

- [7] ALFEROW, S. A.: Gesetzmäßigkeiten beim Pressen von Stroh. Selchozmacina (1957), Heft 3, S. 6—10
- [8] ALFEROW, S. A.: Der Widerstand der Kanäle und Ballenführungen bei Heu- und Strohpressen. Selchozmacina (1957), Heft 4, S. 15—19
- [9] MEWES, E.: Kraftmessungen in Strohpressen. In: Grundlagen der Landtechnik Heft 10. Düsseldorf 1958, S. 18—35
- [10] MEWES, E.: Über das Verdichten von landwirtschaftlichen Stoffen durch Verdrehen. Landtechnische Forschung 8 (1958), S. 165—167
- [11] FLEHR, F.: Brikettierung landwirtschaftlicher Erzeugnisse und Abfälle. Unveröffentlichter Versuchsbericht
- [12] BRUHN, H. D.: Pelleting Grain and Hay Mixtures. Agricultural Engineering 36 (1955), S. 330—331
- [13] BRUHN, H. D.: Engineering Problems in Pelletized Feeds. Agricultural Engineering 38 (1957), S. 522—525
- [14] DOBIE, J. B., R. G. CURLEY and P. S. PARSONS: Economics of Producing, Handling and Feeding Wafered Hay. A. S. A. E.-Paper Nr. 63—160 (1963)
- [15] FARRALL, A. W.: Agricultural Engineering in the 60's. Vortrag, gehalten auf der 21. Tagung der Landmaschinen-Konstrukteure in der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode vom 3.—5. April 1963

Résumé

Hans-Jürgen Matthies: "Development and Research in the Field of Cereal Pressing."

In the course of their development from the box press to the pick-up briquetting press, hay and straw presses have passed many stages of development being also important to the agricultural practice. Besides the results of research found to be of great value to this development, especially the change of the kinds of construction from the stationary crumpled-straw press for the mere pressing of cereals to modern pick-up presses are dealt with. Apart from pressing the material, there are today above all labour-economic tasks which they have to fulfill. From this point of view the development of pick-up presses, the problems of which are discussed likewise, has to be regarded, too. One day they will perhaps introduce a new section of development in the field of hay and straw presses.

Hans-Jürgen Matthies: «Le développement et la recherche dans le domaine de la compression de la paille et du fourrage.»

Le développement des presses à paille et fourrage s'est réalisé en beaucoup de stades successifs qui ont eu également une signification pour la pratique agricole. Après avoir traité des résultats de recherche les plus essentiels de ce développement on montre quel changement les presses ont subi depuis la presse à coffre destinée uniquement à la compression de la paille et du fourrage jusqu'à la presse-ramasseuse moderne qui doit non seulement comprimer mais surtout contribuer à l'organisation rationnelle du travail. C'est pourquoi il faut également considérer l'évolution de la presse-ramasseuse dont les problèmes ont été aussi évoqués dans l'article et qui pourrait peut-être constituer un point de départ pour une nouvelle phase de développement dans le domaine des presses à paille et fourrage.

Hans-Jürgen Matthies: «Desarrollo e investigación de la compresión de hierba y paja.»

En su desarrollo las prensas de heno y de paja, desde la prensa en caja hasta la prensa — recogedora — briquetadora, ha pasado por muchas fases de importancia para la agricultura. Además de tratar de los resultados de la investigación que influyeron en este desarrollo, se habla aquí con preferencia del cambio que se ha operado en la construcción de estas prensas, empezando por la prensa estacionaria de paja retorcida, empleada exclusivamente para la compresión, hasta llegar a las modernas prensas recogedoras que cumplen hoy día, además de la compresión, funciones económicas. La prensa-recogedora-briquetadora, de cuyos problemas se habla aquí, tiene que considerarse también bajo estos puntos de vista, siendo posible que dé lugar a una nueva evolución en la construcción de prensas para heno y paja.

István Bölöni:

Zusammenhänge zwischen den Kennwerten, die den Betriebszustand von Hammernmühlen bestimmen

Institut für Landtechnik, Budapest

Die Hammernmühlen gehören — einmal wegen des sehr großen Volumens der jährlich zur Vermahlung gelangenden Fruchtmengen, zum anderen wegen des verhältnismäßig hohen spezifischen Energiebedarfes beim Vermahlen (0,8—3,0 kWh/dt) — zu den großen Energieverbrauchern der Landwirtschaft. Die Erforschung der Gesetzmäßigkeiten der Zerkleinerungsvorgänge, die sich in der Maschine abspielen, bildet daher eine Aufgabe, die gewiß nicht ohne Interesse ist und die natürlich in erster Linie vom Gesichtspunkt der Erschließung der Möglichkeiten der Energieeinsparung eine große Bedeutung hat.

Der Zweck der Prüfungen war daher:

1. die in der Mahltrommel sich abspielenden Zerkleinerungsvorgänge näher kennenzulernen;
2. die Gesetzmäßigkeiten der Zerkleinerung mengenmäßig zu erschließen und
3. die Möglichkeiten der Energieeinsparung zu klären.

Die Versuchseinrichtungen und die Meßmethoden

Bei der Prüfung von Hammernmühlen wurden bisher — von seltenen Ausnahmen abgesehen — die einfachsten Meßmethoden angewendet [1; 2]; einer Erweiterung der Kenntnisse stand eben die ungenügende Exaktheit dieser Methoden im Wege. Um die Mängel der alten Methoden ausschließen zu können, wurde ein für die Registrierung der kontinuierlichen Veränderungen der charakteristischen Faktoren geeignetes neues Meßverfahren und eine neue Meßeinrichtung entwickelt.

Der von der Maschine getrennte Mahlgutvorratskasten mit der Beschickungseinrichtung und der Behälter zum Auffangen des Schrottes — wofür im Laufe der Prüfungen eine oben offene Kiste diente — wurden auf einem elastisch verformbaren Meßkörper

aufgehängt, und deren Gewichtsänderung in Abhängigkeit von der Zeit gemessen.

