

Dirk Kämmerer, Braunschweig

# Strohzerkleinerung im Mährescherhäcksler

An einem stationären Versuchstand werden grundlegende Untersuchungen zum Förder- und Schneidvorgang im Mährescherhäcksler durchgeführt. Durch die Aufteilung der Antriebsleistung in verschiedene Einzelkomponenten wird eine genaue Analyse der Auswirkungen von Parametervariationen ermöglicht. Zum Vergleich von Häckselproben verschiedener Versuche wird ein Schwingsieb eingesetzt. Durch Hochgeschwindigkeitsaufnahmen können die Vorgänge im Häcksler visualisiert und analysiert werden.

Dipl.-Ing. Dirk Kämmerer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der Technischen Universität Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig, e-mail: d.kaemmerer@tu-bs.de. Das Forschungsvorhaben wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

## Schlüsselwörter

Mährescherhäcksler, Leistungsbedarf, Schnittlänge

## Keywords

Combine straw chopper, power requirements, chopping length

Zur Untersuchung des Schneid- und Fördervorganges in einem Mährescherhäcksler wurde ein stationärer Versuchstand aufgebaut. Dieser besteht aus den Baugruppen Vorratsband, Transportband, dem eigentlichen Häckselaggregat und einem Häckselbehälter. Eine detaillierte Beschreibung des Versuchsstandes, der Versuchsdurchführung und weiterer Ergebnisse wurde in [1] veröffentlicht.

Zum Vergleich der Auswirkungen von Parametervariationen einzelner Versuche muss auch die Qualität des Häckselgutes bestimmt werden. Hierzu wird die Länge der Häckselteilchen ermittelt.

## Häcksellänge

Aus dem Häckselbehälter wird für die Siebanalyse eine Strohprobe entnommen. Hierbei wurde darauf geachtet, dass immer an der gleichen Stelle des Häckselbehälters die Probe entnommen wurde, die nicht zum Beginn oder zum Ende des Versuches gehörte. Da auch der Durchsatz einen Einfluss auf die Häcksellänge hat, darf dieser ebenso wie die Drehzahl während eines Versuches nicht variiert werden. Die Häckselproben mit höheren Gutfeuchten wurden getrocknet. Das Schwingsieb, das freundlicherweise vom Institut für Betriebstechnik – jetzt Institut für Betriebstechnik und Bauforschung – der FAL zur Verfügung gestellt wurde, besteht aus sechs Rundlochsieben mit den Lochdurchmessern 67, 30, 16, 8, 4 und 2 mm. Die

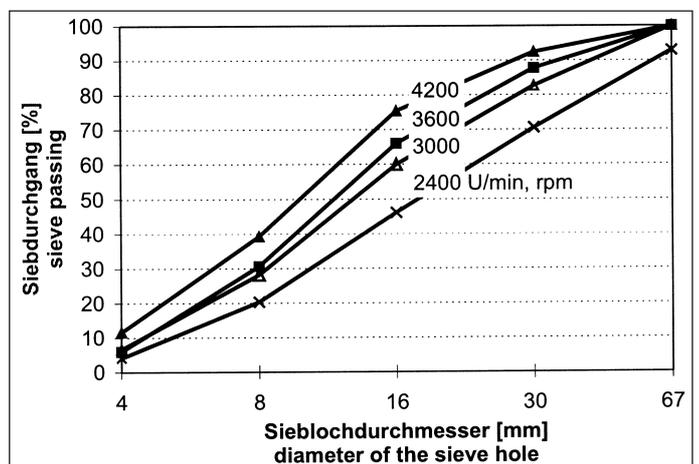
Anordnung der Siebe ist so gestaltet, dass die gesamte Probe oberhalb des 67 mm Siebes aufgegeben wird. Lange Häckselteilchen, die nicht durch das Sieb fallen, werden seitlich abgeschieden. Die kürzeren Häckselteilchen fallen durch die Sieblöcher auf das darunterliegende kleinere Sieb, wo die nächste Fraktion abgeschieden wird. Die kürzesten Teilchen müssen durch alle Siebe hindurch. Es ergeben sich so sieben verschiedene Fraktionen: Jeweils der Übergang der sechs Siebe und der Durchgang des 2 mm Siebes. Den einzelnen Siebfractionen kann keine Häcksellänge direkt zugeordnet werden, da viele Halme geknickt sind und so auch durch kleinere Siebe als vergleichbare gerade Halme hindurchwandern. Die Gewichtsverteilung in den einzelnen Fraktionen bietet aber eine relativ einfache Möglichkeit, die Auswirkungen verschiedener Parameter auch auf die Einkürzung der Halme hin zu bewerten.

