

Über das Sortieren körniger Stoffe

Von **Wilhelm Batel**, Braunschweig-Völkenrode

In der Verbrauchsgütertechnik einschließlich der Landtechnik besteht sehr oft die Aufgabe, körnige Stoffe, wie z. B. Erze, Steinkohlen, Zemente, Farbstoffpigmente, Straßen- und Gleis-schotter, Mineraldünger, Getreide, Kartoffeln, Sämereien, Erbsen und Obst, nach physikalischen Merkmalen zu trennen. Solche Merkmale sind z. B. die Größe, die Dichte, die Farbe und die Elastizität.

Für diesen Vorgang des Trennens körniger Stoffe nach einem physikalischen Merkmal gibt es noch keine einheitliche Bezeichnung. Es wäre vorzuschlagen, hierfür, und nur hierfür, die Bezeichnung „Sortieren“ zu verwenden, um Mißverständnisse auszuschalten. Im folgenden beinhaltet das Wort „Sortieren“ nur noch den vorgeschlagenen Sinn.

Aus obiger Aufstellung über körnige Stoffe wird sichtbar, daß sehr viele landwirtschaftliche Produkte körnige Stoffe sind. Es ist daher nicht überraschend, daß Sortierprozesse oft durchzuführende Verfahren im Bereich der Landtechnik sind. So besteht eine wesentliche Aufgabe des Mähdeschers darin, zu sortieren. Dies gilt in noch stärkerem Maße für die Kartoffelvollerntemaschine, die die Kartoffeln aus dem vom Rodeschar aufgenommenen Gemenge abtrennen soll. Ferner sei an die Aufbereitung von Nahrungsmitteln erinnert, z. B. an das Sortieren von Erbsen in reife und unreife Bestandteile oder an das Auftrennen von gemahlenem Getreide nach Mehlsorten.

Das Problem der Sortierung körniger Stoffe wurde im Steinkohlenbergbau für die Steinkohle, im Erzbergbau für die Erze, in der Nahrungsmitteltechnik und in der Landtechnik gleichermaßen für landwirtschaftliche Produkte usw. untersucht. Die Aufgliederung der Sortierverfahren erfolgte seither im allgemeinen nach dem Stoff. Das Sortierproblem im Stadium der Empirie für jeden Stoff besonders lösen zu wollen, war verständlich. Inzwischen hat jedoch die Forschung erwiesen, daß der Vorgang des Sortierens körniger Stoffe nicht von der Zusammensetzung der Stoffe, sondern im wesentlichen von physikalischen Größen in entsprechend gesetzmäßigen Verknüpfungen beherrscht wird. Damit drängt sich ein neues Ordnungsprinzip für die verschiedenen Sortierverfahren auf. Um dieses aufstellen zu können, erinnern wir uns an die recht einfache Tatsache, daß sich nur solche körnigen Stoffe sortieren lassen, die sich irgendwie physikalisch unterscheiden. Solche Unterscheidungsmerkmale sind, wie in **Tafel I** zusammengestellt, die Größe, die Masse, die Dichte, die Farbe usw., also *Eigenschaften*, die sich durch eine physikalische Größe beschreiben lassen. Man wird fragen, warum in dieser Übersicht keine biologischen oder chemischen Merkmale aufgeführt sind. Wenn man die allgemein in größeren Mengen anfallenden körnigen Verbrauchsgüter wirtschaftlich sortieren will, dann ist dazu Voraussetzung, daß sich das jeweilige Merkmal, nach dem man ein Haufwerk sortieren will, genügend schnell ermitteln oder messen läßt. Dies ist, von Ausnahmen abgesehen, nur mit physikalischen Methoden möglich.

Vorstehende Ausführungen erlauben folgende Zusammenfassung: Das Auftrennen körniger Stoffe nach einem mit physikalischen Methoden beschreibbarem Merkmal wird als Sortieren bezeichnet. Die Vorgänge in den Sortiermaschinen und -apparaten gehorchen physikalischen Gesetzmäßigkeiten.

Im nachfolgenden soll nun ein Überblick über die grundsätzlichen Abhängigkeiten bei den wichtigsten Sortierverfahren gegeben werden.

1. Sortieren nach der Größe (Sieben)

Beim Sieben bzw. Siebklassieren wird das körnige Gut durch Siebböden in Korngrößenklassen aufgetrennt¹⁾. Siebböden sind Bleche oder Drahtgewebe mit vielen, möglichst gleich großen Öffnungen, wobei die Größe der Öffnungen der Trennkorngröße entspricht. Jeder Boden trennt das Siebgut in zwei Größenklassen. Die Körner, die größer sind als die jeweiligen Siebbodenöffnungen, werden als Rückstand, Grobkorn oder Siebgrobes, diejenigen, die kleiner sind, als Durchgang, Feinkorn oder Siebfeines bezeichnet.

Der Vorgang des Siebens ist möglich, wenn

- sich Feinkorn über freien Öffnungen befindet,
- das Feinkorn so orientiert ist, daß sein Querschnitt in der Bewegungsrichtung zum Siebboden kleiner ist als der der Siebbodenöffnung und
- eine nach Zeit und Größe ausreichende Kraft (Sieb- oder Trennkraft) vorhanden ist, die das Feinkorn aus dem Siebgut heraus und durch die Öffnungen hindurch bewegt.

