

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] *DIN 1055 Blatt 6*: Lastannahmen für Bauten, Lasten in Silozellen.
- [2] *Janssen, H.A.*: Versuche über Getreidedruck in Silozellen. Zeitschr. VDI Bd. 39 (1895) S. 1045/49.
- [3] • *Pieper, K. u. F. Wenzel*: Druckverhältnisse in Silozellen. Berlin – München: Verlag W. Ernst u. Sohn 1964.
- [4] • *Kezdi, A.*: Erddrucktheorien. Berlin: Springer-Verlag 1962.

- [5] *Dale, A.C. u. R.N. Robinson*: Pressures in deep grain storage structures. Agric. Engng. Bd. 35 (1954) Nr. 8, S. 570/73.
- [6] *v. Eisenhart Rothe, M. u. O. Natau*: Fließen von Schüttgütern. Vortrag anlässlich des Symposiums "Lagern und Fließen von Schüttgütern". Erlangen 12./13. Sept. 1974.
- [7] *Stroppel, A.*: Spannungszustände in lagernden körnigen Haufwerken in der Nähe einer ebenen Wand. VDI-Forschungsheft 525, Düsseldorf: VDI-Verlag 1968.
- [8] *Paul, J.*: Spannungsverteilung in körnigen kohäsionslosen Haufwerken bei der Lagerung in Behältern. Diss. TU Braunschweig 1974.

Energetische Analyse der Dreschtechnik

Von Georg Segler und Ewald Graeber,
Stuttgart-Hohenheim*)

DK 631.361.2:631.561.004.15

Die Energiekrise hat bewirkt, daß auch der Landwirt energiekostenbewußter geworden ist. Bisher spielte in den meisten Bereichen der Energiepreis bei den betriebswirtschaftlichen Überlegungen nur eine untergeordnete Rolle. Eine Ausnahme bildete beispielsweise die Hochtemperaturtrocknung von Grüngut.

Heute wird jedoch zunehmend auf den spezifischen Energieverbrauch von Maschinen und Aggregaten geachtet. Auch läßt die Bereitschaft nach, wegen des Betriebs einzelner, relativ kurzzeitig eingesetzter Maschinen, beispielsweise Häckslern, wesentlich stärkere Schlepper zu kaufen, als für den Normaleinsatz erforderlich wären.

1. Einleitung

Am Mähdrescher ist die Dreschtrommel das Element, das den größten Energiebedarf hat. Bis über 50 % der Gesamtenergie der Maschine werden an den Schlagleisten umgesetzt. Aufgabe einer am Lehrstuhl für Landtechnik der Universität Hohenheim durchgeführten Forschungsarbeit [1] war es, den Energieaufwand beim Entkörnen von Mais zu analysieren und Wege für eine bessere Energieausnutzung aufzuzeigen. Die Untersuchung wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt.

2. Der Energieaufwand beim Drusch im Kollektiv

Die der Drescheinrichtung zugeführte mechanische Energie geht nach dem Energieerhaltungssatz nicht verloren, sondern wird teilweise in andere Energieformen überführt. Bei einer allgemeinen Betrachtung geht man gewöhnlich von der Leistung, also dem Energieaufwand pro Zeiteinheit aus. Dabei kann zunächst zwischen der Leerlaufleistung und der zum Behandeln des Gutes aufzuwendenden Dreschleistung unterschieden werden. Letztere setzt sich nach Segler [2] aus Anteilen zusammen, die verschiedenartigen Wirkmechanismen zuzuschreiben sind.

Es können genannt werden:

Beschleunigungsleistung,
Verformungsleistung,
Zerkleinerungsleistung und
Entkörnungs- oder Trennleistung;
letztere ist die Leistung, die rein zum Lösen der Körner vom Fruchtstand aufzuwenden ist.

Aus Dreschversuchen mit einer in einen Prüfstand eingebauten serienmäßigen Drescheinrichtung, bestehend aus Maiskorb und Schlagleistentrommel, wurde die an der Trommel beim Drusch umgesetzte Energie bestimmt und als spezifische Druschenergie auf die Masse der abgetrennten Körner bezogen.

