

Thilo Lehmann und Eberhard Friedrich

# Lignozellulosehaltige Substrate – (k)ein Problem für Biogasanlagen?

Die Zukunftsfähigkeit der Biogaserzeugung wird von der Preisentwicklung der Substrate, der Erschließung neuer Substrate und der Verbesserung des energetischen Nutzungsgrades der eingesetzten Substrate bestimmt. Bisher gelten stark lignozellulosehaltige Substrate oder Reststoffe wie Stroh oder Landschaftspflegematerial als „nicht oder bedingt biogasfähig“. Gründe sind der hohe Ligningehalt und ausgeprägte Markstrukturen mit Hohlräumen und Fettschichten. Das Fraunhofer IKTS in Dresden und die LEHMANN Maschinenbau GmbH in Jocketa haben untersucht, inwieweit sich diese schwierigen Substrate für die Biogaserzeugung eignen: Auf den richtigen Aufschluss kommt es an.

## 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

Lignocellulosic substrates – (not) a problem for biogas plants?

Landtechnik 67 (2012), no. 2, pp. 114–117, 3 figures, 5 references

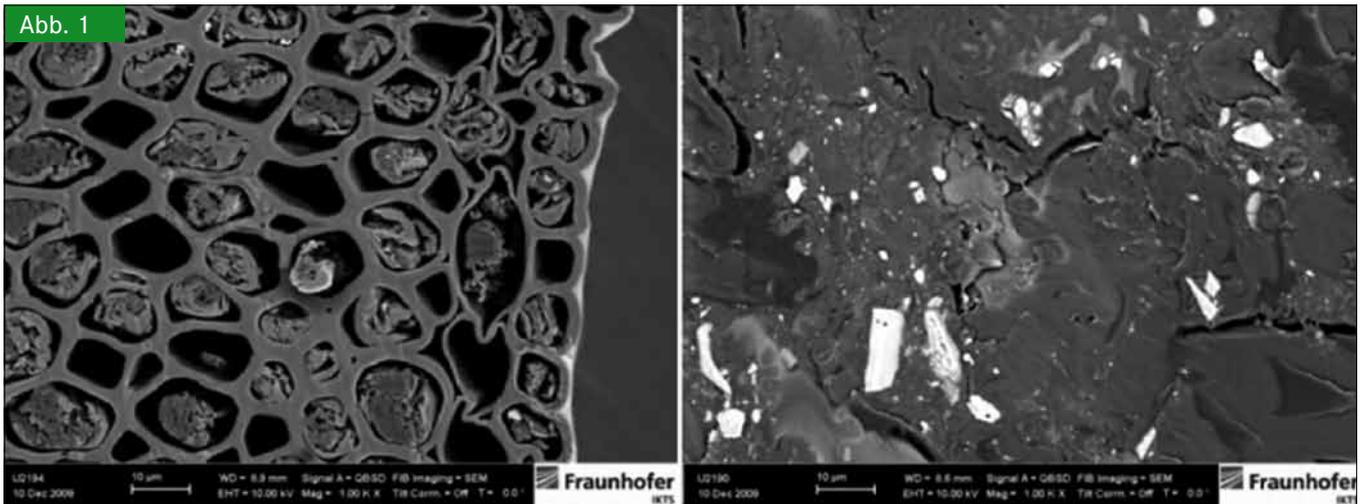
The sustainability of biogas production is determined by the price trend of the substrate, the development of new substrates, and the improvement of the energetic utilization ratio of the applied substrates. Till now, highly lignocellulosic substrates or residues like straw or landscaping material were considered as “not or limited usable for biogas production”. Reasons are the high lignin content, the distinct pith structure with cavities and layers of fat. The Fraunhofer IKTS in Dresden and LEHMANN Maschinenbau GmbH in Jocketa have examined the extent to which these difficult substrates are suited for the biogas production: It depends on the accurate digestion.

■ Substrate wie Stroh, Spreu, Landschaftspflegematerial u. Ä. fallen jährlich in großen Mengen an und werden häufig als Humusbildner wieder eingepflügt. Bekannt ist: Die Zersetzung dieser Biomassen entzieht den angebauten Kulturen Nährstoffe, insbesondere Stickstoff [1]. Das führt entweder zu erheblichen Ernteverlusten oder zu teuren zusätzlichen Nährstoffgaben. Andererseits könnten diese ligninhaltigen Einsatzstoffe einen durchaus wertvollen Beitrag für ein ausgewogenes Nährstoffverhältnis im Gärsubstrat von Biogasanlagen leisten. Das gilt besonders bei einer gemeinsamen Vergärung mit eiweißhaltigen Substraten wie Hühnergülle, Trockenkot sowie Fleisch- und Schlachtabfällen. Im Gärrest stehen die während der Faulung nicht umgesetzten Stoffe als Nährstoffe sowie Humusbildner weiterhin zur Verfügung. Zusätzlich besitzt Gärrest eine höhere Pflanzenverfügbarkeit als unvergorene Substrate.

