

Grundlagen der Landtechnik

Herausgegeben mit Unterstützung durch die
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Braunschweig-Völkenrode (FAL)

Schriftleitung: Dr. F. Schoedder, Institut
für landtechnische Grundlagenforschung

Grundl. Landtechnik Bd. 30 (1980) Nr. 2, S. 29 bis 60

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Die Einzelkornsaat von Getreide als technisches Problem

Von Gerhard Mülle und Hermann J. Heege, Bonn*)

DK 631.331:631.331.85

Die zunehmende Verbesserung der Produktionstechnik im Getreidebau zwingt dazu, auch im Bereich der Sättechnik nach Lösungen zu suchen, welche die Unzulänglichkeiten der bisherigen Verfahren vermeiden. Eine gleichmäßigere Kornverteilung über die Fläche kann erreicht werden mit einer Einzelkornsaat des Getreides, für die in diesem Beitrag eine technische Lösung behandelt wird.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Einzelkornsaat des Getreides technisch durchführbar ist. Das verwendete pneumatische Säsystem ermöglicht die Aussaat aller Getreidearten mit einer Genauigkeit, die diejenige der bisher in der Sättechnik vorherrschenden Drillmaschine bei weitem übertrifft.

1. Einleitung

Die zur Zeit in der Praxis üblichen Säverfahren erfüllen nicht alle Forderungen, die im Hinblick auf einen optimalen Ertrag an die Technik gestellt werden. Im besonderen gilt dies für die gleichmäßige Verteilung der Körner über die Fläche.

Die heute vorherrschende Drillsaat liefert eine Verteilung, die durch große Kornabstände zwischen den Reihen und durch kleine, unregelmäßige Kornabstände innerhalb der Reihen gekennzeichnet ist. Ziel der Sättechnik muß es aber sein, die Samen gleichmäßig über die gesamte Fläche zu verteilen, um den mit zunehmender Verteilgenauigkeit zu erwartenden Mehrertrag ausnutzen zu können. Das Ideal stellt die engreihige Gleichstandsaat dar, bei der die Körner im Quadrat- oder Dreieckverband abgelegt werden [1].

Eine Gleichstandsaat kann technisch aber nur dann realisiert werden, wenn statt der bislang üblichen Volumendosierung bei der Aussaat des Getreides eine Einzelkorndosierung vorgenommen wird. Die gezielte Kornablage muß die zufällige ersetzen.

Die einzige in Serie gefertigte Einzelkornsämaschine für Getreide wird derzeit in England angeboten [2]. Aber auch aus den USA [3] und aus der UdSSR [4] sind Forschungsaktivitäten bekannt.

*) Dr. agr. Gerhard Mülle ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landtechnik, Prof. Dr. agr. Hermann J. Heege, MSAE, ist Leiter der Abteilung Landwirtschaftliche Arbeitsverfahren am Institut für Landtechnik der Universität Bonn.

2. Aufgabenstellung

Bislang wird eine Einzelkornsaat bei Feldfrüchten angewandt, (Mais, Rüben), die weitaus geringere Kornzahlen je Flächeneinheit aufweisen als das Getreide, **Tafel 1**. Mais und Rüben stellen nicht so hohe Anforderungen an die Leistung des Sämechanismus, da trotz großer Reihenabstände nur vergleichsweise wenige Körner je Meter in der Reihe abzulegen sind. Eine Einzelkornsaat von Getreide und Raps erfordert hingegen ein Vielfaches an auszusäenden Körnern pro laufendem Meter, **Tafel 1**.

| Fruchtart | Saadichte Körner/m ² | Reihen- abstand cm | Kornabstand in der Reihe cm | auszusäende Körner pro lfd. m |
|------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Körnermais | 6– 12 | 62,5 u. 85 | 27–10 | 4–10 |
| Silomais | 9– 15 | 62,5 u. 85 | 18– 8 | 6–13 |
| Zuckerrübe | 10– 30 | 42,5–50 | 22– 8 | 5–15 |
| Raps | 60–120 | 15 –33 | 11– 2,5 | 9–40 |
| Getreide | 200–500 | 10 –15 | 5– 1,3 | 20–75 |

Tafel 1. Daten zur Aussaat von Feldfrüchten.

Trotzdem wurde bereits in den zwanziger Jahren intensiv daran gearbeitet, die Einzelkornsaat von Getreide technisch zu realisieren. Im Jahre 1924 waren bereits mehr als 100 Patente dazu erteilt [5]. Diese Entwicklung war nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß zur damaligen Zeit die Dünnsaat mit kleineren Kornzahlen je Flächeneinheit zur Diskussion stand. Als sie sich als falsch herausstellte, nahm das Interesse an der Einzelkornsaat rasch ab, zumal sich keine Lösung als praxistauglich erwies. Bei normalen Saadichten reichte nämlich die Leistung der Sämechanismen wegen des Reihenabstandes von 20 cm nicht aus, um die Einzelkornsaat wenigstens mit Gespanngeschwindigkeit (1 m/s) zu erledigen, **Bild 1**. Dieser Reihenabstand ergab sich aus der Notwendigkeit des maschinellen Hackens zur Unkrautbekämpfung. Mit der Einführung von Herbiziden entfiel das Hacken des Getreides und damit der Zwang zu großen Reihenabständen. Auch eine Herabsetzung des Reihenabstandes auf 10 cm, wie sie heute fast erreicht ist, überfordert die Einzelkornsämaschinen, wenn man höhere Fahrgeschwindigkeiten anstrebt. Deshalb wäre es für die Technik wünschenswert, eine weitere Verminderung, z.B. auf 5 cm Reihenabstand, vorzunehmen, **Bild 1**. Da eine solche Verteilung auch aus pflanzenbaulichen Gründen anzustreben ist, stimmen die Anforderungen des Pflanzenbaus und der Technik an eine Einzelkornsämaschine für Getreide überein.

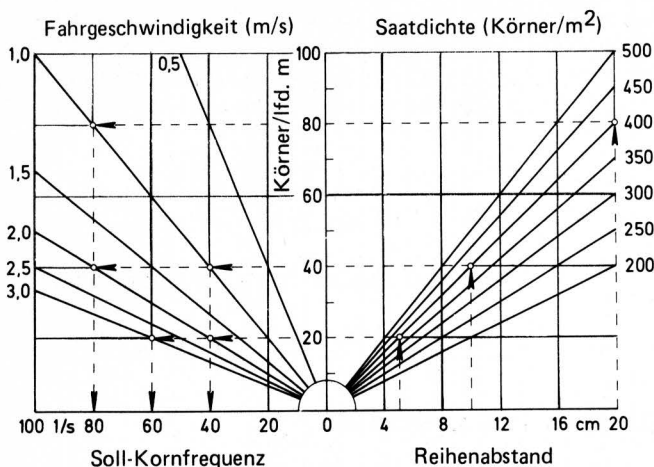


Bild 1. Anforderungen an die Leistung einer Einzelkornsämaschine für Getreide bei verschiedenen Randbedingungen.

Mit abnehmendem Reihenabstand erfordert eine Einzelkornsämaschine vorgegebener Arbeitsbreite eine größere Anzahl einzelner Säaggregate. Somit verteuern die ansonsten als günstig zu beurteilenden geringen Reihenweiten zwangsläufig eine solche Maschine.

Es wurde deshalb untersucht, auf welche Weise eine engreihige Einzelkornsämaschine von Getreide mit vertretbarem Kapitalaufwand durchgeführt werden kann.¹⁾

3. Kriterien für die Auswahl des Säsystems

Die Getreidearten unterscheiden sich sowohl in der Kornform als auch in der Korngröße. Selbst innerhalb einer Getreideart oder einer Sorte treten erhebliche Differenzen der Korngrößen auf, die auch bei zertifiziertem Saatgut nur von der kleinsten zulässigen Schlitzsiebweite begrenzt werden.

