

DIE SORTIERUNG VON SAATGUT MIT BESONDERS GLEICHMÄSSIGEM QUERWIND

Von H. Blenk

A. Anlass der Untersuchung

Bei den Geräten, die zur Getreidesortierung einen künstlichen Luftstrom verwenden, kann man zwei Gruppen unterscheiden: solche, die mit vertikalem Luftstrom arbeiten (sogenannte Steigsichter), und solche mit vorwiegend horizontalem Luftstrom (meist als „Windfegen“ bezeichnet). Während früher fast nur Windfegen in Benutzung waren, haben sich in Deutschland seit etwa 20 Jahren die Steigsichter mehr und mehr durchgesetzt. Über die Gründe, die zu dieser Bevorzugung der Steigsichter geführt haben, schreibt G. Kühne im 2. Band des Handbuches der Landmaschinentechnik (S. 237):

„Bei einem Vergleich beider Verfahren, denen W. Brenner die treffenden Bezeichnungen „Ablenkungs- bzw. Abwägeverfahren“ gegeben hat, zeigt sich, dass der Windstrom bei Anwendung eines Steigsichters erheblich länger auf die zu sichtenden Körner einwirkt als bei der älteren Windfege. Längere Einwirkung aber gibt dem Korn genügend Zeit, verschiedene Stellungen einzunehmen, sodass der Einfluss einer zufälligen Lage, mit der es in den Windstrom eintritt, bei der Trennung nicht in dem Masse zur Geltung kommt, als wenn es schnell aus dem Bereiche des Windstromes gelangt. Daher kann mit dem Abwägeverfahren eine sorgfältigere Sichtung erzielt werden als mit dem Ablenkungsverfahren, bei dem die Auslese stärker vom Zufall beeinflusst wird.“

Dass man die wünschenswerte „längere Einwirkung“ auch bei dem Ablenkungsverfahren erreichen kann, nämlich durch Vergrößerung der Höhe des Luftstrahles, ist in der Arbeit von W. Brenner [4] deutlich ausgesprochen; die mit einem quergestellten Gebläse durchgeführten Versuche (Vergrößerung der Strahlhöhe von 5 cm auf 40 cm) ergaben auch eine merkliche Verbesserung. Trotzdem misst Brenner diesen Versuchen geringe Bedeutung bei, „da Windströme mit 30 bis 40 cm Tiefe nur unbequem zu erzeugen sind“. Der damals noch angestellte Versuch, eine grosse Strahlhöhe einfach durch stark erweiterte Düsen zu erzeugen, musste schlechte Ergebnisse liefern, da die Erweiterung der Düsen das strömungstechnisch zulässige Mass offenbar weit überschritt und infolgedessen Strahlablösung auftrat.

In einer umfangreichen Arbeit von F. Stümpfig [13] heisst es in der Zusammenfassung:

„Im Hinblick auf diese Grundlage werden die bekannten Windsortierapparate auf ihre Entwicklungsfähigkeit untersucht. Dabei werden diejenigen mit horizontalem Windstrom als besonders ungeeignet befunden.“

Der Lesermuss hieraus schliessen, dass in dieser Arbeit das Ablenkungs- und das Abwägeverfahren

nebeneinander untersucht wurden. Dies trifft jedoch nicht zu; die Arbeit beschränkt sich auf die Steigsichter, und den Sortierapparaten mit horizontalem Windstrom werden ganze 11 Zeilen gewidmet, aus denen hervorgeht, dass der Verfasser sich mit seinem ungünstigen Urteil über die Waagerechtsichter auf die Dissertation von H. Hertzberg [7] beruft. Die Ergebnisse dieser Arbeit, die an wenigen, sich zufällig anbietenden Ausführungen gewonnen wurden, können jedoch keine allgemeine Gültigkeit beanspruchen.

Es erscheint daher durchaus möglich, dass die Bevorzugung des Steigsichters gegenüber der Windfege unberechtigt ist; vielleicht beruht sie zum Teil darauf, dass die Windfegen i.a. mit einem recht ungleichmässigen Luftstrom betrieben wurden, während man bei den Steigsichtern von vornherein auf bessere aerodynamische Verhältnisse hinarbeitete, weil die zusätzlich erforderlichen Vorrichtungen zum Ein- und Ausbringen des Getreides die besondere Aufmerksamkeit darauf lenkten. Ein anderer Vorteil des Steigsichters gegenüber der Windfege mag der geringere Platzbedarf sein.

Wenn man die Getreidesortierung nur vom aerodynamischen Standpunkt aus kritisch betrachtet, erscheint es jedenfalls fraglich, ob man die Verdrängung der Windfegen durch die Steigsichter als endgültig hinnehmen soll. Bei gleicher Güte des Luftstrahles haben die Windfegen doch zweifellos den Vorteil, dass bei ihnen Schwerkraft und Luftkraft nicht in die gleiche Richtung fallen und daher die Sortierung ohne zusätzliche Vorrichtungen zum Ein- und Ausbringen des Kornes bewerkstelligt werden kann. Die Schwerkraft besorgt das Hereinfallen des Kornes in den Luftstrom und ebenso das Herausfallen ganz zwanglos. Jedes einzelne Korn beschreibt als Flugweg eine verhältnismässig einfache Kurve, während die Körner im Steigsichter mehrfach auf und ab tanzen und eine unübersichtliche Bewegung ausführen. Auch die gegenseitige Störung der einzelnen Körner dürfte im Steigsichter unangenehmer sein als in der Windfege. Diese Überlegungen führten zu dem Wunsch, neue Sortierversuche in einem guten horizontalen Luftstrom auszuführen*).

*) Für diese Versuche stellte das Institut für Strömungsmechanik (Leiter: Prof. Dr. H. Schlichting) an der Technischen Hochschule, Braunschweig, seinen Windkanal mehrmals bereitwillig zur Verfügung, wofür auch an dieser Stelle besonderer Dank ausgesprochen sei.

