

- In der Trockenguttrommel sind kohlige Ansätze in angemessenen Abständen zu beseitigen.
- Es ist eine nach einheitlichen Gesichtspunkten geordnete Betriebsvorschrift zu erarbeiten und deren Befolgung durchzusetzen. Diese Betriebsvorschrift muß auch alle notwendigen Festlegungen bezüglich Brand- und Staubexplosionsschutz enthalten.
- Es ist ein Antihavariplan aufzustellen und ausreichendes Antihavarietraining durchzuführen.
- Betriebsvorschrift, Antihavariplan und -training sind auch mit der örtlichen Feuerwehr abzustimmen.
- In der Anlage sind nur geeignete, sowie hinreichend und regelmäßig bezüglich Betriebsvorschrift, Antihavarietraining und einschlägige Arbeitsschutzvorschriften unterwiesene Werk-tätige zu beschäftigen.
- Einbau eines geeigneten Brandmelders, der
  - Berieselung der brandführenden Apparate
  - Alarmanlage
  - Notabschaltung
 auslöst.
- Anstelle der Kanäle zum und vom Zyklon sind Rohre einzubauen.

- Schaffung bequemer Möglichkeiten zur Kontrolle und Beseitigung verkohlter Ansätze.
- Trockner sind auf eine Druckstoßfestigkeit von wenigstens
  - 1,2 at bis zum Trockentrommelausgang
  - 1,5 at ab Trockentrommelausgang, einschließlich Mahl-, Pelletier- und Abfüllteil auszulegen.
- Trockner so gestalten, daß auf betriebsmäßig heißen Teilen sich möglichst wenig Staub ablagern kann.
- Primär- und Sekundärluftansaugung so auslegen, daß kein brennbares Material, insbesondere kein Trockengutstaub, in den Ofen gezogen werden kann.

Die Schutzmaßnahmen bis „Einstellung geeigneter Werk-tätiger“ sind Sofortmaßnahmen, um bestehende Anlagen mit noch vertretbarem Risiko betreiben zu können. Wenn der Trockner hinsichtlich Brände und Staubexplosionen durch Trockengut volle Schutzgüte haben soll, müssen auch die übrigen vorgenannten Schutzmaßnahmen realisiert sein.

Die in dieser Arbeit vorgetragenen Gedanken gelten zunächst nur für den Trockner M 804. Sie können sinngemäß auch zur explosionsschutztechnischen Überprüfung anderer, vor allem direkt befeuerter Trockner, Anwendung finden.

A 9777

## Agglomerationsverhalten von Getreideganzpflanzen

Prof. Dr.-Ing. H. Krug, KDT / Dr.-Ing. W. Naundorf, KDT, Bergakademie Freiberg, Sektion Verfahrenstechnik und Silikatechnik

Nachdem über die Untersuchungsergebnisse zur Verpressung von getrockneten Zuckerrübenschnitzeln sowie von Schweine- und Rindermastfuttern /1/ /2/ /3/ bereits berichtet wurde, sollen hier die bei der Agglomeration von Getreidepflanzen gesammelten Erfahrungen dargelegt werden.

Für die Untersuchungen stellte der Auftraggeber die Ganzpflanzen Weizen, Gerste (grün) und Gerste (reif) gehäckselt mit Halm-längen bis etwa 60 mm zur Verfügung. Nach den bisherigen Erfahrungen bei der Agglomeration von Rindermastfutter /3/ wäre aus verfahrenstechnischer Sicht für das Verpressen eine Zerkleinerung der Ganzpflanzen auf Halm-längen zwischen 5/0 mm bis maximal 10/0 mm erstrebenswert.