Derartig inhomogene Samen mit einem mechanischen Säsystem auszubringen erscheint nicht möglich, wenn nicht eine Kalibrierung des Saatgutes erfolgt oder ein Zellenradwechsel vorgenommen wird. Selbst diese Maßnahmen garantieren keinen Erfolg, wie Untersuchungen an dem von Howe [2] beschriebenen mechanischen Einzelkornsägerät ergaben. Die Verteilgenauigkeit in der Reihe unterschied sich nur unwesentlich von der einer Drillsaat [6].

Pneumatische Einzelkornsäsysteme stellen geringere Anforderungen an die Homogenität des Saatgutes [7]. Deshalb werden für die Einzelkornsämaschine von Mais wegen der unterschiedlichen Kornformen vorwiegend pneumatische Sägeräte eingesetzt. Für die Rübenaussaat herrschen pneumatische Systeme dort vor, wo eine fehlende Pillierung mechanische Systeme benachteiligt. Im Prinzip eignet sich deshalb ein pneumatisch arbeitendes Gerät, wie es Braunbeck und Wilkinson [3] vorstellen, für Getreide am besten.

Die Möglichkeit einer weitgehenden Verminderung des Reihenabstandes bedarf in diesem Zusammenhang ebenfalls einer Erörterung. So lange Einzelaggregate, ob mechanisch oder pneumatisch arbeitend, für jede Saatreihe verwendet werden, lassen sich kleinere Reihenabstände als 10 cm nur schwer verwirklichen, selbst wenn die Sägeräte in zwei Reihen zueinander versetzt angeordnet sind. Die Breite des Sämechanismus oder die des Saatgutbehälters bildet meist den limitierenden Faktor. Außerdem erfordert die Vielzahl separater Sägeräte einen hohen Kapitalaufwand.

¹⁾ Der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn-Bad Godesberg, gebührt Dank für die finanzielle Unterstützung.

Werden die Einzelaggregate durch ein zentrales Säaggregat, das mehrere Reihen bedient, ersetzt, wirken nur noch die Säschare bezüglich des Reihenabstandes begrenzend. Ein solches System ist von Braunbeck und Wilkinson [3] verwirklicht worden. Nachteilig daran sind die langen Säleitungen zwischen der zentralen Säeinheit und den Scharen, da sie die ursprünglich gleichmäßige Kornfolge zerstören [8]. Die gleichen Auswirkungen wies bereits Kühne [9] für Säleitungen von Drillmaschinen nach. Eine Einzelkornsämaschine muß aus diesem Grund auf Säleitungen verzichten. Das wiederum zwingt dazu, den Ort der Kornabgabe so nahe wie möglich an den Ort der Kornablage zu verlegen.

Aus den obigen Gründen wurde ein pneumatisches System für die Einzelkornsämaschine von Getreide gewählt. Ein über die gesamte Arbeitsbreite reichendes und mehrere Reihen bedienendes Zuteilorgan soll gewährleisten, daß trotz kleinen Reihenabstandes die Einzelkornsämaschine mit einem vertretbaren Kapitalaufwand durchgeführt werden kann. Das Zuteilorgan wird so niedrig über dem Boden angebracht, daß Säleitungen sich erübrigen. Die Körner fallen direkt in die Rillen von Packerringen, die im Hinblick auf einen kleinen Reihenabstand als Scharersatz am geeignetsten erscheinen.

4. Versuchsaufbau

Für grundlegende Untersuchungen zur Optimierung des Säsystems wurde zunächst ein einreihiges Versuchsgerät gefertigt und in Laborversuchen getestet.

Die Körner werden durch Unterdruck an die Öffnungen einer sich drehenden Walze gesaugt, auf deren Umfang mitgeführt und am tiefsten Punkt der Säwalze durch Unterbrechung des Unterdrucks auf den Boden abgeworfen.

Bild 2 zeigt den Aufbau des Versuchsgerätes. Die Säwalze a weist einen Außendurchmesser von 204 mm und eine Wandstärke von 2 mm auf. Auf ihrem Umfang sind 60 in Reihe angeordnete Öffnungen in gleichmäßigem Abstand verteilt. Die Körner gelangen aus dem Saatgutbehälter c mit Unterstützung eines Zuführorgans d an die Säwalze, wo sie an die Öffnungen gesaugt werden. In halber Höhe der Säwalze treffen sie auf eine Vereinzelnvorrichtung b, die überschüssige Körner von mehrfach belegten Saugöffnungen entfernen soll. Nach erfolgter Vereinzelnung gelangen die Körner durch weitere Drehung der Säwalze nach unten und werden dort abgeworfen. Zu diesem Zweck werden mittels einer im Innern der Walze angeordneten flexiblen Abdruckrolle e kurzfristig die Saugöffnungen gegen den Unterdruck abgeschirmt, so daß die vereinzeln Körner das Gerät verlassen können.

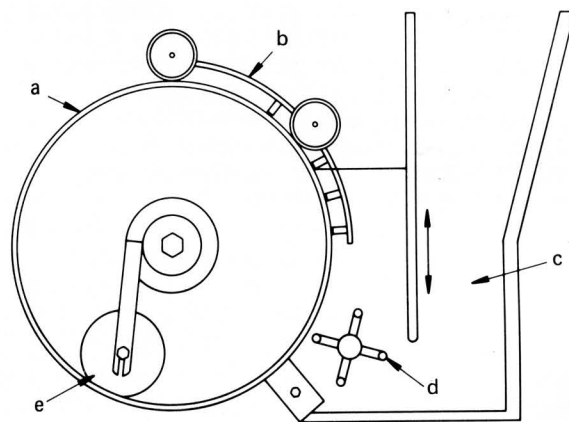


Bild 2. Versuchsgerät zur Einzelkornsämaschine.

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| a Säwalze | d Zuführorgan (Rührwerk) |
| b Vereinzelnvorrichtung | e Abdruckrolle |
| c Saatgutbehälter | |

Der Durchmesser der Saugöffnungen wird nach oben durch den geringsten Korndurchmesser begrenzt. Je geringer andererseits der Durchmesser der Saugöffnungen ist, um so höher muß der für das Ansaugen der Körner erforderliche Unterdruck sein. In Voruntersuchungen zeigte sich, daß als Kompromiß einheitlich für alle Getreidearten ein Durchmesser der Saugöffnungen von 1,7 mm geeignet ist.

Entscheidende Bedeutung kommt dem Vorgang der Kornansaugung zu. Bei statischer Betrachtungsweise ergibt sich die das Korn an der Öffnung festhaltende Kraft als das Produkt aus der Fläche der Saugöffnung und dem wirksamen Unterdruck. Aus einem Lochdurchmesser von 1,7 mm und einem Unterdruck von 100 mbar resultiert theoretisch eine Haltekraft von 22,7 mN, die sich allerdings dadurch verringert, daß das meist unregelmäßig geformte Korn die Saugöffnung nicht vollständig verschließt.

