

Verfahren des Siebens und des Windsichtens

Von Josef Wessel, München

Bei der Aufbereitung landwirtschaftlicher Produkte werden häufig die Verfahren des Siebens und des Windsichtens zur Lösung von Trennaufgaben angewendet. In einer Gegenüberstellung beider Verfahren werden die Trennprinzipien, die Zerlegung in Teilschritte, eine Einzelkorntheorie und der Übergang zum technischen Vorgang mit hoher Teilchenkonzentration dargelegt. Hieraus ergeben sich Regeln für die Dimensionierung der Geräte. — Charakteristisch für das Sieben ist der relativ strenge Zusammenhang zwischen Trennkorngröße und Geometrie der Trennöffnung und die Abhängigkeit des Verfahrens von den Massen und den Stoßkräften der Partikel; daher Anwendung des Verfahrens im größeren Trennbereich und direkte Proportionalität zwischen zulässiger spezifischer Aufgabemenge und Siebfläche bei körnigem Gut. — Das Windsichten kennzeichnet die Abhängigkeit der Trennkorngröße von Luftkräften, massenabhängigen Kräften und Stoßkräften der Teilchen untereinander. Letztere können je nach Sichterbauart bei höherer Konzentration zu einer Verschiebung der Trennkorngröße und zu unbrauchbarer Trennschärfe führen. Bei Anwendung hoher Fließbeschleunigungen können auch bei Feinstkornreinigung hohe Aufgabemengen, bezogen auf den Querschnitt des Sichtkanals, erzielt werden.

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Das Sichten
 - 2.1 Trennprinzip
 - 2.2 Analyse des Siebverfahrens
 - 2.3 Ablauf des Siebvorganges
 - 2.4 Kinematik des Siebvorganges
 - 2.5 Dimensionierung der Siebfläche
- 3 Das Windsichten
 - 3.1 Trennprinzip
 - 3.2 Analyse des Sichtverfahrens
 - 3.3 Dimensionierung eines Sichters
 - 3.4 Bauformen
- 4 Gegenüberstellung des Siebens und Sichtens
- 5 Schrifttum

1 Einleitung

Bei der Erzeugung und Weiterverarbeitung landwirtschaftlicher Produkte liegt oft die Aufgabe vor, Haufwerke verschiedenartiger Zusammensetzung zu trennen, sei es, um das erwünschte Produkt (Korn) aus dem weniger erwünschten (Stroh) zu gewinnen, sei es, um verschiedene Klassen (z. B. Größenklassen) eines bestimmten Erzeugnisses (Saatgetreide, Rübensamen) zu erhalten. Im ersten Beispiel handelt es sich um ein Sortierproblem, im zweiten um Klassierprobleme. Beide Trennmethoden, Sortieren und Klassieren, beruhen auf den gleichen Trennmerkmalen. Hierbei ist Sortieren aufzufassen als das Trennen eines Gemenges verschiedenartiger Bestandteile, die sich in Größe, Form, Dichte, Beschaffenheit usw. unterscheiden, während unter Klassieren das Aufteilen eines Haufwerkes aus gleichartigen Bestandteilen in mehrere Klassen nach der Dispersitätsgröße (Größe, Dichte, Fallgeschwindigkeit usw.) verstanden wird. Beispiele für das Sortieren aus der Landtechnik sind das Trennen von Stroh-Korn, Kartoffel-Steine und Hopfendolden-Hopfensblätter. Klassieren von Haufwerken liegt vor bei Saatgetreide, Kartoffeln, grobes/feines Schrot und Rübensamen.

Die Grundverfahren des Siebens und des Windsichtens können sowohl zum Sortieren als auch zum Klassieren angewandt werden; Trennkriterium beim Sieben ist die geometrische Korngröße, beim Windsichten die Fallgeschwindigkeit.

Privatdozent Dr.-Ing. Josef Wessel ist Oberingenieur am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Walter Söhne) der Technischen Hochschule München.

Um in Kürze die Eigenarten beider Verfahren herausarbeiten zu können, ist es zweckmäßig, zur Analyse beider Grundverfahren zunächst folgende vereinfachende Annahmen zu treffen:

1. Beschränkung auf das Klassieren nach zwei Klassen „Feingut“ und „Grobgut“, **Bild 1**, und
2. Beschränkung auf Teilchen kugelig oder nicht stark abweichender Gestalt.

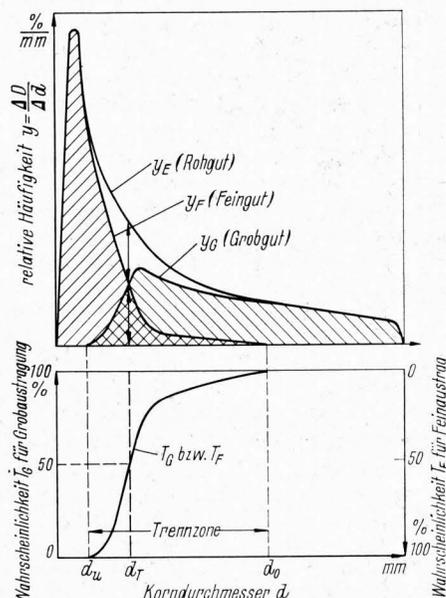


Bild 1. Ergebnis einer Klassierung eines Haufwerkes in „Fein“ und „Grob“.

Der Trennkorndurchmesser d_T liegt hier an der Stelle, an der sich die Kurven für Grob- und Feingutverteilung schneiden (siehe obere Darstellung). Dieser Wert entspricht der Forderung nach gleicher Wahrscheinlichkeit für Grob- und Feingutaustragung des Trenngutes (untere Darstellung). Es gibt noch andere Definitionen für die Trennkorngröße [20].

$$\text{Wahrscheinlichkeit für die Grob-} T_G = \frac{y_G}{y_E} 100\%$$

$$\text{Wahrscheinlichkeit für die Feinaustragung } T_F = \frac{y_F}{y_E} 100\%$$

Die Kurven T_G bzw. T_F geben die Wahrscheinlichkeit an, mit welcher die einzelnen Kornstufen der Trennzone $d_0 - d_u$ ins Grobgut bzw. ins Feingut geraten.

(Die Bedeutung der übrigen Formelgrößen siehe „Verwendete Formelzeichen“.)

2 Das Sieben

2.1 Trennprinzip

Das Trennprinzip beim Sieben ist der häufig wiederholte statistische Größenvergleich der Siebgutpartikel mit den Abmessungen der Trennöffnung. Die feinen Partikel gelangen dabei in den Siebdurchlauf, die groben wandern unter Wiederholung des Größenvergleichs in den Siebüberlauf. Bei nicht kugelförmigen Teilchen ist auch die Orientierung der Partikel dafür maßgebend, ob sie in den Siebübergang oder in den Durchlauf geraten.

