

Untersuchungen über die Feinzerkleinerung von Stroh

Mitteilung aus dem Institut für Landtechnik, Stuttgart-Hohenheim

Das Aufbereiten von Stroh ist in Ländern mit semi-aridem Klima vielfach notwendig. Zur Verfütterung muß das Stroh wegen seiner anderen technologischen Eigenschaften — es ist viel härter als in Westdeutschland beispielsweise — zerkleinert werden [1]. Hierzu können verschiedene Maschinen eingesetzt werden. Häcksler üblicher Bauart sind für die Feinzerkleinerung von verholztem Stroh nicht geeignet, da sie harte und scharfkantige Häckselstücke liefern. Es kommen deshalb nur Maschinen in Frage, die das Gut weich und fein machen, so daß beim Aufnehmen durch das Vieh keine Gaumenbeschädigung verursacht wird. Neben der Zerkleinerung in der Länge muß das Stroh vor allem „weich“ gemacht werden, was durch Zerreißen, Aufspalten, Zerfasern und Zerschlagen möglich ist. Zu diesem Zweck wurde unter anderem eine Hammerrmühle untersucht ¹⁾.

1. Grad der Zerkleinerung

Auf Grund der Struktur des Strohhalmes treten bei seiner Zerkleinerung im allgemeinen ein Schnitt oder Bruch quer zur Faserrichtung (Fall a) und bei entsprechender Beanspruchung auch längs zur Faserrichtung (Fall b) auf.

Im Fall a erfaßt die mathematische Definition für die mittlere Häcksellänge den Grad der Zerkleinerung gut. Diese kann in bekannter Weise in der Formel

$$l_m = \frac{z_1 \cdot l_1 + z_2 \cdot l_2 + z_3 \cdot l_3 + \dots + z_n \cdot l_n}{z_1 + z_2 + z_3 + \dots + z_n} \text{ [mm]}$$

geschrieben werden. Dabei ist z_n die Zahl der zerkleinerten Strohstücke im Längenbereich n und l_n der Mittelwert der Häcksellänge vom Bereich n .

Im Fall b (Aufspalten der Halme längs der Faserrichtung) wurde das zerfaserte Gut in ungespaltene, einfach gespaltene (zwei Teile), zweifach gespaltene (vier Teile) und dreifach gespaltene (acht Teile) Halmstücke unterteilt. Wegen der Unregelmäßigkeit der Teilung treten häufig auch Zwischengrößen auf. Mit zunehmender Spaltung verkleinert sich das Verhältnis Gewicht zu größter Projektionsfläche der einzelnen Halmteilchen. Deshalb ist die Klassierung der zerrissenen Strohproben nach dem Spaltungsgrad durch Windsichtung möglich. Die im Schwebestand ²⁾ ermittelte Verteilung ist unabhängig von der Häcksellänge, sie ist also unabhängig vom Grad der Zerkleinerung nach Fall a. Für Gut gleicher Spaltung ergibt sich für den Übergang jeweils eine GAUSSsche Verteilung (Bild 1). Im Wahrscheinlichkeitsnetz erscheinen diese GAUSSschen Kurven als Geraden (Bild 2). Sie teilen das Zerkleinerungsfeld in fünf Bereiche ein:

- Bereich 1 enthält die mehr als dreifach gespaltenen Strohstücke,
- Bereich 2 die zwischen zwei- und dreifach gespaltenen,
- Bereich 3 die zwischen ein- und zweifach gespaltenen,
- Bereich 4 die bis zu einfach gespaltenen und
- Bereich 5 die ungespaltenen Strohstücke.

