

Untersuchungen auf dem Gebiet des Brikettierens von Halmgut

Von Winfried Busse, Braunschweig

Der weitaus größte Teil der Halmgutfutterernte wird in Amerika schon seit Jahren in Form von Ballen geborgen; auch in Deutschland steigen die Verkaufszahlen der Aufsammelpressen seit einiger Zeit erheblich. Daran wird die zunehmende Bedeutung des Verdichtens von Halmgut deutlich. Das Brikettieren ist ein neues Verfahren auf dem Gebiet des Verdichtens von Halmgut. Während in üblichen Hochdruck-Ballenpressen unter einem Druck von etwa 3 kp/cm² eine Dichte des Preßgutes bis etwa 150 kg/m³ erreicht wird, wobei die Ballen durch Garn oder Draht zusammengehalten werden, erzielt man beim Brikettieren unter Wegfall jeglicher Garn- oder Drahtbindung bei einem Druck von etwa 700 kp/cm² eine Dichte der Preßlinge von etwa 500 kg/m³. Auf die aussichtsreiche Möglichkeit des Verdichtens durch Verdrehen hat *Mewes* [1] schon früher hingewiesen; dieses Verfahren kommt in einer amerikanischen Maschine zur Anwendung. In der vorliegenden Arbeit wird jedoch nur über das Verdichten durch Zusammenpressen des Halmgutes unter hohem Druck in einem geschlossenen Preßzylinder berichtet.

Seit 1955 arbeiten in Amerika [2 bis 14] nicht nur mehrere Institute, sondern auch namhafte Landmaschinenfabriken [15 bis 19] an der Entwicklung des Brikettierverfahrens. Auch russische Veröffentlichungen [20 bis 23] lassen erkennen, daß in Rußland dem Brikettieren große Bedeutung beigemessen wird und daß dort bereits Versuchsbrikettiermaschinen arbeiten. In dem unten genannten Institut werden im Rahmen der Bearbeitung des gesamten Gebietes der Halmgutverdichtung die mit dem Brikettieren zusammenhängenden Fragen im Hinblick auf deutsche Verhältnisse bearbeitet, da sich die amerikanischen Versuchsergebnisse im wesentlichen auf Luzerne beziehen und sich auch aus anderen Gründen auf deutsche Verhältnisse nur bedingt übertragen lassen.

Die Forschungsarbeit, über die im folgenden berichtet wird, gliedert sich in Laboruntersuchungen und in praxisnahe Versuche mit einer ausgeführten Maschine¹⁾. Bei den Laboruntersuchungen werden die theoretischen Grundlagen der Halmgubrikettierung erarbeitet, so z. B. die Zusammenhänge zwischen Verdichtungsdruck und Dichte der Preßlinge oder die Einflüsse von Halmgutart, Halmgutfeuchte und Häcksellänge auf den Arbeitsaufwand beim Verdichten. Zu den praktischen Versuchen gehört die Untersuchung einer in den USA gekauften Aufsammelbrikettierpresse, sowie die Bestimmung der technologischen Daten der mit dieser Maschine hergestellten Halmgubriketts und die Klärung der bei der Förderung, Belüftung und Lagerung der Briketts auftretenden Fragen. Ferner soll auch überprüft werden, ob sich eine solche Maschine zur Herstellung von Strohriketts eignet und ob gegebenenfalls Strohriketts bei der Herstellung von Strohzellstoff die erhofften Vorteile hinsichtlich einer besseren Verarbeitungsmöglichkeit bringen. Diese praktischen Versuche haben das Ziel, der deutschen Landwirtschaft und Industrie die Möglichkeit zu geben, sich mit dem Brikettierverfahren vertraut zu machen, um dessen Eignung für deutsche Verhältnisse beurteilen zu können.

¹⁾ Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Hannover durchgeführt.

Die Universalprüfmaschine für die Laborversuche ist eine Leihgabe der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Die amerikanische Brikettiermaschine für die Einsatzversuche wurde vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in Bonn zur Verfügung gestellt.

Dipl.-Ing. Winfried Busse ist wissenschaftlicher Assistent im Institut für Landmaschinen der Technischen Hochschule Braunschweig (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H. J. Matthies).

Bevor auf die Laboruntersuchungen näher eingegangen wird, sind noch einige Erklärungen notwendig. Mit „Briketts“ werden Preßlinge verschiedener Form bezeichnet, die aus ungehäckseltem oder gehäckseltem Halmgut ohne Zugabe von Bindemitteln hergestellt werden. Der Ausdruck „Pellet“ möge — wie bisher üblich — auf die Preßlinge beschränkt bleiben, die aus gemahlenem Gut, häufig unter Zusatz von Dampf oder Bindemitteln, im Preßgranulierverfahren hergestellt werden.

Für das Zusammenhalten von Briketts bei verschiedenen Gütern werden im Schrifttum mehrere Theorien aufgeführt [24], die aber auf Halmgut nicht anwendbar sind. Ganz offensichtlich handelt es sich beim Brikettieren von Halmgut einfach um einen mechanischen Zusammenhalt durch Verflechten der Halme in Verbindung mit einem Verkleben, das durch austretenden Zellsaft verursacht wird. Mit diesen beiden Vorgängen — mechanisches Verflechten und Verkleben — lassen sich alle bei den Versuchen bisher aufgetretenen Erscheinungen erklären. Der Einfluß des Verklebens wurde in den Vereinigten Staaten genauer untersucht [10]. Bei Versuchen mit geschichteten Einzelhalmen stellte man fest, daß ein Verkleben um so besser erfolgt, je größer die Gutfeuchte ist. Preßversuche mit regellos gelagerten, größeren Halmgutmengen zeigen aber, daß die erreichbare, bleibende Dichte der Preßlinge nach dem Brikettieren bei zunehmender Gutfeuchte geringer wird. Das ist eine Folge der großen elastischen Rückstellkraft in den feuchten Halmen, die sehr viel größer ist als die Klebekraft.

Laboruntersuchungen am Preßzylinder

Die bei den Laboruntersuchungen benutzte Versuchseinrichtung ist in **Bild 1** dargestellt. Links im Bild ist die Universalprüfmaschine mit dem Steuerschrank zu sehen, die zur Lastaufbringung bei den Versuchen verwendet wurde. Sie gestattet die Aufbringung einer Höchstlast von 40 Mp bei einer maximalen Belastungsgeschwindigkeit von 6 mm/s. Die gesamte aufgebrauchte Last wurde in Abhängigkeit vom Weg hydraulisch-mechanisch auf der Indikatortrummel aufgezeichnet; Einzelkräfte wurden mittels Dehnungsmeßstreifen elektrisch gemessen.



