

Untersuchungen über die Klassierungsgenauigkeit bei Luftsiebung mittels waagerechter Luftsömung

von

Jun-ichi KOKADO*, Natsuo HATTA* und Ken-ichi NAKAYASU*

(Eingegangen am 8. Januar 1970)

Die Klassierung des Rohmaterials ist bei der Beschickung von Hochöfen einer der wichtigsten Faktoren für deren Leistung. Es ist schwierig, kleine Körner mittels Netzsieben zu entfernen. Aus diesem Grund wurde das pneumatische Siebverfahren entwickelt. Eine experimentelle und analytische Untersuchung des Luftsiebverfahrens, d.h. der Klassierung der in einen waagerechten Luftstrom eingeführten Körner nach den unterschiedlichen horizontalen Entfernungskomponenten der Flugbahnen der Körner gemäß ihrer Größe wurde von uns durchgeführt. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

- 1) Eine Klassierung von Körnern nach ihrer Größe ist wegen der unterschiedlichen horizontalen Komponenten der Flugbahnen möglich, auch wenn die scheinbaren spezifischen Gewichte und die Luftwiderstandsbeiwerte in gewissem Grad eine Streuung aufweisen.
- 2) Mit zunehmender Schichtbreite nimmt die Wahrscheinlichkeit ab, daß die aus tieferen Lagen der Schicht in den waagerechten Luftstrom zugeführten Körner, die normalerweise als Oberkörner die Scheidewand überfliegen würden, tatsächlich diese Bahn einschlagen, da sich die Zusammenstöße mehren. Daher wird der Einfluß der Zusammenstöße zwischen den Körnern auf die Klassierungsgenauigkeit mit zunehmender Behandlungsmenge größer und im Vergleich zu dem Eintreibverhältnis der kleinen Körner nimmt das der größeren Körner stärker ab.
- 3) Die aus G1.(14) errechneten Eintreibverhältnisse stimmen verhältnismäßig gut mit den experimentellen Werten überein.

1. Einleitung

Es ist heute bekannt, daß eine einheitliche Korngröße des Erzes einen günstigen Einfluß auf den Hochofengang hat. Durch gute Klassierung erreicht man, infolge der besseren Gasdurchlässigkeit der Beschickung, eine verbesserte Windannahme, einen besseren Wärmeaustausch und ein gleichmäßigeres Absenken der Beschickung. Es ist von großer Bedeutung für die Gasdurchlässigkeit, daß die kleinen Erze aus der Beschickung vorher entfernt werden. Aus diesem Grund wurde das pneumatische Siebverfahren entwickelt.

Es ist typisch für ein Luftsieb, daß der Luftstrom rechtwinklig oder in entgegen-

* Institut für Wissenschaft und Technologie von Mineralien

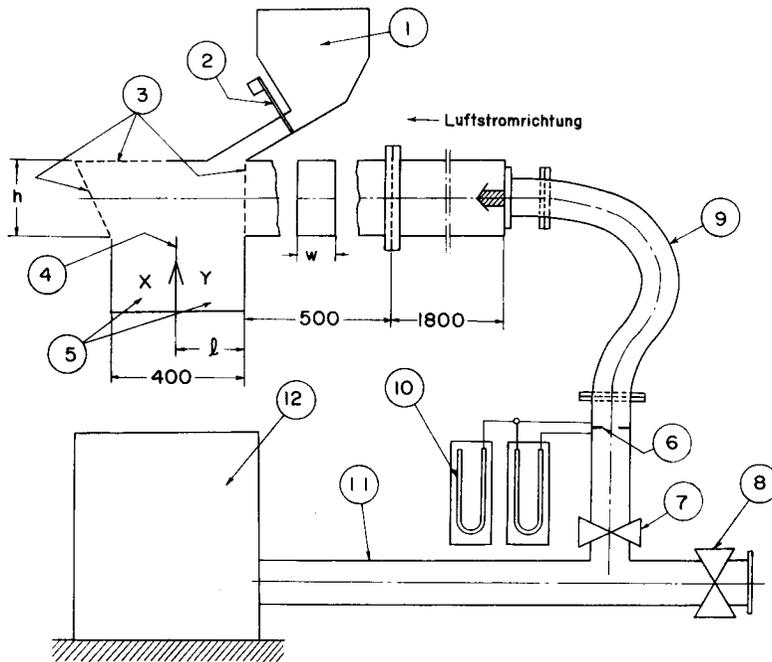
gesetzter Richtung zur Bewegungsrichtung des fast senkrecht fallenden Kornes verläuft. Ein Bericht^{1),2)} über das letztere Siebverfahren, d.h. über die Klassierung von in einen aufsteigenden Luftstrom zugeführten Körnern nach der unterschiedlichen Schwebegeschwindigkeit gemäß ihrer Größe, wurde schon veröffentlicht. Deshalb werden die Untersuchungen über das erstere Siebverfahren in diesem Beitrag referiert. Die waagerechten Entfernungskomponenten der Flugbahnen der in den waagerechten Luftstrom zugeführten und abgeblasenen Körner sind je nach der Korngröße unterschiedlich: Die kleinen Körner werden weiter abgeblasen als die großen. Als Folge davon beeinflußt allerdings die Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte die Klassierungsgenauigkeit erheblich, weil die waagerechten Komponenten der vom Luftstrom abgeblasenen Körner auf Grund der Streuungerscheinungen verschieden sind, auch wenn die Korngröße dieser Körner identisch ist. Mit zunehmender Behandlungsmenge wird die Breite der sich an der Einführungsöffnung des Siebrohrs aus den zugeführten Körnern bildenden Schicht der Bewegungsrichtung des Luftstroms gegenüber größer. Damit finden zwischen den auf der Oberseite der Schicht zugeführten Körnern zunehmend weniger Zusammenstöße statt. Aber je tiefer die Körner in der Schicht liegen, desto häufiger werden die Zusammenstöße. Und dadurch verschlechtert sich die Klassierungsgenauigkeit.

In diesem Beitrag werden die experimentellen Untersuchungen bezüglich der Klassierungsgenauigkeit bei Anwendung solch eines Luftsiebes beschrieben, sowie eine Analyse der Einflüsse, einmal der Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und Luftwiderstandsbeiwerte, und zum anderen der Zusammenstöße der Körner, gegeben.

2. Experimentelle Untersuchungen

2.1 Versuchsverfahren und -anlage

Beim Versuch der Luftsiebung ist eine Klassierung mittels des durch die Korngröße verursachten Unterschieds in den waagerechten Komponenten der Flugbahnen der dem Luftstrom zugeführten Körner durchgeführt worden. Wie Bild 1 zeigt, wird der von einem Axialgebläse erzeugte Luftstrom über ein Regelorgan V_A für die Regelung der Luftmenge und einen Standscheibenmesser für deren Messung in das waagrecht gestellte Siebrohr eingeführt. Die als Versuchsmaterial verwendeten Sinter-Körner fallen vermöge ihres eigenen Gewichts aus dem Behälter durch die FlieBrinne in den Luftstrom und treffen an einem bestimmten Punkt auf. Bei einem Siebrohr mit einem rechteckigen Querschnitt von $h(\text{cm}) \times w(\text{cm})$ übt der Luftstrom auf die Kornbewegung im Bereich dieser $h(\text{cm})$ von der Zuführungs-



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| ① Behälter | ⑦ Regelorgan ∇_A |
| ② Dämpfer | ⑧ Regelorgan ∇_B |
| ③ Drahtnetz | ⑨ Schlauch |
| ④ Scheidewand | ⑩ Druckmeßröhre |
| ⑤ Auffangbehälter X und Y | ⑪ 6" Rohrleitung |
| ⑥ Standscheibenmesser | ⑫ Axialgebläse |

Bld 1. Versuchsanlage für die Luftsiebung.

stelle seinen Einfluß aus. Wenn in der Flugrichtung weiter vorn, h cm unterhalb der Zuführungsstelle, eine scheidewand aus einer dünnen Platte angebracht wird, fallen die in den Luftstrom zugeführten Körner je nach ihrer waagerechten Bewegungskomponente in zwei Partien X und Y ab. Dabei nennen wir die Körner, die normalerweise über die Scheidewand hinwegfliegen, Oberkörner und die Körner, die nicht über die Scheidewand gelangen, Unterkörner. Es gibt Körner, die je nach ihrer Lage in der Schicht über die Scheidewand fliegen oder auch nicht. Solche Körner nennen wir Mischkörner. Im allgemeinen fallen die kleinen Körner als Oberkörner in den Bereich X ein und die größeren Körner in Y.

In der Darstellung der vorliegenden Versuchsergebnisse wird die Korngröße des Versuchsmaterials mittels der Maschenweite des Netzsiebes angegeben. Das verwendete Netzsieb umfaßte Maschenweiten von 2,83 mm, 4,00 mm, 4,76 mm, 5,66 mm, 6,73 mm, 9,52 mm, 11,1 mm, 12,7 mm, 13,4 mm, 15,9 mm, 18,0 mm und 19,1 mm.

2.2 Versuchsmaterial

In diesem Versuch wurden Sinter-Körner als Versuchsmaterial verwendet. Die Sinter-Körner waren von derselben Art wie im früheren Beitrag³⁾ angegeben wurde. Die Streuungsverteilung der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte wurden als Normalverteilung angesehen, und die Durchschnittswerte und die Standardabweichungen dieser beiden Größen waren wie Tabelle 1 zeigt.

Tabelle 1 Die Durchschnittswerte und Standardabweichungen der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte.