### 1. Festlegung der Mahlfineinheit der Getreideganzpflanzen

Die Besonderheit der gehäckselten Ganzpflanzen besteht darin, daß sie ihren natürlichen Körneranteil nahezu unzerkleinert enthalten. Es ist deshalb im Hinblick auf die Verwertung der Körner im Tiermagen sowie für die Ausnutzung der Bindekräfte der Kornsubstanz bei der Brikettierung von besonderem Interesse, bei welcher Feinheit des Stroh auch die Körner genügend zerkleinert sind, da diese beiden Stoffkomponenten der Ganzpflanzen ein grundlegend unterschiedliches Zerkleinerungsverhalten besitzen.

Die Testversuche wurden mit einer Laborschlag-nasenmühle durchgeführt. Nach der Zerkleinerung der Ganzpflanzen wurde das Stroh von der Körnermasse durch Sichtung getrennt, um die Wechselwirkung zwischen der Feinheit der Halmsubstanz und der der Körner feststellen zu können. Für die Ganzpflanze Weizen sind die Ergebnisse in den Bildern 1a, 1b und 1c dargestellt.

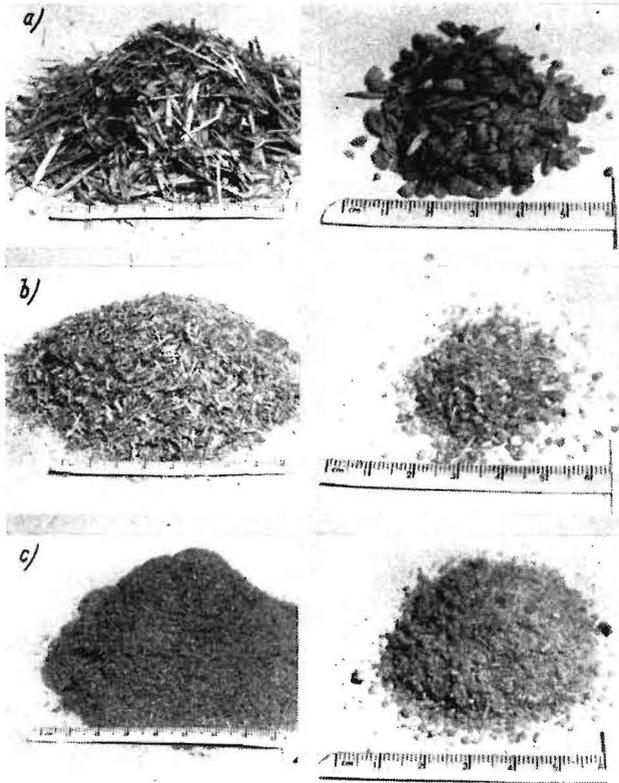
Mit der Feinheit der Zerkleinerungsstufe 1 (Bild 1a) wurde das Gut vom Auftraggeber gehäckselt mit einer maximalen Halm-länge von etwa 60 mm angeliefert. Eine spürbare Zerkleinerung der Körner hat hier noch nicht stattgefunden. Bei den Zerkleinerungsstufen 2 wurde das Stroh auf eine Halm-länge von etwa 10/0 mm zerkleinert, während bei der Stufe 3 das Stroh mehlig zerpulvert war. Hiernach ist es also ohne Schwierigkeiten möglich, die Halmkomponente der Ganzpflanzen auf sehr hohe Feinheiten zu zerkleinern.

Vergleicht man jedoch dazu den Aufschlußeffect der Körner, so ist ab der Zerkleinerungsstufe 2 keine weitere Zunahme der Feinheit der Körnersubstanz mehr feststellbar. Das liegt darin begründet, daß die kleinen und spezifisch schwereren Körner den Mahlraum schneller als das Stroh verlassen und demzufolge nur einer begrenzten Anzahl von Schlägen durch die Mahlorgane ausgesetzt sind. Für die Verpressung von Getreideganzpflanzen ergibt sich hieraus die Schlußfolgerung, daß das Gut auf etwa die Feinheit der Stufe 2 zerkleinert werden sollte, um das Bindevermögen des Körneranteils bei der Verpressung zufriedenstellend zu nutzen. Diese Feinheit ist auch aus preßtechnischer Sicht vorteilhaft. Für alle nachfolgend beschriebenen Brikettversuche wurden deshalb die Ganzpflanzen auf 10/0 mm zerkleinert.