Bild 1. Versuchseinrichtung für die Verdichtung von Halmgütern im Preßzylinder.

links: Universalprüfmaschine für 40 Mp Höchstbelastung, dahinter der Steuerschrank — rechts: Oszillograph mit Trägerfrequenzverstärkern für die Dehnungs- bzw. Kräftemessung sowie Trockenschrank, Waage und Handhäckselgerät

Diese letzteren Meßwerte werden über Trägerfrequenzverstärker in den Oszillographen gegeben und dort über der Zeit aufgezeichnet. Die Zuordnung der gemessenen Kräfte zum Weg wird durch einen Weggeber ermöglicht. Rechts im Bild sind noch einige Teile des Zubehörs (Trockenschrank, Waage und Handhäckseinrichtung) zu erkennen. Das zwischen Biegetisch und Querhaupt der Universalprüfmaschine eingebaute Preßwerkzeug ist im belasteten Zustand in **Bild 2** schematisch dargestellt. Eine bestimmte Menge Halmgut wird vor Beginn des Versuches möglichst regellos in den Preßzylinder eingefüllt. Die Gesamt-

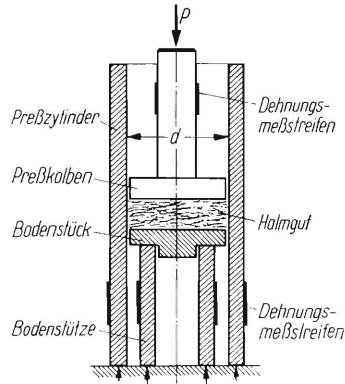


Bild 2. Preßwerkzeug für die Verdichtungsversuche (schematisch).

druckkraft, die an der Kolbenstange mittels Dehnungsmeßstreifen gemessen wird, setzt sich zusammen aus der Kraft, die direkt vom Halmgut über das Bodensstück auf die Bodenstütze übertragen wird und aus der Reibungskraft, die vom Gut über die Zylinderwand auf den Boden abgestützt wird. Wird diese Reibungskraft in der Zylinderwand gemessen und subtrahiert man sie von der an der Kolbenstange gemessenen Gesamtkraft, so ergibt sich die Kraft in der Bodenstütze, die zur Kontrolle ebenfalls gemessen werden kann. Bei den hier mitgeteilten Ergebnissen wird nur auf die Gesamtkraft eingegangen.

Verdichtungsdruck und Raumdichte

Wie sich die Raumdichte ρ_R des Preßgutes in Abhängigkeit vom aufgewandten Druck p im Verdichtungsraum ändert, ist in **Bild 3** dargestellt. Das Diagramm ist nach rechts durch die $\rho_{r=16}$ -Linie für ein Halmgut mit $f = 16\%$ Feuchtigkeit begrenzt. ρ_r ist die Reindichte des Halmgutes (ohne Luftanteil). Bei trockenerem Gut ist die Dichte ρ_r etwas größer, bei feuchterem Gut etwas kleiner, und zwar nach der Formel

$$\rho_r = \rho_w \rho_{tr} \cdot 100 / [f \rho_{tr} + (100 - f) \rho_w],$$

worin ρ_r die Reindichte des Halmgutes mit der Feuchtigkeit f , ρ_w die Dichte des Wassers, ρ_{tr} die Reindichte des trockenen Halmgutes und f der Feuchtigkeitsanteil an der Gesamthalmgutmasse in % ist. Diese Grenzlinie kann beim Verdichten nicht überschritten werden, ganz gleich, wie hoch der Verdichtungsdruck ist.

Sowohl in diesem wie in den folgenden Diagrammen wird darauf verzichtet, die konstanten Versuchsdaten näher zu erläutern; es sollen lediglich die Tendenzen angegeben werden, die sich bei

Verwendete Formelzeichen

P	Kolbenkraft in kp
$p = P/F$	Verdichtungsdruck in kp/cm^2
F	Kolbenfläche in cm^2
d	Kolben- bzw. Zylinderdurchmesser in mm
s	Weg des Preßkolbens beim Verdichten in mm
l	Häcksellänge in mm
m_0	Füllmasse des Halmgutes im Preßtopf in g
f	Feuchtigkeit des Halmgutes in % der Gesamtmasse (Trockenmasse + Wasser)
$A = P \cdot s$	Verdichtungsarbeit in kpm oder PSh
A/m_0	spezifische Verdichtungsarbeit in kpm/kg oder PSh/t (bezogen auf die gepreßte Masseneinheit)
ρ_R	Raumdichte des gepreßten Gutes in kg/m^3
ρ_r	Reindichte des Halmgutes (ohne Luftanteil) in kg/m^3 mit einer Feuchtigkeit f in %, z. B. $\rho_{r=16}$
ρ_{tr}	Reindichte des trockenen Halmgutes (ohne Luftanteil) in kg/m^3
ρ_{sch}	Schüttdichte der Preßlinge in kg/m^3
ρ_w	Dichte des Wassers in kg/m^3

den Versuchen herausgestellt haben. Außerdem wird nicht weiter auf die Streubereiche eingegangen, die sich selbstverständlich auch hier wie bei allen Versuchen mit organischen Gütern ergeben. Frühere Untersuchungen zum Verdichten von Halmgut wurden überwiegend mit Verdichtungsdrücken unter 10 kp/cm^2 durchgeführt. Neben Franke, Skalweit, Scheffter u. a. [25 bis 27] hat vor allem Mewes [28 bis 30] umfassende theoretische und praktische Untersuchungen in diesem Bereich angestellt. Skalweit formulierte für den Druckbereich bis 10 kp/cm^2 das Gesetz $p = C_1 \rho_R^m$. Mewes bestätigte im wesentlichen die Gültigkeit dieses Gesetzes und gab zwei Grenzkurven für Stroh an, die in **Bild 3** eingetragen sind. Alle von ihm gefundenen Verdichtungskurven für Stroh ließen sich in diesen Bereich einordnen.

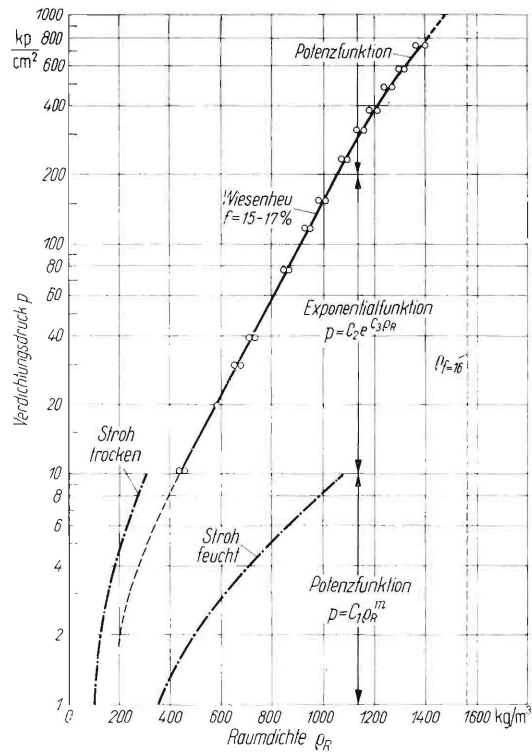


Bild 3. Verdichtungsdruck in Abhängigkeit von der Raumdichte. Die strichpunktierten Linien sind Grenzkurven für trockenes und feuchtes Stroh nach Mewes [30].

$\rho_{r=16}$ Reindichte des Halmgutes (ohne Luftanteil) bei 16% Feuchtigkeit.

Bei den jetzt durchgeführten Laborversuchen wurde mit Drücken bis zu 1100 kp/cm^2 gearbeitet, wobei sich drei Bereiche mit verschiedenen Gesetzmäßigkeiten herausstellten. Im ersten Bereich besteht Übereinstimmung mit der von Skalweit gefundenen Beziehung, nicht jedoch mit der 1937 von Pustygin [nach 31] für ungedroschenes Getreide angegebenen Beziehung. Bei einem Druck von etwa 10 kp/cm^2 beginnt der zweite Bereich, in dem eine Exponentialfunktion der Form $p = C_2 e^{C_3 \rho_R}$ Gültigkeit hat, wie sie in ähnlicher Form 1948 von Pustygin für $p > 3 \text{ kp/cm}^2$ aufgestellt wurde. Oberhalb etwa 200 kp/cm^2 gilt wieder wie im ersten Bereich eine Potenzfunktion für das Verdichten der Halmgüter. Die Grenzen zwischen den Bereichen sind je nach der Art des Preßgutes und den Versuchsbedingungen verschieden, aber sie liegen etwa bei den in **Bild 3** angegebenen Werten. Der Verlauf der Kurven bei hohen Drücken ist verhältnismäßig schwierig zu ermitteln, da der Druck sehr steil ansteigt und die damit verbundenen Änderungen der Raumdichte sehr gering sind. Die eingetragene Verdichtungskurve gilt für Wiesenhheu mit 15 bis 17% Feuchte.

