

Britt Schumacher, Hans Oechsner, Thomas Senn und Thomas Jungbluth, Hohenheim

# Thermo-mechanischer Aufschluss reifer Triticale zur Biogasgewinnung

*In dem Beitrag werden am Beispiel einer nass-thermo-mechanischen und zweier trockener Aufbereitungsvarianten des Strohs und des Korns reifer Triticale Biogas-Batch-Versuche im Labormaßstab dargestellt. Die Ergebnisse der Messungen der Methankonzentrationen im Biogas sowie die der Fettsäurekonzentrationen in den 30-Liter-Biogasfermentern werden diskutiert.*

Dipl.-Ing. Britt Schumacher ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen an der Universität Hohenheim (Leitung: Dr. Hans Oechsner) und Doktorandin am Institut für Agrartechnik bei Prof. Dr. Thomas Jungbluth, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart; e-mail: [b-schuma@uni-hohenheim.de](mailto:b-schuma@uni-hohenheim.de)  
PD Dr. Thomas Senn ist Arbeitsgruppenleiter des Fachgebiets Gärungstechnologie am Institut für Lebensmittelwissenschaft und Biotechnologie der Universität Hohenheim.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „Optimierung der Bereitstellung von Biomasse für innovative energetische Nutzungsformen“ im Auftrag der Landesstiftung Baden-Württemberg.

## Schlüsselwörter

Vergärung, Kofermentation, thermo-mechanische Aufbereitung, Triticale

## Keywords

Anaerobic digestion, co-fermentation, thermo-mechanical treatment, triticale

## Literatur

[1] VDI-Richtlinie: Vergärung organischer Stoffe. VDI 4630; Beuth Verlag GmbH, Berlin, April 2006

Der Einsatz von Energiepflanzen zur Biogasproduktion hat sich seit der Novellierung des EEG im Jahr 2004 in Deutschland etabliert. Deshalb steht weiterhin einerseits die Bestimmung der spezifischen Methanerträge und der Trockenmasseerträge zahlreicher Energiepflanzen im Vordergrund. Andererseits gewinnt die optimale Prozessführung von der Ernte bis zur Vergärung der Biomasse immer mehr an Bedeutung, um die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen zu gewährleisten.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen des Forschungsprojekts „Optimierung der Bereitstellung von Biomasse für innovative energetische Nutzungsformen“ auch die Einflüsse der Vorbehandlung von Korn und Stroh reifer Triticale auf die Methanbildung untersucht.

hand von pH-Wert- und Fettsäuremessungen erste Anhaltspunkte zu den Auswirkungen unterschiedlich aufbereiteter Biomasse auf die Prozessstabilität bei Kofermentation mit Rindergülle gesammelt werden.

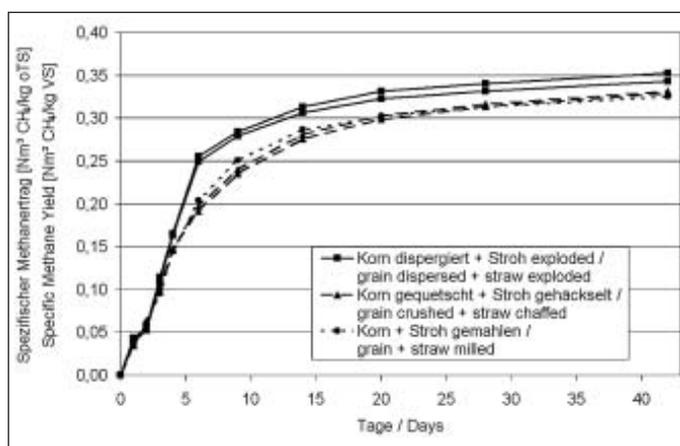
## Aufbereitung der Biomasse

Die vollreife Triticale wurde in die Fraktionen Stroh (90 % TS) und Korn (86 % TS) geteilt. Ausgehend vom ganzen Korn und dem grob gehäckselten Stroh wurden drei Varianten der Vorbehandlung untersucht:

Die Varianten 1 und 2 waren „trockene“ Aufbereitungsverfahren mit Schneidmühle (1 mm und 10 mm Siebdurchgang) und Korn-Quetsche. Bei Variante 3 wurde das Korn unter Zugabe von Wasser 15 min mit

*Bild 1: Spezifische Methanerträge ( $\text{Nm}^3$  Methan/kg oTS) der drei Vorbehandlungsvarianten von reifer Triticale (Korn + Stroh)*

*Fig. 1: Specific methane Yield ( $\text{Nm}^3$  methane/kg volatile solids (VS)) of ripe Triticale (grain + straw) pre-treated in three different techniques*



Ziel der Versuche war es, Erkenntnisse über die Änderung des spezifischen Methanertrags und die der Geschwindigkeit des mikrobiologischen Abbaus der Biomasse mit zunehmendem Zerkleinerungs- und Aufschlussgrad zu gewinnen. Zudem sollten an-

