

# **Nutzung hochlignozellulosehaltiger biogener Reststoffe und Substrate in Biogasanlagen**

## **1. Vorbetrachtung – Potentiale erschließen**

Die Zukunftsfähigkeit der Biogaserzeugung und Biogasnutzung wird wesentlich von der Substratpreisentwicklung, der Erschließung neuer Substrate und der Verbesserung des energetischen Nutzungsgrades der eingesetzten Substrate bestimmt.

Stark lignozellulosehaltige Substrate oder Reststoffe gelten gegenwärtig als „nicht oder bedingt biogasfähig“. Gründe sind der hohe Ligningehalt, ausgeprägte Markstrukturen mit Hohlräumen und Fettschichten und damit eine quasi hydrophobe Beschaffenheit dieser Substrate. Diese wird selbst nach der Zerkleinerung der Strukturen noch häufig durch die Ausbildung von Schwimmschichten und „Zopfbildungen“ im Fermenter deutlich, die oft ein k.o.-Kriterium für deren Einsatz sind.

Viele der lignozellulosehaltigen Substrate bzw. Reststoffe wie Stroh, Spreu, Landschaftspflegematerial u. ä. fallen in großen Erntemengen an und werden häufig als Humusbildner wieder eingepflügt oder anderweitig verbracht. Bekannt ist aber auch, dass die Zersetzung dieser Biomasse z.B. auf dem Feld Nährstoffe - insbesondere Stickstoff – zehrt und diesen den angebauten Kulturen entzieht. Das führt entweder zu nicht unerheblichen 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 insbesondere bei einer gemeinsamen Vergärung mit eiweißhaltigen Substraten wie Hühnergülle, Trockenkot sowie Fleisch- und Schlachtabfällen, wo der Mangel an Kohlenstoff z.B. deutlich reduziert wird. Im Gärrest stehen die während der Faulung nicht umgesetzten Stoffe als Nährstoffe sowie Humus- und Gerüst-bildner weiterhin zur Verfügung. Zusätzlich besitzt Gärrest eine höhere Pflanzen-verfügbarkeit als unvergorene Substrate.

Die bisher in mehreren gemeinsamen Forschungsprojekten des Fraunhofer IKTS in Dresden und der LEHMANN Maschinenbau GmbH Jocketa erreichten Ergebnisse geben einen positiven Ausblick auf den Einsatz auch dieser schwierigen Substrate für die Biogaserzeugung.

Nachfolgend wird dargestellt, wie sich durch eine gezielte Substratvorbehandlung sowohl der gesamte Faulprozess als auch die Gasbildung beim Einsatz von derartigen Substraten effektivieren lassen.

## 2. Mechanisch-thermischer Aufschluss von Biomasse (Bioextrusion®)

Zur Verbesserung des Abbauverhaltens von verholzten Substraten ist den beteiligten Mikroorganismen Zugang zu den verstoffwechslungsfähigen Zellulosen und Hemizellulosen zu verschaffen, d.h. die schützenden Ligninstrukturen sind möglichst weitgehend aufzubrechen und die Zellulose- und Hemizellulosestrukturen freizulegen (Entkrustung). Diese Vorbehandlung des Substrates ist technisch sehr effizient durch den Einsatz der Bioextrusion® (Abb. 1) erreichbar, die sowohl für Neuanlagen als



Abb. 1 Bioextruder

auch zur Nachrüstung von bestehenden Biogasanlagen gleichermaßen geeignet ist. Bei der Bioextrusion® wird das zu behandelnde Substrat zwischen zwei gegenläufigen Schnecken einer schnell wechselnden Beanspruchung durch Druck- und Temperaturspitzen ausgesetzt, in deren Folge eine Plastifizierung des Substrates mit einer deutlich sichtbaren Strukturauflösung stattfindet (Abb. 2) Die durch diesen Vorbehandlungsschritt aufgefaserten Substrate bieten in den nachgeschalteten Reaktoren (Hydrolyse- und/oder Faulräume) ideale Voraussetzungen für die Stoffwechsellätigkeit der Mikroorganismen und ermöglichen deren optimale Adaption an die vorgesehenen Prozessparameter. Die von den Mikroorganismen 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 führt.

Zusammengefasst ergeben sich nachfolgende Vorteile durch den Einsatz der Bioextrusion:

### Vorteile der Bioextrusion®

Die mechanischen Eigenschaften und damit das Handling des Substrates verbessern sich deutlich.

- Geeignet für schwer in Biogasanlagen beherrschbare Substrate.
- Schwimmschichtbildung ist unterdrückt.
- Gute Rohr-, Ventilpassier- und Transportfähigkeit als Folge des Aufschlusses.
- Die eingesetzte Rührenergie kann verringert werden und die homogene Verteilung des Substrates im Fermenter verbessert sich wesentlich und führt zur besseren Nutzung des Fermentervolumens.

### Verbesserung des biochemischen Abbaus

- Die Fasern bilden eine ideale Besiedlungsfläche für Bakterien.
- Beschleunigte Herausbildung neuer Bakterienstämme entsprechend der Verfügbarkeit des Futters.
- Verweilzeit und Abbaurate werden verbessert.
- Bessere Gasbildungsrate und höhere Methanausbeute.
- Erhöhung der Raumbelastung im Fermenter wird möglich.
- Geringe Temperaturunterschiede zwischen Substrateinbringung und Fermenterinhalt wirkt sich günstig auf Fermentation aus.

Durch die Bioextrusion® werden gegenüber anderen Zerkleinerungsverfahren Stoffe verändert, Hohlräume geschlossen.

