

Andreas Lehner, Mathias Effenberger, Rainer Kissel und Andreas Gronauer

Restgaspotenzial in Gärresten aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Für die vergleichende Beurteilung des potenziellen Restgasertrags in einem unbeheizten Gärrestlager wurden Ablaufproben aus 15 landwirtschaftlichen Biogasanlagen (BGA) einem sogenannten Restgaspotenzialtest bei 22 °C unterzogen. Für das relative Restgaspotenzial wurden Werte zwischen 0,3 und 1,3 % der Biogasausbeute der eingesetzten Substrate gemessen. Für die beiden einstufigen BGA betrug der Wert etwa 1,2 %. Für die zweistufigen BGA lag das Restgaspotenzial bei 0,9 % gegenüber 0,4 % für die dreistufigen Anlagen. Von einer Ausnahme abgesehen, lag bei einer Gesamtverweilzeit von 100 Tagen oder mehr das Restgaspotenzial deutlich unter 1,0 %. Für die Mehrzahl der Proben war eine positive Korrelation des Restgaspotenzials mit dem FFS-Gehalt erkennbar. Die tatsächliche Ausgasung im Gärrestlager einer Biogasanlage und damit die potenziellen Methanemissionen bei offener Lagerung sind mit einem Batch-Ansatz nicht exakt zu quantifizieren, da die Reaktionsbedingungen in der Praxis nicht nachgebildet werden können.

Schlüsselwörter

Biogas, Treibhausgase, nachwachsende Rohstoffe, Wirtschaftsdünger

Keywords

Biogas, greenhouse gases, energy crops, animal manure

Abstract

Lehner, Andreas; Effenberger, Mathias; Kissel, Rainer and Gronauer, Andreas

Residual biogas yield of digestate from agricultural biogas plants

Landtechnik 64 (2009), no. 5, pp. 330 - 332, 3 figures, 1 table, 1 reference

To evaluate the residual biogas yield during storage, biogas tests at a temperature of 22 °C were performed with samples of liquid digested residue from 15 agricultural biogas plants (BGP). Values of residual biogas yield between 0.3 and 1.3 % with respect to the biogas yield from the raw input materials were measured. For the two one-stage BGP, the value was about 1.2 %. For the two-stage plants, a residual biogas yield (RBY) of 0.9 % was determined as opposed to 0.4 % for the three-stage plants. With a single exception, the RBY was clearly below 1.0 % if the overall hydraulic retention

time in the BGP was equal to or larger than 100 days. For the majority of samples, the residual biogas yield showed a positive correlation with the level of volatile fatty acids in the digestate. Since the real conditions in storage tanks cannot be simulated with a simple batch-test, the results are not representative for the actual biogas production and potential methane emissions from the digestate during open storage.

Die Bereitstellung der Substrate stellt bei der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro) den Hauptkostenfaktor dar. Neben einer Minimierung der Verluste bei der Ernte und beim Silierprozess ist daher die Maximierung der Biogasausbeute aus den eingesetzten Nawaro betriebswirtschaftlich geboten. Auch aus umweltökonomischer Sicht sollten die Einsatzstoffe weitestgehend ausgegoren werden, um die Energiebilanz der Biogasproduktion zu verbessern und die Methanemissionen während einer eventuellen Lagerung des Gärrestes in einem offenen Behälter möglichst gering zu halten. Zur Bewertung des Stabilisierungsgrades des Ablaufs aus einer Biogasanlage kann ein sogenannter Restgaspotenzialtest dienen, bei dem eine Probe des Gärrests unter Laborbedingungen in einem Batch-Ansatz vergoren wird. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse solcher Tests für 15 landwirtschaftliche Biogasanlagen (BGA) diskutiert.