Scheinbares spezifisches Gewicht		Luftwiderstandsbeiwert	
Durchschnittswert ($\bar{\gamma}_K$)	Standardabweichung (σ_r)	Durchschnittswert (\bar{C})	Standardabweichung (σ_C)
$3.18 \times 10 \text{ kg/m}^3$	$2.11 \times 10 \text{ kg/m}^3$	0.8	0.14

2.3 Anfangsgeschwindigkeit des Versuchsmaterials an der Einführungsöffnung des Siebrohrs

Das Versuchsmaterial gleitet auf dem Boden einer Fließrinne mit einem Neigungswinkel von 30° , wie Bild 1 zeigt, wobei wegen seines eigenen Gewichts die Bewegungsgeschwindigkeit allmählich zunimmt. Die Einführungsöffnung des Siebrohrs befindet sich in einem Abstand von 0,23 m von dem Behälter. Je ein Sinter-Korn wurde auf eine Ebene aus gleichem Material wie das des Versuchssapparats gelegt und der ruhende Reibungsbeiwert zwischen Korn und Unterlage wurde unter langsamer Erhöhung des Neigungswinkels gemessen. Daraus hat sich ein ruhender Reibungsbeiwert von 0,46~0,58 ergeben. Daher wurde der dynamische Reibungsbeiwert als etwa 0,40 angenommen, und demzufolge die waagerechte und senkrechte Anfangsgeschwindigkeit \dot{X}_0 und \dot{Y}_0 an der Einführungsöffnung des Siebrohrs als 0,584 m/sec bzw. 0,337 m/sec bestimmt. Die Werte von \dot{X}_0 und \dot{Y}_0 wurden dann noch durch andere Verfahren ermittelt, um festzustellen, ob sie exakt waren. Wenn der Behälter mit der Fließrinne aus dem Versuchssapparat herausgenommen wird und ein Korn aus dem Behälter durch die Fließrinne abwärts

gleitet, landet es im freien Fall an einem bestimmten Punkt. Man kann dann \dot{X}_0 und \dot{Y}_0 aus der Fallhöhe und Horizontalentfernung errechnen. Die Anfangsgeschwindigkeit, die durch dieses Verfahren ermittelt wurde, wies fast denselben Wert wie oben auf. Weiter versuchten wir, ob die Bedingungen in der Fließrinne, in der die Körner liefen, je nach der Kornmenge variierten, d.h. ob sich \dot{X}_0 und \dot{Y}_0 mit einer Vergrößerung oder Verkleinerung der eingeführten Kornmenge änderten. Es hat sich aber ergeben, daß sich \dot{X}_0 and \dot{Y}_0 kaum änderten.

2.4 Versuchsergebnisse

Die Sinter-Körner wurden im voraus mittels Netzsieben, wie in 2.1 erwähnt, ausgesiebt. Die daraus resultierenden Korngrößenverteilungen zeigen Bild 2 and Bild 3. Der Versuch einer Luftsiebung der Körner mit der in Bild 2 gezeigten Korngrößenverteilung ist mit dem Versuchsapparat von Bild 1 bei durchschnittlichen Luftstromgeschwindigkeiten von 18,0 m/sec und 24,0 m/sec durchgeführt worden. In diesem Fall war der Querschnitt des Siebrohrs $h(\text{cm}) \times w(\text{cm})$ gleich $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ bei einer Luftstromgeschwindigkeit von 18,0 m/sec, und $15 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ bei 24,0 m/sec, um eine konstante Luftmenge sicherzustellen. Die Luftsiebung der Körner mit der in Bild 3 gezeigten Korngrößenverteilung ist bei 36,0 m/sec durchgeführt worden, wobei der Querschnitt $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ war. Die Luftsiebung wurde unter Veränderung der Lage der Scheidewand durchgeführt: Die Abstände l , die aus

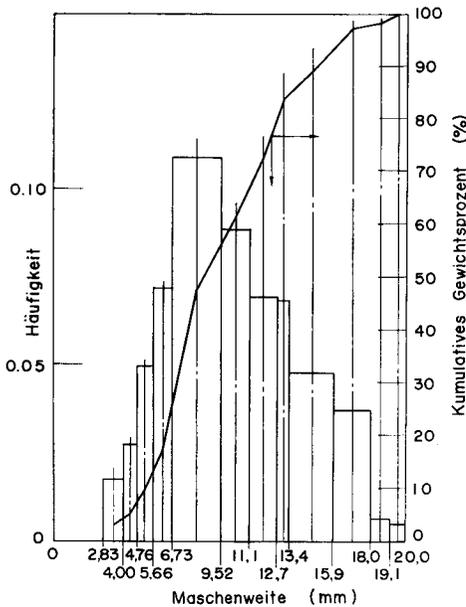


Bild 2. Korngrößenverteilung der als Versuchsmaterial verwendeten Sinter-Körner.

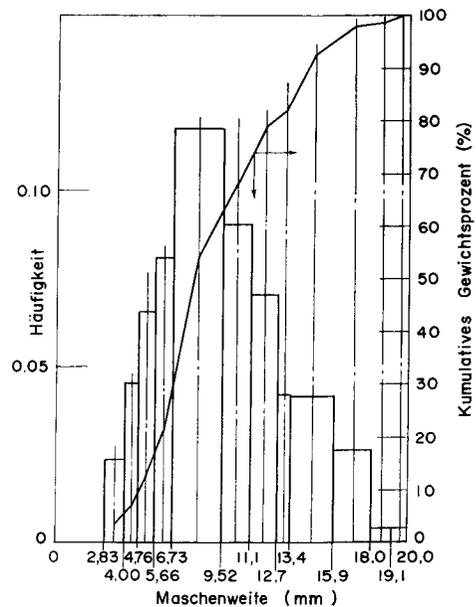


Bild 3. Korngrößenverteilung der als Versuchsmaterial verwendeten Sinter-Körner.

Bild 1 ersichtlich sind, betragen 20,5 cm, 21,5 cm, 22,5 cm bei einer Luftstromgeschwindigkeit von 18 m/sec; 20,5 cm, 21,5 cm, 22,5 cm, 23,5 cm bei einer Geschwindigkeit von 24 m/sec; und 20,5 cm, 21,5 cm, 22,5 cm, 23,5 cm, 24,5 cm bei 36 m/sec. Das Verhältnis der Behandlungsmenge der Körner zur Luftmenge in der Zeiteinheit, d. h. das Mischverhältnis M hat in jedem Fall 6,6 betragen. Wir bezeichneten die gesamte Menge der Körner, die innerhalb eines bestimmten mittleren Durchmessers d_i lag, mit W_i^* , und die Menge der Körner die tatsächlich über die Scheidewand flog, mit W_i . Und wir nannten das Verhältnis W_i/W_i^* das Eintreibverhältnis jedes Maschenmaßes. Die Versuchsergebnisse der Luftsiebung werden in Bild 4 (a), (b), (c) bei einer Luftstromgeschwindigkeit von 18 m/sec, in Bild 5 (a), (b), (c), (d) bei 24 m/sec und in Bild 6 (a), (b), (c), (d), (e) bei 36 m/sec gezeigt, wobei auf der Ordinate das Eintreibverhältnis W_i/W_i^* und

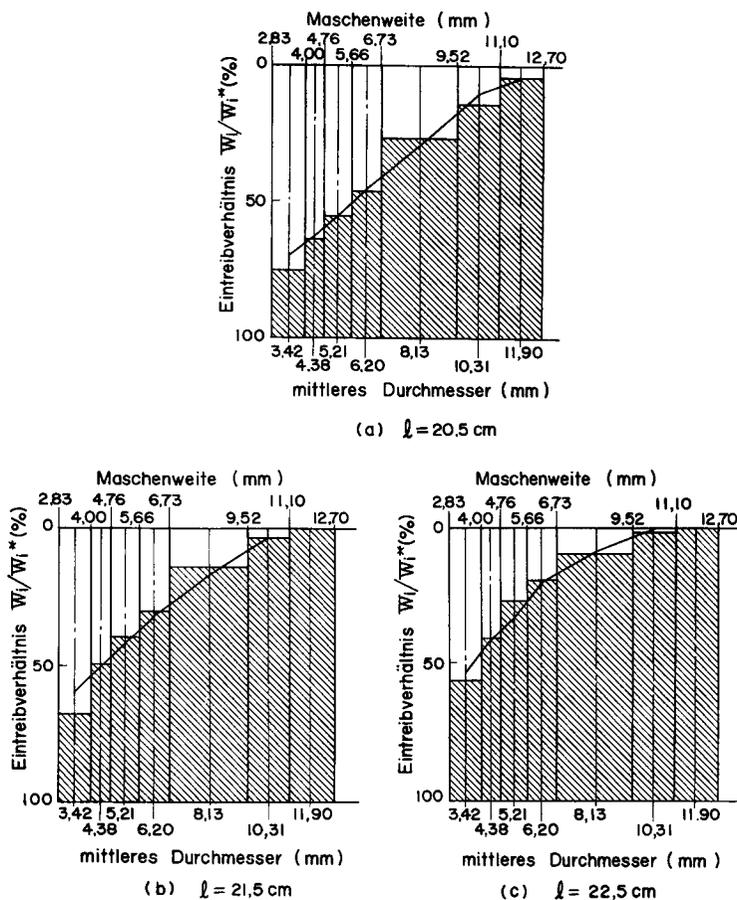


Bild 4. Versuchsergebnisse bei Luftstromgeschwindigkeit 18,0 m/sec.

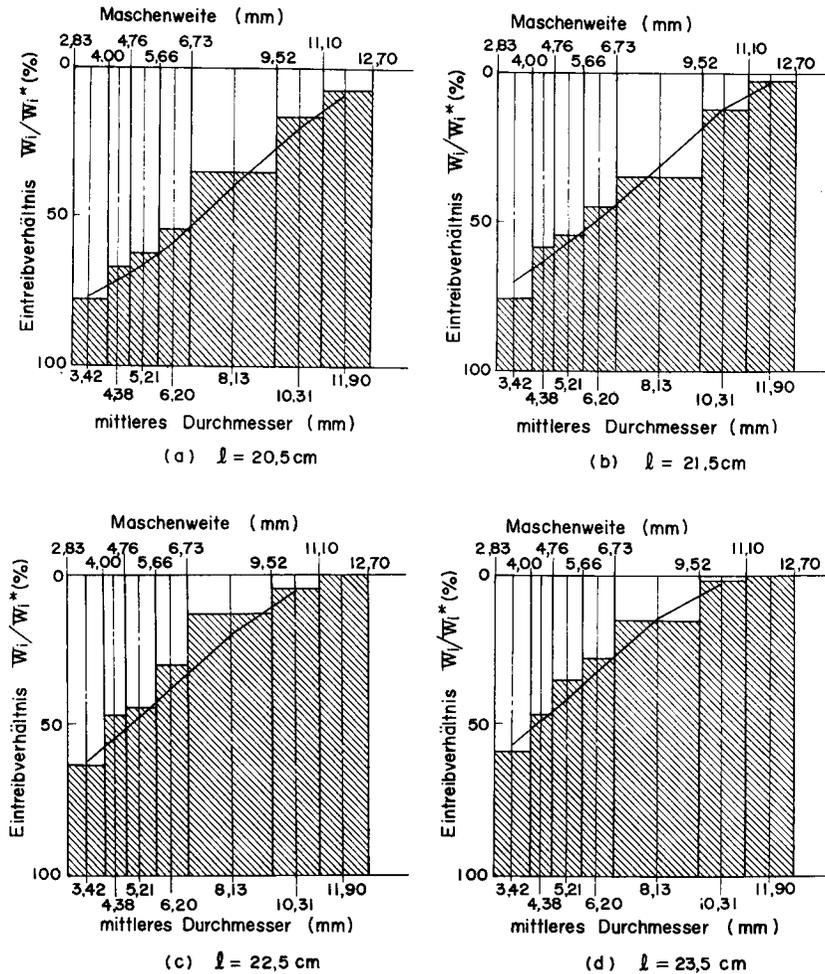


Bild 5. Versuchsergebnisse bei Luftstromgeschwindigkeit 24,0 m/sec.