Gutfeuchte

Bei Preßgut mit verschiedener Feuchtigkeit ergeben sich Verdichtungskurven nach **Bild 4**. Mit zunehmender Gutfeuchte verlaufen die Verdichtungskurven nicht mehr stetig, sondern es ergeben sich ausgeprägte Knickpunkte, die bei um so geringeren Drücken auftreten, je höher die Gutfeuchte ist. Oberhalb der

Knickpunkte bringt eine Druckerhöhung keine wesentliche Zunahme der Raumdichte mehr. Es liegt die Vermutung nahe, daß der Anteil des inkompressiblen Wassers im Preßgut der Grund für diese Erscheinung ist. Diese Knickpunkte traten in ähnlicher Form, wie sie hier für Wiesenheu aufgezeichnet sind, auch bei Luzerne und Rotklee auf.

Zu bestimmten Gutfeuchten gehören also Verdichtungsdrücke, deren Überschreiten nicht sinnvoll ist, da keine wesentliche Zunahme der Raumdichte mehr zu erreichen ist. Deshalb werden die zu den Knickpunkten gehörenden Verdichtungsdrücke zur Abgrenzung der Arbeitsbereiche für das Brikettieren von Halmgütern verschiedener Feuchtigkeit verwendet. Die zu den Knickpunkten gehörenden Druckwerte ergeben die in Bild 5 aufgezeichnete hyperbelförmige Kurve für Wiesenheu, Luzerne und Rotklee in Abhängigkeit von der Gutfeuchte. In dem Bereich über der Kurve ist, wie erläutert, keine nennenswerte Zunahme der Raumdichte zu erwarten. Wiesenheu mit einer Feuchte über 22% und Luzerne und Rotklee mit einer Feuchte über 27% ergeben keine haltbaren Briketts. So verbleiben die schraffiert

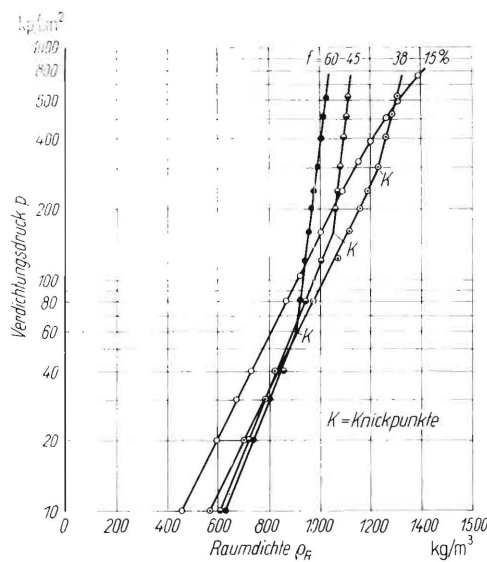


Bild 4. Verdichtungsdruck in Abhängigkeit von der Raumdichte des Halmgutes bei verschiedenem Feuchtigkeitsgehalt.

Preßgut: Wiesenheu Füllmasse $m_0 = 75$ g
Häcksellänge $l = 50$ mm Kolbenfläche $F = 50$ cm² ($d \approx 80$ mm)

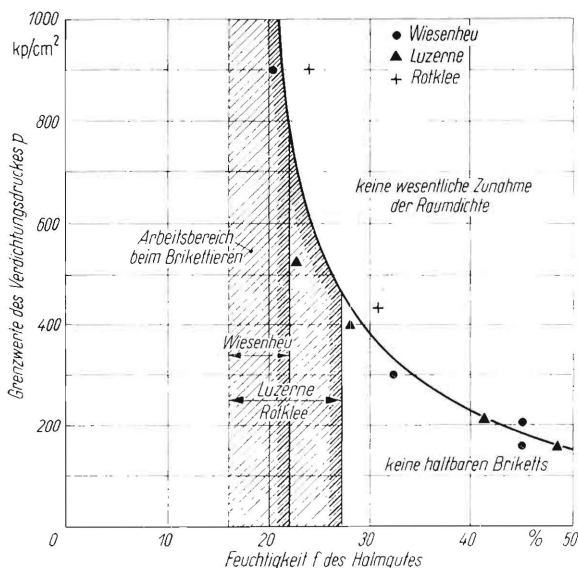


Bild 5. Grenzwerte des Verdichtungsdruckes in Abhängigkeit von der Feuchte des Halmgutes (hyperbelförmiger Ast aus den Knickpunkten der Verdichtungskurven in Bild 4).

Preßgut: Wiesenheu, Luzerne und Rotklee Füllmasse $m_0 = 75$ g
Häcksellänge $l = 50$ mm Kolbenfläche $F = 50$ cm² ($d \approx 80$ mm)

angedeuteten Arbeitsbereiche für das Brikettieren. Die senkrechten Grenzlinsen bei 22% bzw. 27% Feuchte zeigen an, daß oberhalb dieser Grenze die Briketts nach der Entlastung zerfallen; denn die Rückstellkraft in den Halmen ist um so größer, je feuchter das Gut ist.

Erreichbare Raumdichte

Die in den so abgegrenzten Arbeitsbereichen erzielbare Raumdichte ist in Bild 6 in Abhängigkeit vom angewendeten Verdichtungsdruck dargestellt. Oben sind die unter Belastung im Preßzylinder erreichten Raumdichten von Luzerne und Wiesenheu in Abhängigkeit vom Verdichtungsdruck aufgetragen. Durch den eingezeichneten Streubereich läßt sich in dieser halblogarithmischen Auftragung eine Gerade legen. Nach Entlastung und Ausstoß dehnen sich die Briketts stark aus, d. h., die Raumdichte wird erheblich kleiner, und nach dreitägiger Lagerung in einem nichtklimatisierten Raum ergaben sich die beiden unteren Geraden. Die Raumdichte von Wiesenheu beträgt jetzt nur noch $\frac{1}{3}$ der unter Druck erreichten Werte. Die für Luzerneheu, also ein Blattheu, ermittelte Gerade liegt erheblich höher als die für Wiesenheu. Die starke Abnahme der Raumdichte nach der Entlastung ist im wesentlichen eine Folge der großen elastischen Rückstellkräfte in den einzelnen Halmen der Briketts.

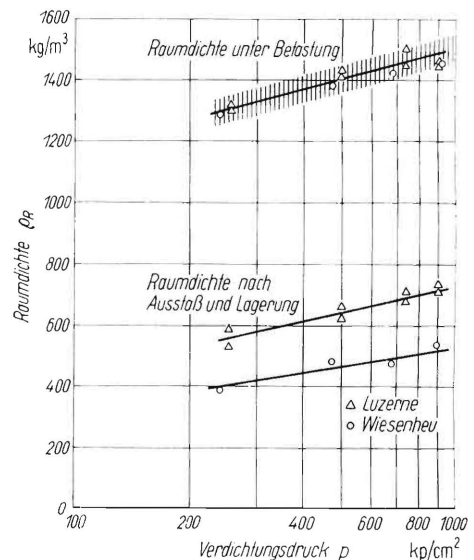


Bild 6. Raumdichte während der Belastung und Lagerung der Preßlinge.