Die Messung der mit der Gewichtsbelastung proportionalen Verformung erfolgte auf elektrotensometrischem Wege; die Meßwerte wurden mit einem Achtschleifen-Oszillographen registriert. Es gelang, eine mit guter Näherung lineare Charakteristik zu erhalten, wobei die Konstanz der Charakteristiken durch die Speisung der Meßeinrichtung von einer Stromquelle mit stabilisierter Spannung gesichert wurde. Auf den Rand des Filmstreifens wurden in der

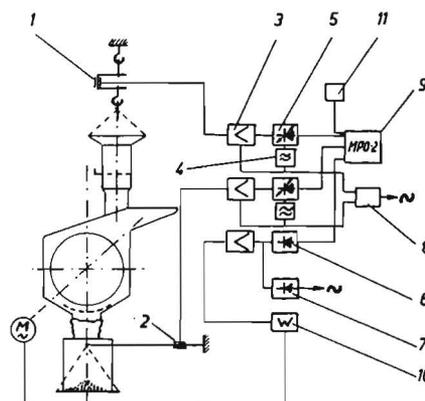


Bild 1: Prinzipskizze der zum Registrieren der Gewichtsänderungen des Mahlgutvorratskastens und des Schrottsammelbehälters konstruierten elektrotensometrischen Meßeinrichtung

1 oberes Meßglied; 2 unteres Meßglied; 3 Verstärker; 4 Oszillator; 5 Phasempfindlicher Gleichrichter und Filter; 6 Gleichrichter und Filter; 7 Netzstrom-Gleichrichter; 8 Stromquelle mit konstanter gehaltener Gleichspannung; 9 Achtschleifen-Oszillograph; 10 Dreiphasen-Wattmesser; 11 Zeitmarkengeber

üblichen Weise Zeitmarken aufgetragen. Die Intervalle der Zeitmarken und die Geschwindigkeit des Filmvorschubs sind je nach der Natur der Messungen geändert worden. Die Prinzipskizze über die Anordnung der Elemente der Meßeinrichtung ist in Bild 1 zu sehen.

Es war vorgesehen, im Laufe der Versuche sowohl die transitorischen Betriebszustände (hauptsächlich das sogenannte Portionsmahlen) als auch den stabilisierten Betrieb näher zu prüfen.

Der stabilisierte Betriebszustand wurde durch Konstanthalten der Mahlgutzufuhr gesichert. Um die Konstanz der Beschickung zu erreichen, wurde eine Zellenodosierungsvorrichtung über der Hammermühle aufgehängt, die über eine zweifache Kettenübersetzung und über ein Planetengetriebe von einem besonderen Elektromotor ihren Antrieb erhielt.

Um das beim plötzlichen Unterbrechen der Stromzufuhr in der Mahltrommel über dem Sieb zurückbleibende, noch nicht genügend zerkleinerte Mahlgut — die „Ladung“ — der Mahlkammer leicht entnehmen zu können, ist auch an der Siebvorrichtung eine gewisse Änderung vorgenommen worden. Am Sieb wurde in Längsrichtung eine mittels Scharnieren abklappbare Tür angebracht. Durch diese Einrichtung wurde es möglich, die Mengen- und Feinheitsänderungen der Ladung sowohl im stabilisierten als auch im transitorischen Betriebszustand von der elektrotensometrischen Messung unabhängig zu bestimmen beziehungsweise zu kontrollieren.

Eine weitere Methode zur Messung der Schrotfeinheit während des bereits erwähnten Portionsmahlens war das alle fünf Sekunden erfolgende Weiterrücken einer in zehn Zellen unterteilten Schublade unter der Absacköffnung der Hammermühle, wodurch die in den verschiedenen Abschnitten des Mahlens entstandenen Schrotfraktionen voneinander gesondert zur Verfügung standen. Die Feinheit der Schrotproben wurde mit Hilfe eines Probesiebes festgestellt. Das durch Schütteln mit der Hand durchgeführte Absieben dauerte jeweils etwa zwei Minuten. Aus den unmittelbaren Ergebnissen der Analyse ist die durchschnittliche Korngröße und die spezifische Oberfläche ermittelt worden.

Zur Feststellung des elektrischen Antriebsleistungsbedarfes der Hammermühle diente ein Dreiphasen-Leistungsschreiber. Unter dem Zeigerarm des Wattmessers wurde ein mit Wechselstrom gespeister Flüssigkeitspotentiometer eingebaut, dessen beweglicher „Kontakt“ eine durch den Zeiger des Wattmessers bewegte Elektrode war. Die von der Widerstandsänderung des Flüssigkeitspotentiometers stammenden Spannungsschwankungen wurden vorerst verstärkt, dann gleichgerichtet und schließlich als Leistungskennziffern ebenfalls mit dem Achtschleifenszillographen — mit den Gewichtsänderungen zugleich — registriert.

Die Oszillogramme wurden nach der Entwicklung vergrößert und dann mit Hilfe von Eichkurven ausgewertet. So wurde aus den Bruttowerten der Antriebsleistungsaufnahme zuerst mit einer Korrektur des Motorwirkungsgrades die auf die Mühlenwelle übertragene Leistung und dann, unter Einbeziehung des Leerlaufleistungsbedarfes der Hammermühle, der Wert der für das Zerkleinern tatsächlich aufgewandten Leistung erhalten. In unseren Diagrammen sind überall die letzteren Werte aufgeführt, die Folgerungen werden auch die Gestaltung dieser Werte betreffend gezogen.

Die gegenwärtigen Prüfungen richteten sich — wie bereits erwähnt — nicht auf die Bestimmung der Wirkung, die das Mahlgut oder sein Feuchtigkeitsgehalt auf den Energiebedarf ausüben, sondern bloß auf die Klärung des Charakters der Zusammenhänge. Deshalb sind die Prüfungen mit einer einzigen Fruchtart, mit Gerste von 12% Feuchtigkeitsgehalt, bei Verwendung von Sieben verschiedener Lochung durchgeführt worden.

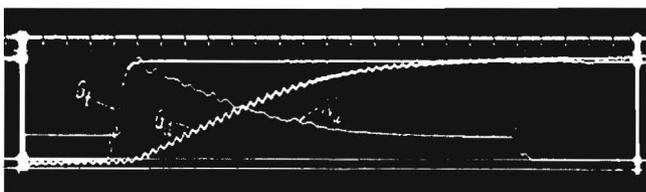


Bild 2: Beim Vermahlen einer Kornportion von 1 kg durch ein Sieb von 6 mm Lochdurchmesser verfertigte Oszillogramm-Aufnahme G_1 Kurve der Mahlgutzuführung; G_2 Kurve der Schrotgewichtsänderung; N_a Kurve der Triebleistungsaufnahme

Die als Versuchsmaschine verwendete Hammermühle wurde von einem Dreiphasen-Induktionsmotor unmittelbar angetrieben. Das Mahlgut gelangte aus einem am Mühlgehäuse oben aufgesetzten Beschickungstrichter im Wege der Gravitation in die Mahlkammer, wo die Zerkleinerung durch Anprall gegen die Hämmer und verschiedene Teile des Gehäuses erfolgte. Die Zahl der Hämmer betrug zwölf, der Durchmesser des von ihnen beschriebenen äußeren Kreises 440 mm, ihre Umfangsgeschwindigkeit 66,5 bis 69,0 m/s.