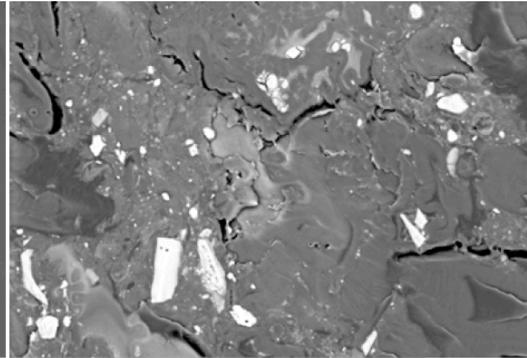
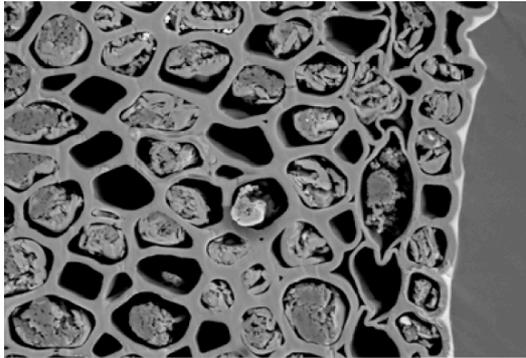


Abb. 1 Geschnittene (gehäckselte) Struktur

Abb. 2 Extrudiertes Substrat

Das Substrat wird einesteils aufgefasert, gleichzeitig plastifiziert und verdichtet. Auch Markstrukturen, wie bei Schilf, Rapsstroh, Sonnenblumen u.a. verändern sich.

Das ist auch ein Grund, dass das Substrat nicht aufschwimmt und sich gut im Behälter verteilt.

Das Verfahren der Bioextrusion® sichert einen höheren Wirkungsgrad und eignet sich unkompliziert auch für die Nachrüstung von Anlagen, um bisher ungenutzte Substrate in großen Mengen einsetzen zu können.

Stoffabhängig wird der organische Trockensubstanzgehalt besser abgebaut und verwertet und damit das in die Anlage eingebrachte Substrat besser ausgenutzt. Eine signifikante Wirkungsgradverbesserung geht damit einher.

### 3. Stroh

Getreidestroh hat gemäß Studie DBFZ mit 8 – 13 Mio. t/a das höchste Potential an Reststoffen in Deutschland.

Der Konflikt zwischen Humuszuführung und Entnahme des Strohs vom Feld wird durch Rückführung des Gärrestes entschärft, anders als bei thermischen Verfahren.



Abb. 5 Stroh, unbehandelt

Abb. 5 Stroh, nass extrudiert

Abb. 5 Stroh, trocken extrudiert

Der Vollaufschluss mit Chemikalien ist in Praxisanlagen bisher nicht praktiziert und üblich, hier aber Maßstab der Betrachtung. Deutlich sichtbar ist die hohe Biogausausbeute mit Bioextrusion®.

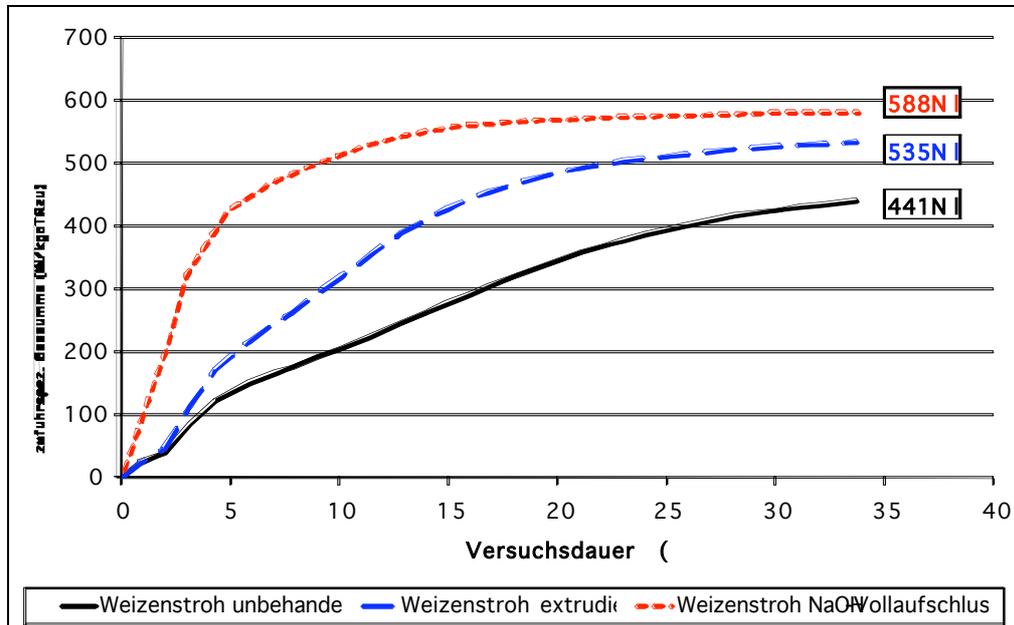


Abb. 6 Fermentationskurven Weizenstroh

Allerdings wird der Einsatz von Strohmonovergärung oder großen Mengen des Substrates bisher kaum praktiziert, weil es ohne entsprechende Vorbehandlung zu mehreren Problemen führt, u.a.:

- Rührfähigkeit,
- Aufschwimmverhalten,
- Gasaustausch im Fermenter,
- Nährstoffversorgung.

Demgegenüber wurde die Fermentation von Weizenstroh im Pilotmaßstab über mehrere Monate mit 520 NL/kg oTS<sub>zu</sub> mit Bioextrusion® nachgewiesen. Dies zeigt, dass die Strohvergärung in Großanlagen eine Alternative darstellt und durch mechanisch thermischen Aufschluss lohnenswert ist.

Entsprechende Konzepte befinden sich in der Planung.

