

Erfahrungen und Möglichkeiten des Zählens von Samenkörnern mit Hilfe elektrischer Aufnehmer

Von **Manfred Eimer**, Göttingen

Mitteilung aus dem Landmaschineninstitut der Universität Göttingen¹⁾

Das allgemein übliche manuelle Zählen von Samenkörnern bei der Pflanzenzüchtung und Saatguterzeugung ist sehr zeitraubend. Die neuentwickelten Körnerzählgeräte sind für einen universellen Einsatz hinsichtlich Anwendungsbereich, Handhabung, Fassungsvermögen u. dgl. noch nicht geeignet. Es werden die technischen Prinzipien des Förderns und Zählens der Körner untersucht und Anforderungen, die an die Geräte zu stellen sind, zusammengestellt. Zur Zeit erfüllt der Wendelschwingförderer die Aufgabe des Förderns und Aufreihens der Körner am besten. Die verschiedenen elektrischen Aufnehmer werden hinsichtlich Zählleistung und -genauigkeit untersucht. Darüber hinaus wird an einem Beispiel gezeigt, daß auch eine Größenklassierung der Körner mit solchen Aufnehmern möglich erscheint.

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Körnerzählen von Hand
- 3 Körnerzählgeräte und ihr Aufbau
- 4 Fördereinrichtung
- 5 Elektrische Aufnehmer und Zählrichtungen
- 6 Leistung und Grenzen der Körnerzählgeräte
- 7 Das Klassieren als weiterer Bewertungsmaßstab von Kornproben mit Hilfe elektrischer Aufnehmer
- 8 Zusammenfassung
- 9 Schrifttum

1 Einleitung

Im Bereich der Pflanzenzüchtung und Saatguterzeugung gehört das Wiegen und Auszählen des Erntegutes und des Probematerials zu den am häufigsten anfallenden und wiederkehrenden Arbeiten. Für die Gewichtsbestimmung stehen heute mehrere Bauformen elektrischer, selbstanzeigender Waagen zur Auswahl, die gegebenenfalls das Gewicht registrieren oder auch für eine spätere Datenverarbeitung ausgeben. Das Zählen muß dagegen heute noch meistens von Hand durchgeführt werden. Diesen Arbeitsgang in seinen verschiedenen Anwendungsbereichen zu mechanisieren und weitere daraus resultierende Möglichkeiten zu untersuchen, wurde von *M. Lein*²⁾ angeregt.

Beim Zählen von Körnern unterscheidet man zwischen dem Abzählen einer bestimmten Körnerzahl aus einer größeren Menge und dem Auszählen der gesamten Probe. Das Abzählen von bestimmten Körnermengen bildet die Grundlage zur Durchführung der Keimfähigkeits- und Triebkraftbestimmung sowie zur Ermittlung des Tausendkorngewichtes und der Saatgut-

mengen für die Aussaat auf kleinen Flächen. Bei der Feststellung des Ertrages von einzelnen Fruchtständen wie Ähre, Kolben, Schote oder Kapsel wird die gesamte Probe ausgezählt.

2 Körnerzählen von Hand

Beim Zählen von Kornproben und Abzählen bestimmter Kornzahlen für die verschiedenen Zwecke von Hand hat sich weitgehend die von *Zimmermann* [15] beschriebene Zählmethode durchgesetzt. Dazu werden die Körner auf einer ebenen Unterlage in dünner Schicht ausgebreitet und mit Hilfe eines Spatels portionsweise abgenommen. Bei einiger Übung lassen sich 5 Körner gut übersehen, die, ohne sie eigentlich selbst abzählen, in Portionen gezählt werden. Aufgrund dieser Zählmethode haben sich für Kleinversuche in der Pflanzenzüchtung Proben mit Kornzahlen, die ein Vielfaches der Zahl 5 betragen, eingeführt, wie z. B. 20, 25 oder 30 Körner für Ährenelitenachkommenschaften und 30, 40 oder 50 Körner für Einzelpflanzenachkommenschaften (A-Stämme). Beim Zählen größerer Kornzahlen sind mit dem Erreichen der 20. Portion 100 Körner beieinander, die beiseite geschoben werden, und es wird dann mit den nächsten 100 begonnen.

Um Zählfehler bei diesen größeren Proben zu vermeiden, entwickelte *Browne* [1] ein Gerät, das erlaubt, die Anzahl der abgetrennten Kornportionen durch Betätigung eines Kontaktes am Zählspatel mit Hilfe einer elektrischen Zählvorrichtung festzuhalten. Dieses Gerät nimmt dem Menschen zwar das Zählen ab, führt aber wegen der noch durchzuführenden Abtrennung der Portionen von Hand, kaum zu nennenswertem Zeitgewinn. Für das exakte manuelle Zählen von Getreideproben mit 1000 Körnern sind im Mittel 12 bis 15 min erforderlich [11; 15]. Pflanzenzüchter und Institute berichten, daß Tagesleistungen von 50 000 Körnern von einer guten Arbeitskraft erreicht werden können. Um in der Pflanzenzüchtung das Probematerial mit den zur Verfügung stehenden Arbeitskräften bewältigen zu können, begnügt man sich häufig bei der Ermittlung des Tausendkorngewichtes statt der in Deutschland amtlich vorgeschriebenen 2×500 Körner [7] mit dem Abzählen von $3 \times$ oder 4×100 Körnern [8]. Bei dieser verkürzten Bestimmung des Tausendkorngewichtes werden die amtlichen Richtlinien eingehalten, nach denen eine Toleranz von 6% für Saatgut mit einem Tausendkorngewicht $m_{TK} > 25$ g und 10% für $m_{TK} < 25$ g zwischen der schwersten und der leichtesten Probe bezogen auf den Probemittelwert zulässig ist.

3 Körnerzählgeräte und ihr Aufbau

In den letzten Jahren sind für das Zählen von Samenkörnern im In- und Ausland mehrere Geräte entwickelt worden [6; 9 bis 12; 14; 16]. Obwohl der prinzipielle Aufbau dieser Geräte nahezu der gleiche ist, wurde bei der Entwicklung von verschiedenen Aufgabenstellungen ausgegangen und unterschiedliche elektrische Meßverfahren zur Körnerzählung angewendet. Der grundsätzliche Aufbau eines Körnerzählgerätes ist als Blockschaltbild in **Bild 1** dargestellt. Die Samenkörner werden in den Behälter der Fördereinrichtungen gefüllt, bei denen es

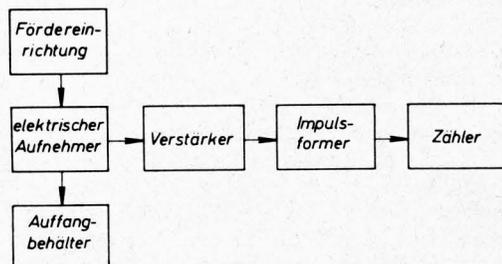


Bild 1. Blockschaltbild eines Körnerzählgerätes.

Dipl.-Ing. Manfred Eimer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Landmaschineninstitut (Direktor: Prof. Dr.-Ing. Franz Wieneke) der Universität Göttingen.

¹⁾ Vorgetragen auf der 2. Internationalen Konferenz über die Mechanisierung des Feldversuchswesens in Braunschweig am 2. Juli 1968.

²⁾ Dr. agr. *Martin Lein* war seinerzeit Leiter des Referates „Mechanisierung des Feldversuchswesens“ am Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode. Der Verfasser dankt auch an dieser Stelle Dr. *Lein* für die erhaltenen Anregungen und praktischen Hinweise zu diesen Untersuchungen.