Die Gesetzmäßigkeiten der Mengenänderungen des zerkleinerten Gutes

Durch Aufhängen des Mahlgutvorratskastens und des Schrotauffangbehälters auf je eine Waage und durch Registrieren des zeitlichen Verlaufs der Gewichtsänderung war die Möglichkeit für die Klärung der Gesetzmäßigkeiten des in der Mahltrommel sich abspielenden Zerkleinerungsvorganges gegeben.

Portionsmahlen

Es sind die beiden grundlegenden Formen der Zerkleinerung, beziehungsweise des Mahlens, das Portionsmahlen und der stabilisierte Betrieb geprüft worden.

Beim Portionsmahlen wurde eine bestimmte, zweckmäßig gewählte Mahlgutmenge stoßartig der Trommel zugeführt; die Verarbeitung dieser Menge wurde von der Meßeinrichtung in der aus dem Oszillogramm ersichtlichen Weise registriert (Bild 2).

Die auf der linken Bildseite liegende Kurve G_1 verläuft der stoßmäßigen Zuführung gemäß steil, während die für die Mahlgutverarbeitung charakteristische Schrotgewichtsänderungskurve G_2 einen langgestreckten Inflexionsverlauf hat. Der Verlauf der Kurve der Antriebsleistungsaufnahme N_a gestaltet sich einem Abschnitt der Häufigkeitsfunktion der logarithmisch normalen Verteilung ähnlich. Am oberen Rand des Oszillogramms sind die je Sekunde abgegebenen Zeitmarken zu sehen.

Auf Grund der Messungen und Beobachtungen ergeben sich folgende wichtigere Feststellungen:

Im Falle des Portionsmahlens kann das Gewicht des bereiteten Schrotes in Abhängigkeit von der Zeit in guter Annäherung als von logarithmisch normaler Verteilung angenommen werden, das Gewicht des in der Zeitspanne bereiteten Schrotes ändert sich also nach folgender Beziehung:

$$G_d(t) = \int_0^t \frac{G_{10}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot \tau} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(\tau/\mu)}{\sigma} \right)^2} \cdot d\tau = G_{10} \int_0^t q_d(\tau) \cdot d\tau,$$

worin G_{10} = Anfangsgewicht der Portion [kg],

t = Zeit [s],

μ und σ = Kennwerte der logarithmisch normalen Verteilung, die aus den Momenten der Verteilung festgestellt werden können und

$q_d(t)$ = Häufigkeitsfunktion der Verteilungsfunktion $G_d(t)$, bedeuten.

Die Stichhaltigkeit der Beziehung läßt sich damit beweisen, daß die im Wege von Messungen erhaltenen erfahrungsmäßigen Verteilungsfunktionen auf GAUSS-Papier mit logarithmischer Abszisse durch eine Gerade dargestellt werden können (Bild 3). Das Zustandekommen der Beziehung mit dem aufgezeigten Charakter scheint dadurch begründbar zu sein, daß man die Zerkleinerungsdauer der einzelnen Schrotkörner ξ als Wahrscheinlichkeitsveränderliche auffaßt.

Bis nämlich das Korn (in unserem Falle Gerstekorn) mit einem durchschnittlichen Korndurchmesser von 5—6 mm auf Kornpartikeln mit einem durchschnittlichen Korndurchmesser von etwa 1 mm zerfällt, müssen sehr viele Zerkleinerungseinwirkungen [7] erfolgen, und die hierfür notwendige Zeitspanne kann offenbar als Wahrscheinlichkeitsveränderliche aufgefaßt werden.

Stationärer Betrieb

Die Stabilisierung des Betriebszustandes der Mahltrommel verläuft nach dem Oszillogramm in Bild 4 und geht ebenfalls auf

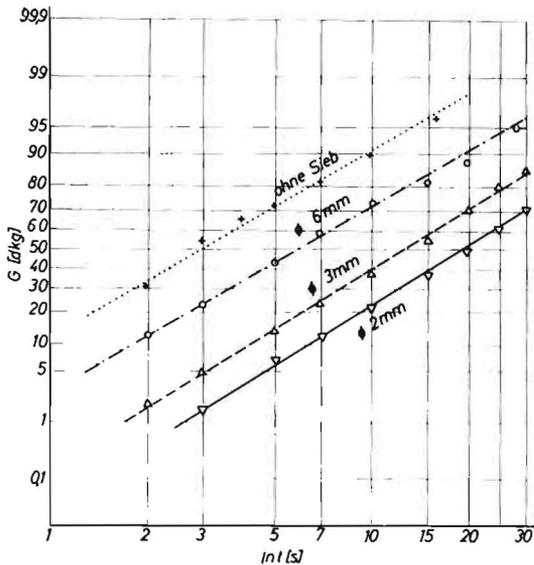


Bild 3: Kurven der Schrotgewichtsänderung auf Gauß-Papier

eine Weise vor sich, die sich aus der obigen Gesetzmäßigkeit des Portionsmahls ableiten läßt. Die Gewichtsänderungskurve des Mahlgutvorratskastens G_{ts} verläuft von links aufsteigend, die Kurve der Schrotgewichtsänderung G_{ds} — zur besseren Unterscheidung — von links absteigend, die Kurve für die Antriebsleistungsaufnahme N_{st} wieder von links ansteigend. In Bild 4 ist gut zu sehen, wie sich der Wert der Antriebsleistung auf die stabilisierte obere Grenze zu hält.

