

per voraussetzt, soll die Maschinenkapazität voll ausgenutzt werden. Ein wesentlicher Grund hierfür ist der sehr schlechte Wirkungsgrad der Kraftübertragung durch die Reifen.

## 6. Zusammenfassung

In dem vorliegenden Beitrag ist versucht worden, den Gesamtleistungsbedarf der wichtigsten Arbeitsmaschinen zur Halmfuttermittelgewinnung aus Messungen und Berechnungen zusammenzustellen und hieraus über die Wirkungsgrade die erforderliche Schlepperleistung zu ermitteln. Dazu wurden zunächst die Leistungen an der Zapfwelle unter Berücksichtigung wichtiger Parameter dargestellt und diskutiert, um für die spätere Berechnung der Gesamtleistung richtige Annahmen treffen zu können. In diesem Zusammenhang blieben die Heuwerbungsmaschinen unberücksichtigt, weil deren Leistungsbedarf gegenüber dem der anderen Maschinen gering ist.

Die erforderliche Berechnung der Zugleistung wurde durch die Darstellung der theoretischen Grundlagen eingeleitet. Unter anderem wurde an einem Beispiel der Berechnungsgang aufgezeigt. Bezüglich der Zugleistung sind die beste-

henden Beziehungen der Kraftübertragung mit Reifen durch die Benutzung verschiedener Triebkraftkurven variiert worden. Die unterschiedlichen Wagenladungen führten schließlich zu einer Eingrenzung des möglichen Leistungsbereiches.

Die sich anschließende Berechnung der Gesamtleistung zeigte schließlich, daß bei Ausnutzung der Maschinenkapazität beträchtliche Anforderungen an den Schlepper gestellt werden, die in vielen Fällen infolge des Fehlens eines leistungsstarken Motors nicht erfüllt werden können.

## Schrifttum

- [12] MEYER, H.: Die Bedeutung eines stufenlosen Getriebes für den Ackerschlepper und seine Geräte. *Grundl. Landtechn.* 9 (1959), H. 11, S. 5—12.
- [13] STEINKAMPF, H.: Messungen an Triebreifen. Unveröffentl. Institutsbericht des Instituts für Betriebstechnik der FAL.
- [14] SÖHNE, W.: Wechselbeziehung zwischen Schlepperleistung, Reifenabmessungen und Akerboden. *Landtechnik von Morgen.* Folge 8, S. 3—9.
- [15] SÖHNE, W.: Beitrag zur Mechanik des Systems Fahrzeug — Boden unter besonderer Berücksichtigung der Ackerschlepper. *Grundl. Landtechn.* 13 (1963), H. 17, S. 5—16.
- [16] KÜHLBORN, H. und H. STEINKAMPF: Einsatzversuche mit verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen. Unveröffentl. Institutsbericht des Instituts für Betriebstechnik der FAL.

# Die Beurteilung der Funktion von Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen

Wolfgang B a a d e r

Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Braunschweig-Völkenrode

## 1. Ziele des Zerkleinerns

Bei der Bearbeitung von Halmgut im Rahmen eines landwirtschaftlichen Produktionsprozesses stellt das Zerkleinern einen Verfahrensschritt dar, mit welchem der Erfolg nachfolgender Arbeitsgänge wesentlich beeinflusst werden kann. Durch Zerkleinern soll in erster Linie eine geringere und gleichmäßige Teilchengröße geschaffen werden, um das ursprünglich aus sperrigen und stengeligen Pflanzenteilen bestehende Haufwerk in einen fließfähigen und somit maschinengerechten Zustand überzuführen. Gleichzeitig wird hierdurch eine oftmals erwünschte Vergrößerung der Gutoberfläche erreicht. Durch zweckmäßige Kräfteinleitung in das pflanzliche Gewebe wird dessen Struktur auch außerhalb der Trennzone zerstört, wodurch nicht nur die Oberfläche des zerkleinerten Materials in stärkerem Maße vergrößert, sondern auch die Steife der einzelnen Pflanzenteile verringert wird. Bild 1 zeigt, welche nachfolgenden Verfahrensschritte durch diese drei Zerkleinerungswirkungen wesentlich beeinflusst werden.

Beim Fördern, Dosieren und Mischen wirkt sich die durch Zerkleinern erreichbare Aufhebung der formschlüssigen Bindung zwischen den ineinander verschlungenen und

gegenseitig verhakten Halmen und Blättern und die damit verbundene Verringerung der im Haufwerk auftretenden Reibung vorteilhaft aus [1; 2]. Das Verdichten wird sowohl durch die geringere Teilchengröße wie auch durch eine Verringerung der Biegesteife der Halmteilchen begünstigt, da sich diese dann unter der Einwirkung des Druckes stärker verformen und somit der Hohlraumanteil geringer wird [3].

Beim Trocknen beeinträchtigt die hohe Lagerungsdichte stark zerkleinerten Halmgutes die Luftdurchlässigkeit des Gutstapels [4] und somit den Trocknungsverlauf. Hingegen ist der beim Zerkleinern auftretende Aufschluß des Zellgewebes wegen des besseren Wasserentzugs durchaus erwünscht [5].

Beim Trocknen großer ruhender Haufwerkschichten muß daher hinsichtlich Luftdurchlässigkeit und Zellaufschluß ein optimaler Zerkleinerungsgrad gefunden werden. Hingegen wird Halmgut, das im Durchlaufverfahren trocken soll (z. B. bei der Heißlufttrocknung) so stark zerkleinert, daß ein sicherer Transport durch den Trockner gewährleistet ist.