2.2 Analyse des Siebverfahrens

In **Bild 2** sind die Verfahrensschritte des Siebens [16] stark schematisiert dargestellt:

1. Schichten + Mischen + Umwälzen,
2. Größenvergleich und
3. Abscheiden und Auswerfen.

In Wirklichkeit gehen die drei Schritte — hier getrennt dargestellt — ineinander über. Sie sind überlagert von der Transportbewegung des Gutes über die Trennfläche. Beim Schichten wandern die feinen Teilchen in der durch die Siebbewegung auf-

gelockerten Schicht zum Siebboden. Zugleich findet eine Durchmischung statt, so daß auch die Feinteilchen in der oberen Schicht rascher mit dem Siebboden in Kontakt kommen als dies ohne Umwälzung der Fall wäre. Es gibt Siebvorgänge mit einzelnen, meist größeren Stücken, oder auch solche in sehr dünner Schicht, bei denen diese Verfahrensstufe entfällt. Bei den meisten Siebverfahren ist jedoch der Schichtungsprozeß von ausschlaggebender Bedeutung für den nachfolgenden Trennvorgang. Die Durchmischung kann durch kreisförmige Schwingung des Siebes oder durch stufenförmige Ausbildung des Siebbodens unterstützt werden.

Im zweiten Schritt wird die statistische Auslese (Größenvergleich) zwischen Korn und Sieböffnung dargestellt. Diese Verfahrensstufe kennzeichnet eigentlich den Klassierprozeß des Siebverfahrens; daher soll sie eingehender betrachtet werden. In **Bild 3** ist die Wahrscheinlichkeit für den Durchgang einer Kugel durch eine quadratische Öffnung als Funktion der bezogenen Teilchengröße d/l dargestellt. Mit wachsender Teilchengröße fällt die Durchgangswahrscheinlichkeit W_D rasch gegen Null ab. Je größer ein Teilchen ist, desto öfter ist der Vorgang zu wiederholen, um das Teilchen in den Siebdurchlauf zu bringen. Für $d/l = 1$ wird die Durchgangswahrscheinlichkeit $W_D = 0$, das Teilchen bleibt stecken. Diese Darstellung, welche *Taggart* [15] entnommen ist, wurde nun erweitert auch für Teilchen $d > l$.

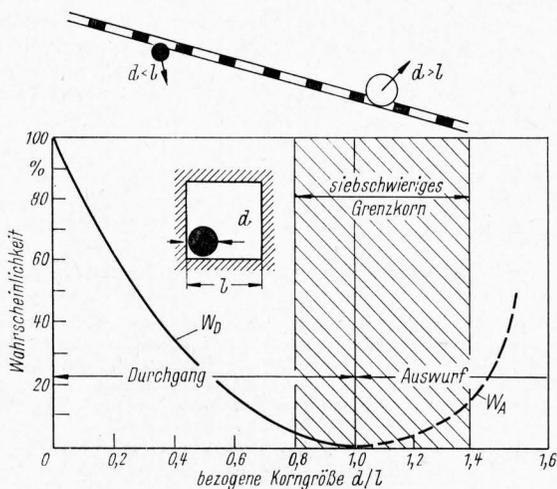


Bild 3. Qualitativer Verlauf der Durchgangs- und Auswurfwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der (bezogenen) Korngröße d/l .

$$W_D = (1 - d/l)^2 \text{ Durchgangswahrscheinlichkeit}$$

$$W_A \text{ Auswurfwahrscheinlichkeit}$$

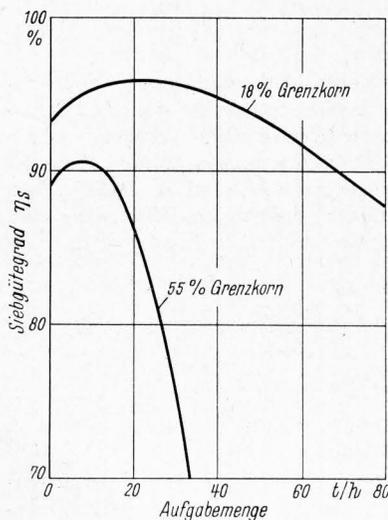


Bild 4. Siebgütegrad η_s in Abhängigkeit von der Aufgabemenge bei verschiedenem Grenzkorngehalt (nach *Sinden*).

$$\text{Siebgütegrad } \eta_s = \frac{\text{abgesiebte Feinkornmenge}}{\text{gesamte Feinkornmenge}} \cdot 100\%$$

Transport des Gutes über der Trennfläche

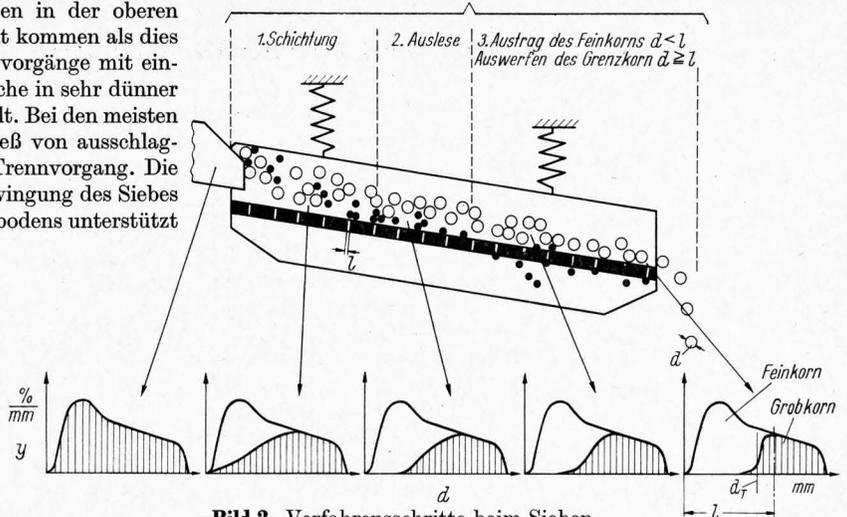


Bild 2. Verfahrensschritte beim Sieben.

Hier geht es nicht um die Durchgangswahrscheinlichkeit W_D , sondern um die Auswurfwahrscheinlichkeit W_A für stecken gebliebene Teilchen.

Damit kommen wir zum dritten Verfahrensschritt: Zum Ausscheiden der Teilchen $d = l$ und zum Auswerfen von Teilchen $d > l$. Ohne eine Funktion abzuleiten, etwa mit Hilfe des Klemmwinkels, ist einzusehen, daß W_A erst langsam, dann sehr rasch mit d/l anwächst. Diejenigen Körner, die etwas kleiner und etwas größer sind als die Sieböffnung, werden als „siebschwieriges Grenzkorn“ bezeichnet und tendieren dazu, mit ihrer geringen Durchgangs- oder Auswurfwahrscheinlichkeit das Sieb zu verstopfen oder jedenfalls zeitweise einen Teil der Sieböffnungen zu blockieren. Hierdurch wird die nutzbare freie Siebfläche verkleinert und somit der Trenneffekt wesentlich beeinträchtigt. Der ungünstige Einfluß des siebschwierigen Grenzkorns auf den Siebgütegrad ist aus **Bild 4** ersichtlich. In der praktischen Siebtechnik mit regellos geformten Teilchen rechnet man als siebschwieriges Korn den Bereich von etwa $0,8 \leq d/l \leq 1,5$ [14]. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, daß das Trennkorn d_T immer kleiner als die Maschenweite l ist.