Anlagenbeschreibung und Methodik

Die untersuchten 15 BGA wurden in den Jahren 2001 bis 2006 in Betrieb genommen und setzen nachwachsende Rohstoffe,

Tab. 1

Kenngrößen der beprobten Biogasanlagen

Table 1: Characteristics of investigated biogas plants

Kenndaten		von	bis
Jahr der Inbetriebnahme		2001	2006
Anzahl Prozessstufen		1	3
Gesamt-Nutzvolumen ¹⁾	m ³	1080	4 200
Gesamt-Lagervolumen	m ³	739	5 000
Mittlere Prozesstemperatur Fermenter	°C	40	53
Mittlere Prozesstemperatur letzte Stufe	°C	19	53
Hydraulische Gesamt-Verweilzeit	d	35	144
Raubelastung Nutzvolumen	kg oTM • (m ³ • d) ⁻¹	1,8	6,2
Methanproduktivität	Nm ³ • (m ³ • d) ⁻¹	0,34	2,4

¹⁾ Summe der Nutzvolumina aller Prozessstufen (ohne Gärrestlager)

teils in Kombination mit Gülle oder Mist ein (Tabelle 1). Der Gärprozess läuft bei elf BGA im mesophilen Temperaturbereich und bei vier BGA auf thermophilem Temperaturniveau ab.

Die Gärtests zur Ermittlung des Restgaspotenzials wurden in der Laborfermenteranlage des Instituts für Landtechnik und Tierhaltung durchgeführt. Die Proben von den Praxisanlagen wurden am Überlauf bzw. an einem Probenahmehahn der jeweils letzten Gärstufe entnommen.

Die Restgaspotenzialtests wurden auf zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus jeweils in drei Parallelen über einen Zeitraum von 60 Tagen durchgeführt. Um den Stabilisierungsgrad des Gärgemisches zu messen, wurde eine Gärtemperatur von 38 °C gewählt. Für die Abschätzung des potenziellen Restgasertrags in einem unbeheizten Gärrestlager erfolgte der Test bei 22 °C. Die Inkubation erfolgte ohne Zugabe eines Inokulums in Glasflaschen mit einem Nutzvolumen von 2 l.

Das (relative) Restgaspotenzial wurde errechnet als Anteil der Biogasausbeute im Gärttest am Wert der in der Praxisanlage erzielten Biogasausbeute. Hierfür wurde auf Basis des gemessenen Biogasertrags in der Anlage der jeweilige Abbau der organischen Trockenmasse (oTM) ermittelt und die Bezugsgröße oTM für die im Gärttest gemessene Biogasausbeute um diesen Abbau korrigiert.

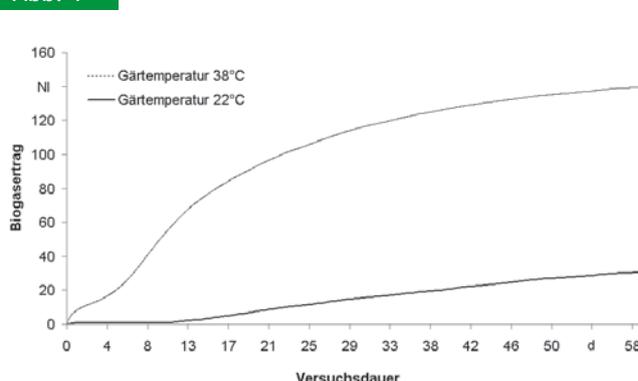
Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Gärtests mit den Proben von 15 BGA zeigen eine erhebliche Bandbreite. So wurden bei einer Gärtemperatur von 38 °C Restgaspotenziale von 1,3 bis 6,1 % gemessen. Erwartungsgemäß wurden in den Gärtests bei 22 °C deutlich geringere Ausbeuten erzielt. Hier schwankten die Werte zwischen 0,3 und 1,3 % der Biogasausbeute der eingesetzten Substrate, entsprechend 12 bis 47 % der Ausbeuten in den „warmen“ Gärtests (im Mittel 24 %). Tendenziell war für die thermophilen BGA der Unterschied „kalt“ zu „warm“ größer als für die mesophilen Anlagen (im Mittel 18 % gegenüber 26 %). Dies lässt sich mit der Wirkung des größeren Temperaturabfalls auf die methanogenen Organismen im Falle der thermophilen BGA