Falls die Mahlgutzufuhr mit gleichmäßiger Geschwindigkeit erfolgt, so ändert sich das Schrotgewicht in Abhängigkeit von der Zeit nach der Beziehung

$$G_{ds}(t) = Q_t \cdot t \int_0^t q_d(z) \cdot dz - Q_t \cdot \int_0^t z \cdot q_d(z) \cdot dz,$$

deren Kurve im Falle der Zunahme von t sich der Geraden von der Gestalt

$$G_{ds}(t) = Q_t \cdot t - Q_t \cdot M_1$$

asymptotisch nähert.

Hier sind

$G_{ds}(t)$ = das Mahlgewicht während der Stabilisierung des Betriebszustandes [kg],

Q_t = die Geschwindigkeit der Mahlgutzufuhr [kg/s],

t = die Zeit [s],

$q_d(z)$ = die Häufigkeitsfunktion der Zerkleinerungsdauer der Schrotteilchen, die — nach der Beweisführung — nicht nur von logarithmisch normaler Verteilung sein kann und

M_1 = im Falle von $t = \infty$ der Mittelwert der Verteilung nach der Häufigkeitsfunktion $q_d(z)$, das heißt

$$M_1 = \int_0^{\infty} z \cdot q_d(z) \cdot dz.$$

Gesetzmäßigkeiten der Körnerverteilung

Die Erforschung der Gesetzmäßigkeiten der Körnerverteilung in zerkleinerten Materialmengen ist in den vergangenen Jahrzehnten immer mehr in den Vordergrund der auf dem Gebiete der Zerkleinerung geführten Untersuchungen gelangt [3; 9; 10]. Die Gültigkeit dieser Gesetzmäßigkeiten war aber — infolge der Aufstellung gewisser die Struktur des Materials betreffend erlaubten vereinfachbaren Hypothesen — nur für den Fall der Zerkleinerung von isotropen oder starren Materialien als bewiesen zu betrachten.

Ausgehend von der von KOLMOGOROW [4] stammenden theoretischen Grundlegung und den weiteren Arbeiten von RÉNYI [5] wurde geprüft, ob die nach dem Größenmaß logarithmisch normale Verteilung der Körneranzahl auch im Falle der Zerkleinerung von in ihrer Struktur inhomogenen Getreidekörnern (z. B. Gerstenkörnern) zur Gültigkeit gelangt. Diese Feststellung bildet nämlich für den Fall der Zerkleinerung von starren Materialien das Endergebnis der KOLMOGOROW-RÉNYISCHEN Beweisführung [11].

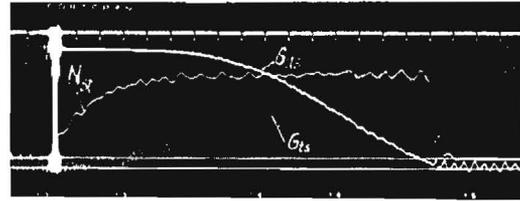


Bild 4: Änderung der für den Betriebszustand der Hammermühle charakteristischen Quantitäten während der Stabilisierung, bei hoher Kornzufuhrintensität

Zur besseren Unterscheidung geht die Kurve der Schrotgewichtsänderung von oben, die Kurve der Gewichtsänderung der Beschickungseinrichtung von unten aus; Siebloehdurchmesser δ mm

G_{ts} Kurve der Mahlgutzuführung; G_{ds} Kurve der Schrotgewichtsänderung; N_{st} Kurve des Triebleistungsbedarfes

Die aus den Versuchsdaten unmittelbar erhaltenen (gemessenen) sowie die durch Berechnung ermittelten Verteilungskurven konnten auf GAUSS-Papier mit logarithmischem Abszissenmaßstab durch eine Gerade dargestellt werden. Es ließ sich also die Folgerung ableiten, daß in einer aus landwirtschaftlichen Produkten inhomogener Struktur — also aus Produkten mit starren und zähen Anteilen — durch Vermahlen in der Hammermühle gewonnenen Körnermenge die Verteilung der Partikel eine mit guter Näherung logarithmisch normale Gesetzmäßigkeit aufweist.

Gesetzmäßigkeiten der Feinheitsänderungen

In Bild 5 sind zahlreiche von ein- und derselben Gerstenschrotprobe stammende Angaben über durchschnittliche Körnergrößen und spezifische Oberflächen in Abhängigkeit voneinander dargestellt.

Auf Grund der Darstellung kann festgestellt werden, daß zwischen den beiden Feinheitskennwerten ein fester Zusammenhang besteht, der sich auf Grund der Kenntnis der nach dem Größenmaß logarithmisch normalen Verteilung der Körnergewichte auch analytisch bestimmen läßt:

$$\delta_{\text{durchschn.}} = \frac{6 \cdot e^{-\frac{7b^2}{2}}}{\gamma \cdot f_{\text{dara}} \cdot e^{-\frac{5 \cdot b^2}{2}}} = \frac{6 \cdot e^{b^2}}{\gamma \cdot f_{\text{dara}}}$$

worin

$\delta_{\text{durchschn.}}$ = die durchschnittliche Körnergröße [mm],

$f_{\text{dara}}(\text{Schrot})$ = die spezifische Oberfläche des Schrotes [cm²/g],

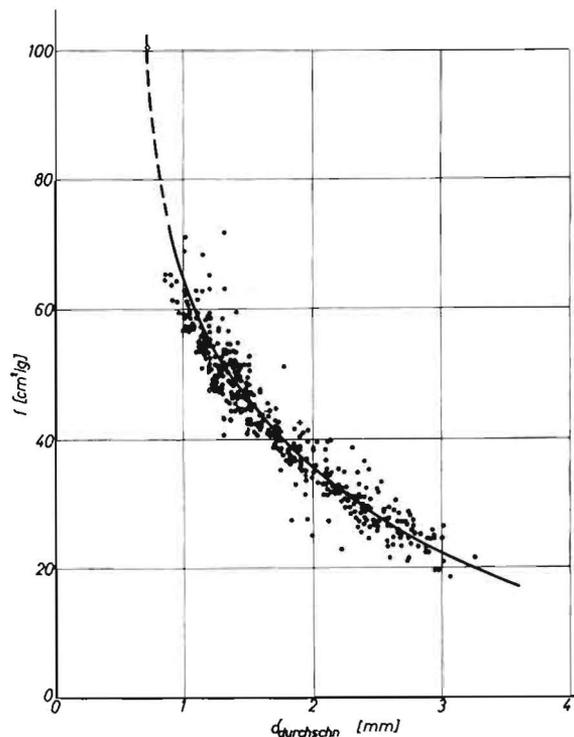


Bild 5: Zusammenhang zwischen der spezifischen Oberfläche und der durchschnittlichen Körnergröße des in der Hammermühle gemahlene Schrotes