Es muss als besonders glücklich angesehen werden, dass zur selben Zeit, als diese hauptsächlich technischen Überlegungen angestellt wurden, die Frage der Saatgutsortierung von pflanzenbaulichen Gesichtspunkten her im Institut für Pflanzenbau und Saatguterzeugung (Leiter: Prof. Dr. W. Schulze) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft in Angriff genommen wurde. Es ergab sich daraus eine Zusammenarbeit, die sicherlich für beide Seiten von grossem Nutzen war und weiterhin sein wird. Das genannte Institut stellte für die Sortierversuche das geeignete Saatgut zur Verfügung und machte besonders auf die Notwendigkeit aufmerksam, den Zuckerrübensamen in das Versuchsprogramm mit aufzunehmen.

Ehe über die bisher durchgeführten Versuche und ihre Auswertung berichtet wird, seien einige theoretische Betrachtungen eingeschaltet. Über die Auswertung der Versuche vom Standpunkt des Pflanzenzüchters berichtet M. Thielebein an anderer Stelle dieses Heftes [16].

B. Zur Theorie der Windsortierung

Bei den Steigsichtern und Windfegen unterliegt das einzelne Korn der Einwirkung zweier Kräfte: seines Gewichtes und der aus der Relativbewegung zwischen Korn und Luft herrührenden Luftkraft. Das gleiche gilt auch für die Getreideschleuder, hier schafft sich das Korn durch seine Eigenbewegung den relativen Wind selbst. Man kann daher die in Windsortiergeräten auftretende Bewegung des einzelnen Kornes allgemein untersuchen, indem man die Bewegungsgleichungen unter Einwirkung von Schwerkraft und Luftkraft betrachtet. Verschieden sind dann je nach der Art des Gerätes (Steigsichter, Windfeger, Schleuder) nur die Anfangsbedingungen des Sortiervorganges. Die mathematische Behandlung [15], auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, zeigt, dass die Sinkgeschwindigkeit oder Schwebegeschwindigkeit des Kornes die für das Sortieren massgebliche physikalische Grösse ist. Unter „Sinkgeschwindigkeit“ versteht man diejenige Geschwindigkeit, die ein Körper im freien Fall als Endgeschwindigkeit erreicht, d.h. für die das Gewicht und der Luftwiderstand gleich gross sind, sodass keine weitere Beschleunigung des Fallvorganges eintritt. Statt Sinkgeschwindigkeit benutzt man auch den Ausdruck „Schwebegeschwindigkeit“, da ein Körper in einem senkrecht aufsteigenden Luftstrahl bei dieser Geschwindigkeit zum Schweben gelangt.

Wenn man für den Luftwiderstand ein quadratisches Gesetz annimmt (d.h. Luftwiderstand proportional dem Quadrat der Relativgeschwindigkeit zwischen Korn und Luft), so findet man die Sinkgeschwindigkeit w aus der Formel:

$$w = \sqrt{\frac{2}{\rho} \frac{G}{c_w \cdot F}}$$

Hierin bedeuten: ρ die Dichte der Luft ($\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$),
 G das Gewicht des Kornes (kg),
 F die Querschnittsfläche des Kornes (m^2),
 c_w eine dimensionslose Widerstandsbeizahl, die von der Form und Lage des Kornes zum relativen Wind abhängt.

Da bei einem bestimmten Sortiervorgang die Luftdichte ρ jeweils konstant ist, kommt es also auf die Grösse

$$\frac{G}{c_w \cdot F}$$

an. Diese Erkenntnis wurde im Jahre 1928 von W. Brenner [4] und E. Wörmann-Weber [5] unabhängig voneinander gewonnen und ausführlich erörtert. Brenner führt die Grösse $G/c_w F$ als „Flugkoeffizient“, Wörmann-Weber als „Schwerfälligkeit“ ein. Trotz dieser Klarstellung wird die Frage, nach welchen Gesichtspunkten ein Windsortiergerät arbeitet, auch in späteren Arbeiten immer wieder gestellt und erfolglos erörtert, wobei meist mit dem unklaren Begriff „Windschwere“ gearbeitet und nicht einmal angegeben wird, wie und in welchen Einheiten (kg, kg/m^2 , dimensionslos?) diese Grösse gemessen werden soll.

Die für eine Windsortierung in Frage kommenden Geschwindigkeiten müssen, wie man leicht einsieht, die gleiche Grössenordnung wie die Sinkgeschwindigkeit des Kornes haben. Eine einfache Nachrechnung zeigt nun, dass diese Geschwindigkeiten i.a. so klein sind, dass man sich wahrscheinlich an der unteren Grenze, teilweise sogar unterhalb des Gültigkeitsbereiches des quadratischen Widerstandsgesetzes befindet. Genauere Angaben hierüber sind nicht möglich, solange nicht sorgfältige Widerstandsmessungen an Getreidekörnern bei verschiedenen Geschwindigkeiten (etwa im Bereich 1 bis 15 m/s) durchgeführt sind.

Bei sehr kleinen Geschwindigkeiten ergibt sich der Luftwiderstand W einer Kugel aus der Stokeschen Formel¹⁾

$$W = 6 \pi \mu R v$$

Hierin bedeuten: μ die Zähigkeit der Luft ($\text{kg s}/\text{m}^2$),
 R den Radius der Kugel (m),
 v die Geschwindigkeit (m/s).

Die Sinkgeschwindigkeit w findet man dann aus:

$$w = \frac{G}{6 \pi \mu R}$$

Man darf wohl annehmen, dass eine ähnliche Formel auch für nichtkugelförmige Körper gilt. Für diese kann man anstelle des Kugelradius R die Länge $\sqrt[3]{V}$ (V = Volumen) einführen, sodass für Körper

1) Vgl. etwa Handbuch der Physik von Geiger und Scheel, Bd. VII, S. 168. Berlin 1927.