Das in Bild 2 gezeigte Kennfeld kann für jede Strohart im Vorversuch gewonnen werden. Beim Zerkleinern fällt ein Gemisch verschieden stark gespaltenen Strohteilchen an. Als Kenngröße für das Gemisch eignet sich der mittlere Spaltungsgrad. Zu seiner Ermittlung bestimmt man im Schwebestand

die Gesamtübergangskurve und trägt diese in das zugehörige Wahrscheinlichkeitsnetz ein. Der mittlere Spaltungsgrad wurde dann in Anlehnung an die Methode nach "ASAE Recommendations for Determination of Modulus of Fineness" wie folgt berechnet [2]:

$$S_m = \frac{5 U_1 + 4 U_2 + 3 U_3 + 2 U_4 + U_5}{100}$$

Dabei sind U_1, U_2, U_3, U_4 und U_5 die prozentualen Gewichtsanteile der einzelnen Bereiche 1, 2, 3, 4 und 5 jeweils für Gesamtübergang der betreffenden Bereiche gerechnet. Der mittlere Spaltungsgrad kann sich somit zwischen dem Wert 1 und 5 bewegen.

2. Untersuchte Maschine

Für die Messungen stand eine Hammerrmühle ³⁾ mit angebautem Gebläse zur Verfügung. Es handelt sich um eine tangential gespeiste Hammer-Trommel mit vier Hammerreihen. Das Sieb erstreckt sich über 42% des Gehäuseumfangs. Das Gebläse sitzt auf der gleichen Welle wie die Hammer-Trommel und saugt das zerkleinerte Gut unterhalb des Siebes ab.

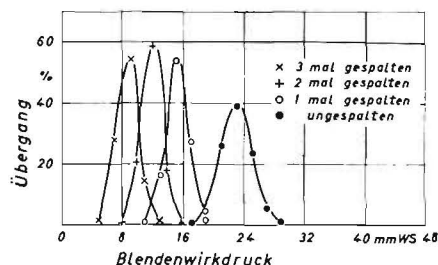


Bild 1: Übergang von unterschiedlich stark gespaltenem Weizenstroh als Funktion des Wirkdruckes an der Blende Feuchtegehalt 15%

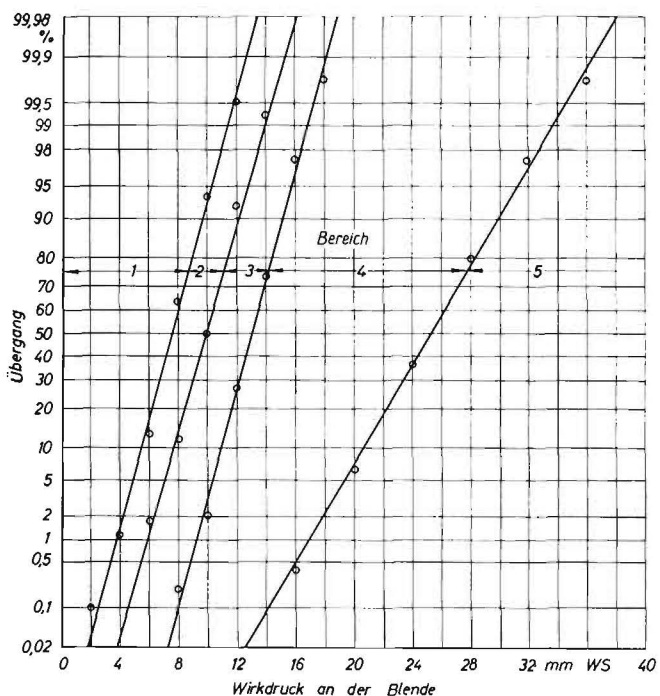


Bild 2: Übergang von unterschiedlich stark gespaltenem Weizenstroh als Funktion des Wirkdruckes an der Blende (Bild 2 stammt von anderer Meßreihe als Bild 1)

¹⁾ In dem vorliegenden Bericht ist ein Teil der Ergebnisse von Untersuchungen, die am Institut für Landtechnik der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. SEGLER) im Rahmen einer Dissertation in den Jahren 1961 bis 1963 durchgeführt wurden, wiedergegeben