Um diese drei Bedingungen gleichzeitig zu erfüllen, muß eine geeignete Relativbewegung zwischen Siebgut und Siebboden erfolgen. Im allgemeinen werden diese Relativbewegungen durch die Bewegungen des Siebbodens erzeugt. Letztere lassen sich auf zwei Hauptrichtungen, und zwar auf Bewegungen in und auf solche senkrecht zur Siebbodenebene, zurückführen. Die Maschinen, die diese Bewegung erzeugen, werden entsprechend als Plan- bzw. Wurfsiebmaschinen bezeichnet. Diese Bewegungen

¹⁾ Das Auftrennen von körnigen Stoffen in Korngrößenklassen (Sortieren nach der Korngröße) wird oft auch als Klassieren bezeichnet.

Tafel I. Sortierverfahren körniger Stoffe.

Merkmal	Trennmethode
Größe	Sieben (Siebklassieren)
	Sichten (Strömungsklassieren)
Masse	Sortieren nach Masse
Dichte	Schwerflüssigkeitsmethode
	Sichten
	Flächendruckmethode
Farbe	Lichtreflexionsmethode
Strahlungsabsorption	Durchlicht-, Röntgenstrahlmethode
Magnetisierbarkeit	Magnetscheidung
Elektrische Eigenschaft	Elektrostatische Trennmethode
Form	Trieurmethode
Benetzbarkeit	Flotation

bedingen bei der Plansiebmaschine ein Gleiten des Siebgutes in der Siebbodenebene, bei der Wurfsiebmaschine ein periodisches Abwerfen des Siebgutes vom Siebboden. Es soll nun untersucht werden, auf welche Weise diese Maschinentypen die oben erwähnten Siebbedingungen erfüllen.

Plansiebmaschinen

Damit dem abzusiebenden Feinkorn wiederholt Siebbodenöffnungen angeboten werden, muß das Siebgut über den Boden gleiten. Um die Bedingungen für dieses Gleiten zu erforschen, werden die Kräfte in der Siebbodenebene eines kreissschwingenden Plansiebes betrachtet, bei der die Schwingungsbeschleunigung vom Wert Null ausgehend gesteigert wird. Zunächst steigen die Reibungskräfte zwischen Siebgut und Siebboden mit den auf das Siebgut einwirkenden Trägheitskräften. In dem Augenblick, in dem die maximal übertragbare Reibungskraft erreicht ist, beginnt das Gleiten. Die damit eingeleitete Relativgeschwindigkeit v_r zwischen Siebboden und Siebgut steigt mit der Schwingungsbeschleunigung an und in gleicher Weise auch die Zahl der angebotenen Siebbodenöffnungen, **Bild 1**, Kurve a.

Die zweite, oben unter b genannte Siebbedingung, ist um so mehr von Einfluß, je mehr die Kornform von der Kugelgestalt abweicht. Hier handelt es sich somit um eine Siebbedingung, deren Verwirklichung vorwiegend von der Form des Siebgutes und der der Siebbodenöffnungen beeinflusst wird.

Wie wird nun die unter c genannte Siebbedingung bei Plansiebmaschinen erfüllt? Die Trennkräfte, also die Kräfte, die den Transport des Feinkornes vollziehen, sind durch das Eigengewicht und durch Stoß- und Gleitvorgänge im Siebgut bestimmt. Diese Kräfte müssen das Feinkorn zunächst in die Siebbodenöffnungen hinein und dann durch die Öffnungen hindurch transportieren. Infolge dieser für den Siebvorgang erforderlichen Bewegung des Einzelkornes sowie der Forderung, daß zwischen Siebgut und Siebboden eine Relativbewegung (in der Siebbodenebene) bestehen muß, sind beim Siebvorgang auf Plansieben zwei Phasen zu unterscheiden [1]. In der ersten Phase muß das Feinkorn die Relativbewegung zum Siebboden mit dem Eindringen in die Siebbodenöffnung aufgeben, um die Bewegung des Siebbodens anzunehmen (je kleiner die Feinkorngröße im Vergleich zur Maschenweite ist, um so weniger muß diese Bedingung erfüllt werden). In der zweiten Phase fällt das Feinkorn durch die Öffnungen.

Für die Einleitung des Absiebvorganges sind die Kräfte in der ersten Phase bestimmend. Diese lassen sich wegen der großen Verschiedenheit der auftretenden Relativbewegungen zwischen den Körnern und dem Siebboden im einzelnen schwer bestimmen.

Es ist aber ohne weiteres einzusehen, daß beim Eindringen von Feinkorn in die Siebbodenöffnungen Stoßkräfte auftreten, die eine Komponente K_G erzeugen, **Bild 1**. Die Größe dieser Komponente steigt u. a. mit zunehmender Relativgeschwindigkeit zwischen Siebgut und Siebboden. Sobald diese Kraft K_G größer ist als die Siebkraft K_S , kann kein Siebvorgang stattfinden. Die Verwirklichung der Siebbedingung c in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit wird qualitativ durch die Kurve b in **Bild 1** angegeben. Die Überlagerung der mit den Kurven a und b gezeigten Einflußgrößen führt zu einem optimalen Wert des Siebgütegrades (oder auch der Siebleistung) beim Sieben auf Plansieben. Die entsprechenden gemessenen Abhängigkeiten für ein Planprüfsieb zeigt beispielsweise **Bild 2**.

Wurfsiebmaschinen

Es ist auch hier wieder zu untersuchen, auf welche Weise die oben erwähnten Siebbedingungen erfüllt werden. Die Zahl der angebotenen Siebbodenöffnungen ist durch die Zahl der periodischen Würfe gegeben, die bei den üblichen Siebbodenbeschleunigungen der Zahl der Schwingungen des Bodens proportional ist.