Verwendete Formelzeichen

a	mm	Wegamplitude des Siebbodens (halber Hub)
b	m/s ²	Siebeschleunigung
b_n	m/s ²	Siebeschleunigungskomponente senkrecht zur Siebebene
b_s	mm	Siebbreite, Sichtkanalbreite
d	mm	Korndurchmesser
$d_{u,o}$	mm	untere und obere Grenze der Trennzone
Δd	mm	Klassenbreite
d_T	mm	Trennkorndurchmesser, Trenngrenze
ΔD	%	Anteil der Masse einer Klasse an der Gesamtmasse
F	m ²	Sichtkanalquerschnitt
g	m/s ²	Erdbeschleunigung
g_n	m/s ²	Erdbeschleunigungskomponente senkrecht zur Siebebene
K_V	—	Abiebungskennziffer
l	mm	lichte Maschenweite des Siebes
q	kg/m ² s	zulässige (flächenbezogene) Aufgabemenge oder zulässige (spezifische) Flächenbelastung
\dot{Q}	kg/s	Aufgabemenge an Feststoff pro Zeiteinheit
v_{rel}	m/s	Relativgeschwindigkeit zwischen Einzelkorn und Luftbewegung
v	m/s	Geschwindigkeit des Einzelkorns
v_0	m/s	Einschußgeschwindigkeit des Sichtguts in die (Luftströmung) Sichtzone an der Aufgabestelle
v_L	m/s	mittlere Luftgeschwindigkeit im Sichtkanal
v_S	m/s	Endfallgeschwindigkeit (= Schwebegeschwindigkeit) des Trennkorns
$y = \frac{\Delta D}{\Delta d}$	$\frac{\%}{\text{mm}}$	relative Häufigkeit der einzelnen Kornklassen
α	Grad	Abwurfwinkel
β	Grad	Neigungswinkel des Siebbodens
γ	Grad	Aufprallwinkel des Siebkorns auf den Siebboden
ζ	kg/m ³	Feststoffbelastung der Sichtluft
η_s	%	Siebgütegrad
φ_L	Grad	zeitlicher Abwurfwinkel des Siebkorns
φ_0	Grad	zeitlicher Aufprallwinkel des Siebkorns
ω	—	Kreisfrequenz des Siebes

Bild 5 zeigt in schematisierender Darstellung alle Einflüsse, die bewirken, daß das Trennkorn d_T kleiner als die lichte Weite l zwischen den Siebdrähten ist:

1. die durch rasche Bewegung hervorgerufene scheinbare Verdickung des Siebdrahtes,
2. die Größe des Auftreffwinkels γ zur Siebebene, wobei zu berücksichtigen ist, daß der Auftreffwinkel infolge der Zufallseinflüsse in einem weiten Bereich streut, und
3. die von der Trennschärfe abhängige Differenz der maximalen Feinkorngröße d_{max} vom Trennkorn d_T .

Aus dieser Analyse sind folgende Rückschlüsse auf den Prozeß möglich:

1. eine häufige Wiederholung des Siebwurfes bzw. eine entsprechend lange Bahn des Siebgutes auf der Trennfläche ist notwendig, um eine möglichst hohe Ausbeute an Körnern $d < l$ zu erzielen;
2. das Sieben ist gegen hohen Anteil an Grenzkorn $0,8 < d/l < 1,5$ empfindlich und

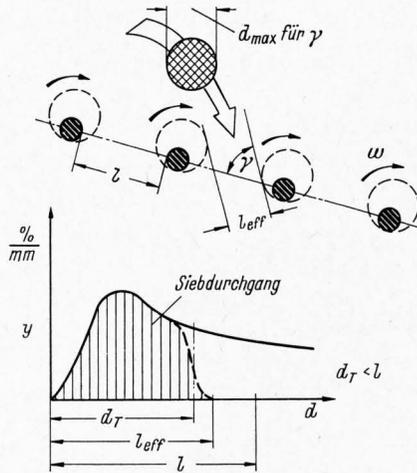


Bild 5. Aufprallwinkel γ und „Verdickung“ des Maschendrahtes bestimmen das größte Korn d_{max} im Siebdurchgang. Die Trenngrenze d_T liegt unter der effektiven Maschenweite $l_{eff} = d_{max}$.

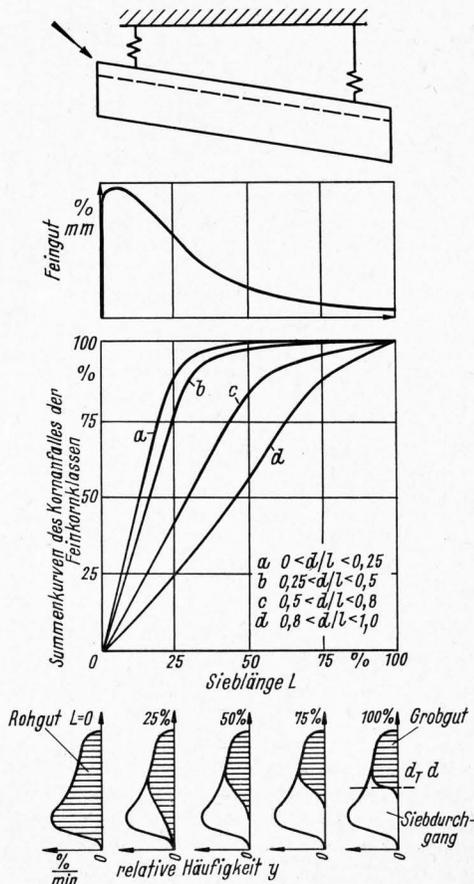


Bild 6. Ablauf des Klassiervorganges über der Sieblänge L .

3. es besteht keine Möglichkeit für die Korngröße $d > l$, in den Siebdurchwurf zu geraten, d. h., beim Sieben ist das maximale Feinkorn geometrisch begrenzt. Die Siebfläche ist Trenn- und Kontrollfläche zugleich (jedenfalls solange sie unbeschädigt ist). Gerade für die Landtechnik mit ihren oft in weiten Grenzen schwankenden Arbeitsbedingungen ist diese, wenn auch einseitige, Festlegung der Trenngrenze ein wichtiges Kriterium für die Anwendung.

Ein anderer Ausgangspunkt zur Analyse des Siebverfahrens bildet eine Betrachtung der am Korn angreifenden Trennkkräfte. Auf diese Darstellung, die sich bei Batel [3] findet, kann hier nur hingewiesen werden.

2.3 Der Ablauf des Siebvorganges

ist in **Bild 6** schematisch dargestellt. Wie aus der vorhergehenden Wahrscheinlichkeitsbetrachtung zu entnehmen ist, fällt bereits in den ersten Feldern eine große Menge Feinstkorn und Feinkorn durch. Die nachfolgenden Siebfelder sind aber noch notwendig, um auch das siebschwierige Korn so häufig in den Ausleseprozeß hineinzunehmen, daß es im Fall $d < l$ in den Siebdurchlauf gerät. Auch im Kornungsdiagramm ist die schon anfangs beträchtliche Durchgangsmenge an feinen Körnern ersichtlich. Erst gegen Ende des Vorganges bildet sich die steile Flanke im Kornungsdiagramm, welche die Trennschärfe anzeigt. Hieraus ist zu entnehmen, daß ein kurzes Sieb bei nicht zu hoher Anforderung an die Trennschärfe oder bei hohem Feinstgut-anfall im Aufgabegut ein brauchbares Trennergebnis bewirken kann. Natürlich ist hierbei ein rieselfähiges Feinstgut vorausgesetzt. Ebenso zeigt die Darstellung, daß von einem gewissen Grad an eine auch nur geringe Erhöhung an Trennschärfe, d. h. an Feingutausbeute, mit einer erheblichen Vergrößerung der Sieblänge bezahlt werden muß. Der erhöhte Bauaufwand für ein zu langes Sieb macht sich jedoch im Falle der Überladung durch ein besseres Trennverhalten gegenüber dem ursprünglichen Sieb bezahlt.

