

# Bestimmung des Biogasertrags aus Co-Substraten im diskontinuierlichen Durchflussverfahren

*Gaserträge stammen häufig aus Batch-Versuchen. Zur Annäherung an Praxisverhältnisse wurden Gärtests im diskontinuierlichen Verfahren durchgeführt. Für Maissilage ergab sich ein Biogasertrag von  $617 L_N$  je kg oTS mit 53,6 % Methananteil, bei Grassilage wurden  $493 L_N \cdot (kg \text{ oTS})^{-1}$  mit 54 % Methan ermittelt.*

Von Planern und Anlagenbauern wird auf die unterschiedlichsten Gasertragswerte in der Literatur zurückgegriffen, die in einigen Fällen eine erhebliche Streubreite aufweisen [1, 2, 3]. Nahezu die Gesamtheit aller Literaturangaben zu Biogas- und Methanerträgen aus den verschiedenen nutzbaren (Co-)Substraten leiten sich von Batch-Versuchen ab [4]. In der Praxis gibt es jedoch mit Ausnahme einiger Feststoffvergärungsverfahren kaum Anlagen, die im Batch-Verfahren betrieben werden. Landwirtschaftliche Biogasanlagen sind Durchflussanlagen, die ein- bis mehrmals täglich, also diskontinuierlich beschickt werden. Dadurch ergeben sich deutliche Unterschiede zum Batch-Verfahren, wie eine gleichmäßige Raumbelastung der Fermenter und eine feste hydraulische Verweilzeit, die allerdings nur ein theoretischer Wert ist. In der Realität stehen die Substrate dem Abbau niemals vollständig über einen festen Zeitraum wie beim Batch-Verfahren zur Verfügung.

## Versuchsaufbau

Die 36 L-Technikumsfermenteranlage umfasst neun zylindrische, doppelwandige Behälter mit eigenem Heizwasserkreislauf, Rührwerk, Gasmengenmessung, Gasaufgangvorrichtung und Gasanalyse. *Bild 1* zeigt einen dieser Fermenter mit 28 L Nutzvolumen. Die sechs Glasfermenter dieser Anlage wurden im Durchfluss betrieben, die drei Edelstahlfermenter im Batch-Verfahren. Die Gasmengen wurden mit Milli-

Gascountern<sup>®</sup> des Typs MGC10 (0,5 bis 6,0 L/h) gemessen. Die Gasanalyse auf die Komponenten CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S erfolgte bei allen Fermentern mit einem erweiterten Gerät der Fa. Awite. Den Fermentern zugeführte oder entnommene Stoffmengen wurden durch manuelle Wägung erfasst.

## Substrate

Getestet wurden Ganzpflanzenmais- und Grassilage sowie Rapsöl. Die Wahl fiel auf diese Substrate, da es sich bei den ersten beiden um nachwachsende Rohstoffe handelt, die im Fall der Maissilage einen hohen Stärkegehalt und im Fall der Grassilage einen hohen Faserstoffgehalt aufweisen (*Tab. 1*). Demgegenüber sollte ein sehr leicht abbaubares und völlig faserstofffreies Substrat getestet werden. Diese Voraussetzungen erfüllt Rapsöl (*Tab. 1*).

## Vorgehen

Alle drei Substrate wurden zusammen mit einem auf Gülle und Viehmischfutter basierenden, aktiv gärenden Grundsubstrat, der sogenannten „Standardbiozönose“, als Inokulum vorgoren. Die Eigenschaften der Standardbiozönose sind in [5] beschrieben.

Dipl.-Ing. Manfred Speckmaier, Dipl.-Ing. agr. Markus Schlattmann und Dipl.-Ing. (FH) Tim Metzner sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Reststoffmanagement (Leitung: Dr. agr. Andreas Gronauer) am Institut für Landtechnik, Bauwesen und Umweltechnik (ILT) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Vöttinger Str. 36, 85354 Freising; e-mail: [manfred.speckmaier@LfL.bayern.de](mailto:manfred.speckmaier@LfL.bayern.de)  
Die Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

## Schlüsselwörter

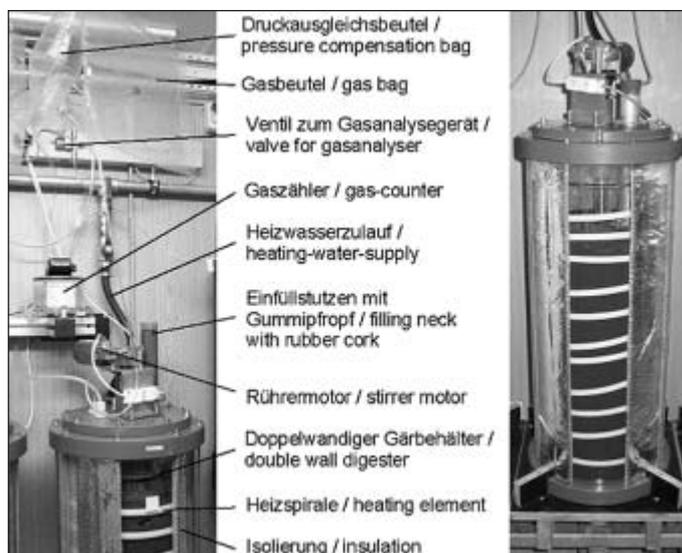
Biogas, Co-Substrate, Durchfluss, Technikumsfermenter

## Keywords

Biogas, co-substrates, continuous flow, laboratory-scale-digester

## Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05613 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.