*Tab. 1: Varianten der Vorbehandlung des vollreife Triticalekorns/-strohs*

*Table 1: Techniques of the pre-treatment of ripe triticale's grain and straw*

	Korn	Stroh
1	gequetscht	gehäckselst, 10 mm
2	gemahlen, 1 mm	gemahlen, 1 mm
3	dispergiert	steam exploded (Thermo-Druck-Aufschluss)

einem Labor-Dispax („Ultra Turrax T50“) nass zerkleinert. Das Stroh wurde zusammen mit Wasser in einen Druckbehälter im Technikumsmaßstab gepumpt und dort auf 155 °C erhitzt. Das entspricht einem Druck von ~ 6 bar. Die Bedingungen wurden eine Stunde lang konstant gehalten; danach wurde das Material explosionsartig entspannt. Dieser thermo-mechanische Aufschluss wird als Steam Explosion oder in Kombination mit Biogasanlagen als Thermo-Druck-Hydrolyse (TDH-Verfahren) bezeichnet.

## Kofermentationsversuche

Für die Kofermentation der unterschiedlich aufbereiteten Triticale in 30-Liter-Fermen-

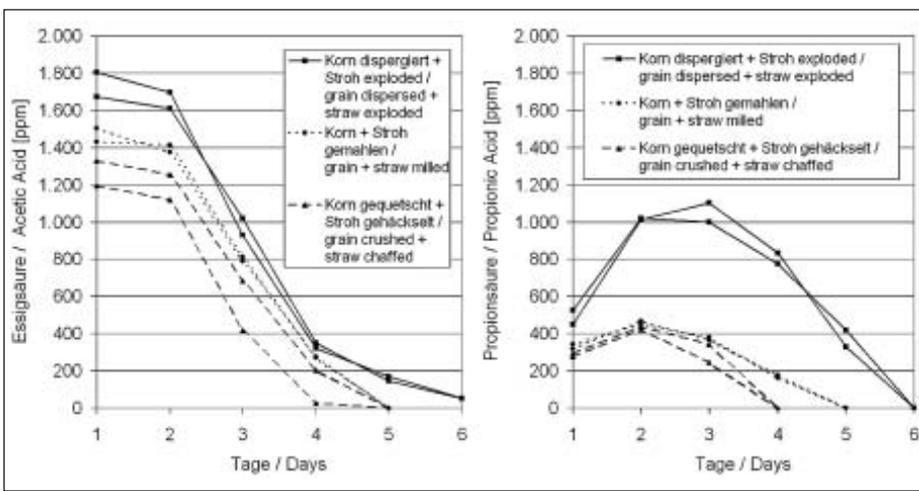


Bild 2: Essig- / Propionsäurekonzentration (ppm) im Batch-Verfahren

Fig. 2: Concentration of acetic and propionic acid (ppm) in the batch-procedure

tern wurden die beiden Fraktionen Stroh (54%) und Korn (46%) entsprechend dem Verhältnis der Trockenmasseerträge wieder zusammengeführt und gemeinsam mit dem Inoculum (ausgefäulete Rindergülle) vergoren. Die Untersuchungen wurden pro Variante parallel in zwei Fermentern im Batch-Verfahren über 42 Tage bei 37 °C nach den Regeln der VDI-Richtlinie 4630 „Vergärung organischer Stoffe“ durchgeführt [1]. Während des Versuchs wurden die gebildeten Biogasvolumina, Methangehalte, pH-Werte und die Fettsäurekonzentrationen erfasst.

### Ergebnisse und Diskussion

Bild 1 zeigt die aus den Biogaserträgen und den Methankonzentrationen errechneten Summenkurven der spezifischen Methanerträge von Triticale als reife Ganzpflanze (Stroh + Korn) aus den Untersuchungen in 30-Liter-Fermentern. Aufgrund eines Defekts an einem Ventil konnte von der Variante, bei der Korn und Stroh auf einen Millimeter gemahlen wurden, nur ein Fermenter zur Auswertung herangezogen werden.

Die beiden trocken-mechanischen Aufbereitungsvarianten wiesen bei „Korn gequetscht / Stroh gehäckselt“ mit  $0,330 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$  und bei „Korn gemahlen / Stroh gemahlen“ mit  $0,325 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$  ein sehr ähnliches Methanbildungsverhalten auf. Dagegen erzielte die nass aufbereitete Variante „Korn dispergiert / Stroh exploded“ mit  $0,348 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$  einen um 5 % höheren spezifischen Methanertrag nach 42 Tagen Verweilzeit. Bei dieser Variante war nach etwa der Hälfte der Versuchsdauer mit  $0,327 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ oTS}$  ein Niveau des spezifischen Methanertrags erreicht, das von den weniger intensiv aufbereiteten erst am Versuchsende erzielt wurde.

