

Biogasgewinnung aus Rindergülle und nachwachsenden Rohstoffen

Einfluss der Belastung des Fermenters

Die Belastung des Fermenters mit organischer Substanz ist eine wichtige Einflussgröße auf die Biogasausbeute. Auf Grundlage der Substratbilanzgleichung in vollständig durchmischten Biogasfermentern und des Substratabbaus nach einer Reaktion erster Ordnung wird eine Bemessungsformel hergeleitet, in der die oTS-Biogasausbeute y in Abhängigkeit von oTS-Raumbelastung B_R , der maximal möglichen Biogasausbeute y_m , der oTS-Konzentration im Substrat c_0 und einer Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k berechnet werden kann. Die Validierung der Bemessungsformel erfolgte anhand systematisch durchgeführter Belastungssteigerungsversuche bei 35°C.

PD Dr. agr. habil. Dipl.-Ing. Bernd Linke ist Leiter der Abteilung Bioverfahrenstechnik und Dipl.-Ing. agr. Pia Männert ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Leibniz-Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam; e-mail: blinke@atb-potsdam.de

Referierter Beitrag der **LANDTECHNIK**, die Langfassung finden Sie unter **LANDTECHNIK-NET.com**.

Schlüsselwörter

Gülle, Nachwachsende Rohstoffe, Biogasausbeute

Keywords

Liquid manure, energy crops, biogas yield

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 05504 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Mit der Novellierung des EEG wird der Einsatz nachwachsender Rohstoffe (NawaRos), die heute überwiegend gemeinsam mit Gülle bei mesophilen Temperaturen vergoren werden [1, 2] interessant. Neben dieser Kovergärung gewinnt die Monovergärung von NawaRos zunehmend an Bedeutung. Nachdem vor etwa zehn Jahren mit Pilotversuchen in Triesdorf der Nachweis der Monovergärung von Gras und Grassilage geführt wurde [3], folgten weitere Versuche zur Ermittlung kinetischer Daten aus Rübensilage unter Laborbedingungen [4, 5, 6]. Erste Praxiserfahrungen zur Monovergärung, insbesondere mit Maissilage [7], Roggen-Ganzpflanzensilage [8] und Rübensilage [9] liegen vor und zeigen, dass eine stabile Stromerzeugung allein auf der Basis von NawaRos möglich ist. Ein wichtiger Parameter für die Bemessung des Fermentervolumens ist die Belastung mit organischer Substanz, ausgedrückt als oTS-Raumbelastung. Am Beispiel von Maissilage, Rübensilage, Roggen-Ganzpflanzensilage und Rindergülle werden Ergebnisse zur systematischen Steigerung der oTS-Raumbelastung und deren Einfluss auf die Biogasausbeute vorgestellt und in einem einfachen Bemessungsansatz validiert.

Ein einfacher Bemessungsansatz

Grundlage für die Bemessung ist die Bilanzgleichung für Substrat, das mit einem Massestrom m_0 und einer Zulaufkonzentration c_0 in einen vollständig durchmischten Fermenter mit einem Volumen V gelangt, mit einer von der Substratkonzentration c abhängigen Reaktionsgeschwindigkeit $r(c)$ abgebaut wird und in einer Gleichgewichtskonzentration c_F vorliegt:

$$V \frac{dc}{dt} = m_0 \cdot c_0 - m_0 \cdot c_F + V \cdot r(c) \quad (1)$$

Geht man davon aus, dass die Geschwindigkeit des Substratabbaus $r(c)$ nach einer Reaktion 1. Ordnung mit einer Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k entsprechend $r(c) = -k \cdot c$ verläuft und das Fermentervolumen V dem Produkt aus Massestrom m_0 und der Verweilzeit t_m entspricht, dann ergibt

sich im Gleichgewichtszustand des Fermenters, also bei $dc/dt = 0$, Gleichung (2) mit c_F als Fermenterkonzentration.

$$t_m = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{c_0}{c_F} - 1 \right) \quad (2)$$

Da eine Korrelation zwischen der Biogasausbeute y , der abgebauten Substratkonzentration $c_0 - c_F$, der zu Biogas umsetzbaren Substratkonzentration c_0 und der maximal möglichen Biogasausbeute y_m entsprechend (3) besteht, lässt sich (2) umformen, und man erhält (4).

$$\frac{c_0 - c_F}{c_0} = \frac{y}{y_m} \quad (3)$$

$$t_m = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{y}{y_m - y} \right) \quad (4)$$