Nun stellt das Ansaugen der Körner an die sich drehende Säwalze aber einen dynamischen Vorgang dar, bei dem die Körner entgegen einer Reibungskraft und ihrer Trägheitskraft aus der Kornschüttung entnommen und auf die Umfangsgeschwindigkeit der Säwalze beschleunigt werden müssen. Da sich nicht alle Körner direkt an der Öffnung befinden, muß der Unterdruck so hoch sein, daß auch weiter entfernt liegende Körner sicher angesaugt werden. Dies stellt insofern ein Problem dar, als die Ansaugkraft mit zunehmender Entfernung rasch sinkt, verursacht durch die mit dem Quadrat der Entfernung abnehmende Luftgeschwindigkeit. Letztere errechnet sich aus dem Quotienten von angesaugtem Volumenstrom und der Oberfläche der Halbkugel, deren Radius der Entfernung des Kornes von der Saugöffnung entspricht [10]:

$$v_{r1} = 2 \dot{V} / A_K \quad (1)$$

mit

$$A_K = 4 \pi r_1^2 \quad (2)$$

und

$$\dot{V} = \pi r_2^2 v_{r2} \quad (3)$$

Ausgehend von Eck [11], beträgt die Luftgeschwindigkeit in der Saugöffnung

$$v_{r2} = a \sqrt{2/\rho} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (4)$$

Durch Einsetzen der Gln. (2) bis (4) in Gl. (1) ergibt sich

$$v_{r1} = 0,464 (r_2/r_1)^2 \sqrt{\Delta p} \quad (5)$$

Darin bedeuten:

- \dot{V} Volumenstrom in der Saugöffnung
- A_K Kugeloberfläche
- v_{r1} Luftgeschwindigkeit im Abstand r_1 von der Saugöffnung m/s
- v_{r2} Luftgeschwindigkeit in der Saugöffnung
- r_1 Abstand zur Saugöffnung
- r_2 Halbmesser der Saugöffnung
- a Durchfließzahl ($a = 0,7$ bei Lochdurchmessern von 1,4–2,0 mm [7])
- ρ Dichte der Luft, $\rho = 1,14 \text{ kg/m}^3$ bei 20 °C und 960 mbar
- Δp Druckdifferenz in Pa

Bei dem verwendeten Durchmesser der Saugöffnungen von 1,7 mm werden in Abhängigkeit vom Unterdruck und von der Entfernung zur Saugöffnung die in **Tafel 2** zusammengestellten Luftgeschwindigkeiten erzielt. Die Schwebegeschwindigkeit eines Weizenkorns beträgt nach Brenner [12] 8,8 m/s. Demnach dürfen die anzusaugenden Körner höchstens einen Abstand von 2 mm zur Saugöffnung haben, damit überhaupt ein Gleichgewicht erreicht wird. Um aber die Reibungs- und Trägheitskräfte zu überwinden, müssen die Ansaugkräfte und damit die Luftgeschwindigkeiten vergrößert werden. Da einer Druckerhöhung Grenzen gesetzt sind, muß man die Körner so nahe an die Säwalze heranführen, daß sie in den Bereich höherer Luftgeschwindigkeiten gelangen.

In den Versuchen wurde der Unterdruck in den Stufen 50 mbar, 100 mbar und 150 mbar variiert, während ein Rührorgan in der Kornschüttung die Zuführung der Körner und ihre Beschleunigung in Säwalzendrehrichtung übernehmen sollte.

| Unterdruck p_U mbar | Luftgeschwindigkeit v_{r1} in m/s | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|------|------|------|-----|------|
| | Abstand r_1 zur Saugöffnung in mm | | | | | |
| | 0 | 1 | 1,5 | 2 | 5 | 20 |
| 50 | 65,6 | 23,7 | 10,5 | 5,9 | 1,0 | 0,06 |
| 100 | 92,7 | 33,5 | 14,9 | 8,4 | 1,3 | 0,08 |
| 150 | 113,6 | 41,0 | 18,2 | 10,3 | 1,6 | 0,10 |

Tafel 2. Luftgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Unterdruck und von der Entfernung zur Saugöffnung.

5. Versuchsdurchführung

Untersuchungen an einem Einzelkornsäuger zum Zwecke seiner Funktionsoptimierung lassen sich nur dann sinnvoll durchführen, wenn auftretende Unzulänglichkeiten exakt auf ihre Ursachen zurückgeführt werden können. Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, den Sävorgang im Gerät in einzelnen Phasen zu betrachten. Folgende Phaseinteilung bietet sich an:

1. Kornaufnahme
2. Kornvereinzelung
3. Kornabwurf
4. Kornablage.

Zur Beurteilung der Arbeitsqualität des Gerätes in den drei erstgenannten Phasen wurde eine fotoelektrische Methode entwickelt, die Fehl- und Doppelbelegungen exakt auf ihre Ursachen zurückgeführt werden können. Nähere Angaben zur Erfassung, Auswertung und Verrechnung des Datenmaterials können einer ausführlicheren Veröffentlichung [13] entnommen werden.

6. Versuchsergebnisse

6.1 Kornaufnahme

Bei der Kornaufnahme sollen möglichst keine unbesetzten Saugöffnungen (Fehlbelegungen) entstehen. Untersuchungen zur Kornaufnahme dienten dem Zweck, diejenige Faktorenkombination aus Zuführorgan, dessen Drehfrequenz und der Kornfüllhöhe zu finden, die Fehlbelegungen minimiert. Untersucht wurden drei Zuführorgane, **Bild 3**, die entgegen der Säwalzendrehrichtung in der Kornschüttung mit zwei verschiedenen Drehfrequenzen umliefen, und drei Kornfüllhöhen an der Säwalze, die aus variierten Stellungen eines Schiebers zwischen Saatgutbehälter und Säwalze resultierten. Die Drehfrequenzen der Zuführorgane entsprachen der einfachen oder doppelten Drehfrequenz der Säwalze.

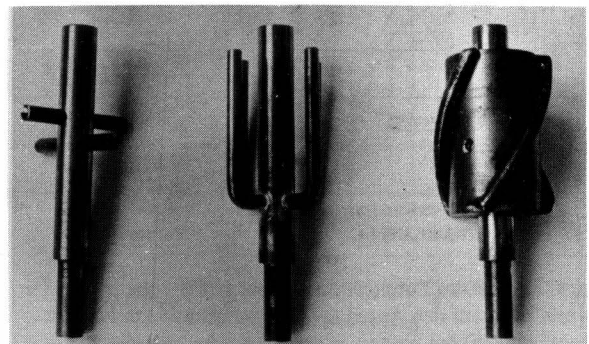


Bild 3. Zuführorgane (von links nach rechts: Stern, Quirl, Profilwalze; äußerer Durchmesser jeweils 50 mm).

Die **Bilder 4 und 5** zeigen den Anteil der Fehlbelegungen in Abhängigkeit von diesen Einflußgrößen. Erhebliche Unterschiede treten zwischen den Zuführorganen auf. Der Stern als Zuführorgan liefert keine zufriedenstellende Belegung der Saugöffnungen. Die örtlich sehr begrenzt wirkenden Stifte vermögen nicht, eine genügende Anzahl von Körnern zu bewegen, um eine ausreichende Nachlieferung an Samen sicherzustellen. Die Ausführungen als Quirl und Profilwalze weisen nur geringe Differenzen in den Fehlbelegungen auf, jedoch befindet sich der Quirl meist im Vorteil.

Die positive Wirkung der verdoppelten Drehfrequenz des Zuführorgans tritt am deutlichsten hervor bei einer Kornfüllhöhe von 6 cm, die die günstigste Schieberstellung darstellt. Während bei 3 cm Kornfüllhöhe die Anteile der Fehlbelegung stark differieren, weil je nach eingesetztem Zuführorgan die Kornnachlieferung mehr oder weniger stockt, ist bei 9 cm Füllhöhe kaum noch ein Einfluß des Rührorgans und seiner Drehfrequenz sichtbar. Dieses Ergebnis erklärt sich dadurch, daß bei dieser Einstellung die Kornschüttung an der Säwalze über die Oberkanten aller Zuführorgane hinausreicht. An der Oberfläche der Kornschüttung, wo die Ansaugung nur erfolgen kann, befinden sich die Körner in völliger Ruhe. Zwar stellt jedes Zuführorgan den Kornnachschub an die Säwalze sicher, jedoch fehlt die Kornbeschleunigung in Walzen-drehrichtung, so daß eine zufriedenstellende Belegung unterbleibt.