In Bild 2 sind die Verläufe der flüchtigen Fettsäuren Essig- und Propionsäure dargestellt. Nach derzeitigem Wissensstand wird der Biogasprozess in vier Phasen unterteilt: Hydrolyse, Versäuerung, Essigsäurebildung

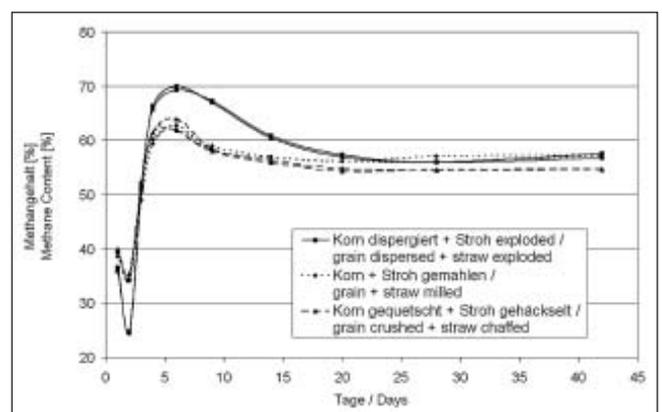
und Methanbildung. Die gemessenen Säurekonzentrationen sind ein Maß für die Balance des Zusammenspiels der verschiedenen Bakteriengruppen dieser vier Phasen. Hohe Säurekonzentrationen sind somit ein Indikator für ein temporäres Ungleichgewicht bei Propionsäure zwischen Säure- und Acetatbildnern und bei Essigsäure zwischen Acetat- und Methanbildnern.

Die höheren Säurekonzentrationen und die höheren spezifischen Methanerträge der Variante mit dem nass aufbereiteten Material legen den Schluss nahe, dass hier die Verfügbarkeit der anaerob abbaubaren Stoffe für die Bakterien durch diese Vorbehandlung gegenüber den Vergleichsvarianten erhöht wurde. Am zweiten Tag lagen die Essigsäurekonzentrationen aller Varianten nur geringfügig unter denen des Vortags und bei der Variante „Nassaufbereitung“ erreichte die Propionsäure zusätzlich eine deutlich höhere Konzentration als bei den Vergleichsvarianten. Erst am dritten Tag nahm die Summe der flüchtigen Fettsäuren wieder ab und am sechsten Tag waren nahezu keine überschüssigen Fettsäuren mehr nachzuweisen.

Bild 3 veranschaulicht die im Biogas gemessenen Methangehalte. Die Methankonzentration des Biogases der Variante „Korn dispergiert / Stroh exploded“ schwankte stärker als die der Vergleichsvarianten. Eine Erklärung dieses Phänomens könnte ein beschleunigter Ablauf der Hydrolysestufe sein. Am sechsten Tag erreichte die

Bild 3: Methangehalt im Biogas (%) – Batch-Verfahren

Fig. 3: Methane content in the biogas (%) – batch-procedure



Methankonzentration bei allen Varianten ihren Höhepunkt.

Die Aufbereitungsvarianten wurden getrennt nach den zwei Fraktionen Korn und Stroh weiteren Untersuchungen im Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) unterzogen. Anhand dieser Ergebnisse ließ sich die Erhöhung des spezifischen Methanertrags der Variante „Korn dispergiert / Stroh exploded“ allein auf die verbesserte Abbaubarkeit des Strohs zurückführen, während die Aufbereitung der Kornfraktion nahezu keine Veränderung im Abbauverhalten auslöste.

### Fazit und Ausblick

Verglichen mit den trockenen Vorbehandlungen der Triticale „Korn gequetscht / Stroh gehäckselt“ und „Korn gemahlen / Stroh gemahlen“ konnte mit der Variante „Korn dispergiert / Stroh exploded“ eine Erhöhung des spezifischen Methanertrags und eine Beschleunigung des anaeroben Abbaus erzielt werden.

Unter Praxisbedingungen wäre das thermo-mechanisch aufbereitete Stroh, anders als das trocken aufbereitete, eher als leicht abbaubares Material einzustufen und wie dieses vorsichtiger zu dosieren. Die „Fütterung“ sollte deshalb mehrmals am Tag und mit geringerer Menge erfolgen, damit eine Versäuerung und ein Abbruch der Methanbildung sicher vermieden werden.

Erste Abschätzungen des zusätzlichen Energie-Inputs der thermo-mechanischen Aufbereitung (Steam Explosion) deuten auf einen geringeren Energiegewinn gegenüber den beiden anderen Verfahren hin, da unter den gegenwärtigen Voraussetzungen der zusätzliche Energie-Output den höheren Input für die Aufbereitung des Materials nicht aufwiegt. Erst eine deutliche Reduktion des zugeführten Wassers und die Nutzung der Abwärme aus anderen Prozessen könnten den zusätzlichen Energie-Input der nass-thermo-mechanischen Vorbehandlung in Zukunft stark senken. Dadurch könnte der Energiegewinn der Vergleichsvarianten noch übertroffen werden.