Ersetzt man in (4) t_m durch c_0/B_R mit B_R als Belastung des Fermenterraumes mit organischer Trockensubstanz (oTS-Raumbelastung), erhält man eine Bemessungsgleichung für y nach (5):

$$y = y_m \frac{k \cdot c_0}{k \cdot c_0 + B_R} \quad (5)$$

Um mit (5) rechnen zu können, müssen y_m und k bekannt sein. Beide Parameter wie auch c_0 sind substratspezifisch und können in einfachen Versuchen ermittelt werden. Den Wert für k erhält man aus (6) durch Umstellung von (5).

$$k = \frac{B_R}{c_0} \cdot \left(\frac{y}{y_m - y} \right) \quad (6)$$

Substratanalysen und Versuchsdurchführung

Als NawaRos kamen Silagen aus Mais (Sorte Lincoln/Cascadas-Gemisch; Ende Teigreife), Roggen als Ganzpflanze (Sorte Avanti; nach Ährenschieben) sowie gemusste Gehaltsrüben (Sorte Kyros; Silierung nach Reinigung) zum Einsatz. Als Grundsubstrat bei den Kovergärungen wurde Rindergülle aus einer Milchviehanlage eingesetzt. Die chemischen Analysen der Substrate nach DIN sind als Mittelwerte in *Tabelle 1* dargestellt und hinsichtlich TS, Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Rohfaser (XF) mit Litera-

turwerten [10] verglichen (Werte in Klammern). Neben den genannten Einzelsubstraten wurden auch jeweils zwei Mischungen aus NawaRos und Rindergülle geprüft, bei denen 67 und 33 Masseprozent der oTS in der Mischung von den NawaRos getragen wurden. Für die Versuche kamen zehn vollständig durchmischte Fermenter (Nutzvolumen je 8 l, 35°C) zum Einsatz. Das produzierte Biogas aus jedem Fermenter wurde in einem Gasbeutel gesammelt, mit einem Präzisionsgaszähler (Firma Ritter) gemessen und mit einem Gasanalysegerät (Firma Pro-nova) die Komponenten CH₄, CO₂ und H₂S bestimmt.

Ergebnisse

Der Einfluss der oTS-Raumbelastung auf die oTS-Biogasausbeute ist beispielhaft für Maissilage und Mischungen mit Rindergülle dargestellt (Bild 1) und zeigt, dass die oTS-Biogasausbeute mit zunehmender Belastung und mit steigendem Anteil Gülle in den Mischungen abnimmt. An die ermittelten oTS-Biogasausbeuten lassen sich Kurven nach Gleichung (5) anpassen. Bei bekannten Zulaufkonzentrationen c_0 liefern die hyperbolischen Kurvenanpassungen an die über fast ein Jahr ermittelten Messwerte die maximale Biogasausbeute y_{max} sowie die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k . Alternativ kann die Größe von y_{max} auch im einfachen Gärtest bestimmt und k aus Gleichung 6 berechnet werden. Für diese Berechnung wird jedoch ein Wert für y benötigt, der in einem quasi-kontinuierlichen Laborversuch im Gleichgewichtszustand des Fermenters bei einer konstanten oTS-Raumbelastung zwischen 2 und 3 $\text{kgm}^{-3}\text{d}^{-1}$ zu bestimmen ist. Der Einfluss der oTS-Raumbelastung auf die oTS-Biogasausbeute war bei den geprüften NawaRos unterschiedlich ausgeprägt. Während bei der Monovergärung von Rübensilage auch bei Raumbelastungen von 3,0 $\text{kgm}^{-3}\text{d}^{-1}$ ($y_{BR}=3$) noch fast die maximale oTS-Biogasausbeute

Bild 1: Einfluss der oTS-Raumbelastung B_R auf die oTS-Biogasausbeute y bei kontinuierlicher Vergärung von Maissilage mit Rindergülle: (-◆-) Monovergärung ($R^2=0,72$), (-□-) Kovergärung von 67 % Maissilage ($R^2=0,79$), (-▲-) Kovergärung von 33 % Maissilage ($R^2=0,83$), (-○-) Vergärung von Rindergülle ($R^2=0,64$), Symbole bei $B_R=0$ entstammen Batch-Versuchen