auf der Abszisse die Korngröße aufgetragen ist. Der unshattierte Teil in diesen Bildern zeigt das Eintreibverhältnis. Aus diesen Versuchen hat es sich ergeben, daß das Eintreibverhältnis für die kleinen Körner desto besser ist, je geringer die Entfernung l der Scheidewand ist. Aber die Körner mit einem Durchmesser von etwas mehr als 10 mm dringen bis zu einem gewissen Grad in die Gruppe der kleineren Körner ein. Bei der Luftsiebung unter konstanter Luftmenge hat es sich auch ergeben, daß das Eintreibverhältnis für die kleinen Körner desto besser ist, je größer, durch eine Verkleinerung der Siebrohrhöhe h , die Luftstromgeschwindigkeit wird. Aber auch dann nimmt die Menge der Körner mit einem Durchmesser von etwas mehr als 10 mm, die in die Gruppe der kleineren Körner eindringt, zu.

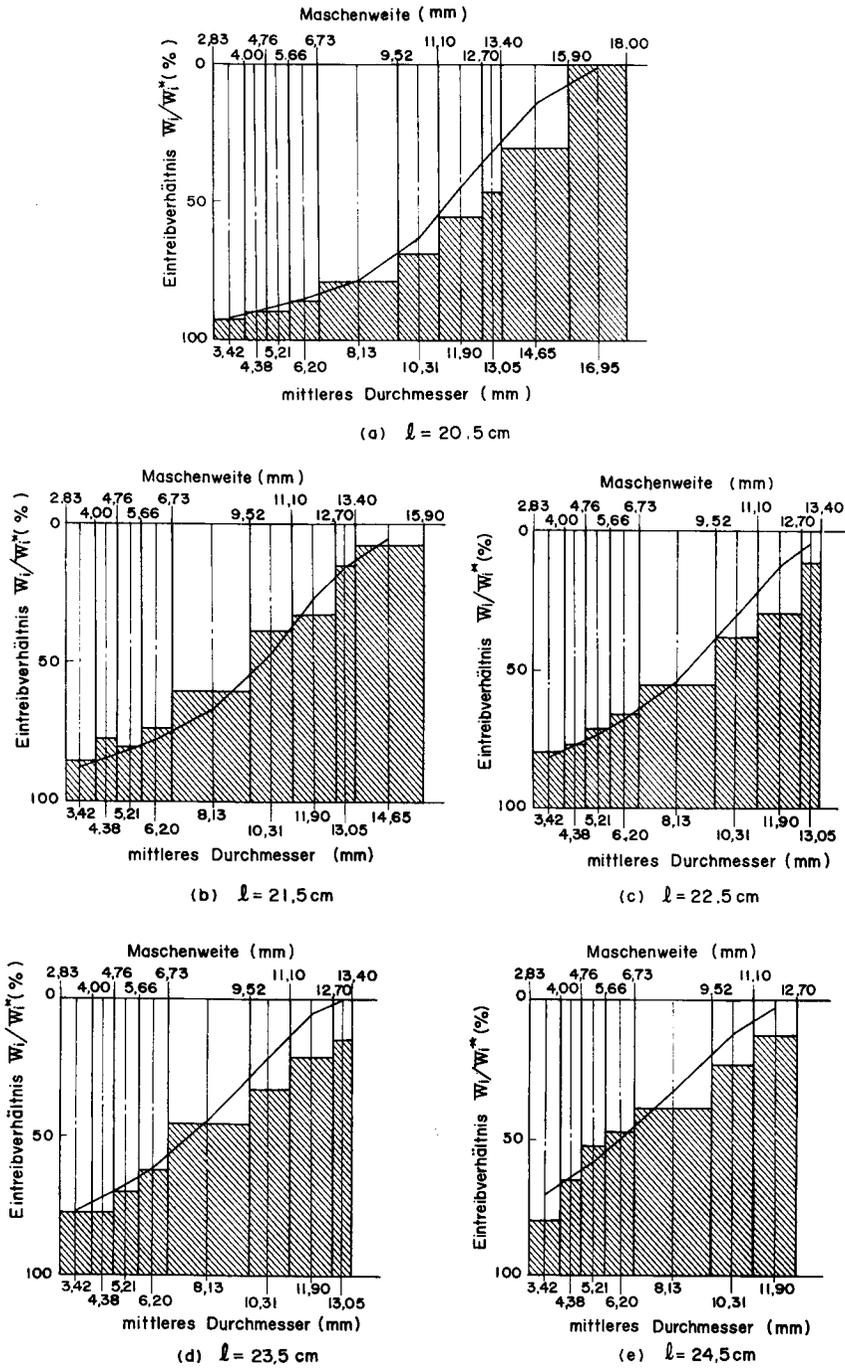


Bild 6. Versuchsergebnisse bei Luftstromgeschwindigkeit 36,0 m/sec.

Deshalb muß man bei einer Klassierung mittels eines waagerechten Luftstroms mehr als zweimal aussieben, um eine Verbesserung der Klassierungsgenauigkeit zu erzielen.

3. Bewegungsgleichung des Kornes im horizontalen Luftstrom

Wie Bild 7 zeigt, wird vorausgesetzt, daß ein Korn mit scheinbarem spezifischem Gewicht von γ_K und eigenem Gewicht von G in einem Luftstrom mit spezifischem Gewicht von γ_L , der mit einer Geschwindigkeit u unter einem Winkel α gegen die Horizontale strömt, mit einer Anfangsgeschwindigkeit mit der waagerechten Komponente \dot{X}_0 und der senkrechten \dot{Y}_0 eingeführt wird. Wenn ein willkürlicher Punkt auf der Flugbahn des Kornes die Komponenten X und Y hat, und die Geschwindigkeit in diesem Punkt \dot{X} und \dot{Y} ist, ist die relative Geschwindigkeit des Kornes und des Luftstroms jeweils für die X - und Y -Richtung $(U \cos \alpha - \dot{X})$ und $(U \sin \alpha - \dot{Y})$. Der Winkel zwischen der Resultante dieser beiden relativen Geschwindigkeiten und der Horizontalen wird mit θ bezeichnet, die Zeit mit t , der Luftwiderstandsbeiwert mit C und die Schwerkraftbeschleunigung mit g . Wenn der Kugeldurchmesser eines Kornes, d. i. der Durchmesser einer Kugel von gleichem Gewicht und gleichem scheinbarem spezifischen Gewicht wie sie das betreffende Korn aufweist, und der Querschnitt mit D bzw. S bezeichnet werden, ergibt sich die Bewegungsgleichung des Kornes wie folgt:

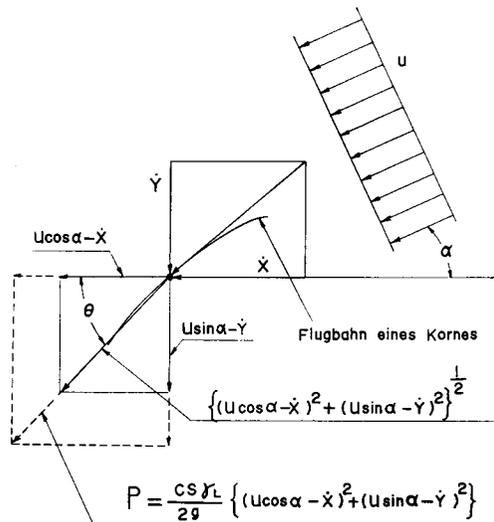


Bild 7. Beziehung zwischen relativer Geschwindigkeit eines Kornes im Luftstrom und Luftwiderstand P .

$$\left. \begin{aligned} \frac{G}{g} \frac{d\dot{X}}{dt} &= \frac{C\gamma_L}{2g} \{(u \cos \alpha - \dot{X})^2 + (u \sin \alpha - \dot{Y})^2\} \cos \theta \\ \frac{G}{g} \frac{d\dot{X}}{dt} &= G + \frac{C\gamma_L}{2g} \{(u \cos \alpha - \dot{X})^2 + (u \sin \alpha - \dot{Y})^2\} \sin \theta \end{aligned} \right\} (1)$$

Dabei sind

$$\cos \theta = \frac{u \cos \alpha - \dot{X}}{\{(u \cos \alpha - \dot{X})^2 + (u \sin \alpha - \dot{Y})^2\}^{\frac{1}{2}}}$$

$$\sin \theta = \frac{u \sin \alpha - \dot{Y}}{\{(u \cos \alpha - \dot{X})^2 + (u \sin \alpha - \dot{Y})^2\}^{\frac{1}{2}}}$$