2.4 Kinematik des Siebvorganges

Ausgelöst wird der Siebvorgang durch Impulse, welche das mehr oder weniger kompakte Haufwerk auflockern und eine Verschiebung der Teilchen gegeneinander ermöglichen. Dabei spielt die Überwindung der Bindungskräfte, die bei feuchtem Gut oder im Feinstkornbereich erhebliche Größen annehmen kann, eine ganz entscheidende Rolle. In diesem Zusammenhang seien die Forschungsergebnisse von Batel [2] erwähnt.

Bild 7 zeigt einen Überblick über die vier hauptsächlich angewendeten Verfahren, die sich durch Ausbildung und Bewegung der Trennflächen sowie im Trennbereich unterscheiden.

Die vorliegenden Ausführungen beschäftigen sich speziell mit dem Wurfsieben, welches die breiteste Anwendung erlangt hat. Man unterscheidet dabei zwischen den Kreisschwingsieben und solchen mit annähernd geradliniger Bewegung. Nach Kluge [8] wird hier die Bewegung des Einzelkorns unter vereinfachten Bedingungen so dargestellt, daß die vier Parameter der ballistischen Siebteilchenbewegung, nämlich der Schwin-

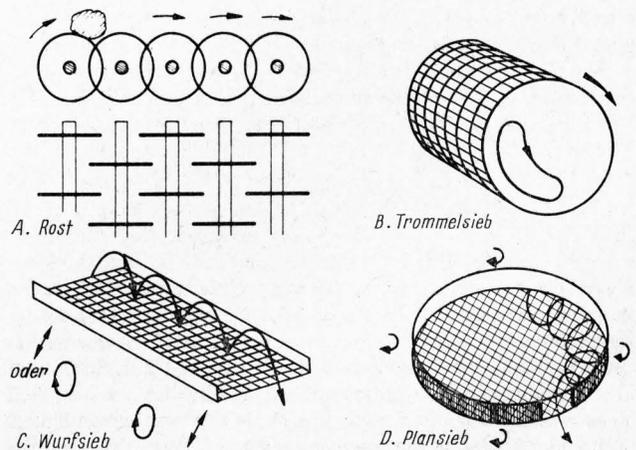


Bild 7. Überblick über die Siebverfahren.

(Hierzu Tafel auf Seite 154 oben)

Verfahren und Anwendung	Merkmale des Verfahrens	Trennbereich Korngröße mm	Max. Beschleunigung des Gutes m/s ²
A. Einzelstücksiebung bei schmierendem Gut und hohen Anforderungen an den Flächendurchsatz	<i>Gutsbewegung:</i> Kraftschlüssige Mitnahme des Stückes durch die bewegten Seitenbegrenzungen der Sieböffnungen <i>Siebbewegung:</i> Rotation oder Kreisschwingung der Rostelemente	bei 200	g
B. Wälzsiebung in Kombination mit anderen Verfahren, wenn Vibration erwünscht	<i>Gutsbewegung:</i> Umwälzung in geneigter Trommel <i>Siebbewegung:</i> Gleichförmige Rotation	50 bis 200	g
C. Wurfsiebung Weitgehende Anpassung an das Siebproblem durch Anpassen von Bahn- und Bewegungsablauf	<i>Gutsbewegung:</i> Wurf in senkrechter Längsebene <i>Siebbewegung:</i> Harmonische oder pseudoharmonische Schwingung in senkrechter Längsachse. Sonderfall: Erregung des Siebgewebes durch Stößel	0,2 bis 200	8 g
D. Plansiebung Im Feinstkornbereich Überwindung der Bindekräfte im Gut durch scherende Beanspruchung	<i>Gutsbewegung:</i> In der Siebebene durch Anprall der Schüttschicht an den Seitenwänden <i>Siebbewegung:</i> Harmonische oder pseudoharmonische Schwingung in der Siebebene	0,05 bis 1,0	2 g

gungsausschlag a der Siebbewegung, die Kreisfrequenz ω , der Abwurfwinkel α und der Siebneigungswinkel β , zu einer einzigen Kenngröße, der Absiebungskennziffer K_V , zusammengefaßt werden, **Bild 8**. Diese Kennziffer ist das Verhältnis zwischen der maximalen Beschleunigung b_n , die das Siebkorn normal zum Siebboden erfährt, und der Normalkomponente g_n der Erdbeschleunigung. In dieser vereinfachten Darstellung ist der Abwurf und der für die Absiebung des Grenzkorns wie auch für die Beanspruchung abriebempfindlicher Teilchen maßgebende Aufprall lediglich eine Funktion von K_V .

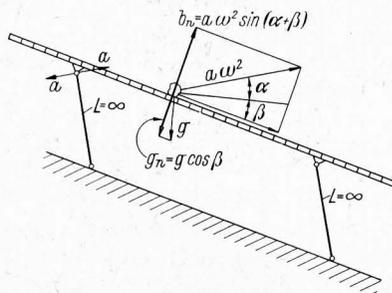


Bild 8. Die Einflußgrößen des Siebwurfs werden unter den vereinfachenden Annahmen der Einzelkornballistik zur Absiebungskennziffer K_V zusammengefaßt, die Abwurf und Aufprall bestimmen (nach Kluge [8]):

$$K_V = \frac{b_n}{g_n} = \frac{a \omega^2 \sin(\alpha + \beta)}{g \cos \beta}$$

Für das Einzelkorn wird die höchste Aufprallgeschwindigkeit erzielt, wenn die Flugzeit ($\varphi_0 - \varphi_L$) gleich der Dauer der Schwingungsperiode (2π) ist. Dabei sollen Doppel- und Mehrfachwürfe wegen der ungenügenden Ausnutzung der Schwingungen ausgeschlossen sein. Unter den vorliegenden Annahmen wird für das Einzelkorn somit für $K_V = 3,2$ eine harte Absiebung erzielt, **Bild 9**.

Bei der Untersuchung wirklicher Siebgutschichten fand Baader [1], daß die oberen Schichten eine starke Dämpfung und Phasenverschiebung ihrer Bewegung erfahren. Deshalb unterscheiden sich die in der praktischen Siebtechnik angewendeten K_V -Werte von diesen in der Einzelkorntheorie ermittelten. Es ist weiter zu berücksichtigen, daß die Bewegungsbahn und die Bewegungsgrößen des Siebbodens immer auch auf das Auswerfen steckengebliebener Grenzkörner sowie auf das Schichten und Mischen abgestimmt werden müssen. Schließlich muß in den meisten Fällen auch noch eine genügende Fördergeschwindigkeit durch den Wurf erzielt werden. In anderen Fällen wird aber der Transport durch eine entsprechende Neigung des Siebbodens erzielt.