Die Vorgänge Vergären, Verdauen und Verrotten beruhen im wesentlichen auf mikrobiellen und chemischen Reaktionen. Da diese um so intensiver ablaufen, je größere Reaktionsflächen angeboten werden, ist hier eine Zerkleinerung mit einem weitgehenden Aufschluß der Pflanzenzellen anzustreben. Während der Einfluß des Zerkleinerungsgrades auf den Gärprozeß im wesentlichen bekannt ist [6], sind die Aussagen über den Zusammenhang zwischen Zerkleinerungsgrad und Verdauungsvorgang nicht eindeutig. In der Regel nimmt das Tier in der Zeiteinheit mehr Trockenmasse auf, wenn das Futter zerkleinert ist, was sich in einer höheren Produktionsleistung des Tieres auswirkt [7]. Wird das Futter jedoch so stark zerkleinert, daß es seine Faserstruktur verliert, so kann sich durchaus eine schlechtere Nährstoffausnutzung einstellen [8].

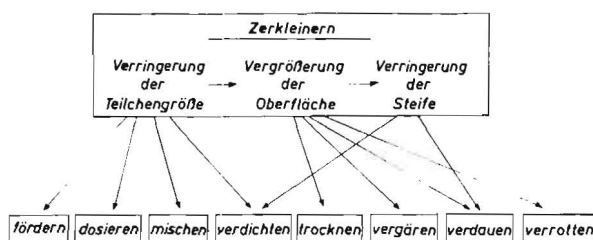


Bild 1: Begünstigung von Verfahrensabläufen durch Zerkleinern bei der Verarbeitung von Halmgut

## 2. Kriterien für die Beurteilung von Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen

Zerkleinerungsvorgänge treten bei der landwirtschaftlichen Produktion in den verschiedensten Prozeßphasen auf. Um objektive Aussagen machen zu können, ob eine Zerkleinerungseinrichtung zweckmäßig, wirtschaftlich und in das Gesamtverfahren richtig eingeordnet ist, müssen eindeutige und quantifizierbare Beurteilungskriterien vorhanden sein. In Tafel 1 sind die verschiedenen Merkmalsbereiche und die jeweils zweckmäßigen Bewertungsgrößen mit ihrer Abhängigkeit von den spezifischen Einflußfaktoren zusammengestellt.

Im Vordergrund steht die Arbeitsqualität, das heißt bei Zerkleinerungseinrichtungen der Zerkleinerungserfolg. Welche Bewertungsgrößen hier herangezogen werden, hängt von den besonderen Anforderungen ab, die hinsichtlich Art und Grad der Aufbereitung des Gutes bei nachfolgenden Verarbeitungsschritten unter Berücksichtigung der Verwendung des Gutes auftreten. Die Eignung des zerkleinerten Gutes für das Fördern, Dosieren und Mischen kann in erster Linie anhand der Teilchenlänge beurteilt werden [9], sofern das Gut in loser Schüttung betrachtet wird. Liegt jedoch ein mehr oder weniger dicht lagerndes Haufwerk vor, das mit Hilfe von Entnahmegaräten (z. B. Siloentnahmefräsen, Abladewalzen) in eine lose Schüttung überführt werden soll, so hängen Durchsatz und Energiebedarf der Entnahmeeinrichtung wie auch die Werkzeugkräfte von den am Ort des Werkzeugangriffes vom Haufwerk übertragbaren Schubspannungen ab, die ihrerseits wieder von der Teilchengröße und von der Reibung innerhalb des Gutes beeinflußt werden. Die Bestimmung dieser Schubspannung könnte zum Beispiel mit einem Ringschergerät erfolgen, wie es aus der Bodenmechanik bekannt ist [10; 11].

Die Methoden für die Bestimmung der Haufwerksdichte [3] und der Trocknungsgeschwindigkeit beziehungsweise des Durchströmwiderstandes der Luft [4] sind bekannt, verhältnismäßig unkompliziert und liefern eindeutige Ergebnisse. Hingegen ist es sehr schwierig, die freie Oberfläche von zerkleinertem Halmgut, insbesondere wenn dieses vorwiegend gerissen oder gequetscht ist, zu bestimmen. Hier kann der Umweg über die Bakterientätigkeit zumindest zu Vergleichswerten führen, indem man von der Tatsache ausgeht, daß für biologisch gleichwertige Vergleichsproben unterschiedlichen Zerkleinerungsgrades die Steigerung der Atmungsintensität, der Produktion von CO<sub>2</sub> also, eine Vergrößerung der den Bakterien angebotenen Gutoberfläche proportional ist [12]. Einen weiteren Anhaltswert für die Oberflächenvergrößerung könnte auch die Erhöhung des Saugvermögens darstellen [13].

Neben der Arbeitsqualität sind der bei bestimmten Qualitätsanforderungen erreichbare Durchsatz und die dafür erforderliche Leistung wichtige Kennwerte, die für die Bewertung einer Zerkleinerungsmaschine bekannt sein müssen [14].