### 2. Verpressung ohne gesonderte Bindemittel

Bei den Versuchen auf der hydraulisch betriebenen Stempel-presse mit geschlossener Form wurde der Anteil der Ganzpflanzen am Brikettiergut zwischen 74 und 86 Prozent variiert. Da die restlichen Bestandteile (Tafel 1) zur Standardmischung des Futters gehören, sollen sie nicht als gesonderte Bindemittel betrachtet werden, obwohl sie selbstverständlich größtenteils eine Bindemittelfunktion bei der Verpressung übernehmen. Entgegen den aus den bisherigen Erfahrungen abgeleiteten Erwartungen konnten trotz ausreichender Bedampfung und Erwärmung des Brikettierguts selbst bei Preßdrücken bis 400 kp/cm<sup>2</sup> ohne Bindemittel keine befriedigend festen Formlinge hergestellt werden. Einigermaßen ausreichende Festigkeitswerte wurden allenfalls bei der Ganzpflanze Weizen erzielt. Für die zwei Proben der Ganzpflanze Gerste war die Qualität der Preßlinge sogar sehr schlecht. Es ist deshalb unabdingbar, gegenüber den beim Rindermastfutter /3/ zum Erfolg führenden Parametern weitere Effekte zu nutzen, um zusätzliche Bindekräfte zu mobilisieren.

Außer dem Vergleich zwischen dem Brikettierverhalten von Getreideganzpflanzen und völlig ausgereiftem Stroh interessiert auch der Einfluß des Reifegrades der Getreideganzpflanzen auf die Qualität der daraus hergestellten Formlinge. Es konnte festgestellt werden, daß der bislang aufgezeigte



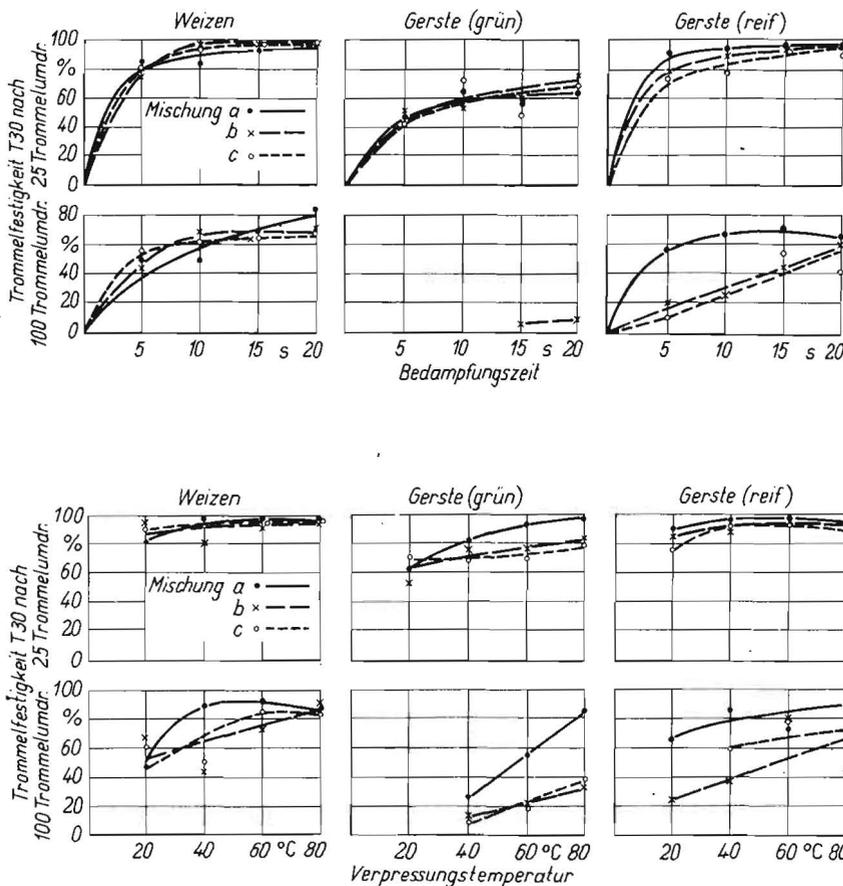
**Bild 1.** Ganzpflanze Weizen gehäckselt in  
 a) Zerkleinerungsstufe 1  
 b) Zerkleinerungsstufe 2  
 c) Zerkleinerungsstufe 3