Bild 1 ist zu entnehmen, daß die spezifische Druschenergie stark mit dem Feuchtegehalt abnimmt. Je trockener das Gut, desto weniger Energie wird offensichtlich zur Spindelbeschleunigung und zur plastischen Verformung aufgewendet. Hinzu kommt, daß bei trockenem Gut das Korn-Stroh-Verhältnis günstiger ist. Für Kolben mit Lieschen ergibt sich eine höhere spezifische Druschenergie. Dies war erwartet worden, da die Lieschen und die in den Lieschen eingeschlossenen, bereits getrennten Körner die Schläge der Leisten dämpfen. Der geringere Abscheidungsgrad bewirkt, daß mehr Körner über die ganze Korblänge transportiert werden müssen. Das Entfernen der Lieschen vor dem Drusch ist also aus energetischer Sicht von Vorteil.

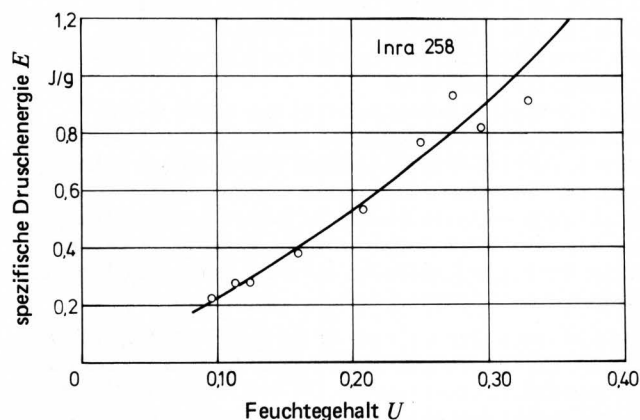


Bild 1. Spezifische Druschenergie E in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt U der Körner.

Sorte Inra 258, entliescht, Erntejahr 1970, Kolbenlage parallel

*) Prof. Dr.-Ing. Georg Segler ist Inhaber des Lehrstuhls für Landtechnik der Universität Hohenheim, Dr.-Ing. Ewald Graeber war wissenschaftlicher Mitarbeiter an diesem Lehrstuhl.

3. Die spezifische Druschenergie bei Einzelschlägen

Betrachtet man die Vorgänge im Dreschspalt, so ergibt sich, daß nach der Art der Kraftwirkung unterschieden werden kann zwischen freien Schlägen und unfreien Schlägen. Mit besonderen Einrichtungen wurden daher sowohl freie als auch unfreie Schläge auf den Maiskolben simuliert, um den Energieaufwand getrennt zu ermitteln.

Der freie Schlag wurde durch eine Vorrichtung nachgeahmt, bei der der Kolben gegen eine feststehende, als Werkzeug ausgebildete Platte geworfen wird.

In Bild 2 ist die spezifische Druschenergie E über der Wurfgeschwindigkeit v_0 aufgetragen, wobei sich ein charakteristischer Kurvenverlauf zeigt. Für alle Versuchsvarianten war zunächst ein steiler Abfall der Kurve gegeben. Nach einem Minimum steigt die spezifische Druschenergie mit zunehmender Wurfgeschwindigkeit wieder an. Der steile Abfall erklärt sich daraus, daß die spezifische Energie gemäß Definition unendlich ist, solange keine Entkörnung eintritt. Im Wiederanstieg der Kurve spiegelt sich die mit der Geschwindigkeit im Quadrat zunehmende Bewegungsenergie der Spindel, der jedoch keine entsprechend anwachsende Entkörnung gegenübersteht.

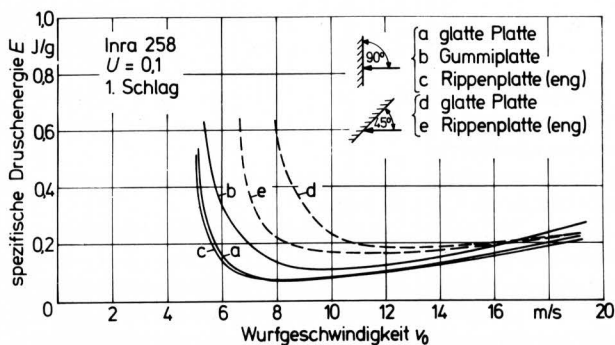


Bild 2. Spezifische Druschenergie E in Abhängigkeit von der Wurfgeschwindigkeit v_0 bei Verwendung unterschiedlicher Werkzeuge. Sorte Inra 258, entliescht, Feuchtegehalt $U = 10\%$, Erntejahr 1969, Kolbenlage parallel

Der Beginn der Entkörnung hängt neben dem Gutzustand vom Auftreffwinkel und in geringerem Umfang auch von der Beschaffenheit der Prallplatten ab. Für trockenes Gut beträgt die minimale Wurfgeschwindigkeit bei einmaligem Aufprall auf eine zur Bahnebene senkrechte Platte 4,5 bis 5,5 m/s. An einer unter 45° geneigten Platte sind dagegen etwa 7 bis 9 m/s zur Entkörnung erforderlich. Die niedrigen Werte wurden für Metallplatten, die höheren für gummielastische Platten ermittelt.