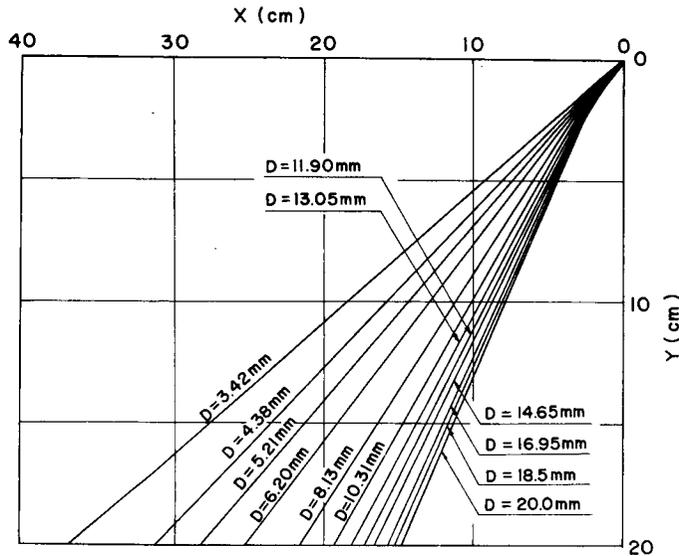
Folglich kann man Gleichung (2) aus Gl. (1) ableiten:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\dot{X}}{dt} &= \frac{3}{4} \frac{C\gamma_L}{D\gamma_K} \{(u \cos \alpha - \dot{X})^2 + (u \sin \alpha - \dot{Y})^2\}^{\frac{1}{2}} (u \cos \alpha - \dot{X}) \\ \frac{d\dot{Y}}{dt} &= g + \frac{3}{4} \frac{C\gamma_L}{D\gamma_K} \{(u \cos \alpha - \dot{X})^2 + (u \sin \alpha - \dot{Y})^2\}^{\frac{1}{2}} (u \sin \alpha - \dot{Y}) \end{aligned} \right\} (2)$$

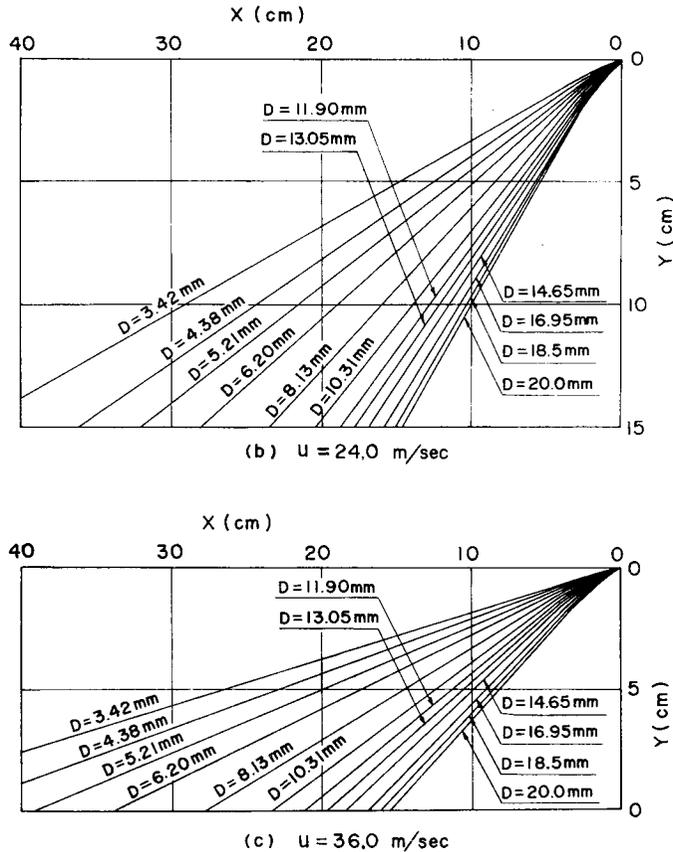
Und dann kann man die Bewegungsgleichung des Kornes im waagerechten Luftstrom ($\alpha=0$) darstellen wie folgt.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\dot{X}}{dt} &= \frac{3}{4} \frac{C\gamma_L}{D\gamma_K} \{(u - \dot{X})^2 + \dot{Y}^2\}^{\frac{1}{2}} (u - \dot{X}) \\ \frac{d\dot{Y}}{dt} &= g - \frac{3}{4} \frac{C\gamma_L}{D\gamma_K} \{(u - \dot{X})^2 + \dot{Y}^2\}^{\frac{1}{2}} \dot{Y} \end{aligned} \right\} (3)$$

Man kann die Flugbahn eines Kornes aus die Lösung dieses nichtlinearen Differentialgleichungssystems gewinnen. Aber es ist schwierig eine allgemeine Lösung



(a) $u = 18,0 \text{ m/sec}$

Bild 8. Flugbahnen mit mittleren Durchmessern D als Parameter.

zu finden. Deshalb muß man zusätzliche Näherungsverfahren anwenden⁴⁾. Die Flugbahn des sich im waagerechten Luftstrom bewegenden Sinter-Kornes mit durchschnittlichen Werten für das scheinbare spezifische Gewicht und den Luftwiderstandsbeiwert ($\bar{\gamma}_K = 3180 \text{ kg/m}^3$, $\bar{C} = 0,8$) wurde bei Luftstromgeschwindigkeiten von 18 m/sec, 24 m/sec und 36 m/sec berechnet. Bild 8 (a), (b) und (c) zeigt die Berechnungsergebnisse mit den Durchmessern D des Kornes als Parameter.

4. Analyse der Klassierungsgenauigkeit

Die Leistungsfähigkeit der Luftsiebung wurde analysiert, um den Zusammenhang zwischen den einzelnen Faktoren, die die Klassierungsgenauigkeit beeinflussen, klar herauszustellen. Beim Luftsieben muß man zuerst den Grad des Einflusses der Streuung der scheidbaren spezifischen Gewichte und Luftwiderstandsbeiwerte auf die Klassierungsgenauigkeit in Betracht ziehen, weil die waa-

gerechten Entfernungskomponenten der Flugbahnen der vom Luftstrom angeblasenen Körner aufgrund der Streuungserscheinungen, auch bei gleichen Korngrößen, unterschiedlich sind. Nun bezeichnen wir die Maschenweiten in der Reihenfolge angefangen von der kleinsten mit $D_1, D_2, \dots, D_j, \dots, D_{m+1}$ und die mittleren Durchmesser, d.i. die mittleren Werte der zwei je nebeneinander liegenden Maschenweiten mit $d_1, d_2, \dots, d_j, \dots, d_m$. Und wir bezeichnen das Gewicht pro Korn, das diesen mittleren Durchmesser aufweist, mit $G_1, G_2, \dots, G_j, \dots, G_m$, und die Anzahl der in der Zeiteinheit eingeführten Körner mit $N_1, N_2, \dots, N_j, \dots, N_m$. Daher ist die Menge W_i^* der in der Zeiteinheit zugeführten Körner $G_i N_i$. Wenn Körner mit identischem Durchmesser von einem bestimmten Punkt aus in den waagerechten Luftstrom zugeführt werden, wie Bild 9 zeigt, kann wegen der Streuungserscheinungen beim scheinbaren spezifischen Gewicht und Luftwiderstandsbeiwert diese Verteilung der Körner an den Auffallstellen für annäherungsweise normal gehalten werden. Dementsprechend bekommt man die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion $f(k)$ nach folgender Gleichung (4), wobei k die waagerechte Entfernung zwischen der Zuführungs- und der Auffallstelle der Körner, die einen mittleren Durchmesser aufweisen, \bar{k} dieselbe der betreffenden Körner mit Durchschnittswerten von $\bar{\gamma}_k$ und \bar{C} , und σ die Standardabweichung darstellen.

$$f(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left\{ -\frac{(\bar{k} - k)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (4)$$

Wenn eine Scheidewand im Abstand von b (cm) in der Flugrichtung, h (cm) unterhalb der Zuführungsstelle angebracht wird, kann die tatsächlich als Oberkörner eingetriebene Menge, d.h. die Eintreibmenge $\phi'(d_i)$ der Körner mit einem Durchmesser von d_i , aus der folgenden Gleichung (5) gewonnen werden:

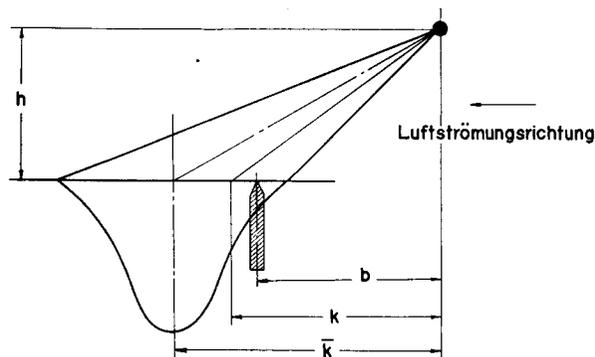


Bild 9. Verteilung der Körner mit gleichem Durchmesser an den Auffallstellen bei Zuführung in den waagerechten Luftstrom von einem bestimmten Punkt aus.

$$\phi'(d_i) = W_i \int_b^{\infty} f(k) dk = W_i^* \phi_i' \quad (5)$$

Dabei ist

$$\phi_i' = \int_b^{\infty} f(k) dk$$

Bei einer kleinen Schichtbreite der Körner an der Zuführungsstelle gibt die Gl. (5) die Eintreibmenge der Oberkörner mit einem mittleren Durchmesser d_i an. Wenn die Schichtbreite a der zugeführten Körner groß ist, nehmen wir eine Teilung der Schicht in n gleiche Teile mit der Dicke Δa vor, wobei eine Zuführung der Körner in den waagerechten Luftstrom vom jeweiligen Zentrum der Teilabschnitte aus erfolgt. In diesem Fall bildet die Verteilung der Auffallstellen der von jedem Abschnitt zugeführten Körner mit einem gleichen mittleren Durchmesser die Normalverteilung, wie Bild 10 zeigt. Wenn die Scheidewand in einer Entfernung mit einer waagerechten Komponente von b (cm) vom Zentrum des untersten Abschnitts angebracht wird, kann man die Eintreibmenge $\phi(d_i)$ der Körner mit dem Durchmesser d_i aus der folgenden Gleichung (6) berechnen:

$$\phi(d_i) = W_i^* \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \int_b^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left\{ -\frac{(\bar{k} + i\Delta a - k)^2}{2\sigma^2} \right\} dk = W_i^* \phi_i \quad (6)$$

Dabei ist

$$\phi_i = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \int_b^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} \exp \left\{ -\frac{(\bar{k} + i\Delta a - k)^2}{2\sigma^2} \right\} dk$$

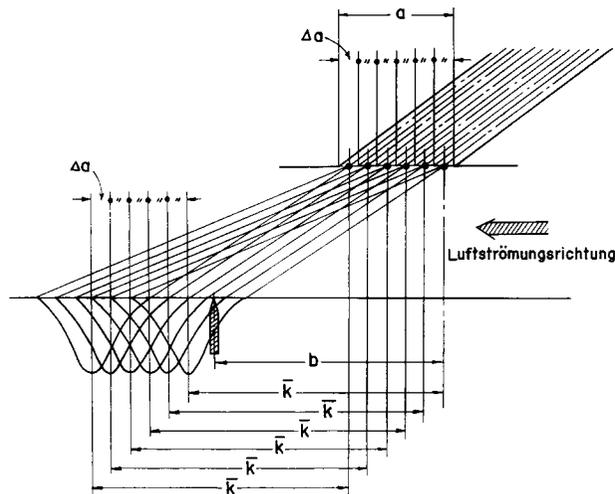


Bild 10. Verteilung der Körner an den Auffallstellen bei Zuführung aus den Zentren der n gleichen Abschnitte Δa der Schicht von Breite a .