In Bild 1 sind die Veränderungen der Siebfractionen bei Variation der Rotordrehzahl dargestellt. Es handelt sich um Summenkurven, die den Siebdurchgang in Gewichtsprozent der gesamten Probe für das jeweilige Sieb angeben. So fallen beispielsweise 100% aller Teilchen der Varianten mit den Rotordrehzahlen 3000  $\text{min}^{-1}$  und höher durch das 67 mm Rundlochsieb, wogegen bei der Probe von 2400  $\text{min}^{-1}$  schon die ersten Teilchen abgeschieden werden und nur etwa 93% auf das 30 mm Sieb gelangen. Die beiden kleinsten Fraktionen des 2 mm Siebes wurden hierbei zusammengefasst als Siebdurchgang des 4 mm Siebes. Bei einem Halmdurchmesser bis zu 5 mm und im Hinblick auf die geringe Aussagekraft dieser Fraktionen ist diese Vereinfachung sinnvoll. Bild 1 zeigt deutlich die Zunahme der Fraktionen der kleinen Sieblochdurchmesser mit steigender Drehzahl, was einer Verringerung der mittleren Häcksellänge entspricht.

Eine Halmlängenanalyse per Hand der Drehzahlvariante 4200  $\text{min}^{-1}$  ergab die Verteilung in Bild 2. Über die Hälfte der Stroh-

Bild 1: Siebanalyse von Häckselproben verschiedener Drehzahlen (Winterweizen, U = 32%, Durchsatz 5 kg/s)

Fig. 1: Sieve analysis of chopping samples at various rpm's (moisture of material 32%, throughput 5 kg/s)



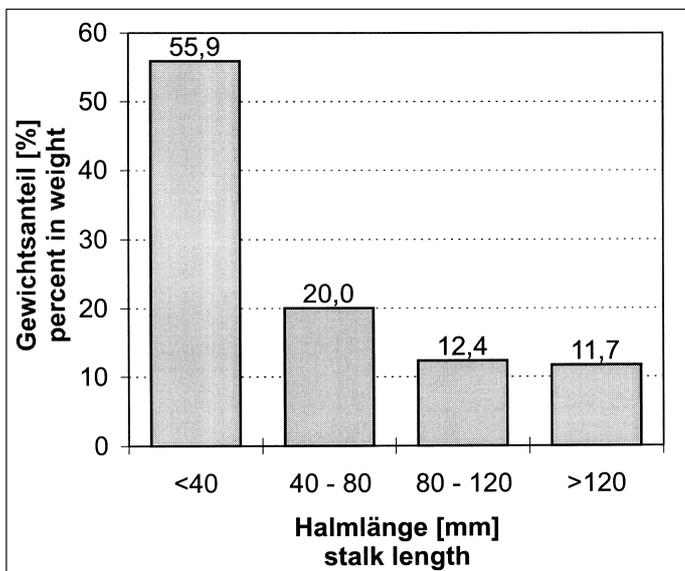


Bild 2: Halmlängenverteilung einer Häckselprobe (Winterweizen,  $U = 32\%$ , Durchsatz 5 kg/s, 4200  $\text{min}^{-1}$ )

Fig. 2: Straw length distribution of a chopping sample at various rpm's (moisture of material 32%, throughput 5 kg/s, 4200 rpm)

masse hat eine Teilchengröße kleiner 40 mm. Rund 75 % sind kleiner als 80 mm. Dies entspricht nur einem Teil der Forderung, die HERRMANN [2] für die Strohzerkleinerung aufstellt: Von der Gesamtstrohmasse müssen 75% der Strohteilchen kürzer als 80 mm und nur 3% dürfen länger als 150 mm sein.

Eine andere Betrachtung soll die Qualität der gezeigten Häcksellängenverteilung verdeutlichen. Geht man von einer Stroh-trockenmasse von 5000 kg/ha aus, die den Mäh-drescherhäcksler passieren, ergibt dies bei einer Feuchtigkeit von  $U = 32\%$  eine Feuchtmasse von 735  $\text{g/m}^2$ . Bei einem Anteil von 11,7% Halmlängen größer als 120 mm, einem spezifischen Halmgewicht von 2,2  $\text{g/m}$  und einer angenommenen mittleren Halmlänge in dieser Fraktion von 200 mm errechnen sich 195 Halmstücke mit einer Länge von 200 mm pro  $\text{m}^2$ .

Unter den gezeigten Bedingungen mit einer Gutfeuchte von 32% und einem sehr hohen Durchsatz von 5 kg/s war es nur bei einer Drehzahl von 4200  $\text{min}^{-1}$  möglich, ein befriedigendes Zerkleinerungsergebnis zu erreichen. Hierbei ergibt sich ein Anstieg der Antriebsleistung von 26,8 kW bei 2400  $\text{min}^{-1}$  auf 45,6 kW bei 4200  $\text{min}^{-1}$ .