Eine Gummiplatte bedingt außerdem eine höhere spezifische Druschenergie im Vergleich zu glatten oder gerippten Metallplatten. Dies liegt an dem wesentlich höheren Energieaufnahmevermögen des Werkstoffes Gummi, d.h. die Stoßenergie teilt sich gleichmäßiger zwischen Kolben und Platte auf. Auch wird der Kolben beim Auftreffen weniger verzögert, so daß geringere Massenkraften wirksam sind, außerdem ergibt sich eine größere Berührungsfläche zwischen Platte und Kolben.

Die Lieschen wirken sich stark auf die spezifische Druschenergie aus. Der Entkörnungsgrad ist ohne Lieschen erheblich höher und die spezifische Energie niedriger. Die Unterschiede werden jedoch mit zunehmender Wurfgeschwindigkeit geringer. Die Lieschen dämpfen den Aufprall des Kolbens und verändern die Reibungsverhältnisse, was sich insbesondere bei geneigter Platte auswirkt.

Versuche mit feuchtem Gut zeigten, daß bei Einzelschlägen der Energiebedarf in gleicher Weise vom Feuchtegehalt abhängt wie

beim Drusch im Kollektiv. Je höher der Feuchtegehalt, desto mehr Energie muß aufgewendet werden. Bei einem Feuchtegehalt von 10 % sind im Minimum etwa 0,1 J/g an Energie aufzuwenden. Demgegenüber sind bei einem Feuchtegehalt von 40 % im Minimum etwa 0,7 J/g an Energie erforderlich. Die Entkörnung beginnt erst bei einer Wurfgeschwindigkeit von 15 m/s.

Die spezifische Druschenergie bei unfreien Schlägen wurde in einer Vorrichtung ermittelt, bei der die in ihrer Lage fixierten Kolben mit einem bewegten Werkzeug angeschlagen werden. Es ergab sich, daß die spezifische Druschenergie mit dem Feuchtegehalt und mit der Schlaggeschwindigkeit anwächst. Zieht man den Vergleich in einem für freie Schläge günstigen Geschwindigkeitsbereich, so zeigt sich, daß die Werte der spezifischen Druschenergie für unfreie Schläge deutlich höher liegen.

Bei höherem Feuchtegehalt stimmen die Versuchsergebnisse weitgehend mit den Messungen von Rudakov [3] überein. Gerippte Werkzeuge erwiesen sich als günstiger als glatte Werkzeuge.

4. Die Energie beim Trennen von Einzelkörnern

Bei der Untersuchung an Einzelkörnern stand die Bestimmung der für eine radiale Beanspruchungsrichtung benötigten Energie im Vordergrund. Beobachtungen ergaben nämlich, daß die Körner beim Anschlagen bevorzugt radial getrennt werden.

Die Messungen bewiesen die erwartete Abhängigkeit vom Feuchtegehalt, Bild 3. Da die Trennkraft ungefähr gleich bleibt, ist in der Verminderung des Trennweges bzw. der Dehnung die Hauptursache zu sehen.

Wie das Diagramm zeigt, treten größere Unterschiede zwischen einzelnen Sorten auf.

Vergleicht man die Werte der Trennarbeit bei radialer, tangentialer und axialer Beanspruchung des Einzelkornes, so ergibt sich, daß die Radialtrennarbeit am niedrigsten ist. Am höchsten ist die Arbeit bei einer Beanspruchung in axialer Richtung zur Kolbenbasis. Den Anteil dieser Beanspruchung beim Drusch zu reduzieren, wäre ein Weg zur Energieeinsparung. Möglichkeiten ergeben sich durch die Wahl der Zuführung und die Ausbildung der Werkzeuge.