²⁾ Bauart Prof. Dr.-Ing. G. SEGLER

³⁾ Typ Raubbausz-Senior der Firma Herbold, Meckesheim

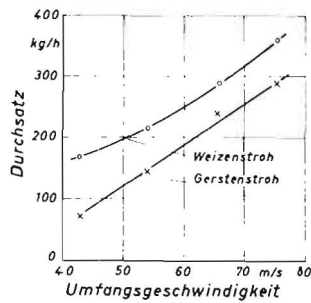


Bild 3: Maximaler Durchsatz (Grenzdurchsatz) bei verschiedenen Hammerumfangsgeschwindigkeiten für Weizen- und Gerstenstroh

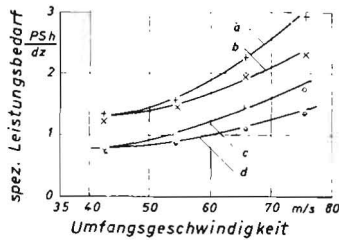


Bild 4: Spezifischer Leistungsbedarf für Gerstenstroh in Abhängigkeit von der Hammerumfangsgeschwindigkeit

Kurve a spez. Gesamtleistungsbedarf bei 96 kg/h Durchsatz
 Kurve b spez. Gesamtleistungsbedarf bei Grenzdurchsatz
 Kurve c spez. Nutzleistungsbedarf bei Grenzdurchsatz
 Kurve d spez. Nutzleistungsbedarf bei 96 kg/h Durchsatz

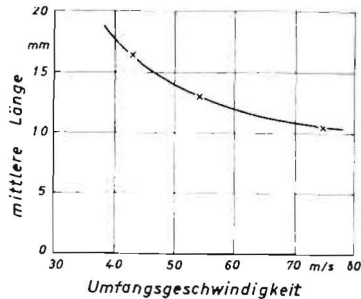


Bild 5: Mittlere Häcksellänge bei verschiedenen Hammerumfangsgeschwindigkeiten für Weizenstroh
 Durchsatz: 144 kg/h

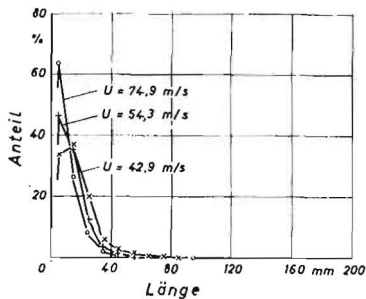


Bild 6: Häcksellängenverteilung bei verschiedenen Hammerumfangsgeschwindigkeiten für Weizenstroh
 Durchsatz: 144 kg/h

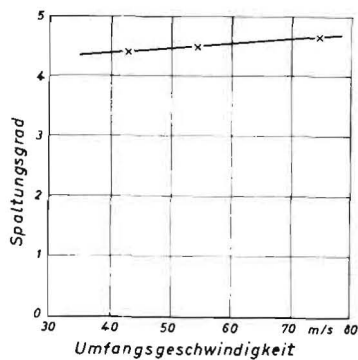


Bild 7: Mittlerer Spaltungsgrad bei verschiedenen Hammerumfangsgeschwindigkeiten für Weizenstroh
 Durchsatz: 144 kg/h

3. Versuchsergebnis

Über den Zusammenhang zwischen Maschineneinstellung, der spezifischen Leistungsaufnahme und der Feinheit des Gutes liegen für einige landwirtschaftliche Produkte Ergebnisse vor [3...7]. Der günstigste Betriebspunkt verändert seine Lage je nach Gutart und -beschaffenheit. Die oben genannten Zusammenhänge wurden für Weizen- und Gerstenstroh untersucht. Das Stroh stammt von einem Versuchsbetrieb der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim. Im einzelnen handelt es sich um folgende Sorten:

Gerstenstroh: Firlbeds Union, Elite
 Weizenstroh: Heges Früher, Elite

3.1. Einfluß der Umfangsgeschwindigkeit

Die Untersuchungen wurden bei folgender Maschineneinstellung durchgeführt: Sieblochdurchmesser 25 mm, Hammerzahl 12, Hammerabstand von Prallfläche am Gehäuse 15 mm. Das Versuchsgut hatte jeweils einen Feuchtegehalt (bezogen auf Feuchtbasis) von 14,5 %.