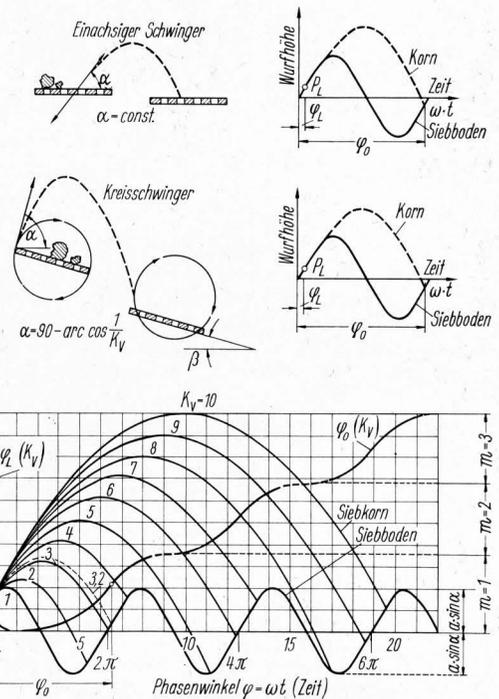


Bild 9. (oben) Der räumliche und zeitliche Ablauf des Wurfs eines Einzelkornes für Geradschwinger und Kreisschwinger. Die Flugzeit ($\varphi_0 - \varphi_L$) für verschiedene Absiebungskennziffern K_V nach Kluge [8] (untere Darstellung).

2.5 Die Dimensionierung der Siebfläche

geht aus dem Kontinuitätsgesetz, welches auf die Schüttschicht angewendet wird, hervor. Wenn V das in der Sekunde durchgesetzte Schüttvolumen, v die Transportgeschwindigkeit auf dem Sieb, h die Schütthöhe und b_S die Siebbreite bedeuten, dann ist

$$V = v h b_S$$

Dabei schwankt die optimale Siebgeschwindigkeit in relativ engen Grenzen im Bereich von 0,3 bis 0,5 m/s. Der Einfluß der Schichthöhe bzw. der Aufgabemenge auf das Trennergebnis [14] zeigt Bild 4.

Hiernach steigt zunächst die Trenngüte mit wachsender Schichthöhe, durchaus erklärlich, wenn man die Masse der Schicht als „impulsfördernde Siebhilfe“ beim Aufprall betrachtet. Bei weiterem Anwachsen der Schichthöhe wird der Weg für die oben liegenden Feingutteilchen zur Trennfläche sehr weit, und überdies werden die oberen Schichten in ihrer Wurfbewegung und Umwälzung so stark gedämpft, daß dann der Siebgütegrad

rasch abfällt. Ein ähnlicher Verlauf der Trenngüte beim Sortieren von Häcksel und Korn ist von *Hassebrauck* [5] festgestellt worden. Nachdem also die Schichthöhe und die Geschwindigkeit durch das Verfahren festgelegt sind, kann die Aufgabemenge theoretisch nur durch die Siebbreite berücksichtigt werden. Die notwendige Sieblänge wird aus der erforderlichen Anzahl der Siebwürfe bestimmt. In der Praxis geht man jedoch meist von empirisch ermittelten zulässigen Flächenbelastungen aus. Hierbei ist für ein bestimmtes Gut die zulässige Flächenbelastung etwa direkt proportional der Maschenweite l [17]. In vielen Fällen wird auch noch zusätzlich die Kornverteilung des Aufgabegutes bei der zulässigen Siebflächenbelastung berücksichtigt.

3 Das Windsichten

3.1 Trennprinzip

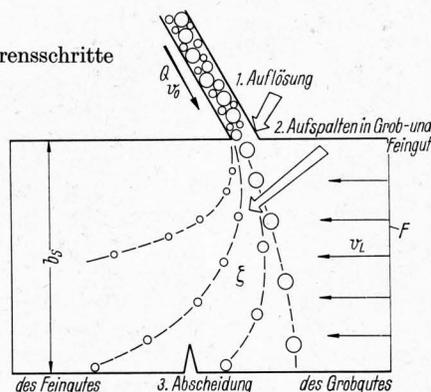
Trennprinzip beim Windsichten ist die Ablenkung von Körnern verschiedener Endfallgeschwindigkeit in einem Strömungsfeld. Bei Gemengen, bei denen alle Teilchen gleiche Dichte und Kornform besitzen, ist die Endfallgeschwindigkeit nur von der Größe abhängig. In diesem Fall können sie durch das Sichten der Größe nach klassiert werden.

3.2 Analyse des Sichtverfahrens

Die Verfahrensschritte beim Sichten [19] sind in analoger Weise zum Sieben in **Bild 10** für einen Horizontalsichter dargestellt:

1. Auflösen des mehr oder weniger kompakten Haufwerkes mit möglichst gerichtetem Abwurf in das Strömungsfeld;
2. Aufspalten des Gutes in zwei oder mehrere Fallgeschwindigkeitsklassen (Fein- und Grobgut) im Zusammenspiel der strömungs- und massenabhängigen Kräfte und
3. Abscheiden der Trennprodukte „Fein“ und „Grob“ aus der Strömung.

Bild 10. Die Verfahrensschritte des Windsichters.



Der kennzeichnende zweite Schritt wird näher untersucht: Die Teilchen niedriger Fallgeschwindigkeit werden mehr in Richtung der Strömung abgelenkt und von ihr weitertransportiert als diejenigen hoher Fallgeschwindigkeit, deren Bahn mehr von den massenabhängigen Kräften bestimmt wird. Je nachdem, ob die Aufspaltung in Fein- und Grobgut vornehmlich unter Einwirkung der Schwerkraft oder der um vielfach höheren Massenträgheitskräfte vor sich geht, unterscheidet man Schwerkraftsichter und Fliehkraftsichter.

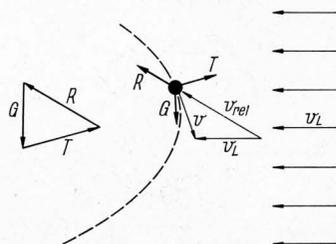


Bild 11. Grundlage der Errechnung determinierter Einzelkornbahnen ist eine Gleichgewichtsbetrachtung der am Korn angreifenden Luft-, Massenträgheits- und Schwerkraft.

R Luftkraft
 T Trägheitskraft
 G Gewicht

In **Bild 11** ist der Ablenkvorgang am Einzelkorn in einem horizontalen Luftstrom dargestellt. Aus dem Gleichgewicht von Luftkraft R , Gewicht G und Massenträgheitskraft T kann die Bewegungsgleichung für das Teilchen unter gegebenen Anfangsbedingungen aufgestellt werden [11]. Die so ermittelten Teilchenbahnen geben Hinweise auf Trenngrenze und Trennschärfe. Beim technischen Siebvorgang ist der hier beschriebene determinierte Vorgang überlagert von einem unerwünschten undeterminierten Vorgang. Hier beeinträchtigen unvermeidliche Zufallseinflüsse, wie räumliche und zeitliche Schwankungen des Strömungsfeldes, gegenseitiger Teilchenstoß, Schwankungen von Aufgabemenge, -geschwindigkeit und -richtung die Trennschärfe. Auch dieser unerwünschte stochastische Anteil des Vorgangs ist rechnerisch erfaßt worden [13].