Die wechselnden Betriebsbedingungen, verursacht durch die Verarbeitung verschiedener Pflanzenarten, Unterschiede in Feuchte, Struktur und Zusammensetzung des zugeführten Gutes, Schwankungen des angebotenen Massenstromes, sowie auch Fremdkörpereinschlüsse, wie beispielsweise Steine und Metallteile (Federzinken), stellen an die Betriebssicherheit einer landwirtschaftlichen Zerkleinerungsmaschine hohe Anforderungen. Ein ungestörter Gutfluß im Arbeitsbereich der Zerkleinerungswerkzeuge und vor allem auch bei der Zuführung und im Abgang des Gutes sind ebenso eine Voraussetzung für hohe Arbeitsqualität, großen Durch-

Tafel 1: Kriterien für die Beurteilung der Funktion von Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen

1 Kriterien	Bewertungsgrößen	abhängig von
<b>2 Arbeitsqualität</b> (Zerkleinerungserfolg) Eignung des Gutes zum fördern, dosieren, mischen  verdichten trocknen  vergären, verdauen, verrotten	Teilchenlänge (Mittelwert, Streuung) übertragbare Schubspannung im Haufwerk Beiwert der Reibung im Haufwerk Dichte Trocknungsgeschwindigkeit oder Strömungswiderstand (Druckverlust bei Luft) Oberfläche	Gutart, Feuchtegrad des Gutes, Maschineneinstellung sowie Massenstrom Haufwerksdichte Normalkraft Druck, Belastungszeit } Haufwerksdichte
<b>3 Durchsatz</b>	maximaler Massenstrom	Gutart, Feuchtegrad des Gutes, Maschineneinstellung
<b>4 Leistungsbedarf</b>	mechanische Leistung, bezogen auf maximalen Massenstrom	Gutart, Feuchtegrad des Gutes, Maschineneinstellung
<b>5 Betriebssicherheit</b>  Kontinuität des Gutflusses Werkzeugverschleiß Empfindlichkeit gegen Fremdkörper Einfluß von Verschleiß auf Arbeitsqualität Leistungsbedarf	Massenstrom im Abgang Formänderung des Werkzeuges ertragbare Beanspruchung  Teilchenlänge (Mittelwert, Streuung) Leistung bezogen auf Massenstrom	Gutart, Feuchtegrad des Gutes, Maschineneinstellung sowie Massenstrom in der Zuführung Betriebszeit Werkzeugkräfte } Formänderung des Werkzeuges
<b>6 Wartungs- und Bedienungsaufwand</b> Bedarf für Beseitigen von Verschleißerscheinungen (z. B. schleifen, nachstellen) Ändern der Maschineneinstellung Steuern von Zufuhr und Abgang des Gutes	} Zeit, Arbeit, Arbeitskräfte	
<b>7 Einfluß auf Bedienungspersonen</b> Geräuschentwicklung Staubentwicklung	Geräuschpegel Korngrößen, Massenanteil in der Zeiteinheit	Maschineneinstellung, Massenstrom Gutart, Feuchtegrad des Gutes, Maschineneinstellung

satz und günstigen Energieaufwand wie die Freihaltung der Arbeitsflächen von störenden Gutansammlungen oder die Festigkeit der einzelnen Maschinenelemente in bezug auf Verschleiß, Verformung und Bruch. Sicherheitskupplungen und andere Elemente zur Verminderung von Störungen erhöhen weiterhin in hohem Maße die Betriebssicherheit.

Schließlich muß dem für Wartung und Bedienung erforderlichen Aufwand an Zeit, Arbeit und Arbeitskräften wie auch der Belästigung der Bedienungspersonen durch Geräusch und Staub bei verschiedensten Einsatzverhältnissen und der Unfallsicherheit eine stetig wachsende Bedeutung bei der Beurteilung der Eignung und bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit einer Zerkleinerungsmaschine beigemessen werden.

Wie aus der Praxis hinreichend bekannt ist, spielen bei der Beurteilung einer Zerkleinerungsmaschine Art und Zustand des zu zerkleinernden Gutes eine entscheidende Rolle. Für eine Funktionsbewertung ist daher die genaue Kennzeichnung des Pflanzenzustandes im Hinblick auf die Verarbeitbarkeit unerlässlich. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die Festigkeitseigenschaften von Halmgut und dessen mechanisches Verhalten nicht nur von der Pflanzenart, sondern auch vom Entwicklungsstadium und vom Feuchtegehalt der Pflanze bestimmt werden [15...17].

### 3. Prinzipielle Funktions-Merkmale von Halmgut-Zerkleinerungseinrichtungen

Die Arbeitsweise einer Halmgut-Zerkleinerungseinrichtung kann auf wenige Grundprinzipien zurückgeführt werden, die sich nach der Hauptbeanspruchung des Gutes, nach der Abstützung der Trennkräfte und nach der Anordnung der Trennflächen im Gutstrom unterscheiden. Im folgenden soll auf einige Besonderheiten dieser in Bild 2 aufgezeigten Funktionsmerkmale eingegangen werden.