Durch Ändern der Umfangsgeschwindigkeit der Hämmer lassen sich verschieden große Durchsätze erzielen. Der für eine bestimmte Umfangsgeschwindigkeit mögliche Durchsatz ist wegen des Verstopfens begrenzt. Mit zunehmender Umfangsgeschwindigkeit steigt er in dem Bereich zwischen 45 und 75 m/s etwa linear an (Bild 3). Für gleiche Maschineneinstellung lassen sich bei Weizenstroh höhere Durchsätze erzielen als bei Gerstenstroh. Dabei ist die Leistungsaufnahme der Maschine für beide Stroharten annähernd gleich groß. Bild 4 zeigt die Abhängigkeit des spezifischen Leistungsbedarfs von der Umfangsgeschwindigkeit für Gerstenstroh für den Durchsatz jeweils kurz vor dem Stopfen und für einen über dem Geschwindigkeitsbereich konstanten Durchsatz. Der spezifische Leistungsbedarf ist auf den Trockenmasedurchsatz bezogen. Der Nutzleistungsbedarf ist der Leistungsanteil, der zur Zerkleinerung des Gutes und zum Fördern erforderlich ist. Die Gesamtleistung ergibt sich als Summe von Nutzleistung und der jeweils dem Betriebspunkt zugehörigen Leerlaufleistung. Mit der Drehzahl nimmt die Leerlaufleistung der Mühle auf Grund höherer Lagerreibung und stärkerer Ventilationswirkung zu (Abstand der Kurven a und d in Bild 4 wird mit der Umfangsgeschwindigkeit größer).

Der spezifische Nutzleistungsbedarf wächst mit der Umfangsgeschwindigkeit auch für konstanten Durchsatz (Kurve d in Bild 4). Das ist darauf zurückzuführen, daß bei zunehmender Geschwindigkeit der Zerkleinerungsgrad des Gutes größer wird. Die Veränderung des Zerkleinerungsgrades zeigen die Bilder 5 und 7. Die mittlere Häcksellänge nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit ab, der mittlere Spaltungsgrad zu. Aus Bild 6 ist die Häcksellängenverteilung für verschiedene Umfangsgeschwindigkeiten zu ersehen.

Vergleicht man in Bild 4 die Kurven c und d, so steigt beim Grenzdurchsatz (Durchsatz kurz vor dem Verstopfen) der spezifische Nutzleistungsbedarf stärker an als bei konstantem Durchsatz. Es ist zu vermuten, daß beim maximalen

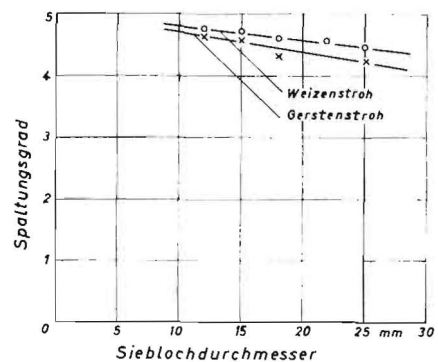


Bild 8: Mittlerer Spaltungsgrad bei verschiedenen Sieblochdurchmessern
 Durchsatz: bei Gerstenstroh 120 kg/h; bei Weizenstroh 192 kg/h

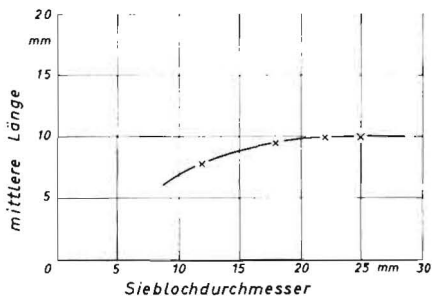


Bild 9: Mittlere Häcksellänge in Abhängigkeit vom Sieblochdurchmesser für Weizenstroh
Durchsatz: 192 kg/h

Durchsatz eine stärkere Zerkleinerung stattfindet oder daß in der Mühle die Zerkleinerungs- und Transportverhältnisse ungünstiger werden.