3.3 Dimensionierung eines Sichters

Für die Dimensionierung eines Sichters gilt die Durchsatzgleichung, die aus dem Kontinuitätsgesetz eines luftdurchströmten Kanals abgeleitet wird:

$$\dot{Q} = F \frac{v_L}{v_s} v_s \zeta \text{ kg/s,}$$

worin bedeuten: \dot{Q} die Durchsatzmenge an Feststoff in kg/s, F den Sichtkanalquerschnitt in m^2 , v_L die mittlere Luftgeschwindigkeit über dem Sichtzonenquerschnitt in m/s, v_s die Endfallgeschwindigkeit (= Schwebegeschwindigkeit) des Trennkorns in m/s, v_L/v_s die Geschwindigkeitskennzahl und ζ die Feststoffbelastung der Sichtluft in kg/m^3 . F ist ein Ausdruck für die Größe eines Sichters und v_L/v_s für die Bauart bzw. den Betriebszustand eines Sichters.

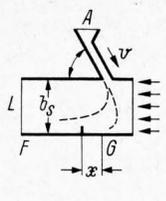
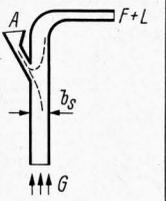
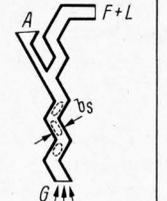
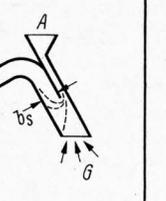
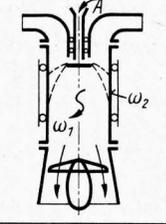
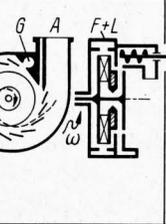
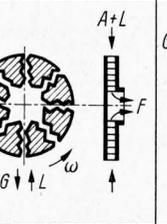
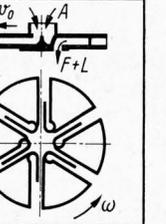
Hierbei wächst die zulässige Beladung, die aus wirtschaftlichen Gründen möglichst hoch sein sollte, mit der Trennkorngröße (v_s) und mit d ein wenig mit der Baugröße (F) des Sichters [4]. Überdies ist sie von der Bauart (v_L/v_s) des Sichters abhängig. Bei feinem Trennschnitt sinkt die Aufgabemenge also rasch ab, so daß nur durch Wahl eines Sichters mit einem hohen v_L/v_s -Wert (Fliehkraftsichter) eine brauchbare Durchsatzmenge erreicht werden kann.

3.4 Bauformen

In zahlreichen Veröffentlichungen wurde versucht, die vielfältigen Bauformen in bestimmte Ordnungsschemata einzuordnen [7; 13; 19]. Die Grundformen der technischen Bauformen lassen sich bisweilen aus den verschiedenartigen Strömungsfeldern ableiten. Nachfolgend werden die wichtigsten Trenneigenschaften einiger Grundformen mit dem Hinweis auf frühere Veröffentlichungen angegeben [18]. **Bild 12** zeigt einen Überblick über die vier grundlegenden Systeme: Gleichgewichts-, Ablenk-, Wirbelwalz- und Umlenkensystem.

Der Steigsichter ist Vertreter des Gleichgewichtssystems. Bei niedriger Feststoffbelastung der Luft und bei genügend großem Trennschnitt werden hohe Trennschärfen erreicht. Die Trenngrenze, d. h. die Trennkorngröße, ist in der Praxis ungefähr der Luftgeschwindigkeit proportional. Die Trennschärfe wird mit niedriger Luftgeschwindigkeit und feiner werdendem Trennkorn schlechter, vermutlich, weil die zum Auflösen von Agglomeraten notwendige Energie fehlt. Die zulässige Aufgabemenge sinkt dann rasch ab. Im vereinfachten Idealfall ist $v_L = v_s$; das Trennkorn bleibt in der Schwebelage. Die Teilchenbahnen sind in diesem System ziemlich verflochten, und die Fehlausträge erreichen wegen der gegenseitigen Behinderung der Teilchen mit wachsender Konzentration bald hohe Werte. Bei vorgegebener seitlicher Einspeisegeschwindigkeit v_0 gibt es im Hinblick auf den Trennvorgang eine optimale Kanalbreite b_s .

Der Horizontalsichter mit Gegenstromaufgabe des Sichtgutes besitzt bei gleicher Luftbelastung eine höhere Trennschärfe als der Steigsichter. Hierbei dürfte die ordnungsgemäße Auffächerung der Teilchenbahnen an der Aufgabestelle eine wichtige Rolle spielen. Er wurde in den vorliegenden Versuchen bei niedrigerem Wert $v_L/v_s \approx 0,5$ mit niedriger Luftgeschwindigkeit im Kanal, jedoch mit hoher Einschußgeschwindigkeit betrieben [20]. Der optimale Rutschenwinkel α liegt nach diesen Versuchen zwischen 50 und 60 Grad. Durch Versetzen der Trennscheibe

System:	1. Ablensystem	2. Gleichgewichtssystem	3. Wirbelwalzensystem	4. Umlenssystem
Schwerkraft-Sichter				
Bezeichnung:	Horizontalsichter	Steigsichter	Zick-Zack-Sichter	Gegenstrom-Umlensichter
Trennbereich μm	200 bis 600 (3000)	300 bis 3000	100 bis 10000	(50) 70 bis 700
Trennkorn $d_T = f(\dots)$	$v_L; x; b_s; \alpha; v_0$	$v_L; (v_0)$	$v_L; (b_s)$	$v_L; b_s; v_0$
Geschw.-zahl v_L / v_s	0,5	1,5	1,5 bis 2	(50) 30 bis 3
Fliehkraft-Sichter				
Bezeichnung:	Axialsichter	Spiralsichter	rotierender Zick-Zack-Sichter	not. Gegenstrom-Umlensichter

oder durch Änderung des Abwurfwinkels kann die Trenngrenze auch ohne Änderung des Strömungsfeldes variiert werden.

Besonders hohe Trennschärfe bei nicht zu hohen Luftbelastungen wird im Zick-Zack-Sichter [6] aufgrund der vielstufigen Sichtung und der Rückführung der Fehlkornmengen zu immer neuen Trennvorgängen erreicht. Grundform des vorliegenden Trennmechanismus ist die Wirbelwalze, deren Aneinanderreihung wiederholte Auflöse- und Trennmöglichkeiten bietet.

Besonders hohe Beladungen können im Gegenstrom-Umlensichter erzielt werden [12], weil hier die Prinzipien der Trennung bei hoher Teilchenkonzentration gleichzeitig verwirklicht werden: Geordnete Auslenkung der Teilchenbahnen nach der Korngröße, sinngemäße Entmischung des Gutes auf der Rutsche und Gegenstromanordnung zur optimalen Auflösung des Gutes an der Aufgabestelle. Inzwischen sind andere Sichter bekannt geworden, die bei geordneter Ausführung der Teilchenbahnen hohe Feststoffbelastungen ermöglichen [13].