Preßgut: Luzerne und Wiesenheu Füllmasse $m_0 = 100$ g
Feuchtigkeit $f = 17-20\%$ Kolbenfläche $F = 50$ cm²
Häcksellänge $l = 140$ mm ($d \approx 80$ mm)

Die erreichbare Raumdichte ist außer vom Verdichtungsdruck noch von sehr vielen Einflußgrößen abhängig, die durch das Halmgut und seine Eigenschaften, wie die Häcksellänge, die Gutfeuchte, die Füllmenge sowie die Sorte, die Vorbehandlung, das Blatt-Stengel-Verhältnis und den Reifezustand (1. oder 2. Schnitt) gegeben sind. Dazu kommen die Einflüsse durch die Preßwerkzeuggröße und -form und das Preßverfahren, wie z. B. die Belastungsgeschwindigkeit, die Einwirkdauer des maximalen Druckes und eventuell auch die Überlagerung einer statischen Last mit einer pulsierenden oder die Überlagerung einer Axialbewegung des Preßstempels mit einer drehenden Stempelbewegung. Als ein Beispiel für all diese Einflüsse sei der Reifezustand besonders erwähnt. In Amerika [10] wurden Versuche mit Luzerne gemacht, die in einem Fall kurz vor der Blüte, im anderen Fall 8 Tage später in voller Blüte gemäht worden war. Bei gleichem Verdichtungsdruck konnte bei der vor der Blüte gemähten Luzerne eine um 10% höhere Raumdichte erzielt werden als bei der in der Blüte gemähten.

Die erreichte Raumdichte ist ein wesentliches Kriterium für die Festigkeit der Briketts gegen mechanische Beanspruchung. Sie sollte mindestens so hoch sein — aber auch nicht unnötig höher —, daß die Briketts den Beanspruchungen auf dem Weg vom Feld über den Lagerraum bis zum Trog gewachsen sind.

Dazu ist nach den seitherigen Erfahrungen ein Druck im Preßwerkzeug einer Maschine von etwa 700 bis 800 kp/cm² erforderlich. Das hängt natürlich sehr wesentlich von der Bauart des Preßwerkzeuges ab.

Arbeitsaufwand

Der für das Verdichten mit einem Druck von 800 kp/cm² im Preßzylinder erforderliche Arbeitsaufwand ist in **Bild 7** über der Gutfeuchte aufgetragen. Bei den aufgetragenen Werten handelt es sich um die reine Verdichtungsarbeit, da die Reibungsarbeit des Kolbens im Preßtopf vernachlässigbar klein ist. Der Arbeitsbedarf nimmt für Wiesenheu wie auch für Luzerne und Rotklee mit zunehmender Feuchte stark ab bis zu einem Minimum bei 55% Gutfeuchte. Dann steigt die Kurve wieder an. Dieser Anstieg bei sehr hohen Gutfeuchten ist versuchstechnisch bedingt. Aus dem Preßtopf tritt Wasser aus. Dadurch ändert sich der Weg bei konstantem Druck und die Indicatorschriebfläche wird größer. Für die praktische Anwendung hat dieses Diagramm nur unterhalb der bereits geschilderten Feuchtigkeitsgrenzen von 22% bzw. 27% Bedeutung. Einzelpunkte aus anderen Versuchsergebnissen sind zum Vergleich in **Bild 7** eingetragen. Gemäß den unterschiedlichen Versuchsbedingungen, insbesondere den niedrigeren Preßdrücken, ordnen sich diese Werte sinnvoll unter der Kurve ein.

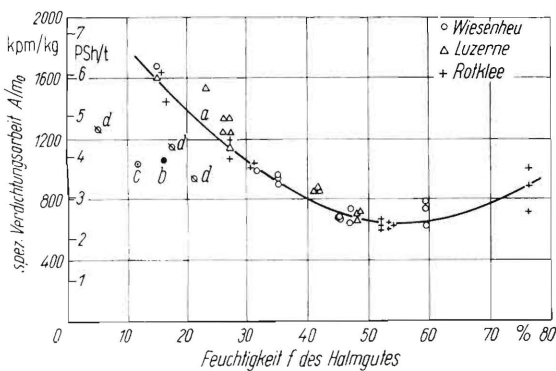


Bild 7. Spezifische Arbeit beim Verdichten von Wiesenheu, Luzerne und Rotklee bei verschiedener Feuchtigkeit.

	Kurve a	Punkt b	Punkt c (*)	Punkte d (**)
Preßgut	Wiesenheu Luzerne Rotklee	Luzerne	Luzerne	Luzerne (3. Schnitt)
Verdichtungsdruck <i>p</i> kp/cm ²	800	470	350	240
Häcksellänge <i>l</i> mm	50	50	lang	lang
Füllmasse <i>m</i> ₀ g	75	50	80	40
Zylinderquerschnitt <i>F</i> cm ²	50	50	29	11

*) nach Butler [5] **) nach Bellinger u.a. [8]

Wäre dieses Diagramm auch für den Preßvorgang in einer Maschine heutiger Bauart gültig, so würde bei 20% Gutfeuchte für einen Durchsatz von 5 t/h nur eine Leistung von 25 PS erforderlich sein. Aus dem Arbeitsdiagramm für Strangpressen kann sich aber unter Umständen ein Verhältnis der Ausschleubarbeit zur Verdichtungsarbeit von 2,6:1 ergeben. Zu den erwähnten 25 PS kämen also noch 65 PS für das Ausschleiben. Insgesamt wären somit nur für den Preßvorgang 90 PS erforderlich. Der Leistungsbedarf der übrigen Arbeitsgruppen einer Feldmaschine, wie Aufsammler, Elevatoren, Häcksler usw., ist dabei noch nicht berücksichtigt.

Brikettgröße

Die Füllmasse beeinflusst bei sonst gleichen Versuchsbedingungen nicht nur die erreichbare Raumdichte, sondern auch den spezifischen Arbeitsaufwand. Weiter hängt von Füllmasse und Preßkammergröße das Verhältnis von Brikethöhe zu Brikettdurchmesser ab. Dieses Verhältnis sollte nach russischen Veröffentlichungen [23] größer als 0,4 sein, da dann eine genügende Festigkeit gegen mechanische Beanspruchungen gegeben ist. Das optimale Verhältnis zwischen Brikethöhe und -durchmesser

wird der Konstrukteur nicht nur nach dem erforderlichen Druck, dem Durchsatz und der Brikethaltbarkeit wählen können, sondern er wird unter Umständen einen Kompromiß mit Rücksicht auf die Wünsche des Tierphysiologen schließen müssen.

Häcksellänge und Werkzeugform

Die Häcksellänge hat nach bisherigen Untersuchungen auf die bleibende Raumdichte von Heu bei Längen von mehr als 40 mm wenig oder keinen Einfluß. Aus Gründen des mechanischen Zusammenhaltens der Briketts sollte man die Häcksellänge jedoch nicht kleiner als den Kolbendurchmesser wählen.

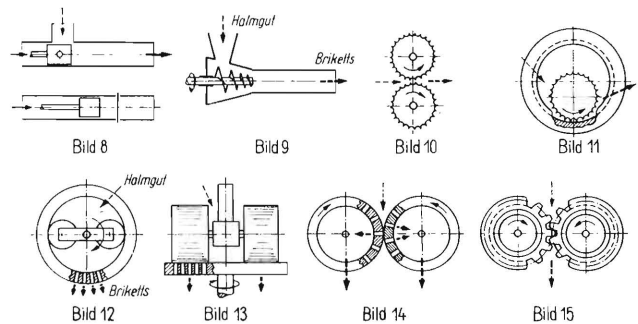
Der Einfluß der Form des Preßwerkzeuges wurde an Hand von mehreren unterschiedlich profilierten Werkzeugen untersucht. Dabei wurden Kolbenstirnfläche und Bodenstück in einem Preßzylinder von 100 cm² Querschnitt u. a. mit kugeligen und kegelligen Oberflächen ausgestattet, und zwar so, daß die konvexe Kolbenstirnfläche in das konkave Bodenstück eingepaßt war; auch wurde eine Kolbenstirnfläche ähnlich einem Kegelritzel ausgebildet. Bei diesen Versuchen stellte sich heraus, daß bei starken Profilierungen ganze Halmschichten zerreißen und somit das Brikett nicht mehr zusammenhält und daß mit profilierten Werkzeugen weder die erreichte Raumdichte noch der erforderliche Arbeitsaufwand günstigere Werte zeigten als bei unprofilieren Werkzeugen.