#### 4. Hybridroggen

Am Beispiel Hybridroggen, geerntet und siliert mit 70 % TS-Gehalt (bereits im 3. Jahr erfolgreich mit Tausenden Tonnen geerntet und als Ganzpflanze in Biogasanlagen genutzt) sind bis 420 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t oTS möglich. Dies bedeutet bei 14,3 t Trockenmasse immerhin 6.000 m<sup>3</sup> Methangasproduktion/ha.

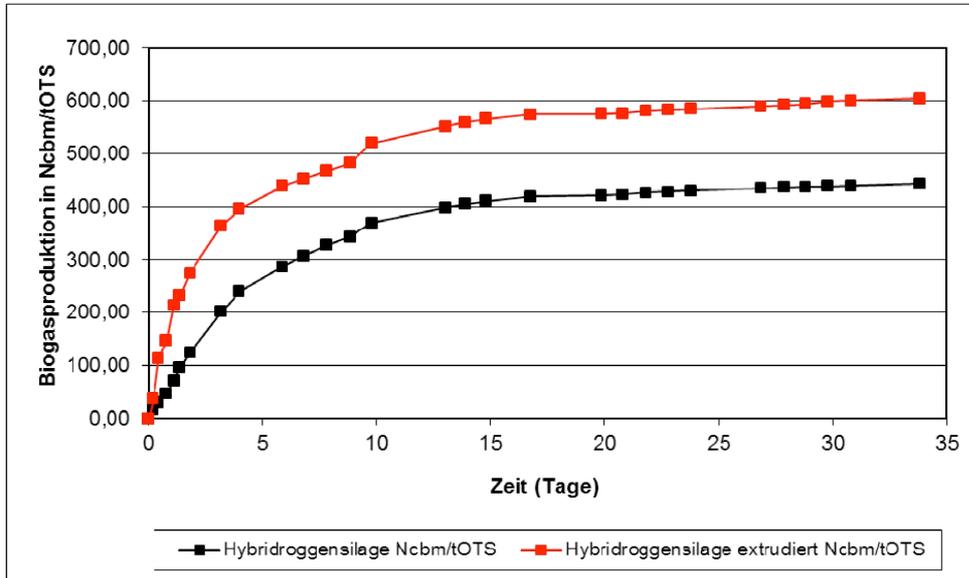


Abb. 7 Fermentationskurven Hybridroggen

Gegenüber dem Maiseinsatz ergibt sich folgendes Bild.

Bei 60 t Maisernte werden 6.000 m<sup>3</sup> Methan/ha angegeben. Der sächsische Erntedurchschnitt liegt bei 40 t/ha und der Bundesdurchschnitt 2010 lag bei 40,3 t/ha gemäß einer Meldung, also deutlich unter diesem Wert. Dies dürfte 2011 günstiger liegen.



Abb. 8 Hybridroggen 14 Tage vor Erntetermin

Hybridroggen als Winterfrucht hat gute Startbedingungen, da er die winterliche Feuchte mitnimmt und immer gute Ernteergebnisse bringt. Alle drei Jahre lag er im Vogtland, in 400 m Höhe und Bodenwert 35, über 20 t Ernteertrag/ha mit einem TS-Gehalt von ca. 65 - 70 %. Er hat auch auf Grund seines hohen Methangehaltes den Methanertrag/ha des Maises alle Jahre in der Anlage übertroffen. Die Silage hatte eine hohe Qualität, Verpilzungen waren nicht festzustellen. Der Geruch der Silage war weniger intensiv als anderer Silagen und dies trotz des hohen TS-Gehaltes im Lagerstock.

In einem aufwendigen Nachweis (Bericht LEHMANN Maschinenbau GmbH, KWS und Biogas Oberfranken vom Oktober 2010) wurde durch Messreihen bestätigt, dass das strohige Substrat mit Kornanteil den Mais von Ertrag übertrifft oder mindestens ebenwertig ist. Damit ist die Monokultur des Maises gebrochen.

Der Anbau von Hybridroggen ist ein wesentlicher Beitrag, um den Bodenwert (Humus- und Nährstoffversorgung) zu bessern und wieder eine günstige Fruchtfolge nach besten bäuerlichen Regeln zu organisieren.

## 5. Maisstroh

Maisstroh hat ein hohes Potential, 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. Der Trockensubstanzgehalt und der Ligningehalt sind hoch. Bisher werden das Stroh und auch die Spindel (Teil des Kolbens) kaum genutzt, sondern in großem Maße umgepflügt.

Die Fermentationskurve (Abb. 9) und die absoluten Zahlen belegen die hohe Einsatzwürdigkeit des Substrates in Biogasanlagen, nach Aufschluß aber auch als Tierfutter.

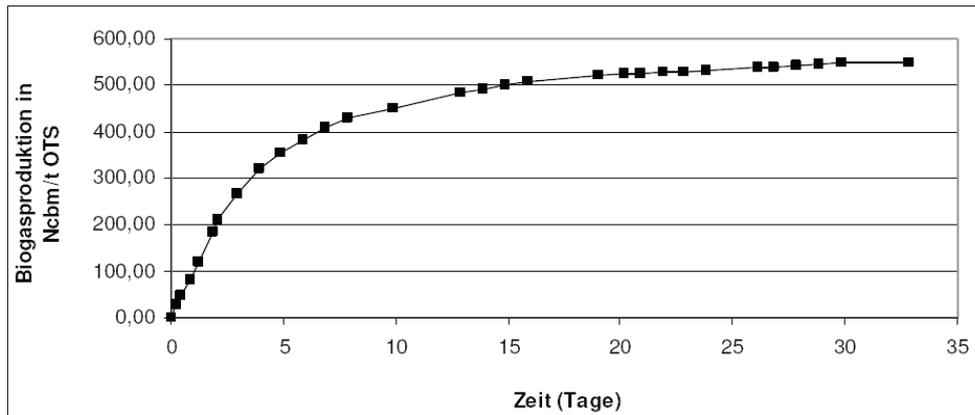


Abb. 9 Mittels Bioextrusion aufgeschlossenes Maisstroh (TS 85 %) nach VDI 4630

Im Mittel wurden bei der Vergärung folgende Werte erreicht:

Biogas: 550,34 Nm³/t oTS

Methan: 336,81 Nm³/t oTS

Methangehalt: 61,2%.