Gl. (6) gibt die Eintreibmenge der Oberkörner jedes Maschenmaßes nur im Hinblick auf die Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und Luftwiderstandsbeiwerte an. Aber auch der Einfluß der Zusammenstöße zwischen den bewegten Körnern im Luftstrom muß in Betracht gezogen werden, da die Häufigkeit der Zusammenstöße mit der Zunahme der Behandlungsmenge, d.h. mit der Zunahme der Breite der durch die zugeführten Körner gebildeten Schicht, ansteigt.

Es wird angenommen, daß die Korngrößenverteilung bei der Zuführung der Körner in den waagerechten Luftstrom zeitlich konstant ist. Die zeitlichen Zuführungsintervalle für die Körner von jedem mittleren Durchmesser werden mit $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_j, \dots, \Delta t_m$ bezeichnet. Die Zeit, in der die Körner unter dem Einfluß des Luftstroms stehen, d.i. die Zeit, in der sie durch die Siebrohrhöhe h (cm) fallen, wie Bild 11 zeigt, wird mit $T_1, T_2, \dots, T_j, \dots, T_m$ bezeichnet. Nach unserem Versuch hat es sich ergeben, daß die Flugbahnen der Körner im waagerechten Luftstrom fast geradlinig verlaufen. Und dann bezeichnen wir das Produkt aus der absoluten Flugbahnlänge L und der Siebrohrbreite w , nämlich den Flächeninhalt des Siebrohrs mit der Flugbahnen der Körner, mit $F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_m$. Wenn ein Oberkorn mit dem mittleren Durchmesser d_i ein Unterkorn mit d_j auch nur berührt, wird das als Zusammenstoß aufgefaßt. Man kann die Querschnittsfläche S_{ij} des Zusammenstoßbereichs nach der folgenden Gleichung darstellen:

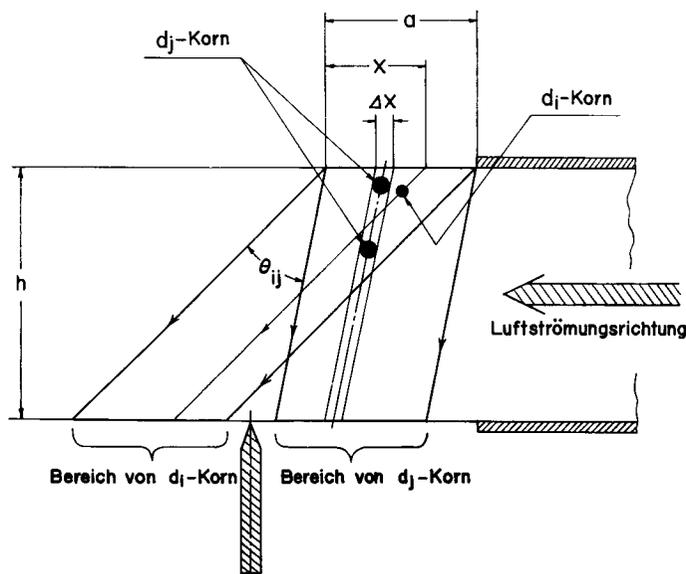


Bild 11. Beziehung zwischen den Zusammenstößen der in Schichtbreite a zugeführten Körner vom Durchmesser d_i und d_j ($d_i < d_j$).

$$S_{ij} = (d_i + d_j)^2 \pi / 4$$

θ_{ij} stellt den Kreuzungswinkel für die Bewegungsrichtungen der beiden Körner dar.

Da die Anzahl der in der Zeit T_j aus einer bestimmten Schicht von minimaler Dicke Δx eingeführten d_j -Körner $(T_j / \Delta t_j) (\Delta x / a)$ beträgt, besteht die Wahrscheinlichkeit p_{ij}' , daß zwischen den Oberkörnern mit d_i und den von der Schicht von Δx zugeführten Unterkörnern mit d_j kein Zusammenstoß erfolgt, wie folgt: (Vgl. Bild 11)

$$p_{ij} = 1 - \frac{T_j}{a \cdot \Delta t_j} \Delta x \frac{S_{ij}}{F_j \sin \theta_{ij}} \quad (7)$$

Wenn Δx gegen 0 geht, kann man aus Gl. (7) annähernd die folgende Gleichung ableiten:

$$p_{ij} = 1 - \frac{T_j}{a \cdot \Delta t_j} \Delta x \frac{S_{ij}}{F_j \sin \theta_{ij}} = \exp \left\{ - \frac{T_j}{a \cdot \Delta t_j} \Delta x \frac{S_{ij}}{F_j \sin \theta_{ij}} \right\}$$

Deshalb besteht, wenn die Oberkörner mit d_i von einem Punkt in der Entfernung x , gemessen von der Oberseite der Schicht, in den waagerechten Luftstrom eingeführt werden, die Wahrscheinlichkeit p_{ij} , daß sie ohne Zusammenstoß mit den Körnern von d_j über die Scheidewand fliegen können, wie folgt:

$$p_{ij} = \left(1 - \frac{A_{ij}}{a} \Delta x \right)^{\frac{x}{\Delta x}} = \exp \left(- A_{ij} \frac{x}{a} \right) \quad (8)$$

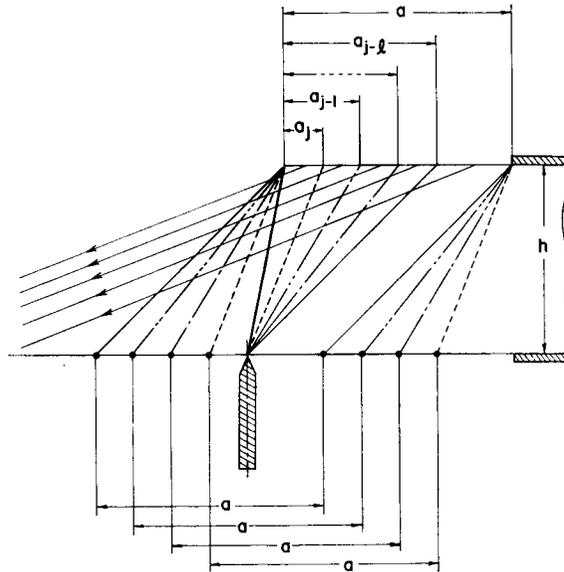


Bild 12. Beziehung zwischen den Zusammenstößen der Oberkörner mit mittlerem Durchmesser d_i , mit den Unterkörnern und einem Teil der Mischkörner.

Dabei ist

$$A_{ij} = \frac{T_j}{\Delta t_j} \frac{S_{ij}}{F_j \sin \theta_{ij}}$$

Bisher wurden die Zusammenstöße von Körnern mit einem mittleren Durchmesser d_i und d_j diskutiert, für die Oberkörner muß man jedoch in Betracht ziehen, daß sie im Verlauf ihres Fluges mit allen Unterkörnern mit d_j, d_{j+1}, \dots, d_m zusammenstoßen können, wobei die Körner mit $d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_{j-1}$ theoretisch als Oberkörner angenommen werden. Infolgedessen ist die Wahrscheinlichkeit P'_i , daß die in einem Abstand von x , gemessen von der Oberseite der Schicht, zugeführten Oberkörner über die Scheidewand fliegen können, wie folgt:

$$P'_i = \prod_{j=j}^m p_{ij} = \exp \left\{ - \sum_{j=j}^m A_{ij} \frac{x}{a} \right\} \tag{9}$$

Dann bekommt man das Eintreibverhältnis P_i der in einer Schichtbreite a zugeführten Körner mit d_i , wie folgt.

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{1}{a} \int_0^a \exp \left\{ - \sum_{j=j}^m A_{ij} \frac{x}{a} \right\} dx \\ &= \frac{1}{\sum_{j=j}^m A_{ij}} \left\{ 1 - \exp \left(- \sum_{j=j}^m A_{ij} \right) \right\} \end{aligned} \tag{10}$$

Bei Vorhandensein von Mischkörnern bezeichnen wir deren mittleren Durchmesser mit $d_{j-1}, d_{j-1+1}, \dots, d_j$ und wir nehmen an, daß sich die Zuführungsstellen, von denen die Mischkörner gerade an das oberste Ende der Scheidewand gelangen, in der Reihenfolge angefangen mit den kleinsten Mischkörnern in einem Abstand von $a_{j-1}, a_{j-1+1}, \dots, a_j$ von der Oberseite der Schicht befinden, wie Bild 12 zeigt. Wenn ein Oberkorn mit d_i von einem Punkt in der Entfernung x , gemessen von der Oberseite der Schicht, in den waagerechten Luftstrom zugeführt wird, besteht die Wahrscheinlichkeit P'_i , daß es ohne Zusammenstoß mit größeren Misch- und Unterkörnern über die Scheidewand fliegen kann, wie hier gezeigt:

$$\left. \begin{aligned} \text{bei } 0 < x < a_j & ; \quad P'_i = \exp \left\{ - \frac{x}{a} A \right\} \\ \text{bei } a_j < x < a_{j-1} & ; \quad P'_i = \exp \left\{ - \frac{a_j}{a} A - \frac{x-a_j}{a} (A + \alpha_{ij}) \right\} \\ & \dots\dots\dots ; \quad \dots\dots\dots \\ & \dots\dots\dots ; \quad \dots\dots\dots \\ \text{bei } a_{j1} < x < a & ; \quad P'_i = \exp \left\{ - \frac{a_j}{a} A - \frac{a_{j-1} a_j}{a} (A + \alpha_{ij}) \dots\dots \right. \\ & \quad \quad \quad \left. \dots\dots - \frac{x-a_{j-1}}{a} (A + \alpha_{ij} + \alpha_{ij-1} + \dots + \alpha_{ij-1}) \right\} \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