Die für die Siebbedingung c maßgebenden Trennkräfte ergeben sich aus der Relativgeschwindigkeit zwischen Siebgut und Siebboden im Augenblick des Auftreffens und den Fließeigen-

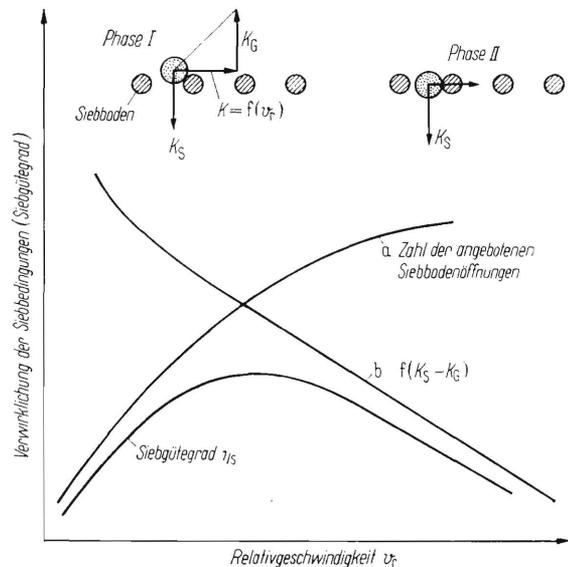


Bild 1. Erfüllung der Siebbedingungen bei Plansiebmaschinen (qualitativ).

v_r Relativgeschwindigkeit zwischen Siebgut und Siebboden, K_S Siebkraft, K Stoß- und Trägheitskräfte in der Siebbodenebene, K_G Kraftkomponente infolge der Stoß- und Trägheitskräfte

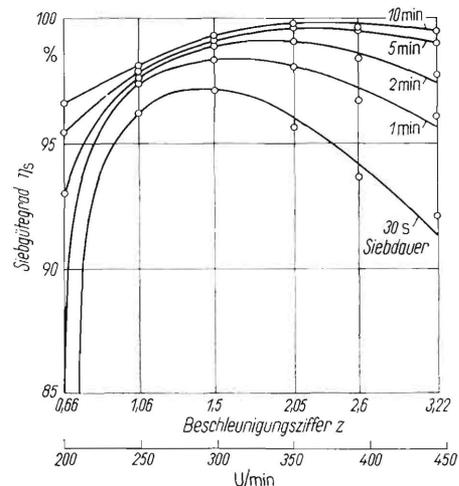


Bild 2. Abhängigkeit des Siebgütegrades η_s von der Beschleunigungsziffer z bei der Prüfsiebung mit einem Plansieb.

$z = r \omega^2/g$, r Schwingungsradius, ω Kreisfrequenz, 100 g Quarzsand; Maschenweite des Prüfsiebes: 0,15 mm

schaften des Siebgutes. Von diesen Einflußgrößen lassen sich z. Z. die Fließeigenschaften des Siebgutes noch nicht quantitativ beschreiben. Sieht man von dem Einfluß dieser Stoffeigenschaft ab, dann ist nur die relative Auftreffgeschwindigkeit bestimmend für die Trennkraft. Diese Geschwindigkeit läßt sich für die üblichen Beschleunigungsziffern aus der Theorie von *Bachmann* errechnen. Für größere Beschleunigungsziffern ist u. U. eine experimentelle Bestimmung der Trennkräfte erforderlich. Als Regel gilt, daß die Auftreffgeschwindigkeit mit der Amplitude der Schwingung anwächst. Im einzelnen sei auf das Spezialschrifttum verwiesen [2; 3; 4].

Trennschwierigkeiten beim Sieben

Trennschwierigkeiten beim Sieben treten dann auf, wenn den Trennkräften z. B. Haftkräfte entgegenwirken, die im Prinzip der Komponente K_G nach **Bild 1** entsprechen. Dies sei am Beispiel der Feuchtsiebung gezeigt.

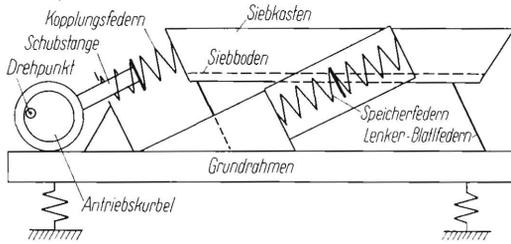


Bild 9. Schema einer Siebmaschine mit Resonanzantrieb.

nicht wie beim einfachen Kurbelantrieb die Kurbel belasten. Dadurch baut sich die Kurbel wesentlich leichter. Die Antriebsleistung von Resonanzschwingsieben ist aus obigen Gründen nur um den Betrag kleiner, um den die Reibungskräfte in dem Antrieb infolge geringerer Belastung niedriger liegen.

2. Sortieren nach der Fallgeschwindigkeit und der Korngröße

Für die Fallgeschwindigkeit v von Kugeln gilt:

Laminarer Bereich

$$v = \frac{1}{18 \eta} g (\rho_K - \rho_M) d^2 \dots \dots \dots (1)$$

Turbulenter Bereich

$$v = \sqrt{C \cdot g \cdot \text{Re} (\rho_K - \rho_M) / \rho_M} \sqrt{d} \dots \dots \dots (2)$$

- ρ_K Dichte der Kugel,
- ρ_M Dichte des Mediums, in dem die Kugel fällt,
- d Kugel- oder Korngröße,
- η dynamische Zähigkeit des Mediums,
- g Schwerebeschleunigung,
- Re Reynoldssche Zahl.