*Bild 1: Technikumsfermenter*

*Fig. 1: Laboratory-scale digester*

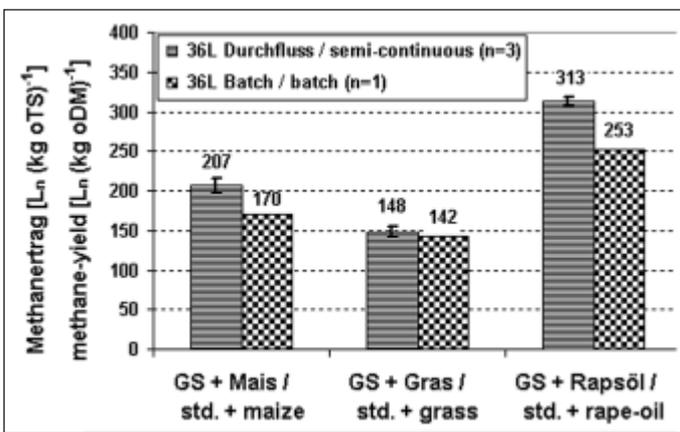


Bild 2: Methanerträge bezogen auf die den Fermentern zugeführte organische Trockensubstanz (GS = Grundsubstrat)

Fig. 2: Methane yields related to volatile solids supplied to the digesters (std = standardized substrate)

Für die Versuche im diskontinuierlichen Durchflussverfahren wurden die Fermenter zunächst mit 28 L Wasser gefüllt. Anschließend erfolgte an sechs Tagen der Woche jeweils in drei der sechs Glas-Fermenter eine Zufuhr von Standardbiozönose mit Testsubstrat. Die drei verbleibenden Fermenter dienten als Nullprobe, wobei der Substratannteil zur Gewährleistung der gleichen Verweilzeit hier durch Wasser ersetzt wurde.

Die Beschickung der 36 L-Durchflussfermenter wurde bezüglich der Testsubstrate auf  $1,7 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  ausgelegt. Der TS-Gehalt der Silagen wurde regelmäßig bestimmt. Das Rapsöl hingegen wies einen konstanten TS-Gehalt auf. Die Batch-Fermenter wurden zum Versuchsstart zu gleichen Teilen mit Standardbiozönosesubstrat und Wasser ge-

füllt und anschließend mit Test-Substrat beschickt. Die Nullprobe erhielt Wasser anstatt der Test-Substratzugabe.

### Ergebnisse

Auf Basis der hydraulischen Verweilzeit der Durchflussversuche von 32,7 Tagen sind auch die Batch-Ergebnisse nach diesem Zeitraum angegeben. Bei allen drei durchgeführten Substrattests wurde im Batch-Verfahren ein niedrigerer spezifischer Methanertrag festgestellt (Bild 2). Bezüglich der erzielten Methangehalte (Bild 3) ist zwischen beiden Fermentationsverfahren kein bedeutender Unterschied erkennbar.

In Tabelle 2 sind die Biogas- und Methanerträge bezogen auf die rein aus den Test-

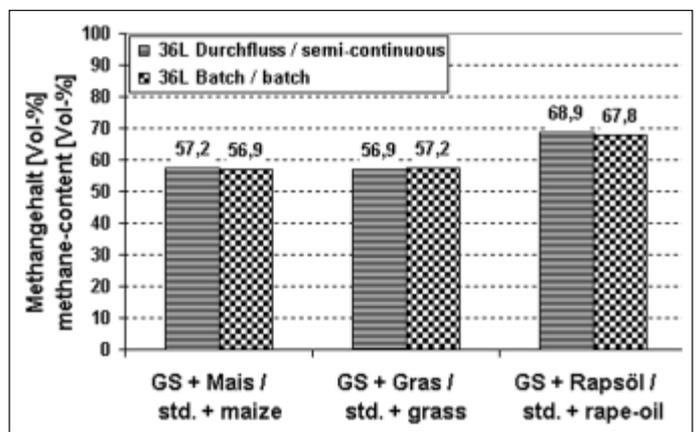


Bild 3: Durchschnittlicher Methangehalt des erhaltenen Biogases (GS = Grundsubstrat)

Fig. 3: Average methane-content of the biogas produced (std = standardized substrate)

substraten stammende zugeführte organische Trockensubstanz zusammengefasst und theoretisch errechneten Werten gegenübergestellt. Letztere wurden auf Basis der Ergebnisse aus den in Tabelle 1 dargestellten Weender-Analysen nach [6, 7] unter Anwendung der entsprechenden Verdaulichkeitswerte von Wiederkäuern ermittelt.

