

Thilo Lehmann und Eberhard Friedrich

Stroh statt Feldfrüchte

In Deutschland fallen jährlich rund 30 Millionen Tonnen Getreidestroh an, von denen je nach gewählter Evaluationsmethode 8 bis 13 Millionen Tonnen für unterschiedliche energetische Nutzungspfade nachhaltig genutzt werden können. Stroh gehört damit zu den landwirtschaftlichen Reststoffen mit dem größten Potenzial zur Energieerzeugung [1]. Die energetische Nutzung von Stroh basierte bislang auf der thermischen Verwertung. Nachteilig sind die extrem großen Lagerkapazitäten und die hohen CO₂-Emissionen durch Transport und Aufbereitung. Im Gegensatz dazu scheint der Einsatz von Stroh bei der anaeroben Vergärung sinnvoller. Die Nährstoffe sowie die organische Substanz, die im Fermentationsprozess nicht in Biogas konvertiert werden, stehen nach der Fermentation wieder als hochwertiger Gärrest zur Düngung zur Verfügung.

Schlüsselwörter

Lehmann, IKTS, Fraunhofer, Bioextrusion®, Aufschluss, Lignozellulose, Stroh, Landschaftspflegematerial, Miscanthus

Keywords

Lehmann, IKTS, Fraunhofer, Bioextrusion®, digestion, lignocellulose, straw, landscaping material, miscanthus

Abstract

Lehmann, Thilo and Friedrich, Eberhard

Straw instead of field crops

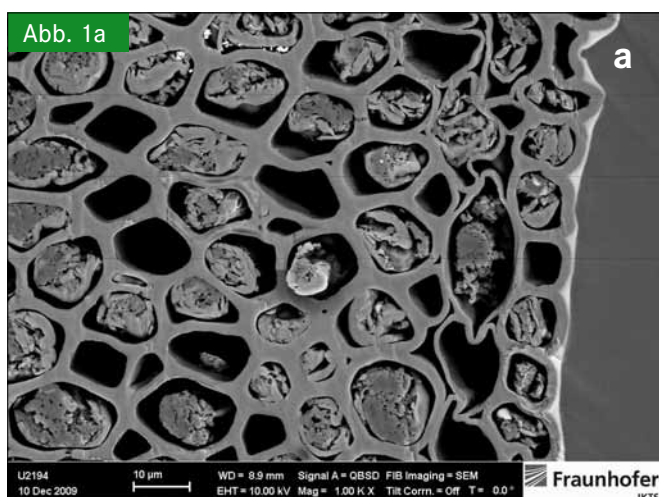
Landtechnik 67(2012), no. 5, pp. 358–360, 2 figures, 3 references

Around 30 million tonnes of cereal straw are produced in Germany annually, 8 to 13 million tonnes of this can be used sustainably for different energetic paths of utilization depending on the chosen evaluation method. Straw is one of the agricultural residues with the largest so far only partially occupied potential [1]. So far the energetic use of straw is based on the thermal recovery. The disadvantages of this are the extremely large storage capacity as well as the high CO₂ emissions from transport and processing. In contrast, the use of straw in anaerobic digestion seems sensible. The nutrients and organic matter, which was not converted into biogas in the fermentation process, are available again as a high quality digestate after fermentation for fertilization.

■ Die Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 und die Novellierungen in 2004 und 2009 hatten in Deutschland einen rasanten Ausbau des Anlagenbestandes für die Biogasproduktion zur Folge. Die Tatsache, dass in den zurückliegenden Jahren zum großen Teil sehr leicht abbaubare Substrate mit einem relativ geringen Anteil an Lignozellulose in den Biogasanlagen eingesetzt wurde, führte in manchen Gegenden in Deutschland zu einem inflationären Anbau von Mais und damit zu den hinlänglich bekannten Vorwürfen gegenüber der Biogasbranche generell. Mit der Novelle des EEG im Jahr 2012 wurde diesem Missstand Rechnung getragen und die Förderung von agrarischen Reststoffen wie Stroh intensiviert; sodass aktuell dem Einsatz von Stroh in Biogasanlagen von Seiten der Gesetzgebung der Weg geebnet ist.