## Vorbehandlung

Zur Verbesserung des Abbauverhaltens von verholzten Substraten ist den Mikroorganismen ein Zugang zu den Zellulosen und Hemizellulosen zu verschaffen. Dafür müssen die schützenden Ligninstrukturen möglichst weitgehend aufgebrochen (**Abbildung 1**) und die Zellulose- und Hemizellulosestrukturen freigelegt werden (Entkrustung).

Diese Vorbehandlung ist technisch sehr effizient durch den Einsatz der Bioextrusion® erreichbar, die sowohl für Neuanlagen als auch zur Nachrüstung gleichermaßen geeignet ist. Dabei wird das Substrat zwischen zwei gegenläufigen Schnecken einer schnell wechselnden Beanspruchung durch Druck- und Temperaturspitzen ausgesetzt, wobei es aufgefaserter, gleichzeitig plastifiziert und verdichtet wird. Die aufgefaserter Substrate werden in den nachgeschalteten Reaktoren (Hydrolyse- und/oder Faulräumen) der Stoffwechselfähigkeit von Mikroorganis-



Geschnittenes (gehäckselt) (links) und extrudiertes Substrat (rechts)  
 Fig. 1: Cut (finley chopped) substrate (left) and extruded substrate (right)

men ausgesetzt. Die von ihnen gebildeten Enzyme erhalten unmittelbaren Zugang zum Substrat, dadurch entsteht eine messbare Beschleunigung bei der Auftrennung der Zellulose- und Hemizellulosestrukturen in Fünf- und Sechsfachzucker, welche wiederum zur Erhöhung der Gasbildungsrate und des Abbaugrades führen. Das Substrat schwimmt nicht auf und verteilt sich gut im Behälter.

### Getreidestroh

Getreidestroh hat mit 8 bis 13 Mio. t/a das höchste Potenzial an Reststoffen in Deutschland. Im Unterschied zu thermischer Verwertung wird hier der Konflikt zwischen Humuszuführung und Entnahme des Stroh vom Feld durch Rückführung des Gärrestes entschärft. Ein Vollaufschluss mit Chemikalien, in Praxisanlagen bisher nicht üblich, wurde untersucht. Deutlich sichtbar war eine hohe Biogasausbeute mit Bioextrusion® (**Abbildung 2**).

Allerdings wird die Vergärung von ausschließlich Stroh oder auch großen Anteilen am Substrat bisher kaum praktiziert, weil es ohne entsprechende Vorbehandlung zu Proble-

men führt, z. B. Rührfähigkeit, Aufschwimmverhalten, Gasaustausch im Fermenter oder Nährstoffversorgung. Im Versuch wurde Weizenstroh im Pilotmaßstab über mehrere Monate mit 520 NI Biogas/kg oTS<sub>zu</sub> mit Bioextrusion® fermentiert. Dies zeigt, dass die Strohvergärung in Großanlagen eine Alternative darstellt und durch den thermomechanischen Aufschluss lohnenswert ist. Konzepte dazu befinden sich in der Planung.

### Hybridroggen

Mit Hybridroggen, geerntet und siliert mit 70 % TS-Gehalt, sind bis 420 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t oTS möglich. Das bedeutet bei 14,3 t Trockensubstanz immerhin 6 000 m<sup>3</sup> Methangasproduktion je Hektar. Wie ist das im Vergleich mit Maisernte zu bewerten? Bei 60 t Maisernte werden 6 000 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha angegeben. Der sächsische Erntedurchschnitt liegt bei 40 t/ha und der Bundesdurchschnitt 2010 lag bei 40,3 t/ha. Dies dürfte 2011 allerdings günstiger ausgefallen sein. Hybridroggen als Winterfrucht hat gute Startbedingungen, da er die Feuchte im Winter ausnutzt und immer gute Ernteergebnisse bringt. Die letzten drei Jahre lag er im Vogtland, in 400 m Höhe und bei 35 Bodenpunkten,



Unbehandeltes (links), nass extrudiertes (Mitte) und trocken extrudiertes Stroh (rechts)  
 Fig. 2: Untreated (left), wet extruded (middle), and dry extruded straw (right)

über 20 t Ernteertrag/ha mit einem TS-Gehalt von etwa 65 bis 70 %. Er hat aufgrund seines hohen Methangehaltes den des Maises immer übertroffen. Die Silage hatte eine hohe Qualität und Verpilzungen waren nicht festzustellen. Der Geruch der Silage war weniger intensiv als anderer Silagen und dies trotz des hohen TS-Gehaltes im Lagerstock. Messreihen haben bestätigt, dass das strohige Substrat mit Kornanteil den Mais vom Ertrag her übertrifft oder mindestens ebenwertig ist [2]. Der Anbau von Hybridroggen trägt dazu bei, den Bodenwert (Humus- und Nährstoffversorgung) zu bessern und eine günstige Fruchtfolge zu organisieren.