Grundtrend bezüglich des Einflusses des Reifegrades auch hier erhalten bleibt. Ein Vergleich der Versuchsergebnisse der Ganzpflanzen Gerste (grün) und Gerste (reif) im Bild 2 verdeutlicht diesen Sachverhalt besonders augenfällig. Bei der Betriebsführung von Produktionsanlagen sollte diese Verschlechterung des Agglomerationsverhaltens der Getreideganzpflanzen mit abnehmendem Reifegrad keinesfalls unberücksichtigt bleiben.

Die Verschlechterung der Brikettierbarkeit der Getreideganzpflanzen mit abnehmendem Reifegrad wird teils durch das sich verstärkende Quellverhalten und die geringer werdende Festigkeit der Strohhalme bedingt. Dazu kommt noch, daß der Masseanteil der Körner, die für die Ausbildung eines festen Formlingverbandes von entscheidender Bedeutung sind, um so mehr abnimmt, je früher geerntet wurde. Der qualitätsverbessernde Effekt der Bedampfung des Brikettierguts, mit der ja eine Aktivierung der latenten Bindekräfte des Getreidekonzentrats bewirkt werden soll, geht folglich um so mehr verloren, je geringer der Reifegrad der Ganzpflanzen ist.

Die Qualität der Formlinge verbessert sich erwartungsgemäß mit zunehmender Verpressungstemperatur (Bild 3). Bei gleichzeitiger Nutzung des Bedampfungseffekts ist aber die dadurch erreichte Qualitätszunahme größtenteils noch nicht ausreichend, um genügend feste Formlinge zu erzeugen. Lediglich bei der Ganzpflanze Weizen werden ab etwa 70 °C genügend hohe T-30-Werte erzielt. Bei den Ganzpflanzen Gerste (grün) und Gerste (reif) trifft dies allenfalls für die Mischung a zu.

Den Kennlinien in den Bildern 2 und 3 ist weiterhin zu entnehmen, daß durch die Wasserdampfeinblasung und die Gутаufwärmung das Ammoniumbicarbonat (Mischung a) immer mehr als Aufschlußmittel wirksam wird, was sich positiv auf das Brikettierverhalten des Strohs auswirkt. Die Wirkung



**Bild 2.** Einfluß der Bedampfungintensität auf den Verpressungserfolg bei Ganzpflanzen

**Bild 3.** Einfluß der Verpressungstemperatur bei der Bedampfungszeit von 10 s auf den Verpressungserfolg bei Ganzpflanzen

Bild 4. Einfluß des Anteils von aufgeschlossenem Stroh (bezogen auf Ganzpflanzenanteil) und dessen Feuchtegehalt auf die Festigkeit der Formlinge; dünne Linien: C = 12 Prozent, auf  $W_{Na} = 20,2$  Prozent vorgetrocknet, Bedampfungszeit 10 s (obere Gruppe); dicke Linien: C = 6 Prozent, nicht vorgetrocknet ( $W_{Na} = 52,2$  Prozent) ohne Bedampfung, (untere Gruppe); Preßdruck 400 kp/cm<sup>2</sup>, Verpressungstemperatur 20 °C