Belastungsgeschwindigkeit

Der Einfluß der Belastungsgeschwindigkeit wurde in Amerika in einem Extremfall untersucht. Es wurde eine mit Druckluft arbeitende Versuchseinrichtung [32] gebaut und der innerhalb von etwa 2 Millisekunden ablaufende Druckstoß gemessen. Als wesentliche Ergebnisse der Versuche seien genannt, daß bei gleicher aufgewendeter Energie im Falle einer Stoßbelastung nicht so dichte Briketts erzielt werden können wie bei Anwendung nahezu statischer Belastung und daß bei Stoßbelastung eine Erhöhung der Preßenergie auf mehr als 8 PS h/t keine nennenswerte Erhöhung der Raumdichte bringt. Die notwendige Luftverdrängung wird bei so hohen Belastungsgeschwindigkeiten einen wesentlichen Einfluß auf den Energiebedarf haben. Weiterhin ist zu erwähnen, daß es sehr schwierig ist, die Einflüsse von Belastungsgeschwindigkeit und Einwirkdauer des Preßdruckes zu trennen. Während bei den vorliegenden Versuchen eine Erhöhung der Einwirkdauer des maximalen Preßdruckes von 1/10 bis auf 10 s keine nennenswert höhere Raumdichte brachte, zeigte sich bei einer Mehrfachbelastung durch einen Pulsator eine geringe Verbesserung.

Preßverfahren

Die technisch unvollkommene Bewältigung des Brikettiervorganges ist der Hauptmangel aller bisherigen Aufsammelbrikettierpressen. Da dem Preßwerkzeug dabei eine ganz besondere Bedeutung zukommt, sind in den **Bildern 8 bis 15** zunächst die grundsätzlich möglichen Preßverfahren zusammengestellt. Dabei wurden ausschließlich bekannte Kolben- und Walzen-



Bilder 8 bis 15. Mögliche Preßverfahren zum Verdichten von Halmgut. In der unteren Reihe sind kombinierte Verfahren dargestellt.

- Bild 8. Kolbenpresse
- Bild 9. Schneckenpresse
- Bild 10. Walzenpresse
- Bild 11. Ringwalzenpresse
- Bild 12. Ringwalzenpresse mit Matrizenring
- Bild 13. Scheibenwalzenpresse mit Matrizen-scheibe
- Bild 14. Walzenpresse mit Matrizenringen
- Bild 15. Walzenpresse nach dem Wälzdruckverfahren

anordnungen zugrunde gelegt und andere Verdichtungsmöglichkeiten, wie Verdrehen oder Rollen, unberücksichtigt gelassen. In den Bildern 8 bis 11 sind die Grundprinzipien, in den Bildern 12 bis 15 einige Kombinationen von Preßverfahren dargestellt. Zur Beantwortung der Frage nach der speziellen Eignung des einen oder anderen Prinzips für die Halmgutverdichtung müssen vor allem die Vor- und Nachteile hinsichtlich Energiebedarf, Portionsbildung, Beschickung und Entleerung der Werkzeuge gegeneinander abgewogen werden. Während zum Beispiel das Verdichten in einem Preßzylinder (Bild 8, unten) hinsichtlich des Energiebedarfes und der Portionsbildung sehr günstig ist, ist es aber in dieser Form im Hinblick auf Beschickung und Entleerung sehr ungünstig. Das Arbeiten mit einer Kolbenpresse oder einer Schneckenpresse (Bild 8, oben, und 9) gegen den Strangwiderstand ist hinsichtlich des Energiebedarfes sehr ungünstig. Die in Bild 10 und 11 dargestellten beiden Walzenpressen scheinen alle Forderungen relativ gut zu erfüllen. Schwierigkeiten entstehen aber dadurch, daß bei Halmgut sehr große Volumenänderungen für die Verdichtung erforderlich sind. Ein Preßwerkzeug nach Bild 10, jedoch mit einer glatten und einer profilierten Scheibe, hat sich die Firma Ford für eine Brikettiermaschine patentieren lassen [19].

In den Bildern 12 bis 15 sind kombinierte Verfahren zusammengestellt, die zum großen Teil in Pelletpressen bereits Verwendung finden. Es handelt sich z. B. bei der Ringwalzenpresse mit Matrizenring nach Bild 12 insofern um eine Kombination, als der Aufbau dem einer Ringwalzenpresse (Bild 11) ähnelt, in den Matrizen des Matrizenringes aber letztlich ein Strangpreßverfahren vorliegt. Während dieses Prinzip in Pelletpressen mit umlaufendem Matrizenring und stillstehender Zentralachse verwendet wird, wird es in einer Heubrikettierpresse mit feststehendem Matrizenring und umlaufendem Walzenpaar verwendet (s. a. Bild 23). Die Scheibenwalzenpresse mit Matrizen-scheibe (Bild 13) arbeitet nach dem bekannten Prinzip des Kollerganges und verdichtet ebenfalls in den Kanälen der Matrize das Gut nach dem Prinzip des Strangpressens. In der Walzenpresse mit Matrizenringen (Bild 14) wird das Gut von außen durch die Matrizenkanäle nach innen gedrückt und dabei verdichtet. Bei der Walzenpresse nach dem Wälzdruckverfahren (Bild 15) soll die Verdichtung zwischen zwei miteinander kämmenden Zahnrädern in den Zahnlicken erfolgen. Ein ähnliches Prinzip findet in einer Pelletpresse der Firma Hutt [33] Verwendung, während das in Bild 15 gezeichnete System als Patent von der Firma Massey-Ferguson angemeldet wurde [18].

Brikettiermaschinen

In den Bildern 16 bis 18 sind Brikettierpressen dargestellt, die nach dem Kolben-Strangpreßverfahren arbeiten. Bild 16 zeigt die Maschine in der Form, wie sie sich die Firma International Harvester Company im Mai 1958 [16] im Prinzip patentieren ließ. Im Aufbau ist sie ähnlich dem der üblichen Hochdruckpressen. Das Gut wird vom Aufsammler aufgenommen und durch einen Raffer dem hier sehr viel kleineren Preßkanal zugeführt. Der Kolben arbeitet im Strangpreßverfahren gegen den Reibungswiderstand des Stranges; mit einer hydraulischen Preßkanalverstellung kann die Konizität des Druckrohres und damit der Gegendruck verändert werden. Die Briketts werden über ein Rohr auf den Wagen geschoben. Über die erforderliche Motorleistung ist nichts bekanntgeworden; die Maschine ist aus dem Verzeichsstadium nicht herausgekommen.

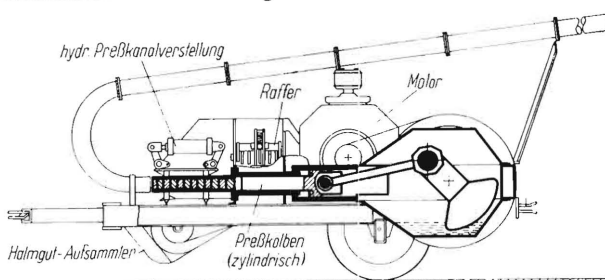


Bild 16. Aufsammel-Kolbenbrikettierpresse der Firma IHC.