Durch ein kombiniertes Aufschluss- und Kompaktierverfahren des Strohes besteht weiterhin die Möglichkeit beim Landwirt, Agglomerate herzustellen, diese über große Entfernungen kostengünstig zu transportieren und die Nutzung des Strohs überregional einzusetzen. Für Biogasanlagen bedeutet dies nur das Auflösen der bereits extrudierten/agglomerierten Substrate, die lagerstabil und einfach handelbar sind.

## 6. Miscanthus

Zu Miscanthus gibt es bereits verschiedene Aufzeichnungen, z.B. vom Biogas Forum Bayern. „Aufgrund seines hohen Ertragspotenzials unter optimalen Bedingungen erscheint Miscanthus als potenzieller Substratlieferant für Biogasanlagen geeignet. Dabei wurde eine vorgezogene Ernte in noch grünem Zustand diskutiert, da die zum üblichen Zeitpunkt geerntete Biomasse für eine befriedigende Methanausbeute zu stark verholzt ist.“



Abb. 10 Miscanthus

„Ein Sommerschnitt von Miscanthus 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.“, so lautet das Fazit des Biogas Forums Bayern Nr. 1 – 9/2010.

Mittels Bioextrusion® wird Miscanthus sehr wohl zu einer biogassubstratliefernden Kultur. Versuche eines unabhängigen Labors haben ergeben, dass Miscanthus durchaus für die Biogaserzeugung geeignet ist, jedoch nur mittels Bioextruder. Das Substrat wurde aus der Ernte 2010/2011 im März/April 2011 geerntet. Das Gras ist gelb, sehr trocken (TS 80 – 85 %), klein gehäckselt, relativ hart, mittels Bioextruder aufgeschlossen und nach VDI 4630 fermentiert. Die Nutzung in Biogasanlagen ist auch hinsichtlich des Substratpreises lohnend.

Es ist allerdings einzuschätzen, dass die Verfügbarkeit von Miscanthus in Deutschland derzeit noch nicht ausreichend ist. Die Möglichkeit des Einsatzes als Biogassubstrat wird die Mehrjahrespflanze in der Verbreitung fördern.

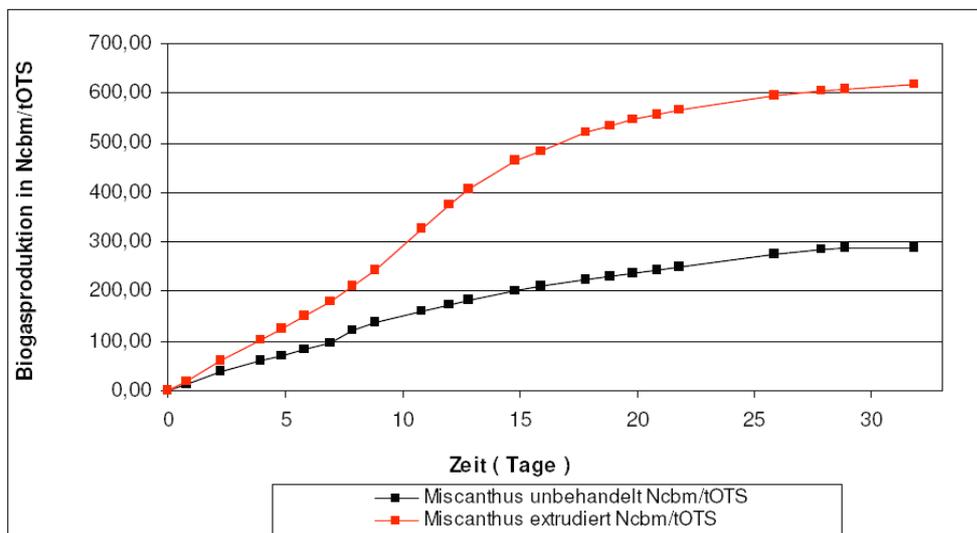


Abb. 11 Fermentationskurven Miscanthus

Bezüglich des Methananfalls konnten bis zu 365 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t oTS erreicht werden. Dies bedeutet bei ca. 20 t Trockenmasse (Erntemasse lt. B. Jelkmann) immerhin 7.300 m<sup>3</sup> Methan/ha und damit 1.300 m<sup>3</sup> Methan/ha mehr als bei Mais mit einem Erntertrag von 60 t/ha.

Die Biogasproduktivität des unbehandelten Miscanthus nach 30 Tagen wird bei der extrudierten Probe bereits nach ca. 10 Tagen erreicht. Insgesamt ist eine Methangassteigerung von 114 % nach 30 Tagen durch Bioextrusion® gegenüber der unbehandelten Probe erzielt.



Abb. 12 Miscanthus



Abb. 13 Miscanthus extrudiert

Die veröffentlichten Werte der Methangasbildung vom Biogas Forum Bayern liegen bei 200 Nm<sup>3</sup>/t oTS und werden durch die Bioextrusion® wesentlich gesteigert und überhaupt erst durch den Aufschluss nutzbar gemacht.