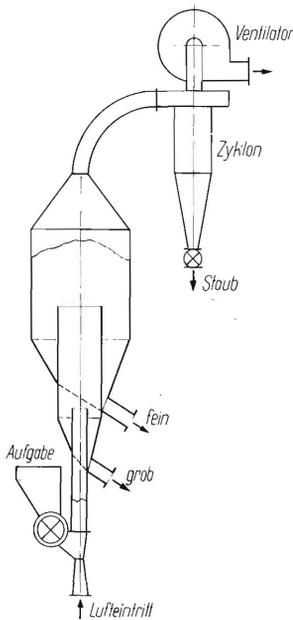


Bild 10. Steigsichter für zwei Fraktionen.

Die Fallgeschwindigkeit von Kugeln (Körnern) in einem Medium ist nach obigen Gleichungen von Dichte und Größe der Kugeln abhängig. Mit dieser Methode läßt sich daher ein Korngrößengemisch aus Körnern unterschiedlicher Dichte nur nach der Gleichfälligkeit (Körner gleicher Fallgeschwindigkeit) trennen. Nur unter der Voraussetzung gleicher Teilchendichte ist ein Sortieren nach der Korngröße über die Fallgeschwindigkeit möglich und ebenso ein Sortieren nach der Dichte nur bei Stoffen aus einheitlichen Korngrößen.

Der Fallvorgang von Körnern in einem ruhenden Medium wird mit Sedimentieren, der in einem strömenden Medium mit Sichten bezeichnet. Apparate zum Trennen nach der Fallgeschwindigkeit sind z. B. die Windfuge, der Steigsichter, **Bild 10**, und der Zentrifugalsichter.

Wie schon erwähnt, lassen sich über die Fallgeschwindigkeit nur körnige Stoffe gleicher Dichte in Korngrößeklassen aufteilen. Soll dies z. B. in einem Steigsichter nach **Bild 10** geschehen, so wird die Luftgeschwindigkeit durch Luftmenge und Rohrdurchmesser so eingestellt, daß sie in jedem Trennrohr der Fallgeschwindigkeit der Trennkorngröße entspricht. Die kleineren Körner werden in jedem Rohr mit der Luft ausgetragen, während die größeren in Richtung des Schwerefeldes fallen. Trotz der eindeutigen Abhängigkeit nach Gl. (1) bzw. (2) lassen sich selbst Kugeln gleicher Dichte nicht scharf trennen, weil in jedem Sichter ein Geschwindigkeitsprofil vorliegt.

3. Sortieren nach der Masse

Das Trennen nach der Masse erfolgt nach dem Prinzip der Wägung, wozu sich mechanische, elektromechanische und elektrische Lösungen anbieten. Wegen des verhältnismäßig hohen konstruktiven Aufwandes haben sich derartige Sortierapparate bis auf Sonderfälle noch nicht einführen können. Für die Kartoffelsortierung wird diese Methode als erstrebenswert angesehen [6].

4. Sortieren nach der Dichte durch Schwerflüssigkeit

Aus den Gesetzen des Auftriebes, die als Sonderfall in den Gleichungen (1) und (2) enthalten sind, folgt, daß ein Körper dann aufschwimmt, wenn seine Dichte kleiner ist als die des umgebenden Mediums, und absinkt, wenn seine Dichte größer ist. Dieses Verfahren ist somit im Prinzip nur abhängig von dem Verhältnis zwischen Dichte des Mediums und der des festen Stoffes, nicht aber von der Korngröße. Die Korngröße geht nur insofern ein, als davon die Trenngeschwindigkeit abhängt, nicht aber die Trenngüte. Mit diesem Verfahren ist somit eine scharfe Trennung möglich, wodurch sich höchste Ansprüche in der Trenngüte befriedigen lassen. So ist es hiermit möglich, selbst reife und unreife Erbsen zu trennen. Wir wissen, daß die Dichte von unreifen Erbsen etwa 1 g/cm^3 und von reifen Erbsen etwa $1,1 \text{ g/cm}^3$ beträgt. Mit einer Kochsalzlösung der Dichte von etwa $1,05$ (Schwerflüssigkeit) ist somit eine scharfe Trennung in reife und unreife Anteile möglich.

In **Bild 11** ist das Schema einer Apparatur zum Auftrennen von körnigen Stoffen mit einer Schwerflüssigkeit dargestellt. Auch

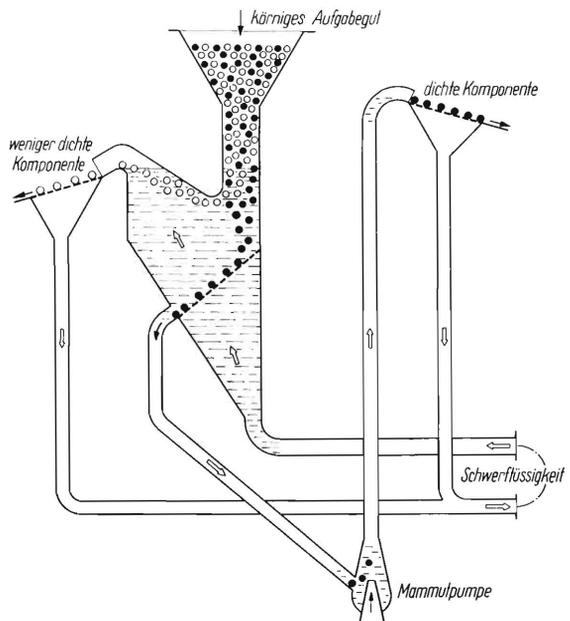


Bild 11. Schema eines Schwerflüssigkeitsscheiders.