Ebenfalls nach dem Prinzip der Kolbenbrikettierpresse arbeitet der im Bild 17 dargestellte „Foragizer“ der Firma Sumner Iron Works, der bereits 1958 auf dem Markt erschien. Diese Maschine wird halbstationär auf dem Hof oder am Feldrand verwendet, hat zwei wassergekühlte, nebeneinanderliegende Preßkanäle und wiegt mit Motor 8 t. Der Antrieb erfolgt von einem 180-PS-Motor über ein Vorgelege auf den Kurbeltrieb für die beiden Kolben. Das Heu wird in Form von etwa 7,5 cm langem Häcksel mit 10 bis 20% Gutfeuchte aufgegeben und zu Briketts von 10 cm Durchmesser verpreßt, wobei Stundendurchsätze von 5 t erzielt werden sollen. Seit 1959 hört man nichts mehr von diesem Typ.

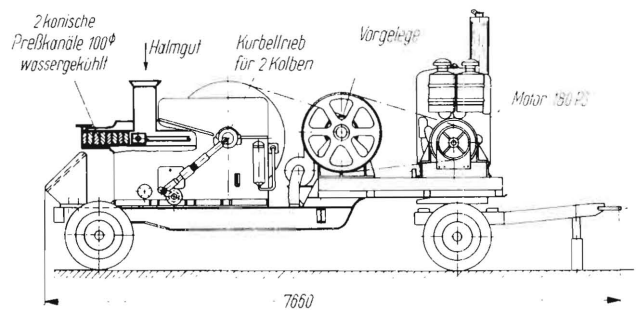


Bild 17. Halbstationäre Kolbenbrikettierpresse „Foragizer“ der Firma Sumner Iron Works.

Auch die in Bild 18 abgebildete Brikettiermaschine der Firma Cal-Cube arbeitet nach dem Kolbenprinzip. Sie kam im Jahre 1962 auf den Markt und wird sowohl als gezogene Maschine wie auch als Selbstfahrer gebaut. Ein 1,80 m breites Gummituch bildet den Aufsammler. Konstruktive Einzelheiten des Preßwerkzeuges sind nicht bekannt; das Gut wird mit 2 Kolben in 6 quadratische Preßkanäle von je etwa 3,2 cm Kantenlänge gepreßt. Die Verweilzeit des Gutes im Preßkanal soll 3 bis 4 s dauern. Die Preßdrücke betragen etwa 700 kp/cm². Der Durchsatz wird mit 3 t/h angegeben; als Antrieb dient ein 140-PS-Motor; die ganze Maschine wiegt etwa 7 t.



Bild 18. Aufsammel-Kolbenbrikettierpresse Cal-Cube der Firmen Johnson Farm Machinery Co. und Vaughan Mfg., Inc.

Den Aufbau einer Brikettierpresse, die nach dem Wälzdruckverfahren arbeitet, zeigt Bild 19, das einer Patentschrift der Firma Massey-Ferguson vom Juli 1959 [18] entnommen ist. Das Gut wird von einem Zinkenaufsammler aufgenommen, gelangt zwischen zwei umlaufende Gummibänder und weiter zwischen die Vorpreßwalzen. Von diesen beiden Walzen wird es zwischen zwei Führungsplatten den Preßzahnradern zugeführt. Die Verdichtung soll in den Zahngründen der beiden miteinander kämmenden Zahnräder erfolgen. Die Briketts werden dann durch rotierende Finger aus den Zahnrädern entfernt und fallen in einen Elevator, der sie auf den Wagen fördert. Zum Antrieb der Preßzahnradern dienen zwei Zahnräder, die über den Preßradern angeordnet und starr mit diesen verbunden sind, wodurch der Gleichlauf der Preßzahnradern sichergestellt wird. Ob eine Maschine nach diesem Prinzip gebaut worden ist, wurde nicht

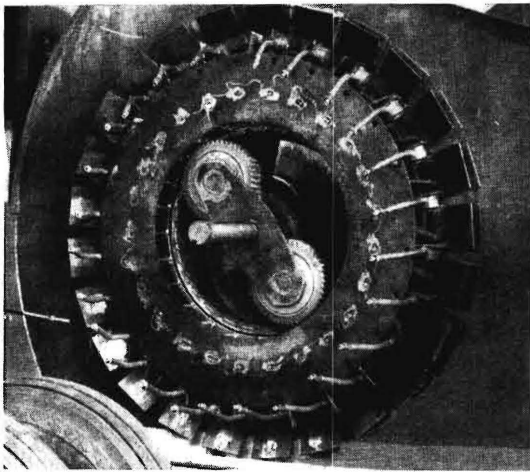


Bild 23. Gesamtansicht des Preßwerkzeuges der Brikettierpresse Lundell nach Entfernen der Stirnplatte mit dem Hauptlager. Am Umfang sind die Abweisbleche für die 25 austretenden Brikettstränge sichtbar.

Witterungsbedingungen des vergangenen Jahres berücksichtigt werden. Die Laboruntersuchungen hatten ergeben, daß sich grundsätzlich alle Halmgutarten, Heu und auch Stroh, brikettieren lassen. Mit dieser Maschine ließen sich aber nur aus Luzerne- und Kleeheu haltbare Briketts herstellen. Wiesenheu und Stroh wird zwar auch verarbeitet, aber die Preßlinge zerfallen sofort nach Verlassen der Preßkanäle. Entsprechend den Empfehlungen des Herstellers dieser Maschine sollen Klee oder Luzerne mit einem Schlegelfeldhäcksler gemäht, im Schwad getrocknet, einmal gewendet und dann brikettiert werden. Dieses Verfahren hat wesentliche Vorteile für das Brikettieren. Das Gut trocknet schnell und gleichmäßig ab, die Halme werden teilweise zerstört. Blätter und Stengel sind gut durchmischt, und man erreicht dadurch eine geringe Rückdehnung der Briketts. Zwar wird auch beim Stengelquetschen ein teilweises Zerstören der Halme und damit ein gleichmäßiges, schnelles Abtrocknen erreicht, aber es fehlt die gute Durchmischung, deshalb kommt es zu einer Ausrichtung der Halme innerhalb der Briketts. Es stellte sich bei den Beanspruchungstests, die in einer sehr langsam rotierenden Trommel von 1 m Durchmesser nach **Bild 24** durchgeführt wurden, heraus, daß Briketts aus stengelgequetschtem Gut nicht so widerstandsfähig gegen mechanische Beanspruchungen sind, wie solche aus schlegelgehäckseltm Gut.

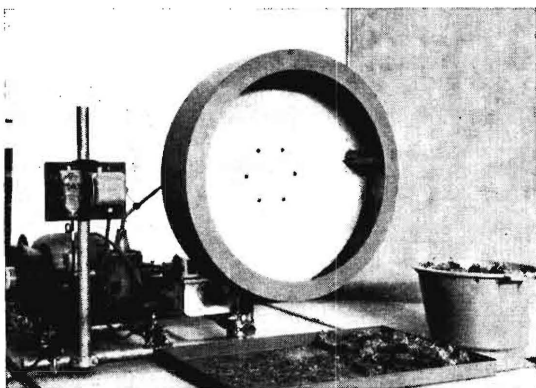


Bild 24. Trommel zur Bestimmung der Formbeständigkeit von Briketts bei mechanischer Beanspruchung. Auf der inneren Lauffläche der Trommel sind ein Mitnehmer und drei Stolperleisten angebracht.