Alle vier Grundformen sind auch als Fliehkraftsichter mit rotierenden Kanälen bekannt [19]. Die Grundschemata ergeben sich zwangsläufig, wenn das Schwerkraftfeld durch ein entsprechendes Fliehkraftfeld ersetzt wird, Bild 12 (unten).

4 Gegenüberstellung des Siebens und Sichtens

Zum Vergleich beider Trennverfahren gibt es eine Reihe von Kriterien, von denen hier nur die wichtigsten behandelt werden können: die Trennkorngröße und die zulässige Flächenbelastung.

Während der technische Siebvorgang in erster Linie auf Massenkräften beruht und somit vorzugsweise im gröberen Trennbereich von etwa 0,5 bis 200 mm angewendet wird, ist das Sichten in erster Linie auf die mit zunehmender Feinheit stark anwachsenden spezifischen Luftwiderstände am Korn angewiesen. Die Trenngrenzen beim Siebklassieren liegen von etwa 0,5 mm aufwärts bis etwa 200 mm, beim Sichten liegen sie von etwa 3 mm abwärts bis etwa auf 2 μm . In Sonderfällen ist der Überschneidungsbereich noch größer.

Der wichtigste Unterschied beider Verfahren liegt in der mehr oder weniger strengen geometrischen Zuordnung der Trenngrenze zur Sieböffnung, während die Trenngrenze beim Sichten in erster Linie von der Sichtergeometrie, der Luftgeschwindigkeit, der Kornverteilung und der Feststoffkonzentration abhängt und somit in weiten Grenzen schwanken kann. Die Eigenarten beider Verfahren sind in [21] einander gegenübergestellt. Der nachfolgende Vergleich der erreichbaren Aufgabemengen in Abhängigkeit von der Trenngrenze ist nur möglich, wenn folgende vereinfachende Annahmen getroffen werden, damit die für den Sichter maßgebende Trennkornfallgeschwindigkeit in Korngröße ausgedrückt werden kann:

Bild 12. Übersicht über verschiedene Schwerkraftsichter, in denen verschiedene Strömungsfelder wirksam sind. Zu den verschiedenen Schwerkraftsystemen lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen entsprechende Fliehkraftsysteme einordnen.

A Gutsaufgabe
F Feingutabscheidung
G Grobgutabscheidung
L Sichtluft

1. Das Klassiergut für das Sichten und Sieben soll eine Dichte von etwa 2,6 g/cm³ (Quarz, Kalkstein) besitzen und nicht zu stark von der kubischen Gestalt abweichen.
2. Im Windsichter soll der Trennkorndurchmesser direkt proportional der Luftgeschwindigkeit sein. Diese Beziehung gilt im Zwischenbereich dem Stokeschen und dem Newtonschen Widerstandsbereich und entspricht experimentell annähernd dem Trennverhalten vieler Sichterbauarten im Schwerkraftbereich. Auch bei Fliehkraftsichtern mit rotierenden Kanälen trifft sie annähernd zu, aber nicht bei Spiralsichtern [9].

Die zulässige Flächenbelastung bezieht sich beim Sieb auf die Siebfläche, beim Sichter auf den Sichtkanalquerschnitt. Sie gibt einen Hinweis auf die Apparaturgröße, wobei zu bemerken ist, daß wegen des Zusammenhanges der Trenngrenze mit der Sichtergeometrie und auch aus anderen Gründen die Sichterquerschnitte nicht beliebig vergrößert werden können. Aus konstruktiven Gründen kann auch beim Sieb die Aufgabemenge nicht beliebig durch eine Verbreiterung des Siebes gesteigert werden.

Die trennkornabhängigen Aufgabemengen für beide Verfahren sind in **Bild 13** unter Zugrundelegung von aus dem Schrifttum bekannten Werten dargestellt. Vereinfachend ist hierbei die Trenngrenze beim Sieben der Maschenweite gleichgesetzt. Die Kennlinien für das Sieben drücken die bekannte direkte Proportionalität zwischen Trenngrenze d_T und der zulässigen Aufgabemenge q aus, die aber nur im gröberen Bereich gilt. Der Bereich der Wurfsiebung wird durch die absinkende spezifische Aufgabemenge im feineren Bereich und durch die hiermit eintretende Verschlechterung der Trennschärfe begrenzt. Mit aufwendigen Sonderverfahren lassen sich diese Mängel teilweise beheben, so daß der Siebbereich in bestimmten Fällen noch weiter in den Feinbereich verschoben wird (Schallsieb, Plansieb). Im allgemeinen wird hier die Windsichtung angewendet, die aufgrund der höheren Luft- und Feststoffgeschwindigkeiten (2 bis 50 m/s) im Kanal auch bei geringerer zulässiger Feststoffkonzentration eine viel größere flächenbezogene Aufgabemenge zuläßt als das Sieb ($v = 0,2$ bis 0,5 m/s). Während auf dem Schwingsieb die Materialbeanspruchung (Agglomerate, Freiheit der Sieböffnungen) in der Größenordnung von g bis 10 g liegt, können in Fliehkraftsichtern Werte in der Größenordnung von 1000 g erreicht werden. Diese ermöglichen bei den entsprechenden hohen

Luftgeschwindigkeiten große querschnittsbezogene Aufgabemengen und erzeugen hohe Gutsbeanspruchungen, wie sie zur Desagglomeration feinsten Körnungen an der Aufgabestelle erforderlich sind.

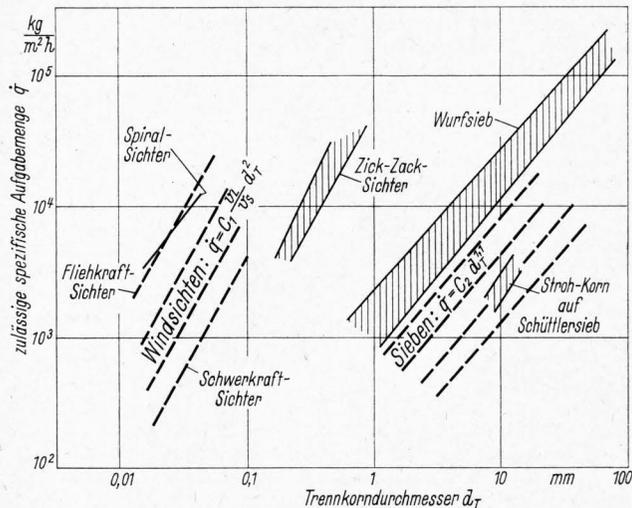


Bild 13. Zulässige spezifische Aufgabemengen beim Sieben und Sichten in Abhängigkeit vom Trennkorn Durchmesser.