Tafel 1. Angaben über die verschiedenen Körnerzählgeräte.

| Nr. | Körnerzählgerät | geeignet für | Förderer | Meßverfahren | Zähleinrichtung | Zählgeschwindigkeit | Zählfehler |
|-----|--|--|--|------------------------------|------------------------------------|--|--------------|
| 1 | <i>Pfeifer, Bergman und Sparks</i> [14] 1956 | Flachs bis Mais | Schwingrinne mit Rutsche | photoelektrisch | elektromagnetisch | 100 Körner/40 s | 0,4% |
| 2 | <i>Goulden und Mason</i> [6] 1958 | Flachs bis Gerste | kurzer Wendelschwingförderer mit Fallschacht | piezoelektrisch mit Membran | elektromagnetisch | 300 Weizenkörner/min 200 Haferkörner/min | |
| 3 | <i>Kristi</i> [10] 1961 | Getreide und Leguminosen | kurzer Wendelschwingförderer | piezoelektrisch | elektromagnetisch | 1000 Weizenkörner/5 min | 0,5% |
| 4 | <i>Kramer und Decker</i> [9] 1962 | Leguminosen Erdnüsse große Baumsamen | kurzer Wendelschwingförderer mit Rutsche | photoelektrisch | elektromagnetisch (25 Hz) | 4,9 bis 6,3 Erdnüsse/s | 0,01% |
| 5 | Inst. f. Landmaschinenforschung d. FAL [16] 1965 | Rotklee bis Getreide | kurzer Wendelschwingförderer mit Fallrohr | elektrodynamisch mit Membran | elektromagnetisch (40 Hz) | Weizen: 8,5 Körner/s Hafer: 5,5 Körner/s (bei 500 Körnern) | 0,3% 0,2% |
| 6 | <i>Lau und Müller</i> [11] 1966 | Getreide | kurzer Wendelschwingförderer und Förderband | photoelektrisch | elektronisch mit Abzähleinrichtung | 1000 Weizenkörner in 2 bis 2,5 min 1000 Haferkörner in 4 min | 0,1% 0,5% |

sich heute ausschließlich um Schwingförderer handelt, die die Aufgabe haben, die Körner hintereinander aufzureihen, zu einem Fallschacht oder Fallrohr zu fördern und dort abzuwerfen. Während des Fallens durchlaufen die Körner eine Meßebe oder prallen am Ende der Fallstrecke auf einen Aufnehmer. Die gezählten Körner werden in einem Auffangbehälter gesammelt. Der Meßwertaufnehmer registriert jedes Korn durch die Abgabe eines Impulses, der für das Zählen in der Regel verstärkt werden muß. Zur Auslösung eines Zählvorganges sind für die verschiedenen Zählerbauarten Impulse von bestimmter Höhe (Spannung) und Dauer (Zeit) erforderlich. Es ist daher meist unumgänglich, vor den Zähler einen Impulsformer, in manchen Fällen auch noch einen weiteren Verstärker zu schalten.

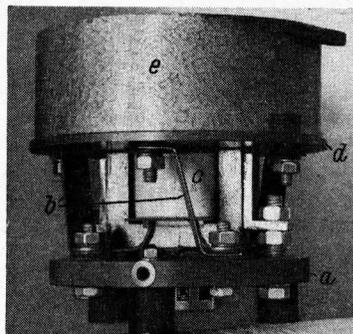
In **Tafel 1** sind die wichtigsten Daten der bekannten Körnerzählgeräte zusammengestellt. Diese Geräte haben je nach Größe gegenüber dem Handzählen die doppelte bis fünffache Leistung. Der tatsächliche Gewinn ist aber größer, da während der Arbeitszeit des Gerätes Proben gewogen und einsortiert werden können. Trotzdem erfüllen alle diese Geräte noch nicht die an sie gestellten Anforderungen hinsichtlich des Einsatzbereiches, der auszuführenden Arbeiten, der einfachen Bedienbarkeit und Wartung, der Unempfindlichkeit gegen Stöße und Staub, der Beweglichkeit und des Anschaffungspreises. Um die Möglichkeiten, die das mechanisierte Körnerzählen bietet, und damit auch Umfang, Ausstattung, Einsatzmöglichkeiten und Preis eines Körnerzählgerätes für den universellen praktischen Einsatz zu umreißen, ist es unumgänglich, auf die bei den Untersuchungen des Förderns und Zählens gemachten Erfahrungen näher einzugehen und auf grundlegende Zusammenhänge hinzuweisen.

Ähnliche Zählaufgaben galt es bei der meßtechnischen Erfassung der von Sägeräten ausgebrachten Samenkörner [2; 3; 13; 17] und der elektrischen Körnerverlustmessung an Mähdreschern [4; 5] zu lösen. Hierfür wurden die gleichen elektrischen Aufnehmer, wie sie auch bei Körnerzählgeräten eingebaut werden, mit Erfolg eingesetzt.

4 Fördereinrichtung

Wie aus **Tafel 1** zu ersehen ist, besorgen ausschließlich Schwingförderer das Fördern und Hintereinanderaufreihen der Samenkörner. Besonders die kompakte Bauweise des kurzen Wendelschwingförderers mit elektromagnetischem Antrieb, die als Zuführgeräte für Fertigungs- und Montageautomaten in vielfältigen Ausführungen gebaut werden, kommt den Anforderungen für den Einbau in ein Körnerzählgerät sehr entgegen. Die Arbeitsweise dieser Förderer, **Bild 2**, beruht darauf, daß der Träger *d* des Fördertopfes häufig das auf einstellbaren Stahlbandfedern *b* abgestützte Joch für einen Elektromagneten *c* bildet. Wird die Spule mit Wechselstrom von in Deutschland üblichen 50 Hz erregt, so führt das Joch mit Fördertopf Schwingungen auf einer schraubenförmigen Bahn von 100 Hz bei sehr geringer Amplitude aus. Diese Schwingungen bewirken, daß sich eine eingefüllte Körnerprobe in kreisende Bewegung

setzt und die auf der Innenwand des Fördertopfes angebrachte Wendel hinaufwandert, **Bild 3**; dabei beginnen sich die Körner hintereinander einzureihen. Die gewünschte Anordnung der Körner wird vor der Abwurfstelle durch entsprechende Einbauten, wie Abstreifer oder Abwurfslitz, **Bild 3**, erzielt.



a Grundplatte
b Stahlbandfedern
c Elektromagnet
d Träger des Fördertopfes
e Fördertopf

Bild 2. Seitenansicht eines kurzen Wendelschwingförderers ohne Schutzhaube über dem Antrieb.

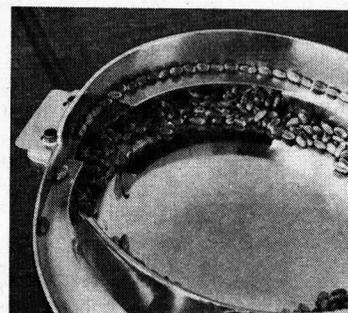


Bild 3. Verstellbarer Fallschlitz an einem Wendelschwingförderer.

Es ist vorteilhaft, den Auslauf hinter diesen Einbauten mit leichtem Gefälle auszuführen, da dies ein Auseinanderziehen der Körner noch vor der Abwurfstelle bewirkt. Ein weiteres Auseinanderziehen wird durch einen stark geneigten Fallschacht oder Fallrohr erreicht, so daß die räumliche Trennung der Körner gewährleistet ist. Der elektrische Aufnehmer wird im allgemeinen nach einer Fallstrecke von 5 bis 15 cm angeordnet. Beträgt die Abwurfzeit zwischen zwei Körnern nur 1 ms, so führt dies, wenn man den „freien Fall“ voraussetzt, zu einem Abstand von fast 5 cm zwischen den Körnern. Die Fallschächte werden mit Neigungen zwischen 45° und 60° gegenüber der Horizontalen ausgeführt, da eine Führung erwünscht ist, die vor allem bei länglichen Körnern einem Überschlagen entgegenwirkt. *Lau und Müller* [11] schalten hinter den Wendelschwingförderer ein Förderband, das mit 30 bis 40 cm/s umläuft, um das Auseinanderziehen der Körner zu unterstützen. Da sie ihre Untersuchungen bisher auf Getreide beschränkten, ist abzuwarten, ob beim Zählen von kleinen und vor allem runden Samen die gleiche Arbeitsqualität erreicht wird.

Die Anforderungen, die an einen Wendelschwingförderer gestellt werden sollten, sind:

1. schnelle und lückenlose Förderung auch der letzten Körner,
2. keine Stellen, an denen sich Körner festsetzen können (wie z. B. unter dem Wendelanfang),
3. stufenlos regelbare Fördergeschwindigkeit,
4. Eignung für mehrere Samenarten, möglichst verwendbar für Körner der Größenordnung von Rotklee bis Mais,
5. auf die Samenarten abgestimmte und verstellbare Einbauten, die das Hintereinanderreihen der Körner gewährleisten,
6. ausreichendes Fassungsvermögen des Fördertopfes und
7. Schnellentleerung zur Einsparung von Verlustzeiten beim Übergang auf eine andere Probe.