## 7. Mist

Extrudierter Pferdemist zeigt eine um 28 % höhere spezifische Methanproduktion pro Kilogramm organische Trockensubstanz als der unbehandelte Pferdemist. Dies resultiert in einer höheren Gasausbeute pro Kilogramm Frischmasse um 33 %.

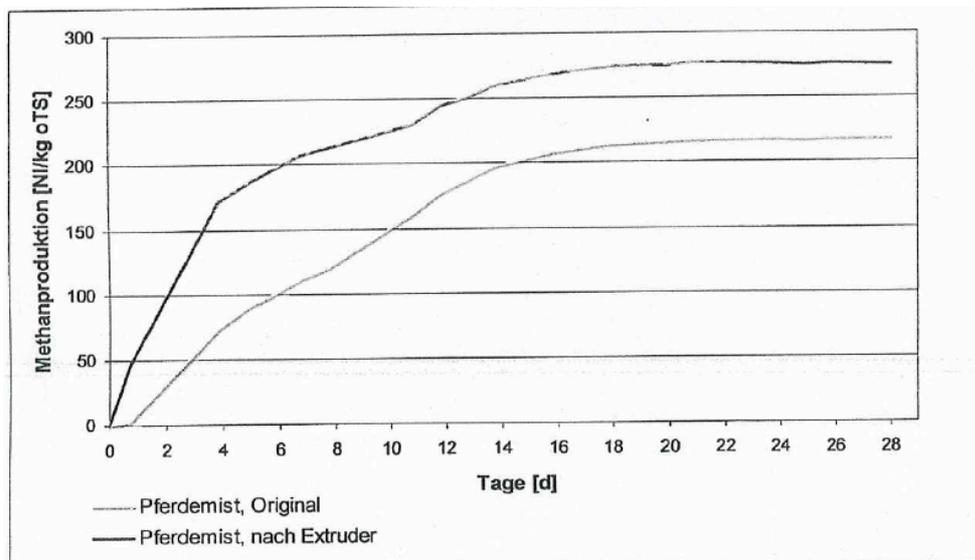


Abb. 14 Fermentationskurven Pferdemist

Die Geschwindigkeit der Methanproduktion war besonders während der ersten drei Tage beim Pferdemist nach Extruder deutlich schneller als die des Originalpferdemistes. Dies deutet auf eine große Menge niedermolekularer, schnell verfügbarer organischer Substanz im extrudierten Pferdemist hin.

Ähnliche oder noch bessere Ergebnisse mit Bioextrusion® werden bei Rindermist u.a. erzielt. Ein hoher Strohanteil macht Mist als Substrat für Biogasanlagen interessant, da das Stroh den Energiegehalt pro Tonne Frischmasse hebt.

Seit Jahren werden mit Bioextrusion® Biogasanlagen 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, um eine Wasserseparation während des Aufschlusses herbei zu führen und durch andere Bauformen der Schnecken den Aufschluss zu verbessern, indem die Reibung des „fettigen“ Substrates erhöht wird. Die zum Patent angemeldete Lösung hat sich bereits bewährt und ist nachgefragt.

## 8. Landschaftspflegematerial

Landschaftspflegematerial ist ein sehr indifferentes und inhomogenes Material. Es ist in aller Munde, da es derzeit wenig energetisch genutzt wird und in Biogasanlagen nur zögerlich eingesetzt wird, trotz „Landschaftspflegebonus“.



Landschaftspflegematerial ist als Substrat im Anlieferzustand grün, gelb, braun und schwarz, d.h. 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 unterschiedlich sind. Dies ist für die Biogasproduktion aber ein

Abb. 15 Landschaftspflegematerial

wichtiges Kriterium, um Anlagen gut auszulasten. Probleme bereiten darüber hinaus Störstoffe, wie Holz, Steine, Abfälle aus Kunststoff usw.

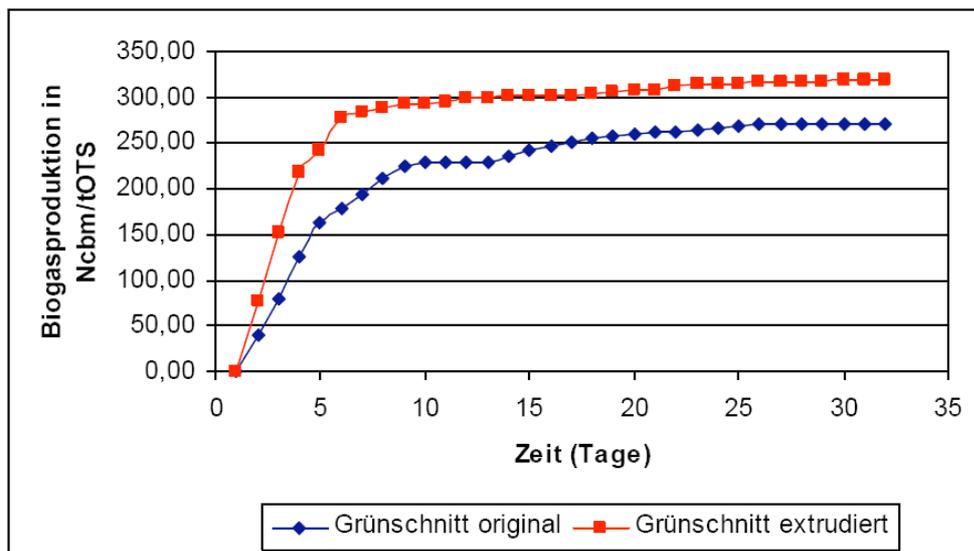


Abb. 14 Fermentationskurven Landschaftspflege

Auch hier hat sich die Bioextrusion® bewährt. Zusammen mit einem Dosier-Störstofftrenn-System wird das Substrat homogenisiert und aufgeschlossen der Fermentation zugeführt.