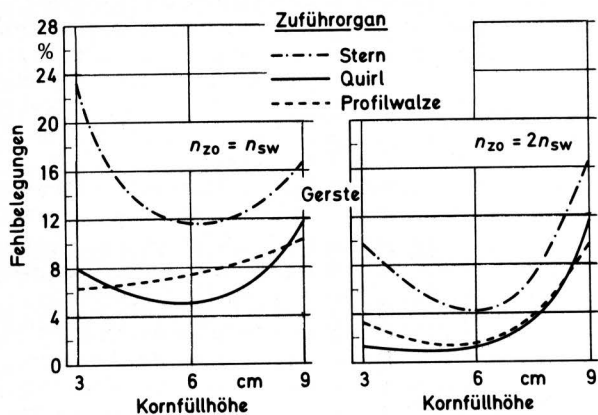


Bild 4. Einfluß des Zuführorgans, seiner Drehfrequenz und der Kornfüllhöhe auf den Anteil der Fehlbelegungen (in v.H. der Saugöffnungen) bei Gerste.
Soll-Kornfrequenz 60 s^{-1} ; Unterdruck 150 mbar
 n_{zo} = Drehfrequenz des Zuführorgans
 n_{sw} = Drehfrequenz der Säwalze

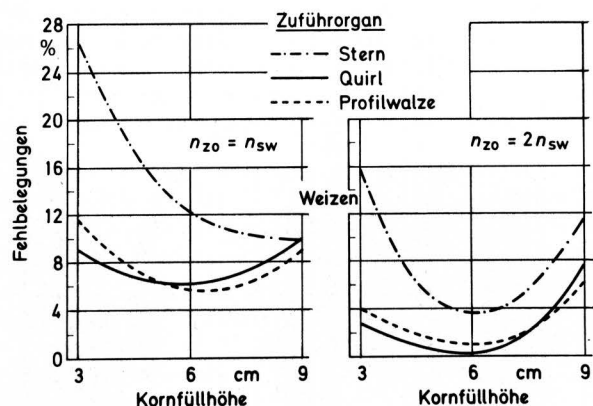


Bild 5. Einfluß des Zuführorgans, seiner Drehfrequenz und der Kornfüllhöhe auf den Anteil der Fehlbelegungen (in v.H. der Saugöffnungen) bei Weizen.
Soll-Kornfrequenz 60 s^{-1} ; Unterdruck 150 mbar
 n_{zo} = Drehfrequenz des Zuführorgans
 n_{sw} = Drehfrequenz der Säwalze

Sie wird nur bei intensiver Kornnachlieferung und -beschleunigung erreicht, wie sie der Quirl bei einer Kornfüllhöhe von 6 cm und hoher Drehfrequenz des Zuführorgans für alle Getreidearten, auch für die nicht in Bild 4 und 5 gezeigten, gewährleistet.

Auf der Grundlage dieser Faktorenkonstellation wurden alle weiteren Untersuchungen durchgeführt.

Die **Bilder 6 und 7** enthalten Ergebnisse über den Einfluß des Unterdrucks und der Soll-Kornfrequenz auf die Kornaufnahme. Die Ergebnisse zeigen, daß sich mit steigender Soll-Kornfrequenz bei gleichbleibendem Unterdruck der Anteil der Fehlbelegungen erhöht. Um einen geringen Anteil an Fehlbelegungen zu erhalten, muß bei großen Soll-Kornfrequenzen auch ein hoher Unterdruck angewandt werden. Bei einer Soll-Kornfrequenz von 20 Körnern je Sekunde hingegen reicht die Kornbeschleunigung durch das Zuführorgan aus, um den Anteil der Fehlbelegungen auch bei niedrigem Unterdruck in Grenzen zu halten. Ein geringer Unterdruck wirkt sich ansonsten für Getreidearten mit hoher Tausendkornmasse (Weizen, Gerste) nachteiliger aus als für die leichteren Roggen- und Haferkörner.

Es kann bei allen Getreidearten der Anteil der Fehlbelegungen unter 1 % gehalten werden, sofern der Unterdruck auf die jeweilige Soll-Kornfrequenz abgestimmt wird. Im einzelnen sind dabei folgende Unterdrücke erforderlich:

| Soll-Kornfrequenz | Unterdruck |
|-------------------|--------------|
| 20 Körner/s | 100 mbar |
| 40 Körner/s | 100–150 mbar |
| 60 Körner/s | 150 mbar. |

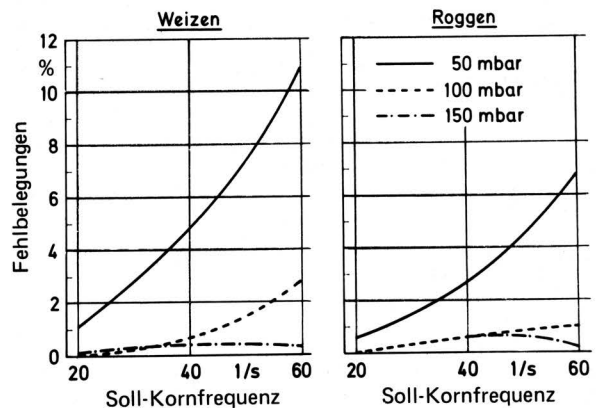


Bild 6. Anteil der Fehlbelegungen in Abhängigkeit von Unterdruck und Soll-Kornfrequenz.
Kornfüllhöhe 6 cm, Zuführorgan Quirl, Drehfrequenz des Zuführorgans = 2fache Drehfrequenz der Säwalze.

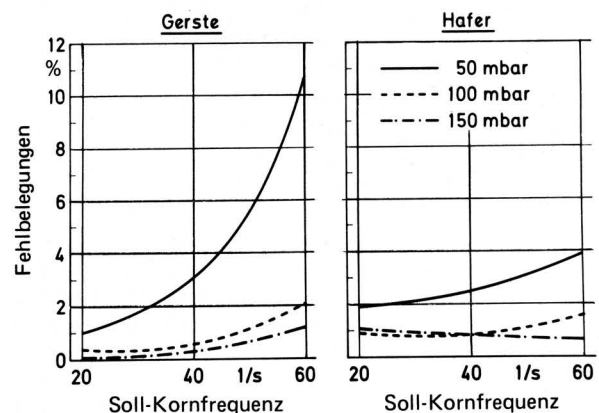


Bild 7. Anteil der Fehlbelegungen in Abhängigkeit von Unterdruck und Soll-Kornfrequenz.
Kornfüllhöhe 6 cm, Zuführorgan Quirl, Drehfrequenz des Zuführorgans = 2fache Drehfrequenz der Säwalze.

Die nachfolgenden Versuchsergebnisse wurden jeweils unter Anwendung dieser Unterdrücke gewonnen.

6.2 Kornvereinzelung

Welche Bedeutung der Kornvereinzelung zukommt, veranschaulicht der Anteil an Doppelbelegungen, die bei der Kornaufnahme auftraten, **Bild 8**. Um den Einfluß des Unterdrucks auf die Häufigkeit von Doppelbelegungen zu demonstrieren, sind für die Soll-Kornfrequenz 40 Körner/s zwei Unterdrücke eingezeichnet.

