

Untersuchungen zur Hochdruckverdichtung von Stroh

Von Hans Wilhelm Orth und Heinrich Peters,
Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Braunschweig-Völkenrode

DK 633.004.12:621.979

Für Stroh, welches in landwirtschaftlichen Produktionsprozessen nicht genutzt werden kann, müssen im Hinblick auf die begrenzten Rohstoffvorräte in Zukunft neue Verwertungsmöglichkeiten gesucht werden. Die Bereitstellung von Stroh in Form haltbarer, schüttfähiger Aggregate hoher Dichte kann in manchen Fällen die Verwertung erleichtern. Es wird über Versuche zur Verdichtung von Stroh auf Normaldruckpressen berichtet, wobei der Einfluß des Materialfeuchtegehaltes auf die den Preßvorgang bestimmenden Stoffeigenschaften und den Preßvorgang ermittelt wurde sowie unterschiedliche Durchsätze und Häcksellängen in ihrer Wirkung auf den Leistungsbedarf und die Brikettfestigkeit untersucht wurden.

1. Einführung

Durch Verdichten von Stroh zu haltbaren Aggregaten ergeben sich aufgrund der erreichbaren hohen Schüttdichte und der guten Schüttfähigkeit ein geringerer Lagerraumbedarf und günstigere Mechanisierungsmöglichkeiten für die Handhabung. Weitere Vorteile sind der geringere Transportaufwand bei industrieller Verwertung, das gegenüber nicht verdichtetem Material günstigere Brennverhalten bei der Verwendung von Stroh als Brennstoff [1] und der in Verbindung mit Zusatzstoffen mögliche Aufschluß des Materials für die Verfütterung [2].

Eine wirtschaftliche Verwertung bisher nicht genutzter Strohressourcen wird durch den Einsatz von Pressen mit hohem Durchsatz und, auf den Durchsatz bezogen, geringem Leistungsbedarf sowie teil- oder vollautomatischem Betriebsablauf sicherlich begünstigt. Die Hochdruckverdichtung wurde bisher eingesetzt, um gehäckseltes Rauhfutter — Gras, Luzerne — zu Aggregaten zu verpressen; verwendet werden dabei Strang- und Kollergangpressen (s.z.B. [3]).

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines von der DFG geförderten Vorhabens.

*) Dr.-Ing. H. W. Orth ist wissenschaftlicher Oberrat und Ing. (grad.) H. Peters Versuchsingenieur im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

Bisherige Untersuchungen in diesem Bereich weisen als wesentliche Einflußgrößen neben den technischen Parametern die Pflanzenart, das physiologische Alter der Pflanzen und damit deren stoffliche Zusammensetzung sowie den Feuchtegehalt des Materials aus [4, 5, 6]. Eine Verkleinerung der Häcksellänge beeinflusst die Festigkeit der Briketts positiv [6]. Technische Parameter wie Haltezeit oder Preßdruck wurden meist mit Preßtopfen untersucht. Die Übertragung von Ergebnissen aus Preßtopfversuchen auf den Preßvorgang bei ausgeführten Kolben- und Kollergangpressen ist allerdings nach wie vor nur sehr bedingt zulässig. Zusätzliche Einflußgrößen wie Temperatur und Preßgeschwindigkeit wirken sich auf die Festigkeit aus [7, 8].

Für die Verdichtung von Stroh liegen derartige Veröffentlichungen nur vereinzelt vor. So wurde der Einfluß von Zusatzmitteln auf die Verdichtung von Reisstroh [9] und Weizenstroh [10] untersucht. Während der Zusatz von Wasser bei beiden Materialien einen negativen Effekt bewirkt, konnte bei Weizenstroh durch Zugabe von Ammoniumligninsulfonat eine erhöhte Festigkeit der Briketts erreicht werden. Über den Einfluß von Druck und Temperatur auf die Preßdichte und verbleibende Dichte von Weizenstroh-Briketts in Preßtopfversuchen berichten *Smith u.a.* [11]. Die günstigsten Ergebnisse bezüglich der verbleibenden Dichte der Briketts werden für den Parameter Druck im Bereich um 1 000 bar, für den Parameter Temperatur im Bereich um 90 °C erreicht, allerdings bei Einwirkzeiten von jeweils 20 min.