Für ein schnelles und restloses Leerlaufen des Fördertopfes wirkt es sich günstig aus, wenn die bei geringer Füllung von den Einbauten abgestreiften Körner auf einen schwach kegeligen Boden fallen, nach wenigen Schwingungen bereits wieder an der Innenwand entlang wandern und sich kurz vor dem Wendelanfang befinden. Nach möglichst kurzer Förderzeit sollte das Korn dann wieder bei den ausrichtenden Einbauten angekommen sein, was bedeutet, daß die Wendel nur zwei Drittel bis drei Viertel des Topfumfanges ausmachen dürfte. Die Wendelsteigung darf für Samenkörner nur gering sein und sollte nicht mehr als ein Zehntel des Topfdurchmessers betragen. *Goulden und Mason* [6] empfehlen, den Fördertopf wegen der günstigen Reibungsbedingungen aus einer Aluminiumlegierung herzustellen.

Außerdem sollte der Fördertopf, mit dem Rotklee bis Mais gefördert werden kann, mindestens ein Füllvolumen von 250 cm³ aufweisen, was etwa 500 Maiskörnern entspricht. Dies bedingt Fördertöpfe von 150 bis 180 mm Durchmesser, die sich noch in einem leicht transportablen Körnerzählgerät unterbringen lassen.

5 Elektrische Aufnehmer und Zählleinrichtungen

Die elektrische Erfassung eines fallenden Samenkornes kann grundsätzlich auf zweierlei Weise vorgenommen werden, die durch verschiedene physikalische Meßverfahren realisierbar sind:

1. Störung eines stationären Zustandes durch das Samenkorn:
 - a) Lichtquelle — Photoelement (photoelektrisch),
 - b) Ultraschallsender und -empfänger (elektroakustisch),
 - c) elektrostatisches Feld (Änderung der Dielektrizität);
2. Ausnutzung der kinetischen Energie des Samenkornes durch Aufprall auf
 - a) Membran mit elektrodynamischen System (Kopfhörer), Membran mit elektrostatischem System (Kondensatormikrophon) und Membran mit piezoelektrischem System (Kristallmikrophon);
 - b) elektrische Körperschallgeber.

In der Querschnittsebene eines Fallschachtes läßt sich gut eine Meßebeane errichten, die ein vom Förderer zugeführtes Korn durchteilen muß. Die photoelektrische Meßmethode mittels Lichtquelle — Photoelement wird zum Körnerzählen am häufigsten angewandt [9; 11; 14], da die erforderlichen Bauelemente in vielen Ausführungen erhältlich und die dazu weiter noch erforderlichen digitalen Halbleiterschaltungen leicht herzustellen sind. Photoelektrisch lassen sich Kornfolgen hoher Frequenzen erfassen, sofern der räumliche Abstand zwischen den Körnern größer als die Breite des Lichtstrahles ist. Ein gewichtiger Nachteil dieser Meßmethode ist, daß im praktischen Betrieb Lichtquelle und Photoelement schnell verstauben können und damit die Meßeinrichtung ausfällt. Lichtquelle und Photoelement müssen wegen der Verstaubungsgefahr bei Körnerzählgeräten gut zugänglich angeordnet sein, um tägliches Reinigen ohne großen Zeitaufwand zu ermöglichen.

Die elektroakustische Meßmethode wurde bisher für das Zählen von Samenkörnern noch nicht erprobt, da vor wenigen Jahren keine billigen, kleinen und in ihrer Anwendung einfachen Bausätze zur Verfügung standen. Ein unbedingter Vorteil dieses Meßverfahrens ist es, daß man an schwierig zugänglichen

Stellen den Ultraschall mit Schläuchen hinleiten und den Schallstrahl durch Ausbildung der Austritts- und Eintrittsöffnung in seinem Querschnitt formen sowie dabei noch hohe Schaltungsgenauigkeiten erreichen kann. Eine solche Meßanlage ist gegenüber der Ablagerung von Staub, dem Einfall von Licht oder der Einwirkung von Luft- und Körperschall unempfindlich, da die Eigenschallfrequenz weit über dem Bereich des üblichen Schall- und Schwingungsspektrums liegt; sie erfüllt somit mehrere grundlegende Anforderungen für den Einsatz in der Praxis. Darüber hinaus läßt diese Meßmethode es auch zu, hohe Zählgeschwindigkeiten zu realisieren.

Durch Messung der Dielektrizitätsänderung sind fallende Körner prinzipiell meßbar. Wegen der geringen Größe und Masse von Samenkörnern ist der erforderliche meßtechnische Aufwand noch recht hoch, so daß sich eine praktische Anwendung für das Körnerzählen noch nicht abzeichnet.

Mit den Aufnehmern der Gruppe 1 a bis 1 c lassen sich weitaus höhere Zählgeschwindigkeiten erreichen als ein Förderer Körner zuführen kann. An die Gleichmäßigkeit der Kornfolge brauchen daher keine besonderen Anforderungen gestellt zu werden, außer der, daß die Körner räumlich voneinander auf den für die Zählung erforderlichen Mindestabstand getrennt sein müssen. Nachteilig ist aber, daß Verunreinigungen einer Samenprobe, die annähernd von gleicher Größenordnung wie die zu zählenden Körner sind, z. B. Spelzen, bei Anwendung dieser Meßmethoden mitgezählt werden.

Das Zählen von vor allem leichteren Samenkörnern durch Abgabe der kinetischen Energie beim Aufprall auf den elektrischen Aufnehmer erfordert nach der Abwurfstelle des Förderers größere Fallstrecken als bei den oben beschriebenen Meßverfahren. Der Aufnehmer wird gewöhnlich am Ende des Fallrohrs angeordnet, und zwar so, daß das Korn möglichst unter einem Winkel von mindestens 45° auftrifft und, ohne den Aufnehmer nochmals zu berühren, in den Auffangbehälter fällt. Unabhängig von physikalischen Meßverfahren ist bei den Meßgliedern mit Membran diese Membran ein schwingungsfähiges Bauteil, das nach einmaliger Auslenkung das Bild einer gedämpften Schwingung zeigt, **Bild 4**. Das Ausschwingen kann zusätzlich durch eine zum Aufnehmer parallelgeschaltete Diode und mechanisch durch einen halbhartem An-

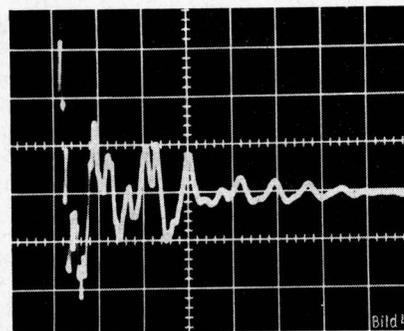


Bild 4. Oszillogramm von einem Aufprall eines Roggenkornes auf ein Mikrophon.

vertikal: 1 Einheit \approx 0,5 V
horizontal: 1 Einheit \approx 1 ms

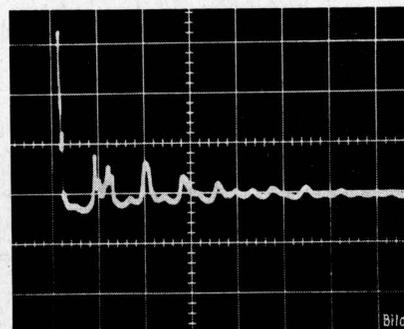


Bild 5. Oszillogramm von einem Aufprall eines Roggenkornes auf ein Mikrophon mit zusätzlicher mechanischer und elektrischer Dämpfung.

vertikal: 1 Einheit \approx 0,5 V
horizontal: 1 Einheit \approx 1 ms

schlag verkürzt werden, der die Membran nach einer Auslenkung beim Zurückschwingen über ihre Ruhelage hinaus abbremsst. **Bild 5** zeigt ein solch gedämpftes Ausschwingen, bei dem die Membran gegenüber der ungedämpften in der halben Zeit zur Ruhe kommt. Bei länglichen Körnern kann ein Doppelaufprall eines Kornes auftreten. Das ist der Fall, wenn ein Korn zuerst mit einer Spitze unter einem Winkel von $\leq 30^\circ$ auftrifft, sich dann dreht und mit dem Mehlkörper erneut einen Aufprall verursacht, **Bild 6**. Diese Tatsache stellten auch *Goulden* und *Mason* [6] an einem piezoelektrischen Geber mit Membran fest. Das längste Zeitintervall, das zwischen den beiden Aufprallen verstreichen kann, wurde bei Getreide mit 8 ms gemessen. Dieser zweite auftretende Impuls muß durch die nachfolgenden Schaltkreise eliminiert werden.