erklären. Betrachtet man die Kurven der kumulierten Biogasproduktion im Verlauf der Batch-Gärtests, so zeigen sich zum Teil sehr deutliche anlagenindividuelle Unterschiede. Anhand unterschiedlicher Gasproduktionsraten lassen sich teilweise mehrere Phasen des weiteren Abbaus verschiedener Stoffgruppen erkennen. Ein Beispiel gibt **Abbildung 1**, die den Verlauf der Biogasbildung der beiden Gärtests für Proben aus einer zweistufigen, mesophilen BGA zeigt. In diesem Fall setzt die Gasbildung im „warmen“ Test sofort ein, geht dann aber im Verlauf des ersten Tages erkennbar zurück. Dies lässt vermuten, dass im Gärgemisch aus der Anlage noch geringe Mengen an leicht abbaubarer Organik enthalten waren. Ab dem dritten Versuchstag nimmt die Biogasrate bis in etwa zum Tag 8 wieder zu, um dann bis Versuchsende langsam abzusinken. Im „kalten“ Ansatz zeigt sich eine Lag-Phase von zehneinhalb Tagen, bevor eine deutliche Gasproduktion einsetzt.

Die weiteren Auswertungen beschränken sich auf die Versuchsreihe der „kalten“ Restgaspotenzialtests (22 °C). Die Abhängigkeit des Restgaspotenzials von der Gesamt-Verweilzeit im Fermentersystem der Biogasanlagen ist für die vorliegenden Daten nicht eindeutig (**Abbildung 2**). Werden die Werte der ein-, zwei- und dreistufigen BGA separat betrachtet, so liegen die Proben aus letzteren drei Anlagen mit sehr ähnlichen Verweilzeiten um 130 Tage allesamt auf niedrigem Niveau. Im Vergleich zu diesen wurde für die zwei einstufigen Anlagen mit sehr unterschiedlichen Verweilzeiten mehr als das doppelte Restgaspotenzial (ca. 1,2 %) ermittelt. Die Werte für die Gesamt-Verweilzeit und das Restgaspotenzial der zweistufigen Anlagen weisen eine sehr große Bandbreite auf. Das höchste Restgaspotenzial (1,7 %) wurde trotz einer Gesamtverweilzeit von 131 Tagen für eine BGA mit vorgeschalteter Versäuerung ermittelt. Von dieser Ausnahme abgesehen, lag bei einer Gesamtverweilzeit von 100 Ta-

Abb. 1



Verlauf der kumulierten Biogasproduktion während des „warmen“ und „kalten“ Gärtests für eine zweistufige Biogasanlage (mittlere Prozesstemperatur 2. Stufe: 43 °C, Gesamtverweilzeit: 99 Tage, Substratmix: 58 Massen-% Nawaro, 42 % Schweinegülle)

Fig. 1: Development of cumulated biogas production during „warm“ and „cold“ biogas tests for a two-stage biogas plant (mean temperature in 2nd stage: 43 °C; total hydraulic retention time: 99 days; input: 58 (m/m) energy crops, 42 % liquid pig manure)

gen oder mehr das Restgaspotenzial deutlich unter 1,0 %. Im Mittel lag für die zweistufigen BGA das Restgaspotenzial bei 0,9 % gegenüber 0,4 % für die dreistufigen Anlagen. Bundesweite Ergebnisse für das Restgaspotenzial von 60 BGA ergaben im Mittel einen Wert von 3,7 % für einstufige und 1,4 % für mehrstufige Anlagen [1]. Hier lag bei Verweilzeiten oberhalb von 100 Tagen das Restgaspotenzial (mit einer Ausnahme) bei unter 2 %.