### Maisstroh

Maisstroh hat ein hohes Potenzial, insbesondere in den Ländern und Gegenden, in denen Maiskörner separat geerntet werden. Dabei wird die Pflanze nicht grün geerntet, sondern steht wegen eines hohen Stärkegehaltes des Kornes lange auf dem Halm und ist gelb. Trockensubstanzgehalt und Ligningehalt sind hoch. Bisher werden das Stroh und auch die Spindel (Teil des Kolbens) kaum genutzt, sondern in großem Maße untergepflügt. Nach einem Aufschluss erweist sich das Substrat als sehr einsetzwürdig, sowohl für die Biogasanlage als auch als Tierfutter. Im Mittel wurden bei der Vergärung  $336,81 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t oTS}$  erreicht. Ein kombiniertes Aufschluss- und Kompaktierverfahren des Strohes erlaubt Presslinge herzustellen, die über große Entfernungen kostengünstig zu transportieren sind. Für Biogasanlagen bedeutet dies nur das Auflösen der bereits extrudierten/agglomerierten Substrate, die lagerstabil und einfach zu handhaben sind.

### Miscanthus

Zu Miscanthus gibt es bereits verschiedene Untersuchungen, z. B. vom Biogas Forum Bayern. Ihr Fazit: „Ein Sommerschnitt im August gegen Ende der Hauptwachstumszeit führt zu Wuchsdepressionen und massivem Ertragsverlust im Folgejahr und kann somit nicht empfohlen werden. Nach dem jetzigen Kenntnisstand kommt Miscanthus daher als biogassubstratliefernde Kultur nicht in Frage [3].“ Mittels Bioextrusion® wird Miscanthus allerdings sehr wohl zu einer biogassubstratliefernden Kultur, wie Versuche ergeben haben. Das Substrat wurde im März/April 2011 geerntet. Das gelbe Gras war sehr trocken (TS 80 bis 85 %) und relativ hart; es wurde klein gehäckselt, mittels Bioextruder aufgeschlossen und nach VDI 4630 fermentiert. Die Nutzung in Biogasanlagen ist auch hinsichtlich des Substratpreises lohnend. Allerdings ist die Verfügbarkeit von Miscanthus in Deutschland derzeit nicht ausreichend. Die Möglichkeit die Pflanze als Biogassubstrat einzusetzen, könnte den Anbau fördern. Bezüglich des Methanfalls konnten bis zu  $365 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t oTS}$  erreicht werden. Dies bedeutet bei rund 20 t Trockenmasse [4] immerhin  $7300 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$  und damit  $1300 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$  mehr als bei Mais mit einem Ernteertrag von 60 t/ha. Die Biogasproduktivität des unbehandelten Miscanthus nach 30 Tagen wird bei der extrudierten Probe bereits nach etwa 10 Tagen erreicht. Insgesamt ist eine Methangasstei-

gerung von 114 % nach 30 Tagen durch Bioextrusion® gegenüber der unbehandelten Probe erzielt worden.

### Mist

Extrudierter Pferdemist zeigt eine um 28 % höhere spezifische Methanproduktion pro Kilogramm organische Trockensubstanz als der unbehandelte Pferdemist. Dies resultiert aus einer höheren Gasausbeute (33 %) pro Kilogramm Frischmasse. Die Geschwindigkeit der Methanproduktion war besonders während der ersten drei Tage deutlich schneller als bei der unbehandelten Probe. Das deutet auf eine große Menge niedermolekularer, schnell verfügbarer organischer Substanz im extrudierten Pferdemist hin. Ähnliche oder noch bessere Ergebnisse mit Bioextrusion® werden bei Rindermist erzielt. Ein hoher Strohanteil macht Mist als Substrat für Biogasanlagen interessant, da das Stroh den Energiegehalt pro Tonne Frischmasse hebt. Seit Jahren werden Biogasanlagen mit Bioextrusion® betrieben, die 70 bis 90 % Rinderfestmist einsetzen.

