

Die Wirkung des freien und unfreien Schlages beim Drusch von Maiskolben

Von Ewald Graeber, Gottmadingen *)

DK 631.561.2:633.004.12

Die Kenntnis vom Mechanismus des Entkörnungsvorganges in der Dreschvorrichtung ist der Schlüssel zur Verbesserung des Dreschverfahrens.

Während die Werkzeuge zum Entkörnen von Getreideähren weitgehend gleich konzipiert sind, trifft dies für Sonderfrüchte, besonders für Körnermais, nicht zu. Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde am Lehrstuhl für Landtechnik der Universität Hohenheim die Wirkung von freien und unfreien Schlägen zum Entkörnen von Maiskolben untersucht [1]. Nachstehend wird über die Versuchsergebnisse und die verwendete Meßtechnik berichtet.

Einleitung

Die Vorgänge in den Dreschorganen lassen sich im wesentlichen auf zwei Arten der Beanspruchung des Erntegutes zurückführen: Auf Schlagvorgänge, bei denen die Kräfte am Erntegut aus der Massenträgheit des Gutes selbst resultieren, und auf Schlagvorgänge, bei denen neben den Trägheitskräften noch Stützkkräfte wirksam sind, die z. B. entweder durch Gegenwerkzeuge des Dreschorganes oder durch Ansammlungen von Erntegut im Dreschorgan aufgebracht werden. Diese verschiedenen Arten der Beanspruchung, hier als freier bzw. unfreier Schlag bezeichnet, werden mittels geeigneter Versuchseinrichtungen simuliert, um anhand der Analyse der Vorgänge neue Erkenntnisse für die Gestaltung von Entkörnungsvorrichtungen für Mais zu gewinnen.

1. Der freie Schlag

1.1 Versuchsanstellung

Der freie Schlag wurde mit einer Schleudereinrichtung, Bild 1, simuliert, bei der der Kolben von einem bewegten Wagen gegen eine feststehende Platte fliegt.

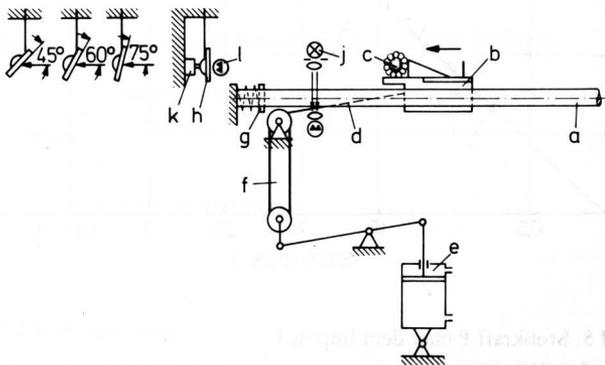


Bild 1. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Druschenergie bei freien Schlägen

- | | |
|----------------------|------------------|
| a Führungsschiene | g Puffer |
| b Wagen | h Werkzeug |
| c Maiskolben | j Lichtschranke |
| d Seilzug | k Kraftaufnehmer |
| e Pneumatik-Zylinder | l Lichtschranke |
| f Flaschenzug | |

*) Dipl.-Ing. Ewald Graeber ist bei der Fa. Maschinenfabrik Fahr, Gottmadingen, tätig. Die vorliegende Arbeit wurde am Lehrstuhl für Landtechnik der Universität Hohenheim (Prof. Dr.-Ing. G. Segler) mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Kolbens vor und nach dem Prall diente je eine Lichtschranke. Die Geschwindigkeit vor dem Prall ergibt sich aus der Zeit, in welcher eine am Wagen angebrachte Blende bekannter Abmessung die erste Lichtschranke j abdeckt. Die zweite Lichtschranke l sitzt an schwenkbaren Armen in einem bestimmten, wählbaren Abstand vor der Aufprallstelle des Kolbens. Die Breite des Lichtbandes, etwa 20 mm, verhindert, daß einzelne Körner ein Signal auslösen. Die Geschwindigkeit nach dem Prall ergibt sich aus dem Abstand der Lichtschranke von der Auftreffstelle und aus der zum Durchlaufen dieser Distanz benötigten Zeit. Dabei wird davon ausgegangen, daß an der Prallzone des Kolbens keine Entkörnung eintritt, die Kolbenform also in diesem Bereich erhalten bleibt.