In der vorliegenden Arbeit wird über Versuche zur Strohverdichtung mit Normaldruckpressen berichtet. Durch die Ermittlung von Stoffeigenschaften und des Betriebsverhaltens von Pressen sollen Hinweise für den Betrieb und die Weiterentwicklung von Preßeinrichtungen gegeben werden.

Bei Normaldruckpressen wird i.a. die Verdichtung des Materials von der Widerstandskraft, welche sich in den Kanälen aufbaut, bestimmt. Wesentliche Einflußgrößen sind die Geometrie des Kanals und als Stoffeigenschaften der Reibbeiwert zwischen Material und Kanalwand und das Druckverhältnis, welches den senkrecht zur Belastungsrichtung wirkenden Anteil des Preßdruckes angibt. Die nach Ausstoßen aus dem Preßkanal verbleibende Dichte hängt außerdem von der Verweilzeit im Kanal und von dem Relaxationsverhalten des Materials ab. Neben dem Einfluß der durch die Reibung sich ergebenden Temperatur von Preßgut und Presse [7] tritt noch durch das Verschieben des verdichteten Stranges gegenüber der Kanalwand ein zusätzlicher die Oberfläche verfestigender Effekt auf.

Aus Untersuchungen über die Verdichtung von Rauhfutter ist bekannt, daß der Feuchtegehalt des Materials eine wichtige Einflußgröße darstellt. Bei Stroh ist ebenfalls mit unterschiedlichen Feuchtegehalten zu rechnen, welche sich auf die Stoffeigenschaften des Materials und damit auf den Preßvorgang auswirken werden. Aufgabe der Versuche war es daher, den Einfluß des Feuchtegehaltes auf Reibbeiwert und Druckverhältnis im Preßtopf wie auch auf den Preßvorgang in einer Presse zu ermitteln. Außerdem waren unterschiedliche Durchsätze und Häcksellängen in ihrer Wirkung auf den Leistungsbedarf und die Brikettfestigkeit zu untersuchen.

2. Versuchsmethode

Zur Bestimmung der genannten Stoffeigenschaften wurden Preßtopfversuche (Durchmesser 60 mm) mit jeweils vorgegebener maximaler Belastung durchgeführt. Die Belastung wurde über einen Hydraulikkolben bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit aufgebracht. Der Preßzylinder sowie der Boden des Preßtopfes sind getrennt gelagert, der Preßzylinder ist in über Kraftmeßgeber verbundene Hälften aufgeteilt. Bei vorgegebener axialer Belastung F , als Druck p_N an einem Feinmeßmanometer abzulesen, wurden als Komponenten dieser Kraft die Wandkraft F_W und die Bodenkraft F_B sowie die Seitenkraft F_S gemessen und daraus der Reibbeiwert und das Druckverhältnis berechnet, (s. Bild 2). Entsprechend den Definitionen von Reibbeiwert μ und Druckverhältnis λ ist die Widerstands- oder Wandkraft F_W

$$F_W \sim \mu \cdot \lambda,$$

so daß das Produkt aus μ und λ eine Aussage über die notwendige Preßkraft und damit den Leistungsbedarf ermöglicht.

Zur Untersuchung der Hochdruckverdichtung von Stroh mit einer in der Praxis einzusetzenden Presse wurde eine Ringmatrizenpresse mit einstellbaren Verdichtungskanälen, Bild 1, benutzt, bei welcher der Leistungsbedarf bei vorgegebener Geschwindigkeit über eine Drehmomentmeßnabe ermittelt wurde (s. auch [3]). Die Untersuchung der Haltbarkeit der Strohbricketts wurde nach bekannten Verfahren der Prüfung von Futterpreßlingen bezüglich Aggregat- bzw. Schüttdichte und Abrieb durchgeführt (ausführlich dargestellt in [12]).