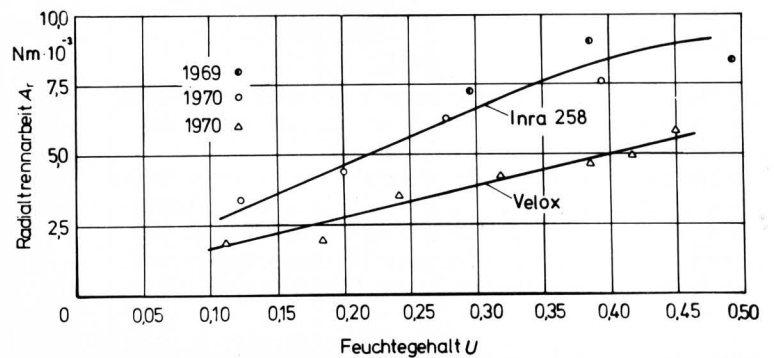


Bild 3. Mittlere Radialtrennarbeit A_r für ein Einzelkorn in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt U des Kornes.

5. Der energetische Wirkungsgrad

Die Güte eines energieaufnehmenden Prozesses wird im allgemeinen aufgrund eines energetischen Wirkungsgrades beurteilt. In unserem Fall liegt es nahe, diesen aus dem der Trommel zugeführten Energiebetrag und dem allein für die Entkörnung aufgewandten Anteil zu errechnen. Nach Segler [4] läßt sich der energetische Gesamtwirkungsgrad der Dreschtrommel wie folgt schreiben

$$\eta = \frac{N_t}{N_0 + N_m}$$

darin bedeuten N_t Trennleistung, N_0 Leerlaufleistung, N_m Dreschleistung.

Auch mit der bei Einzel- und bei Kollektivvorgängen aufzuwendenden spezifischen Energie E läßt sich ein Wirkungsgrad definieren:

$$\eta_D = \frac{E_{\text{einzel}}}{E_{\text{kollekt}}}$$

Geeignete Werte sind den Diagrammen, Bild 1 bis 3, zu entnehmen. Um ein Korn der Sorte Inra 258 in radialer Richtung von der Spindel zu trennen, ist gemäß Bild 3 folgende Arbeit aufzuwenden:

$$A_{r1} = 3,0 \times 10^{-3} \text{ Nm bei einem Feuchtegehalt } U = 12 \%$$

$$A_{r2} = 6,3 \times 10^{-3} \text{ Nm bei einem Feuchtegehalt } U = 28 \%$$

Auf die Kornmasse bezogen sind dies 0,009 J/g und 0,015 J/g, bei einer mittleren Kornmasse von 0,324 g und 0,410 g.

Mit den Werten aus Bild 1 ergibt sich damit der Wirkungsgrad

$$\eta_{D1} = 3,3 \% \text{ (für } U = 12 \%) \text{ und } \eta_{D2} = 1,8 \% \text{ (für } U = 28 \%).$$

Der Wirkungsgrad ist also sehr niedrig und liegt für Mais in einer ähnlichen Größenordnung wie für Weizen. Für letztgenannte Frucht sind nach Segler [4, 5] Werte zwischen 2 und 4 % anzusetzen. Mit zunehmendem Feuchtegehalt wird der Wirkungsgrad schlechter.

Legt man der Berechnung anstelle der Radialtrennarbeit die Tangentialtrennarbeit zugrunde, so ergibt sich etwa der doppelte bis dreifache Wert für den Wirkungsgrad.

In Abschnitt 3 wurde der Energieaufwand bei Einzelschlägen beschrieben. Für trockenes Gut (Feuchtegehalt $U = 10 \%$) und freies Anschlagen des Kolbens sind gemäß Bild 2 0,1 J/g aufzuwenden. Zieht man dieses Ergebnis zum Vergleich heran, so beträgt die Energieausbeute mit der Schlagleistentrommel immerhin rund 50 %.

In Abschnitt 3 wird auch erwähnt, daß bei unfreiem Anschlagen des Gutes, einem Mechanismus, bei dem Reibvorgänge vorherrschen, eine höhere spezifische Druschenergie erforderlich ist. Der Wirkungsgrad ist daher schlechter.

