

Einfluss der Substratmischung aus Energiepflanzen auf Abbaukinetik und Methanertrag

Die Kenntnisse über das Gärverhalten von Energiepflanzen als Gärsubstrat und die Bestimmung ihres Energieertragspotenzials sind Faktoren von höchster Bedeutung für den erfolgreichen Betrieb von Biogasanlagen. Mehrere Energiepflanzen und deren Mischungen untereinander wurden sowohl in Minibatch- (Hohenheimer Biogasertragstest) als auch in Standard-Laborfermentern untersucht, um das Gärverhalten, das optimale Mischungsverhältnis der Substrate und das Methanertragspotenzial zu bestimmen.

Die Ergebnisse zeigen bei einigen Mischungen deutliche Synergieeffekte sowohl in der Prozesskinetik wie auch dem spezifischen Methanertrag.

Michael Mukengele ist Doktorand, Mathieu Brulé ist Praktikant und Dr. Hans Oechsner ist Leiter der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen der Universität Hohenheim, Garbenstr. 9, D-70599 Stuttgart; e-mail: oechsner@uni-hohenheim.de

Schlüsselwörter

Anaerobe Fermentation, Biogas, Energiepflanzen, Methanertrag

Keywords

Anaerobic fermentation, biogas, energy crops, methane yield

In Deutschland werden gegenwärtig nach Schätzungen rund 3000 landwirtschaftliche Biogasanlagen betrieben, wobei sich deren Zahl seit 2001 etwa verdoppelt hat [2]. Diese Steigerung wurde hauptsächlich durch die Novellierung des Erneuerbaren Energie Gesetzes (EEG) ausgelöst, welche eine Bonusvergütung von 6 Cent/kWh produziertem Strom garantiert, wenn dieser ausschließlich aus tierischen Exkrementen und Energiepflanzen gewonnen wurde. Seitdem sind zahlreiche neue Energiepflanzen als Gärsubstrate in landwirtschaftlichen Biogasanlagen eingesetzt worden.

Zum Gärverhalten dieser Rohstoffe liegen noch sehr wenige Kenntnisse vor. Obwohl der Anbau dieser Substrate relativ kosten- und arbeitsintensiv ist, wird ihr Potenzial bei der Vergärung in Biogasanlagen häufig nicht vollständig ausgenutzt. Beim Einsatz von Energiepflanzen mit hohem Eiweißgehalt kann die in der Biomasse gespeicherte Energie häufig nur unvollständig in Methan umgesetzt werden. Über die erforderlichen Substratmischungen, die für den Biogasprozess einen optimalen Methanertrag erwarten lassen und sich damit positiv auf die Wirtschaftlichkeit beim Betrieb einer Biogasanlage auswirken, liegen bisher kaum Angaben vor.

Material und Methoden

Die hier vorgestellten Untersuchungen fanden in drei verschiedenen Fermentersystemen statt. Dabei wurde der Hohenheimer Biogasertragstest (HBT) zusammen mit standardisierten Laboranlagen mit 17 oder 31 Litern Nutzvolumen, die im Batch- und Durchflußbetrieb eingesetzt werden können, genutzt. Mit dem HBT wird sowohl das Gärverhalten wie auch das Energieertragspotenzial von Energiepflanzen bestimmt. Dieses Messsystem wurde an der Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen der Universität Hohenheim entwickelt und von Helffrich und Oechsner 2003 beschrieben [3]. Die Versuche wurden entsprechend der VDI-Richtlinie 4630 durchgeführt. Dabei wird eine spezifische

Menge des Testsubstrats mit jeweils drei Wiederholungen im Trockensubstanzverhältnis von 1:2 zwischen Inokulum und Testsubstrat abgewogen und in die Fermenter gegeben. Die Gärung lief bei einer Prozesstemperatur von 37°C und einer Verweilzeit von 35 Tagen ab. Jeweils sechs Fermenter werden bei den Untersuchungen mit Standardsubstrat betrieben, um eine Absicherung der Ergebnisse über einen Vergleich mit früheren Testläufen zu erhalten. Drei Fermenter werden mit reinem Inokulum angesetzt, um dessen Eigengasproduktion von der Biogasproduktion der Testsubstrate abziehen zu können.

Als Testsubstrate wurden fünf verschiedene Pflanzen eingesetzt. Es handelt sich um Maissilage, Winterweizen, Kleegrassilage, Futterrübensilage und Roggenganzpflanzen, die frisch verwendet wurden. Diese Rohsubstrate wurden im Versuch gezielt mit Maissilage als Mischungspartner in unterschiedlichen Verhältnissen von 25, 50 und 75 % (TS-bezogen) vermischt. Für diesen Versuchsansatz wurden 60 Fermenter eingesetzt. In den Laborfermentern mit 17 l (Horizontalfermenter) und 31 l (Vertikalfermenter) Nutzvolumen wurden die Mischungen von Maissilage und Winterweizen mit einem Mischungsverhältnis von 50 zu 50 % (oTS-bezogen) untersucht.