Ein Mitnehmer in der Trommel, deren Drehzahl 1 bis 2 U/min beträgt, erfaßt das Brikett an der tiefsten Stelle und fördert es nach oben, von da fällt es herunter, rollt über 3 Stolperleisten und wird erneut vom Mitnehmer erfaßt und nach oben gefördert. Neben dem günstigen Einfluß des schlegelgehäckseltm Gutes auf die Brikettfestigkeit ist hervorzuheben, daß der Schlegelaufsammler der Brikettierpresse das mit Schlegelhäckseln gemähte Gut besser aufnimmt als anderes. In jedem Falle verlangt aber

der Schlegelaufsammler ein sehr sorgfältig vorbereitetes Schwad, wenn er zufriedenstellend arbeiten soll. Die genannten Erscheinungen gelten für die untersuchte Maschine, sie müssen nicht auch für andere Konstruktionen zutreffen. Die obere Feuchtigkeitsgrenze, bis zu der die Lundell-Presse haltbare Briketts herstellt, liegt bei etwa 20% Gutfeuchte. Sehr wesentlich ist eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Gutfeuchte über das ganze Schwad. Die Verarbeitung sehr trockenen Gutes bietet keine Schwierigkeit, da die erwähnte Wasserzuführeinrichtung eine gleichmäßige Befeuchtung des Gutes ermöglicht. Der Durchsatz der Presse kann unter günstigen Umständen bei 20% Gutfeuchte maximal 4 t/h betragen. Für größeren Durchsatz reicht vermutlich das Preßaggregat aus, nicht aber die Motorleistung.

Die Briketts haben in Annäherung Würfelform mit 6 cm Kantenlänge und eine Raumdichte $\rho_R \approx 440 \text{ kg/m}^3$. **Bild 25** zeigt eine Luzerneheu-Brikettschüttung auf dem an die Brikettiermaschine angehängten Wagen. Die Schüttdichte ρ_{Sch} ist stark von dem unvermeidbaren Feinteilgehalt in der Schüttung abhängig und beträgt etwa 270 kg/m^3 , der Böschungswinkel schwankt zwischen 30 und 40°. Für die Förderung der Briketts sind prinzipiell Kratzerförderer, Elevatoren wie auch pneumatische Anlagen geeignet. Bei pneumatischer Förderung ist allerdings mit starkem Abrieb der Briketts zu rechnen. Die üblichen Höhenförderer für Langgut und Preßballen sind nach einer entsprechenden Änderung der Rechen und der Gutaufgabe auch für die Förderung von Briketts geeignet.



Bild 25. Schüttung von Luzerneheubriketts, die in der Lundell-Brikettierpresse hergestellt wurden.

Raumdichte der Briketts $\rho_R \approx 440 \text{ kg/m}^3$
Schüttdichte der Briketts $\rho_{Sch} \approx 270 \text{ kg/m}^3$
Böschungswinkel $\varphi = 30$ bis 40°

Ob eine Lagerung der Briketts mit 20% Gutfeuchte in geschlossenen Lagerräumen ohne weitere Vorkehrungen möglich ist, ist noch ungewiß. Die Briketts neigen sowohl an ihrer Oberfläche als auch im Innern zu Schimmelbildung. Die Firma Lundell empfiehlt eine Lagerung in höchstens 2,5 m breiten, quer zur Hauptwindrichtung stehenden überdachten Maschendrahtboxen. Ein gutes natürliches oder auch künstliches Durchlüften der Brikettschüttungen nach dem Pressen ist nicht nur aus Gründen des Abtrocknens, sondern auch zur Kühlung notwendig, da die Briketts beim Preßvorgang Temperaturen von 45° erreichen. An dieser Stelle sei erwähnt, daß es bei der Pelletherstellung üblich ist, die Pellets nach dem Verlassen der Pressen zu kühlen.

Zusammenfassung

Es wurde über das Brikettieren landwirtschaftlicher Halmgüter, und zwar ausschließlich über das Verdichten von Heu und Stroh unter hohem Druck ohne Zusatz von Bindemitteln berichtet. In Laborversuchen wurden theoretische Grundlagen, wie z. B. die Abhängigkeit zwischen Verdichtungsdruck und Raumdichte, ermittelt, und es wurde festgestellt, daß die erreichbare Raumdichte außer vom Verdichtungsdruck und der Gutfeuchte auch vom Gut, von der Häcksellänge, der Füllmenge, der Vorbehandlung des Gutes, dem Preßwerkzeug, dem Preßverfahren

u. a. Größen abhängt. Unter Drücken von 800 kp/cm² können zwar im belasteten Zustand Raumdichten von 1400 kg/m³ erreicht werden, nach Entlastung und Ausstoßen aber dehnen sich die Briketts stark aus, und es bleiben nur noch Raumdichten von etwa 400 bis 500 kg/m³ erhalten. Das ist im wesentlichen eine Folge der großen elastischen Rückstellkräfte in den Halmen, die stärker sind als die durch Verflechten und Verkleben hervorgerufenen Bindekräfte. Damit die Briketts die notwendige, bleibende Raumdichte und somit die notwendige Formbeständigkeit erhalten, ist nach den seitherigen Erfahrungen bei dem beschriebenen Verdichtungsverfahren ein Druck von 700 bis 800 kp/cm² erforderlich. Der Arbeitsaufwand für das reine Verdichten im Preßzylinder beträgt bei einem Verdichtungsdruck von 800 kp/cm² und einer Gutfeuchte von 20% nur etwa 5 PSh/t. Ausgeführte Maschinen, über die ebenfalls berichtet wurde, bedürfen eines Mehrfachen an Leistung. Das liegt vor allem an der technischen Unvollkommenheit der bisherigen Preßwerkzeuge.

Die Briketts, die bei praktischen Einsatzversuchen mit einer amerikanischen Aufsammelbrikettierpresse hergestellt wurden, haben in Annäherung Würfelform mit etwa 6 cm Kantenlänge. Sie erreichten eine Raumdichte von 440 kg/m³ und eine Schüttdichte von ca. 270 kg/m³. Der Böschungswinkel schwankt zwischen 30 und 40°. Zur Förderung sind Kratzerförderer, Elevatoren und pneumatische Anlagen entsprechender Bauart geeignet. Ob Briketts mit 20% Gutfeuchte ohne anschließende Belüftung lagerfähig sind, ist noch ungewiß, da die Briketts stark zur Schimmelbildung neigen.

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung der Ergebnisse auf dem Gebiet des Brikettierens von Halmgut muß hervorgehoben werden, daß sich grundsätzlich alle Halmgüter im Preßzylinder im Laborversuch brikettieren lassen, daß es aber bisher nur zwei amerikanische Feldmaschinen gibt, mit denen ausschließlich Rotklee- und Luzerneheu auf dem Felde brikettiert werden kann, und das auch nur bei hohem Leistungsbedarf und geringen Durchsatzmengen. Dennoch werden diese Maschinen in Amerika gebaut und eingesetzt, weil die Briketts die Mechanisierung der Halmgutfütterung ermöglichen und nur höchstens halb so viel Lagerraum beanspruchen wie Hochdruckballen. Die fortgeschrittene Arbeitsteilung in der landwirtschaftlichen Erzeugung Amerikas, mit der eine Aufteilung in Erzeuger- und Verbraucherbetriebe verbunden ist, und die zum Teil günstigen Klimabedingungen in einigen Staaten spielen dabei wohl eine wesentliche Rolle.