Dabei ist $A = \sum_{j=j+1}^m A_{ij}$ und die Werte von A_{ij} in Bezug auf die Mischkörner sind $\alpha_{ij-l}, \alpha_{ij-l+1}, \dots, \alpha_{ij-1}, \alpha_{ij}$. Nachfolgend soll die Bedeutung von P_i' dargelegt werden: Wenn als wahrscheinlich angenommen wird, daß die im Bereich von $0 < x < a_j$ zugeführten Körner mit d_i über die Scheidewand fliegen, müssen nur die Zusammenstöße mit den Unterkörnern vom Durchmesser $d_{j+1}, d_{j+2}, \dots, d_{m-1}, d_m$ in Betracht gezogen werden. Aber für $a_j < x < a_{j-1}$ muß man außerdem auch die Zusammenstöße mit den Mischkörnern von d_j mit einbeziehen, denn es wird vorausgesetzt, daß die im Bereich von $0 < x < a_j$ zugeführten Körner mit d_j über die Scheidewand fliegen können, wie in Bild 12 dargestellt. Wir setzen dabei auch voraus, daß die Zusammenstöße zwischen den Körnern, von denen angenommen werden kann, daß sie über die Scheidewand fliegen, auf die Eintreibmenge fast keinen Einfluß haben. Aus diesem Grund bekommt man das Eintreibverhältnis P_i der mit einer Schichtbreite von a zugeführten Körner mit d_i , wie folgt.

$$\begin{aligned}
 P_i &= \frac{a_j}{a} \frac{1}{a_j} \int_0^{a_j} \exp\left(-\frac{x}{a} A\right) dx + \frac{a_{j-1}-a_j}{a} \frac{1}{a_{j-1}-a_j} \int_{a_j}^{a_{j-1}} \exp\left\{-\frac{a_j}{a} A - \frac{x-a_j}{a} (A + \alpha_{ij})\right\} dx \\
 &+ \dots + \frac{a-a_{j-l}}{a} \frac{1}{a-a_{j-l}} \int_{a_{j-l}}^a \exp\left\{-\frac{a_j}{a} A - \frac{a_{j-1}-a_j}{a} (A + \alpha_{ij}) - \dots - \right. \\
 &\quad \left. \dots - \frac{x-a_{j-l}}{a} (A + \alpha_{ij} + \alpha_{ij-1} + \dots + \alpha_{ij-l})\right\} dx \\
 &= \frac{1}{A} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{a_j}{a} A\right) \right\} + \frac{1}{A + \alpha_{ij}} \exp\left(\frac{a_j}{a} \alpha_{ij}\right) \left[\exp\left\{-\frac{a_j}{a} (A + \alpha_{ij})\right\} \right. \\
 &\quad \left. - \exp\left\{-\frac{a_{j-1}}{a} (A + \alpha_{ij})\right\} \right] + \dots \\
 &+ \frac{1}{A + \sum_{j=j-l}^j \alpha_{ij}} \exp\left(\sum_{j=j-l}^j \frac{a_j}{a} \alpha_{ij}\right) \left[\exp\left\{-\frac{a_{j-l}}{a} (A + \sum_{j=j-l}^j \alpha_{ij})\right\} - \exp\left\{-\left(A + \sum_{j=j-l}^j \alpha_{ij}\right)\right\} \right]
 \end{aligned} \tag{12}$$

Das Eintreibverhältnis der Mischkörner mit d_{j-1} , zum Beispiel, ist, unter gleichen Voraussetzungen, wie folgt (Vgl. Bild 12).

$$\begin{aligned}
 P_{j-1} &= \frac{1}{A} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{a_j}{a} A\right) \right\} + \frac{1}{A + \alpha_{ij}} \exp\left(\frac{a_j}{a} \alpha_{ij}\right) \left[\exp\left\{-\frac{a_j}{a} (A + \alpha_{ij})\right\} \right. \\
 &\quad \left. - \exp\left\{-\frac{a_{j-1}}{a} (A + \alpha_{ij})\right\} \right]
 \end{aligned} \tag{13}$$

Und das Verhältnis zwischen der zugeführten Menge W_i^* (Körner mit mittlerem Durchmesser d_i) und der Eintreibmenge W_i (davon über die Scheidewand fliegende Körner) ist gleich P_i . Wie folgt:

$$\left. \begin{aligned}
 P_i &= W_i / W_i^* \\
 P_{j-1} &= W_{j-1} / W_{j-1}^*
 \end{aligned} \right\} \tag{14}$$

Die Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte der Körner und die Zusammenstöße zwischen den Körnern haben unabhängig von einander Einfluß auf das Eintreibverhältnis. Daher kann man aus Gl. (6) und Gl. (12), (13) folgende Gleichung (15) ableiten.

$$\left. \begin{aligned} W_i &= \varphi_i W_i^* P_i \\ W_{j-1} &= \varphi_{j-1} W_{j-1}^* P_{j-1} \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

5. Überlegungen

Erstens wollen wir auf Grund unserer Versuchsergebnisse den Grad des Einflusses der Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte auf die Klassierungsgenauigkeit betrachten. Auch wenn Körner mit gleichem Durchmesser von der gleichen Stelle in einen waagerechten Luftstrom mit konstanter Geschwindigkeit eingeführt werden, sind die Auffallstellen, wegen der Streuungerscheinungen bei beiden Werten, uneinheitlich, wie oben erwähnt. Der Bereich der Auffallstellen wird durch die Standardabweichung σ , die eine Funktion des Korndurchmessers ist, bestimmt. Bild 13 zeigt diese Berechnungsergebnisse bei Luftstromgeschwindigkeiten von 18 m/sec, 24 m/sec und 36 m/sec, wobei auf

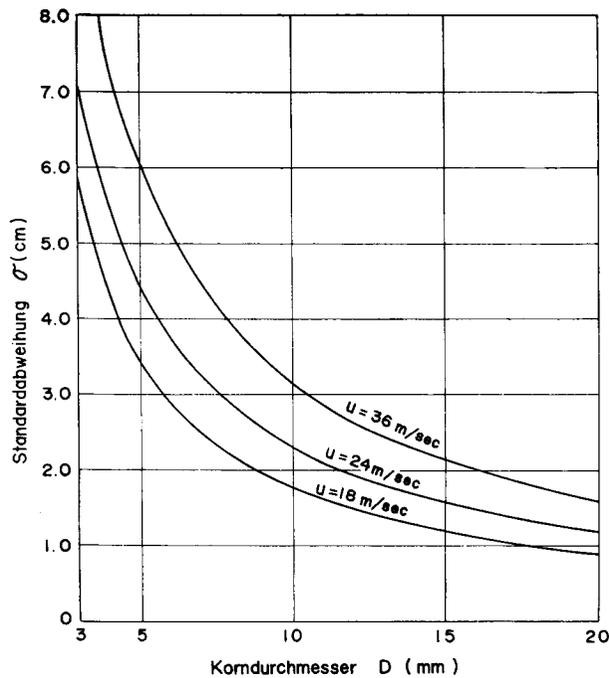


Bild 13. Beziehung zwischen der Standardabweichung σ der Streuung an der Auffallstellen der Körner und ihren Durchmessern D .

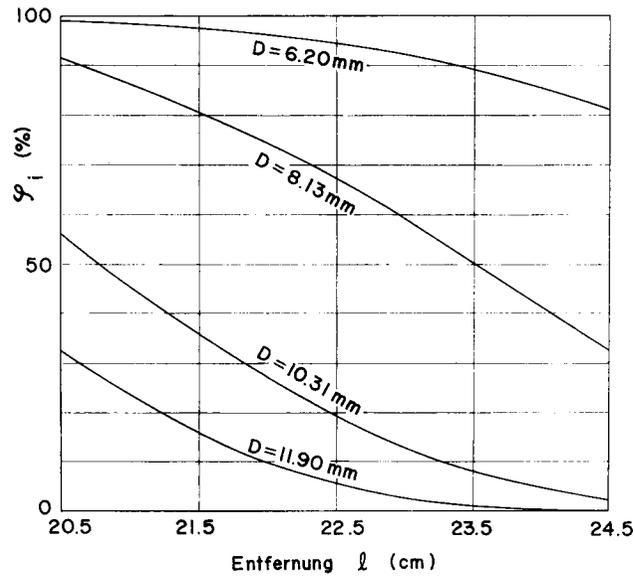


Bild 14. Beziehung zwischen dem Eintreibverhältnis φ_i und der Anbringungsstelle der Scheidewand im Hinblick auf die Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte ($u = 18,0$ m/sec).

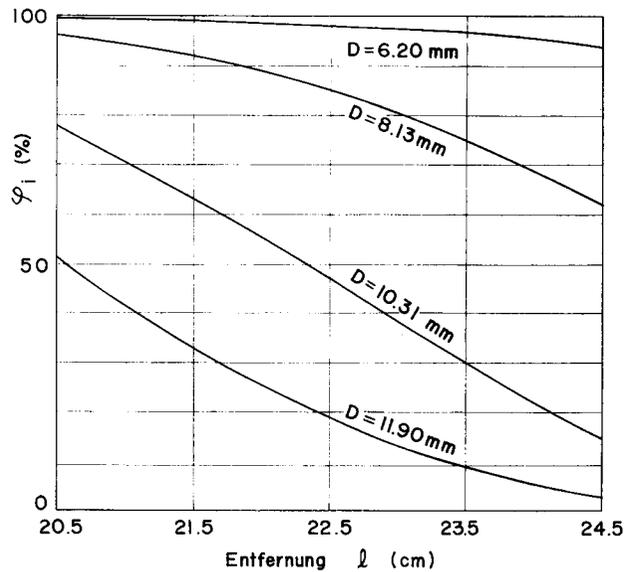


Bild 15. Beziehung zwischen dem Eintreibverhältnis φ_i und der Anbringungsstelle der Scheidewand im Hinblick auf die Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte ($u = 24,0$ m/sec).