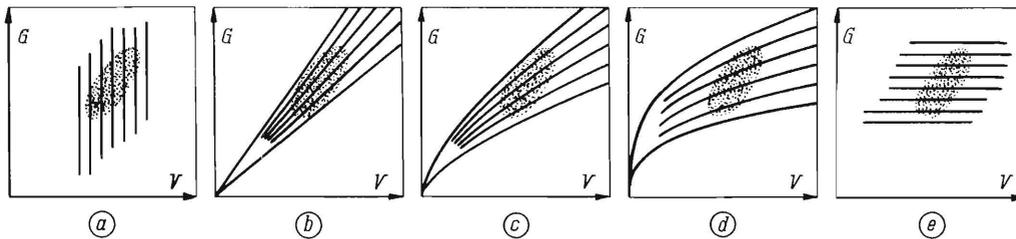


Bild 1. Jedes Einzelkorn liefert mit seinem Volumen V und seinem Gewicht G einen Punkt in diesen Diagrammen. Es wird vermutet, dass die Körner einer Sorte etwa den punktierten Bereich überdecken. Dieser Bereich wird zerteilt durch Sortierung, und zwar
 in Bild 1a durch Sortierung nach Volumen,
 „ „ 1b „ „ „ spezifischem Gewicht,
 „ „ 1c „ „ Windsortierung (quadrat. Widerstandsgesetz),
 „ „ 1d „ „ (lineares „ „ „),
 „ „ 1e „ „ Sortierung nach absolutem Gewicht.

gleicher Form die Sinkgeschwindigkeit proportional

$$\frac{G}{V^{1/3}} \quad \text{wird.}$$

Unter Voraussetzung des quadratischen Widerstandsgesetzes kann man in gleicher Weise die Querschnittsfläche F durch $\sqrt[3]{V^2}$ ersetzen. Für Körper gleicher Form ist die Sinkgeschwindigkeit dann nur von

$$\frac{G}{V^{2/3}} \quad \text{abhängig.}$$

Diese Formeln geben uns nun einen gewissen Einblick in das Wesen der Windsortierung, allerdings nur unter der Voraussetzung, dass es sich um Körper gleicher Form oder wenigstens gleicher mittlerer Form handelt. Wir betrachten hierzu Bild 1a bis e; als Abszisse ist jeweils das Volumen V , als Ordinate das Gewicht G aufgetragen. Das punktierte Gebiet sei das von einer bestimmten Kornsorte überdeckte Gebiet (Häufigkeitsverteilung); die Form dieses Gebietes beruht auf einer Vermutung²⁾. In Bild 1a sind Linien $V = \text{const}$ (Sortierung nach Volumen), in Bild 1e ebenso Linien $G = \text{const}$ (Sortierung nach absolutem Gewicht) eingetragen. Eine Sortierung nach dem spezifischen Gewicht

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

wird durch Linien $\gamma = \text{const}$ d.h. durch Strahlen durch den Nullpunkt dargestellt (Bild 1b). Die beiden Bilder 1c und 1d zeigen nun die Windsortierung für Körper gleicher Form nach den Linien

$$\frac{G}{V^{2/3}} = \text{const} \quad (\text{quadratisches Luftwiderstandsgesetz})$$

und

$$\frac{G}{V^{1/3}} = \text{const} \quad (\text{lineares Luftwiderstandsgesetz}).$$

In Bild 2 sind die Bilder 1a bis e vereinigt, und zwar in einer dimensionslosen Darstellung. Dabei bedeuten die Werte G_0, V_0, γ_0 ein beliebiges Tripel zusammengehöriger Werte. Praktisch wird man den diesem Tripel entsprechenden Punkt stets im Innern des Streugebietes einer Kornsorte wählen.

2) Eine experimentelle Ermittlung dieses Streugebietes wäre eine dankenswerte Aufgabe.

Es besteht heute noch keine volle Klarheit darüber, welche physikalische Grösse für ein Saatgut am wertvollsten ist und demnach bei der Sortierung am stärksten beachtet werden müsste. Über die Wichtigkeit des absoluten Gewichtes besteht kaum ein Zweifel [2, 3 u.a.]. Ob aber daneben auch ein hohes spezifisches Gewicht oder ein hohes Volumen zu fordern sind, bedarf noch der Klärung. Einen besseren Einblick in diese Verhältnisse wird man nur durch sorgfältige Bestimmung der Korrelationen zwischen den physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der Einzelkörner eines Saatgutes erhalten.

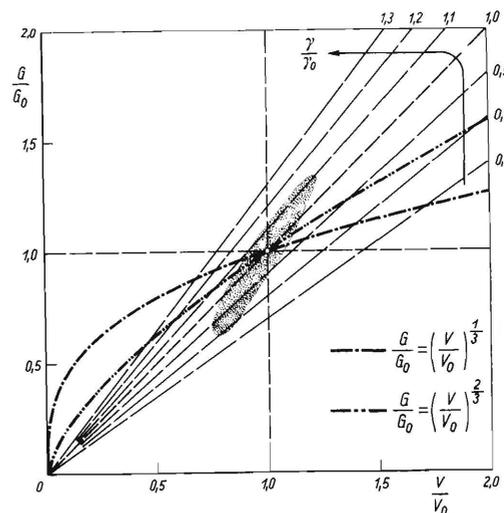


Bild 2. Dimensionslose Darstellung des Zusammenhanges zwischen Volumen V , absolutem Gewicht G und spezifischem Gewicht γ mit Angabe der Windsortierungslinien für Körper gleicher Form.

Aus Bild 1 und 2 erkennt man, dass die Windsortierung zwischen den Sortierungen nach absolutem Gewicht und nach spezifischem Gewicht liegt. Falls das lineare Widerstandsgesetz gültig ist, kann man die Windsortierung am ehesten der Sortierung nach absolutem Gewicht gleichsetzen. Gilt dagegen das quadratische Widerstandsgesetz, so sortiert der Wind am ehesten nach dem spezifischen Gewicht. Es darf hierbei aber nicht vergessen werden, dass

dieses Ergebnis nur für Körper gleicher Form oder gleicher mittlerer Form (also etwa für eine bestimmte Sorte Weizen, aber nicht für ein Gemisch aus Gerste und Hafer) gilt.

Will man die Verschiedenheit der Formen der zu sortierenden Teilchen (etwa Hafer, Wicke u.a.) in diese Betrachtung einschliessen, so kann man leider eine so einfache Übersicht wie Bild 1 nicht geben. Man muss sich dann damit begnügen, dass die Sinkgeschwindigkeit allgemein die für das Sortieren massgebliche Grösse ist.

Die Sinkgeschwindigkeit hat vor der „Schwerfälligkeit“ oder dem „Flugkoeffizienten“ den Vorzug grösserer Anschaulichkeit. Auch wer den Bewegungsablauf des durch einen Luftstrahl fallenden Kornes mathematisch-mechanisch nicht zu überschauen vermag, wird doch anschaulich einsehen können, dass die Geschwindigkeit, bei der das Gewicht und der Luftwiderstand im Gleichgewicht sind, eine für den Sortiervorgang massgebliche Grösse ist. Zwei Körner, die sich durch Gewicht, Grösse und Form irgendwie unterscheiden, die aber die gleiche Sinkgeschwindigkeit haben, lassen sich in einem Windsortiergerät nicht trennen. Je weiter die Sinkgeschwindigkeiten zweier Körper auseinander liegen, desto leichter ist ihre Trennung durch ein Windsortiergerät zu bewerkstelligen.