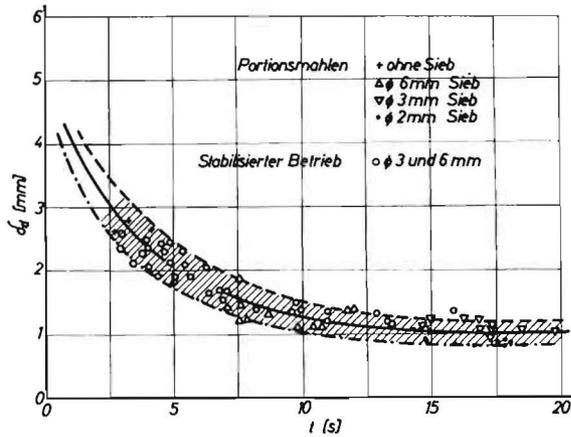


Bild 6: Zusammenhang zwischen den durchschnittlichen Korngrößen des mit Sieben verschiedener Lochung bereiteten Schrottes und der Zeitdauer der Zerkleinerung

- γ = spezifisches Gewicht des Schrottes [g/cm^3],
- b = Parameter zur Charakterisierung der Verteilung und
- 6 = ein aus der Annahme der würfelförmigen Gestalt sich ergebender Formfaktor bedeuten.

Der Beziehung gemäß besteht zwischen der durchschnittlichen Kornchengröße und der spezifischen Oberfläche des Schrottes im wesentlichen eine hyperbolische Beziehung; als Beweis hierfür dient, daß die Punkte in einem Diagramm, deren beide Achsen einen logarithmischen Maßstab aufweisen, mit guter Näherung auf eine Gerade fallen.

Zwischen der Feinheit der Ladung und des aus ihr abgeschiedenen Schrottes besteht eine feste Beziehung, die vom Betriebszustand der Mühle unabhängig zu sein scheint. Aus einer feineren Ladung bekommt man ein feineres Schrot. Beim Portionsmahlen nimmt in Abhängigkeit von der Zerkleinerungszeit die Feinheit sowohl der Ladung als auch des Schrottes zu. Nach dem Verstreichen einer bestimmten Zeit — wenn die zum Durchfallen der Körnchen durch das gegebene Sieb notwendige Zerkleinerung erfolgt ist — wird die Feinheit von Ladung und Schrot praktisch gleich.

Im stabilisierten Betrieb wird bei Erhöhung der Mahlleistung die Feinheit sowohl der Ladung als auch des Schrottes geringer; zugleich besteht zwischen der Größe der Ladung und der Mahlleistung kein linearer Zusammenhang. Die Vergrößerung der Ladung ist nicht mit einer proportionalen Zunahme der Mahlleistung verbunden. Das ist bei konstanter Drehzahl der Mahltrommel wahrscheinlich einerseits mit einer mit der Vergrößerung der Ladung gleichzeitigen Verringerung der auf die Ladungseinheitsmenge entfallenden Zahl der Zerkleinerungseinwirkungen, andererseits dagegen mit der Verringerung der durchschnittlichen Aufenthaltszeit in der Mühle zu begründen, die bei Vergrößerung der Ladung ebenfalls nachweisbar ist.

Es hat sich erwiesen, daß die Feinheit sowohl des Schrottes als auch der Ladung in einem festen Zusammenhang mit der durchschnittlichen Aufenthaltszeit (Zerkleinerungszeit) der Teilchen

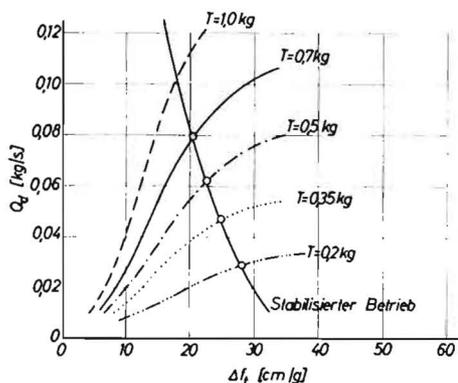


Bild 7: Zusammenhang zwischen der Mahlleistung und der spezifischen Flächenvergrößerung der Ladung bei gleichbleibenden Ladungsgrößen. Beim Portionsmahlen und im stabilisierten Betrieb (Sieblochdurchmesser 3 mm)

steht (Bild 6). Die für die Feinheit charakteristische durchschnittliche Kornchengröße erfährt mit der Zunahme der Zerkleinerungsdauer eine monotone Abnahme.

Die Mahlleistung ist bei gegebener Sieblochung und bei gegebenen sonstigen Kennwerten der Maschinenkonstruktion eine Funktion mit zwei Veränderlichen: Ladungsgröße und Feinheit. Bei konstanter Ladungsfeinheit ist die Mahlleistung eine lineare Funktion der Ladungsgröße; bei konstanter Ladungsgröße dagegen ist sie eine monoton zunehmende Funktion der Ladungsgröße, und die die Beziehung charakterisierende Kurve hat einen Inflexionspunkt (Bild 7).

Die Beziehung zwischen der zur Bezeichnung der Schrotfeinheit in Europa überwiegend gebräuchlichen durchschnittlichen Kornchengröße und dem amerikanischen Feinheitsmodul [6] kann auf Grund eines Wahrscheinlichkeitsrechnungssatzes bestimmt werden, wonach die unter der Verteilungskurve liegende, sich nach einer gewissen Regel gestaltende Fläche für die Verteilung charakteristisch ist und eben mit dem Mittelwert der Verteilung in Beziehung steht.

Die Benützung der Kennwerte des in Amerika gebräuchlichen Siebsatzes ist

$$\delta_{\text{durchschn.}} = 0,147 \cdot 2^F, \text{ das heißt} \\ F = 1,44 \cdot \ln(6,8 \cdot \delta_{\text{durchschn.}}),$$

worin

$$\delta_{\text{durchschn.}} = \text{durchschnittliche Kornchengröße [mm] und} \\ F = \text{der amerikanische Feinheitsmodul}$$

bedeuten.