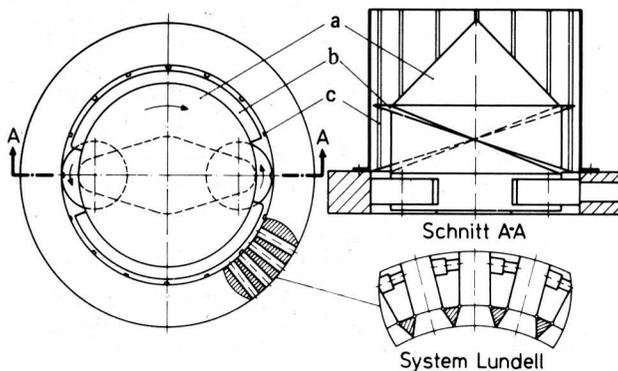


Bild 1. Ringmatrizenpresse mit einstellbaren Kanälen, zur Verbesserung des Materialflusses dienen: a Kollerabdeckung, b Schneckengang, c Leitrippen.

Bei den Versuchen stellten sich zunächst Schwierigkeiten bei der Zufuhr des Materials zu den Kollern ein, da sich das gehäckselte voluminöse Stroh oberhalb und vor den Kollerrollen aufbaute. Das wurde bei gehäckseltem Trockengrün nicht beobachtet. Durch eine nach oben erst zylindrisch und dann kegelig auslaufende Kollerabdeckung a in Bild 1, sowie durch die Zwangszuführung und Vorverdichtung mit Hilfe von zwei Schneckengängen b auf der umlaufenden zylindrischen Kollerabdeckung und entsprechenden Leitrippen c am Gehäuse konnte eine Verbesserung des Materialflusses erzielt und ein für die Maschinengröße annehmbarer Durchsatz erreicht werden.

Als Versuchsmaterial wurde gehäckseltes Weizenstroh (Feuchtegehalt $U = 0,11$ bis $0,12$) benutzt, welches durch Zugabe von Wasser und intensives Vermischen auf den gewünschten Feuchtegehalt gebracht wurde. Die gewählten theoretischen Häcksellängen (eingestellt am Trommelhäcksler) betragen 6 mm und 20 mm.

3. Versuchsergebnisse

Die aus den Meßdaten der Preßtopfversuche errechneten Werte von Reibbeiwert und Druckverhältnis im Druckbereich 70 bis 100 bar bei verschiedenen Feuchtegehalten zeigt Bild 2. Mit zunehmendem Feuchtegehalt steigt der Reibbeiwert des Strohs zunächst an; bei extrem feuchtem Material fällt er aufgrund von unter Druck austretendem Wasser wieder leicht ab (s. auch [6]). Das Druckverhältnis zeigt eine Minimumkurve mit geringsten Werten um 16 % Feuchtegehalt.

Wegen des gegenüber dem Druckverhältnis überwiegenden Anstieges des Reibbeiwertes nimmt auch das die Widerstandskraft bestimmende Produkt aus den beiden Werten mit steigendem Feuchtegehalt zu, so daß mit zunehmendem Feuchtegehalt ein Anstieg des Leistungsbedarfes zum Verpressen des Strohs zu erwarten ist.

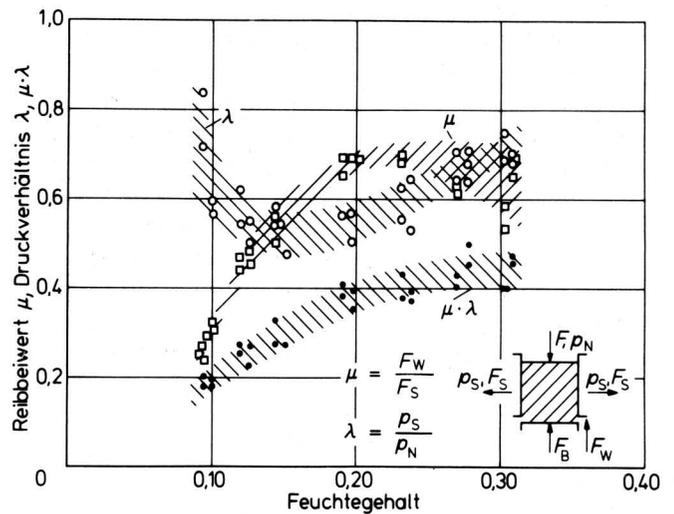


Bild 2. Den Preßvorgang bestimmende Stoffgrößen in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt (Preßtopfversuche, Druckbereich 70 bis 100 bar, Winterweizenstroh, Häcksellänge $l_{th} = 6$ mm, Einfüllmenge 90 g; p_N , p_S Normal- bzw. Seitendruck, F , F_S , F_W , F_B , Gesamt-, Seiten-, Wand- bzw. Bodenkraft).