Bei der bisherigen Betrachtung haben wir jedem Getreidekorn eine Sinkgeschwindigkeit zugeordnet, d.h. wir haben die unsymmetrische Form, die die meisten Körner haben und die eine starke Abhängigkeit der Widerstandsbeizahl von der Anblaserichtung mit sich bringt, vernachlässigt. Unsere Überlegungen gelten also – streng genommen – nur für kugelförmige Körner. Da ein Getreidekorn aber stark von der Kugelform abweicht, hat es, aus verschiedenen Richtungen angeblasen, recht verschiedene Widerstandsbeizahlen und dementsprechend nicht nur eine Sinkgeschwindigkeit, sondern einen beträchtlichen Bereich möglicher Sinkgeschwindigkeiten. W. Brenner [4] hat festgestellt, dass Kleinst- und Grösstwert der sogenannten Widerstandsfläche $F_w = c_w F$ sich für das Weizenkorn wie 1 : 5 und für das Haferkorn sogar wie 1 : 9 verhalten. Wenn die Körner sich mit jedem beliebigen Anblasewinkel stabil durch die Luft bewegen könnten, müssten recht erhebliche Streuungen bei der Windsortierung auftreten. Die tatsächlich beobachteten Streuungen sind aber merklich geringer. Daraus darf man schliessen, dass die Körner auf ihrem Flugweg entweder um gewisse Mittellagen, die i.a. nicht mit den Extremlagen zusammenfallen, hin- und herpendeln oder aber sich in dauernder Drehung befinden. Die von Teuber [6] mitgeteilten Filmaufnahmen an fliegenden Körnern lassen sowohl Pendelungen als auch Drehungen erkennen. In beiden Fällen ergibt sich dann eine gewisse mittlere Sinkgeschwindigkeit für jedes Korn, die für die Windsortierung massgeblich ist.

Die Abweichung von der Kugelform bringt nicht nur eine Abhängigkeit der Widerstandsbeizahl von der Anblaserichtung mit sich, sondern auch zusätz-

liche Luftkräfte senkrecht zur Anblaserichtung und Drehmomente um alle Achsen. Die Drehmomente bilden die Ursache der bereits besprochenen Drehungen und Pendelungen, die ihrerseits wieder die relative Anblaserichtung und den Luftwiderstand beeinflussen. Die Auswirkung dieser Kräfte und Momente besteht also letzten Endes in einer zusätzlichen Streuung der Sortierergebnisse. Wenn diese Ergebnisse in einem guten Luftstrahl trotzdem befriedigend ausfallen, so darf man daraus wohl schliessen, dass alle Unsymmetrie-Einflüsse zusammengenommen doch das Hauptergebnis, nämlich die Sortierung nach der mittleren Sinkgeschwindigkeit, nur verhältnismässig wenig stören.

C. Versuchsergebnisse

Das Institut für Strömungsmechanik in Braunschweig, das Einrichtungen für die praktischen Sortierversuche zur Verfügung stellte, besitzt einen kleinen Windkanal Göttinger Bauart (geschlossene Rückführung). Der Messquerschnitt des Kanals ist i.a. kreisrund und hat einen Durchmesser von 1,2 m. Für die hier vorliegenden Versuche wurde eine Zusatzdüse von rechteckigem Querschnitt mit 0,60 m Breite und 1,00 m Höhe vorgebaut. Die benutzten Luftgeschwindigkeiten lagen zwischen 6 und 11 m/s; da so kleine Geschwindigkeiten sonst nicht benötigt werden, waren sie erst durch Vorschalten starker Widerstände in den Elektromotor erreichbar. Die örtlichen Schwankungen des Staudrucks über dem Messquerschnitt liegen etwa bei 1%, die zeitlichen Schwankungen infolge von Ungleichmässigkeiten des Versorgungsnetzes in der gleichen Grössenordnung und die Schwankungen der Blasrichtung bei 0,2°. Die Güte dieses Luftstrahles ist also sicherlich weit grösser als diejenige aller bisher ausgeführten Windfegen und Steigsichter.

Bild 3 zeigt eine schematische Skizze der Versuchsanordnung³⁾. Links sieht man die Düse, aus der

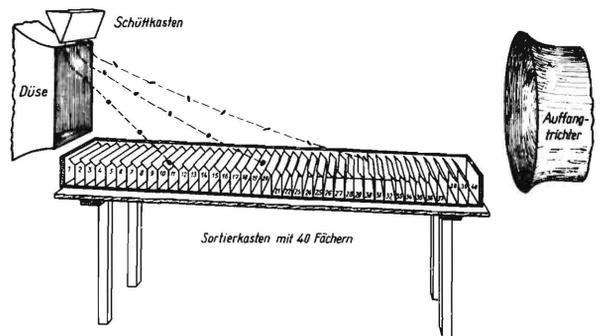


Bild 3. Versuchsanordnung für Sortierversuche mit Querwind.

der Luftstrahl austritt, rechts den Auffangtrichter, in dem der Luftstrahl wieder aufgefangen wird. Oberhalb der Düse ist ein kleiner Schüttkasten angebracht, aus dem die Körner in einem dünnen Schleier

3) Bei der Konstruktion der zusätzlichen Versuchseinrichtungen (Sortierkasten, Schüttkasten usw.) und bei den in diesem Bericht erwähnten Windkanal- und Fallversuchen leistete Dipl.-Ing. R. Thiel wertvolle Hilfe.

herausfallen; durch den Luftstrahl werden sie dann mehr oder weniger stark abgelenkt und fallen schliesslich in eines der 40 Fächer des Sortierkastens. Dieser ist 0,60 m breit und 2 m lang; jedes Fach hat also in der Flugrichtung der Körner eine Länge von 0,05 m. Nach jedem Versuch wird eine Seitenwand des Sortierkastens abgenommen und der Inhalt der Fächer einzeln in Tüten gepackt, sodass die weitere Auswertung später vorgenommen werden kann.