Kartoffeln und Steine lassen sich auf diese Weise trennen. Dazu muß man z. B. Wasser mit einem Stoff wie Ton auf eine Dichte einstellen, die zwischen der Dichte der Kartoffeln und der der Steine liegt [7]. Schwerflüssigkeitsscheider sind dann oft nicht wirtschaftlich, wenn anschließend ein Trocknen der Stoffe notwendig ist. Prinzipiell gibt es auch trockene Schwimmverfahren, wie beispielsweise die Trennung mit Hilfe der sogenannten Wirbelschicht.

Wenn Gas die Schüttung eines körnigen Stoffes von unten durchströmt, dann setzt oberhalb einer bestimmten Geschwindigkeit ein Aufwirbeln der Schüttung ein (Wirbelschicht). In diesem Zustand verhält sich die Schicht wie eine Flüssigkeit, wobei die Dichte dieser Schicht abhängig ist von der Dichte des Feststoffes, der Korngröße und der Strömungsgeschwindigkeit der Luft. Mit einer Schicht aus Bausand läßt sich leicht eine Wirbelschicht mit einer Dichte von 1,3 kg/m³ und niedriger einstellen, **Bild 12**. Mit einer solchen Schicht ist z. B. eine scharfe Trennung von Steinen und Kartoffeln möglich.

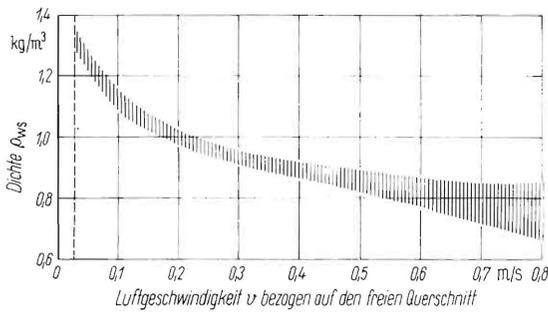


Bild 12. Dichte ρ_{ws} einer Wirbelschicht aus Quarzsand in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit.
Korngröße des Quarzes $d = 120-150 \mu$

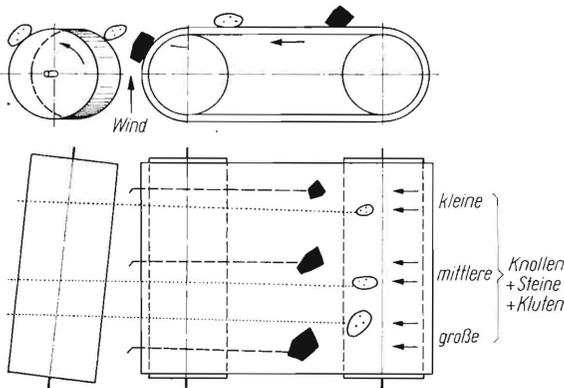


Bild 13. Verfahren zum Trennen der Steine und Knollen nach Mohrwinkel.

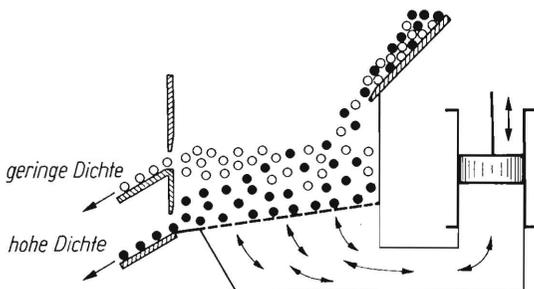


Bild 14. Schema einer Setzmaschine.

Dargestellte Bauart: Ruhendes Sieb; periodische Flüssigkeitsströmung
Andere Bauart: Schwingendes Sieb; stetige Flüssigkeitsströmung

5. Sortieren nach der Dichte auf Grund der Fallgeschwindigkeit

Die Gleichungen (1) und (2) lehren uns, daß die Fallgeschwindigkeit auch von der Dichte der Körner abhängt. Man kann folglich über diese Abhängigkeit trennen, aber scharf nur dann, falls die Korngröße gleich ist. Ist das nicht der Fall, dann muß bei hohen Anforderungen an die Trenngüte ein Siebvorgang vorgeschaltet werden. Das Trennen nach der Dichte über die Fallgeschwindigkeit ist mit den schon genannten Apparaten wie der Windfege, dem Steigsichter, **Bild 10**, und dem Zentrifugalsichter möglich.

Sichter werden vor allem für die Reinigung von Getreide verwendet. Auch für die Trennung von Kartoffeln und Steinen wurde das Sichten vorgeschlagen, wie die von Mohrwinkel angegebene Anordnung zeigt, **Bild 13**. Für grobe Körner ist jedoch das Sichten mit Luft wegen der mit der hohen Fallgeschwindigkeit verbundenen hohen Energiekosten u. U. zu unwirtschaftlich. Man kann sich im Prinzip helfen, indem statt Luft eine Flüssigkeit gewählt wird.