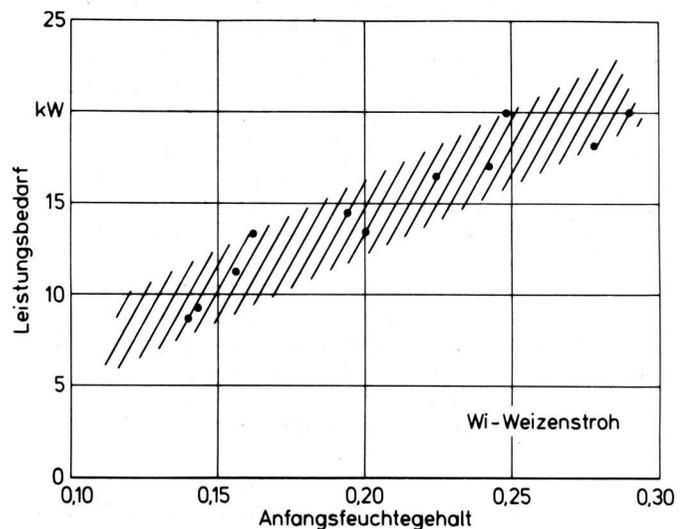


Bild 3. Leistungsbedarf in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt (Ringmatrizenpresse, Winterweizenstroh, Durchsatz 100 kg/h).

Den Einfluß des Feuchtegehaltes auf den Leistungsbedarf bei der kontinuierlich arbeitenden Presse zeigt **Bild 3**. Wie nach den Preßtopfversuchen zu erwarten, steigt der Leistungsbedarf mit zunehmendem Feuchtegehalt an. Die Leistungswerte schwanken erheblich, sie werden sehr stark von den jeweiligen Reibbeiwerten Matrize/Stroh beeinflusst. Die Meßwerte bei unterschiedlichen Häcksellängen lagen alle im dargestellten Streubereich; ein Einfluß der Häcksellänge war nicht feststellbar.

Der Anstieg des Leistungsbedarfs in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt deutet auf eine stärkere Verdichtung im Preßkanal hin. Leider wird bei feuchtem Material die hohe Dichte bei Verlassen der Matrize nicht beibehalten; die Strohpreßlinge dehnen sich aufgrund des Relaxationsverhaltens nach Entlastung. Da diese Rückdehnung mit zunehmender Feuchte zunimmt, zeigt sich eine abnehmende Aggregat- und damit auch Schüttdichte bei zunehmendem Feuchtegehalt, **Bild 4**.

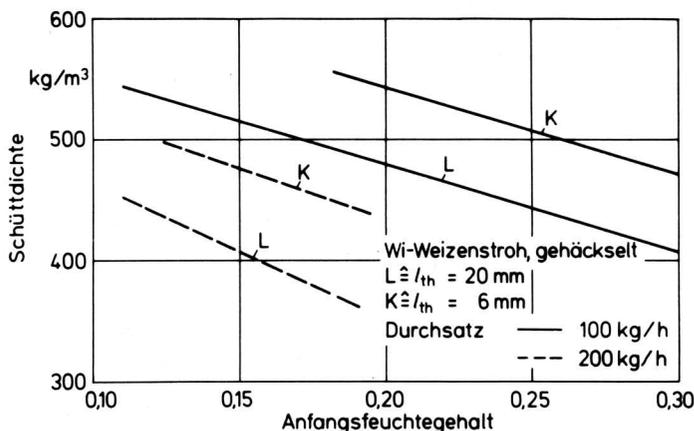


Bild 4. Schüttdichte in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt bei verschiedenen Durchsätzen und Häcksellängen.