#### 3.1. Hauptbeanspruchung des Gutes

Bei allen Zerkleinerungsarten, die im Bereich der Futteraufbereitung unter den Bezeichnungen Schneiden, Schlagen, Reißen oder Musen bekannt sind, erfolgt der Bruch im pflanzlichen Gewebe im wesentlichen unter der Einwirkung von Scher-, Zug- und Druckkräften. Je nach dem Anteil dieser Beanspruchungsarten zeigt das zerkleinerte Gut eine typische Struktur. So wird beim Schneiden durch Scheren, Drücken und örtliches Ziehen entlang einer scharfen Arbeitskante eine vorgesehene Trennstelle genau eingehalten (Bild 3a). Das Zerschlagen von Halmgut beruht hingegen im wesentlichen auf einer Druckbeanspruchung des pflanzlichen Gewebes mit Überlagerung einer Zugbeanspruchung. Trennen durch Ziehen setzt voraus, daß die Kräfte von einer Einspannung aufgenommen werden, die ihrerseits

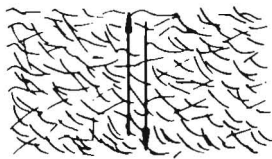
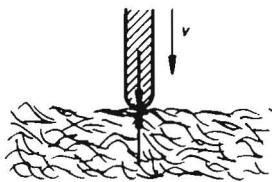
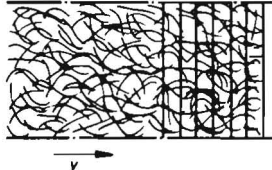
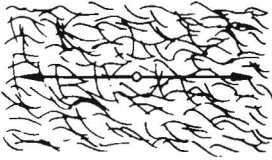
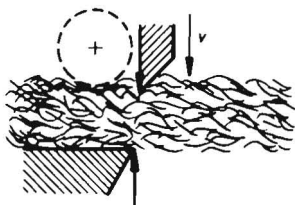
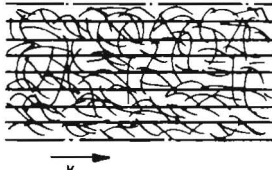
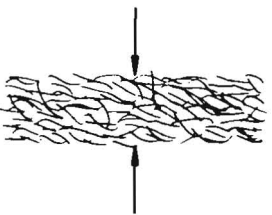

Hauptbeanspruchung des Gutes	Abstützung der Werkzeugkraft	Anordnung der Trennflächen im Gutstrom
<p>scheren</p> 	<p>durch Massenkräfte</p> 	<p>quer zur Flußrichtung</p> 
<p>ziehen</p> 	<p>durch Auflager mit engem Werkzeugabstand</p> 	<p>parallel zur Flußrichtung</p> 
<p>drücken</p> 	<p>durch Auflager mit weitem Werkzeugabstand</p> 	

Bild 2: Prinzipielle Funktionsmerkmale von Halmgut-Zerkleinerungseinrichtungen

auch Druckkräfte auf das Gut übertragen kann. Da in dem gesamten auf Zug beanspruchten Haufwerk eine sehr unregelmäßige örtliche Verteilung sowohl der einzelnen tragenden Querschnitte wie auch der Festigkeit des Pflanzengewebes vorliegt, ist bei dieser Beanspruchungsart die Lage der Trennstelle unbestimmt, sofern nicht bei der Einspannung oder an einer Werkzeugkante durch eine örtlich hohe Spannung der Bruch erfolgt. In jedem Fall weist bei vorwiegender Zugbeanspruchung die Trennstelle am Einzelhalm infolge Zerfaserung eine gegenüber dem Halmquerschnitt wesentlich größere Oberfläche auf. Vor allem die gegenseitige Längsbewegung benachbarter Pflanzenfasern, die bei Zugbeanspruchung durch unterschiedliche Dehnung und verschieden liegende Rißstellen hervorgerufen wird, führt zu einem zusätzlichen Aufschluß des Gutes (Bild 3b).

Neben der örtlich hohen Druckbeanspruchung durch scharfe Werkzeugkanten, wie sie insbesondere beim Schneiden auftritt, verursachen größere Druckflächen ebenfalls eine Zerstörung der Gewebestruktur. Auch eine quer zur Druckrichtung wirkende Schubbeanspruchung zwischen den Halmgutsschichten beziehungsweise einzelnen Pflanzenteilen hat eine verstärkte Strukturänderung zur Folge [18].

### 3.2. Abstützung der Werkzeugkraft

Trifft das Werkzeug auf das Gut auf, dann verformt sich dieses zunächst, bis die durch die Werkzeugkraft aufgebauten Spannungen die Grenzfestigkeit des Gewebes erreicht haben, wodurch der Trennvorgang eingeleitet wird. Bei entsprechend hoher Werkzeuggeschwindigkeit wirken der Werkzeugkraft die durch den Anschlag des Werkzeuges ausgelösten Massenkräfte entgegen. Diese können unter Umständen so groß werden, daß auf eine äußere Abstützung verzichtet werden kann (Bild 2, mitte oben). Bei diesem sogenannten „Freischnitt“-Prinzip arbeiten beispielsweise die Scheibenmäherwerke, die zum Trennen von feinstengeligen, kurzen Halmgut eine Messergeschwindigkeit von mindestens 50 m/s benötigen. Die Werkzeugkraft kann aber auch teilweise oder vollständig durch ein Auflager abgestützt werden. Dieses läßt sich derart gestalten und anordnen, daß Werkzeugkraft und Stützkraft zusammen im Gut in einem eng begrenzten Bereich Spannungen hervorrufen, die zum Bruch führen (Bild 2, mitte); so etwa bei Verwendung eines Stützelementes in Form einer Gegenschneide, wie dies zum Beispiel bei den sogenannten „Exakt-häckslern“ und Fingermähwerken der Fall ist.

Oder aber das Werkzeug bewegt sich in einem größeren Abstand am Auflager vorbei, so daß die Beanspruchungszone erweitert wird und der Bruch vorwiegend infolge Zugspannungen innerhalb dieser Zone an verschiedenen Stellen möglich ist (Bild 2, mitte unten). Bei scharfen Werkzeugkanten erfolgt die Trennung unmittelbar am Werkzeug. Strohreißer, Schlegelhäcksler, Mulchgeräte, und in erweitertem Sinne auch Muser, weisen diese Funktionsmerkmale auf.