In einem Falle wurde durch nachträgliche Siebung auch der mittlere Durchmesser der Körner für einige Fächer bestimmt (vgl. Bild 11). Der hierfür erforderliche Zeitaufwand war jedoch so gross, dass in allen anderen Fällen auf die Bestimmung der Durchmesser verzichtet werden musste.

Eine Bestimmung der spezifischen Gewichte von Fach zu Fach wäre sehr erwünscht gewesen. Da

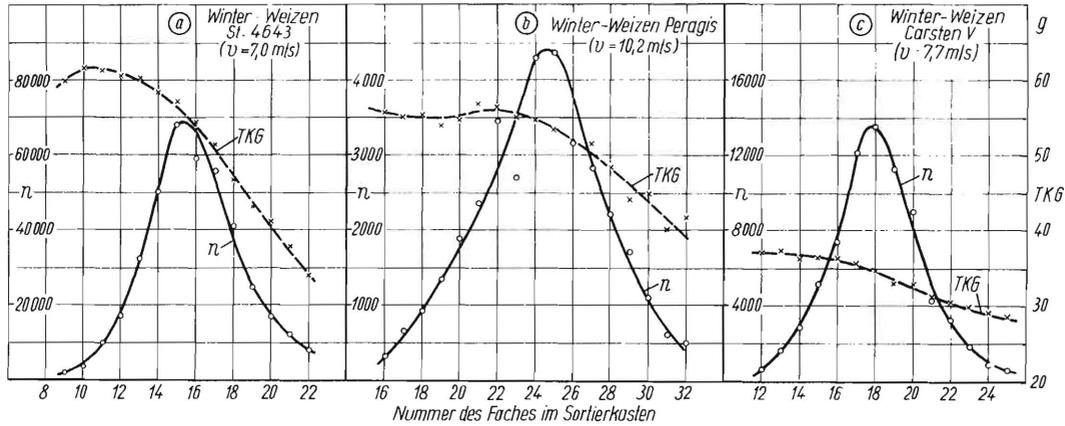


Bild 4. Sortierungsergebnis für drei verschiedene Weizensorten (bei den Tausendkorngewichten gilt der gleiche Masstab für a, b und c).

Die Auswertung bestand zunächst in einer Auszählung der Körner jedes einzelnen Faches. Lag diese Zahl weit über 1000, so wurden nur etwa 1000 Körner gezählt und die Gesamtzahl aus den Gewichtsverhältnissen errechnet. Ausserdem wurde für jedes Fach das Tausendkorngewicht bestimmt.

Die Darstellung der Ergebnisse in den Bildern 4 bis 9 zeigt je eine ausgezogene Kurve für die Körnerzahl (n) und eine gestrichelte Kurve für das Tausendkorngewicht (TKG). Es wäre aber falsch, aus dieser Darstellung den Schluss zu ziehen, dass das Tausendkorngewicht bzw. das Gewicht des einzelnen Kornes die für das Sortieren allein massgebliche Grösse ist. Das Tausendkorngewicht wurde einmal gewählt, weil es verhältnismässig leicht zu bestimmen ist, und zweitens, weil es auch für den Pflanzzüchter ein geläufiges Mass ist.

wegen der zu erwartenden geringen Unterschiede [vergl. 3] eine hohe Messgenauigkeit erforderlich ist, musste auch auf diese Messungen vorläufig ganz verzichtet werden. Mit Rücksicht auf die durch Bild 2 gegebenen Verhältnisse erscheint aber bei künftigen Sortierversuchen die Bestimmung der spezifischen Gewichte unerlässlich.

Die benutzte Windgeschwindigkeit v ist in den Bildern angegeben. Sie wurde jeweils so gewählt, dass das Maximum der Häufigkeitskurven ungefähr in den mittleren Fächern des Sortierkastens lag. Während eines Sortiervorganges muss die Geschwindigkeit selbstverständlich konstant gehalten werden; auf ihre Grösse kommt es aber nicht genau an. Mit wachsender Geschwindigkeit verschieben sich die Kurven im ganzen zu höheren Fachnummern hin.

Die Verteilungskurven (Anzahl n über der Fachnummer) in den Bildern 4 bis 9 zeigen alle einen der

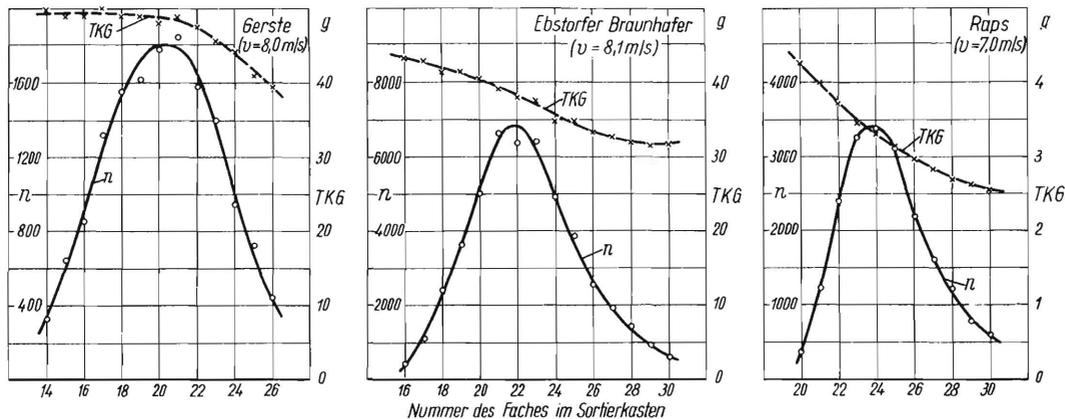


Bild 5 - 7. Sortierungsergebnis für Gerste, Braunhafer und Raps.