Außerdem ist zu erkennen, daß mit zunehmendem Durchsatz als Folge der geringer werdenden Verweilzeit des Materials im Preßkanal bei ansonsten gleichen Maschinenparametern die Dichte, hier als Schüttdichte dargestellt, ebenfalls sinkt und schon bei verhältnismäßig niedrigem Feuchtegehalt keine haltbaren Briketts mehr hergestellt werden können.

Von Einfluß auf die verbleibende Dichte ist außerdem die Häcksellänge. Es zeigte sich, daß die kürzere Häcksellänge (K) bei den untersuchten Durchsätzen höhere Enddichten erbrachte, offensichtlich infolge der verringerten Elastizität und Rückdehnung. Die zugehörigen, in **Bild 3** dargestellten Leistungswerte weisen diese Unterschiede nicht in gleicher Weise auf. *Tesic* [13] fand in anderem Zusammenhang eine Tendenz zu kleineren Leistungswerten bei dem kurzgehäckselten Material. Der trotz der erhöhten Dichte gleiche bzw. etwas verringerte Leistungsbedarf ist zurückzuführen auf eine geringere Nach- oder Zusatzzerkleinerung beim Einziehen des Strohs durch die Koller, wie in **Bild 5** anhand der Rückstandssummenkurven dargestellt. Während im Ausgangsmaterial noch ein großer Unterschied der Rückstandssummen für die unterschiedlichen Häcksellängen vorhanden ist (bei einer Rückstandssumme von 50 %: $l_K = 12$ mm und $l_L = 19,5$ mm), ist in den Stroh-briketts dieser Unterschied nicht mehr gegeben; bei dem kürzeren Ausgangsmaterial ergibt sich in den Stroh-briketts sogar eine größere Halmlänge als bei dem langen Material (bei einer Rückstandssumme von 50 %: $l_K = 6,5$ mm und $l_L = 4,5$ mm).

Mit zunehmendem Durchsatz werden diese großen Unterschiede in der Nachzerkleinerung geringer, die Tendenz bleibt erhalten.

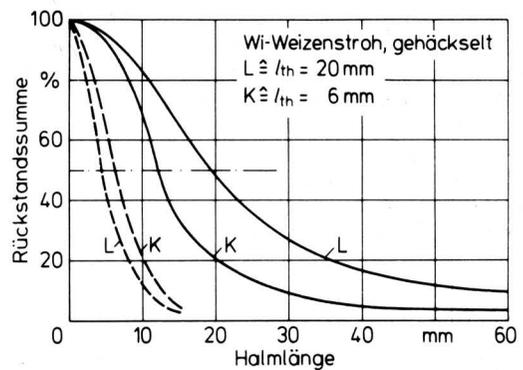


Bild 5. Rückstandssummenkurven des verwendeten Strohes, vor (—) und nach (---) dem Pressen.

Bei Erhöhung des Durchsatzes nimmt bei konstanten Maschinenparametern die Dichte der Preßlinge ab, da die Verweilzeit in den Preßkanälen entsprechend kürzer wird, (s. auch **Bild 4**). In kontinuierlich arbeitenden Pressen muß diesem Nachteil durch Zugabe von Bindehilfsmitteln oder durch Verwendung von Preßmatrizen mit längeren Kanälen entgegengewirkt werden. Bei der für diese Versuche eingesetzten Presse konnte ein erhöhter Preßdruck ohne Auswechseln der Matrize durch Veränderung der Konizität der Kanäle, d.h. durch Verengung der Kanalquerschnitte, eingestellt werden. Geschieht dies in Anpassung an den Durchsatz, so ergibt sich eine angenähert konstante Aggregat- und damit auch Schüttdichte, **Bild 6**. Der im Abriebtest (siehe [12]) ermittelte Abrieb bleibt hierbei mit 5 bis 8 % ausreichend gering.