Bei beiden Stütssystemen mit Gegenwerkzeug lassen sich zusätzliche Preßelemente anbringen, die über dem Auflager das Gut verdichten und festhalten. Mit der hierdurch erreichbaren Pressung des zugeführten Gutes erhöht sich die Biegesteife des überstehenden Halmgutstranges. Damit nehmen die Druckkräfte an der Einwirkungsstelle des Werkzeuges zu, und die Trennung erfolgt eher an der Werkzeugkante; die Streuung der Schnittlänge wird also geringer. Da außerdem mit der Einspannung am Gegenwerkzeug verhindert wird, daß einzelne Halme oder Gutsschichten vom Werkzeug aus der Halterung herausgezogen werden, läuft der Trennvorgang hierbei noch sicherer ab.

Während bei engem Werkzeugabstand der Bruch in erster Linie unter örtlicher Druckeinwirkung erfolgt, überwiegt bei weitem Werkzeugabstand die Zugbeanspruchung des Gutes. Hieraus ergeben sich wesentliche Unterschiede im Einfluß der Werkzeugschärfe, der Werkzeuggeschwindigkeit und der Vorpressung am Auflager auf die Ausbildung und Lage des Bruches sowie auf die Werkzeugkräfte. Diese

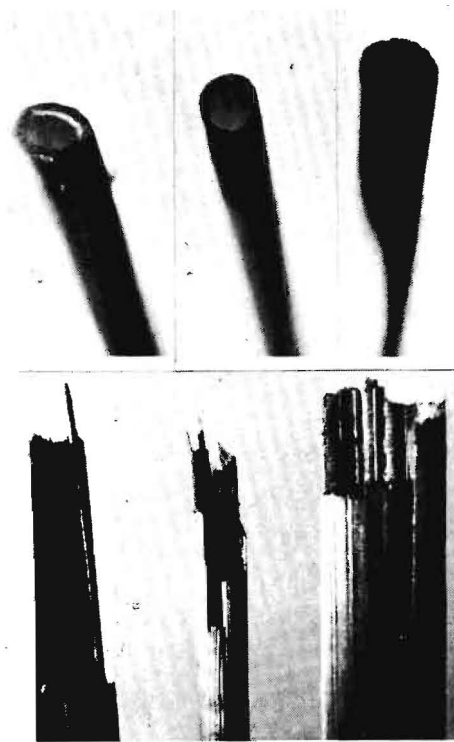


Bild 3: Ausbildung der Trennstelle bei Halmgut beim Schneiden (oben) und beim Reißen (unten)  
von links nach rechts: frisches Gras, angewelktes Gras, trockenes Stroh

Unterschiede wirken sich vor allem auf die Betriebssicherheit der Zerkleinerungsmaschine und den Wartungsaufwand aus.

### 3.3 Anordnung der Trennflächen im Gutstrom

Die Trennflächen können im Gutstrom entweder hintereinander oder auch nebeneinander angeordnet werden. Im ersteren Falle liegen die Arbeitskanten der Werkzeuge senkrecht zur Zuführrichtung (Bild 2, rechts oben). In der Regel arbeiten bei dieser Anordnung mehrere zeitlich aufeinander folgende Werkzeuge mit einem Gegenwerkzeug zusammen (z. B. Trommel-, Scheibenrad- und Schlegelhäcksler sowie Schneidstern-Gebläsehäcksler). Für eine Veränderung der Schnittlänge stehen hier mehrere Maßnahmen zur Auswahl: Änderung der Zuführgeschwindigkeit sowie Änderung der Schnittfrequenz entweder über die Zahl der Werkzeuge oder über die Werkzeuggeschwindigkeit. Soll eine bestimmte mittlere Schnittlänge eingehalten werden, so muß zwischen Werkzeugzahl, Werkzeuggeschwindigkeit und Zuführgeschwindigkeit ein festes Verhältnis bestehen (z. B. Trommel- und Scheibenradhäcksler mit Zwangsvorschub), was nur durch einen relativ großen konstruktiven Aufwand zu verwirklichen ist.

Bei nebeneinander angeordneten Trennflächen stehen die Werkzeugarbeitskanten parallel zur Zuführrichtung (Bild 2, rechts unten). Die theoretische Schnittlänge richtet sich dann nur nach der Zahl der über die Gutstrombreite angeordneten Trennflächen. Um die mittlere Schnittlänge zu verändern, muß die Zahl der im Eingriff stehenden Gegenwerkzeuge variiert werden. Werkzeuggeschwindigkeit und Zuführgeschwindigkeit lassen sich bei diesem System den jeweiligen Betriebsbedingungen nach Bedarf anpassen, ohne daß hierdurch die Schnittlänge beeinflusst wird. Diese Werkzeuganordnung wird zur Zeit vor allem bei Strohzerkleinerungsmaschinen verwendet.