Die Prallplatte liegt unter Vorspannung an zwei Quarzkristall-Kraftaufnehmern, mit deren Hilfe die beim Aufprall wirkende Kraft meßbar ist. Als Anzeigergerät für das Meßsignal der Kraft sowie für das Signal der zweiten Lichtschranke dient ein Oszilloskop. Mit der gewählten Meßkette, Bild 2, ist es möglich, die Kräfte bei den schnell ablaufenden Vorgängen hinreichend verzerrungsfrei zu messen.

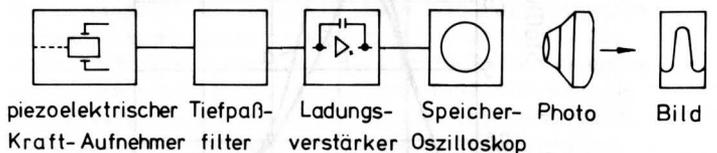


Bild 2. Meßkette zur Aufnahme der Kräfte

Maßgebend ist hierbei die Eigenfrequenz ω_0 des Feder-Masse-Systems. Für die Registrierung kurzer einzelner Kraftstöße spielt der Einschwingvorgang eine Rolle. Bei einer Stoßzeit von $\tau = 0,34\omega_0$ liegt der Meßfehler innerhalb 10 %.

1.2 Das Meßprinzip

Dem Meßprinzip liegt die Ausbreitung von Längswellen in Stäben zugrunde. Beim Stoß auf die Platte wird in den beiden Stäben der Plattenhalterung, eine Longitudinalwelle hervorgerufen, deren zeitlicher Verlauf dem des Stoßes entspricht und die die Stäbe mit Schallgeschwindigkeit durchläuft. Sind in den Stäben piezoelektrische Scheiben eingefügt, so geben sie eine Spannung ab, die dem Kraft-Zeit-Verlauf des Stoßes entspricht. Signalverfälschungen können auftreten durch:

- Reflexionen an der Grenzfläche zwischen Scheibe und Stab.
- Dispersion der Stoßwelle in Abhängigkeit von der Geometrie des Stabes bzw. Stoßes.

Ein kritischer Punkt ist die Ankoppelung Platte - Geber. Die Meßkette der Kraft wurde statisch durch Anhängen von Gewichten kalibriert. Der Versuch, die Meßkette bzw. die Geber bei der Meßfrequenz zu eichen, wurde nicht unternommen.

1.3 Die Vorgänge beim Stoß

Beim Zusammenprall von Kolben und Platte findet ein teilplastischer Stoß statt. Dabei kann man wie bei homogenen Körpern eine Kontraktionsphase und eine Rückfederungsphase unterscheiden. Aufgrund des Kolbenaufbaus und der Kolbenform ist anzunehmen, daß sich der elastische Anteil der Formänderungsenergie über den ganzen Kolben verteilt und sich nicht an der Stoßstelle konzentriert. Diese Annahme dürfte vor allem bei punktförmiger Kontaktzone gelten.

Die der Bewegung entzogene Energie verteilt sich entsprechend den Eigenschaften der Partner. Trifft eine sehr harte Platte mit einem weichen Kolben zusammen, so nimmt der Kolben die ganze "Verlustenergie" auf. Im Verlauf des Stoßes wirkt zu Beginn der ersten Stoßphase eine kleine Kraft auf die Körner und verformt diese überwiegend elastisch. Mit zunehmender Kraft nimmt auch der Anteil der plastischen Verformung zu. Es tritt Bruch auf, die Körner verschieben sich im Kornverband. Das dürfte besonders für das Zentrum der Berührflächen zutreffen. Durch die Korndeformation und die Kornverschiebung werden dann weitere Kornbereiche erfaßt und zunächst elastisch verformt. In zunehmendem Maße wirken sich hierbei auch die Eigenschaften der Spindel aus, die ein hohlzylinderähnliches Gebilde darstellt; im Querschnitt gesehen bilden die Randschichten der Spindel einen festen Ring um eine spezifisch leichte, mit Mark gefüllte Mittelzone. Nach dem Stoß führt der Kolben eine translatorische, sowie in geringerem Maße eine rotatorische Bewegung um zwei Achsen aus.

1.4 Meßergebnisse

Die Messungen ergaben einen etwa sinusförmigen Verlauf der Stoßkraft über der Zeit, Bild 3. Die Stoßkraft steigt in der Zeit zwischen t_0 und t_1 zu einem Maximum an und erreicht wieder den Wert 0 zur Zeit t_2 .