Das Verfahren ist in Nassfermentationsanlagen einsatzbereit und läuft in der Modell- und Demoanlage BioEnergie Pöhl stabil.

Zum Patent angemeldet ist das Bio-Liquid-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. (Näheres auf Anfrage.)

## 9. Rapsstroh

Bisher wird Rapsstroh wenig in Biogasanlagen eingesetzt, ist aber sowohl in silierter Form (bis TS 70 %) oder als Stroh (> 70% TS) im Feim oder als Silage gut lagerfähig.

Auffällig sind die unterschiedlichen Biogaserträge in Abhängigkeit des Ernteverfahrens des Rapskornes und in wieweit das Stroh vor der Ernte gespritzt wurde oder natürlich reift.

Die Erntemenge pro Hektar ist hoch und auf Grund der gemachten Erfahrungen mit 5-6 t/ha zu benennen. Gelingt es noch die Spreu und das Kleinkorn (Unkrautsamen u.a.) zu bergen, ist mit 8-9 t/ha zu rechnen. Insbesondere die Abfuhr des Unkrautsamens würde darüber hinaus das Feld und die Natur von Herbizideinsatz entlasten und für Biogasanlagen ein weiteres Potential darstellen.

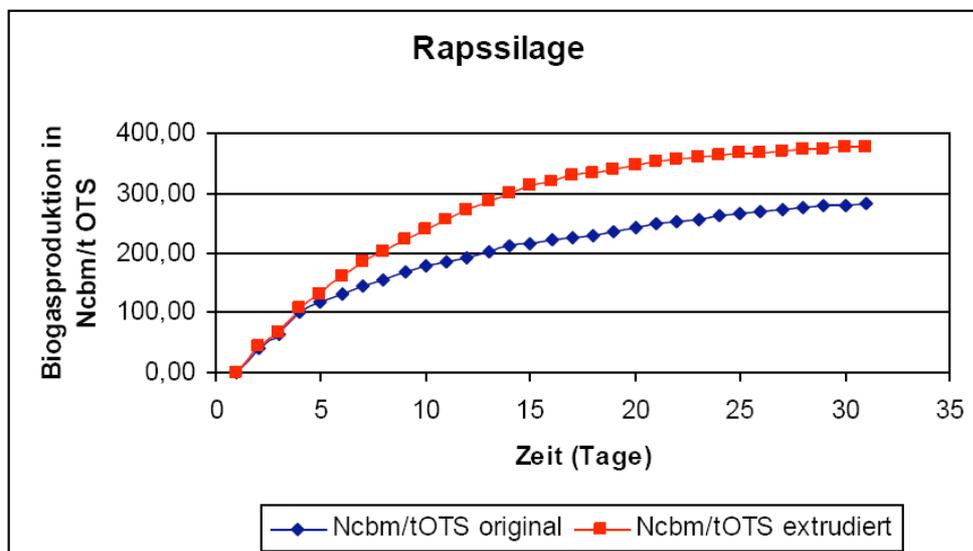


Abb. 15 Fermentationskurven Rapsstrohsilage

Nach der Bioextrusion® ist Rapsstroh in Biogasanlagen ohne Probleme einsetzbar, leicht zu händeln und bringt gute Erträge, die den Aufwand der Ernte, Lagerung und des thermomechanischen Aufschlusses mehrfach rechtfertigen. Die Erträge aus Verstromung werden gegenüber den Kosten einschließlich der Bioextrusion® um Faktor 2 übertroffen.

## 10. Verholzter Strauch- und Baumschnitt

Aus Landschaftspflege, aber besonders in der Autobahnpflege fallen große Mengen an Heckenschnitt an.

Die Nutzung des Strauch- und Baumschnittes für Biogasanlagen scheint gemäß Gasproduktivitätsermittlung mit Bioextrusion® gut möglich.

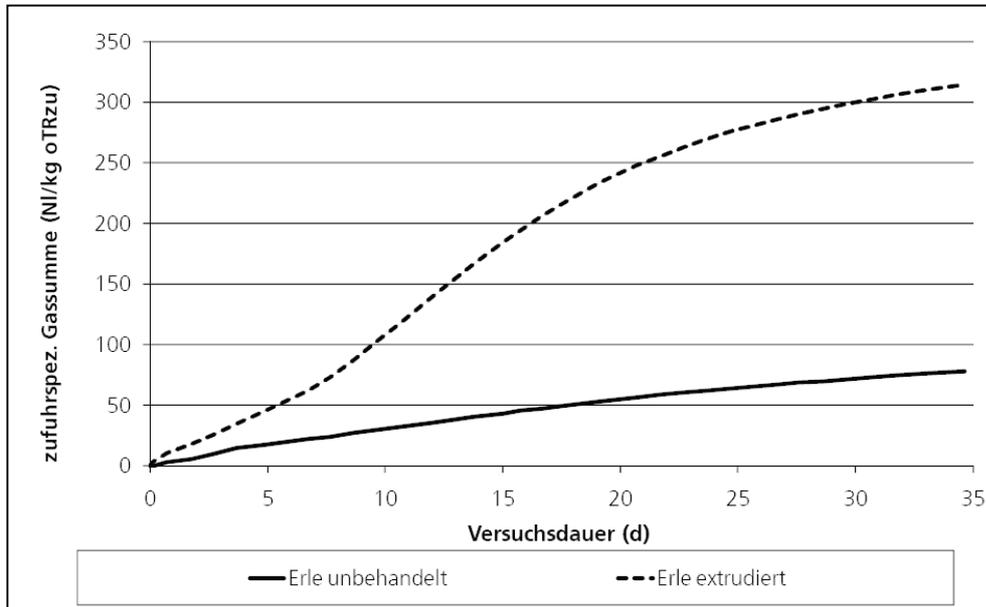


Abb. 18 Fermentationskurven Dünnschnitt (Erle)

Mehrere Verprobungen mit Bioextrusion® haben noch deutliche

Aus dem Einsatz von Holz lassen sich weitere Vorteile und Besonderheiten ableiten, die in weiteren Arbeiten untersucht werden sollten.