Die Funktion $F = f(\delta_{\text{durchschn.}})$ ist daher vom Charakter $\ln x$; der Verlauf der Funktion ist (in dem bei der Hammermühle vorkommenden Feinheitsbereich) durch die unterste Kurve in Bild 8 wiedergegeben.

Der amerikanische Feinheitsmodul läßt aber das Schrot gröber erscheinen, als es die durchschnittliche Kornchengröße zeigt. Daher wurden in Bild 8 noch zwei weitere Kurven aufgetragen. Die eine von diesen (die oberste, mit einer Strich-Punkt-Linie gezogene Kurve), bezieht sich auf den Fall, in dem den gesamten Feinheits-Zahlenwerten das arithmetische Mittel der beiden aneinander grenzenden Siebüberzüge beigeordnet wird. Die andere (mit einer zusammenhängenden fetten Linie gezogene) Kurve stellt den erfahrungsgemäßen Zusammenhang der beiden Kennwerte auf Grund von Feinheitszahlen und durchschnittlichen Kornchengrößenangaben dar, die anhand von tatsächlichen Daten aus Siebanalysen von mehreren identischen Schrotproben errechnet worden sind.

In Bild 8 ist zu sehen, daß die Kurve, die auf Grund der beiden theoretischen Annahmen aufgezeichnet werden kann, die untere beziehungsweise obere Annäherung der tatsächlichen Beziehung gibt. Es ist also möglich, auf Grund des Diagrammes aus der amerikanischen Feinheitszahl die durchschnittliche Kornchengröße mit informativer Genauigkeit anzugeben.

Leistungsbedarf der Zerkleinerung

Stabilisierter Betrieb

Geht man bei der Berechnung des für die Zerkleinerungsarbeit der Hammermühle benötigten Antriebsleistungsbedarfes [8] von der Überlegung aus, daß der grundlegende Zweck der Zerkleinerung die

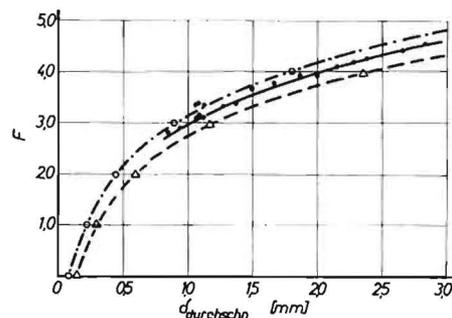


Bild 8: Zusammenhang zwischen dem amerikanischen Feinheitsmodul und der durchschnittlichen Korngröße

Erläuterungen siehe Bild 6

Vergrößerung der spezifischen Oberfläche ist, so gestaltet sich nach den Ergebnissen der Prüfung der Leistungsbedarf wie folgt:

Nach der auf der Theorie von RITTINGER beruhenden bekannten HERSAMSchen Formel ist

$$A = 3kC \left(\frac{1}{\delta} - \frac{1}{\delta_0} \right).$$

Der Energieverbrauch beim Zerkleinern ist also der spezifischen Oberflächenvergrößerung proportional. Nach zweckmäßiger Umgestaltung wird diese Gesetzmäßigkeit von der Formel auch entsprechend widerspiegelt:

$$N_a = \frac{1}{2} k \cdot C \cdot \Delta f_{\text{dara}} \cdot Q_{\text{dara}} = v \cdot \frac{dF}{dt}$$

In diesen Zusammenhängen ist

$$v = \frac{1}{2} k \cdot C, \text{ beziehungsweise } \frac{dF}{dt} = \Delta f_{\text{dara}} \cdot Q_{\text{dara}} \text{ und}$$

A = Arbeitsaufwand bei der Zerkleinerung [cmkg/cm²],

N_a = Antriebsleistungsbedarf der Hammermühle im stabilisierten Betrieb [kW],

k = eine Formkonstante, die jene Abweichung berücksichtigt, die zwischen dem Würfel und der wirklichen, unregelmäßigen Körnchengestalt besteht,

C = eine von der Art des zerkleinerten Gutes und von der Konstruktion der Hammermühle abhängige Konstante,

δ = Größe (bei Annahme von Würfeln: Kantenlänge) der Partikel nach der Zerkleinerung,

δ_0 = Größe (bei Annahme von Würfeln: Kantenlänge) der Partikel vor der Zerkleinerung,

Δf_{dara} = spezifische Oberflächenzunahme im Laufe des Vermahlens [cm²/g],

Q_{dara} = Mahlleistung [dt/h],

$\frac{1}{2}$ = eine aus der Annahme der Würfelform sich ergebende Konstante,

v = nützlicher spezifischer Energieverbrauch beim Zerkleinern [kWh/cm²] und

$$\frac{dF}{dt} = \text{Flächenvergrößerungsleistung [cm²/h]}.$$

Unsere Meßergebnisse beweisen das Bestehen eines linearen Zusammenhanges zwischen der Antriebsleistungsaufnahme und der Oberflächenvergrößerungsleistung. Sie geben zugleich auch eine physikalische Charakterisierung des stabilisierten Betriebszustandes. Hiernach bleibt im stabilisierten Betriebszustand der auf die Einheit der neu zustandegebrachten Fläche bezogene spezifische Zerkleinerungsenergiebedarf unabhängig von der Geschwindigkeit der Mahlgutzuführung und von der Ladungsgröße konstant. Bei Erhöhung der Mahlleistung vermindert sich die spezifische Oberfläche des erhaltenen Schrottes im gleichen Maße wie das Verharren des nützlichen spezifischen Zerkleinerungsenergiebedarfes [kWh/cm²] auf einem konstanten Wert.

Der spezifische Zerkleinerungsenergiebedarf [kWh/cm²] von Sieben verschiedener Lochung zeigt übrigens bedeutende Unterschiede (Bild 9), obwohl ein Schrot gleicher Feinheit in Grenzfällen auch mit Sieben verschiedener Lochung hergestellt werden kann. Dabei ändert sich aber auch die Mahlleistung wesentlich.

