

Stefan Hinterreiter, Hans Hartmann und Peter Turowski

Brückenbildungseigenschaften von Biomasse-Festbrennstoffen

Für die Bestimmung von Fließeigenschaften bei biogenen Festbrennstoffen als Schüttgut wurde ein Prüfverfahren entwickelt und international getestet. Diese Methode erlaubt gegenüber anderen Verfahren (z. B. Schüttwinkelbestimmung) eine wesentlich stärkere Differenzierung. Eine multiple Regressionsanalyse für Hackschnitzelbrennstoffe zeigt zudem den großen Einfluss der Kennwerte, die durch kontinuierliche Bildanalyse bestimmt werden. Hierzu gehören die mittlere Partikelgröße, der Kornformfaktor, das Längen-Durchmesser-Verhältnis und der Wassergehalt. Das hieraus abgeleitete mathematische Modell kann zukünftig die Beurteilung der Fließfähigkeit von Hackschnitzelbrennstoffen vereinfachen.

Schlüsselwörter

Holz hackschnitzel, Lagerung, Lagerentnahme, Brückenbildung, Fließfähigkeit, Bildanalyse

Keywords

Wood chips, storage, withdrawal from storage, bridging, pourability, image analysis

Abstract

Hinterreiter, Stefan; Hartmann, Hans and Turowski, Peter

Bridging properties of biomass fuels

Landtechnik 65 (2010), no. 4, pp. 280-282, 5 figures, 3 references

A test procedure for the determination of the flow properties of solid biofuels was developed and tested with international partners. This procedure enables a much wider differentiation compared to other procedures (e. g. the determination of the angle of repose). A multiple regression analysis for wood chips shows the influence of continuously determined image analysis parameters, such as the mean particle size, the particle shape factor, the length-diameter-ratio and the moisture content. The derived mathematical model allows an easier evaluation of the flow properties of wood chips.

■ Schüttgüter wie Holz hackschnitzel oder Häckselgut haben die Neigung zur Brückenbildung. Dies stört häufig die Lagerentnahme oder den Umschlag von Biomasse-Brennstoffen. Eine messtechnische Charakterisierung dieser physikalischen

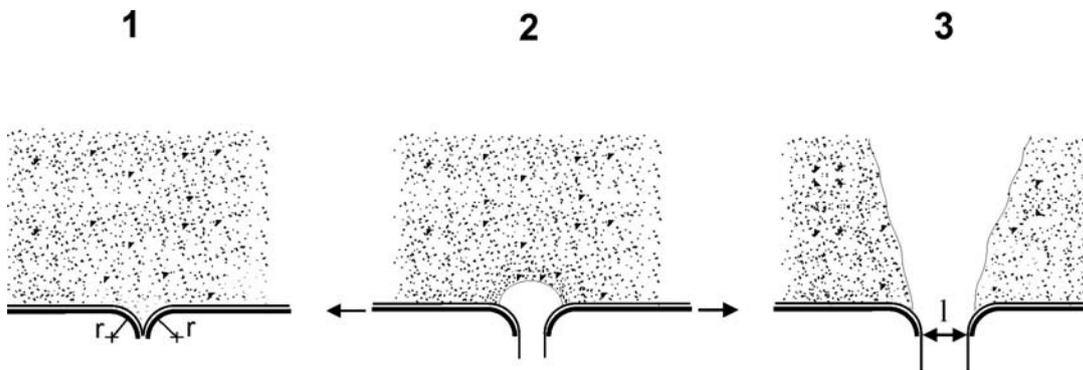
Brennstoffeigenschaft ist bislang nicht möglich gewesen. Ebenso fehlt es an Möglichkeiten, diesen Parameter anhand der eigentlichen Einflussgrößen abzuschätzen. Mit dem hier entwickelten Messaufbau und der Untersuchung von Bestimmungsgrößen sollten die Ursachen der Brückenbildung erforscht werden.