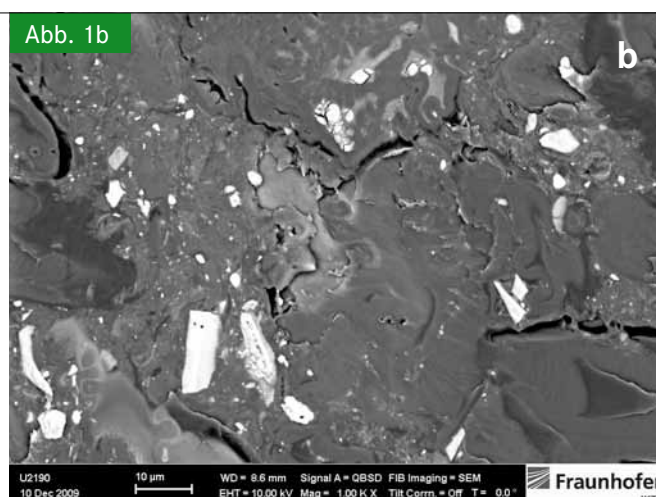
Da Stroh einen sehr hohen Gehalt an Lignozellulose und eher geringe Anteile an leicht vergärbaren Inhaltsstoffen besitzt, führt dies im Vergärungsprozess zu sehr langen Faulzeiten bei relativ geringen Biogasausbeuten. Weiterhin neigt Stroh auch nach einer Vorzerkleinerung zum Aufschwimmen in den Fermentern und führt somit zur verstärkten Ausbildung von unerwünschten Schwimmschichten. Dadurch wird die Biogasfreisetzung im Prozess massiv behindert und die Funktionalität des Gesamtprozesses maßgeblich eingeschränkt. Ferner ist der energetische Aufwand für die Durchmischung des Gärsubstrates erheblich, sodass sich die Wirtschaftlichkeit derartiger Anlagen deutlich reduziert.

Um diesen substratspezifischen Nachteilen entgegen zu wirken, wurde das Vorbehandlungsverfahren der Bioextrusion® entwickelt. Einerseits führt die Behandlung (Extrusion) von Stroh zu einer Reduzierung der Partikelgröße (Faserlänge) und andererseits zu einem Aufschluss des Lignozelluloseverbundes. Dabei wird die Lignozellulosestruktur teilweise zerstört und gleichzeitig das Wasseraufnahmevermögen des Strohs erhöht. **Abbildung 1a** und **1b** zeigen Rasterelektronenmikroskopauf-



REM-Aufnahme von unbehandeltem Weizenstroh, geschnittenes (gehäckseltes) Substrat

Fig. 1a: SEM-image untreated wheat straw, cut (finley chopped) substrate



REM-Aufnahme von extrudiertem Weizenstroh
Fig. 1b: SEM-image of extruded wheat straw

nahmen von nahezu unbehandeltem gegenüber extrudiertem Weizenstroh. Deutlich sind die strukturellen Änderungen durch die Behandlung mittels Bioextrusion® zu erkennen.

Durch diese Art der Vorbehandlung schwimmen die Strohfaseren im Fermenter weniger auf. Das Gärsubstrat lässt sich insgesamt leichter rühren und verteilt sich nahezu ideal im Arbeitsvolumen des Fermenters. Das durch Bioextrusion® modifizierte Substrat begünstigt einen effektiven Biogasbildungsprozess im Nassvergärungsverfahren.

Verfahrensbeschreibung

Durch den hydrothermalen Aufschluss wird die spezifische Oberfläche von Stroh maßgeblich erhöht, sodass sowohl die Hydrolyse als auch die Bildung von Biogas beschleunigt werden kann. Durch den weitergehenden Aufschluss der Lignozellulosestruktur wird die Schutzwirkung des Lignins auf abbaubare Hemizellulose- und Zellulosefraktionen partiell aufgehoben. Somit steht nach der Vorbehandlung durch Bioextrusion® eine größere Menge verfügbaren organischen Materials für die am Biogasprozess beteiligten Mikroorganismen bereit. Das bringt, gemessen an der Erhöhung des spezifischen Biogasertrags im Batch-Gärttest nach VDI 4630, eine Steigerung um 21 % (**Abbildung 2**).