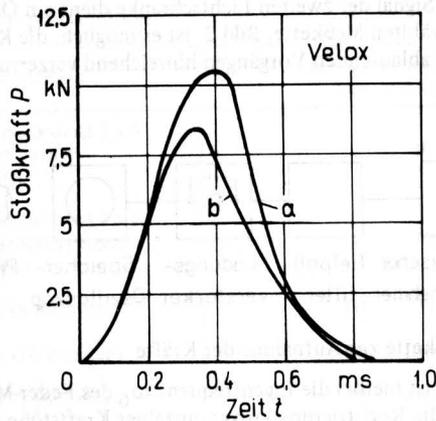


Bild 3. Stoßkraft über der Zeit

Sorte Velox
 a 1. Schlag: $I = 3,0 \text{ kgm/s}$
 b 2. Schlag: $I = 2,77 \text{ kgm/s}$
 Werkzeug: glatte Platte
 Anstellwinkel: 90°

Der Anstieg zwischen t_0 und t_1 entspricht der ersten Phase, der Abfall zwischen t_1 und t_2 entspricht der zweiten Phase des Stoßes. Durch Überlagerung weiterer Stöße zeigt die registrierte Stoßkurve häufig andere Formen. Die Abschnitte konischer Kolben prallen nicht gleichzeitig auf und im abfallenden Kurvenzug tritt eine zweite, in der Regel niedrigere Kraftspitze auf, Bild 4.

Mit zunehmender Wurfgeschwindigkeit nimmt auch die maximale Kraft P_{max} zu. Trägt man die in Bewegungsrichtung gemessene maximale Stoßkraft über dem Impuls $I = m_k \cdot v_0$ (m_k Kolbenmasse, v_0 Wurfgeschwindigkeit) auf, so ergibt sich der erwartete lineare Zusammenhang, Bild 5. Die für die Verzögerung und damit für die am Korn wirkende Massenkraft maßgebliche Zeitdauer der ersten Phase beträgt 0,2 bis 0,7 Millisekunden je nach Kolbenmasse, Wurfgeschwindigkeit, Plattenbeschaffenheit und Gutzustand.

Die Geschwindigkeit v_2 des (Rest-) Kolbens nach dem Aufprall liegt erheblich unter der Wurfgeschwindigkeit v_0 . Die Auswertung ergab z. B. für Kolben der Sorte Inra 258 mit einem Feuchtegehalt $U = 43 \%$ folgende Zahlen:

$$\begin{aligned} v_0/v_2 &= 2,9 \text{ für Rippenplatte (weit), Anstellwinkel } 45^\circ, \\ v_0/v_2 &= 2,4 \text{ für Gummipatte, Anstellwinkel } 45^\circ, \\ v_0/v_2 &= 4,6 \text{ für Rippenplatte (weit), Anstellwinkel } 90^\circ. \end{aligned}$$

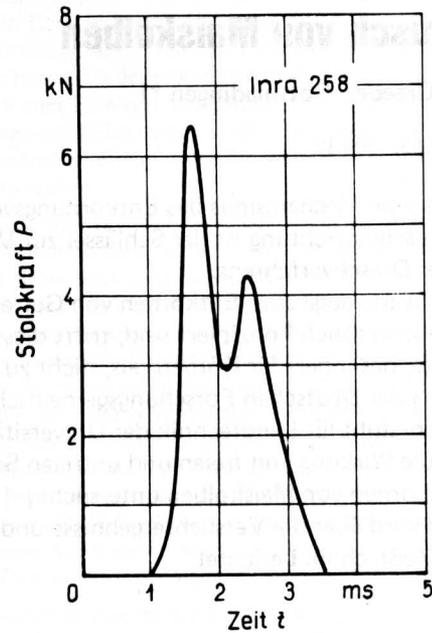


Bild 4. Stoßkraft über der Zeit bei ungleichmäßigem Aufprall

Sorte Inra 258
 Feuchtegehalt $U = 40 \%$
 Stoßimpuls $I = 3,19 \text{ kgm/s}$
 Werkzeug: Gummipatte
 Anstellwinkel 45°