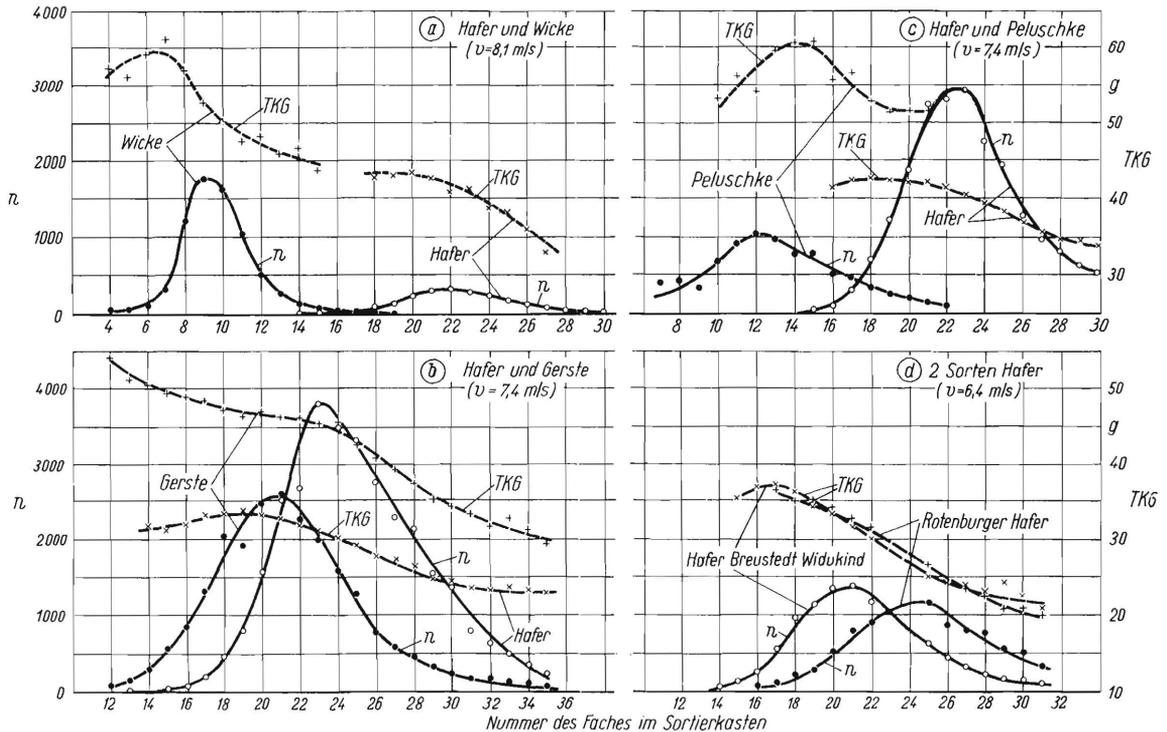


Bild 8. Sortierergebnis für verschiedene Körnermischungen (bei a und b ist die Entmischung gut, bei c und d schlecht).

Gauss'schen Normalkurve ähnlichen Verlauf. Unregelmässigkeiten dieser Kurven beruhen zum Teil auf dem Umstand, dass der Fächerabstand nicht überall genau 5,0 cm betrug, sondern Abweichungen zwischen 4,8 und 5,3 cm vorkamen; ausserdem war beim Umfüllen der Körner aus den Fächern in die Tüten eine gewisse Vermischung benachbarter Fächer, besonders wenn sie sehr voll waren, nicht immer vermeidbar. Dass die Verteilungskurven nach rechts hin langsamer auf Null absinken als nach links hin, ist sicherlich dadurch zu erklären, dass zahlreiche Körner aus dem Fach, in das sie zuerst gefallen sind, wieder herauspringen und sich mit dem Wind weiterbewegen, d.h. endgültig in Fächern höherer Nummer liegen bleiben. Dies gilt auch für die Körner, die genau auf die zwischen den Fächern befindlichen Blechstege auftreten. — Bei einem für die Praxis bestimmten Gerät würde man mit weniger Zwischenstegen auskommen als bei der vorliegenden Versuchsausführung. Ausserdem wäre dafür zu sorgen, dass die Körner nicht erst in den Fächern liegen bleiben, sondern gleich weiterrutschen und in Säcke abgefüllt werden. Das Herauspringen aus den Fächern würde dadurch wahrscheinlich fast ganz vermieden werden.

Die Kurven des Tausendkorngewichtes (TKG) in den Bildern 4 bis 9 zeigen i.a. eine von links nach rechts abfallende Tendenz. Bei der Zuckerrübe (Bild 9) und beim Raps (Bild 7) nimmt die Neigung der Kurven allmählich ab. Bei den Getreidekörnern (Bild 4, 5, 6 und 8) ist das Tausendkorngewicht i.a. links vom Maximum der Verteilungskurve nur wenig veränderlich, während die Kurven nach rechts hin deutlich abfallen. Auf der linken Seite ist meistens ein schwa-

ches Maximum unverkennbar. Der unregelmässige Verlauf bei Wicke und Peluschke (Bild 8a und 8b) hängt damit zusammen, dass ein hoher Anteil dieser Körner in zwei oder mehr Teile zerbrochen war und die einwandfreie Zählung daher Schwierigkeiten machte. Bei einer Wiederholung der Versuche müsste man das Tausendkorngewicht der unzerbrochenen und der zerbrochenen Körner für sich bestimmen.

Bild 8 zeigt die Ergebnisse einiger Versuche mit Mischungen verschiedener Körner. Danach lassen sich Hafer und Wicke sehr gut trennen, fast eben-

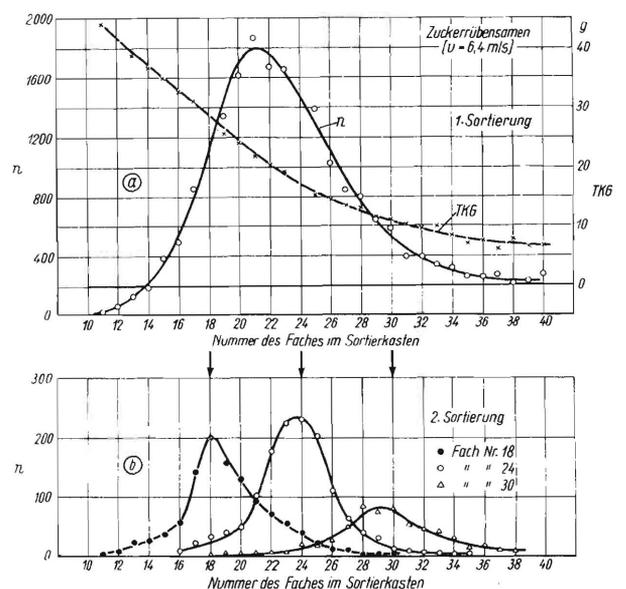


Bild 9. Sortierungsergebnis für Zuckerrübensamen.

so gut auch Hafer und Peluschke; dagegen ist die Trennung von Hafer und Gerste und ebenso diejenige von zwei verschiedenen Sorten Hafer recht schlecht. Trotzdem trat auch im letzten Falle noch eine gewisse Entmischung ein, die sich wegen der verschiedenen Farbe der beiden Hafersorten auch optisch schon bemerkbar machte. Durch mehrfache Wiederholung des Sortierversuches jeweils für die mittleren Fächer (bei Bild 8d also etwa für die Fächer 20 bis 27) könnte man die Entmischung noch verbessern.