In kontinuierlich durchgeführten Feldversuchen im Pilotmaßstab mit extrudiertem Stroh konnte eine spezifische Methanerausbeute von $270 \text{ l}_N\text{CH}_4/\text{kg oTR}_{\text{zugeführt}}$ ($\text{oTR}_{\text{zugeführt}}$ = organischer Trockenrückstand zugeführt) bei einer mittleren Raumbelastung von $2,25 \text{ kg oTR}/\text{m}^3_{\text{AV}} \text{ d}$ (oTR = organischer Trockenrückstand; AV = Arbeitsvolumen) stabil über einen Zeitraum von 200 Tagen nachgewiesen werden. Mit dem Aufschluss von lignozellulosehaltigen Substraten durch Bioextrusion® eröffnet sich eine technisch und wirtschaftlich attraktive Alternative zu den bisher zur Biogasgewinnung eingesetzten nachwachsenden Rohstoffen [2]. Die Biogaserträge der Substrate, die mit dem Extrusionsverfahren behandelt wurden, liegen in

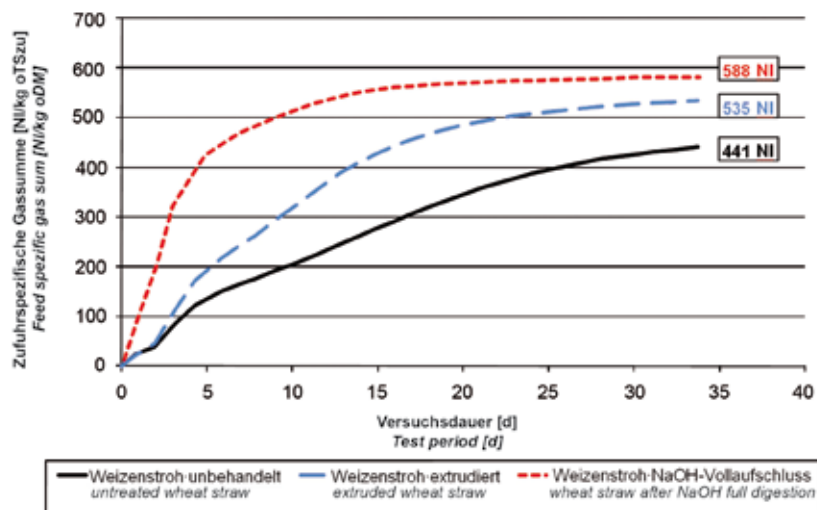
der gleichen Größenordnung wie die nach einer Vorbehandlung mittels Thermodruckhydrolyse [3].

Vorteile der Strohmonovergärung

Stroh mit einem Trockensubstratgehalt zwischen 85 und 90 % ist sehr leicht und voluminös und der Energiebedarf für den Aufschluss des trockenen Materials ist vergleichsweise hoch. Die Bioextrusion® sichert jedoch deutlich geringere erforderliche Energieeinträge ($\text{kWh}/\text{t FM}$) als beispielsweise Mühlen, bei denen die dämpfende Wirkung der Fasern zu überwinden ist. Außerdem gibt es keine Staubbildung und damit auch kein Potenzial für die Entstehung von Verpuffungen und Bränden. Das kontinuierlich arbeitende System des Bioextruders, das gleichzeitig auch selbstreinigend wirkt, ist eine wesentliche Voraussetzung, um Strohmonovergärung gewinnbringend zu betreiben. Die genannten Vorteile werden durch ein mehrstufiges Vorbehandlungs- und Fermentationsverfahren der Firma Lehmann Maschinenbau unterstützt und ergänzt, für das Schutzrechte angemeldet wurden.

Bei diesem mehrstufigen Verfahren werden in einem ersten Arbeitsgang die Strohballen aufgelöst und zerkleinert. Alternativ kann auch in Strohfeimen gelagertes gehäckseltes Stroh eingesetzt werden. Das eingekürzte Substrat mit etwa 4 cm Länge wird mittels Dosierer in eine temperierte Aufstromhydrolyse gefördert. Dabei wird das Aufströmverhalten von Stroh genutzt. Zur Einstellung des Feststoffgehaltes wird dann die Flüssigphase von Gärresten oder Gülle eingesetzt. Beim folgenden Aufströmvorgang werden Störstoffe wie Asche, Steine, Metalle u. a. aufgrund ihres Gewichtes nach unten abgeschieden und ausgeschleust. Nach einer kurzen Verweilzeit verdichtet sich das Stroh auf dem Weg nach oben und wird hydrolysiert und angelöst. Das gequollene Substrat, das durch die Temperaturführung beschleunigt erweicht, wird über eine mechanische Austragsvorrichtung einem geschlossenen Bio-

Abb. 2



Batch-Fermentationkurven nach VDI 4630 von unbehandeltem und unterschiedlich behandeltem Weizenstroh
 Fig. 2: Batch fermentation curves according VDI 4630 of untreated and different treated wheat straw

extruder zum Aufschluss zugeführt. Der Energieverbrauch des Bioextruders verringert sich gegenüber dem Trockenaufschluss auf ca. ein Drittel. Die Verschleißkosten liegen laut den Erfahrungen der Lehmann Maschinenbau GmbH unter 0,60 €/t FM. Nach der Vorbehandlung durchläuft das Substrat die bekannten Stufen der Fermentation. Um die Fermentation zu beschleunigen und den Ertrag zu steigern, kann das Verfahren durch eine Versäuerung und/oder durch eine Enzymzugabe ergänzt werden.