3.2. Einfluß des Sieblochdurchmessers

Bei einer Hammerumfangsgeschwindigkeit von 65,7 m/s, vier Hammerreihen mit je drei Hämmer und einem Spalt von 15 mm zwischen der Prallfläche am Gehäuse und den rotierenden Hämmer sind Siebe mit Lochdurchmesser von 12, 15, 18, 22 und 25 mm untersucht worden. Der Feuchtegehalt des Versuchsgutes (auf Feuchtbasis bezogen) betrug 14,5 %.

Bei größerem Durchmesser der Sieblöcher wird eine schwächere Zerkleinerungswirkung erreicht. In Bild 8 ist der erzielte mittlere Spaltungsgrad über dem Sieblochdurchmesser dargestellt. Der Spaltungsgrad ist für Gerstenstroh etwas niedriger. Bild 9 zeigt den Einfluß der Sieblochgröße auf die mittlere Häcksellänge für Weizenstroh. Da bei zunehmendem Sieblochdurchmesser der Zerkleinerungsgrad geringer wird, hat dies eine Abnahme des spezifischen Leistungsbedarfs zur Folge (Bild 10). Bei Verwendung des 25-mm-Siebes steigt der spezifische Leistungsbedarf wieder etwas an. Das ist wahrscheinlich auf die gegenüber dem 22-mm-Sieb um etwa 8 % kleinere Gesamtdurchgangsfläche⁴⁾ des 25-mm-Siebes zurückzuführen.

3.3. Einfluß von Hammerzahl und -abstand

Über den Einfluß der Anordnung und der Anzahl der Hämmer auf die Feinheit des Gutes und den Leistungsbedarf wurde schon mehrfach berichtet [5; 6; 8]. Die Verfasser kamen zu dem übereinstimmenden Ergebnis, daß die Erhöhung der Anzahl der Hämmer über die Mindestzahl keine erhöhte Zerkleinerungswirkung bringt. Mit mehreren schmalen Hämmer anstelle von wenigen breiten Hämmer läßt sich ein größerer Durchsatz bei Kornutmahlung erzielen [8]. Die Anordnung der Hämmer hat auf die Zerkleinerungswirkung keinen Einfluß. Mit zunehmender Hammerzahl steigt der spezifische Leistungsbedarf an [6].

Die untersuchte Mühle arbeitet normalerweise mit 12 Hämmer. Eine Erhöhung der Hammerzahl auf 24 brachte bei annähernd unverändertem Zerkleinerungserfolg einen höheren spezifischen Gesamtleistungsbedarf. Bei Weizenstroh erhöhte sich der mittlere Spaltungsgrad geringfügig.

Bild 11 gibt den Einfluß des Hammerabstandes (Abstand der rotierenden Hämmer von der Prallfläche am Gehäuseumfang) auf den spezifischen Leistungsbedarf für Weizenstroh wieder. Wird der Hammerabstand in einem Bereich verändert, daß die Prallzerkleinerung beibehalten wird [6; 9], so folgt nur eine geringe Änderung des spezifischen Leistungsbedarfes. Bei den untersuchten Hammerabständen war kein Unterschied im Zerkleinerungsgrad festzustellen.

3.4. Einfluß des Zerkleinerungsgutes

Getreideart, Sorte, Klima und die Bodenverhältnisse bestimmen im wesentlichen die Eigenschaften von Stroh. Dabei hat neben dem Klima die Getreideart starken Einfluß, wie das Beispiel Gersten- zu Weizenstroh zeigt.