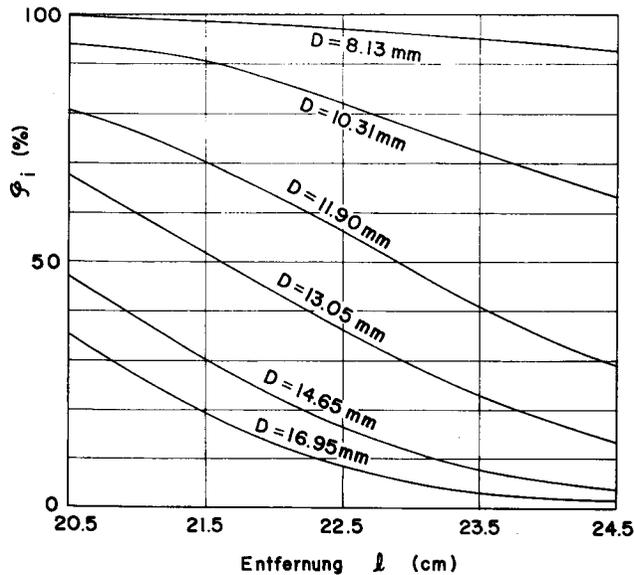


Bild 16. Beziehung zwischen dem Eintreibverhältnis ϕ_i und der Anbringungsstelle der Scheidewand im Hinblick auf die Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte ($u = 36,0$ m/sec).

der Ordinate σ und auf der Abszisse der Korndurchmesser D aufgetragen ist. Wie man daraus ersieht, ist die Luftstromgeschwindigkeit je größer, desto größer der Wert von σ wird. Und je größer der Korndurchmesser ist, desto kleiner wird σ unter der Bedingung konstanter Luftstromgeschwindigkeit. In unserem Versuch hat das Mischverhältnis M 6,6 betragen und die Schichtbreite a der zugeführten Körner an der Zuführungsstelle war 38 mm. Vorausgesetzt, daß die Körner vom Zentrum jedes Abschnitts der in vier gleiche Teile geteilten Schicht (die Breite eines Abschnitts beträgt 9,5 mm) in den waagerechten Luftstrom eingeführt werden, kann man das Eintreibverhältnis ϕ_i der Körner mit verschiedenen mittleren Durchmessern d_i aus Gl. (6) berechnen. Diese Berechnungsergebnisse zeigen Bild 14 bei einer Luftstromgeschwindigkeit von 18 m/sec, Bild 15 bei 24 m/sec und Bild 16 bei 36 m/sec, wobei auf der Ordinate das Eintreibverhältnis ϕ_i und auf der Abszisse die waagerechte Entfernung l zwischen der Anbringungsstelle der Scheidewand und der tiefsten Stelle der Schicht aufgetragen ist. Wie daraus ersichtlich, kann der Einfluß der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte auf das Eintreibverhältnis für die kleinen Körner vernachlässigt werden, aber keinesfalls für ziemlich große Körner.

Zweitens wollen wir uns mit dem Grad des Einflusses der Zusammenstöße zwischen den bewegten Körnern auf die Klassierungsgenauigkeit befassen. Im

allgemeinen ist die waagerechte Entfernungskomponente der Flugbahnen der durch den Luftstrom abgeblasenen Körner desto größer, je kleiner die Korngröße ist. Dementsprechend können selbst kleine Körner, die von der untersten Lage der Schicht in den waagerechten Luftstrom eingeführt werden, über die Scheidewand gelangen, wenn kein Zusammenstoß erfolgt. Aber es ist eine Tatsache, daß die Zusammenstöße mit den Unterkörnern und einem Teil der Mischkörner desto häufiger sind, je tiefer in der Schicht die Körner an der Einführungsöffnung des Siebrohrs liegen. Aus den oben angeführten Versuchen seien die Ergebnisse herausgegriffen, die wir bei einer Schichtbreite von 38 mm und einer waagerechten Komponente $l=20,5$ cm der Entfernung der Scheidewand von der tiefsten Stelle der Schicht bekommen haben. Wenn wir die Wahrscheinlichkeit, daß die Körner ohne Zusammenstoß über die Scheidewand fliegen können, je nach ihrer Lage in der Schicht aus Gl. (11) berechneten, bekamen wir die Berechnungsergebnisse, die in Bild 17 bei einer Luftstromgeschwindigkeit von 18 m/sec, in Bild 18 bei 24 m/sec und in Bild 19 bei 36 m/sec gezeigt werden, wobei auf der Abszisse die Entfernung x waagrecht gemessen von der Oberseite der Schicht an der Einführungsöffnung des Siebrohrs und auf der Ordinate die Wahrscheinlichkeit P_i' aufgetragen ist. In diesen Bildern sind Punkte zu sehen, an denen sich das Neigungsverhältnis plötzlich ändert, und das sind die Stellen, an denen die Zusammenstöße mit den Mischkörnern beginnen. Aus den Bildern ist zu entnehmen, daß die Wahrsch-

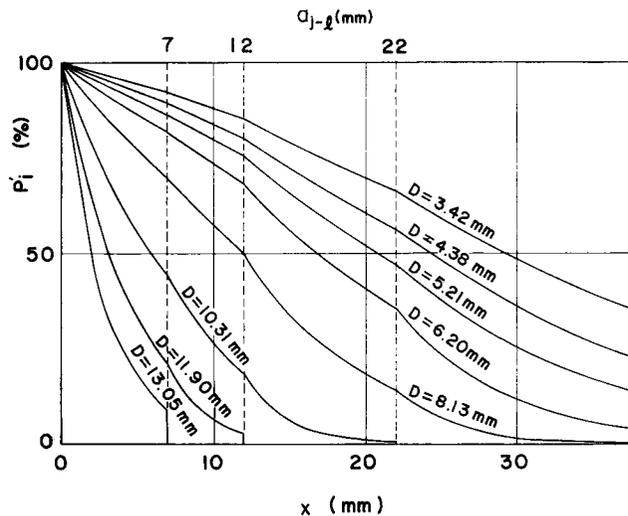


Bild 17. Wahrscheinlichkeit P_i' , daß die in Schichtbreite 38 mm zugeführten Körner ohne Zusammenstoß über die Scheidewand fliegen können, je nach Zuführungsstelle mit dem Durchmesser als Parameter ($u=18.0$ m/sec).

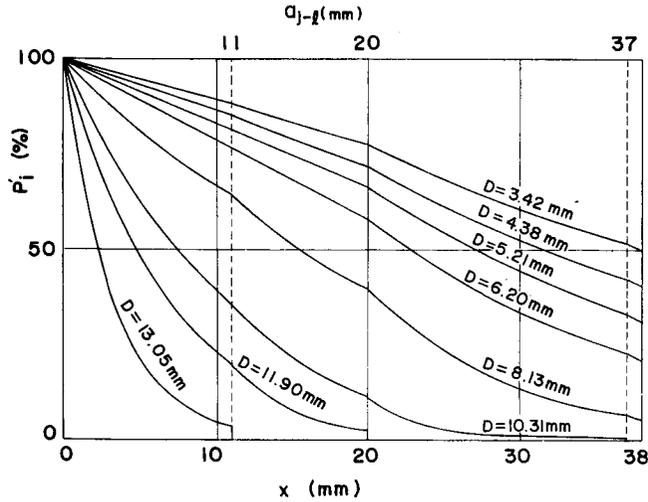


Bild 18. Wahrscheinlichkeit P_i' , daß die in Schichtbreite 38 mm zugeführten Körner ohne Zusammenstoß über die Scheidewand fliegen können, je nach Zuführungsstelle mit dem Durchmesser als Parameter ($u=24,0$ m/sec).

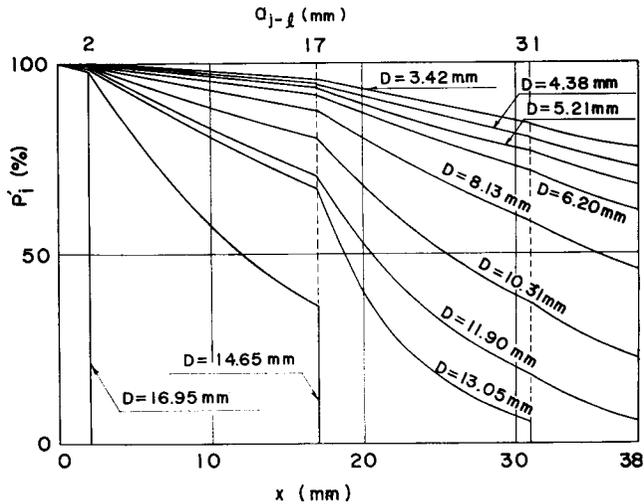


Bild 19. Wahrscheinlichkeit P_i' , daß die in Schichtbreite 38 mm zugeführten Körner ohne Zusammenstoß über die Scheidewand fliegen können, je nach Zuführungsstelle mit dem Durchmesser als Parameter ($u=36,0$ m/sec).

einlichkeit von Zusammenstößen bei den von verhältnismäßig tiefen Stellen in der Schicht zugeführten Körnern, auch wenn sie ziemlich klein sind, größer wird. Und dann ist ein Beispiel eines Berechnungsergebnisses für das Eintreibverhältnis der Körner jedes Maschenmaßes bei einer Luftstromgeschwindigkeit von 24 m/sec

Tabelle 2 Berechnungsverlauf für das Eintreibverhältnis W_i/W_i^* der Oberkörner jedes Maschenmaßes, und Vergleich zwischen den Berechnungs- und Versuchsergebnissen bei $u=24$ m/sec und $l=20,5$ cm.