Für die hinsichtlich TS-Gehalt und Substratzusammensetzung stark wechselnden und inhomogenen Substrate wurde die Baureihe der Extruder erweitert. Dadurch wird eine Wasserseparation während des Aufschlusses herbeigeführt und durch andere Schneckenbauformen der Aufschluss verbessert, indem die Reibung des „fettigen“ Substrates erhöht wird. Die zum Patent angemeldete Lösung hat sich bereits bewährt und ist nachgefragt.

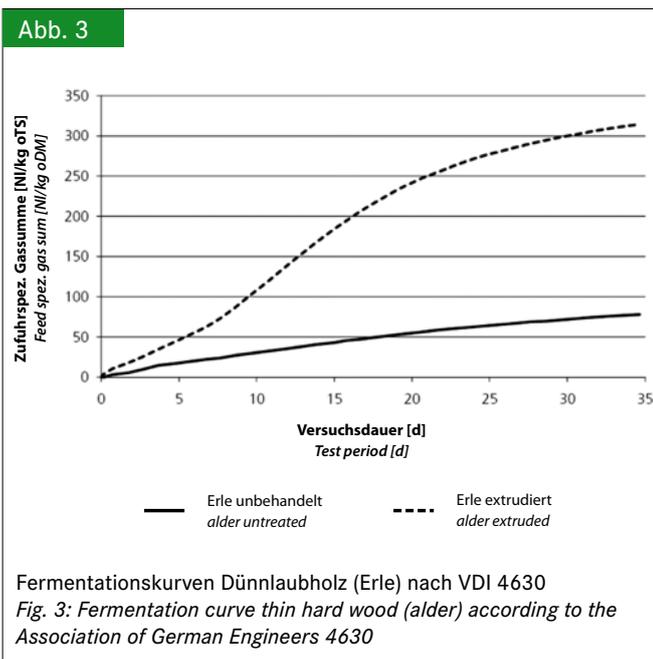
### Landschaftspflegematerial

Landschaftspflegematerial ist ein sehr undifferenziertes und inhomogenes Material. Es wird derzeit noch wenig energetisch genutzt und in Biogasanlagen nur zögerlich eingesetzt, trotz „Landschaftspflegebonus“. Die Struktur des Landschaftspflegematerials bei der Anlieferung reicht vom frischen, weichen (grasähnlichen) Material bis hin zum verholzten, harten Substrat, angefault, in Faulung befindlich oder verfault. Eine Bilanzierung ist schwierig, da die Energiewerte stark schwanken. Dies ist für die Biogasproduktion aber ein wichtiges Kriterium, um Anlagen gut auszulasten. Probleme bereiten darüber hinaus Störstoffe, wie Holz, Steine, Abfälle aus Kunststoff usw. Auch hier hat sich die Bioextrusion® bewährt. Zusammen mit einem System aus Dosierer und Störstofftrennung wird das Substrat homogenisiert und aufgeschlossen der Fermentation zugeführt. Das Verfahren ist in Nassfermentationsanlagen einsatzbereit und läuft stabil in der Modell- und Demoanlage BioEnergie Pöhl. Zum Patent angemeldet ist das Bioliquid-Verfahren. Ziel ist dabei, eine energiereiche Flüssigkeit und einen Feststoff zu gewinnen. Die Flüssigkeit wird der Fermentation und der Feststoff als Kompaktat nach einer Trocknung der Verbrennung oder einer stofflichen Nutzung zugeführt.

### Rapsstroh

Bisher wird Rapsstroh wenig in Biogasanlagen eingesetzt, ist aber sowohl in siliierter Form (bis TS 70 %) oder als Stroh (> 70 % TS) gut lagerfähig. Auffällig sind die unterschiedlichen

Abb. 3



Biogaserträge in Abhängigkeit vom Ernteverfahren des Rapskornes und von der Tatsache, ob das Stroh vor der Ernte gespritzt wurde oder natürlich reift. Die Erntemenge liegt bei etwa bei 5 bis 6 t/ha. Gelingt es, die Spreu und das Kleinkorn (Unkrautsamen u. a.) zu bergen, ist mit 8 bis 9 t/ha zu rechnen. Nach der Bioextrusion® ist Rapsstroh in Biogasanlagen ohne Probleme einsetzbar und bringt gute Erträge, die den Aufwand der Ernte, Lagerung und des thermomechanischen Aufschlusses rechtfertigen.