Die schärfste Sortierung wurde bisher bei dem Zuckerrübensamen (Bild 9) festgestellt; die Tausendkorngewichte fallen in stetiger Kurve von 40 auf 7 g ab. Bild 10 gibt die Grösse und Form der Samen, wie sie aus einzelnen Fächern wahllos entnommen wurden, an. Das Bild zeigt auch, dass die Stengel sich je nach Grösse, Gewicht und Form auf die Fächer verteilen. Eine Reinigung des Rübensamens von den Stengeln tritt also nicht ein und muss auf andere Weise bewirkt werden. Selbstverständlich werden kleinere Stengelteile und auch der Abrieb von den Samen bei der Sortierung herausgeblasen.

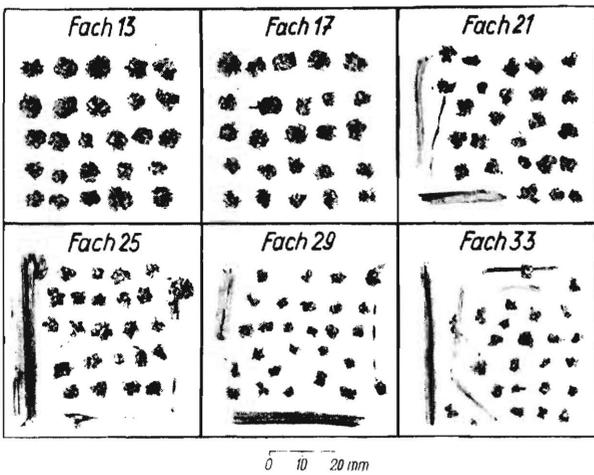


Bild 10. Vergleich einiger Zuckerrübensamen und -stengel aus verschiedenen Fächern.

In Bild 9b sind die Ergebnisse einer zweiten Sortierung aufgetragen. Die Samen, die bei der ersten Sortierung in den Fächern 18, 24 und 30 lagen, wurden noch einmal sortiert. Man sieht, wie die Ergebnisse um das alte Fach herum streuen.

Bild 11 zeigt das Ergebnis einer nachträglichen Siebung der Gerste von Bild 8c zur Feststellung der Korngrößen. Die Körner aus den Fächern 16 bis 25 wurden durch Siebe geschüttelt, deren Öffnungen eine Breite von 2,25, 2,5, 2,75, 3,0, 3,25 und 3,5 mm hatten. Für jedes Fach wurde daraus die prozentuale Verteilung auf die Durchmesser D bestimmt (Bild 11a) und daraus der mittlere Durchmesser \bar{D} für jedes Fach errechnet (Bild 11b). In Bild 11a sind der Übersichtlichkeit wegen nur die Ergebnisse für die geraden Fachnummern eingetragen. Der mittlere Durchmesser zeigt eine ähnliche Abhängigkeit von der Fachnummer wie das Tausendkorngewicht.

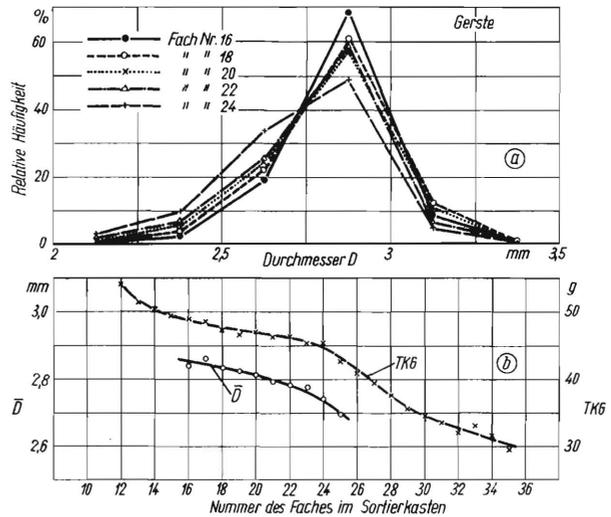


Bild 11. Ermittlung des Korndurchmessers und Vergleich mit dem Tausendkorngewicht.

Eine Reihe von einzelnen Körnern wurde einerseits im Windkanal mehrfach (zwecks Mittelbildung) fallen gelassen und andererseits im freien Fall zur Ermittlung der Sinkgeschwindigkeit untersucht. Da die Feststellung der Endgeschwindigkeit schwierig ist und zum Teil auch die dafür erforderliche Fallhöhe nicht zur Verfügung stand, wurde die Fallzeit für 5 m Höhe als ein Mass für die Sinkgeschwindigkeit gewählt. In Bild 12 ist die horizontale Ablenkung im Windkanal bei einer Geschwindigkeit von 8 m/s als Abszisse und die Fallzeit für 5 m Höhe als Ordinate aufgetragen. Abgesehen von der Streuung einiger Haferkörner ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen beiden Grössen unverkennbar. Es wäre erwünscht gewesen, für diesen Vergleich jedes Korn im Windkanal wie im freien Fall mindestens je 20 mal fallen zu lassen. Diese Absicht konnte nur in den seltensten Fällen durchgeführt werden, da die Körner gelegentlich während der Versuche beschädigt wurden und noch öfter überhaupt verloren gingen. Der Abstand zweier Körner auf der Kurve von Bild 12 ist ein Mass für die Trennmöglichkeit durch Windeinwirkung. Die Zahl der

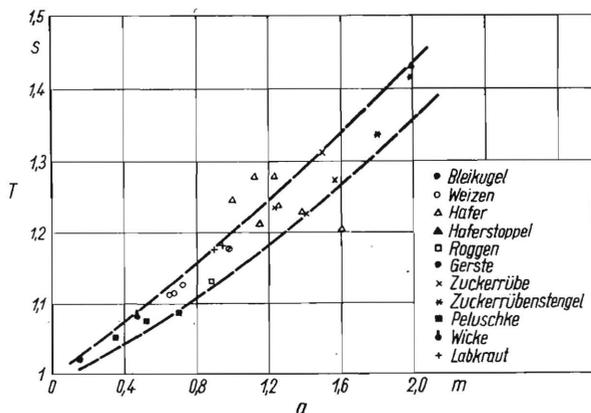


Bild 12. Gegenüberstellung der Ergebnisse von Windkanalversuch und Fallversuch. (a = horizontale Ablenkung im Windkanal bei $v = 8$ m/s, T = Fallzeit für 5 m Höhe).

bisher durchgeführten Vergleichsversuche ist jedoch noch nicht ausreichend.