Erhebliche Unterschiede bestehen zwischen den Getreidearten. Der Anteil der Doppelbelegungen ist für Roggenkörner zweimal so groß, für Haferkörner viermal so groß wie für Weizenkörner. Jedes zweite aufgenommene Haferkorn muß beim Vereinzelvorgang wieder von den Öffnungen entfernt werden. Bei konstantem Unterdruck verringert sich der Anteil der Doppelbelegungen aller Getreidearten mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit der Säwalze in gleichem Maße, wie er andererseits ansteigt, wenn man bei gleicher Soll-Kornfrequenz den Druck um 50 mbar erhöht. Die Werte schwanken um so mehr, je höher das allgemeine Niveau der Doppelbelegungen liegt.

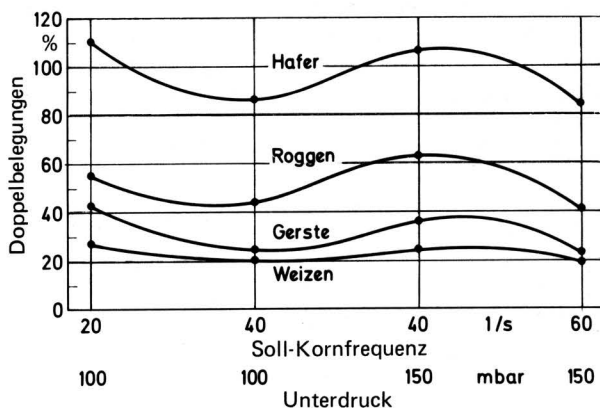


Bild 8. Anteil der Doppelbelegungen (in v.H. der Saugöffnungen) vor der Kornvereinzelung.

Form und Masse der Körner entscheiden vorwiegend über die Differenzen zwischen den Getreidearten. Die rundlichen, gedrungeenen, schweren Weizenkörner verschließen die Saugöffnungen vollständig und lassen deshalb weniger Doppelbelegungen zu als z.B. Roggenkörner, die schlanker und leichter sind und einen geringeren Durchmesser aufweisen. Es ist aber nicht nur der Korndurchmesser von Belang, sondern auch die Gestalt der Kornenden, wie die Ergebnisse mit Hafer zeigen. Wenn dessen Körner mit den Spitzen angesaugt werden, bleiben Teile der Öffnung frei und ermöglichen so die Aufnahme weiterer Körner. Bei einigen Öffnungen konnten bis zu vierfache Belegungen beobachtet werden.

Zur Verringerung des Anteils der Doppelbelegungen bietet sich der Einsatz von Vereinzelungsvorrichtungen an. Es wurden mechanisch arbeitende Vereinzelungsvorrichtungen benutzt, die entweder einseitig oder beidseitig auf die Sauglöcher wirkten, **Bild 9**. Vom beidseitig wirkenden Abstreifer wurden drei Ausführungen geprüft, die sich lediglich in der Zahl der Rundstäbe und in deren Abstand zueinander unterschieden. Ausführung I war mit 20 Rundstäben, Ausführung III mit 10 Rundstäben und Ausführung VII mit 5 Rundstäben bestückt. Alle Abstreifertypen konnten zur Anpassung ihres Abstandes zu den Sauglöchern an unterschiedliche Kornformen und Säwalzendrehfrequenzen axial verschoben werden. Die Verstellintervalle betragen 0,3 mm.

Der Erfolg des Vereinzelungsvorgangs läßt sich über den Anteil der einzeln an den Öffnungen haftenden Körner, kurz Einzelkornfassung genannt, beurteilen. Die Differenz zu 100 % der Sauglöcher setzt sich aus den Anteilen der Fehl- und Doppelbelegungen zusammen.

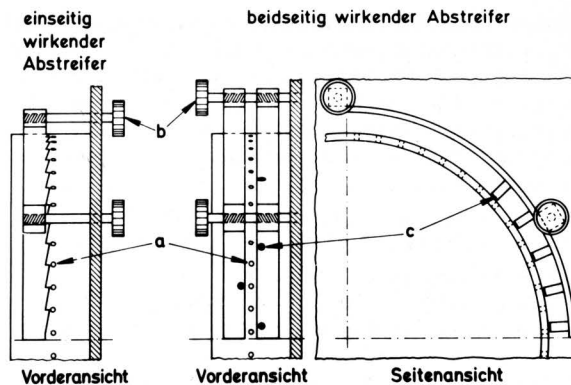


Bild 9. Untersuchte Abstreifertypen (schematisch).

- a Lochreihe
- b Verstellrad
- c Rundstab

Die Wirkungsweise verschiedener Abstreiferausführungen soll exemplarisch für Hafer dargestellt werden, **Bild 10**. Bei allen Abstreifertypen erweist sich jeweils nur eine Einstellung hinsichtlich der Einzelkornfassung als optimal. Wenn ein Abstreifer schrittweise an die Lochreihe herangeführt wird, erfolgt zunächst allein über die Verminderung der Doppelbelegungen der Anstieg der Einzelkornfassung (Kurvenäste rechts vom Optimum). Im Wendepunkt der Kurven wird der Anteil der Fehlbelegungen noch nicht beeinflusst, der dann bei schärferer Einstellung rasch ansteigt, was zur Abnahme der Einzelkornfassung führt (Kurvenäste links vom Optimum).

Der einseitig wirkende Abstreifer vermag den Anteil der Doppelbelegungen nicht entscheidend zu reduzieren und erreicht deshalb nur eine Einzelkornfassung von 84 %. Dies überrascht um so mehr, als das Optimum mit einer Abstreifereinstellung erzielt wird, bei der der Abstreifer bereits 0,6 mm und damit rund ein Drittel des Lochdurchmessers überstreicht. Körnerverletzungen können die Folge sein. Diese Gefahr wird vermindert durch den Einsatz beidseitig wirkender Abstreifer, deren Rundstäbe sich bei optimierter Kornfassung nicht im Bereich der Saugöffnungen befinden. Derartige Abstreifer arbeiten um so besser, je größer die Freiräume zwischen den Rundstäben sind. Dadurch steht den abgestreiften Körnern mehr Platz zur Verfügung, seitlich in den Saatgutvorrat zurückzufallen. Gerade Hafer benötigt aufgrund seiner Kornlänge vergleichsweise viel Raum für das ungehinderte Zurückfallen in den Saatgutvorrat.

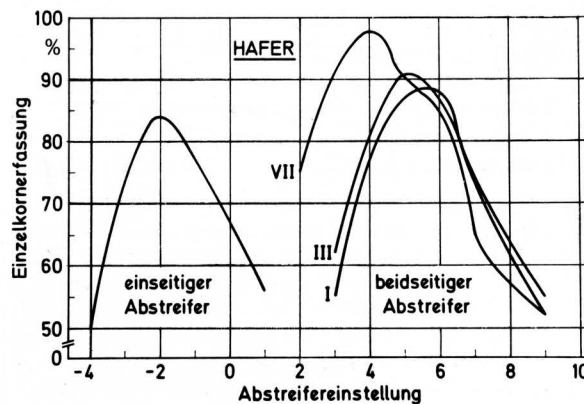


Bild 10. Kornvereinzelung durch variierte Einstellungen verschiedener Abstreifer, Soll-Kornfrequenz 60 s⁻¹, Unterdruck 150 mbar.

Die anderen Getreidearten zeigen bei optimaler Abstreifereinstellung keine so deutliche Reaktion auf die verschiedenen Vereinzlungseinrichtungen, **Bild 11**. Gleichwohl führt eine einzige Abstreiferausführung, VII, zu den besten Vereinzlungsergebnissen. Vor allem eignet sie sich für alle Getreidearten in gleicher Weise: zwischen Roggen und Hafer besteht nur rund 2 % Differenz in der Einzelkornfassung.