Die Substrate wurden für den Einsatz in diesen Fermentern unterschiedlich aufbereitet. Zum Teil erfolgte die gleiche Aufbereitung wie für den HBT, nämlich schonende Trocknung 60°C und Zerkleinerung mit einer Schneidmühle (Siebdurchgang 1 mm). Das übrige Substrat wurde gequetscht (Getreidekorn) oder frisch gehäckselt (Maissilage) in den Fermentern als Gärsubstrate eingesetzt. Während des gesamten Versuchsablaufs über eine Dauer von 35 Tagen erfolgte die Analyse zur Bestimmung der Konzentration an flüchtigen Fettsäuren (FFS), zum Gehalt an Trockensubstanz (TS) und organischer Trockensubstanz (oTS). Auch das gebildete Biogasvolumen und dessen Zusammensetzung (Methan- und Kohlendioxidgehalt) wurden regelmäßig bestimmt.

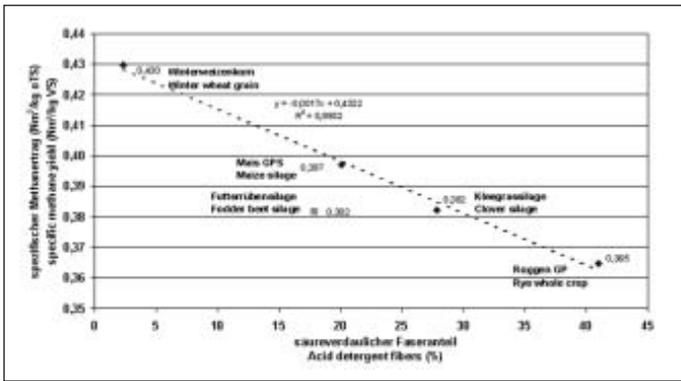


Bild 1: Spezifische Methanerträge von Energiepflanzen in Korrelation zum ADF-Gehalt (säureverdaulicher Faseranteil)

Fig. 1: Specific methane yields from energy crops in correlation to the ADF-content (acid digestible fibre)

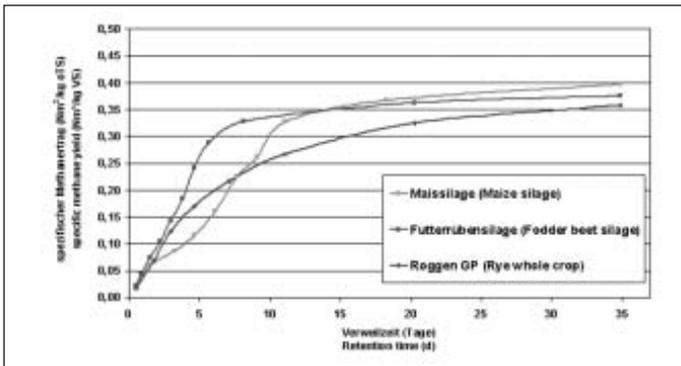


Bild 2: Gärverhalten von Roggen-GPS, Mais-GPS und Futterrüben-GPS

Fig. 2: Fermentation characteristics of rye whole-cropsilage, forage maize silage and fodder beet whole-crop silage

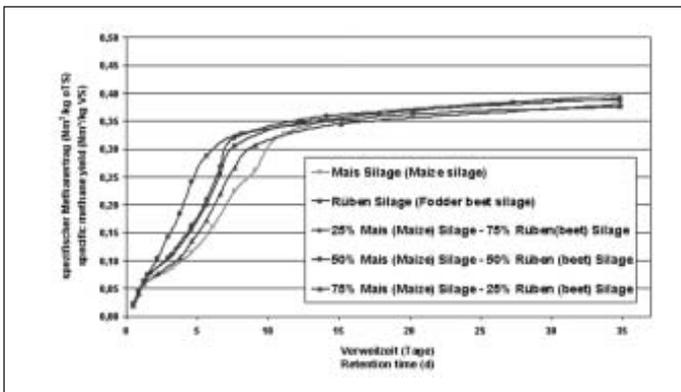


Bild 3: Methanertrag bei der Vergärung von Substratmischungen am Beispiel von silierten Futterrüben und Maissilage