Diese Feststellung scheint im Widerspruch zu den Ausführungen von Hassebrauck [6] zu stehen, der Untersuchungen mit Getreide anstellte und ausgehend von einigen der in Bild 4 dargestellten Dreschverfahren zum Schluß kommt, daß es aus energetischer Sicht günstiger sei, zum Entkörnen Druck- oder Reibkräfte einzusetzen.

Während hier auf der Basis von beim Drusch üblichen Werkzeuggeschwindigkeiten verglichen wird, legt Hassebrauck quasistatische Bedingungen zugrunde. Drescheinrichtungen, die mit sehr niedrigen Werkzeuggeschwindigkeiten nach dem Reibprinzip arbeiten und die die Forderung nach hoher Durchsatzleistung bei kleinem Bauvolumen erfüllen, gibt es jedoch noch nicht.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die theoretischen und experimentellen Untersuchungen geben Aufschluß darüber, welche Energie in Abhängigkeit vom Zustand des Gutes und von den Beanspruchungsbedingungen zur Entkörnung aufzuwenden ist. Ein Vergleich der beim Drusch ganzer Kolben und der beim Behandeln eines Einzelkornes aufzuwendenden Energiebeträge gibt Antwort auf die Frage, welche Aussichten Verbesserungsbemühungen an den technischen Einrichtungen günstigstenfalls haben können.

Die wichtigsten Maßnahmen zur Verringerung des Energieaufwandes beim Drusch sind:

- Senken des Feuchtegehaltes
- Herabsetzen des Strohanteils
- Verringern der Festigkeit der Verbindung Korn- Fruchtstand
- Definiertes Einwirken der Werkzeuge
- Vermindern der Reibung zwischen Gut und Werkzeug.

Die zuletzt vorgeschlagene Maßnahme ist, wie Untersuchungen gezeigt haben [7], wirkungsvoll und läßt sich relativ leicht in Form von vibrierenden Werkzeugen realisieren. Die Schwingungen lassen sich mechanisch erzeugen; wegen der guten Regelbarkeit kommen jedoch auch hydraulische Mittel infrage (Impulshydraulik). Bei energetisch optimalen Entkörnungsverhältnissen kann mit dem geringsten Beschädigungsgrad gerechnet werden, denn unter diesen Bedingungen wird der geringste Energieanteil für die Beschädigung sowie die Verformung aufgewendet.

Schrifttum

- [1] Graeber, E.: Der Schlagdrusch von Maiskolben. Hohenheimer Arbeiten, Heft 73, Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag 1973.
- [2] Segler, G.: Kraftbedarfssenkung beim Häckseldrusch. Landtechnische Forschung Bd. 5 (1955) Nr. 1, S. 12/15.
- [3] Rudakov, N.A.: Entkörnung von Maiskolben mit einem Pendelhammer. Vestnik sel'skochoz. nauki Bd. 5 (1960) Nr. 12, S. 84/87.
- [4] Segler, G.: Mechanismus und Dynamik des Häckseldrusches im Vergleich zum tangentialen Trommeldrusch. Vortrag Prag – Lisno 1967.
- [5] Segler, G.: Landtechnik – Jahresübersicht Z.-VDI Bd. 110 (1968) Nr. 11, S. 445/54.
- [6] Hassebrauck, B.: Der Mechanismus des Häckseldrusches. Diss. TH Stuttgart 1966.
- [7] Kolesov, G.V. u. V.G. Tichonov: Prüfstand zum Untersuchen schwingender und reibender Dreschwerke. Mechanizacija i Elektrifikacija Bd. 31 (1973) Nr. 4, S. 55/57.

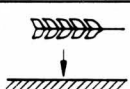
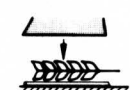
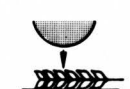



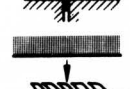
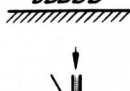
Nr.	Dreschverfahren	Arbeitsweise	Wirksame Kräftearten
1	Ausschlagen von Hand		Massenkraft
2	Huftritt		Druck, Zug und Reibung
3	Flegeldrusch		Massenkraft und Reibung
4	Walzendrusch		Druck, Zug und Reibung
5	Schlittendrusch		Druck, Zug und Reibung
6	Zentrifuge		Massenkraft
7	Dreschtrommel		Massenkraft und Reibung
8	Häcksler		Massenkraft, Druck, Zug und Reibung

Bild 4. Dreschverfahren und wirksame Entkörnungskräfte.