. B. für die Abgabe bzw. das Anhaften von Feinkorn gelten.

Abschließend zeigt der Film zwei Maßnahmen zur Überwindung der Kapillarkräfte, nämlich erstens Vergrößerung der Siebkkräfte durch Steigerung der Amplitude und zweitens Abtrocknung der Kapillarflüssigkeit am verstopfenden Korn dadurch, daß der Siebboden auf etwa 80° C erwärmt wird. Diese Abtrocknung der Kapillarflüssigkeit ist entscheidend für die Beseitigung der Verstopfungen. Wie durch Versuche erhärtet worden ist [1], haben andere bei einer Sieberwärmung noch möglichen Einflüsse, wie z.B. bei der induktiven Beheizung des Siebbodens, auf die Beseitigung von Verstopfungen aus der vorliegenden Korngröße praktisch keine Bedeutung. Der Abtrocknungsvorgang wird bei ruhendem Siebboden, der in diesem Fall nur aus einer Masche besteht, in normaler Darstellung gezeigt. Die Betrachtung des schwingenden Betriebszustandes setzt eine 50fache Zeitdehnung voraus; dann erscheint der Trocknungsvorgang jedoch so langsam, daß er kaum noch wahrnehmbar ist.

Literatur

1. BATEL, W., Untersuchungen zur Absiebung feuchter, feinkörniger Haufwerke auf Schwingsieben. Dissertation Aachen 1954.
2. BATEL, W., Vorgänge bei der mechanischen Entwässerung. Chemie-Ingenieur-Technik **26** (1954) S. 497.

(Eingegangen am 22. 10. 1954)