Die Güte der Schnittlängenverteilung wird jedoch nicht nur von der Art des Zusammenwirkens von Werkzeug und Gegenwerkzeug bestimmt, sondern hängt in hohem Maße davon ab, wie das Gut der Zerkleinerungseinrichtung zugeführt wird. Die Streuung der Schnittlänge ist umso geringer, je besser es gelingt, die Längsachsen der Halme und



Blätter parallel zu orientieren und in einen stumpfen Winkel zur Arbeitskante des Werkzeuges zu bringen [9]. Diese Forderung ist jedoch bei den meisten Futterarten — ausgenommen Silomais — kaum zu erfüllen. Bei einem einmaligen Durchgang des Gutes ergibt sich dann eine sehr unterschiedliche Schnittlänge. Zur Verbesserung der Schnittlängengüte läßt man das Gut entweder mehrere in Flußrichtung hintereinander angeordnete Zerkleinerungsstellen durchlaufen, oder es wird dem gleichen Werkzeug erneut zugeführt. Zweckmäßigerweise wird zwischen diesen einzelnen Arbeitsgängen eine möglichst große Menge bereits genügend zerkleinerten Gutes aus dem Gutstrom ausgesondert. Dieses von der Hammermühle bekannte Arbeitsprinzip findet in der Weichzerkleinerung bei Schneidmühlen Anwendung, als deren Variante im landwirtschaftlichen Bereich der sogenannte „Recutter“ anzusprechen ist.

#### 4. Stand und Ziel der Entwicklung

Der derzeitige Entwicklungsstand bei Halmfutter-Zerkleinerungsmaschinen ist gekennzeichnet durch die überwiegende Verwendung von sogenannten „Exaktschneidwerken“. Diese mit Zwangsvorschub, Gutvorpressung und scharfen Schneidwerkzeugen arbeitenden Zerkleinerungsmaschinen, bekannt unter den Bezeichnungen „Scheibenradhäcksler“ und „Trommelhäcksler“, kommen insbesondere dann zum Einsatz, wenn aus gärbioologischen, förder- oder trocknungstechnischen Gründen ein hoher Zerkleinerungsgrad bei sehr gleichmäßiger Teilchengröße gefordert wird.

##### 4.1. Probleme bei Exaktschneidwerken

Verschiedene grundsätzliche Nachteile haften jedoch dem Exaktschnittsystem an. So läßt sich, vor allem bei biegeweichem Gut, eine kurze und gleichmäßige Schnittlänge nur mit scharfen Werkzeugen und bei Einhalten eines engen Abstandes zwischen Werkzeug und Gegenwerkzeug erreichen. Dabei muß eine möglichst hohe und gleichmäßige Pressung des Gutes vor dem Schnitt sichergestellt werden. Diese Forderungen bedingen nicht nur einen hohen Konstruktionsaufwand, sondern machen auch eine ständige Wartung der Werkzeuge (schleifen, nachstellen, austauschen) wie auch eine sorgfältige Vorbereitung des zu zerkleinernden Gutes notwendig.

Da sich auf einem rotierenden Werkzeugträger nur eine begrenzte Zahl Messer unterbringen läßt, kann eine kurze Schnittlänge bei großem Durchsatz nur über eine entsprechend hohe Schnittfrequenz, das heißt Messergeschwindigkeit, erreicht werden. Werte bis 50 m/s sind heute bei Schnittlängen von 5 bis 8 mm üblich. Insbesondere bei Trommelhäckslern mit schmalen Messertrommeln und bei Scheibenradhäckslern treten infolge der geringen Breite des Zuführkanals große Gutstromhöhen auf. Die ohnehin stoßartig und periodisch auftretenden Werkzeugkräfte erreichen dadurch bei hohen Werkzeuggeschwindigkeiten große Werte. Solche Werkzeuge weisen daher eine aufwendige Konstruktion auf. Auch gegen Fremdkörper sind diese Elemente sehr empfindlich, da sie sich wegen ihrer großen Masse nur ungenügend gegen plötzlich auftretende Überlastungen und schlagartige Beanspruchungen absichern lassen.

Durch die Zwangskoppelung von Schnittlänge und Vorschubgeschwindigkeit sind bei der Schwadaufnahme der Arbeitsgeschwindigkeit der Maschine wie auch der Schwadstärke Grenzen gesetzt. Bei ortsfest betriebenen Maschinen dieser Bauart wird eine Geschwindigkeitsregelung des zugeführten Gutstromes erforderlich, wenn Stauungen vor dem Schneidwerk vermieden werden sollen.

##### 4.2. Entwicklungsmöglichkeiten

Für die Verarbeitung von langstengeligen und einheitlich aufrecht stehenden in Reihen angebauten Futterpflanzen (z. B. Silomais, Sonnenblumen) stellt das Exaktschnittprinzip mit Zwangsvorschub in Verbindung mit speziellen Auf-

nahmeelementen nach wie vor die beste technische Lösung zur Erzielung der erforderlichen intensiven Zerkleinerung dar. Die Stengel und insbesondere die Blätter der meisten Futterpflanzen sind jedoch verhältnismäßig biegeweich, so daß eine eindeutige Orientierung der Halm- und Blattachsen in der Regel weder bei gemähter Pflanzenmasse vorliegt, noch bei deren Aufnahme zu erreichen ist. Die Voraussetzungen, eine gleichmäßige Teilchengröße zu erreichen, sind somit hier sehr ungünstig.

Eine Weiterentwicklung in der Halmgut-Zerkleinerung im Hinblick auf einfache, wartungsarme und gegenüber wechselnden Betriebsbedingungen unempfindliche Maschinen muß die Belange der nachfolgenden Arbeitsgänge immer einschließen. So dürfte die Forderung nach extrem kurzen Schnittlängen für Halmgut nicht mehr bestehen, wenn es gelingt, durch stärkeren Aufschluß des pflanzlichen Gewebes die Dichtlagerung und die Bakterientätigkeit bei der Silierung wie auch den Wasserentzug bei der Trocknung sicherzustellen, und andererseits Entnahme-, Förder- und Dosiergeräte so weiterzuentwickeln, daß sie gegenüber unterschiedlichen Teilchengrößen weniger empfindlich reagieren.

