

Christian Füll und Thomas Schuricht, Potsdam-Bornim

Lagerung und Dosierung von Biofestbrennstoffen

Verbrennungsanlagen für Biofestbrennstoffe stehen in der Praxis unter einem starken Kostendruck. Lager- und Dosierbehälter für Holzhackschnitzel können gegenüber der Praxis einfacher gestaltet werden, wenn die Dimensionierung auf der Grundlage der im Labor ermittelten Fließeigenschaften erfolgt. Bei pelletierten oder brikettierten Biofestbrennstoffen aus Stroh oder Holz darf ein zulässiger Abriebanteil nicht überschritten werden, wenn Auslaufstörungen in Behältern mit kostengünstigen Entnahmesystemen vermieden werden sollen.

Die in der Praxis überwiegend vorhandenen Lager- und Dosierbehälter mit vertikalen Wänden und großflächigen Untenentnahmesystemen sind sehr aufwendig. In diesem Beitrag wird über die Bestimmung der physikalischen Fließeigenschaften eines ausgewählten, praxisrelevanten Holzhackschnitzelgutes berichtet, auf deren Grundlage eine Dimensionierung von kostengünstigen Behältern mit Gravitationsfluß möglich ist. Es werden ferner aus experimentell und theoretisch gewonnenen Untersuchungsergebnissen Empfehlungen für die Lagerung und Dosierung von pelletierten und brikettierten Biofestbrennstoffen gegeben.

Physikalische Eigenschaften

Fließeigenschaften

von Holzhackschnitzeln

Als Versuchsmaterial wurden Pappel – Holzhackschnitzel verwendet.

Die Fließeigenschaften werden durch Scherfestigkeitsmessungen bestimmt. Die Wertepaare von Normalspannung σ_i und Scherspannung τ_i , bei denen das Fließen beginnt, sind Tangentialpunkte von Mohrschen Kreisen, deren Einhüllende der entsprechende Fließort ist (Bild 1).

Als Meßgerät eignet sich für verdichtbare organische Stoffe das Ringschergerät auf Grund des unendlichen Scherweges besser als das Translationsschergerät. Aus einer Fließortfamilie und dem

Priv. Doz. Dr.-Ing. habil. Christian Füll leitet die Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung im ATB Potsdam-Bornim (Wiss. Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zasko). Thomas Schuricht ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in dieser Abteilung.
Referierter Beitrag der Landtechnik

Wandfließort werden die Kenngrößen: innerer Reibungswinkel φ_i , effektiver Reibungswinkel φ_e , stationärer Reibungswinkel φ_{St} , einaxiale Druckfestigkeit σ_c , Kohäsion τ_c (Scherfestigkeit bei der Normalspannung $\sigma_N = 0$), Wandreibungswinkel φ_x und Adhäsion τ_{cx} (Wandscherfestigkeit bei der Normalspannung $\sigma_N = 0$) ermittelt (Bild 1).

Der Wandreibungswinkel gegenüber ei-

Tab. 1: Physikalische Eigenschaften und Silogeometrie für Pappel – Holzhackschnitzel (Gutfeuchtigkeit $u = 11,8\%$ und $52,8\%$)

Table 1: Physical properties and silo geometry of poplar chips (moisture content = $11,8\%$ and wet-base $52,8\%$)

	Pappel-Hackschnitzel	
	Probe 1 $u = 11,8\%$	Probe 2 $u = 52,8\%$
Wandreibungswinkel [°] gegen Stahl	12,1	20,0
Schüttdichte [kg/m ³]	145	222
kritische einaxiale Druckfestigkeit [10 ³ N/m ²]	0,5	1,22
• Axialsymmetrische Behälter		
Wandneigung [°]	30,0	25,0
Auslaufdurchmesser [m]	0,86	1,34
• Keilförmige Behälter		
Wandneigung [°]	37	30
Spaltbreite [m]	0,42	0,62

ner walzrauen Stahloberfläche ist für ein lufttrockenes Gut mit einer Gutfeuchte von $u = 11,8\%$ mit $\varphi_x = 12,1^\circ$ erwartungsgemäß niedriger als für ertrocknetes Gut mit $u = 52,8\%$, bei dem ein Wert von $\varphi_x = 20,0^\circ$ gemessen wurde (Tab. 1).