Die Beantwortung der Frage nach der Bedeutung des Brikettierverfahrens für deutsche Verhältnisse hängt von mehreren Entwicklungsfaktoren ab, z. B. davon, ob es gelingen wird, Wiesenheu und Stroh bei Durchsätzen von mindestens 5 bis 6 t/h mit vertretbarem Leistungsaufwand zu brikettieren (wobei allerdings die Ansichten über den vertretbaren Leistungsbedarf in einigen Jahren ganz anders sein können als heute). Vorteilhaft wäre ein Arbeitsgang, bei dem die Pflanzenhalme vor dem Brikettieren so zerstört werden, daß auch bei hohen Gutfeuchten gepreßte Briketts ihre Form behalten, also nicht durch die Rückdehnungskräfte wieder zerfallen. Damit könnte ein Ernteverfahren mit verringertem Wetterrisiko möglich werden, wenn es auch durch die Notwendigkeit einer nachträglichen Belüftung der Briketts erkauft werden müßte. Beachtung verdienen die amerikanischen Bemühungen, ein billiges und geschmackneutrales, chemisches Mittel zu finden, das dem Halmgut in Granulatform vor dem Brikettieren als Klebstoff zugemischt werden kann. Es sei auch nochmals darauf hingewiesen, daß nicht nur mit den hier behandelten Kolben- oder Walzenpreßverfahren das Brikettieren vorgenommen werden kann, sondern daß z. B. das Verdrehverfahren bei gleichhoher Verdichtung von Halmgut mit evtl. sehr viel geringerem Leistungsaufwand eines Tages technisch zu lösen sein wird. Neben diesen Entwicklungsmöglichkeiten kommt es auch noch darauf an, wie sich die Betriebsstruktur in der deutschen Landwirtschaft im Hinblick auf die EWG (Europäische Wirtschaftsgemeinschaft) ändern wird.

Im Augenblick und in der nahen Zukunft hat das Brikettieren von Halmgut in Deutschland wohl kaum eine Bedeutung; die aufgeführten Möglichkeiten lassen aber erkennen, daß sich das

sehr wohl ändern kann. Für diesen Fall sollen der Industrie Berechnungsunterlagen und technologische Daten zur Verfügung stehen.

Schrifttum

- [1] *Mewes, E.*: Über das Verdichten von landwirtschaftlichen Stoffen durch Verdrehen. Landtechn. Forschg. **8** (1958) S. 165/67.
- [2] *Bruhn, H. D.*: Pelleting grain and hay mixtures. Agric. Engng. **36** (1955) S. 330/31.
- [3] *Bruhn, H. D.*: Engineering problems in pelletized feeds. Agric. Engng. **38** (1957) S. 522/25.
- [4] *Bruhn, H. D., A. Zimmermann und R. P. Niedermeier.*: Developments in pelleting forage crops. Agric. Engng. **40** (1959) S. 204/07.
- [5] *Butler, J. L., und H. F. McColly.*: Factors affecting the pelleting of hay. Agric. Engng. **40** (1959) S. 442/46.
- [6] *Dobie, J. B.*: Engineering appraisal of hay pelleting. Agric. Engng. **40** (1959) S. 76/77 u. 92/93.
- [7] *Dobie, J. B.*: Production of hay wafers. Agric. Engng. **41** (1960) S. 366/69.
- [8] *Bellinger, P. L., und H. F. McColly.*: Energy requirements for forming hay pellets. Agric. Engng. **42** (1961) S. 180/81 u. 244/50.
- [9] *Lundell, V. J., und D. O. Hull.*: Field production of hay wafers. Agric. Engng. **42** (1961) S. 412/15 und S. 423 (ASAE-Paper Nr. 60-614).
- [10] *Pickard, G. E., W. M. Roll und J. H. Ramser.*: Fundamentals of hay wafering. Transactions ASAE 1961, S. 65/68.
- [11] *Dobie, J. B.*: Materials-handling systems for hay wafers. Agric. Engng. **42** (1961) S. 692/97. (ASAE-Paper Nr. 61-103.)
- [12] *Shepperson, G., und J. K. Grundey.*: Experiments in the production of hay wafers. J. Agric. Engng. Res. **7** (1962) S. 105/111.
- [13] *Gustafson, D.*: The durability test. ASAE-Paper Nr. 59-621.
- [14] *Witte, D., und D. Hunt.*: Energy requirements for extruding hay. ASAE-Paper Nr. 61-621.
- [15] *Kosch, M. A.*: Method of pelleting roughage crops. USA-Patent 2942976 vom 28. 6. 1960.
- [16] — Aufsammelpresse mit Laufkolbenpressung der Firma IHC. Deutsche Auslegeschrift 1091799 vom 27. 10. 1960.
- [17] *Jerman, J. A.*: Eine hydraulisch arbeitende Heupreßvorrichtung. Kanadische Patentschrift 622670 vom 27. 6. 1961.
- [18] — Maschine zum Formen von Heu und ähnlichem faserigen landwirtschaftlichen Erntegut zu Preßlingen der Firma Massey-Ferguson. Deutsche Auslegeschrift 1113604 vom 7. 9. 1961.
- [19] — Hay pelleting machine der Firma Ford-Motor-Company. USA-Patent 3 023 559 vom 6. 3. 1962.
- [20] *Bezručkin, I. B.*: Untersuchungen über das Pressen von Briketts aus Heumehl. Traktory i Selchozmašina 1958, S. 15/19. Übersetzung in englisch: J. Agric. Engng. Research **3** (1958) S. 267/71.
- [21] *Melniz, H. P.*: Das Brikettieren von Heumehl (russ.). Vestnik s.-ch nauki (Mitt. d. Landbauwiss.) 1958, Nr. 4, S. 143.
- [22] *Sergeev, M. P., und M. A. Perezogin.*: Die Untersuchung der Vorgänge beim Brikettieren von Raufutter. Mechanicazija i Elektrifikazija 1961, S. 20/22.
- [23] *Ossobow, W. I.*: Untersuchung des Brikettiervorganges bei Heu (russ.). Traktory i Selchozmašina 1962, Nr. 10, S. 25
- [24] *Ossobow, W. I.*: Die Adhäsion dünnstengelliger Güter beim Brikettieren (russ.). Vestnik s.-ch nauki (Mitt. d. Landbauwiss.) 1962, Nr. 8, S. 92.
- [25] *Franke, R.*: Untersuchungen des Preßvorganges bei Strohpressen der Landwirtschaft. Diss. TH Berlin 1933; s. a. Techn. i. d. Landw. **16** (1935) S. 30/32.
- [26] *Skalweit, H.*: Kräfte und Beanspruchungen in Strohpressen. RKTL-Schriften, Heft 88, Berlin: Beuth 1938, S. 30/35.
- [27] *Scheffter, H.*: Das Pressen von Stroh. Diss. TH Berlin 1943.
- [28] *Mewes, E.*: Zum Verhalten von Preßgütern in Preßtöpfen. Landtechn. Forschg. **8** (1958) S. 158/64.
- [29] *Mewes, E.*: Verdichtungsgesetzmäßigkeiten nach Preßtöpfversuchen. Landtechn. Forschg. **9** (1959) S. 68/75.
- [30] *Mewes, E.*: Kraftmessungen an Strohpressen. Grundlagen d. Landtechn. Heft 10. Düsseldorf 1958. S. 18/35.
- [31] *Alferow, S. A.*: Gesetzmäßigkeiten beim Pressen von Stroh (russ.). Selchozmašina 1957, Nr. 3, S. 6/10.
- [32] *Chancellor, W. J.*: Formation of hay wafers with impact loads. Agric. Engng. **43** (1962), S. 136/38 und 149.
- [33] *Rumpf, H.*: Grundlagen und Methoden des Granulierens. Chemie-Ing.-Technik **30** (1958) S. 329/36.