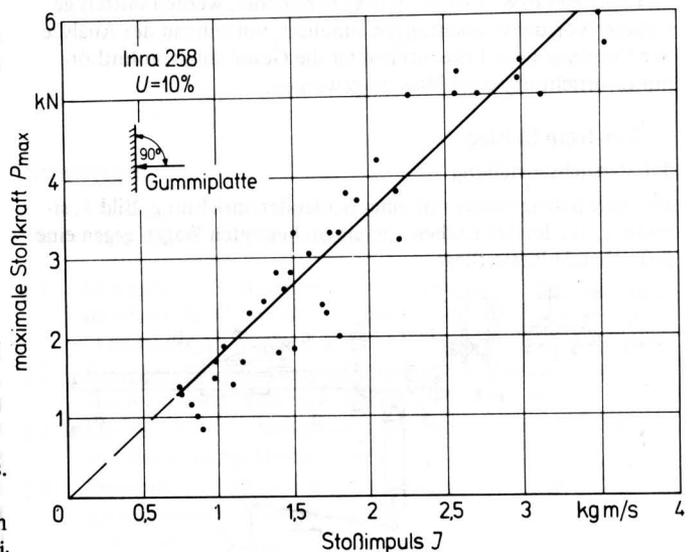


Bild 5. Stoßkraft P über dem Impuls I

Sorte Inra 258, entliescht
 Feuchtigkeit $U = 10 \%$
 Kolbenlage parallel
 Werkzeug: Gummipatte, 1. Schlag
 Anstellwinkel 90°

Bei niedriger, einem geringeren Entkörnungsgrad entsprechender Wurfgeschwindigkeit, ergaben sich in der Regel niedrigere Verhältniszahlen als bei hoher Wurfgeschwindigkeit. An sich war der umgekehrte Fall erwartet worden, da die beim Prall in der zweiten Stoßphase auftretende Kraft auf den teilentkörnten Kolben wirkt, also eine geringere Masse zu beschleunigen hat. Der Unterschied zwischen geneigt und senkrecht angeordnetem Werkzeug zeigt, daß die Bewegungsenergie nicht gleich genutzt wird.

Der Prall auf ein geneigtes Werkzeug führt zu einer Bewegung des Kolbens in Übereinstimmung mit dem Reflexionsgesetz. Der Einfallswinkel ist in den meisten Fällen gleich dem Ausfallswinkel. Wegen der Stauwirkung an der Platte war ein geringerer Ausfallswinkel erwartet worden. Anscheinend wird dies jedoch durch einen Abroll- und Gleitvorgang ausgeglichen. Theoretisch gilt das Reflexionsgesetz nur für den elastischen Stoß an einer glatten Wand unendlich großer Masse. Die Wand nimmt dabei keine Energie, wohl aber Impuls auf.

2. Der unfreie Schlag

2.1 Versuchsanstellung

Zum Simulieren des unfreien Schlages diente die in Bild 6 dargestellte Vorrichtung.

Die Kolbenteile sind hier in eine Zwinge eingespannt. Die Zwinge liegt unter Vorspannung an einem Kraftaufnehmer an, mit dessen Hilfe die senkrecht zur Bewegungsrichtung des Wagens auftretende Kraft P_r (Radialkraft) meßbar ist. Am Wagen dient eine Halterung, die von zwei im Sinne eines Gelenkvierecks ausgebildeten Federn getragen wird, zur Aufnahme der verschiedenen, dem Schlagleistenprofil oder den Schlagblattkanten von Reblern nachgebildeten, glatten Werkzeugen. Die beiden Federn drücken die Werkzeughalterung gegen zwei Kraftaufnehmer zum Messen der am Werkzeug in Bewegungsrichtung auftretenden Kraft P_t (Tangentialkraft).

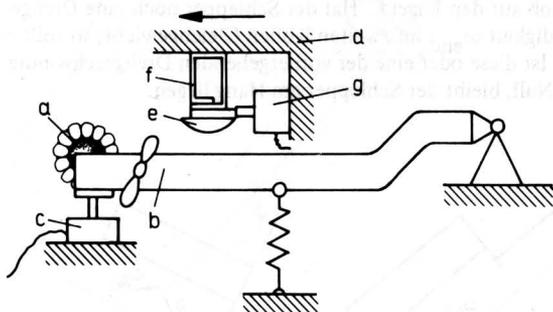


Bild 6. Vorrichtung zum Simulieren des unfreien Schlages

- a - Kolbenabschnitt
- b - Spannvorrichtung, Zwinge
- c - Kraftaufnehmer an der Einspannung
- d - Wagen
- e - Werkzeug
- f - Federelement
- g - Kraftaufnehmer am Werkzeug

2.2 Meßergebnisse

Durch gemeinsame Aufzeichnung am Oszilloskop ist ein Vergleich von Radialkraft und Tangentialkraft möglich. Das Signal der an der Zwinge gemessenen Radialkraft P_r diente bei den dazu durchgeführten Versuchen zum Auslösen der Aufzeichnung.