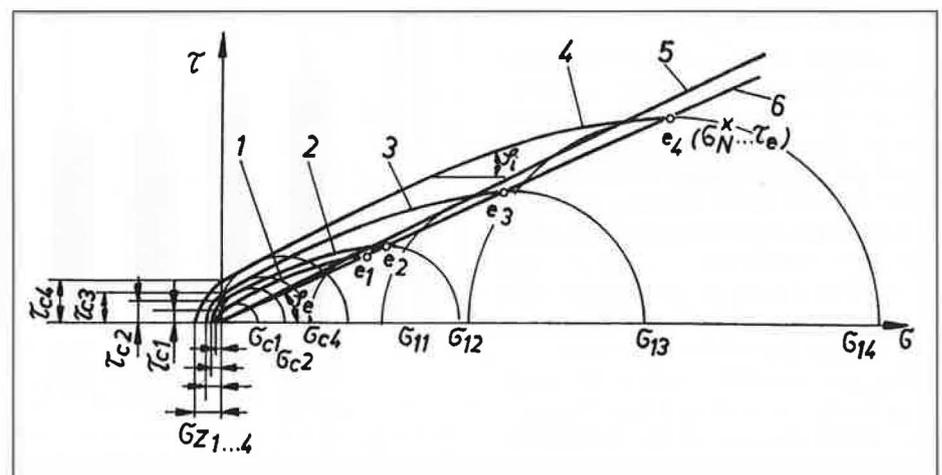


Bild 1: Darstellung der Fließorte im Mohrschen Normalspannungs–Scherspannungs–Diagramm

Fig. 1: Picture of yield loci in the Mohr normal stress – shear stress diagram

Die Schüttdichte ist mit $\rho_s = 145 \text{ kg/m}^3$ bei dem trockenen Gut ebenfalls niedriger als bei dem ertrockneten Gut, bei dem sie $\rho_s = 222 \text{ kg/m}^3$ beträgt (Tab. 1).

Aus den Ergebnissen der Scherfestigkeitsmessungen ist die Tendenz zu erkennen, daß das ertrocknete Gut durch die höheren einaxialen Druckfestigkeiten schlechtere Fließeigenschaften als lufttrockenes Gut besitzt (Bild 2).

Fließeigenschaften von Strohpellets

Ist der Abrieb von Strohpellets so hoch, daß die Pellets im Abrieb eingebettet sind, werden die Fließeigenschaften gravierend vermindert. Der zulässige Grenzwert für den Abriebanteil m_{FK} an der Gesamtmasse aus Abrieb und Pellets $m_{FK} + m_{GK}$ läßt sich theoretisch nach folgender Gleichung berechnen [1]:

$$\frac{m_{FK}}{m_{FK} + m_{GK}} = \frac{\rho_{SGK} \rho_{GK}}{\rho_{GK} - \rho_{SGK} + \rho_{SFK}} \quad (1)$$

Er hängt ab von der Schüttdichte des Abriebs ρ_{SFK} , von der Schüttdichte der Pellets ρ_{SGK} und von der Pelletdichte ρ_{GK} . Nach dieser Gleichung erhält man für Strohpellets Grenzwerte, die unter 15% zulässigem Abriebanteil liegen.

Der Wandreibungswinkel von Stroh gegenüber einer walzrauen Stahloberfläche hängt von der Gutfeuchtigkeit und von der Strohart ab. Er liegt bei Gutfeuchten u unter 20% im Bereich von $\varphi_x = 10^\circ$ bis 23° .

Fließtechnische Dimensionierung von Behältern

Holzhackschnitzel

Würden Holzhackschnitzel keine Kohäsion aufweisen, könnte die Dimensionierung der Auslauföffnung von Behältern nach den maximalen Korngrößen vorgenommen werden.