Aus **Bild 10** ersieht man für Hafer, wie sich die Abstreiferverstellung um jeweils eine Stufe, d.h. um 0,3 mm, auf die Einzelkornfassung auswirkt. Bei jeder Samenart ergibt eine andere Einstellung die beste Lösung und auch die Drehfrequenz der Säwalze muß bei der Abstreifereinstellung berücksichtigt werden. Für den praktischen Einsatz einer Einzelkornsämaschine wäre ein feststehender Abstreifer von großem Vorteil; zum einen könnte die Vereinzlungsvorrichtung wesentlich einfacher und damit billiger gehalten werden, zum anderen wären Bedienungsfehler ausgeschlossen.

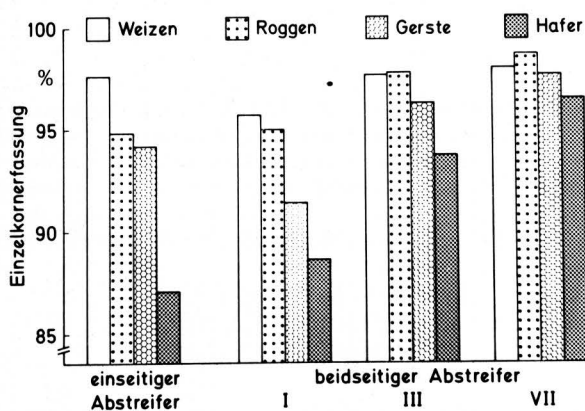


Bild 11. Vereinzlungserfolg verschiedener Abstreifer (Mittelwerte von 3 Soll-Kornfrequenzen).

Ein fest installierter Abstreifer läßt sich aber deshalb nicht realisieren, weil die Qualität der Vereinzlung erheblich leidet, **Bild 12**. Während bei optimaler Einstellung für alle Soll-Kornfrequenzen relativ gleichmäßige Ergebnisse vorliegen, ist bei konstanter Einstellung ein erheblicher Rückgang der Einzelkornfassung entweder bei niedrigen oder bei hohen Soll-Kornfrequenzen festzustellen. Um diese negativen Auswirkungen zu vermeiden, muß die Vereinzlungseinrichtung verstellbar installiert werden.

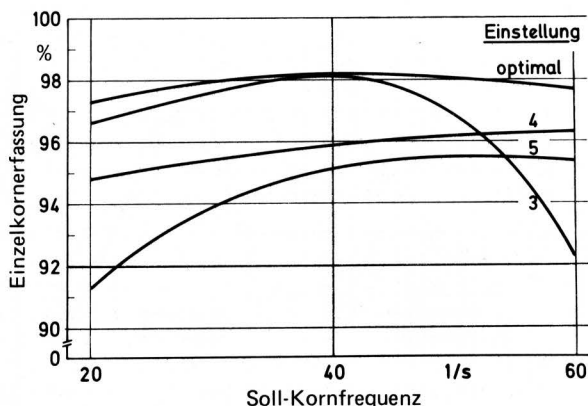


Bild 12. Vereinzlungserfolg bei optimaler Abstreifereinstellung im Vergleich zu drei konstanten Einstellungen (Abstreiferausführung VII; Mittelwerte von 4 Getreidearten).

6.3 Kornabwurf

Nach erfolgter Vereinzlung werden die Körner auf der Säwalze zum Abwurfort geführt, wo sie das Gerät verlassen sollen. Das Lösen der Körner von der Säwalze gestaltet sich bei pneumatischer Arbeitsweise nicht völlig problemlos. Dies liegt grundsätzlich daran, daß ein Teil der Körner nicht mit der Längsseite auf, sondern mit einer Spitze in der Saugöffnung haftet. Die solchermaßen erfaßten Körner neigen teilweise dazu, sich in den Öffnungen zu verkanten und am Abwurfort nach Unterbrechen des Unterdrucks durch die Abdruckrolle, s. **Bild 2**, nicht abzufallen. Sie werden zwangsläufig beim Wiedereintritt der jeweiligen Saugöffnung in den Saatgutbehälter abgesichert. Die in den Saugöffnungen verbleibenden Kornreste führen zum Verstopfen von Löchern. Dies muß in jedem Fall vermieden werden, da sonst eine erneute Kornaufnahme nicht möglich ist.

Es wurde bei den Versuchen zu Kornaufnahme und -vereinzlung zunächst eine Gummirolle von nur 38 mm Durchmesser verwendet, die den Unterdruck lediglich auf einer Strecke von rund 10 mm am inneren Umfang der Säwalze abschirmt. Legt man die für Soll-Kornfrequenzen von 20 bis 60 Körnern/s notwendigen Umfangsgeschwindigkeiten der Säwalze von 0,21 bis 0,64 m/s zugrunde, so müssen sich die Körner innerhalb einer Zeitspanne von 0,05 bis 0,02 s von den Öffnungen lösen. Diese Zeitspanne reichte offensichtlich nicht aus.

Durch den Wechsel zu einer größeren Abdruckrolle mit 58 mm Durchmesser konnte eine Strecke von 20 bis 25 mm unterdruckfrei gehalten werden, so daß den Körnern eine längere Zeit zur Verfügung stand, die Säwalze zu verlassen. Für Weizen, Roggen und Gerste reichte diese Zeit aus, während bei Hafer immer noch rund 5 % der Körner nicht abfielen. Dieser Anteil konnte durch einen Zwangsauswerfer entfernt werden, der ähnlich wie der einseitige Abstreifer wirkte, die Körner seitlich von den Löchern verdrängte und so längerfristige Verstopfungen vermied.

6.4 Kornablage

Der Erfolg aller zuvor dargestellten Bemühungen zur Optimierung des Sävorgangs wird an der Kornablage gemessen. Anzustreben ist eine äquidistante Ablage der Körner in einer Reihe. Einbußen in der Ablagequalität resultieren aus den Fehlern bei der Kornaufnahme, der Kornvereinzlung und dem Kornabwurf, verbunden mit den Fehlern, die auf dem Weg der Körner zum Boden durch Unterschiede in den Fallbahnen entstehen. Ob und in welchem Maße sie sich auf die Verteilgenauigkeit auswirken, hängt von der Getreideart, der Umfangsgeschwindigkeit der Säwalze und von der Fallhöhe ab. Diese Einflußgrößen wurden bei der Kornablage auf Leimstreifen untersucht, wozu unter dem stationären Gerät ein mit Leim bestrichenes Papierband hindurchgezogen wurde, das die abgegebenen Körner am Ort des Auftreffens fixierte.

Als Beurteilungskriterium der Ablagegüte dient der Variationskoeffizient des Kornabstandes in der Reihe, das ist die auf den Mittelwert bezogene Standardabweichung des Kornabstandes in Prozent. Ein niedriger Variationskoeffizient zeigt eine gute Verteilung an. Eine weitere Maßzahl stellt die relative Häufigkeit der Kornabstände im Sollbereich dar. Der Sollbereich umfaßt alle Abstände, die weder Doppel- noch Fehlstellen enthalten und die über eine noch zulässige Abweichung vom Sollabstand (Toleranzbereich: 0,5- bis 1,5faches des Soll-Kornabstandes) nicht hinausgehen. Der eingestellte Kornabstand (Soll-Kornabstand) betrug in allen Versuchen 4 cm.