Eine Trennmethode, die vorwiegend auch durch die Fallgesetze beherrscht wird, ist die Setzmaschine, **Bild 14**. In dieser wird die Schüttung i. a. durch periodische Strömungen angehoben. Bei jedem Niedergang der Schüttung wirken die Fallgesetze, aber auch noch Reibungskräfte. Man kann das Verfahren auch umkehren, nämlich die Luft oder die Flüssigkeit stetig strömen lassen und das körnige Gut durch einen schwingenden Siebboden periodisch bewegen. Hierüber hat Kolchin Versuche durchgeführt [5]. Er erreichte eine Trenngüte von maximal 60%.

6. Sortieren nach der Dichte auf Grund des Flächendruckes

Um die Abhängigkeit des Flächendruckes bzw. der damit verbundenen Eindringtiefe eines Körpers in einer Unterlage kennenzulernen, sei angenommen, daß eine Kugel auf eine sehr elastische Unterlage fällt bzw. hierauf ruht, **Bild 15**. Nach Hertz gelten, wenn ρ die Dichte der Kugel, r der Radius der Kugel, ν die Querkontraktionszahl der Unterlage und E der Elastizitätsmodul der Unterlage sind, folgende Gleichungen:

statisch ($h = 0$):

$$u_{st} = \rho^{0,66} r^{1,66} \sqrt[3]{\frac{4 \pi^2 (1 - \nu^2)^2}{E}}$$

dynamisch:

$$u_{dyn} = \rho^{0,4} r h^{0,4} \sqrt[5]{\frac{4 \pi^2 (1 - \nu^2)^2}{E}}$$

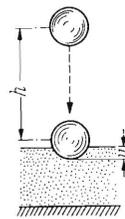


Bild 15. Eindringung einer elastischen Unterlage durch eine Kugel.

Die Eindringtiefe ist sowohl von der Dichte als auch der Kugelgröße abhängig. Diese Gleichungen gelten nur für eine Unterlage, die dem Hookeschen Gesetz folgt. Für Schaumgummiunterlagen, Fingerböden, Bürsten usw. gelten andere Beziehungen. Für solche Fälle muß der entsprechende Zusammenhang experimentell ermittelt werden. Unter Umständen gelingt es, die Verformungseigenschaften einer Unterlage so zu wählen, daß die Eindringtiefe im wesentlichen nur von der Dichte abhängt. Bei nicht kugelförmigen Teilchen hängt die Eindringtiefe auch von der Kornform ab.

Eine Anordnung zum Trennen von Kartoffeln und Steinen auf Grund des Flächendruckes zeigt **Bild 16**. Wegen der von der Dichte abhängenden Eindringtiefe ist auch eine Trennung über den Reflexionswinkel möglich. Dieser ist um so kleiner, je tiefer die Eindringung ist, **Bild 17**. In **Bild 18** sind die meßtechnisch gefundenen Beziehungen des Reflexionswinkels β angegeben, aus

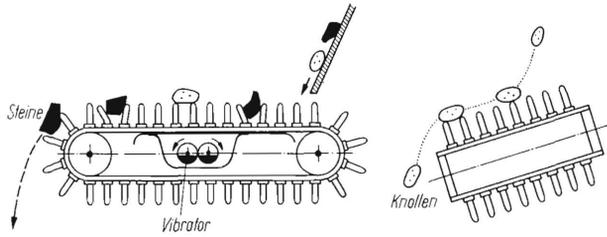


Bild 16. Gummifingerband zum Trennen von Knollen und Steinen nach Packmann.

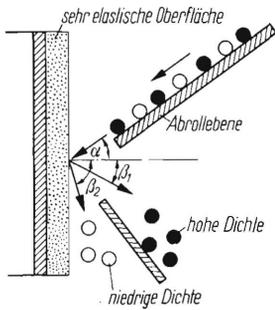


Bild 17. Schema einer Trennvorrichtung über den Reflexionswinkel β .

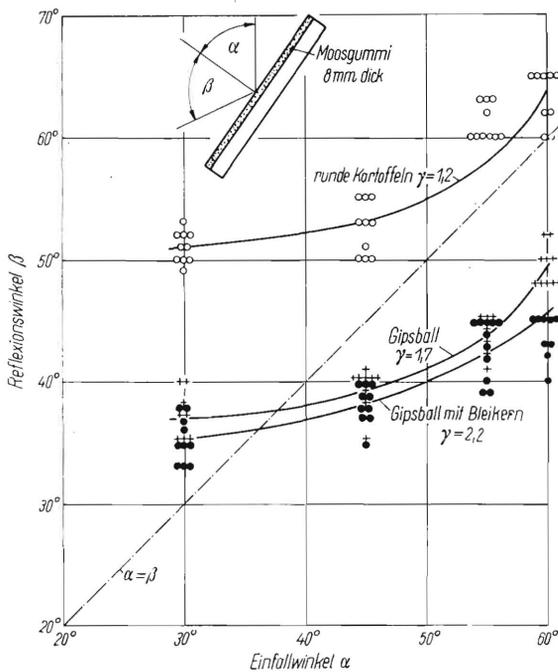


Bild 18. Reflexionswinkel β in Abhängigkeit vom Einfallswinkel α beim Fall von Kugeln auf eine schräge, weiche Unterlage.

Fallhöhe $H = 81,5 \text{ cm}$
Auftreffgeschwindigkeit $v = \sim 4 \text{ m/s}$

denen sichtbar wird, daß die Abhängigkeit von der Dichte beträchtlich ist. Diese so interessante Erscheinung ist jedoch für die Anwendung auf kugelförmige Teilchen beschränkt, da der Reflexionswinkel β stark von der Kornform abhängt.