Bei kohäsiven Stoffen hat sich die fließtechnische Dimensionierung von Behältern nach dem Jenike-Verfahren [4] be-

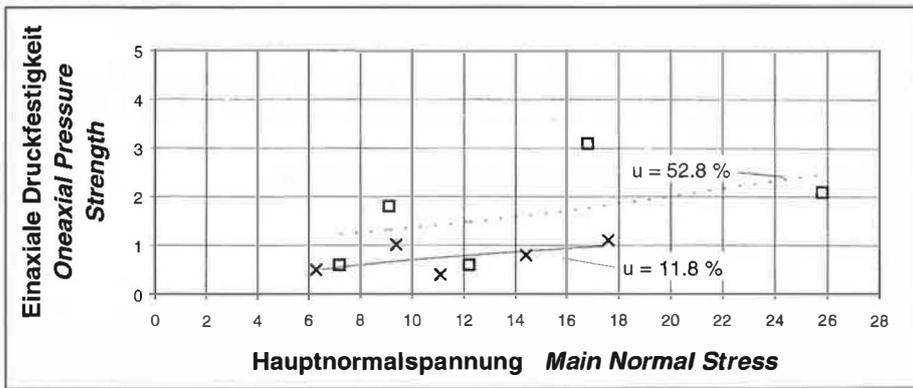


Bild 2: Verlauf der einaxialen Druckfestigkeit von erntefeuchten und lufttrockenen Pappel – Holzhackschnitzeln als Funktion der Hauptnormalspannung

Fig. 2: Course of one axial pressure strength of harvest moist and air-dry poplar – chips as function of the main normal stress

währt. Für Massenflusilos wird der Neigungswinkel der Trichterwände zur Vertikalen Θ hiernach in Abhängigkeit vom Wandreibungswinkel φ_x festgelegt. Zur Vermeidung von Auslaufstörungen werden die notwendigen Abmessungen für die Schlitzbreite b_A bei keilförmigen Ausläufen und für den Durchmesser d_A bei kegeligen Ausläufen von Massenflusilos nach Gleichung (2) berechnet:

$$b_A, d_A = (1 + m) \frac{\sigma_{c, \text{krit}}}{\rho_L \cdot g} \cdot \sin 2(\varphi_x + \Theta) \quad (2)$$

- b_A - Schlitzbreite von Keiltrichtern
- d_A - Durchmesser
- m - = 0 für b_A (keilförmiger Verlauf), = 1 für d_A (kegeliger Verlauf)
- $\sigma_{c, \text{krit}}$ - kritische einaxiale Druckfestigkeit bei Massenfluß
- ρ_L - Lagerungsdichte
- φ_x - Wandreibungswinkel
- Θ - Trichterneigungswinkel zur Vertikalen

Die kritische einaxiale Druckfestigkeit $\sigma_{c, \text{krit}}$ wird aus der Gleichsetzung der Fließfunktion $\sigma_c = f(\sigma_1)$ und dem Fließfaktor ff_d nach Jenike bestimmt [4]. Mit Hilfe dieser Dimensionierungsrichtlinien ergeben sich für die Neigung der Trichterwände zur Vertikalen bei axialsymmetrischen Behältern und hohen Gutfeuchten sehr kleine Winkel. Bei keilförmigen Behältern sind die Winkel größer, die Neigung zur Horizontalen ist also geringer (Tab. 1). In der Praxis sollten aus Sicherheitsgründen etwa um 5° kleinere Winkel vorgesehen werden. Der berechnete Auslaufdurchmesser ist für das lufttrockene Gut kleiner als bei den erntefeuchten Hackschnitzeln (Tab. 1). Geringere Abmessungen erhält man für keilförmige Behälter.

Strohpellets

Der Trichterneigungswinkel zur Vertikalen muß bei Strohpellets bei Massenflusilos für axialsymmetrische Auslauftrichter unter 20° und für Keiltrichter unter 27° ge-

wählt werden. Da zur Berechnung der Auslauföffnung Scherfestigkeitsmessungen mit dem Abrieb der Strohpellets nur schwer möglich sind, wurden in großtechnischen Experimenten die Bedingungen für die störungsfreie Entnahme für ein axialsymmetrisches Silo mit einem Trichterneigungswinkel zur Vertikalen von $\Theta = 20^\circ$ und einem Entnahmedurchmesser von $d_A = 160$ mm ermittelt [2]. Aus den Ergebnissen läßt sich für den zulässigen Abriebanteil m_{Azul} [%], in Abhängigkeit von der Gutfeuchtigkeit u [%] und der Lagerdauer t_L [h] folgende Regressionsgleichung formulieren:

$$m_{Azul} = \frac{642,34}{u} - 0,19 \cdot t_L - 21,99 \quad (3)$$

Für eine Lagerdauer von 48 h erhält man das Diagramm in Bild 3.