1. Holzfaserstoff als Kohlenstoffquelle und Aufwuchsträger für Bakterien kann auch in Biogasanlagen eine positive Wirkung haben.
2. Die Auswirkung von unterschiedlichen Inhaltsstoffen wie Gerbsäure, Tannine u.a. ist auf die Biologie im Fermenter zu untersuchen. Es geht dabei besonders darum, hemmende Wirkungen zu erkennen und evtl. Grenzen der Fermentation festzustellen.
3. Die desodorierende Wirkung von Holzfaserstoffen gegenüber Gerüchen, insbesondere Ammoniak und Schwefelwasserstoff ist bekannt. Welche Bedeutung kann Holz in Biogasanlagen leisten? Diese Frage ist weiter zu untersuchen?
4. Holzfaserstoff ist auch ein natürliches Flockungsmittel und verbessert die Entwässerbarkeit von Schlämmen, so auch von Gärresten. Auch hier sind weitere Forschungen notwendig, um Rezepturen und sinnvoller Mengeneinsatz zu empfehlen.

## 11. Mechanisch-thermischer Aufschluss zur Verbesserung des Mischprozesses in der Fermentation

Neben den genannten Effekten zur Steigerung der Biogasausbeute resultieren aus der Substratvorbehandlung energetische Vorteile für den Fermentationsprozess. Die im Zusammenhang mit der Zerkleinerung stehende Erniedrigung der Viskosität der Gärsubstrate führt zu einer Reduzierung der zum Mischen des Fermenterinhalt erforderlichen Energie. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen konnte mit fortschreitendem Zerkleinerungsgrad der eingesetzten Substrate die erforderliche Rührerleistung halbiert werden. Weiterhin wirkt sich die Zerkleinerung positiv auf die Mischgüte im Reaktor aus und trägt zur Vermeidung von Betriebsproblemen in Form von Sink- und Schwimmschichten bei (FRAUNHOFER IKTS)<sup>1</sup>

Unter Beachtung der Maßstabsübertragung von großtechnischen Biogasfermentern in den Pilotmaßstab wurde durch den Projektpartner IKTS das Einmischen von grob gehäckseltem Stroh mit extrudiertem verglichen. Neben der Skalierung der Reaktor- und Rührergeometrien in den Pilotmaßstab wurde im gleichen Verhältnis die Skalierung der einzumischenden Stoffsysteme vorgenommen. Als Rührsystem wurden jeweils zwei langsam laufende Tauchmotorrührwerke nachgestellt. Das Verhältnis aus Reaktordurchmesser zu Reaktorhöhe betrug 1,0.

Abbildung 19 zeigt den erforderlichen Leistungseintrag der Rührer in Abhängigkeit der gewählten Rührerdrehzahlen für das Einmischen von unterschiedlich zerkleinertem Stroh in Gärrest. Vor allem in Bereichen großtechnisch relevanter Rührerumfangsgeschwindigkeiten ( $> 3$  m/s) werden die Vorteile der Substratvorbehandlung mittels Bioextrusion deutlich.

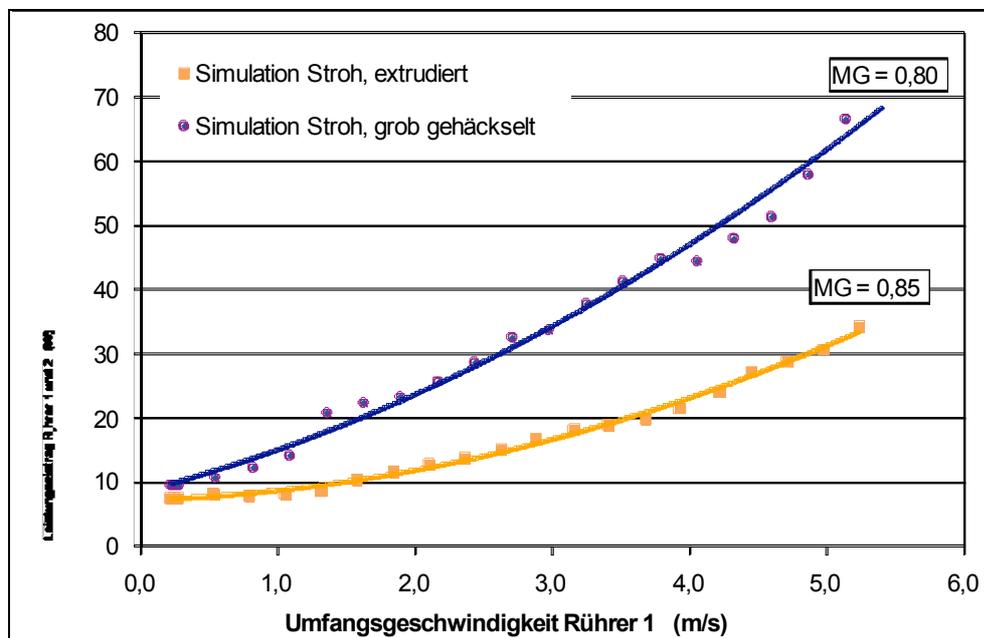


Abb. 19 Erforderlicher Leistungseintrag beim Mischen des Fermenters in Abhängigkeit der Substratvorbehandlung

<sup>1</sup> Fraunhofer IKTS: 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 2011.