Das Testgerät

Basierend auf einem schwedischen Versuchsaufbau aus den 90er-Jahren [1] wurde ein Prüfbehälter mit einem geteilten Boden entwickelt. Dessen Bodenplatten sind seitlich auf einem Schienenfahrwerk verschiebbar, wodurch eine parallele Aufweitung des Entnahmeschlitzes in der Bodenmitte ermöglicht wird. Dabei bildet sich in der darüber liegenden Schüttung oberhalb der Bodenöffnung je nach Materialart eine mehr oder weniger lange Brücke aus (siehe l in **Abbildung 1**). Das Schüttgut wird dabei keinerlei Reibungskräften durch die Bodenbewegung ausgesetzt. Dies wird dadurch erreicht, dass zwischen Schüttgut und Bodenplatte zwei PVC-Matten lagern, die über die abgerundeten Kanten beim Öffnen hinabgleiten. Die beiden Bodenplatten, die an ihrer Berührungskante in einem Radius von 26 mm um 90° gebogen sind (siehe r in **Abbildung 1**), werden über eine Handkurbel und eine Gewindespindel angetrieben und langsam bis zum vollständigen Einsturz der Brücke auseinanderbewegt. An diesem Punkt wird die Öffnungsweite mit einer Genauigkeit von 1 mm gemessen; sie ist als Maß für die Brückenbildungsneigung bzw. Fließfähigkeit definiert.

Der aus handelsüblichen Siebdruckplatten (24 mm Stärke) gefertigte Schüttgutbehälter des Testapparates (Innenmaße: Länge 2,0 m, Höhe 1,0 m, Breite 1,1 m) ist auf einem 1,5 m hohen fahr- und begehbaren Stahlgerüst aufgebaut (**Abbildung 2**). Das festgelegte Probenvolumen von 1,65 m³, d. h. 0,75 m Füllhöhe, kann so unterhalb des Entnahmeschlitzes in einem Kippcontainer aufgefangen werden. Zu jedem untersuchten Brennstoff wurde der Mittelwert aus jeweils 10 Messungen (oder

Abb. 1



Funktionsprinzip des Brückenbildungs-Testgerätes
 Fig. 1: Functional principle of the bridging test apparatus

5 Messungen bei Pellets und Getreidekörnern) gebildet. Das Befüllen erfolgte mittels Gabelstapler und Kippcontainer durch langsames mittiges Abkippen aus etwa gleichbleibender Höhe (ca. 1,4 m über der Bordwand).

Vorgehen und weitere Einflussgrößen

Es wurden zwei baugleiche Brückenbildungs-Testgeräte gefertigt und bei den beteiligten Partner-Forschungseinrichtungen eingesetzt. Dadurch kamen insgesamt 85 verschiedene Proben von 15 typischen Brennstoffarten zum Einsatz. Hierbei war die gesamte Bandbreite von Brennstoffen mit sehr günstigen (Pellets, Getreide) bis sehr ungünstigen Fließeigenschaften (Häckselgut, Schredderholz) vertreten.

Neben dem eigentlichen Messwert für die Brückenweite wurden weitere Brennstoffkenngrößen bestimmt: der Wassergehalt, die Schüttdichte und der Schüttwinkel gemäß FEM [2]. Mit einer Teilprobe von 1 bis 3 Litern erfolgte außerdem eine bildanalytische Bestimmung weiterer physikalischer Eigenschaften. Hierzu gehörten u. a. der Mittelwert der maximalen Teilchenlänge, das mittlere Längen-Durchmesser-Verhältnis und der mittlere Kornformfaktor.

Abb. 2



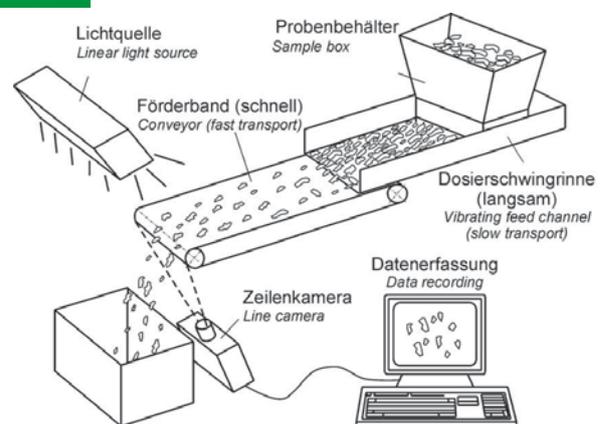
Testgerät für Schüttgut. Foto: Stefan Hinterreiter
 Fig. 2: Bridging test apparatus.