### Verholzter Strauch- und Baumschnitt

Aus Landschaftspflege, besonders in der Autobahnpflege, fallen große Mengen an Heckschnitt an. Die Nutzung dieses Substrates in Biogasanlagen scheint gemäß Gasproduktivitätsermittlung mit Bioextrusion® gut möglich. In **Abbildung 3** ist die Biogasproduktivität am Beispiel der Erle mit ca. 320 Nm³/t oTS aufgetragen. Die Vergärung ohne Bioextrusion® wird jedoch praktisch unmöglich sein. Aus dem Einsatz von Holz lassen sich viele Vorteile ableiten, die in weiteren Arbeiten untersucht werden sollten: Holzfaserstoff als Kohlenstoffquelle und Aufwuchsträger für Bakterien kann auch in Biogasanlagen eine positive Wirkung haben. Die Auswirkung von unterschiedlichen Inhaltsstoffen wie Gerbsäure, Tannine u. a. ist auf die Biologie im Fermenter zu untersuchen. Es geht darum, hemmende Wirkungen zu erkennen und evtl. Grenzen der Fermentation festzustellen. Die desodorierende Wirkung von Holzfaserstoffen gegenüber Gerüchen, insbesondere Ammoniak und Schwefelwasserstoff, ist bekannt. Kann Holz das auch in Biogasanlagen leisten? Des Weiteren ist Holzfaserstoff ein natürliches Flockungsmittel und verbessert die Entwässerbarkeit von Schlämmen, so auch von Gärresten. Auch hier ist Forschung notwendig, um Rezepturen und sinnvoller Mengeneinsatz zu empfehlen.

### Schlussfolgerungen

Die Substratvorbehandlung bringt energetische Vorteile für den Fermentationsprozess. Durch das Zerkleinern wird die Viskosität der Substrate verringert, was die erforderliche Energie zum Mischen reduziert. Weiterhin wirkt sich die Zerkleinerung positiv auf die Mischgüte im Reaktor aus und vermeidet teilweise Sink- und Schwimmschichten [5]. Beim Mischen des grob gehäckselten Strohs wurde eine mittlere Viskosität im Reaktor von 2260 mPa · s (Millipascalsekunde) ermittelt, bei Einsatz des extrudierten Strohes sank diese auf 880 mPa · s. So kann der Leistungseintrag reduziert und die Mischgüte verbessert werden. Bei Reaktoren mit großem Durchmesser, wie in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, verringert sich der durchmischte Reaktorraum bei Einsatz unzerkleinerter Substrate auf 60 bis 70 %. Durch Einsatz der Extrusion kann eine Verbesserung um etwa 10%-Punkte erreicht werden. Als besonderer Vorteil der Bioextrusion® ist die Vermeidung von Schwimmschichten hervorzuheben. Sie entstehen vor allem beim Einsatz von langfaserigen Substraten wie Grassilage oder Stroh und können mit üblicher Rührtechnik oft nicht mehr untergerührt werden. Nach Bioextrusion® und der damit verbundenen Zerkleinerung sowie der Änderung der Faserstruktur treten diese Probleme nicht mehr auf.

### Literatur

- [1] Schütz, G. (1977): Ackerbauliche Varianten der Kombination von Gülle- und Strohdüngung zu Zuckerrüben und Sommergerste bei industriemäßiger Produktion in der LPG Pflanzenproduktion „Vereinte Kraft“ Vippachdelhausen. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- [2] Lehmann, T.; Lempenauer, S.; Buschmann, R. (2010): Auf den Methanegas-Hektarertrag kommt es an. Hybridroggen und Biogaspotential, LEHMANN Maschinenbau GmbH, Biogas Oberfranken und KWS Saat, interner Bericht
- [3] Fritz, M.; Formowitz, B. (2010): Eignet sich Miscanthus als Biogassubstrat? Biogas Forum Bayern1(9), <http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Eignet.sich.Miscanthus.als.Biogassubstrat.pdf>, Zugriff am 01.03.2012
- [4] Jelkmann, B. (2011): Biogas aus Miscanthus. [http://miscanthus-ascheberg.de/?page\\_id=312](http://miscanthus-ascheberg.de/?page_id=312), Zugriff am 21.12.2011
- [5] Fraunhofer IKTS (2011): Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion durch Nutzung alternativer biogener Substrate, energieeffiziente Substratvorbehandlung und innovative Prozessführung einschließlich Biogasnutzung in einer SOFC-Brennstoffzelle. Abschlussbericht SMWA-Projekt, Dresden

### Autoren

**Thilo Lehmann** ist Geschäftsführer der LEHMANN Maschinenbau GmbH, Jocketa-Bahnhofstraße 34, 08543 Pöhl, E-Mail: [anfrage@lehmann-maschinenbau.de](mailto:anfrage@lehmann-maschinenbau.de).

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