⁴⁾ Die Gesamtdurchgangsfläche ist gleich der Summe aller Sieblochflächen. Sie kann für bestimmte Sieblochdurchmesser bei entsprechend breiten Zwischenstegen verschieden groß sein

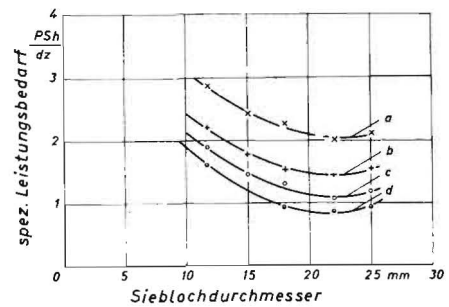


Bild 10: Spez. Leistungsbedarf bei verschiedenen Sieblochdurchmessern
Durchsatz: bei Gerstenstroh 120 kg/h; bei Weizenstroh 192 kg/h
Kurve a spez. Gesamtleistungsbedarf bei Gerstenstroh
Kurve b spez. Gesamtleistungsbedarf bei Weizenstroh
Kurve c spez. Nutzleistungsbedarf bei Gerstenstroh
Kurve d spez. Nutzleistungsbedarf bei Weizenstroh

Untersuchungen über den Einfluß des Feuchtegehaltes ergaben keinen nennenswerten Unterschied im erzielten Zerkleinerungsgrad. Der spezifische Nutzleistungsbedarf stieg aber stark mit zunehmendem Feuchtegehalt an (Bild 12). Der mögliche Durchsatz fällt entsprechend ab. Hierfür können mehrere Gründe angeführt werden. Stroh wird mit zunehmendem Feuchtegehalt elastischer. Bild 13 zeigt den Verlauf des Elastizitätsmoduls für verschiedene Strohart in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt, wie er in Laborversuchen ermittelt wurde [1]. Für die beim Aufprallen maximal in einem Gutteilchen auftretende Beanspruchungsgröße ist

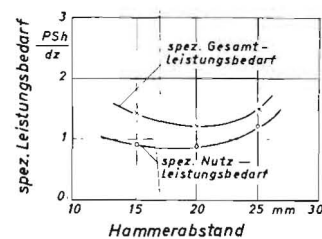


Bild 11: Spez. Leistungsbedarf bei verschiedenen Hammerabständen für Weizenstroh

Hammerumfangsgeschwindigkeit 65,7 m/s; Sieblochdurchmesser 25 mm; Hammerzahl 12; Feuchtegehalt des Strohes 14,5%; Durchsatz 240 kg/h

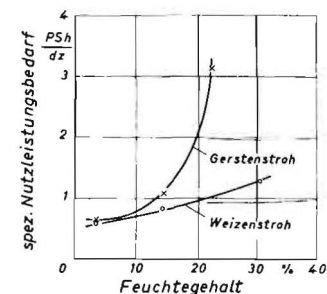


Bild 12: Spez. Nutzleistungsbedarf bei verschiedenen Feuchtegehalten
Hammerumfangsgeschwindigkeit 65,7 m/s; Sieblochdurchmesser 25 mm; Hammerzahl 12; Hammerabstand 15 mm; Durchsatz 96 kg/h

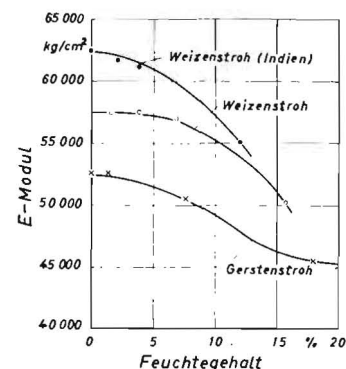


Bild 13: Elastizitätsmodul verschiedener Strohart in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt