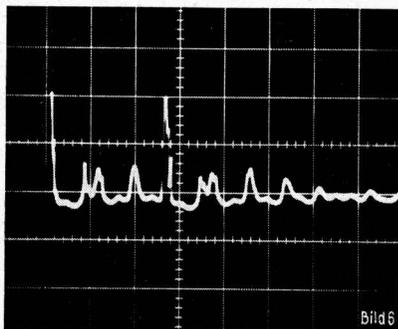


Bild 6. Oszillogramm von einem Doppelaufprall eines Roggenkornes auf ein Mikrophon mit zusätzlicher Dämpfung.

vertikal: 1 Einheit $\approx 0,5$ V
horizontal: 1 Einheit ≈ 1 ms

Trotz der einschränkenden Tatsachen lassen sich mit dem einfachsten Geber dieser Art, einem Kopfhörer (2 k Ω), elektrisch gut verwertbare Impulsfolgen aufnehmen. Die in einem Kopfhörer induzierten Spannungsspitzen beim Aufprall verschiedener Samenkörner sind in **Bild 7** zusammengestellt. Bereits die Spannungen, die beim Aufprall von Senfkörnern gemessen werden, liegen ein Mehrfaches höher, als die mit Luftschall ertragbarer Intensität erreicht würden. Das Mischkollektiv für den Aufprall von Erbsen hat seine Ursache darin, daß Körner sowohl auf die Membran als auch auf den die Membran haltenden Stelling fielen, wobei noch Spannungen mit beachtlicher Höhe induziert wurden. Diese Meßergebnisse zeigen, daß neben Gebern mit Membran auch Körperschallgeber mit kleiner Eigenmasse zum Zählen von Mais, Leguminosen und Getreide vielleicht auch noch kleineren Samenkörnern geeignet sind. Mit dem einfachen Aufnehmer, dem Kopfhörer, wurden in der Praxis mit Erfolg Samenkörner von Futterpflanzen bis herunter zu Rotklee gezählt. Beim Zählen von Mohn stört der Luftschall das Arbeiten des Gerätes beträchtlich, so daß Samen, die kleiner als Rotklee sind, vermutlich nicht mit Gebern dieser Art zu erfassen sein werden.

Ein für die Praxis hoch einzuschätzender Vorteil ist es, daß mit allen Zählgeräten, die die kinetische Energie eines Kornes zum Zählen ausnutzen, es möglich ist, vorkommende Verunreinigungen in einer Probe, wie Staub, Spelzen, Grannenteile

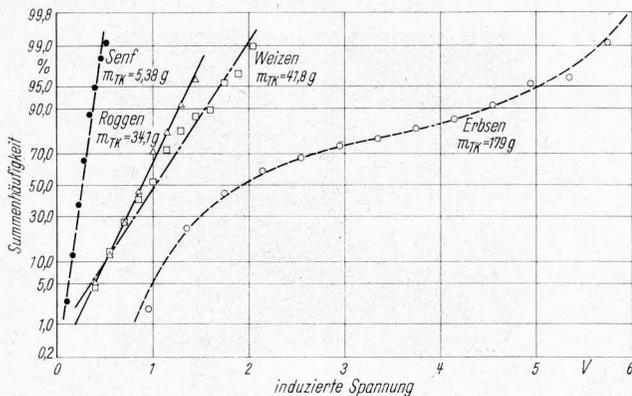


Bild 7. Summenhäufigkeit der in einem Kopfhörer induzierten Spannungsspitzen beim Aufprall von Samenkörnern.

m_{TK} Tausendkorngewicht

und Samen von Fremdbesatz kleinerer Masse als die zu zählenden Samenkörner, und auch kleine Körnerbruchteile durch eine entsprechende Empfindlichkeitseinstellung von der Zählung zu eliminieren. Hinsichtlich der Kontinuität des Förderstromes stellen die Aufnehmer dieser Zählgeräte aber höhere Anforderungen als die der ersten Gruppe, da weitaus längere Zeitintervalle eingehalten werden müssen, um das Ausschwingen der Membran oder der Geber zu gewährleisten sowie Doppelaufpralle von der Zählung auszuschließen.

Die zum Verstärken und Formen der Impulse erforderlichen elektrischen Schaltungen werden heute in der Regel mit Halbleitern bestückt, wenn nicht bereits aus fertigen Bausteinen aufgebaut. Es empfiehlt sich, die Eingangsverstärkungsstufe mit Aufnehmer temperaturkompensiert auszuführen, um den Einsatz von Körnerzählgeräten im Labor und Lager sicherzustellen. Das Netzteil für die Zählrichtung sollte mit einer Spannungsregelungsschaltung versehen werden, um von Spannungsschwankungen unabhängig zu sein.

Zum Registrieren der Zählergebnisse stehen elektromagnetische Zähler und elektronische Zählaltungen mit Zifferglühmöhren zur Auswahl. Für die verschiedenen Zählaufgaben dürften Zähler mit vier Dekaden ausreichen. Mit elektromagnetischen Zählern können bis zu 50 Impulse/s erfaßt werden, in Sonderbauarten auch bis zu 100 Impulse/s. Ein solcher Zähler begrenzt durch die für einen Schaltvorgang erforderliche Zeit — bei einem 50-Hz-Zähler sind dies 20 ms — die Zählgeschwindigkeit des Körnerzählgerätes, wobei die kürzeste vorkommende Kornfolge im Förderstrom zugrunde gelegt werden muß. Mit den weit teureren elektronischen Zählern sind sehr hohe Zählgeschwindigkeiten zu erreichen. Bisher erlauben es die Förderer noch nicht, diese Möglichkeiten auszuschöpfen. Die Förderung der Praxis, bestimmte, wählbare Kornzahlen, z. B. für eine Kennzahlenermittlung abzuführen, ermöglichen Zähler mit Vorwahlrichtung, die in beiden Zählerbauarten erhältlich sind. Außerdem muß dazu kurz hinter der Meßebeine in den Fallschacht des Körnerzählgerätes eine Weiche eingebaut werden, mit der der Körnerstrom in jeweils einen von zwei Auffangbehältern geleitet werden kann, **Bild 8**. Wird eine an der Vorwahlrichtung eingestellte Körnerzahl erreicht, setzt sich der Zähler selbsttätig zurück und veranlaßt gleichzeitig mit Hilfe eines Elektromagneten das Umlegen der Weiche. Die abgezählte Körnerprobe kann nun dem ersten Behälter entnommen oder dieser gegen einen weiteren ausgetauscht werden. Von den bekanntgewordenen Körnerzählgeräten besitzt ein in den USA produziertes Gerät eine Abzählrichtung wie auch die Anlage von *Lau* und *Müller* [11].

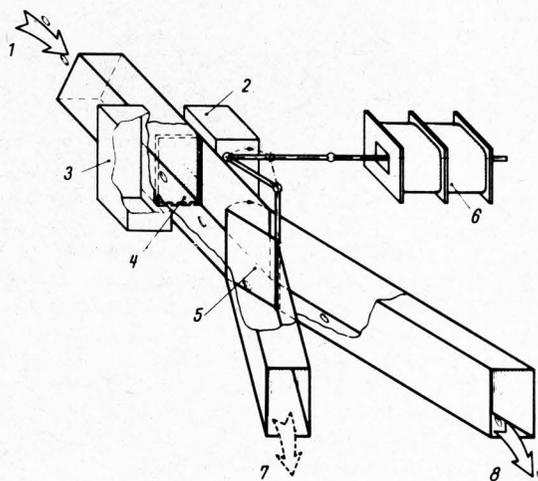


Bild 8. Fallschacht mit Weiche zum Abzählen von Samenkörnern, schematisch.

- 1 Aufgabe der Samenkörner durch den Förderer
- 2 Sender (Lichtquelle)
- 3 Empfänger (Photoelement)
- 4 Meßebeine von 2 und 3
- 5 Weiche
- 6 Elektromagnet zum Stellen der Weiche
- 7, 8 zum Auffangbehälter

Das Zählen von Samenkörnern auf elektrischem Wege bietet darüber hinaus die Möglichkeit, Ausgänge und Anschlüsse vorzusehen, an die Druckgeräte zum Drucken der Zählergebnisse oder Geräte zur Datenspeicherung für eine spätere Verarbeitung angeschlossen werden können.