7. Sortieren nach der Farbe

Das Sortieren nach der Farbe gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die Arbeitsweise einer solchen Anlage sei am Beispiel einer Farbsortiermaschine für Röstkaffee gezeigt. Diese dient dazu, zu helle, zu dunkle oder auch fleckige Bohnen nach dem Rösten abzutrennen. Die Arbeitsweise der Maschine, **Bild 19**, ist wie folgt: Die gerösteten Bohnen werden über eine Dosierrinne (1) und ein profiliertes Förderband (2) in das Beleuchtungszentrum (3) transportiert. Hier wird die Farbreflexion der Bohnen von den Photozellen (4) aufgenommen. Sobald Bohnen in ihrer Farbe vom

Hintergrund (5) abweichen, entsteht ein „Photostrom“, der die Druckluftdüse (6) über einen Verstärker öffnet. Die nicht richtig gerösteten oder schadhaften Bohnen fallen in den Abgang (7). Die Leistung dieser Maschine beträgt etwa 40 kg/h.

Auf ähnliche Weise kann man reife und unreife Zitronen trennen. In **Bild 20** ist beispielsweise die Abhängigkeit der reflektierten Lichtmenge in Abhängigkeit der Lichtfarbe für verschiedene Farben von Zitronen angegeben. Bei gelbem Licht ist die reflektierte Menge am stärksten von der Farbe der Zitronen abhängig. Die entsprechende Anlage arbeitet ähnlich wie die

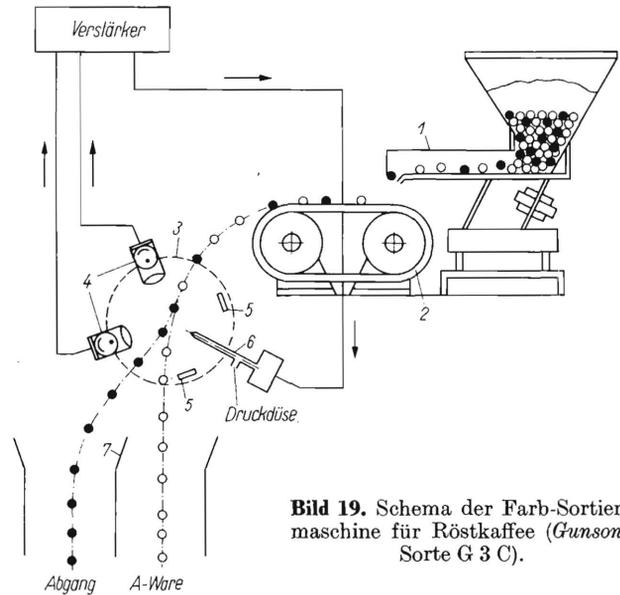


Bild 19. Schema der Farb-Sortiermaschine für Röstkaffee (Gunson-Sorte G 3 C).

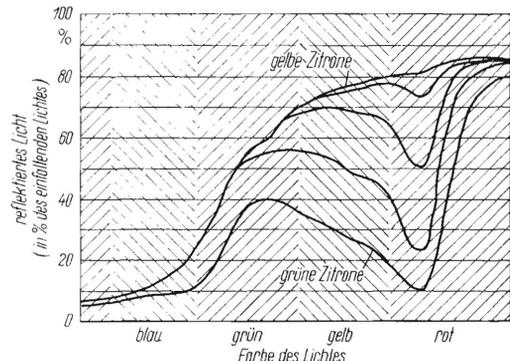


Bild 20. Reflektierte Lichtmenge beim Beleuchten von Zitronen in Abhängigkeit von der Farbe

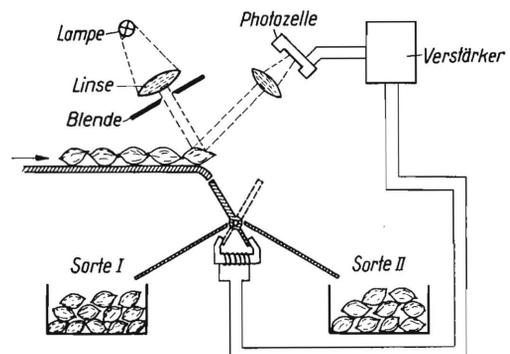


Bild 21. Schema einer Zitronensortiermaschine.

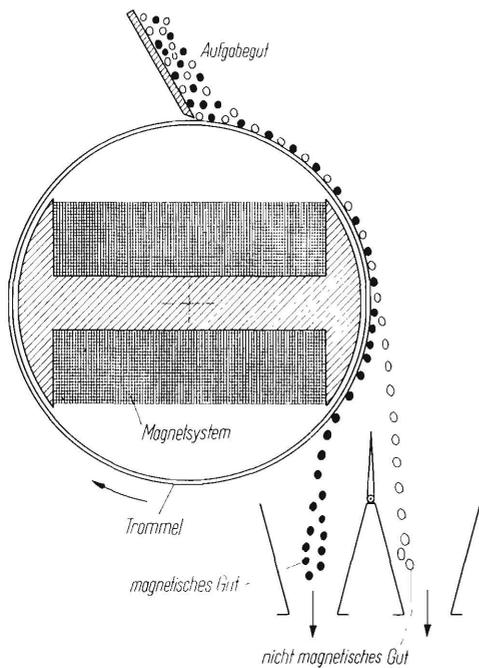


Bild 22. Schema eines Trommelscheiders zum Trennen nach magnetischen Eigenschaften.

nach Bild 19. Ein wesentlicher Unterschied besteht darin, daß die Photozelle nicht eine Druckluftdüse, sondern Klappen steuert, **Bild 21**.