In der Erntebegrubungsphase vom Schnitt bis zur Konservierung sind möglichst hohe Massendurchsätze notwendig, um das Risiko einer zeit- und witterungsbedingten Minderung der Futterqualität niedrig zu halten. Andererseits beeinflusst der Grad der Zerkleinerung — und hier insbesondere die Teilchengröße — in starkem Maße den Durchsatz, den Leistungsbedarf, die Betriebssicherheit und den zu ihrer Garantie erforderlichen Wartungsaufwand, wie auch letztlich die Maschinenkosten. Bei übersteigerten Forderungen an den Zerkleinerungsgrad ergeben sich hieraus entscheidende wirtschaftliche Konsequenzen. Auf der anderen Seite steht die Handhabung des eingebrachten und konservierten Gutes unter einem geringeren Zeitdruck. Sie läßt sich somit in der Regel mit kleineren Massendurchsätzen bewältigen, die es eher erlauben, betriebssichere und wirtschaftliche technische Lösungen zu verwirklichen.

Für eine Weiterentwicklung der zur Futterhandhabung erforderlichen innerbetrieblichen Anlagen im Hinblick auf eine Vereinfachung der Erntebegrubungsmaschinen spricht ferner ihre weitaus bessere zeitliche Auslastung, durch die ein wirtschaftlicher Einsatz auch bei einem etwas größeren technischen Aufwand gewährleistet wird.

Eine Alternative zum Exaktschneidwerk könnte eine Zerkleinerungseinrichtung sein, bei der, wie in Bild 2 mitte unten dargestellt, die Werkzeugkraft über beidseitig des Werkzeuges angeordnete Auflager abgestützt und das Werkzeug in größerem Abstand am Auflager (Gegenwerkzeug) vorbeigeführt wird. Druckelemente halten das Gut an den Auflagern fest. Die Trennflächen sind parallel zur Flußrichtung des Gutstromes angeordnet [19]. In wie weit diesem Arbeitsprinzip die genannten Nachteile noch anhaften, beziehungsweise unter welchen Bedingungen ein derartiges Zerkleinerungselement sinnvoll eingesetzt werden kann, muß durch weitere Untersuchungen geprüft werden.

#### 5. Zusammenfassung

Unter den technischen Verfahren, die in der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzt werden, nimmt das Zerkleinern von Halmgut eine Schlüsselstellung ein. Die einzelnen Arbeitsgänge, welchen das zerkleinerte Halmgut im Verlaufe des Produktionsprozesses unterworfen ist, stellen an die Art und die Intensität der Zerkleinerung sehr verschiedenenartige Anforderungen. Um über die Zweckmäßigkeit einer Zerkleinerungsmaschine und deren wirtschaftliche Einordnung in das Produktionsverfahren objektive Aussagen machen zu können, müssen eindeutige und quantifizierbare Beurteilungskriterien vorhanden sein. Diese werden in einer Übersicht dargestellt und diskutiert. Die Arbeitsqualität wie auch der konstruktive Aufbau und damit die Zweckmäßigkeit einer Zerkleinerungsmaschine hängen in

erster Linie von der Wirkungsweise ihrer Werkzeuge ab. Trotz der Vielfalt der Ausführungsformen kann die Werkzeugfunktion von Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen auf wenige Grundprinzipien zurückgeführt werden, die sich nach der Hauptbeanspruchung des Gutes, nach der Abstützung der Werkzeugkraft und nach der Lage der Trennebenen im Gutstrom unterscheiden.

Der derzeitige Entwicklungsstand bei technischen Einrichtungen für die Weiterbehandlung des zerkleinerten Gutes zwingt zu einer sehr intensiven Zerkleinerung auf kleinste Teilchengröße, was einen hohen Konstruktions- und Energieaufwand bei großem Betriebsrisiko zur Folge hat. Sollte es gelingen, Entnahme-, Förder- und Dosiergeräte so weiterzuentwickeln, daß sie auch unterschiedliche Teilchengrößen verarbeiten können, dann sind auf der Basis geeigneter Grundprinzipien einfache, nahezu wartungsfreie und schlagkräftige Zerkleinerungsmaschinen für Halmgut vorstellbar, die auch den Anforderungen der Silier- und Trocknungstechnik gerecht werden.

### Schrifttum

- [1] BRUHNE, P.: Die Entnahme und Verteilung von Gärfutter. Diss., Univ. Kiel 1966
- [2] MÜLLER, M.: Untersuchungen zur Dosierung von Gär- und Grünfütter mittels Fräseinrichtungen. Archiv für Landtechnik 7 (1968) S. 61—72
- [3] SEGLER, G. u. B. WINKLER: Der Einfluß der Zerkleinerung von grünem Halmfütter auf die Silolagerung. Landtechn. Forschung 5 (1955) S. 42—47