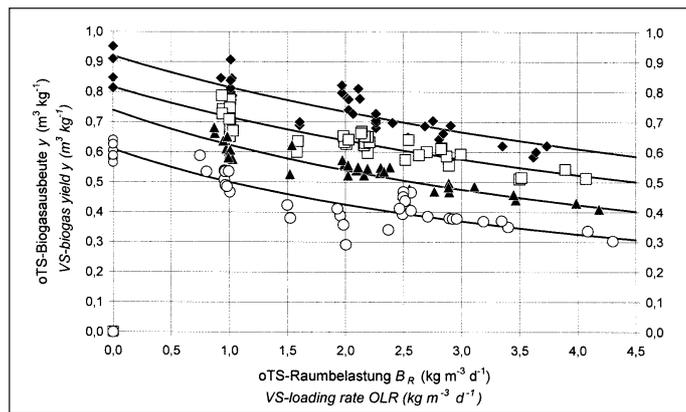


Fig. 1: Effect of VS-loading rate OLR on VS-biogas yield from continuous fermentation with forage maize silage and cattle slurry. (-◆-) Mono-fermentation ($R^2=0.72$); (-□-) co-fermentation of 67 % forage maize silage ($R^2=0.79$); (-▲-) co-fermentation of 33 % forage maize silage ($R^2=0.83$); (-○-) fermentation of cattle slurry ($R^2=0.64$); symbols at OLR=0 result from batch-experiments

te erzielt wird, erreicht die oTS-Biogasausbeute bei der Vergärung von Rindergülle mit 0,38 m^3kg^{-1} nur 62 % des Maximalwertes. Diese substratspezifische Eigenschaft spiegelt sich auch in der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten k wider. Mit etwa 55 bis 57 % Methananteil im Biogas werden für NawaRos geringere Werte als bei Rindergülle erzielt. Mischungen aus beiden Komponenten bewegen sich im Bereich der Einzelsubstrate (Tab. 2).

Fazit

Die vorliegenden Ergebnisse aus quasi-kontinuierlichen Langzeitversuchen haben gezeigt, dass der Einfluss der oTS-Raumbelastung auf die oTS-Biogasausbeute für den anaeroben Abbau von Gülle und nachwachsenden Rohstoffen in vollständig durchmischten Fermentern mit einer einfachen Bemessungsgleichung beschrieben werden kann. Die in der Gleichung zu berücksichtigenden Parameter sind die oTS-Konzentration des Gärsubstrates, die maximale oTS-Biogasausbeute und die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante. Alle Parameter sind substratspezifisch und lassen sich durch eine einfache oTS-Analyse, einen Gärtest oder durch einen Langzeitversuch bestimmen.

Tab. 1: Durchschnittliche Analysenwerte der eingesetzten Substrate, (-) Werte aus [10]: pH-Wert, Trockensubstanz (TS), organische TS (oTS), Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Rohfaser (XF)

Substrat	pH	TS	oTS	XP	XL	XF
	[-]	% FM	% TS	% TS	% TS	% TS
Maissilage	3,7	31 (35)	94,6	14,4 (8,1)	2,6 (3,2)	24,1 (20,1)
Rübensilage	3,8	13 (15)	91,8	7,5 (7,7)	0,9 (0,7)	8,2 (6,4)
Roggensilage ¹⁾	4,7	23 (21)	86,7	9,4 (10,5)	3,3 (3,7)	31,6 (35,1)
Rindergülle	7,1	9,8	81,2	-	-	-

Table 1: Average nutrient composition of the substrates used (-) values from [10]: pH, total solids (TS), volatile solids (VS), crude protein (XP), crude fat (XL) and crude fibre (XF)

Tab. 2: Ergebnisse der kontinuierlichen Vergärung von NawaRos: durchschnittliche Zulaufkonzentration des Substrates c_0 ; maximale Biogasausbeute y_m und Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k ; oTS-Biogasausbeute bei einer oTS-Raumbelastung von 3 $\text{kgm}^{-3}\text{d}^{-1}$ ($y_{BR}=3$) sowie Methangehalt des Biogases ($n = 69$ bis 74)

Substrat	c_0	y_m	k	$y_{(BR=3)}$	CH ₄
	g kg^{-1}	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	d^{-1}	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$	Vol-%
100% Maissilage	292	0,92	0,027	0,67	54,6±1,3
67% Maissilage	147	0,82	0,049	0,58	56,2±1,4
33% Maissilage	98	0,74	0,055	0,48	58,1±1,1
100% Rübensilage	124	0,93	0,273	0,85	55,5±2,2
67% Rübensilage	100	0,80	0,252	0,71	56,4±2,1
33% Rübensilage	84	0,73	0,129	0,57	58,4±1,3
100% Roggensilage ¹⁾	198	0,91	0,037	0,65	57,2±1,7
67% Roggensilage	125	0,81	0,056	0,57	58,3±1,5
33% Roggensilage	92	0,72	0,066	0,48	59,9±1,3
Rindergülle	72	0,61	0,064	0,37	61,3±1,9

Table 2: Results of continuous fermentation of energy crops: average VS-concentration of the substrate c_0 ; maximum VS-biogas yield y_m and reaction rate constant k ; VS-biogas yield at OLR of 3 $\text{kgm}^{-3}\text{d}^{-1}$ ($y_{BR}=3$) and methane content of the biogas ($n = 69$ to 74)