Hierfür wurde das photo-optische Klassifiziergerät Haver CPA4 Conveyor von Haver & Boecker verwendet (**Abbildung 3**); dessen Zeilenkamera bietet über eine Breite von 400 mm eine Auflösung von 4096 Pixeln. Diese Technik hatte sich bei der Bestimmung der Längenverteilung von Teilchen als deutlich überlegen gegenüber einer Siebtechnik erwiesen [3].

Brückenweite- und Schüttwinkelmessungen

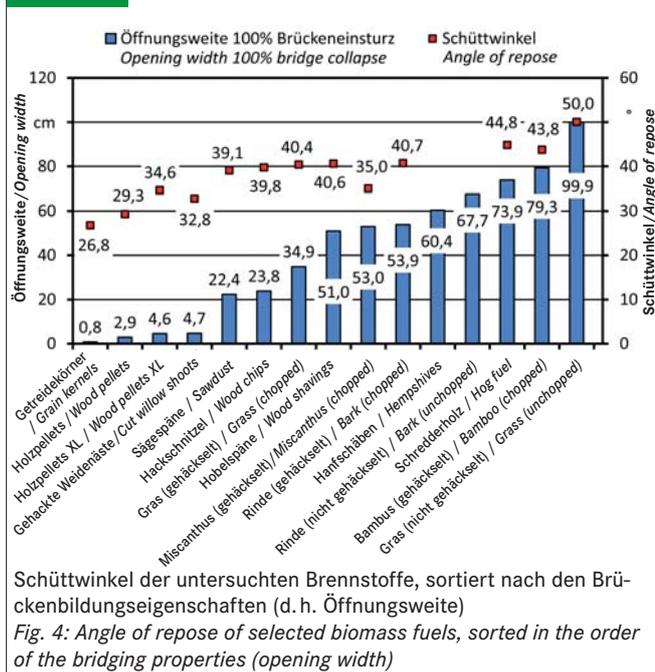
Mit einer Bandbreite von 27–50° zeigte sich beim Schüttwinkel nur eine wenig dynamische Reaktion auf die stark variierenden Brennstoffeigenschaften der Proben (**Abbildung 4**). Die Korrelation zur gemessenen Brückenweite erwies sich als gering ($R^2 = 0,42$). Dahingegen erlaubte die Bestimmung mit dem Brückenbildungs-Testgerät eine um etwa das 4-fache höhere Differenzierung bei der Darstellung der Fließeigenschaft eines Schüttgutbrennstoffs. Dennoch können auch hier die Messwertschwankungen (hier: Variationskoeffizient) zwischen einzelnen Wiederholungsmessungen je nach Brennstoff relativ hoch liegen: zwischen 5 % (Holzpellets) und 20 % (Sägemehl).

Abb. 3



Prinzip des kontinuierlichen Bildanalyseverfahrens
 Fig. 3: Functioning principle of continuous image analysis

Abb. 4



Modellbetrachtungen

Die an den Hackschnitzelproben (insgesamt 51 Werte) gemessenen Parameter wurden als Eingangsgrößen für die Ableitung eines mathematischen Modells zur Abschätzung der Öffnungsweite (l) verwendet (**Gleichung 1**). Dies geschah im Rahmen einer multiplen linearen Regressionsanalyse mit Berücksichtigung paarweiser Wechselwirkungen.