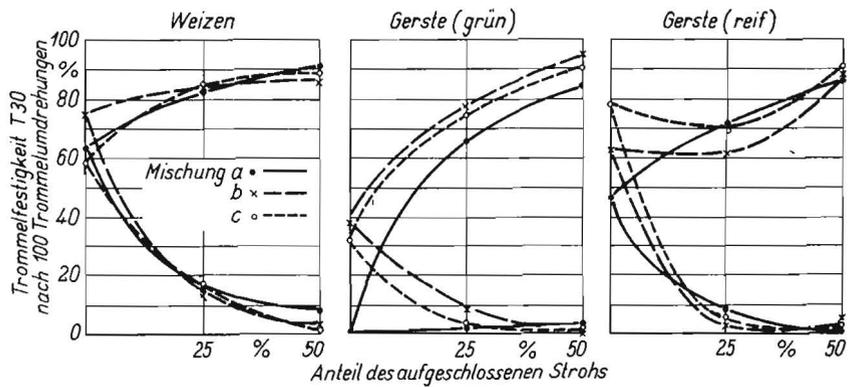
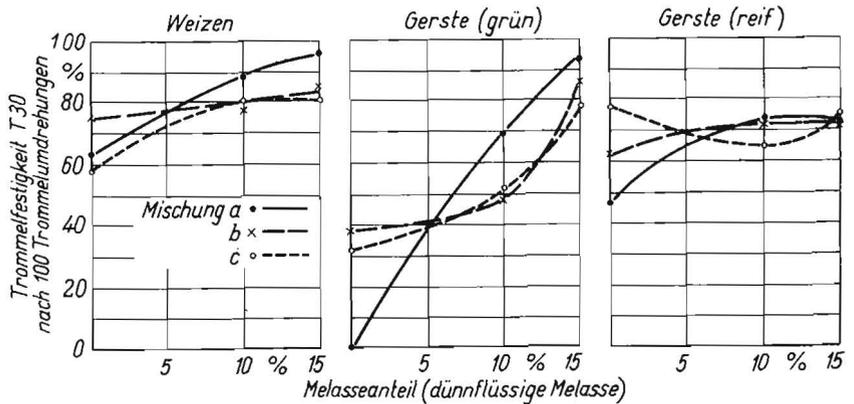


Bild 5. Einfluß des Anteils von Melasse auf die Festigkeit der Formlinge von Ganzpflanzen; Preßdruck 400 kp/cm<sup>2</sup>, Bedampfungszeit 5 s, Verpressungstemperatur 20 °C. Brikkettiergut nachgetrocknet



des Harnstoffs (Mischungen b und c) ist mindestens im Hinblick auf die Veränderung der Brikettierbarkeit der Proben wesentlich geringer als beim Ammoniumbicarbonat. Generell verbleibt dennoch der Befund, daß abgesehen von der relativ ausgereiften Ganzpflanze Weizen selbst das Aufschlußmittel Ammoniumbicarbonat im hier untersuchten Temperaturbereich (bis etwa 80 °C) noch nicht zu ausreichend festen Formlingen führt. Das ist offenbar erst ab Temperaturen über 100 °C zu erwarten. Eine derartige Gut-aufwärmung erscheint jedoch technisch und ökonomisch problematisch.

### 3. Verpressung mit gesonderten Bindemitteln

#### 3.1. Zusatz von aufgeschlossenem Stroh

Bei Brikettversuchen zur Verbesserung des Agglomerationsverhaltens von Stroh war festgestellt worden, daß durch den Aufschluß des Strohs mit NaOH eine große Kapazität an Bindekräften neu erschlossen wird. Es lag deshalb der Gedanke nahe, das aufgeschlossene Stroh bei der Verpressung der Getreideganzpflanzen als Bindemittel zu nutzen.