Mit Werkzeugen, deren Radien 20 und 7,5 mm betragen, ergaben sich etwa gleichgroße Kräfte in beiden Richtungen. Bei Verwendung von Werkzeugen, deren Radien 3 und 1 mm betragen, lag die Radialkraft P_r bis zu 30 % unter der Tangentialkraft P_t . Der Kolben wird also hier einer geringeren Quetschbeanspruchung ausgesetzt. Der zeitliche Verlauf der Kräfte an Werkzeug und Zwinge unterscheidet sich nur bei einigen Einzelmessungen mit den stark gerundeten Werkzeugen, d. h. das Maximum der Radialkraft tritt hier später auf als das der Tangentialkraft, Bild 7. Das Werkzeug griff bei den Versuchen jeweils 5 mm unter dem höchsten Punkt des Kolbenabschnittes an.

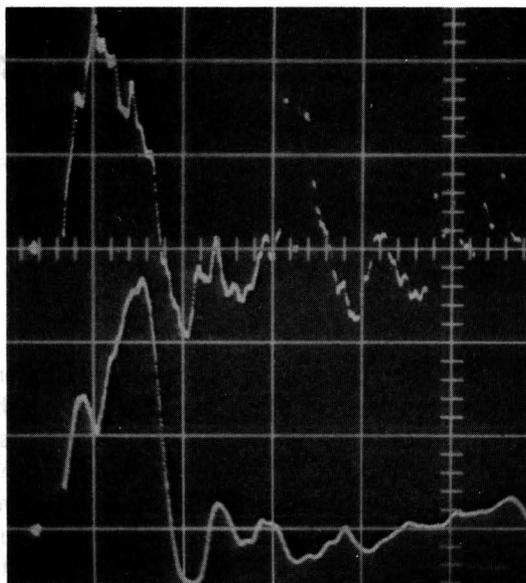


Bild 7. Zeitlicher Verlauf der am Werkzeug gemessenen Kraft P_t (oben) und der an der Einspannung des Kolbenabschnittes gemessenen Kraft P_r (unten):

Sorte Velox,
Feuchtegehalt $U = 10\%$,
Werkzeuggeschwindigkeit $v_W = 12,9$ m/s,
Werkzeugradius $r = 7,5$ mm, tangentiale Beanspruchung

Hinsichtlich des Entkörnungsgrades wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werkzeugen mit unterschiedlichem Radius festgestellt. Ein anstelle der glatten Werkzeuge eingesetztes geripptes Schlagleistenstück erwies sich jedoch als erheblich günstiger. Bei Werkzeugradien von 1 und 3 mm ist für die Entkörnung von Einfluß, wie das Werkzeug den Kornverband trifft. Wenn die Angriffsstelle zwischen zwei Kornreihen liegt, ergibt sich eine etwas bessere Entkörnung und der Energieaufwand wird geringer.

3. Zusammenfassung

Die beim freien und unfreien Schlag auf den Maiskolben wirkenden Kräfte und ihr zeitlicher Verlauf lassen sich mit Hilfe der Piezomeßtechnik hinreichend verzerrungsfrei erfassen.

Zur Simulation des freien Schlages wurden Kolben gegen als Werkzeug ausgebildete Platten geworfen. Wegen des sehr inhomogenen Gebildes, das der Kolben darstellt, werden die Vorgänge beim Stoß neben den geometrischen und physikalischen Eigenschaften des Kolbens selbst, auch von den Eigenschaften der vom Werkzeug berührten Körner beeinflusst. Dies gilt in besonderem Maß für den Stoßbeginn. Die Geschwindigkeit des Kolbens nach dem Stoß ist von Plattenbeschaffenheit, Plattenneigung und Gutzustand abhängig. In den interessantesten Bereichen beträgt die Rückprallgeschwindigkeit zwischen 1/2 und 1/5 der Aufprallgeschwindigkeit.

Der unfreie Schlag, also der Schlag bei dem ein Gegenwerkzeug vorhanden ist, wurde durch Stöße auf eingespannte Kolbenabschnitte simuliert. Es ergab sich, daß Werkzeuge mit kleinen Radien, wie sie bevorzugt bei Reblern eingesetzt sind, eine geringere Quetschbeanspruchung auf den Kolben ausüben, bei in etwa gleicher Entkörnungswirkung. Die Gefahr eines Spindelbruches parallel zur Achse ist daher bei diesen Werkzeugen geringer.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● Graeber, E.: Der Schlagdrusch von Maiskolben. Hohenheimer Arbeiten Nr. 73, Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag 1973.
- [2] Rudakov, N.A.: Ausdruschuntersuchungen an Maiskolben durch Oszillogramm und Zeitlupenaufnahme. Vestnik sel.choz.nauki 7 (1962), Nr. 4, S. 142/147.