Zulässige auf die Fläche bezogene Aufgabemenge:

beim Siebklassieren

$$\dot{q} = C_2 d_T^n \quad \text{Annahme: } d_T = l$$

für $n = 1$ bis $1,5$

beim Sichtklassieren

$$\dot{q} = C_1 \frac{v_L}{v_S} d_T^2 \quad \text{Annahmen: } d_T \approx v_S \text{ für } 30 < Re < 300$$

$$\left(\text{aus } \dot{q} = \frac{v_L}{v_S} v_S \zeta \right)$$

Abschließend soll auch noch eine Beziehung dieser mehr grundsätzlichen Darlegungen zu einem landtechnischen Problem betrachtet werden. Es wurde versucht, das Problem der Stroh-Korntrennung auf dem Mähdrescherschüttler als Klassieraufgabe in Bild 13 bei einer Trennkorngröße in die Größenordnung von etwa 10 mm einzutragen. Zu der geringen erreichbaren Flächenbelastung ist zu vermerken, daß es sich hier um ein voluminöses Material mit sperriger Halmstruktur handelt. Andererseits muß darauf hingewiesen werden, daß die Sortieraufgabe vom Schüttler nur teilweise gelöst wird, und erst in nachgeschalteten Sieb- und Sichtorganen das Produkt Korn vorliegt. Die im Diagramm dargestellten Klassiersiebe und -sichter dagegen erreichen das Endergebnis ohne nachgeschaltete Einheiten.

5 Schrifttum

[1] Baader, W.: Untersuchungen über das Verhalten eines Haufwerkes großer Schichthöhe auf einem schwingenden Siebrost. Diss. TH Braunschweig 1960.

- [2] Batel, W.: Neue Erkenntnisse über Siebvorgänge. VDI-Z. **97** (1955) Nr. 13, S. 393/400 und Nr. 14, S. 417/24.
- [3] Batel, W.: Über das Sortieren körniger Stoffe. Grundl. Landtechn. Heft 12, (1960) S. 18/24.
- [4] Engel, O.: Untersuchungen zur Tragfähigkeit der Luft bei der Windsichtung. Untersuchungen und Berechnungen zu ihrer Ermittlung sowie zu ihrer Einflußnahme auf die Güte der Sichterarbeit. Diss. TH Aachen 1957.
- [5] Hassebrauck, B.: Das Trennen von Korn-Häcksel-Gemischen in der kombinierten Sieb-Wind-Reinigung einer Häcksel Dreschmaschine. Landtechn. Forsch. **14** (1964) H. 3, S. 73/75 und Grundl. Landtechn. **16** (1966) Nr. 3, S. 119/22.
- [6] Kaiser, F.: Zick-Zack-Sichter. Chemie-Ing.-Techn. **35** (1963) S. 273/82.
- [7] Kaiser, F.: Praktische Lösungen für das Sieben und Sichten. Staub **27** (1967) Nr. 1, S. 39/42.
- [8] Kluge, W.: Neuzeitliche Siebmaschinen für die Aufbereitung Erdöl und Kohle (1951) S. 705/11.
- [9] Lauer, O.: Trenngrenze und Trennschärfe des Spiralwindsichters mit umlaufenden Sichtraumwänden. Aufbereitungs-Techn. **4** (1963) S. 113/22.
- [10] Maehrl, K.: Die Gegenstrom-Umlenk-Sichtung im Schwere- und Fliehkraftfeld. Diss. TH München 1965.
- [11] Müller, K., und J. Wessel: Berechnung von Teilchenbahnen im Windsichter mit dem elektronischen Analogrechner. Aufbereitungs-Techn. **4** (1963) H. 6, S. 235/42.
- [12] Müller, K.: Grundlagen der Gegenstrom-Umlenk-Sichtung. VDI-Forschungshefte **32** (1966) H. 513.
- [13] Rumpf, H., und K. Leschonski: Prinzipien und neuere Verfahren der Windsichtung. Chemie-Ing.-Techn. **39** (1967) H. 21, S. 1231/41.
- [14] Sinden, A. D.: Vibratory screening topics. Automation Januar 1962. S. 67/69.
- [15] Taggart, A. F.: Handbook of mineral dressing ores and industrial minerals. New York: John Wiley & Sons 1948. Section 7-02.
- [16] Wessel, J.: Siebmaschine. Eine Ordnungsstudie ihrer Bauformen und ihrer Eigenarten. Aufbereitungs-Techn. **4** (1963) S. 449/61.
- [17] Wessel, J.: Beitrag zur Theorie des Siebvorganges. Kraftfutter (1963) H. 6.
- [18] Wessel, J.: Vergleichende Untersuchungen an Schwerkraftwindsichtern. Grundl. Landtechn. Heft 18 (1963) S. 27/34.
- [19] Wessel, J.: Schwerkraft- und Fliehkraftsichter. Aufbereitungs-Techn. **7** (1966) H. 3, S. 154/60.
- [20] Wessel, J.: Grundlagen des Siebens und Sichtens. Aufbereitungs-Techn. **8** (1967) H. 2, S. 53/62, H. 4, S. 167/80, und H. 8, S. 417/28.
- [21] Wessel, J.: Probleme bei der Trennung feinkörniger Güter durch Sieben und Sichten. verfahrenstechn. **1** (1967) Nr. 3, S. 104/08.

KURZAUSZÜGE AUS DEM SCHRIFTTUM

(Fortsetzung von Seite 150)

Konditionierung von Körnermais beim Lagern

Shove, G. C.: Dehydrofrigidation: for shelled corn conditioning (Kühlung und Belüftung zur Konditionierung von gelagertem Körnermais). Agric. Engng. **49** (1968) Nr. 4, S. 202/05. 5 B.

DK 664.8

In einem Diagramm wird angegeben, wie die zulässigen Lagerzeiten von Körnermais mit sinkender Temperatur ansteigen. Daran anschließend werden einige Betrachtungen über die Kühlung und Trocknung von Mais angestellt. Im Hauptteil berichtet der Verfasser über den Versuch an der Universität von Illinois, Körnermais bei einer Lagertemperatur von ungefähr 8 °C zu trocknen. Dabei wurde Mais mit einer Anfangsfeuchte von $U = 22,6\%$ in einer 240 cm hohen Schüttung belüftet. Die Luftgeschwindigkeit lag bei 0,06 m/s und die relative Feuchte der Luft bei 55 bis 60%. Nach etwa 50 Tagen war erst eine Schütthöhe von 30 cm auf unter 15% getrocknet. Nach etwa 65 Tagen wurde die Luftgeschwindigkeit verdoppelt. Die relative Feuchte

der Luft wurde auf 70 bis 75% angehoben, damit die unteren Kornschichten nicht unter $U = 15\%$ austrockneten. Nach insgesamt 105 Tagen hatte die Trocknungszone erst die halbe Schütthöhe erreicht, wobei die oberen Maislagen bereits schmolzen. GL 153

Braunschweig

F. Wilhelm

Beschädigung von Obst bei mechanischer Kalibrierung

Gac, A., J. E. Walter und J. P. Baireau: Etude de l'influence du calibre mécanique sur l'état sanitaire des fruits — pêches et pommes (Untersuchung über den Einfluß des mechanischen Kalibrierens auf den gesundheitlichen Zustand des Obstes — Pfirsiche und Äpfel). Bulletin technique de génie rural (1967) Nr. 84. Ministère de l'agriculture, Paris.

DK 631.362:633.004.12/635.004.12

Die Verfasser veröffentlichen die Ergebnisse von Vergleichsuntersuchungen, die sie mit Pfirsichen und Äpfeln an verschiedenen Kalibriermaschinen im Jahre 1965 durchgeführt hatten. In Diagrammen wird gezeigt, wie stark der Prozentsatz beschädig-