Dabei fällt der auf den Durchsatz bezogene Leistungsbedarf mit zunehmendem Durchsatz ab und erreicht bei einem Durchsatz von 600 bis 700 kg/h Werte von 60 bis 70 kWh/t. Durch Verbesserungen im Bereich der Materialzuführung, z.B. durch Vorverdichten und Vergleichmäßigen des Materialstroms, dürfte bei der verwendeten Anlage eine Steigerung des Durchsatzes sowie eine höhere Betriebssicherheit zu erreichen sein.

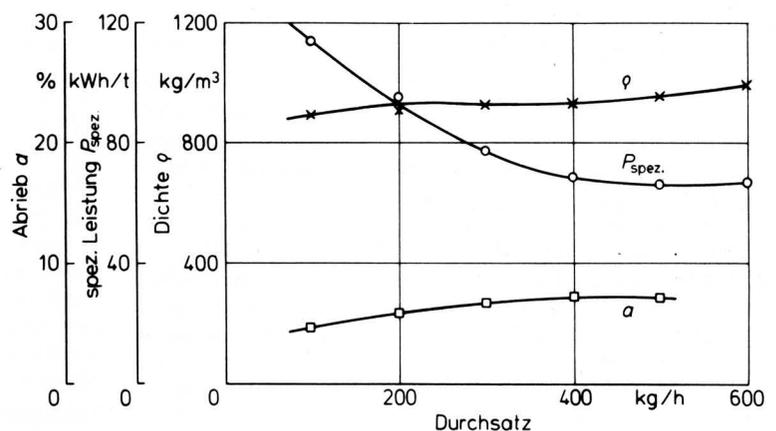


Bild 6. Charakteristische Daten bei der Brikettierung in Abhängigkeit vom Durchsatz (Weizenstroh, Feuchtegehalt 10–12 %, theor. Häcksellänge 6 mm).

4. Zusammenfassung

Das Verdichten von Stroh zu haltbaren Briketts hoher Dichte ist mit Normaldruckpressen, z.B. Kollergangpressen, durchführbar; die Materialzuführung sollte allerdings dem voluminösen Material durch eine Vorverdichtung oder eine Zwangszufuhr angepaßt werden, um einen ausreichend hohen Durchsatz zu gewährleisten. Eine gleichmäßige Häcksellänge und eine konstante Materialzuführung erhöhen dabei die Betriebssicherheit der Anlage. Weiterhin sollte eine Regelung der Materialzufuhr und der evtl. Zusätze in Abhängigkeit von z.B. der Stromaufnahme des Pressenmotors vorgesehen werden, um Störungen durch Verstopfungen oder Brückenaufbau in der Anlage entgegenwirken zu können.

Zur Erzielung haltbarer Briketts ist ein niedriger Feuchtegehalt von Vorteil, da mit zunehmendem Feuchtegehalt sowohl die erreichbare Dichte abnimmt, wie auch der Leistungsbedarf ansteigt. Eine kurze Häcksellänge (6 mm theoretische Häcksellänge im Vergleich zu 20 mm) ergibt härtere Briketts bei etwa gleichem Leistungsbedarf.

Der Leistungsbedarf zur Hochdruckverdichtung von Stroh ist insgesamt noch relativ hoch. Dieser Aufwand rechtfertigt daher den Einsatz nur dort, wo die Vorteile der hohen Dichte, der Schütffähigkeit und evtl. des Aufschlusses besonders zum Tragen kommen.