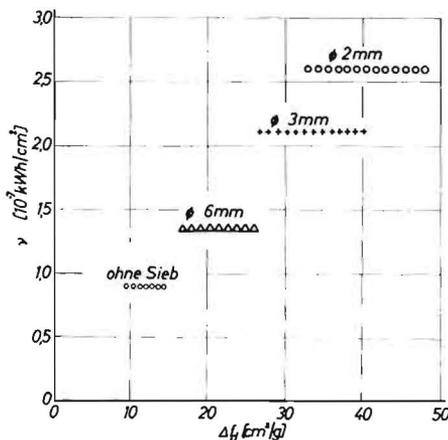


Bild 9: Höhe des nützlichen spezifischen Zerkleinerungs-Energieaufwandes beim Gebrauch verschiedener Siebe

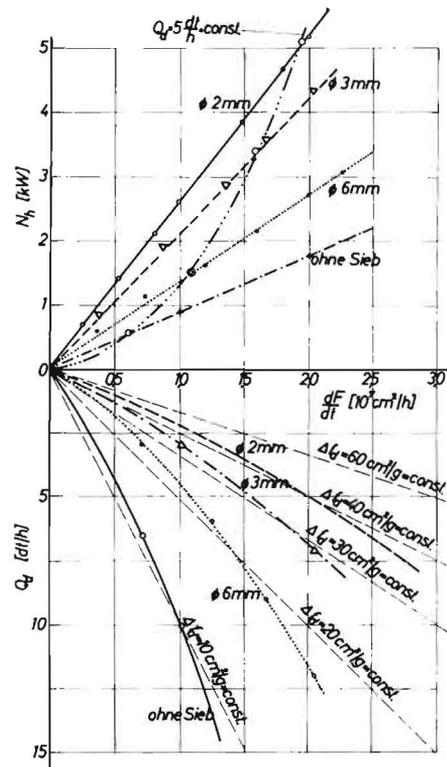


Bild 10: Allgemeiner Zusammenhang zwischen Antriebsleistungsbedarf, Oberflächen-Vergrößerungsleistung und Mahlleistung

Portionsmahlen

Nach den Ergebnissen der weiteren Messungen besteht auch beim Portionsmahlen ein linearer Zusammenhang zwischen der Oberflächenvergrößerungsleistung und dem Antriebsleistungsbedarf. Im Falle der gleichen Sieblochung hat der spezifische Zerkleinerungsenergiebedarf [kWh/cm²] auch zahlenmäßig denselben Wert, er ist also im Endergebnis vom Betriebszustand ebenfalls unabhängig.

Der beim Portionsmahlen auftretende Antriebsleistungsbedarf läßt sich in folgender Formel ausdrücken:

$$N_a = \frac{1}{2} k \cdot C \cdot \frac{df_t}{dt} \cdot T = v \cdot \frac{dF}{dt},$$

worin auch in diesem Falle das Produkt

$$\frac{df_t}{dt} \cdot T = \frac{dF}{dt}$$

eigentlich die Oberflächenvergrößerungsleistung ist [cm²/h]; ferner sind

N_a = die Antriebsleistungsaufnahme im Betriebszustand des Portionsmahlers [kW],

k, C und v = Konstanten, wie oben,

T = die eben unter Vermahlung stehende Ladungsmenge [g] und

$\frac{df_t}{dt}$ = Geschwindigkeit der Zunahme der spezifischen Oberfläche der Ladung [cm²/g · s].

Da die Richtigkeit und Gültigkeit der obigen Zusammenhänge auch durch unsere Meßergebnisse bewiesen wurde (Bild 10), ist zugleich bewiesen worden, daß die Antriebsleistungsaufnahme im Endergebnis auch unabhängig von der Mahlleistung gedeutet werden kann, und daß ihre Ableitung aus der Oberflächenänderung der Ladung allein möglich ist.

Im stabilisierten Betriebszustand ist eben

$$\Delta f_{\text{dara}} \cdot Q_{\text{dara}} = \frac{df_t}{dt} \cdot T.$$

Die praktische Bedeutung der Feststellung ist groß, denn solange beim Portionsmahlen die Schrotartikel im Verhältnis zur Sieblochung noch verhältnismäßig groß sind und daher nicht durchfallen können, solange also die Oberflächenvergrößerung als Mahl-

leistung nicht bemerkbar wird, kann die Oberflächenvergrößerungsleistung nur in der Form des Produktes

$$\frac{dF}{dt} = \frac{df_i}{dt} \cdot T$$

gedeutet werden.

Der auf die Leistungsaufnahme bezügliche letztere Zusammenhang hat also allgemeine Gültigkeit und kann auf jeden Betriebszustand ausgedehnt werden.

Zusammenfassung

Der Zweck der Prüfungen war die Klärung der Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Hammermühlen im Wege des näheren Kennenlernens und der mengenmäßigen Erschließung der Gesetzmäßigkeiten des Zerkleinerungsvorganges, der sich in der Trommel von Hammermühlen abspielt.

Es wurden daher neue Untersuchungsverfahren erarbeitet, die im wesentlichen darin bestanden, die Gewichtsänderung des auf je einer Waage aufgehängten Mahlgutvorratskastens und Schrottsammelbehälters parallel mit der Antriebsleistungsaufnahme zeitlich zu registrieren. Die Gewichtsänderungen wurden auf elektrosensometrischem Wege gemessen; zur Messung der Antriebsleistung diente ein Dreiphasen-Leistungsschreiber; die Festhaltung der Meßwerte erfolgte mit einem Achtschleifen-Oszillographen.

Die hauptsächlichsten Feststellungen, die sich bei den Untersuchungen ergaben, waren die folgenden:

1. Das Gewicht des beim Portionsmahlen hergestellten Schrotes kann als Funktion der Zeit in guter Näherung als logarithmisch normal verteilt angenommen werden. Die Ausgestaltung der Gesetzmäßigkeit läßt sich mit der Auffassung der Zerkleinerungsdauer der einzelnen Schrotkörner als Wahrscheinlichkeits-Veränderliche begründen.
2. Die Mahlleistung ist bei gegebener Sieblochung und anderen konstruktiven Kennwerten eine Funktion mit zwei Veränderlichen: der Ladungsgröße und der Feinheit. Bei konstanter Feinheit der Ladung ist die Mahlleistung eine lineare Funktion der Ladungsgröße.
3. Der Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Körnergröße $\delta_{\text{durchschn.}}$ und dem amerikanischen Feinheitsmodul F ist vom Charakter $\ln x$ und kann auf Grund eines Wahrscheinlichkeitsrechnungssatzes bestimmt werden.
4. Der nützliche Antriebsleistungsbedarf der Hammermühle kann auf Grund der RITTINGER-Theorie berechnet werden. Er steht mit der Oberflächen-Vergrößerungsleistung im linearen Zusammenhang.
5. Der nützliche spezifische Zerkleinerungs-Energiebedarf der Siebe verschiedener Lochung ν [kWh/cm^2] zeigt sehr wesentliche Abweichungen. Ein Schrot gleicher Feinheit kann aber auch mit Sieben verschiedener Lochung hergestellt werden; in diesem Falle ändert sich allerdings auch die Mahlleistung wesentlich.