Betrachtet man die gemessenen Restgaspotenziale vor dem Hintergrund der Methanproduktivität der BGA, so heben sich die beiden einstufigen Anlagen mit einer Methanproduktivität von 1,8 bzw. 2,4 $\text{Nm}^3 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ deutlich nach oben ab (Zusammenhang nicht dargestellt). Am ineffizientesten zeigen sich drei zweistufige Anlagen, welche bei Methanproduktivitäten von 1,0 bis 1,2 $\text{Nm}^3 \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{d})^{-1}$ hohe Restgaspotenziale von 1,4 bis 1,7 % aufweisen.

Als Indikator für die Aktivität des Abbaus und damit die potenzielle Restgasbildung kann der Gehalt an flüchtigen Fettsäuren in der Probe des Gärgemisches betrachtet werden. Der Zusammenhang für die vorliegenden Testergebnisse ist in **Abbildung 3** dargestellt. In den Proben aus fünf zweistufigen BGA konnten keine flüchtigen Fettsäuren nachgewiesen werden. Mit einer Ausnahme lag für diese Proben das Restgaspotenzial auf niedrigem Niveau ($\leq 0,65$ %). Für die übrigen Proben ist eine positive Korrelation des Restgaspotenzials mit dem FFS-Gehalt klar erkennbar. Die Wertepaare für die ein- und dreistufigen Anlagen liegen hierbei jeweils relativ dicht beieinander. Die höchsten FFS-Gehalte wurden in Proben aus zwei Anlagen desselben Typs mit Vorversäuerung gefunden.

Schlussfolgerungen

Die vorgestellten Ergebnisse von Gärtests zur Bestimmung des Restgaspotenzials im Ablauf von 15 Biogasanlagen zeigen eine große Variabilität, die sich aus der Kombination unterschiedlicher Anlagenkonzepte mit vielfältigen Mischungen der Einsatzstoffe ergibt. Der Verlauf der Biogasproduktion lässt

hierbei Rückschlüsse auf im Gärrest noch vorhandene Stoffgruppen mit unterschiedlicher Abbaubarkeit zu. Bei einer Verweilzeit von unter 100 Tagen ist auch in mehrstufigen Anlagen mit einem erhöhten Restgaspotenzial von > 1 % zu rechnen. Einstufige Anlagen mit hoher Methanproduktivität, die meist deutlich kürzere Verweilzeiten aufweisen, überschreiten diesen Wert klar. Das Niveau des Restgaspotenzials kann mit Einschränkungen grob anhand des FFS-Gehaltes in der Gärrestprobe beurteilt werden: Für ein Restgaspotenzial von < 1 % sollte die Gesamt-FFS-Konzentration unter $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ liegen. Es bleibt festzuhalten, dass die restliche Ausgasung im Gärrestlager einer Biogasanlage und damit die potenziellen Methanemissionen bei offener Lagerung mit einem Restgaspotenzialtest nicht exakt zu quantifizieren sind, da die Reaktionsbedingungen in der Praxis mit einem einfachen Batch-Ansatz nicht nachgebildet werden können.

Literatur

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ● Johann Heinrich von Thünen-Institut: Bundesmessprogramm zur Bewertung neuartiger Biomasse-Biogasanlagen: Abschlussbericht, FNR-FKZ: 22003405. Braunschweig, Januar 2009

Autoren

Dipl.-Ing. agr. Andreas Lehner, Dipl.-Ing. (FH) Rainer Kissel und **Dr.-Ing. Mathias Effenberger** sind wissenschaftliche Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Biogastechnologie und Reststoffmanagement am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Vöttinger Str. 36, 85354 Freising; E-Mail: andreas.lehner@LfL.bayern.de

Dr. agr. Andreas Gronauer ist Leiter der Arbeitsgruppe Biogastechnologie und Reststoffmanagement am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft; E-Mail: andreas.gronauer@LfL.bayern.de

Danksagung

Die Arbeiten wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten sowie von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. finanziell gefördert.