Die Reduzierung des Leistungsbedarfs zum Mischen des Reaktorinhaltes basiert auf einer deutlichen Erniedrigung der Viskosität des zu mischenden Stoffsystems, wobei die Viskosität wiederum im engen Zusammenhang mit dem granulometrischen Zustand der Strohpartikel steht. Ausgehend von der aufgenommenen Leistungscharakteristik des Rührsystems wurde beim Mischen des grob gehäckselten Strohs eine mittlere Viskosität im Reaktor von 2.260 mPa·s ermittelt, hingegen bei Einsatz des extrudierten Strohes diese auf 880 mPa·s sank.

Neben der Reduzierung des erforderlichen Leistungseintrages ist die Verbesserung der Mischgüte (MG) bei Einsatz des extrudierten Strohes hervorzuheben. Im konkreten Fall verbesserte sich die Mischgüte von 0,8 auf 0,85. In der Literatur<sup>2</sup> werden allein durch Adsorption hervorgerufene Methanverluste, resultierend aus ungenügend ablaufenden Mischprozessen und den damit verbundenen Flüssigphasenübersättigungen, bis zu 9 % angegeben. Im IKTS durchgeführte Untersuchungen zur Desorption von Restgas aus Gärrest mittels Ultraschall führten zur Erhöhung der Gesamt-Methanausbeute um 7 bis 10 % und bestätigen die in der Literatur durch ungenügend ablaufende Mischprozesse aufgezeigten Verluste.

Bei Reaktoren mit einem geringen Schlankheitsgrad, so wie sie in landwirtschaftlichen Biogasanlagen in der Regel zum Einsatz kommen, verringert sich der durchmischte Reaktorraum bei Einsatz unzerkleinerter Substrate sogar auf 60 – 70 %. Durch Einsatz der Extrusion kann auch hier eine Verbesserung um circa 10 %-Punkte erreicht werden.

## **12. Vorteile des mechanisch-thermischen Aufschlusses auf die Prozessstabilität der Fermentation**

Als besonderer Vorteil der Bioextrusion® ist die Vermeidung von Schwimmschichten hervorzuheben.

Vor allem beim Einsatz von langfaserigen Substraten wie Grassilage oder Stroh kommt es zur Ausbildung von Schwimmschichten. Bei Untersuchungen des Fraunhofer IKTS<sup>3</sup> zur Simulation des Einmischens von unzerkleinerter Grassilage in Gärrest bildete sich eine derartige Schwimmschicht aus, die mit der eingesetzten Rührtechnik nicht mehr untergerührt werden konnte (siehe Abb. 20). Die mit dargestellte tomographische Bewertung zeigt neben der sich ausgebildeten Schwimmschicht deutlich eine Anreicherung von Substrat in der Mitte des Reaktors.

Durch Einsatz der Bioextrusion® und der damit verbundenen Zerkleinerung sowie der Änderung der Faserstruktur werden die Probleme der Schwimmschichtbildung vermieden.

---

<sup>2</sup> PAUSS, A.; ANDRE, G.; PERRIER, M.; GUIOT, S.: Liquid-to-Gas Mass Transfer in Anaerobic Processes: Inevitable Transfer Limitations of Methane and Hydrogen in the Biomethanation Process. Applied and Environmental Microbiology 1990 (56), Nr. 6, S. 1636-1644.

<sup>3</sup> Fraunhofer IKTS: 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 2011.

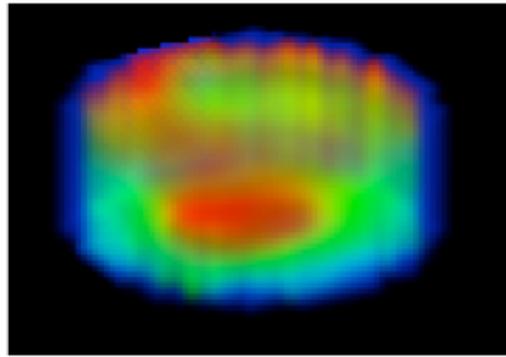


Abb. 20 Schwimmschicht beim Einrühren langfaseriger Substrate (rechts: prozesstomographische Bewertung)

### 13. Zusammenfassung

1. Lignozellulosehaltige biogene Reststoffe besitzen ein hohes Potential nach Menge und Methangasertrag in Biogasanlagen.
2. Der mechanisch thermische oder je nach Feuchtigkeit des Substrates der hydrothermale Aufschluss verbessert die Biogausausbeute.
3. Durch die thermische Konversion wird die Nutzung vieler zellulosehaltiger Reststoffe erst möglich.
4. Der Energieeinsatz für den Aufschluss ist in allen dargestellten Fällen gerechtfertigt. Nutzenbetrachtungen weisen einen signifikanten positiven Ertrag für Biogasanlagen nach.
5. Diese Ergebnisse reihen sich ein in die positiven Auswirkungen der Bioextrusion® von üblichen Silagen verschiedener Grasarten. (Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Biomasseaufbereitung zur Vergärung, Heft 19/2008).
6. Mit der Weiterentwicklung der Substrataufbereitung mittels Bioextrusion® als selbstreinigendes System für differenzierte hochlignozellulosehaltige Stoffe können noch Steigerungen und weitere Materialströme für Biogasanlagen lohnend nutzbar gemacht werden.

#### **Kontakt:**

##### **LEHMANN Maschinenbau GmbH**

Jocketa-Bahnhofstraße 34

08543 Pöhl

GF Thilo Lehmann

Tel. 037439 / 74410

[www.lehmann-maschinenbau.de](http://www.lehmann-maschinenbau.de)

##### **Fraunhofer-IKTS**

Winterbergstraße 28

01277 Dresden

Dr. Eberhard Friedrich

Tel. 0351 2553-7826

[www.ikts.fraunhofer.de](http://www.ikts.fraunhofer.de)