6 Leistung und Grenzen der Körnerzählgeräte

Die erreichbare Zählgeschwindigkeit beim Zählen einer Probe mit dem Körnerzählgerät hängt nicht nur wesentlich von der Samenart ab, sondern auch von der Probengröße. Entscheidend dafür, wie sich ein Samenkorn fördern läßt, ist die Form, Dichte, Massenverteilung, Oberflächenbeschaffenheit und Begrannung oder Behaarung der Körner. Runde Körner lassen sich meistens besser fördern und ausrichten als längliche. Oberflächenbeschaffenheit, Grannen oder Härchen können das Fördern behindern oder ausschließen. Samen, die klebrig sind oder zum Klumpen neigen, scheiden von vornherein aus. Außerdem müssen die Samenkörner eine ausreichende Masse besitzen, um von der Abwurfstelle des Förderers durch das Fallrohr zu fallen. Der Einfluß der Probengröße ist insofern entscheidend, da der kurze Wendelschwingförderer die Körner erst die Wendel bis zur Abwurfstelle hinaufschaffen muß, ehe das erste Korn fällt und gezählt werden kann. Die ersten Körner auf der Wendel bilden noch keine zusammenhängende Reihe; sie entsteht erst nach einer Anlaufzeit. Bei geschlossener Körnerreihe erreicht der Förderer seine höchste Förderleistung, solange sich noch ein Körnervorrat auf dem Boden des Fördertopfes befindet. Wandern die letzten Körner den Wendelaufgang hinauf, reißt das Ende der Körnerreihe mehr und mehr auseinander. Den Ablauf dieses Vorganges verdeutlicht **Bild 9**, auf dem der Verlauf der Fördergeschwindigkeit für 500-Korn-Proben vom Fallen des ersten Kornes bis zum letzten für vier Getreidearten dargestellt ist. Nach einer kurzen Anlaufzeit erreicht der Förderer seine größte Leistung, die bald darauf erst langsam und dann immer stärker abfällt. Bei kleinen Proben mit Kornzahlen von 25 bis 100 Körnern geht der Anlaufvorgang direkt in den Auslaufvorgang über. Das hat seine Ursache darin, daß sich wegen des geringen Probeumfangs keine geschlossene Körnerreihe auf der Wendel bilden kann und so die maximale Fördergeschwindigkeit nicht erreicht wird. Erst bei Proben

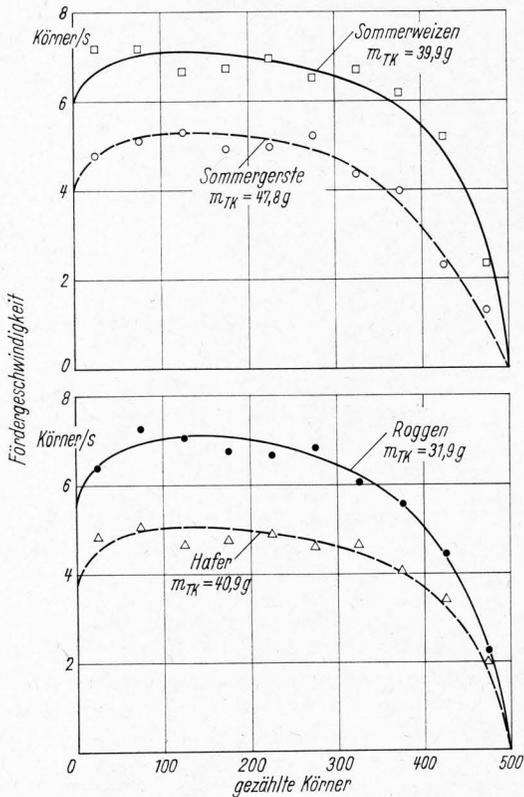


Bild 9. Geschwindigkeitsverlauf beim Fördern von 500-Korn-Proben.
Förderdurchmesser 100 mm
Anzahl der Versuche: je 4

mit mehr als 300 Körnern kommt ein kontinuierlicher Körnerfluß zustande. Dies geht deutlich aus **Bild 10** hervor, das die mittlere Fördergeschwindigkeit eines größeren und leistungsfähigeren Wendelschwingförderers in Abhängigkeit von der Kornzahl der Proben zeigt, nach dem der Förderer seine höchste Leistung erst bei großen Kornzahlen erreicht. Der ausgezogenen Kurve liegt hier die Förderzeit vom Fallen des ersten Kornes bis zum letzten zugrunde, bei der gestrichelten wurde auch noch die Zeit mit berücksichtigt, die für das Fördern der Körner vom Boden des Fördertopfes bis zur Abwurfstelle erforderlich war. Für einen Vergleich der Leistungsfähigkeit von Körnerzählgeräten ist es daher unerlässlich, neben der mittleren Zählgeschwindigkeit auch die Probengröße zu kennen.

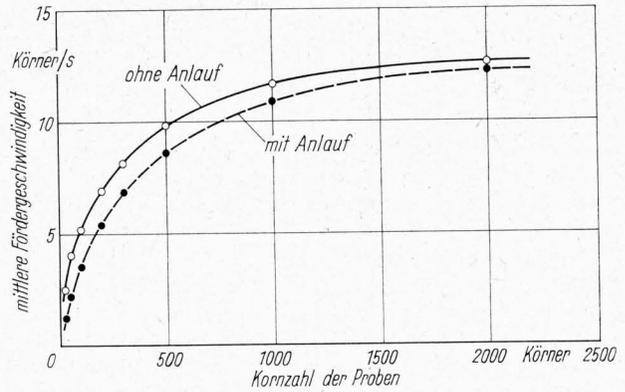


Bild 10. Probengröße und mittlere Fördergeschwindigkeit beim Fördern von Weizen (Heines Koga II).
Förderdurchmesser 150 mm
Anzahl der Versuche: je 10

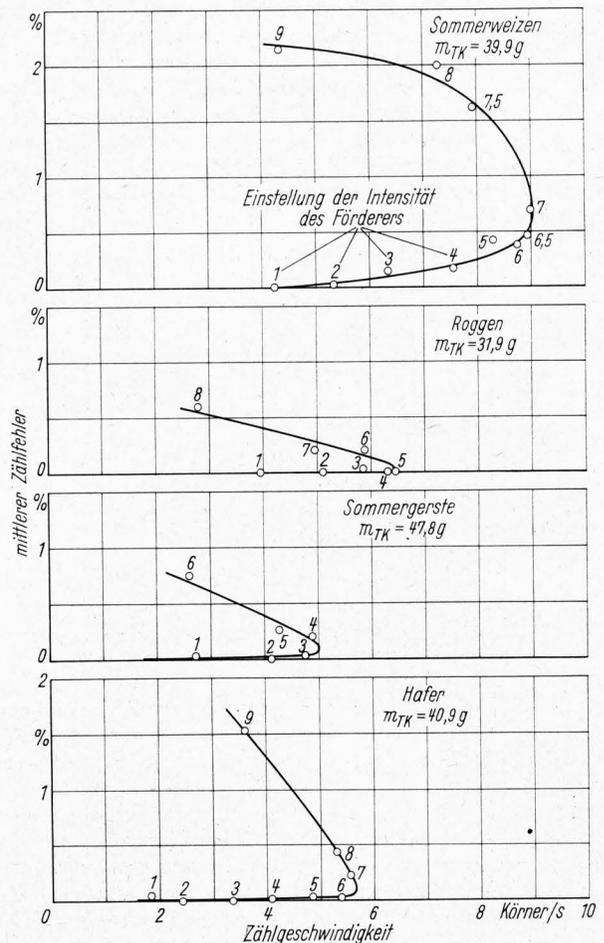


Bild 11. Zählgenauigkeit eines Körnerzählgerätes [16] bei Weizen, Roggen, Gerste und Hafer in Abhängigkeit von der Zählgeschwindigkeit.
Anzahl der Versuche: je 6
Einstellung 1 des Förderers: geringe Intensität
Einstellung 9 des Förderers: hohe Intensität

Die mit Körnerzählgeräten erreichbaren Zählgenauigkeiten sind für die meisten Einsatzbereiche der Geräte als zufriedenstellend anzusehen. Der Zählfehler hängt in erster Linie von der Zählgeschwindigkeit ab. In **Bild 11** ist der mittlere Zählfehler über der Fördergeschwindigkeit eines Zählgerätes [16] aufgetragen, die bei verschiedenen Einstellungen des Förderers für vier Getreidearten ermittelt wurden. Von Einstellung zu Einstellung steigt zuerst die Fördergeschwindigkeit an, ohne daß dabei der Zählfehler nennenswert wächst. Beim Erreichen eines bestimmten Betriebspunktes steigt bei gleichzeitiger Abnahme der Fördergeschwindigkeit der Zählfehler stark an. Dies hat seine Ursache darin, daß mit zunehmender Intensität der kontinuierliche Fördervorgang in eine schubweise Förderung übergeht, die bis zum Tanzen der Samenkörner auf den Wendeln gesteigert werden kann, bei der kaum noch eine Förderung festzustellen ist. Dieser Effekt wird dadurch hervorgerufen, daß neben den die Förderung bewirkenden Grundschwingungen noch andere Schwingungen auftreten, die den Fördervorgang beeinträchtigen. Das schubweise Fördern von Samenkörnern hat neben einer geringen mittleren Fördergeschwindigkeit den Nachteil, daß die Körner nicht mehr auf den für die Zählvorrichtung erforderlichen Abstand auseinandergezogen werden und somit Fehlzählungen häufiger auftreten. Die Begrenzung der Zählgeschwindigkeit durch den Förderer konnte auch an anderen Körnerzählgeräten festgestellt werden.