Dazu wurden 25 bzw. 50 Prozent der Mengenanteile der Getreideganzpflanzen durch aufgeschlossenes Stroh ersetzt. Nach den Erfahrungen, die wir mit anderen Produkten 1/4/15/16/ sammeln konnten, müßte eine Vortrocknung auf den optimalen Brikettierwassergehalt des aufgeschlossenen Strohs von etwa 20 bis 25 Prozent notwendig sein. Andererseits war es nicht ganz ausgeschlossen, daß es in der Mischung mit den übrigen übertrockneten Produkten zu einem gewissen Feuchtigkeitsausgleich kommt, der die Vortrocknung erübrigt. Zur Klärung dieser Frage wurde das aufgeschlossene Stroh in beiden Varianten dem Brikettiergut zugemischt. Bei den Versuchen mit dem feuchten NaOH-Stroh wurde auf eine zusätzliche Bedampfung des Brikettierguts verzichtet. In allen übrigen Fällen betrug die Bedampfungszeit 10 s.

Wie dem Bild 4 zu entnehmen ist, führt die Zumischung von aufgeschlossenem Stroh mit einem Wassergehalt von

52,2 Prozent (Aufschluß mit 6prozentiger NaOH mit einem Stroh/Lauge-Masseverhältnis von 1:1) in allen Fällen gegenüber den Ergebnissen ohne NaOH-Stroh zu einer sehr starken Verschlechterung der Festigkeitswerte. Besonders unangenehm war außerdem, daß die Formlinge durch die große Feuchtigkeitsmenge des aufgeschlossenen Strohs sehr stark expandierten und häufig schon ohne größere mechanische Beanspruchung in kleinere Teilstücke zerfielen. Durch eine zusätzliche Bedampfung des Brikettierguts wären diese Quellungserscheinungen noch verstärkt worden.

Um den Aufwand bei der Vortrocknung zu verringern, wurde das Stroh mit 12prozentiger NaOH und einem Stroh/Lauge-Masseverhältnis von 2:1 aufgeschlossen. Der Feuchtegehalt dieses NaOH-Strohs lag mit 36 Prozent immer noch im überoptimalen Bereich. Wie Testversuche bestätigen, lassen sich auch mit diesem abgesenkten Wassergehalt nur Formlinge mit schlechter Qualität herstellen. Positive Ergebnisse stellen sich nach Bild 4 erst ein, wenn NaOH-Stroh mit einem „unteroptimalen“ Wassergehalt von 20,2 Prozent verwendet wird. Unter dieser Voraussetzung gelingt es, bei gleichzeitiger Nutzung des Bedampfungseffekts, Formlinge mit sehr guter Qualität herzustellen. Auf die Bedampfung des Brikettierguts darf dabei keinesfalls verzichtet werden, weil sonst die latenten Bindekräfte des Getreidekonzentrats und der Zuckerrübenschnitzel inaktiv bleiben. Unter den genannten Versuchsbedingungen expandieren die Preßlinge verhältnismäßig wenig. Gefährliche Ribzonen konnten nicht festgestellt werden. Die erreichten Rohdichten von 0,628 bis 0,742 g/cm<sup>3</sup> bestätigen das Ergebnis der Festigkeitsuntersuchung, daß es sich um gut durchpreßte Formlinge mit einem stabilen Brikettverband handelt.

Der unteroptimale Brikettierwassergehalt kann in der Weise eingestellt werden, daß das NaOH-Stroh zusammen mit den Ganzpflanzen den Trocknern aufgegeben wird.

Andererseits wäre es denkbar, daß man dieses Stroh außerhalb der Kampagnezeiten auf Vorrat trocknet. Des weiteren bietet es sich als vorteilhaft an, den Aufschluß des Strohs

so zu gestalten, daß der Wassergehalt von 25 Prozent nicht überschritten wird.

### 3.2. Zusatz von Melasse

Da die Melasse in den Zuckerfabriken als ein Abfallprodukt mit hohem Nährwert und guter Klebkraft anfällt, war es naheliegend, auch diesen Stoff als Bindemittel zur Agglomeration von Ganzpflanzen einzusetzen. Für die Untersuchungen stand eine dünnflüssige Melasse mit einem Wassergehalt von 55,3 Prozent zur Verfügung, die sich im kalten Zustand sehr gut verdünnen ließ.