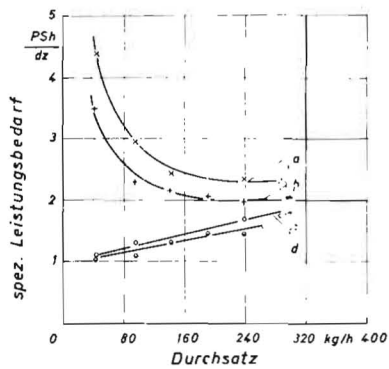


Bild 14: Spez. Leistungsbedarf bei verschiedenen Durchsätzen für Gerstenstroh

Sieblochdurchmesser 25 mm; Hammerabstand 15 mm; Feuchtegehalt des Strohes 14,5%

- Kurve a spez. Gesamtleistungsbedarf bei 75,5 m/s Hammerumfangsgeschwindigkeit
- Kurve b spez. Gesamtleistungsbedarf bei 65,7 m/s Hammerumfangsgeschwindigkeit
- Kurve c spez. Nutzleistungsbedarf bei 75,5 m/s Hammerumfangsgeschwindigkeit
- Kurve d spez. Nutzleistungsbedarf bei 65,7 m/s Hammerumfangsgeschwindigkeit

der Elastizitätsmodul in starkem Maße verantwortlich [9]. Stroh läßt sich mit zunehmendem Feuchtegehalt durch Prallwirkung schlechter zerkleinern. Die Zerreißfestigkeit nimmt dagegen trotz höheren Feuchtegehaltes nicht wesentlich ab [10]. Bei hohem Feuchtegehalt konnte beobachtet werden, daß die Sieblöcher von fein zerfaserten Strohteilchen verstopft werden. Bei Gerstenstroh tritt diese Erscheinung stärker auf als bei Weizenstroh, was zu dem besonders steilen Anstieg des spezifischen Nutzleistungsbedarfes bei Gerstenstroh (Bild 12) beigetragen haben dürfte.

3.5. Einfluß des Belastungsgrades

Unterschiedlicher Durchsatz bei gleicher Maschineneinstellung hat auf die mittlere Länge und den mittleren Spaltungsgrad keinen Einfluß. Wird mit höherer Umfangsgeschwindigkeit gearbeitet, so tritt eine intensivere Zerkleinerung auf, was einen höheren spezifischen Leistungsbedarf zur Folge hat (Kurven c und a in Bild 14 liegen höher).

Der spezifische Nutzleistungsbedarf steigt mit zunehmendem Durchsatz an. Daran mag das mit steigendem Durchsatz ungünstigere Verhältnis von Luftdurchsatz zu Gutdurchsatz schuld sein [6]. Der spezifische Gesamtleistungsbedarf nimmt in bekannter Weise mit steigendem Durchsatz ab (Kurven a und b in Bild 14).

Zusammenfassung

Die Einflußgrößen auf die mittlere Häcksellänge und den mittleren Spaltungsgrad von Stroh wurden an einer Hammermühle untersucht. Der erzielte Zerkleinerungsgrad bei Stroh hängt stark von der Umfangsgeschwindigkeit der Hämmer und vom Sieblochdurchmesser ab. Je höher die Umfangsgeschwindigkeit der Hämmer und je kleiner der Sieblochdurchmesser ist, desto feiner wird das Stroh zerkleinert. Dagegen ist von der Hammerzahl und vom Hammerabstand kein wesentlicher Einfluß auf den Zerkleinerungsgrad des Strohes festzustellen. Er ist außerdem unabhängig vom Feuchtegehalt des Strohes und vom Durchsatz. Der spezifische Leistungsbedarf ist im Vergleich zu anderen Maschinen, die für die Feinzerkleinerung von Stroh eingesetzt werden, bei einer etwas intensiveren Zerkleinerungswirkung erheblich größer [1].