Die Forderung der Praxis, ein Körnerzählgerät zum Abzählen kleiner Kornzahlen aus einer größeren Menge heraus benutzen zu können, wurde wie oben erwähnt bereits bei zwei Geräten verwirklicht. Bei dieser Verfahrensweise ist aber zu beachten, daß man Teilproben von unterschiedlicher Masse erhält, d. h., beim Abzählen hat man mit einer Selektion durch den Wendelschwingförderer zu rechnen. Die Häufigkeit der Abweichung vom arithmetischen Mittelwert der Proben beim Zählen von 50-Korn-Proben aus 500 Körnern zeigt **Bild 12**. Auffällig ist es, daß sich keine symmetrischen Häufigkeitsverteilungen ergeben. Die Geräte fördern aus einer Probe heraus eine bestimmte Kornfraktion am besten, die in ihren physikalischen Eigenschaften dem Förderprinzip entgegenkommt.

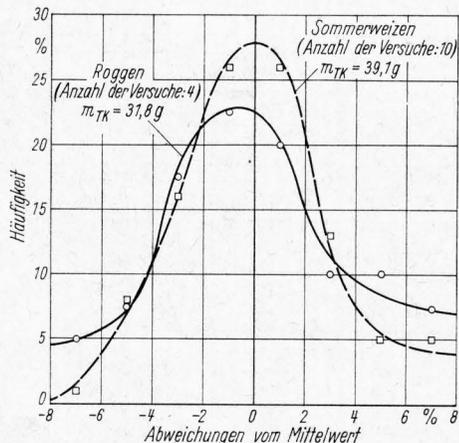


Bild 12. Häufigkeitsverteilung der Gewichtsabweichungen vom arithmetischen Mittelwert beim Zählen von 50-Korn-Proben aus 500 Körnern für Weizen und Roggen.

Beim Einfüllen von Kornproben in den Förderer ist der Aufgabebort, die Aufgabeweise und die Vorsortierung, z. B. durch Schütteln des Einfüllbehälters, maßgeblich neben weiteren Faktoren, die die Reihenfolge der Masse der Teilproben beeinflussen. Die Einflußgrößen konnten anhand der durchgeführten Untersuchungen nicht eliminiert werden. Einen Einblick über die möglichen Reihenfolgen der Abweichung vom Probemittelwert vermittelt **Bild 13**, das eine Tendenz noch nicht erkennen läßt. Vergleicht man die beim Abzählen von Kornproben mit Hilfe von Körnerzählgeräten auftretenden Selektionserscheinungen mit denen, die bei Handzählung, **Bild 14**, vorkommen, so kann man sagen, daß sie von gleicher Größenordnung sind. Es stellt sich daher die Frage, ob für eine genaue Arbeitsweise bei Kennzahlenbestimmungen (Tausendkorngewicht, Keimfähigkeit und Triebkraft) die Aufteilung einer gezogenen Probe mit Hilfe

eines Teilapparates vorteilhaft wäre, der den Einfluß der Selektion weitgehend ausschließt, aber den Nachteil hat, daß die Kornzahlen der Proben um wenige Körner differieren.

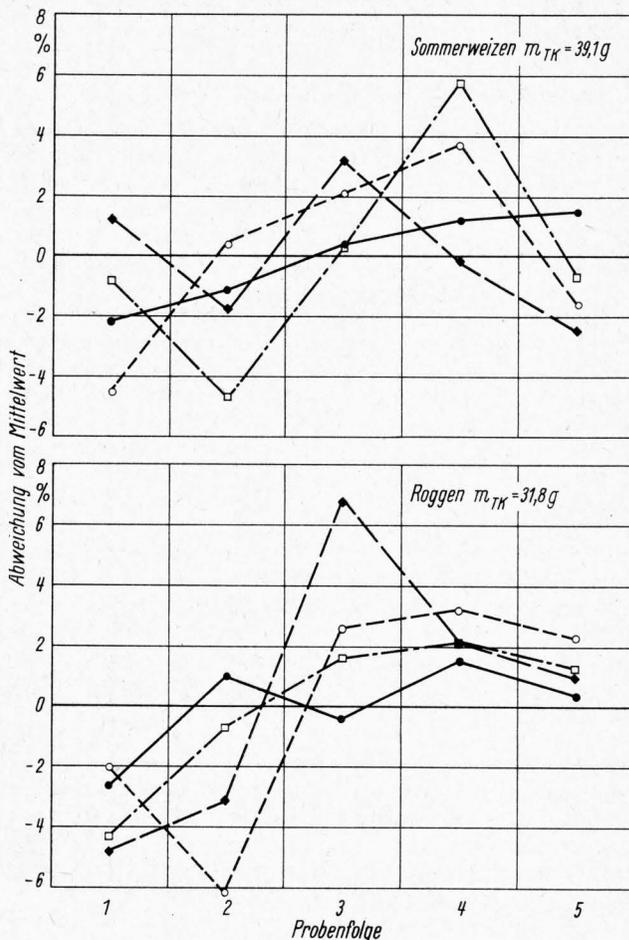


Bild 13. Beispiele für die Selektion eines Förderers anhand einer Probe von 500 Körnern beim Abzählen von 100-Korn-Proben (Sommerweizen und Roggen). Förderdurchmesser 100 mm

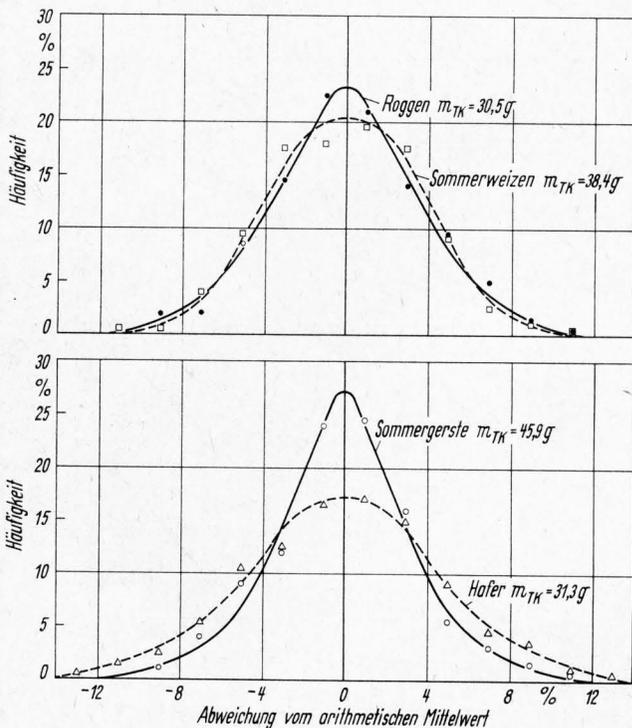


Bild 14. Häufigkeitsverteilung der Gewichtsabweichungen vom arithmetischen Mittelwert bei Handzählung von 40-Korn-Proben aus 2000 Körnern für Weizen, Roggen, Gerste und Hafer. Anzahl der Versuche: je 4

7 Das Klassieren als weiterer Bewertungsmaßstab von Kornproben mit Hilfe elektrischer Aufnehmer

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung [7] ist eine weitergehende Untersuchung für Kornproben, die mit Hilfe von Schüttelapparaten über eine festgelegte Zeitdauer, bei einer bestimmten Umdrehungszahl und unter Verwendung einheitlicher Siebsätze durchgeführt wird. Solche Untersuchungen sind zeitaufwendig, da man nur mit acht Siebungen in der Stunde rechnen kann. Es liegt nahe, zu prüfen, unter welchen Voraussetzungen und Mitteln eine schnellere Durchführung des Verfahrens möglich ist.