Die ersten Brikettversuche wurden mit einem Melasseanteil von 10 Prozent (dünnflüssig) und gleichzeitiger Nutzung des Bedampfungseffekts durchgeführt. Die hierbei erzielten Festigkeitswerte waren sehr schlecht.

Nach der Verdunstung des überschüssigen Wassers der Melasse konnte festgestellt werden (Bild 5), daß sich alle Getreideganzpflanzen mit Melasse sehr gut brikettieren lassen. Selbstverständlich setzt dieses positive Ergebnis voraus, daß der Bedampfungseffekt mit genutzt wird. Der Festigkeitszuwachs ist aufgrund des niedrigeren Ausgangsniveaus bei der Ganzpflanze Gerste (grün) am größten. Bei einem Melasseanteil von 15 Prozent ( $\cong$  bei dickflüssiger Melasse etwa 10 Prozent) liegen die T-30-Werte nach 100 Trommelumdrehungen größtenteils über 80 Prozent, mindestens jedoch über 72 Prozent. In einigen Fällen wurden sogar Trommelfestigkeitswerte von über 90 Prozent festgestellt. Derartige Preßlinge sind für eine direkte Verfütterung bereits zu hart. Die Rohdichten der Formlinge erreichten Werte um 0,8 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.3. Zusatz von Silage

Als weiteres Bindemittel, das in der Landwirtschaft in ausreichenden Mengen verfügbar ist, bietet sich Silage an. Für Grassilage wurde ein optimaler Brikettierwassergehalt von etwa 15 Prozent ermittelt. Bei Rübenblattsilage betrug er etwa 20 Prozent. Es ist auch hier unabdingbar, den Bedampfungseffekt voll zu nutzen. Brikettversuche mit Getreideganzpflanzen konnten leider nicht mehr durchgeführt werden. Nach den positiven Versuchsergebnissen mit Stroh kann es jedoch als aussichtsreich angesehen werden, daß sich durch das Zumischen von 15 bis 20 Prozent Rübenblattsilage auch die Getreideganzpflanzen mit Erfolg verpressen lassen. Das Bindevermögen von Grassilage ist leider wesentlich geringer als das von Blattsilage.

Wahrscheinlich wird es zweckmäßig sein, die Silage zusammen mit den Getreideganzpflanzen zu trocknen. Diese Variante wäre zugleich mit dem Vorteil verbunden, daß das Mischungs- und Zerkleinerungsproblem nicht gesondert zu bewältigen ist. Sollte eine gleichzeitige Trocknung nicht möglich sein, so müßte die Silage außerhalb der Kampagnezeiten auf Vorrat getrocknet werden.

## 4. Ergebnisse der Untersuchungen auf der Formmuldenwalzenpresse

Die Grundlagenuntersuchungen auf der hydraulisch betriebenen Stempelpresse mit geschlossener Form haben ergeben, daß die Getreideganzpflanzen in den vorgegebenen Mischungsverhältnissen (Tafel 1) mit einem Preßdruck von etwa 400 kp/cm<sup>2</sup> zu Formlingen mit einer guten Festigkeit verpreßt werden können, wenn die dargelegten Bedingungen eingehalten werden. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen wurden 2 Testversuche auf der Formmuldenwalzenpresse in Freiberg mit folgenden Mischungen durchgeführt, wobei alle Halmprodukte auf 10/0 mm zerkleinert waren:

Versuch 1

- 60 Prozent Ganzpflanzen  
Weizen
- 20 Prozent Granulat
- 20 Prozent getrocknetes  
NaOH-Stroh

Tafel 1. Rezepturen der Preßgutmischungen

	Rezepturbestandteile der Mischungen in Prozent		
	a	b	c
Ganzpflanzen	74	86	80
Granulat (Zuckerrübenschnitzel + Getreidekonzentrat)	20	—	15
Zuckerrübenschnitzel	—	10	—
Harnstoff	1,5	2,0	2,5
Ammoniumcarbonat	2,0	—	—
Mineralstoffe	2,5	2,0	2,5