Schrifttum

- [1] PATHAK, B. S.: Die Feinzerkleinerung von Stroh. Diss. Hohenheim 1963
- [2] Method of determining modulus of Uniformity and modulus of fineness of ground feed. Agricultural Engineer's Yearbook. St. Joseph/ Michigan, USA 1958
- [3] SILVER, E.: Characteristics of feed mill performance. Agricultural Engineering 13 (1932) S. 31-34

- [4] GREUNE, K.: Vergleichende Untersuchungen ber die Vermahlung von Luzerne, Heu und Getreide mittels Schleudermhlen, Metallscheiben- und Steinmhlen. Diss. Braunschweig 1935
- [5] DUFFER, F. W.: The Design and Performance of Small Hammer-Type Feed Mills. Agricultural Engineering 11 (1930) S. 171-176
- [6] O'CALLAGHAN, J. R., M. E. O'HAGAN und B. G. RICE: Performance of hammer mills. Journal of Agricultural Engineering Research 8 (1963) S. 92-104
- [7] FRIEDRICH, W.: Zerkleinerungsvorgang in Hammermühlen, abhängig von den Einflußgrößen. Die Mühle 96 (1959), S. 649-651 und S. 660-661
- [8] STÖCKMANN, K.: Technologie der Mischfutterherstellung. Hannover 1960
- [9] RUMPF, H.: Beanspruchungstheorie der Prallzerkleinerung. Chemie-Ingenieur-Technik 31 (1959) S. 323-337
- [10] HACKLNDER, G.: Zerreifestigkeit, Kerbschlagfestigkeit und Ausdreschbarkeit verschiedener Strohartentypen. Unverffentlichter Bericht des Instituts fr Landtechnik an der Techn. Hochschule Braunschweig

Résumé

Karl Maurer and Bhim Sen Pathak: "Examinations on Straw Chopping."

By means of a hammer mill the range of influence on the mean chopping length and the mean degree of cleavage with straw has been examined. With straw the obtained degree of chopping depends greatly on the circumferential speed of the hammers and on the diameter of the screen holes. The higher the circumferential speed of the hammers and the smaller the diameter of the screen holes, the finer the straw is chopped. On the other hand, the number of hammers and the hammer distance do not influence essentially the chopping degree of the straw. Moreover, it is independent of the moisture content of the straw and of the throughput. As compared to other machines used for straw chopping, the specific power requirement is considerably greater with a somewhat more intensive effect of chopping.

Karl Maurer et Bhim Sen Pathak: „Recherches au sujet de la fragmentation très fine de la paille.“

Les facteurs qui influent sur la longueur et le degré de dislocation moyen de la paille ont été examinés en utilisant un concasseur à marteaux. Le degré de fragmentation de la paille dépend fortement de la vitesse circonférentielle des marteaux et du diamètre des trous du tamis. La paille est fragmentée en des brins d'autant plus fins que la vitesse circonférentielle des marteaux est élevée et le diamètre des trous du tamis faible. Par contre, le nombre des marteaux et la distance entre ceux-ci n'ont pas une influence sensible sur le degré de fragmentation de la paille le dernier est également indépendant de la teneur en humidité du produit et du débit. Toutefois, le broyeur à marteaux exige une puissance spécifique de plus en plus élevée au fur et à mesure que la finesse de fragmentation augmente contrairement aux autres machines utilisées pour la fragmentation fine de la paille.

Karl Maurer y Bhim Sen Pathak: „Pruebas de desmenuzamiento de la paja.“

El valor de los factores que influyen en el largo medio de los trozos de paja y en el grado medio de hendidura, se investigaron en un molino de mazos. El grado de desmenuzamiento de la paja depende principalmente de la velocidad periférica de los mazos y del diámetro de las aperturas de la criba. Cuanto mayor la velocidad periférica y cuanto más pequeño el diámetro de los agujeros, tanto más finas serán las partículas de paja. En cambio el número de mazos y la distancia de los mismos no ejercieron influencia en el grado de trituration que es también independiente del grado de humedad de la paja y de la velocidad de paso. Sin embargo la potencia consumida es bastante más elevada en comparación con otras tritadoras empleadas, siendo en cambio el electo conseguido algo mejor.