Nach den Vorschriften wurde dazu eine Weizenprobe gesiebt und anschließend die Masse der Einzelkörner festgestellt, **Bild 15**. Es zeigt sich, daß trotz der engen Stufung der Siebschlitzbreite die Masse der Einzelkörner über einen großen Bereich streut. Trotzdem steht der Korndurchmesser in enger Beziehung zum Tausendkorngewicht, wie es das Beispiel der gewählten Probe zeigt, **Bild 16**.

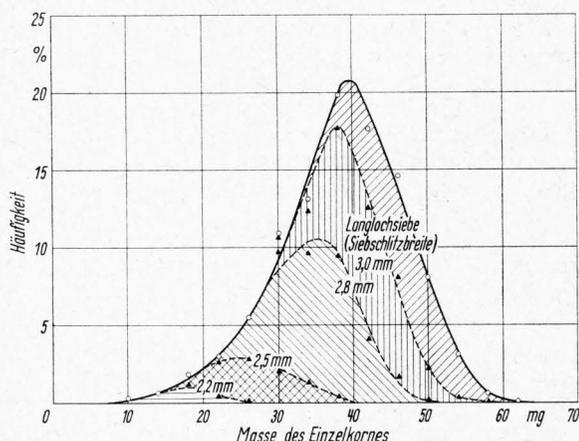


Bild 15. Siebfractionen einer Sommerweizen-Probe (Heines Koga II).

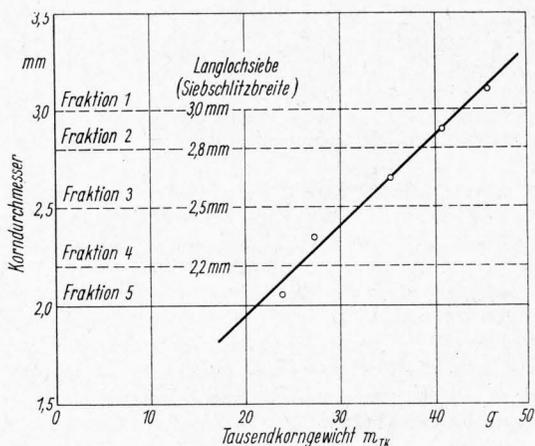


Bild 16. Abhängigkeit zwischen Korndurchmesser und Tausendkorngewicht bei Sommerweizen (Heines Koga II).

Korrelationskoeffizient 0,998
Regressionsgerade $y = 1,03 + 0,045 x$

Aufgrund dieser Tatsachen muß es möglich sein, mit Hilfe elektrischer Aufnehmer vergleichbare Angaben über die Korngrößenverteilung zu erhalten. Für die Untersuchungen wurde eine Versuchseinrichtung erstellt, die dem Aufbau eines Körnerzählgerätes entspricht, **Bild 17**. Ein kurzer Wendelschwingförderer fördert das Probenmaterial in ein Fallrohr an dessen unterem Ende die Samenkörner auf einen elektrodynamischen Aufnehmer mit Membran (Kopfhörer, 2 k Ω) fallen. Die induzierten Impulse wurden auf den Bildschirm eines Oszilloskopes projiziert und für die Auswertung photographisch festgehalten. Bei dem gewählten Aufnehmer, dessen Empfindlichkeit ausgehend vom Zentrum der Membran zum Rande hin abnimmt, wirkt sich für diesen Anwendungszweck nachteilig aus, daß das Probenmaterial aus dem Fallrohr in Form eines Streukegels

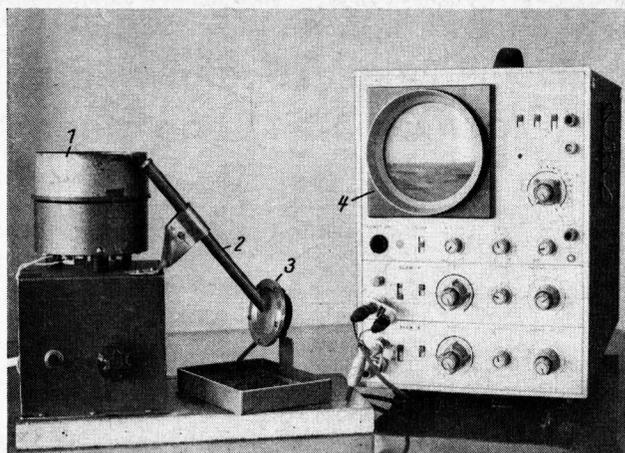


Bild 17. Versuchseinrichtung zur Feststellung der Korngrößenverteilung mittels elektrodynamischen Aufnehmers mit Membran.

- 1 Wendelschwingförderer
- 2 Fallrohr
- 3 elektrodynamischer Aufnehmer mit Membran (Kopfhörer)
- 4 Oszilloskop

austritt. Um den Einfluß der geometrischen Form, Massenverteilung, Dichte und Oberflächenbeschaffenheit auszuschließen, wurde die erste Versuchsserie mit Stahlkugeln von 2,5 mm Durchmesser ausgeführt. Die im Aufnehmer induzierten Spannungsspitzen zeigen eine symmetrische Häufigkeitsverteilung, **Bild 18**, die die gemachten Annahmen bestätigen. Die Häufigkeitsverteilung, die sich beim Aufprall von Weizenkörnern mit $m_K = 40 \pm 1$ mg ergab, ist nicht mehr symmetrisch, **Bild 19**, da sich hier die unterschiedliche Form und Massenverteilung der Körner sowie der Aufprallwinkel auswirken. Ziel der weiteren Untersuchungen war es, einen Zusammenhang zwischen Kornmasse und induzierter Spannung zu finden. Das Ergebnis der Versuche ist in **Bild 20** zusammengestellt, in dem sich in erster Annäherung ein linearer Zusammenhang zwischen Kornmasse und dem Zentralwert der induzierten Spannung ableiten läßt. Für den praktischen Anwendungsfall wurden die gewogene Massenverteilung der Einzelkörner zweier Siebfractionen der beim Aufprall induzierten Spannungs-

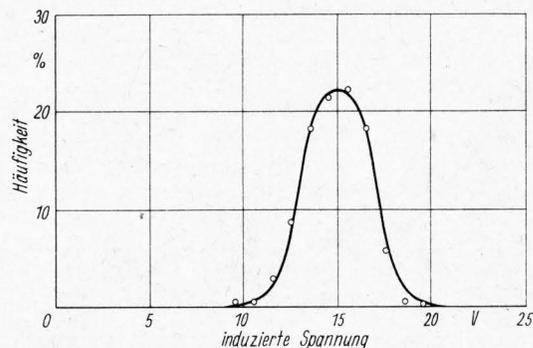


Bild 18. Häufigkeitsverteilung der beim Aufprall von Stahlkugeln (2,5 mm \varnothing) induzierten Spannungsspitzen.

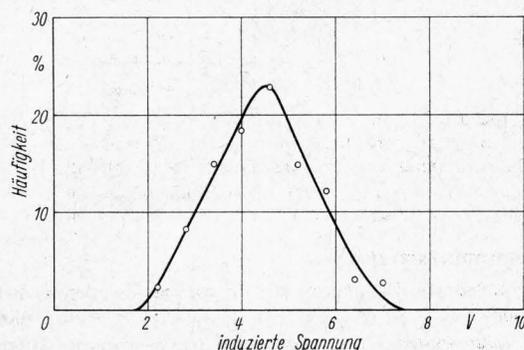


Bild 19. Häufigkeitsverteilung der beim Aufprall von Weizenkörnern induzierten Spannungsspitzen.