Schrifttum

- [1] SILVER, E. A.: Feed Grinder Investigation. Ohio Agricultural Experiment Station, Wooster, Ohio, Bulletin 490. October 1931
- [2] GREUNE, K.: Vergleichende Untersuchungen über die Vermahlung von Luzerne, Heu und Getreide. Leipzig 1936
- [3] KNESCHKE, A.: Über die Feinheit und Gleichmäßigkeit eines Mahlgutes. VDI-Zeitschrift 101 (1959), S. 413—418
- [4] KOLMOGOROV, A. I.: O logarivniceszki normalnom zakone raszpregyelenija raszmerov esaszitje pri problemii. Doklady Akademii Nauk 31 (1941), S. 99—101
- [5] RÉNYI, A.: Az aprítás matematikai elméletéről. (Über die mathematische Theorie der Zerkleinerung.) Épitőanyag (1956), S. 9—10
- [6] VÖRÖS, I.: A darálás finomságának mérése és kísérleti eredménye kalapácsos rendszerű darálógépekkel. (Messung der Mahlfinheit und Versuchsergebnisse beim Mahlen in Hammermühlen.) Molnárak Lapja (1937), S. 12—14
- [7] BLAZEK, J.: O cinnosti kladvkoveho srotovníku. Mechanisace a elektrifikace zemědělství (1956), S. 245—272
- [8] CHARLES, R. J.: Energy-Size Reduction Relationships in Comminution. Mining Engineering (1957), S. 80—88
- [9] V. GEBELEIN, H.: Beiträge zum Problem der Kornverteilungen. Chemie Ing. Technik 28 (1956), S. 773—782
- [10] SCHUMANN, R.: Principles of Comminution I. Size Distribution and Surface Calculation. Mining Technology (1940), S. 1—11
- [11] FAY, G. und B. ZSELEV: Az aprításelmélet alapjairól. (Über die Grundlagen der Zerkleinerungstheorie.) Energia és Atomtechnika 8 (1960), S. 1 bis 12

Résumé

István Bölöni: "Relations Between Characteristics Determining the Operating Condition of Hammer Mills".

The tests were aimed at finding possibilities to save energy in hammer mills by obtaining a better knowledge of the mathematical interrelation in chopping processes. New methods of examination had been elaborated by means of which the temporal change of weight of the box for storing the material to be ground and the collecting container for the crushed grain, each suspended on one balance, was recorded in parallel with the power absorption. Among others the following results were obtained:

With given screen holes and other constructional characteristics the grinding capacity is a function with two variables: the amount of charge and the fineness. With a constant fineness of the charge the grinding capacity is a linear function of the amount of charge.

The relation between the mean particle size and the American modulus of fineness follows the function $\ln x$.

The requirement for the actual driving power of the hammer mill can be calculated on the basis of Rittinger's theory. There is a linear relation with the surface enlargement capacity.

The specific power requirement for chopping with differently punched screens differs considerably. However, coarsely ground grain of the same fineness can also be produced with differently punched screens. The possibility of saving energy consists just in the proper utilization of this mathematical interrelationship.

István Bölöni: «Les rapports entre les caractéristiques déterminant l'état de fonctionnement des broyeurs à marteaux».

Le but de ces essais a été de trouver de nouvelles possibilités pour réduire la consommation en énergie des broyeurs à marteaux en étudiant plus en détail les lois régissant les phénomènes de broyage. On a cherché de nouvelles méthodes d'essai qui consistent essentiellement à enregistrer simultanément l'énergie absorbée et les variations du poids de la trémie contenant le produit à broyer et du poids de la trémie recevant le produit broyé, les deux étant suspendues à des balances. Les recherches ont montré entre autres résultats:

En utilisant des tamis à mailles déterminées mais en changeant les caractéristiques constructives, le rendement de broyage est une fonction comprenant deux variables: le volume de la charge et sa granulométrie. Si la grosseur des grains à broyer est constante, le rendement de broyage est une fonction linéaire du volume de la charge.

Le rapport entre la grosseur moyenne des grains et le module de finesse américaine peut être exprimé par $\ln x$.

L'énergie exigée par la puissance effective du broyeur à marteaux peut être calculée suivant la théorie de Rittinger. Elle est en relation linéaire avec l'augmentation de la surface du produit broyé.

La consommation spécifique en énergie diffère sensiblement suivant les mailles des tamis. On peut obtenir un produit broyé à finesse identique en utilisant des tamis à mailles différentes. Les possibilités d'économie en énergie consistent donc essentiellement à profiter judicieusement de ce fait.

István Bölöni: «Relación entre los valores característicos que deciden de las condiciones de servicio en los molinos de mazos».

El objeto de estos ensayos fué el de conocer las posibilidades de ahorro de energía en molinos de mazos, a base de los conocimientos de detalle de la regularidad en el proceso de trituración. Se desarrollaron nuevos procedimientos de ensayo que en esencia consistieron en registrar el consumo de energía paralelamente con las variaciones de peso de la caja, conteniendo el material a moler y de la caja colectora del material triturado, suspendida c. u. en una balanza. Entre otros resultados los ensayos permitieron aclarar los puntos siguientes: Con una criba de malla determinada el rendimiento de la molienda, teniendo en cuenta otros valores característicos constructivos, es una función con dos factores variables, el tamaño del material y la finura. Siendo el granulado de la carga constante, el rendimiento de la molienda es función lineal del tamaño de la carga.

La relación entre el tamaño promedio de los granos y el módulo de finura americana tiene el carácter $\ln x$.

La potencia efectiva que necesite el molino de mazos se puede calcular a base de la teoría de Rittinger. Está en relación lineal con la de aumento de superficies.

El consumo específico de energía para la trituración con cribas de malla diferentes acusa grandes variaciones. Pero una trituración de finura igual puede efectuarse también con cribas de malla distinta y la posibilidad de ahorrar energía consiste precisamente en el aprovechamiento conveniente de esta regularidad.