Es muss betont werden, dass durch die Einwirkung des Windes eine restlose Reinigung des Saatgutes von Unkrautsamen, Stengeln und dergleichen nicht erzielt wird. Das gilt nicht nur für Zuckerrübensamen (Bild 10), sondern auch für alle Getreidesorten. Nach den oben mitgeteilten allgemeinen Überlegungen kann dies auch nicht erwartet werden, da es immer vorkommen kann, dass ein unerwünschtes Teilchen die gleiche Sinkgeschwindigkeit wie das wertvollste Korn hat. Man wird also wohl auch bei den Dreschmaschinen neben der Windreinigung und -sortierung noch mit zusätzlichen Sieben arbeiten müssen.

Im Hinblick auf den Ausgangspunkt der ganzen Untersuchung ist es natürlich noch notwendig, sorgfältige Vergleichsversuche zwischen einem guten Steigsichter und einem guten Waagerechtsichter durchzuführen. Diese Versuche befinden sich in Vorbereitung.

Es liegt auf der Hand, dass die letzte Entscheidung über den Wert der Windsortierung nur unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher Gesichtspunkte gefällt werden kann. Man darf aber wohl erwarten, dass die Verwendung eines sehr gleichmässigen Querwindes und die Unterteilung des Sortierkastens in zahlreiche Fächer für die grundsätzliche Weiterentwicklung der Windsortierung von Nutzen sein wird.

D. Zusammenfassung

Es werden die ersten Ergebnisse neuer Sortierversuche mit einem horizontalen Luftstrahl hoher Güte und bei sehr feiner Unterteilung des Sortierkastens mitgeteilt. Durch Bestimmung der Tausendkorngewichte der Körner in den einzelnen Sortierfächern erhält man ein – wenn auch nicht ganz befriedigendes – Mass für die Sortiergüte. Es erscheint nicht möglich, eine restlose Reinigung des Saatgutes nur durch Windeinwirkung zu erzielen. Wie weit sich die Ergebnisse für die Pflanzenzüchtung verwerten lassen, müssen zusätzliche biologische Untersuchungen erweisen. Vielleicht ergeben aber die hier mitgeteilten Versuchsergebnisse auch einen Anstoss zur Weiterentwicklung der alten Windfegen, die durch die Steigsichter fast ganz verdrängt sind.

E. Schrifttum

- [1] *Wolfenstein, O.*: Über das Sortieren von Saatgut. Diss. Göttingen 1875. Journ. f. Landwirtschaft 25 (1875).
- [2] *Rümker, K.v.*: Rationelle Getreidesortierung und ihre modernen Hilfsmittel. Frühling Landw. Ztg. 47 (1898) S. 307 und 323.
- [3] *Klopfer, L.*: Über die maschinelle Aufbereitung von Getreide-Saatgut. Diss. Hannover 1915.
- [4] *Brenner, W.*: Beiträge zur Kenntnis des Sortier-Vorganges bei der Sichtung von Saatgetreide durch Windströme. RKTL-Schriften H. 2, 1928.
- [5] *Wörmann-Weber, E.*: Die physikalischen und mechanischen Grundlagen der Reinigung und Sortierung von Getreide und Sämereien unter gleichzeitiger Benutzung von Wind und Schwere. Z. techn. Phys. 9 (1928) S. 350.
- [6] *Teuber, F.Th.*: Untersuchung der Getreidesortierung mittels Windfege. Diss. Stuttgart 1931.
- [7] *Hertzberg, H.*: Beitrag zur Ermittlung der Sortierschärfe bei horizontaler Windsortierung. Diss. Halle 1931.
- [8] *Fischer, W.E.*: Prüfung einer Windfege mit Steigsichter. Mitt. Max-Eyth-Ges. (1932) Nr. 2. In: Techn. i. d. Landw. 13 (1932).
- [9] *Fischer, G.*: Prüfung der Getreidereinigungsanlage „Stahlneusaat“. Mitt. Dtsch. Landw. Ges. 48 (1933) Stück 9, S. 176.
- [10] *Kühne, G.*: Handbuch der Landmaschinentechnik. Bd. 2. Berlin 1934. S. 233 ff.: Maschinen zur Reinigung und Sichtung von Körnern.
- [11] *Fischer, W.E.*: Windfege oder Saatgutreiniger? Ein Wort zu ihren Anwendungsbereichen. Techn. i. d. Landw. 16 (1935) S. 251.
- [12] *Fischer, W.E.*: Prüfung des Saatgutbereiters „Stahlneusaat 10“. Mitt. Max-Eyth-Ges. (1935) Nr. 4. In: Techn. i. d. Landw. 16 (1935).
- [13] *Stümpfig, F.*: Prüfung von Saatreinigungsmaschinen. RKTL-Schriften H. 68, 1936.
- [14] *Vogt, L.*: Beitrag zur Körner-Sortierung mittels Steigwind. Diss. Stuttgart 1943.
- [15] *Blenk, H.*: Über die Sortierung durch Luftkräfte. Abh. Braunsch. Wiss. Ges. I (1949) Nr. 1, S. 76.
- [16] *Thielebein, M.*: Keimfähigkeit und Triebkraft eines durch gleichmässigen Querwind gesichteten Saatgutes. Dieses Heft S. 13 bis 16.

(Eingegangen am 2. 1. 1950)

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Hermann Blenk, (20b) Braunschweig, Forschungsanstalt für Landwirtschaft