- [4] MATTHIES, H. J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften von landwirtschaftlichen Erntegütern. VDI-Forschungsheft 454, VDI-Verlag, Düsseldorf 1956
- [5] WIENEKE, F.: Neue Erfahrungen und Entwicklungen in der Halmfüttergewinnung. Grundl. d. Landtechnik 16 (1966) S. 9—17
- [6] ZIMMER, E.: Der Einfluß der mechanischen Aufbereitung auf die Silierfähigkeit von Halmfütter. Grundl. d. Landtechnik 17 (1967) S. 197—202
- [7] MORRISON, J.: Recent developments in the production and feeding of grass silage. Proceedings of the 8th International Grassland Congress 1960
- [8] ORTH, A. u. W. KAUFMANN: Über den Einfluß der Struktur des Futters auf die Verdauungsvorgänge im Pansen. Zeitschr. für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde 19 (1964) S. 144—156
- [9] MORTASAWI, M.: Die Schnittlänge von Halmguthäckseln. Arbeiten der landw. Hochschule Hohenheim, Bd. 23, Verlag Ulmer, Stuttgart 1963
- [10] SÖHNE, W.: Reibung und Kohäsion in Ackerböden. Grundlagen d. Landtechnik, Heft 5, 1953, S. 64—80
- [11] SCHULTZE, E. u. H. MUHS: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. Springer-Verlag, Berlin 1967
- [12] SIMPSON, B.: Effect of crushing on the respiratory drift. J. Science Food and Agriculture 12 (1961) S. 706—712
- [13] PATHAK, B. S.: Die Feinzerkleinerung von Stroh. Diss. Landw. Hochschule Hohenheim 1963
- [14] GLUTH, M. u. H. VOSS: Vergleichende Betrachtungen zum Leistungsbedarf von Feldhäckseln. Landtechn. Forschung 16 (1966) S. 172—177
- [15] BURMISTROWA, M. F. et al.: Physicalmechanical Properties of Agricultural Crops (engl. Übers. aus dem Russischen). Israel Program of Scientific Translations, Jerusalem 1963
- [16] AHLGRIMM, H. J.: Der Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes auf das Bruchverhalten von Halmgut bei Zug-, Scher- und Biegebeanspruchung. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 8, 1970
- [17] DERNEDE, W.: Die technologischen Eigenschaften von Gras und deren Einfluß auf den Schneidvorgang. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 8, 1970
- [18] DERNEDE, W.: Grundlagen des Quetschens von feinstengeligen Halmgut. Grundl. d. Landtechnik 17 (1967) S. 59—69
- [19] DERNEDE, W.: Versuche zur Entwicklung eines nach dem Prinzip des Freischnitts arbeitenden Häckslers. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 8, 1970

## Die Beschleunigung des Gutes durch das Werkzeug bei Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen

Hans Wilhelm Orth

Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Braunschweig-Völkenrode

### 1. Einleitung

Die Zerkleinerung von Halmgut wird vorwiegend im Gegenschnittverfahren bei hohen Schnittgeschwindigkeiten durchgeführt. Große Durchsätze und ein hoher Zerkleinerungsgrad bedingen eine schnelle Messerfolge. Diese macht es erforderlich, das geschnittene Material schnell aus dem Arbeitsbereich des Schnittwerkzeuges herauszuführen. Weitere Anforderungen hinsichtlich des Materialflusses werden gestellt, wenn die Zuführung zu nachgeschalteten Arbeitsvorgängen von der Wirkung des Schnittwerkzeuges abhängig ist.

Der gesamte Verarbeitungsprozeß kann nur dann störungsfrei ablaufen, wenn der Materialfluß vom Werkzeug weg und zu weiteren Arbeitsvorgängen hin sichergestellt ist. Aus diesem Grunde ist die Bewegung des geschnittenen Gutes infolge der Einwirkung des Schnittwerkzeuges von besonderem Interesse. In der vorliegenden Arbeit soll die Geschwindigkeit des Materials nach Betrag und Richtung unmittelbar nach der Werkzeugeinwirkung ermittelt werden, da sie als Anfangsbedingung der Bewegung den Materialfluß entscheidend beeinflusst.

### 2. Theoretische Betrachtungen über den Geschwindigkeitsvektor

Die Einwirkung eines Werkzeuges auf ein Materialpaket, welches vorverdichtet der Schnittstelle zugeführt wird, kann infolge der gleichzeitigen Wirkung von Kompression, Stoß und Kerbwirkung des Messers und der nicht eindeutig be-

kannten Stoffgesetze des Haufwerkes nicht umfassend ermittelt werden.

Betrachtet man die Beschleunigung von Materialteilchen durch ein schneidendes Werkzeug, so bietet sich für erste Überlegungen eine Berechnung des Geschwindigkeitsvektors über die Stoßgesetze an. Durch einfache Rechenansätze läßt sich nachweisen, daß bei einem Stoß die Richtung der Materialgeschwindigkeit  $w_M$  nur abhängig ist vom Reibbeiwert Material-Werkzeug. Ohne Reibung ergibt sich eine Bewegung normal zur Werkzeuggeschwindigkeit, während bei Reibung maximal die Richtung der Werkzeuggeschwindigkeit erreicht werden kann (Bild 1).

Aus Fotografien des Schneidvorganges geht hervor, daß dies nur für einen geringen Teil des geschnittenen Materials zutrifft. Zeitlupen- und Stroboskopaufnahmen zeigen eine

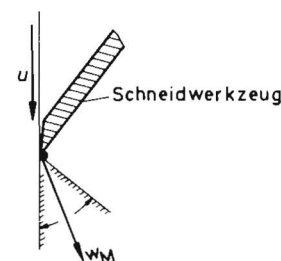


Bild 1: Möglicher Richtungsbereich der Materialgeschwindigkeit unter Stoßbedingungen