### Diskussion

Der leicht geringere spezifische Methanertrag aus den Batch-Ansätzen gegenüber den diskontinuierlich beschickten Fermentern gibt Anlass zur Vermutung eventuell auftretender Synergieeffekte beim Durchflussverfahren. Es ist denkbar, dass die Aktivität und die Spezialisierung der Biozönose im Durchfluss-besser ist als im Batch-Versuch. Der hier gefundene Sachverhalt findet auch Bestätigung bei [8].

Bei der Grassilage und dem Rapsöl liegen die gefundenen Werte der Gaserträge (Tab. 2) weniger als 10 % unter den entsprechenden theoretisch errechneten. Im Falle der Maissilage sind die Versuchswerte dagegen leicht höher als die theoretischen. Eine mögliche Erklärung ist, dass der Stoffabbau im Fermenter und im Wiederkäuerpannen nicht identisch von statten geht. Die Maissilage verfügt über viel Stärke (Tab. 1), die im Fermenter ähnlich leicht wie im Wiederkäuerpannen abzubauen sein dürfte. Bei der Grassilage besteht dagegen ein hoher Rohfasergehalt, der im Pansen durch das optimale Zusammenspiel einer komplexen Mikroflora weitgehender abgebaut werden kann als in einem Fermenter.

Fette und Öle sind sehr leicht abbaubar und müssten bei der in vitro Fermentation als auch bei der Verdauung im Tier gleichartig abgebaut werden. Enzyme und Emulgatoren aus Verdauungssäften fehlen jedoch im Fermenter, ein Grund für den Unterschied?

Über das Auftreten von Synergieeffekten bei Biogasfermentationen gibt es in der Literatur unterschiedliche Aussagen [9], was für eine systematische Untersuchung spricht.

Co-Substrat	Maissilage	Grassilage	Rapsöl
<b>Analysenparameter</b>			
TS [%]	39,3 ± 6,7	49,2 ± 7,8	100,0
oTS [% TS]	95,8 ± 3,1	90,2 ± 3,3	99,95
CSB [gO <sub>2</sub> /kg]	481,8 ± 49,9	623,7 ± 91,7	2415,6
freie flüchtige Fettsäuren [mg/L]	5092 ± (1929)	5329 ± 4524	25,71
Rohprotein [% TS]	8,6 ± 0,5	15,1 ± 1,2	n.n.
Rohfaser [% TS]	17,7 ± 2,1	31,9 ± 0,9	n.n.
Rohfett [% TS]	2,4 ± 0,5	1,5 ± 0,4	98,6
Stärke [% TS]	38,3 ± 2,7	1,8 ± 0,7	n.n.
Zucker [% TS]	n.n. <sup>o</sup>	0,7	n.n.
N-freie Extraktstoffe [% TS]	67,2*	41,8*	n.n.
NDF [% TS]	43,7 ± 2,5	62,9 ± 2,9	n.n.
ADF [% TS]	20,2 ± 1,4	38,0 ± 1,9	n.n.
ADL [% TS]	18,6 ± 1,4	34,2 ± 1,6	n.n.
Hemicellulose [% TS]	23,5*	24,8*	n.n.
Cellulose [% TS]	1,6*	3,8*	n.n.
* berechneter Wert	° nicht nachweisbar		

Tab. 1: Durchschnittliche Analysenwerte mit Standardabweichung der Co-Substrate; Analysen nach [10, 11]

Tab. 1: Mean values of the analysed parameters of the co-substrates; analyses according to [10, 11]

Tab. 2: Vergleich des Biogas- und Methanertrages der im semi-kontinuierlichen Durchflussverfahren getesteten Co-Substrate gegenüber den äquivalenten berechneten Werten basierend auf deren theoretischer Verdaulichkeit

Co-Substrat	Biogas- und Methanertrag		Biogas- und Methanertrag	
	Biogas-ertrag	Methanertrag	Biogas-ertrag	Methanertrag
	[L <sub>N</sub> (kg oTS <sub>20</sub> ) <sup>-1</sup> ]		[L <sub>N</sub> (kg oTS <sub>20</sub> ) <sup>-1</sup> ]	
Maissilage	617 ± 39	331 ± 23	594	309
Grassilage	494 ± 34	266 ± 19	545	291
Rapsöl	1053 ± 32	745 ± 21	1200	816

Tab. 2: Comparing biogas and methane yields obtained from the tested co-substrates in semi-continuous run digesters versus the equivalent values calculated on the basis of theoretical degradability