Masse des Einzelkornes $m_K = 40 \pm 1$ mg

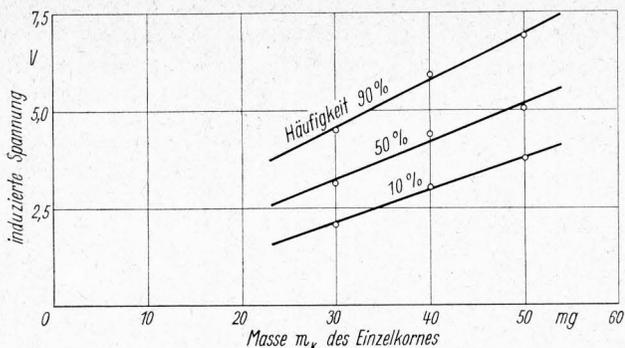


Bild 20. Abhängigkeit zwischen Kornmasse und induzierter Spannungsspitze beim Aufprall von Sommerweizen (Heines Koga II).

verteilung gegenübergestellt, **Bild 21** und **22**. Hierbei wurde dem Zentralwert der Massenverteilung der entsprechende Spannungswert aus Bild 20 zugeordnet. Der Maßstab der induzierten Spannung ist um den Faktor 2,5 kleiner als der Massen-Maßstab. Diese Gegenüberstellung zeigt, daß mit Hilfe eines einfachen Gebers vergleichbare Verteilungskurven gemessen werden können. Das Ergebnis dürfte um so günstiger ausfallen, je regelmäßiger die Samenkörner einer Probe geformt sind. Da man in der Praxis wohl nur Samen aus gleichen Zuchtlinien oder Stämmen miteinander vergleichen wird, dürfte die aufgezeigte Methode eine schnelle Bestimmung zulassen und eine Abschätzung des Zuchtergebnisses ermöglichen. Unter der Voraussetzung, daß längliche Körner im Fallen nicht zu stark trudeln, wäre es durchaus denkbar, daß mit photoelektrischen und elektroakustischen Aufnehmern sogar noch günstigere Ergebnisse erzielt werden können.

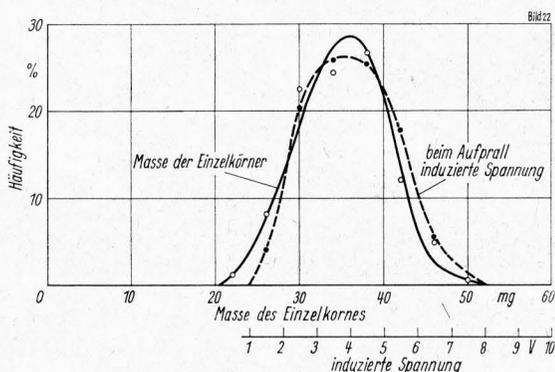
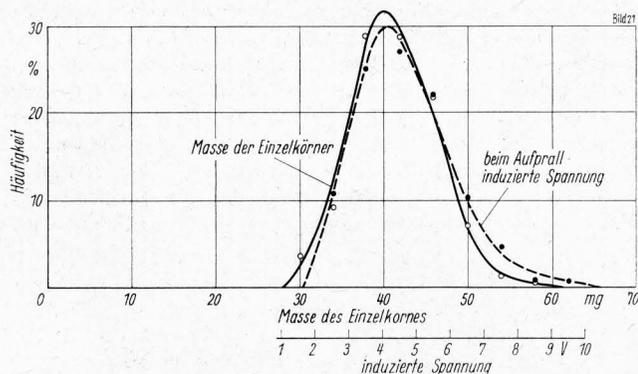


Bild 21 und 22. Massenverteilung und Verteilung der beim Aufprall induzierten Spannungsspitzen von Einzelkörnern zweier Siebfractionen von Sommerweizen (Heines Koga II).

Bild 21: Fraktion 2,8 bis 3,0 mm Korndurchmesser
Bild 22: Fraktion 2,5 bis 2,8 mm Korndurchmesser

8 Zusammenfassung

Das Zählen von Samenkörnern für die verschiedenen Zwecke wird heute noch vorwiegend von Hand durchgeführt und ist recht zeitaufwendig. Die bisher meist für bestimmte Aufgaben entwickelten Körnerzählgeräte sind wegen ihres Anwendungsbereiches, ihrer Handhabung, Wartung oder Größe für den universellen praktischen Einsatz noch nicht geeignet. Es wurde

der Versuch unternommen, die bekannten technischen Prinzipien des Zählens von Samenkörnern zu bewerten. Dafür wurden zunächst die Anforderungen für das Fördern und Zählen von Körnern zusammengestellt. Nach dem augenblicklichen Stand erfüllt der kurze Wendelschwingförderer die Aufgabe des Förderns und Einzelaufreihens der Körner am besten. Die erreichbare Förderleistung wird wesentlich von der Oberflächenbeschaffenheit, Behaarung und Begrannung der Körner einer Probe bestimmt. Voraussetzung für das Zählen ist, daß die Masse der Einzelkörner groß genug ist, um ein zügiges Fallen durch den Fallschacht zu gewährleisten. Für das Zählen von Samenkörnern eignen sich mehrere elektrische Aufnehmer, wobei das Zählergebnis sowohl mit Hilfe elektromagnetischer als auch elektronischer Zähler registriert werden kann. Die Zählleistung und -genauigkeit eines Körnerzählgerätes hängt weitgehend von der Geschwindigkeit und Kontinuität des Förderstromes ab, den der gewählte Förderer liefert. Die schnellere elektronische Zähleinrichtung stellt geringere Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Körnerförderung und erlaubt daher auch höhere Zählgeschwindigkeiten. Beim Abzählen kleiner Kornzahlen aus einer größeren Menge heraus muß mit Selektionserscheinungen von Teilprobe zu Teilprobe gerechnet werden; diese sind aber nicht größer als bei Handzählung. Nach eigenen Untersuchungen scheint eine Größenklassierung mit Hilfe elektrischer Aufnehmer eine Möglichkeit für eine schnelle und einfache Kenngrößenbestimmung zu Vergleichszwecken zu sein, deren Zusammenhänge anhand eines Beispiels gezeigt werden.

9 Schrifttum

- [1] Browne, D. A.: A semi-automatic seed counter. *J. Agric. Engng Res.* **4** (1959) Nr. 1, S. 72/73.
- [2] Carlow, C. A., und J. A. Irvine: An electronic seed counter and group number discriminator. *J. Agric. Engng Res.* **6** (1961) Nr. 2, S. 130/36.
- [3] Doganovskij, M. G., N. N. Romanovskij und V. N. Sudačenko: Photoelektronisches Gerät zur Bestimmung der gleichmäßigen Aussaat von Säwerkzeugen. *Mechanizacija i elektrifikacija* **25** (1967) H. 4, S. 52/53.
- [4] Feiffer, P., K. Döhler und K. E. Sörgel: Elektronische Verlustkontrolle am Mährescher. *Dt. Agrartechn.* **17** (1967) H. 7, S. 296/98.
- [5] Feiffer, Peter, u. a.: Verfahren und Vorrichtung zur Körnerverlustmessung an Dreschmaschinen, insbesondere an Mähreschern. *DDR-Patentschrift* Nr. 53 446, Kl. 45 c, 41/12.
- [6] Goulden, C. H., und W. J. Mason: An electronic seed counter. *Canadian J. Plant Science* **38** (1958) Nr. 1, S. 84/87.
- [7] Herrmann, R.: Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch). 5. Bd. Die Untersuchungen von Saatgut. Radebeul und Berlin: Neumann Verl. 1949.
- [8] Hübner, R.: Der Same in der Landwirtschaft. Radebeul und Dresden: Neumann Verl. 1955.
- [9] Kramer, H. A., und R. W. Decker: Electronic seed counter. *Agric. Engng* **43** (1962) Nr. 6, S. 346/48.
- [10] Kristi, S.: Geräte für Labor- und Feldversuche. *Vestnik sel'skochozajstvennoj nauki* **6** (1961) Nr. 6, S. 124/27.
- [11] Lau, D., und K. Müller: Ein neues elektronisches Körnerzählgerät für den Einsatz in der Getreidezüchtung. *Albrecht-Thaer-Archiv* **10** (1966) H. 9, S. 841/47.
- [12] Lein, M.: Probleme der Mechanisierung im Feldversuchswesen. *Landbauforsch. Völknerode* **15** (1965) H. 2, S. 139/44.
- [13] Lorenz, F.: Beitrag zur Messung der Körnerfolgen von Einzelkornsäegeräten. *Landtechn. Forsch.* **9** (1959) H. 6, S. 170/72.
- [14] Pfeiffer, R. P., R. J. Bergman und J. E. Sparks: Photoelectric seed counter. *Agronomy J.* **48** (1956) Nr. 2, S. 91/92.
- [15] Zimmermann, K.: Technik des Versuchswesens und der Pflanzenzüchtung. 3. Aufl. Leipzig: S. Hirzel Verl. 1955.
- [16] Bericht über die Tätigkeit der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völknerode im Jahre 1965: Institut für Landmaschinenforschung, S. 73/74.
- [17] Electronic seed sentry offered by Mec-Tron Corp. *Implement & Tractor* **83** (1968) Nr. 10, S. 51.