Durch die Drehzahlerhöhung steigt die Messerumfangsgeschwindigkeit von 64,6 auf 113 m/s. Für die Zerkleinerung des Gutes hat dies verschiedene Auswirkungen. Bei der Gutannahme des Stroh durch den Häckselrotor aus dem freien Fall findet eine erste Zerkleinerung statt. Bei diesem freien Schnitt kommt es nur zur Durchtrennung des Halmes, wenn zur Schnittkraft eine ausreichend hohe Gegenkraft aufgebaut werden kann. Diese Gegenkraft kann sich aus mehreren Anteilen zusammensetzen. Bei jedem Kontakt zwischen Messer und Halm wirkt die Massenträgheitskraft aus der Beschleunigung des Halmes durch das Messer. Diese kann je nach Länge und Ausrichtung des Halmes und seiner Biegesteifigkeit schon für ein Zertrennen ausreichend sein. Weitere am Halm angreifende Kräfte können aus ei-

ner Abstützung an anderen Halmen oder am Gehäuse, aus der Verflechtung mit anderen Halmen oder aus dem Luftwiderstand resultieren.

Durch die höhere Messergeschwindigkeit wird die Anzahl der schneidbaren Halme und -stücke vergrößert. Auch die Anzahl der Messerkontakte der Teilchen auf der Flugbahn durch den Häcksler vergrößert sich durch die gestiegene Rotordrehzahl. Hierbei wird vorausgesetzt, dass sich die Teilchengeschwindigkeit im Häcksler nicht wesentlich verändert. Diese Annahme wird dadurch gestützt, dass sich die Gutaustrittsgeschwindigkeit verringert, trotz einer Drehzahl- und damit Messergeschwindigkeitssteigerung um 75%. In der gezeigten Versuchsanordnung reduzierte sich die Gutaustrittsgeschwindigkeit von 10 m/s bei 2400  $\text{min}^{-1}$  auf rund 8 m/s bei 4200  $\text{min}^{-1}$ .

Auf dem Weg durch den Häcksler werden die Halme immer weiter eingekürzt. Kann sich die zum Schnitt erforderliche Gegenkraft nicht mehr aufbauen, wird der Halm nur angeschnitten und knickt dort ein.

Der Halm legt sich an die Messerflanken an und wird vom Messer mitgenommen bis er durch die Zentrifugalkraft nach außen von der Schneide abrutscht oder durch anderweitigen Kontakt doch noch geschnitten wird. Die Vorgänge bei der Gutannahme und während der Gutförderung werden mit einer digitalen Hochgeschwindigkeitskamera untersucht. In Bild 3 ist ein Ausschnitt aus ei-

nem Hochgeschwindigkeitsvideo dargestellt, der den Bereich der Gegenmesser zeigt. Im Bild sind auf der linken Seite die festen Gegenmesser zu sehen. Von der rechten Seite ragt das Schlegelmesser in den Bildbereich und beginnt gerade zwischen den Gegenmessern abzutauchen. Die Aufnahme entstand bei einer Drehzahl von 3300  $\text{min}^{-1}$  (Umfangsgeschwindigkeit 88,8 m/s). Im markierten Bereich sieht man einzelne Strohteilchen, die sich an das Schlegelmesser angelegt haben. Durch die vorhergehenden Bilder wird deutlich, dass es sich nicht um einen Schnittvorgang handelt, sondern dass sich die Teilchen tatsächlich mit dem Schlegelmesser mitbewegen.

### Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigten einen eindeutigen Zusammenhang der Rotordrehzahl mit der Zerkleinerung des Stroh. Die Erhöhung der Drehzahl wurde auch in der Vergangenheit von den Mäh-drescherherstellern dazu benutzt, um mit geringem technischen Aufwand eine bessere Zerkleinerung zu erreichen. Dies bedeutet aber auch einen erheblichen Anstieg der benötigten Antriebsleistung. Die Drehzahlsteigerung führt aber nicht zu einer Steigerung der Gutaustrittsgeschwindigkeit und ist damit kein Mittel, um eine größere Wurfweite des Häcksels und damit eine bessere Querverteilung auf der Feldoberfläche zu erreichen. Das zum Vergleich von Häckselproben aus verschiedenen Versuchsanstellungen eingesetzte Schwingsieb erwies sich als gutes Hilfsmittel. Durch den Einsatz einer digitalen Hochgeschwindigkeitskamera wird die Analyse des Schneid- und Fördervorganges wesentlich erleichtert. Die Untersuchungen werden fortgesetzt.

### Literatur

- [1] Kämmerer, D.: Untersuchungen am Mäh-drescherhäcksler. Landtechnik 53 (1998), H. 6, S. 390 – 391
- [2] Hermann, K.: Technologische Untersuchungen an Mechanisierungsmitteln zur Strohzerkleinerung für die Düngung. Deutsche Agrartechnik 22 (1972), H. 6, S. 271 – 273

Bild 3: Hochgeschwindigkeitsaufnahme während des Häckselvorganges bei 3300  $\text{min}^{-1}$

Fig. 3: High-speed recording of the chopping process at 3300 rpm