Versuch 2

- 72 Prozent Ganzpflanzen  
Weizen
- 18 Prozent Granulat
- 10 Prozent Melasse

Als besonders vorteilhaft ist der Befund dieser Versuche hervorzuheben, daß der Verpressungsvorgang nach einer einmaligen Einstellung der Presse nahezu im Beharrungszustand abließ. Eine fortwährende Abstimmung zwischen der Stopfschnecken- und Preßwalzendrehzahl, wie es bei anderen strohhaltigen Futtermitteln bislang notwendig war, machte sich nur selten erforderlich. Außerdem bildeten sich äußerlich gut aussehende und hinreichend feste Formlinge. Die T-30-Werte nach 25 Trommelumdrehungen, die für die praktischen Erfordernisse bereits eine beachtliche Beanspruchung darstellen, betrugen 67 bzw. 70 Prozent.

Die stündliche Fertigguterzeugung betrug auf der Technikpresse mit einer Walzenbreite von lediglich 130 mm und einer Walzenumfangsgeschwindigkeit von nur 0,22 m/s durchschnittlich 1,4 t/h. In Produktionsanlagen sind somit Durchsätze von etwa 5 bis 8 t/h durchaus möglich. Der Arbeitsbedarf für die Verpressung schwankte zwischen 12,5 bis 14,5 kWh/t Fertigprodukt. Dieser relativ günstige Wert müßte sich bei großen Pressen noch etwas verringern.

## 5. Zusammenfassung

Es wurde das Agglomerationsverhalten der Ganzpflanzen Weizen, Gerste (grün) und Gerste (reif) untersucht. Der Anteil der Ganzpflanzen an den vorgegebenen Mischungen schwankte zwischen 74 und 86 Prozent. Die Untersuchungen ergaben, daß diese Produkte mit einem Preßdruck von 400 kp/cm<sup>2</sup> trotz Gutaufwärmung und Bedampfung nicht zu befriedigend festen Formlingen verpreßt werden können. Gute Ergebnisse wurden nur erreicht, wenn den Mischungen etwa 25 Prozent NaOH-Stroh oder 10 Prozent Melasse zugegeben wurden. Ähnlich gute Ergebnisse sind zu erwarten, wenn Silage als Bindemittel verwendet wird.

## Literatur

- 1/ Krug, H.; Naundorf, W.: Pressen getrockneter Zuckerrübenschnitzel. *agrartechnik* 24 (1974) H. 3, S. 127—131.
- 2/ Krug, H.; Naundorf, W.: Untersuchungen zum Agglomerationsverhalten von Schweinemastfutter. *agrartechnik* 24 (1974) H. 5, S. 229—232.
- 3/ Krug, H.; Naundorf, W.: Untersuchungen zum Agglomerationsverhalten von Rindermastfutter. *agrartechnik* 24 (1974) H. 6, S. 293—296.
- 4/ Krug, H.; Naundorf, W.; Trommer, D.; Hauptmann, W.: Zur Brikettierung von Braunkohle in einer Dampfmasosphäre auf der hydraulischen Presse.  
Teil I: Der Einfluß der Bedampfungsintensität auf die Brikettqualität bei verschiedenen Preßdrücken, Körnungen und Wassergehalten der Brikettiertrockenkohle. *Neue Bergbautechnik* 2 (1972) H. 5, S. 368—375.
- 5/ Krug, H.; Naundorf, W.; Trommer, D.; Hauptmann, W.: Zur Brikettierung von Braunkohle in einer Dampfmasosphäre auf der hydraulischen Presse.  
Teil II: Beeinflussung des Bedampfungseffektes durch Dampftemperatur, Brikettiergultemperatur und Brikettdicke. *Neue Bergbautechnik* 2 (1972) H. 7, S. 523—528.
- 6/ Krug, H.; Naundorf, W.; Trommer, D.; Schönherr, D.: Beitrag zur Kohle/Koks-Brikettierung. Teil I: Grundlagenuntersuchungen. *Erscheint in Neue Bergbautechnik.* A 9650