Den Einfluß von Fallhöhe und Soll-Kornfrequenz auf die Ablagequalität zeigt **Bild 13**. Mit steigender Fallhöhe (unten) nimmt der Variationskoeffizient zu, die Ablagegenauigkeit also ab. Diese Ergebnisse stimmen mit denjenigen älterer Arbeiten überein [7, 14]. Dabei reagiert Roggen als die am exaktesten verteilte Getreideart nur geringfügig auf die Veränderung der Fallhöhe, während für die anderen Getreidearten der Variationskoeffizient zwischen 5 und 11 % beim Übergang von der niedrigsten zur höchsten Fallstufe

ansteigt. Die gleichen Tendenzen sind für den Einfluß der ansteigenden Soll-Kornfrequenz erkennbar. Die unbespelzten Getreidearten, vor allem der Roggen, lassen sich genauer einzeln ablegen als die bespelzten. Roggen erreicht mit Variationskoeffizienten zwischen 20 und 25 % ein nahezu doppelt so gutes Resultat wie Hafer. Im Vergleich zur Drillsaat, deren Variationskoeffizient immer 100 beträgt [1], erzielt das untersuchte Einzelkornsäugerät eine zweifach (Hafer) bis fünffach (Roggen) bessere Kornverteilung.

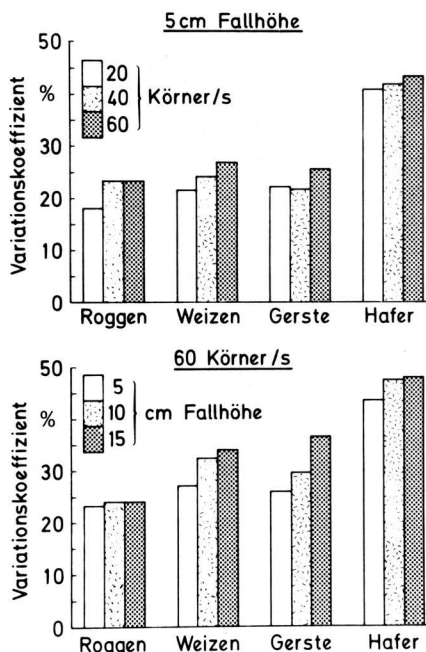


Bild 13. Ablagegenauigkeit in Abhängigkeit von Soll-Kornfrequenz (oben) und Fallhöhe (unten) bei optimiertem Unterdruck und optimierter Abstreifereinstellung.

Es fällt allerdings auf, daß das recht ausgeglichene Ergebnis der verschiedenen Getreidearten, wie es bei der Kornaufnahme und der Kornvereinzelnung vorliegt, nach der Kornablage verlorengeht, **Bild 14.** Während bei Roggen und Gerste die gute Einzelkorn- erfassung in eine entsprechend gute Kornverteilung umgesetzt wird, gelingt dies für Weizen nur teilweise, und für Hafer ist die größte Diskrepanz zwischen Erfassung und Ablage zu verzeichnen.

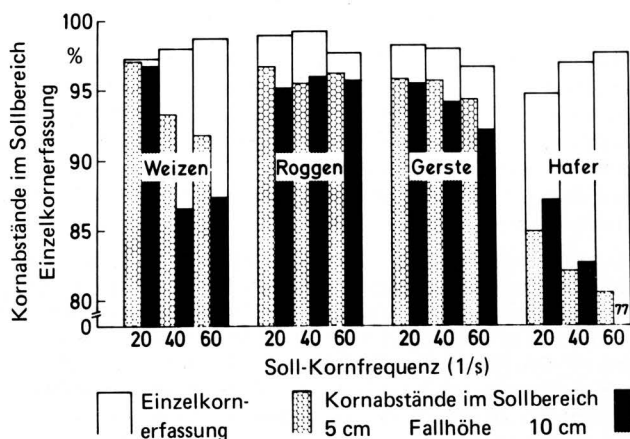


Bild 14. Vergleich der Einzelkorn- erfassung mit den relativen Häufigkeiten der Kornabstände im Sollbereich bei optimalem Unterdruck und optimierter Abstreifereinstellung.

Die Ursachen dieser Verschiebungen sind zum einen beim Korn- abwurf selbst, zum anderen in der Fallbahn der Körner vom Ab- wurfpunkt zum Boden zu suchen. Der Kornabwurf ist als Fehler- quelle für Roggen, Weizen und Gerste weitgehend eliminiert und kann somit nicht als Hauptursache für die Differenzen zwischen dem Anteil der Einzelkorn- erfassung und der relativen Häufigkeit der Kornabstände im Sollbereich angesehen werden. Die größte Wirkung muß demnach bei diesen Getreidearten von der "Streu- ung" der Körnerfallbahnen ausgegangen sein. Wenn nur einzelne Körner von den Fallbahnen der Mehrzahl der Körner abweichen, erhält man ein Ergebnis, wie es für Roggen vorliegt: unabhängig von der Soll-Kornfrequenz und der Fallhöhe bleibt die Ablage- qualität auf einem hohen Niveau. Je mehr Körner von der mittleren Fallbahn abweichen, um so negativer wirken sich durch erhöhte Umfangsgeschwindigkeit der Säwalze oder durch ansteigende Fall- höhe verursachte verlängerte Fallbahnen auf den Anteil der Korn- abstände im Sollbereich aus. Bei Gerste ist diese Tendenz noch relativ schwach ausgeprägt, während sie bei Weizen deutlicher in Er- scheinung tritt. Die ungenaueste Ablage liefert der Hafer. Als Ur- sache kommen nicht nur die ungleichmäßigen Fallbahnen des Ha- fers in Betracht. Bei dieser Getreideart sind auch die Unterschiede im Abwurfort zu berücksichtigen, die dadurch entstehen, daß sich nicht alle Körner sofort bei Unterbrechung des Unterdrucks von den Saugöffnungen lösen (s. 6.3). Die erst durch die Wirkung des Zwangsauswerfers von den Saugöffnungen entfernten Körner fallen sehr ungleichmäßig ab und beeinflussen dadurch auch die Ablage- qualität.

7. Konstruktion einer mehrreihigen Einzelkornsämaschine

Die Ergebnisse zeigen, daß die Einzelkornsämaschine auf pneumatischem Wege durchgeführt werden kann. Für die Saug- öffnungen reicht eine einheitliche Größe aus, um alle Getreide- arten auszusäen. Es treten zwischen den Getreidearten zwar Un- terschiede hinsichtlich ihrer Eignung für die Einzelkornsämaschine auf, was insbesondere für die Phasen des Kornabwurfs und der Kornablage gilt, grundsätzlich steht einer Aussaat aller Getreidearten aber nichts im Wege.

Die Ausbildung des Säorgans als Walze ermöglicht eine gemeinsa- me Anordnung für mehrere Reihen nebeneinander auf einer durch- gehenden Säwalze. Diese Lösung verspricht weitaus kostengünsti- ger als die Anfertigung eines Einzelaggregates für jede Reihe zu werden. Für diese Konstruktion spricht außerdem, daß das Säsys- tem eine Verminderung des Reihenabstandes unter 10 cm nicht mehr behindert. Die für jede Reihe benötigten Aggregate (Abstrei- fer, Abdruckrolle, Zwangsauswerfer) beanspruchen lediglich eine Breite von 3 bis 4 cm.

Bislang steht einer Verminderung des Reihenabstandes auf 6 bis 8 cm, wie sie für das Ideal eines Quadrat- oder Dreieckverbandes notwendig wäre, das Fehlen geeigneter Werkzeuge zur Saattrinnen- ausbildung entgegen. Packerringe scheinen am ehesten dazu geeig- net zu sein, dieses Ziel zu realisieren. Sie hinterlassen offene Saatrinnen, in die die Körner ohne Zwischenschaltung von Säleitungen fallen können. Durch das Abrollen der Ringe auf dem Boden sind sie weniger anfällig für Verstopfungen durch Pflanzenreste als kufenförmige Schare. Packerringe werden in der Regel starr auf einer Achse geführt, was einerseits hohe Anforderungen an das vorherige Einebnen des Saatbettes stellt, was andererseits aber den Ansprüchen der ebenfalls starren Säwalze entgegenkommt.