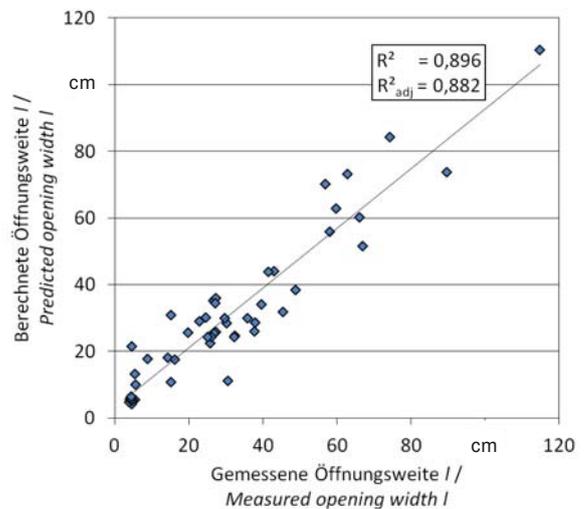
$$l = -4,5251 + 7,0553 \cdot \text{KFF} + 0,7031 \cdot \text{MP} - 0,2832 \cdot \text{M} - 6,4037 \cdot \text{LD} + 0,2427 \cdot (\text{M} \cdot \text{LD}) - 0,0058 \cdot (\text{M} \cdot \text{MP})$$

(Gl. 1)

Dabei zeigte sich, dass vor allem die Parameter mittlere Partikelgröße (MP in mm), Wassergehalt (M Moisture, in % der Gesamtmasse), mittlerer Kornformfaktor (KFF, dimensionslos) und das mittlere Längen-Durchmesser-Verhältnis (LD, dimensionslos) einen entscheidenden Einfluss ausüben. Eine ebenfalls durchgeführte Sensitivitätsanalyse ergab, dass die in dieser Reihenfolge genannten Einflussgrößen in ihrer Wirksamkeit abnehmen. Andere Parameter (Schüttdichte, Interquartilsabstand der Längenverteilung) erwiesen sich als nicht signifikant bei 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit.

Mit diesem Modell für Holz hackschnitzel wurde ein hohes adjustiertes R^2 von 0,88 erreicht. Der mittlere absolute Fehler zwischen gemessener und geschätzter Öffnungsweite (l) lag bei 32 %, welcher in **Abbildung 5** dargestellt wird. Angesichts der Tatsache, dass sich beim Laborvergleich in einem Ringversuch mit einer einheitlichen Standardhackschnitzelprobe bereits ein Variationskoeffizient von 18 % ergeben hatte, erscheint diese Modellunschärfe von ca. 32 % noch akzeptabel.

Abb. 5



Schlussfolgerungen

Das vorgestellte Prüfverfahren für die Charakterisierung der Fließfähigkeit hat sich als anwendbar erwiesen. Wegen des aufwändigen apparativen Messaufbaus erscheint aber langfristig eine Modellabschätzung mittels Bildanalyseparameter und Wassergehaltswerten praktikabler. Die darauf aufbauende Beurteilung und Klassifizierung von Praxisbrennstoffen setzt aber zuvor eine Identifikation kritischer Brennstoffwerte in unterschiedlichen realen Anwendungsfällen der Lagerentnahme und des Brennstoffaustrages voraus.

Literatur

- [1] Mattsson, J.E. (1990): Basic Handling Characteristics of Wood Fuel: Angle of Repose, Friction Against Surfaces and Tendency to Bridge Building for Different Assortments. Scand. J. For. Res., 5, pp. 583–597
- [2] Fédération Européenne de la Manutention (FEM) (1991): Schüttguteigenschaften; Allgemeine Schüttguteigenschaften und ihre Darstellung in Kurzform. Technical specification FEM 2581
- [3] Hartmann, H.; Böhm, T.; Daugbjerg Jensen, P.; Temmerman, M.; Rabier, F.; Golser, M. (2006): Methods for size classification of wood chips. Biomass and Bioenergy 30, pp. 944–953

Autoren

Stefan Hinterreiter ist Doktorand im Sachgebiet „Biogene Festbrennstoffe“ (Leiter: **Dr. Hans Hartmann**) am Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Schulgasse 18, 94315 Straubing, E-Mail: Stefan.Hinterreiter@tfz.bayern.de und Hans.Hartmann@tfz.bayern.de

Peter Turowski ist Mitarbeiter im Sachgebiet „Biogene Festbrennstoffe“, E-Mail: Peter.Turowski@tfz.bayern.de

Anmerkung

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des folgenden Europäischen Forschungsvorhabens gewonnen: „Pre-normative research on solid biofuels for improved European standards (BIONORM II)“. An der Datengewinnung waren fünf weitere Europäische Forschungseinrichtungen aus Dänemark, Österreich, Belgien, Finnland und Lettland beteiligt.