	$D_j \sim D_{j+1}$ (mm)	d_j (mm)	$N_j=1/\Delta t_j$ (sec ⁻¹)	T_j (sec)	F_j (cm ²)	$T_j/(\Delta t_j \cdot F_j)$ (10 ⁻¹ · cm ⁻²)	X (cm)	$X+3.8$ (cm)	$X+3.8-20.5$ (cm)
Mischkörner	9.5~11.1	10.31	204.0	0.1462	254	1.176	20.4	24.2	3.7 = a_{j-2}
	11.1~12.7	11.90	105.0	0.1458	240	0.638	18.7	22.5	2.0 = a_{j-1}
	12.7~13.4	13.05	34.6	0.1455	233	0.216	17.8	21.6	1.1 = a_j
Unterkörner	13.4~15.9	14.65	61.0	0.1455	226	0.393			3.8 = a
	15.9~18.0	16.95	25.1	0.1450	218	0.167			
	18.0~19.1	18.55	1.7	0.1450	213	0.011			
	19.1~20.1	20.00	4.0	0.1450	209	0.028			
d_i (mm)	d_j (mm)	S_{ij} (cm ²)	$\frac{1}{\sin \theta_{ij}}$	$\frac{S_{ij}T_j}{\Delta t_j F_j \sin \theta_{ij}} = A_{ij}$	d_i (mm)	d_j (mm)	S_{ij} (cm ²)	$\frac{1}{\sin \theta_{ij}}$	$\frac{S_{ij}T_j}{\Delta t_j F_j \sin \theta_{ij}} = A_{ij}$
3.42	10.31	1.48	3.58	0.624 = α_{ij-2}	4.38	10.31	1.69	4.17	0.828 = α_{ij-2}
	11.90	1.80	2.93	0.336 = α_{ij-1}		11.90	2.07	3.53	0.466 = α_{ij-1}
	13.05	2.10	2.76	0.125 = α_{ij}		13.05	2.38	3.28	0.169 = α_{ij}
	14.65	2.50	2.58	0.254		14.65	2.85	3.02	0.338
	16.95	3.20	2.50	0.136		16.95	3.58	2.76	0.167
	18.55	3.77	2.28	0.010		18.55	4.13	2.62	0.012
				$A=0.426$					$A=0.550$
6.21	10.31	1.89	5.07	1.128 = α_{ij-2}	6.20	10.31	2.14	7.06	1.776 = α_{ij-2}
	11.90	2.30	4.21	0.616 = α_{ij-1}		11.90	2.58	5.39	0.888 = α_{ij-1}
	13.05	2.62	3.85	0.218 = α_{ij}		13.05	2.91	4.76	0.296 = α_{ij}
	14.65	3.09	3.48	0.425		14.65	3.41	4.26	0.576
	16.95	3.88	3.14	0.206		16.95	4.20	3.78	0.264
	18.55	4.31	2.95	0.014		18.55	4.79	3.46	0.016
				$A=0.685$					$A=0.904$
8.13	10.31	2.67	15.00	4.690 = α_{ij-2}	10.31	11.90	3.88	24.00	5.930 = α_{ij-1}
	11.90	3.14	9.24	1.850 = α_{ij-1}		13.05	4.27	15.00	1.384 = α_{ij}
	13.05	3.51	7.52	056.8 = α_{ij}		14.65	4.88	13.70	2.620
	14.65	4.07	6.28	1.000		16.95	5.82	7.79	0.768
	16.95	4.94	5.20	0.432		18.55	6.52	6.76	0.048
	18.55	5.58	4.68	0.032		20.00	7.21	6.06	0.120
				$A=1.536$					$A=3.56$
11.90	13.05	4.87	38.80	4.090 = α_{ij}	Berechnungsschema (13) für P_i ist in diesen Fall wie folgt. $P_i = \frac{1}{A} (1 - \textcircled{4}) + \frac{\textcircled{5}}{\textcircled{1}} (\textcircled{6} - \textcircled{7}) + \frac{\textcircled{8}}{\textcircled{2}} (\textcircled{9} - \textcircled{10}) + \frac{\textcircled{11}}{\textcircled{3}} (\textcircled{12} \textcircled{13}).$				
	14.65	5.52	18.10	3.930					
	16.95	6.52	11.48	1.264					
	18.55	7.29	8.88	0.073					
	20.00	7.98	8.04	0.180					
				$A=5.43$					

d_i (mm) $D_i \sim D_{iH}$ (mm)	3.42 2.83~ 4.00	4.38 4.00~ 4.76	5.21 4.76~ 5.66	6.20 5.66~ 6.73	8.13 6.73~ 9.52	10.31 9.52~ 11.10	11.90 11.10~ 12.70	Zeichen
$A + \alpha_{ij}$	0.551	0.719	0.904	1.20	2.11	4.94	9.54	①
$A + \alpha_{ij} + \alpha_{ij-1}$	0.887	1.185	1.520	2.09	3.96	10.87		②
$A + \alpha_{ij} + \alpha_{ij-1} + \alpha_{ij-2}$	1.511	2.013	2.65	3.86	8.65			③
$\exp\left(-\frac{a_j}{a} A\right)$	0.884	0.853	0.820	0.769	0.642	0.356	0.206	④
$\exp\left(\frac{a_j}{a} \alpha_{ij}\right)$	1.038	1.050	1.065	1.089	1.179	1.493	0.063	⑤
$\exp\left\{-\frac{a_j}{a} (A + \alpha_{ij})\right\}$	0.852	0.812	0.770	0.706	0.544	0.239	0.007	⑥
$\exp\left\{-\frac{a_{j-1}}{a} (A + \alpha_{ij})\right\}$	0.747	0.684	0.622	0.532	0.330	0.074		⑦
$\exp\left(\frac{a_j}{a} \alpha_{ij} + \frac{a_{j-1}}{a} \alpha_{ij-1}\right)$	1.237	1.342	1.472	1.737	3.115	33.8		⑧
$\exp\left\{-\frac{a_{j-1}}{a} (A + \alpha_{ij} + \alpha_{ij-1})\right\}$	0.627	0.536	0.450	0.333	0.125	0.0046		⑨
$\exp\left\{-\frac{a_{j-2}}{a} (A + \alpha_{ij} + \alpha_{ij-1})\right\}$	0.421	0.315	0.228	0.131	0.021	0		⑩
$\exp\left\{\frac{a_j}{a} \alpha_{ij} + \frac{a_{j-1}}{a} \alpha_{ij-1} + \frac{a_{j-2}}{a} \alpha_{ij-2}\right\}$	2.27	3.00	4.41	9.82	298			⑪
$\exp\left\{-\frac{a_{j-2}}{a} (A + \alpha_{ij} + \alpha_{ij-1} + \alpha_{j-2})\right\}$	0.229	0.141	0.076	0.023	0.0002			⑫
$\exp\{-(A + \alpha_{ij} + \alpha_{ij-1} + \alpha_{ij-2})\}$	0.220	0.134	0.071	0.021	0.0018			⑬
P_i (%)	77.0	71.5	66.1	58.8	41.2	25.7	16.5	
φ_i (%)	100.0	100.0	100.0	99.7	96.6	78.0	51.8	
errechnet W_i/W_i^* (%)	77.0	71.5	66.1	58.6	39.8	20.0	8.1	
experimentell W_i/W_i^* (%)	78.1	67.0	62.2	54.5	35.2	16.5	7.2	

und einer Entfernung $l=20,5$ cm in Tabelle 2 gegeben. Die geknickten Kurven in den Bildern, die schon in 2.4 wiedergegeben wurden, zeigen die auf diese Weise berechneten Werte der Eintreibverhältnisse der Körner jedes Maschenmaßes. Wie daraus ersichtlich ist, stimmen die errechneten und die experimentellen Werte gut überein.

Bei der Luftsiebung einer gleichen Art von Körnern mit gleicher Korngrößenverteilung, unter der Bedingung einer gleichen Behandlungsmenge und gleichen Luftmenge, hat es sich ergeben, daß das Eintreibverhältnis desto besser ist, je größer

die Luftstromgeschwindigkeit durch eine Verkleinerung der Siebrohrhöhe h wird.

6. Zusammenfassung

Bei der Luftsiebung einer gleichen Art von Körnern haben die Streuung der scheinbaren spezifischen Gewichte und der Luftwiderstandsbeiwerte einerseits, und die Zusammenstöße zwischen den Körnern andererseits, besonders im Fall großer Schichtbreite, Einfluß auf die Klassierungsgenauigkeit. Um den Grad der Einflüsse festzustellen, sind Versuche mit Sinter-Körnern als Versuchsmaterial durchgeführt worden, und zugleich erfolgte eine analytische Untersuchung.

(Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:)

1. Eine Klassierung von Körnern mittels eines waagerechten Luftstroms ist wegen der unterschiedlichen waagerechten Entfernungskomponenten der Flugbahnen der Körner je nach ihrer Korngröße möglich, auch wenn die scheinbaren spezifischen Gewichte und die Luftwiderstandsbeiwerte in gewissem Grad eine Streuung aufweisen.

2. Wegen der Streuungserscheinungen bei den scheinbaren spezifischen Gewichten und den Luftwiderstandsbeiwerten, tritt eine Streuung in den waagerechten Komponenten der Flugbahnen der Körner auf, auch wenn die Korngrößen identisch sind. Je kleiner die Korngröße oder je größer die Luftstromgeschwindigkeit ist, desto größer ist der Grad der Streuung.

3. Mit zunehmender Schichtbreite nimmt für die Körner aus den tieferen Lagen der Schicht die Wahrscheinlichkeit ab, daß sie im waagerechten Luftstrom zu Oberkörnern werden, auch wenn ihre Größe ziemlich gering ist, und zwar wegen der zunehmenden Häufigkeit der Zusammenstöße mit den Unterkörnern mit größeren Durchmessern als ihren eigenen. Und im Vergleich zum Eintreibverhältnis der kleinen Körner nimmt das der größeren Körner stärker ab.

4. Bei der Luftsiebung einer gleichen Art von Körnern, bei gleicher Korngrößenverteilung unter der Bedingung gleicher Behandlungsmenge und gleicher Luftmenge, ist das Eintreibverhältnis desto besser, je größer, durch eine Verkleinerung der Siebrohrhöhe, die Luftstromgeschwindigkeit ist.

5. Die aus Gl. (15) errechneten Eintreibverhältnisse stimmen ziemlich gut mit den experimentellen Werten überein.

Schrifttum

- 1) J. Kokado, N. Hatta and K. Nakayasu; THIS MEMOIRS, Vol. 32 No.1 (1970).
- 2) J. Kokado, N. Hatta and K. Nakayasu; Study on classification accuracy of pneumatic sieve, TETSU-TO-HAGANE (Journal of The Iron and Steel Institute of Japan), Vol. 56 No. 3 (1970).
- 3) J. Kokado, N. Hatta and K. Nakayasu; THIS MEMOIRS, Vol. 32 No. 1 (1970).
- 4) S. Kamei; Kagakukikai no Riron to Keisan (Theory and Computation for Chemical Equipment) Sangyo-Tosho, 409~410 (1959).