Die Verwendung von Packerringen zur Furchenbildung wirft je- doch auch Probleme auf. Besonders die Ursachen für das Anhaften des Bodens an und zwischen den Packerringen müssen eingehend untersucht werden. Außerdem bereitet das Erreichen ausreichender Saattiefen bei sehr engen Ringabständen noch Schwierigkeiten. Diese Probleme sind Gegenstand weiterer Untersuchungen.

8. Zusammenfassung

Verbesserungen in der Anbautechnik des Getreides verlangen von der Sätechnik Lösungen, die die pflanzenbaulichen Forderungen nach gleichmäßiger Kornverteilung stärker berücksichtigen.

Es wird ein pneumatisch arbeitendes Sägerät vorgestellt, das die Einzelkornsaat von Getreide realisieren soll. Nach der Diskussion grundsätzlicher Überlegungen zur Art des Säsystems wird das neu entwickelte Sägerät schrittweise in den Phasen Kornaufnahme, Kornvereinzelnung, Kornabwurf und Kornablage optimiert.

Auf die Kornaufnahme haben Einfluß: Drehfrequenz der Säwalze und des Zuführorgans, Form des Zuführorgans, Kornfüllhöhe an der Säwalze und Unterdruck. Eine Kornvereinzelnung wird notwendig, da zwischen 20 und 110 % Doppelbelegungen auftreten.

Die genaueste Kornvereinzelnung gelingt mit einem beidseitig wirkenden Abstreifer, der die überzähligen Körner schonend von den Saugöffnungen verdrängt. Für alle Getreidearten liegt die Einzelkornfassung nach der Vereinzelnung über 96 %.

Probleme treten beim Kornabwurf auf, weil nicht alle Körner am vorgesehenen Punkt das Sägerät verlassen. Die Verlängerung der unterdruckfreien Strecke in Verbindung mit einem Zwangsauswerfer schafft hier Abhilfe.

Die Ablagequalität als Resultat des gesamten Sävorgangs ist bei dem Einzelkornsägerät deutlich besser als bei Drillmaschinen. Während bei letzteren die Kornabstände in der Reihe immer Variationskoeffizienten von etwa 100 % aufweisen, erreicht das Einzelkornsägerät für Hafer Variationskoeffizienten von 40 bis 45 %, für Roggen solche von 20 bis 25 %.

Mehrere Reihen von Saugöffnungen nebeneinander auf einer durchgehenden Säwalze angebracht, ergeben eine Einzelkornsämaschine für Getreide, die in der Lage ist, Reihenabstände unter 10 cm zu verwirklichen. Vorerst fehlen dazu noch die geeigneten Werkzeuge zur Saatrinnenbildung.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ●Heege, H.J.: Die Gleichstand-, Drill- und Breitsaat des Getreides unter besonderer Berücksichtigung der flächenmäßigen Kornverteilung. KTL-Berichte über Landtechnik Bd. 112 (1967).
- [2] Howe, S.: Precision drilled cereals. Power Farming Bd. 55 (1967) Nr. 7, S. 50/53.
- [3] Braunbeck, O.A. u. R.H. Wilkinson: Adaptation of a pneumatic row crop planter for precision drilling of wheat. ASAE-Paper Nr. 75-1001 (1975).
- [4] Budagov, A.A.: Voraussetzungen für die Entwicklung von Einzelkornsägeräten im Getreidebau. Mechanizacija i elektrifikacija socialističeskogo sel' skogo chozjajstva Bd. 34 (1976) S. 14/16.
- [5] Nachtweh, A.: Einzelkornsämaschinen. Deutsche Landwirtschaftliche Presse Bd. 51 (1924) Nr. 12, 13, 15–18 (Sonderdruck).
- [6] Schulz, D.: Pneumatische oder mechanische Einzelkornsaat von Getreide. Unveröffentlichter Versuchsbericht des Instituts für Landtechnik, Bonn, 1978.
- [7] ●Weller, K.: Die rein pneumatische Gleichstandsaaat. Diss. TH München, 1958.
- [8] Fouad, H.A. u. W. Brinkmann: Untersuchungen zur pneumatischen Einzelkornförderung in einer Schlauchleitung. Grundl. Landtechnik Bd. 25 (1975) Nr. 6, S. 177/86.
- [9] Kühne, G.: Das Problem der maschinellen Einzelkornsaat. VDI-Z. Bd. 68 (1924) Nr. 6, S. 113/17.
- [10] ●Jogwich, A.: Strömungslehre. Essen: Girardet 1975, S. 141.
- [11] ●Eck, B.: Technische Strömungslehre. Berlin: Springer 1966, S. 433.
- [12] ●Brenner, W.G.: Beiträge zur Kenntnis des Sortiervorganges bei der Sichtung von Saatgetreide durch Windströme. RKTl-Schriften Bd. 2 (1928).
- [13] ●Mülle, G.: Untersuchungen zur Einzelkornsaat von Getreide. Forschungsber. Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG) Bd. 32 (1979).
- [14] ●Evers, P.N.: Untersuchungen zur Längsverteilung von Rübensamen in der Saattrinne. Diss. Univ. Bonn, 1962.

Derzeitiger Stand des Wickelbrikettierens von Halmgut

Von Bernd Scheufler, Braunschweig*)

DK 631.363.283

Das Wickelbrikettieren von Halmgut mit einer anschließenden Konservierung ist ein Ernteverfahren, das Vorteile bietet. Die Wickelbriketts lassen sich wie ein Schüttgut handhaben, und durch die hohe Dichte benötigen die Halmgutwickel nur wenig Transport- und Lagerraum. Die Entwicklung und Erprobung einer Wickelbrikettiermaschine erfolgte während der vergangenen Jahre in den USA. In den beiden letzten Ernteperioden wurden zwei aus den USA eingeführte Maschinen unter deutschen Ernteverhältnissen eingesetzt und erprobt. Dabei wurden die wesentlichen betriebstechnischen Eigenschaften, wie z.B. Halmgutdurchsatz und durchsatzbezogener Leistungsbedarf sowie die anschließende Handhabung der Wickelbriketts auf dem Hof, untersucht.

*) Dipl.-Ing. Bernd Scheufler ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies) der Technischen Universität Braunschweig.

1. Allgemeines

Im Gegensatz zu den Verfahren der Hackfrucht- und der Getreideernte, wo sich im Laufe der vergangenen Jahre verlustarme und betriebstechnisch günstige Arbeitskette herausgebildet haben, wurden bei der Halmfütterernte verschiedenartige Verfahren entwickelt und praktiziert. Keines dieser Verfahren kann für sich in Anspruch nehmen, betriebswirtschaftlich die optimalen Verhältnisse zu bieten und damit am vorläufigen Ende einer Entwicklung zu stehen.

Das sogenannte Wickelbrikettieren des Halmgutes im Zusammenwirken mit einem neuartigen Konservierungsverfahren ist nun ein Ernteverfahren, das sich im gesamten Verlauf der Arbeitskette, die vom Aufsammeln des Halmgutes auf dem Feld über das Einlagern auf dem Hof bis zum Verfüttern des Halmgutes reicht, einfach und bequem handhaben läßt. Auf dem Feld wird das Halmgut von der Aufsammlerbrikettiermaschine schon nach kurzer Trocknungszeit noch feucht aufgenommen und von mehreren rotierenden Walzen aufgewickelt und zu einem festen Strang verdichtet. Dieses Radialdruckverfahren ist bekannt geworden unter der Bezeichnung "Wickelbrikettieren" oder auch "Wickelverdichten".