Die mehrstufige Substratvorbehandlung kann als Voll- oder Teilstromvariante installiert oder auf vorhandenen Biogasanlagen nachgerüstet werden. Das Verfahren eignet sich auch gut für die Monovergärung von Substraten. Die Anlagen sind in verschiedenen Baugrößen lieferbar. Die Fermenter sind überschaubar klein, da die Gasbildung beschleunigt mit einer verkürzten Verweilzeit stattfindet. Bei Weizenstroh könnte mit einer Substratzuführung von ca. 12 t/d eine 500-kW_{el}-Biogasanlage betrieben werden. Anlagen mit 70 und 90 % Rinderfestmist mit hohem Strohanteil und Monovergärungsanlagen mit Pferdemist werden bereits mit Bioextrusion® betrieben. In der eigenen 499-kW-Modell- und Demonstrationsanlage werden anteilig auch große Mengen an Rapsstroh (TS 65–90 %) eingesetzt. Die Gaserträge der Rapsilage liegen leicht unter den Biogaserträgen der Maissilage.

Schlussfolgerungen

Technisch und betriebswirtschaftlich sind mit der Bioextrusion® alle Voraussetzungen für eine Monovergärung von Stroh gegeben. Das neue Verfahren eignet sich auch für Gras- und Landschaftspflegematerial in silierter, frischer oder abgelagerter Form. Ein wesentlicher Vorteil ist die sichere Ausschleusung der Störstoffe. Dies schont die Technik wie Aufschlussgerät oder Pumpen und verringert zusätzlich Ablagerungen im Fermenter oder Gärrestlager.

Maisstroh eignet sich ebenfalls für das Verfahren und wird bereits erfolgreich für die Fermentation eingesetzt. Weiteres Potenzial bieten Mehrjahrespflanzen mit hohem Trockengehalt. Miscanthus, im Frühjahr geerntet, erreicht einen Methangasertrag zwischen 5 000 und 7 500 m³/ha – die Spanne resultiert aus verschiedenen Standorten und Bodenwerten. Miscanthus-Monovergärungsanlagen sind eine gewinnbringende Möglichkeit, dieses interessante Substrat nachhaltig in Biogasanlagen einzusetzen. Außerdem wird derzeit eine geeignete Bergetechnik für die Nutzung von Getreidespreu entwickelt, mit der auch gleichzeitig Unkrautsamen beseitigt und die Folgekosten der Feldpflege verringert werden können. Die Vielfalt an einsetzbaren Substraten begünstigt eine gute Fruchtfolge und ermöglicht die Nutzung von Landschaftspflegematerial, Straßenbegleitgrün und bisher ungenutzten Substraten.

Literatur

- [1] Deutsches Biomasseforschungszentrum DBFZ (2011): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergieerzeugung
- [2] Fraunhofer-Gesellschaft e.V. (2011): Erhöhung der Wirtschaftlichkeit und Zuverlässigkeit der nachhaltigen Energieversorgung aus Biomasse – Entwicklung der Biogaserzeugung als Zukunftstechnologie. Bericht FKZ 12641/2094
- [3] Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens PFI (2010): Stoffliche und energetische Nutzung von Stroh. Abschlussbericht GZ 8407-6536-08/1

Autoren

Dipl.-Ing. Thilo Lehmann ist Geschäftsführer der Lehmann Maschinenbau GmbH, Jocketa-Bahnhofstraße 34, 08543 Pöhl, E-Mail: anfrage@lehmann-maschinenbau.de

Dr. Eberhard Friedrich ist Abteilungsleiter Bioenergie im Forschungsfeld Umwelttechnik und Bioenergie (Leiter: **Dr. Ingolf Voigt**) des Fraunhofer-Instituts für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Winterbergstraße 28, 01277 Dresden, E-Mail: eberhard.friedrich@ikts.fraunhofer.de