Schrifttum

- [1] Orth, H.W., H. Peters u. U. Köhler: Untersuchung der verbrennungstechnischen Eigenschaften von Getreidestroh. Grndl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 6, S. 230/34.
- [2] Claus, H.G.: Strohaufschluß in Kolben- und Kollergangpressen. In "Möglichkeiten der Strohverwertung". KTBL-Schrift 220, S. 98/108, Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1977.
- [3] Orth, H.W.: Herstellung von Preßlingen aus Rau- und Kraftfutterkomponenten. Berichte über Landwirtschaft Sdrh. 191, S. 314/33, Hamburg: Verlag Paul Parey 1975.
- [4] Kutzbach, H.D.: Die Grundlagen der Halmgutverdichtung. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 16, Düsseldorf VDI-Verlag 1972.
- [5] Osobov, V.I.: Issledowanie processa briketirovania sewa (Untersuchung des Brikettiervorganges bei Heu). Traktory i Selchoshmachiny Bd. 32 (1962) H. 10, S. 25/27.
- [6] Busse, W.: Das Verdichten von Halmgütern mit hohen Normaldrücken. Fortschr.-Ber. VDI-Z. Reihe 14, Nr. 1, Düsseldorf: VDI-Verlag 1965.
- [7] Orth, H.W. u. R. Loewe: Influence of temperature on wafering in a continuous extrusion process. J. Agric. Engng. Res. Bd. 22 (1977) S. 283/89.
- [8] Baader, W., H.-J. Ahlgrimm, W. Dervedde u. H.W. Orth: Untersuchungen des mechanischen Verhaltens von Pflanzen bei Einwirken äußerer Kräfte. DFG-Bericht Ba 292/6; 292/7 (unveröffentlicht), Braunschweig 1976.
- [9] Dobbie, J.B. u. E.J. Carnegie: Dry versus liquid binders for cubing straw. Trans. ASAE Bd. 16 (1973) S. 508/509.
- [10] Waelti, H. u. J.B. Dobbie: Effect of various binders on cubability of straw. ASAE-paper 71-115.
- [11] Smith, I.E., S.D. Probert, R.E. Stokes u. R.J. Hanusford: The briquetting of wheat straw. J. Agric. Engng. Res. Bd. 22 (1977) S. 105/11.
- [12] Orth, H.W. u. H. Peters: Festigkeitsuntersuchungen an Alleinfutterpreßlingen. Landbauforschung Völkenrode Bd. 23 (1973) H. 2, S. 111/16.
- [13] Tesic, M.: Das Verdichten unter Nährstoffaufschluß von Futterpflanzen in Matrizenpressen. Diss. Univ. Göttingen 1977.

Die Wirkung einiger physiologischer und morphologischer Parameter auf die Halmfestigkeit

Von Heinz-Jürgen Ahlgrimm, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Landmaschinenforschung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

DK 633.004.12:539.41

In Halmgutverarbeitungsmaschinen sollen durch die Werkzeugwirkung in den Halmen bestimmte Beanspruchungen erzeugt werden, die bis zum Bruch der Halme führen. Die Halmfestigkeit ist jedoch von einer Reihe verschiedener, sich zeitlich ändernder Parameter abhängig, deren Wirkungen nur schwer bestimmbar sind.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem Einfluß des Feuchte-, Zellulose- und Ligningehaltes sowie der Trockenmassebelegung des Halmes auf die Zug- und Scherfestigkeit sowie auf das Biegeverhalten von Halmen im Hinblick auf die Halmgutverarbeitung.

*) Dr. rer. nat. Heinz-Jürgen Ahlgrimm ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

1. Einleitung

Eine Vielzahl landwirtschaftlicher Produktionsschritte umfaßt das Trennen, Zerkleinern und Verdichten von pflanzlichem Halmgut. Die meisten dieser Prozesse laufen jedoch mangels ausreichender Kenntnisse über die Wechselwirkung Maschine/Werkzeug-Verarbeitungsgut nicht optimal ab.

In Trenn- und Zerkleinerungsprozessen wird das Halmgut durch das Werkzeug entweder durch Scherkräfte (senkrecht zur Halmachse) oder durch Zugkräfte (parallel zur Halmachse) [1, 2] meistens bis zum Halmbruch belastet, Bild 1. Es treten für weite Werkzeugabstände und in Halmgutverdichtungseinrichtungen häufig jedoch auch Biegebeanspruchungen auf.

Eine bessere Beurteilung der Arbeit von Halmgutverarbeitungsanlagen ist deshalb dann möglich, wenn mehr über das Bruchverhalten von Halmen bei Zug-, Scher- und Biegebeanspruchung bekannt ist, das jedoch von dem speziellen Bauprinzip pflanzlicher Halme und ihrem jeweiligen Zustand, d.h. von verschiedenen, sich zeitlich ändernden Halmparametern abhängt.