Dieses Trennprinzip läßt sich auch mit Durchlicht oder Röntgenstrahlen durchführen.

8. Sortieren nach magnetischen Eigenschaften

Stoffe mit stark magnetischen Eigenschaften, wie Eisen, Nickel, Magnetit, Franklinit und Ilmenit, lassen sich aus einem Gemenge mit nicht magnetischen Stoffen durch Magnete abscheiden. Bei der Aufbereitung landwirtschaftlicher Produkte wird diese Methode fast nur zum Abscheiden von Fremdkörpern aus Eisen benutzt. Sehr verbreitet für diesen Zweck ist der Trommelscheider, **Bild 22**. In einer rotierenden Trommel befindet sich ein feststehendes Magnetsystem. Durch dieses System wird magnetisierbares Gut über eine bestimmte Strecke an der Trommeloberfläche festgehalten, wodurch die Abscheidung oder Trennung erfolgt. Der Vorgang ist abhängig von der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Kraftflußdichte in dem von den Feldlinien durchsetzten Stoff.

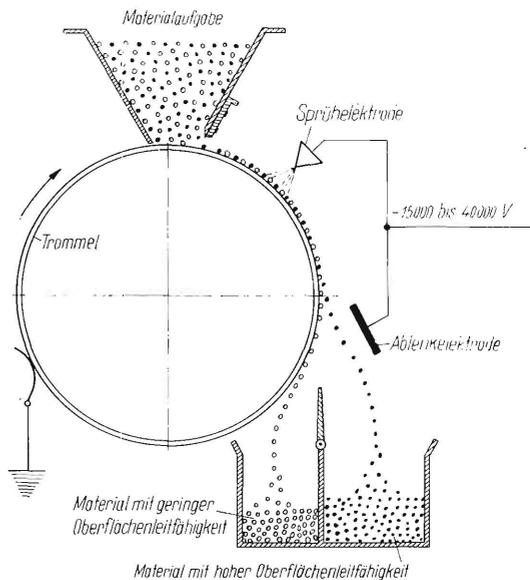


Bild 23. Schema eines elektrostatischen Walzenscheiders.

9. Sortieren nach elektrischen Eigenschaften

Unterschiede in elektrischen Eigenschaften, wie die Oberflächenleitfähigkeit und der Kornübergangswiderstand, werden bei der sogenannten elektrostatischen Scheidung zur Trennung ausgenutzt. Die häufigste Bauart ist z. Z. der Walzenscheider, **Bild 23**. Durch die von der Sprühelektrode (15 000 bis 40 000 Volt Gleichspannung) durch Koronaentladung austretenden Elektronen werden die auf der Walze liegenden Teilchen gleichsinnig aufgeladen. Die Teilchen mit hoher Oberflächenleitfähigkeit geben ihre Ladungen schneller an die geerdete Walze ab als die mit geringer Oberflächenleitfähigkeit. Dadurch fallen sie früher von der Walze ab. Dieses Verfahren hat in der Nahrungsmittelindustrie bereits Eingang gefunden.

Mit den genannten Methoden sind die Verfahren zur Sortierung noch nicht erschöpft. Bekannt sind z. B. noch die Trennung nach der Kornform mit dem Trieur, die nach der Festigkeit durch Aufspießen, die nach der Elastizität durch Stoßvorgänge und die nach der Benetzbarkeit durch Flotation. Diese Verfahren sind entweder einfach oder für die Landtechnik nicht so interessant, daß eine Besprechung in diesem Rahmen als begründet erscheint.

Schrifttum

- [1] *Haltmeier, O.*: Günstigste Siebbedingungen. Mühle **89** (1952) H. 41 S. 644/45.
- [2] *Bachmann, D.*: Bewegungsvorgänge in Schwingmühlen mit trockner Mahlkörperfüllung (Beitrag zur Klärung des Schwingmahlvorganges). Z. VDI Beihefte Verfahrenstechnik (1940) Nr. 2 S. 43/55.
- [3] *Batel, W.*: Neue Erkenntnisse über Siebvorgänge. VDI-Z. **97** (1955) H. 13 S. 393/400 und H. 14 S. 417/24.
- [4] *Baader, W.*: Untersuchungen über das Verhalten eines Haufwerkes großer Schichthöhe auf einem schwingenden Siebröster. Diss. TH Braunschweig (1960).
- [5] *Kolchin, N. N.*: Pnevmo-mekhanicheskoe otdelenie klubnei kartofela ot pochvennikh komkov. Selkhoz mashina, 1957 (3) S. 19/21. (Combined pneumatic and mechanical separation of potato tubers from clods. Engl. transl. in J. agric. Engng. Res. 1957, 2 (3) 238/40).
- [6] *Jäger, H., A. Gerlach und D. Spangenberg*: Das Sortieren der Kartoffeln nach dem Gewicht (Eine Kartoffelsortierwaage). Landtechn. Forsch. **8** (1958) Nr. 2 S. 46/48.
- [7] *Baganz, K.*: Zur Frage des Sammelrodens von Kartoffeln bei hohem Beimengungsanteil (In diesem Heft).