Dosierung

Für die Dosierung von Biofestbrennstoffen in Verbrennungsanlagen sind Volumendosierer in der Regel ausreichend, wenn für gleichmäßiges Zufließen zu den Entnahme- und Dosierorganen gesorgt wird. Die geringsten Dosierfehler erhält man beim Einsatz von Dosierschnecken [3]. Wichtig ist, daß der systematische Fehler durch die Schüttdichte so klein wie möglich gehalten wird. Dann sind selbst unter Berücksichtigung von zufälligen

Bild 3: Bedingungen für störungsfreies Ausfließen von Strohpellets aus einem axialsymmetrischen Silo in Abhängigkeit von Abriebanteil und Gutfeuchtigkeit bei einer Lagerdauer von 48 h. (Trichterneigungswinkel zur Vertikalen: 20°, Entnahmedurchmesser: 160 mm)

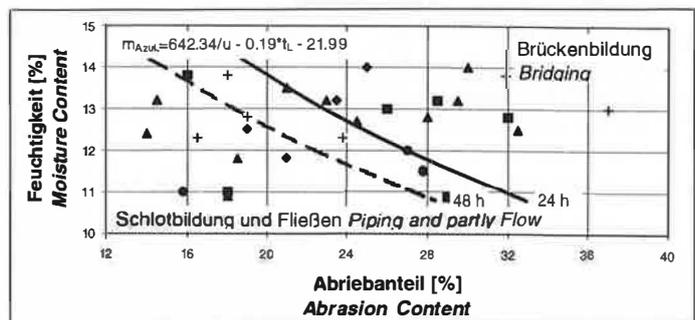


Fig. 3: Conditions for troublefree discharge of straw pellets from an axially symmetric silo depending on abrasion content and substance moisture for a storage duration of 48 h (funnel angles of inclination to the vertical: 20°, discharge diameter: 160 mm)

Fehlern durch Schwankungen des Füllungsgrades der Schneckengänge und des Geschwindigkeitsbeiwertes Gesamtdosierfehler unter 5 % möglich.

Stegkettendosierer bieten sich ebenfalls für große Entnahmeöffnungen an. Sie haben in der Regel Dosierfehler über 5 % [3]. Der zufällige Dosierfehler (Dosiergleichmäßigkeit) nimmt bei geringen Abständen der Stege oder entsprechender Gestaltung der Abwurfkante ab.

Schlußfolgerungen

Für Holzhackschnitzel erhält man bei einer Dimensionierung nach den Fließeigenschaften Entnahmeöffnungen, die Entnahmetechniken mit einem geringen technischen Aufwand ermöglichen. Die Zerkleinerungstechnik muß zukünftig nach Möglichkeit Hackschnitzel mit einer engen Korngrößenverteilung und der Kugelform sehr nahe kommende Partikel liefern. Pelletierte oder brikettierte Biofestbrennstoffe sollten Festigkeiten aufweisen, die einen minimal zulässigen Abrieb bei Transport- und Umschlagvorgängen garantieren.

Literatur

- Bücher sind mit • gezeichnet
- [1] • Füll, Ch.: Lager. Kap. 6. in: Mührel, K.: Transport, Umschlag und Lagerung in der Landwirtschaft. Verlag Technik, Berlin, 1983
- [2] Füll, Ch.: Lagern landwirtschaftlicher Schüttgüter in Behältern. Habilitationsschrift, Universität Rostock, 1985
- [3] Füll, Ch.: Volumendosierer für die Futterverteilung von trockenen und feuchten Schüttgütern. Agrartechnik 40 (1990) H. 12, S. 537-540
- [4] Jenike, A. W., und J.R. Johanson: Fließgerechte Siloformen für Schüttgüter. Aufbereitungstechnik 12 (1971), H. 6, S. 309 - 317

Schlüsselwörter

Biofestbrennstoff, Lagern, Dosieren

Keywords

Solid biofuel, storage, metering