Fig. 3: Methane yield during digestion of substrate mixes using the example of ensiled fodder beets and forage maize silage

gen der Mischungen ergaben sich im Versuch um bis zu 8 % höhere Methanerträge. Dies lässt auf einen Synergieeffekt durch die bessere Vergärbarkeit der Mischungen schließen. Die Vergärung der Substrate ist in starkem Maße von deren Gehalt an schwer abbaubaren Faserbestandteilen abhängig. In Bild 1 ist der Zusammenhang zwischen spezifischem Methanertrag der Reinsubstrate und deren Gehalt an säurelöslichem Faseranteil (ADF) dargestellt. Es ergibt sich ein klarer Zusammenhang. Mit steigendem Fasergehalt sinkt der aus dem jeweiligen Substrat gebildete Methanertrag ab. Dies bestätigt Erkenntnisse, die von Lemmer 2005 bei der Vergärung von Wiesenaufwuchs mit unterschiedlichen Rohfasergehalten beobachtet wurden [4].

Die Abbau erschwerende Wirkung des Rohfasergehaltes wird nicht nur beim Vergleich der Methanerträge nach 35 Tagen Gärdauer erkennbar, sondern auch im Verlauf der Methanbildungskurve. Die in Bild 2 dargestellte Roggenganzpflanze (nicht siliert) hatte einen Anteil an neutral verdaulichen Fasern (NDF-Gehalt) von 62,8 %, was dem Gehalt an Hemizellulose, Zellulose und Lignin entspricht [1]. Sie zeigt einen wesentlich flacheren Verlauf der Methanbildungskurve, also einen langsameren biologischen Umsatz der Inhaltsstoffe als die im Vergleich dazu dargestellte Rübensilage mit einem NDF-Wert von 29,7% (Bild 3).

Bei der Vorbehandlung von Weizen hat sich gezeigt, dass Quetschen als Vorbehandlung für die Fermentation bei Weizen ausreichend ist.

Literatur

- Bücher sind mit • gezeichnet
- [1] Andrieu, J., Y. Barrière und C. Demarquilly: „Digestibilité et valeur énergétique des ensilages de maïs : le point sur les méthodes de prévision au laboratoire“. Production Animales 12, pp. 391-396, INRA, France, 1999 <http://www.inra.fr/Internet/Produits/PA/an1999/tap1999/andrieu995.pdf>
 - [2] Biogasverband: „Biogas - das Multitalent für die Energiewende - Fakten im Kontext der Energiepolitik Debatte“. <http://www.biogasverband.org>, 2005
 - [3] Helffrich, D., und H. Oechsner: Hohenheimer Biogasertagstest - Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. Landtechnik 58 (2003), H. 3, S. 148 - 149 und Agrartechnische Forschung 9 (2003), H. 1, S. 27-30
 - [4] • Lemmer, A.: Kofermentation von Grüngut in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Dissertation, Universität Hohenheim, 2005, VDI-MEG Schrift 435
 - [5] VDI-Richtlinie 4630 Entwurf: Vergärung organischer Stoffe. VDI-Gesellschaft Energietechnik, Düsseldorf, ICS 13.030; 27.220, August 2004

Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der HBT-Untersuchungen dargestellt. Dabei sind die

spezifischen Methanerträge sowohl der reinen Pflanzen als auch der Mischungen aufgeführt. Während die Methanerträge der

Reinpflanzen zwischen 0,365 und 0,430 m³ Methan/kg oTS liegen, sind bei den Mischungen zum Teil höhere Methanerträge festzustellen.

Im Vergleich zu den mit Hilfe der Methanerträge der Einzelsubstrate berechneten Erträ-

Tab. 1: Spezifische Methanerträge von Energiepflanzen bei verschiedenen Mischungsverhältnissen

Table 1: Specific methane yields from energy crops at different mixing ratios

Versuchsaufbau	Substrate	Mischungsverhältnisse/ Mixture proportions	Methanertrag (Nm ³ CH ₄ /kg oTS-VS)
Mini-batch (HBT)	Maissilage	100%	0,397
	Winterweizenkorn/ Wheat grain	100%	0,430
	Maissilage + Winterweizenkorn/ wheat grain	25% - 75%	0,442
		50% - 50%	0,425
		75% - 25%	0,418
	Maissilage	100%	0,397
	Klegrassilage/ Clover silage	100%	0,382
	Maissilage + Klegrassilage/ clover silage	25% - 75%	0,391
		50% - 50%	0,387
		75% - 25%	0,387
	Maissilage	100%	0,397
	Futterrübensilage/ Fodder beet silage	100%	0,382
	Maissilage + Futterrübensilage/ fodder beet silage	25% - 75%	0,391
		50% - 50%	0,387
		75% - 25%	0,387
Maissilage	100%	0,397	
Roggen GP/ rye whole crop	100%	0,365	
Maissilage + Roggen GP/ rye whole crop	25% - 75%	0,361	
	50% - 50%	0,388	
	75% - 25%	0,386	