

Friedrich Weißbach, Nils Engler und Stefanie Weßeling

Effekte der gasdichten Abdeckung von Gärrestlagerbehältern bei der Biogasgewinnung

Untersucht wurden zwei baugleiche Biogasanlagen, die sich nur in der Art der Abdeckung – mit und ohne gasdicht abgedecktem Gärrestlagerbehälter – unterschieden. Durch die Einbeziehung des Gärrestlagers in das gasdichte Fermentersystem verlängerte sich die hydraulische Verweilzeit von 40 auf rund 110 Tage. Als Folge davon konnten die Ausnutzung des Gasbildungspotenzials der Substrate und die Energieproduktion um jeweils rund 3 % verbessert werden. Die Menge an Methan, die dadurch vor der Freisetzung in die Umwelt aus einem unbeheizten Gärrestlager bewahrt wird, ist jedoch bedeutend geringer. Sie beträgt im Sommer 1,5 % und auf das ganze Jahr berechnet weniger als 1 % des Gasbildungspotenzials der Substrate.

Schlüsselwörter

Biogas, Gasbildungspotenzial, Substratausnutzung, Methanertrag, Methanemission

Keywords

Biogas, gas forming potential, substrate utilization, methane yield, methane emission

Abstract

Weißbach, Friedrich; Engler, Nils and Weßeling, Stefanie

Effects of the gas-tight cover of digestate storage tanks in biogas production

Landtechnik 66 (2011), no. 6, pp. 453–456, 3 tables, 5 references

Two facilities, one with and one without gas-tight closure of the digestate storage tank, were monitored. By inclusion of the digestate storage tank in the digester system, the hydraulic retention time increased from 40 to about 110 days. As a consequence, the utilization degree of gas forming potential of the substrates and, in this way, the energy production could be improved by about 3 %, respectively. The thereby avoided methane emission from an unheated storage tank, however, is much lower. It amounted to 1.5 % of the total gas forming potential of the substrate during summer and to less than 1 % if calculated for the whole year.

■ Wenn das Gasbildungspotenzial von Substraten bei der Biogaserzeugung unvollständig ausgenutzt wird, besteht die Gefahr einer ungewollten Freisetzung des klimarelevanten Gases Methan in die Atmosphäre während der anschließenden Lagerung des Gärrestes [1]. Neuere gesetzliche Vorschriften verlangen deshalb eine gasdichte Abdeckung des gesamten Gärrestlagers und einen Anschluss desselben an das Gasverwertungssystem. Die Berechtigung dieser Forderung ist umstritten [2]. Andererseits liegt aber die vollständige Ausnutzung des Gasbildungspotenzials der Substrate auch im ökonomischen Interesse des Anlagenbetreibers. Im Folgenden wird über die Ergebnisse eines Projektes berichtet, in dem der ökonomische wie auch der ökologische Effekt einer gasdichten Abdeckung des Gärrestlagers bei professionellem Anlagenbetrieb in der Praxis untersucht worden ist.

Material und Methoden

Zwei baugleiche 500-kW-Biogasanlagen, die eine jedoch mit, die andere ohne gasdicht abgedecktem Gärrestbehälter, wurden 12 Wochen lang untersucht und bilanziert. Die Substratmischung war genau gleich und bestand aus Maissilage und Rindergülle (Gülle 65 % der FM). Die hydraulische Verweilzeit im Fermenter (**Tabelle 1**, Anlage 1) betrug 40 Tage, die Faulraumbelastung 4 kg oTS pro m³ und Tag. Infolge der Einbeziehung des Gärrestbehälters in das gasdichte System (**Tabelle 1**, Anlage 2) vergrößerte sich die hydraulische Gesamtverweilzeit auf 107 Tage und verminderte sich die Belastung des Gesamtfaulraums auf 1,5 kg oTS pro m³ und Tag. Der Versuch wurde im Frühjahr 2010, nach weitgehender Entleerung des Gärrestlagers, begonnen und in den sich anschließenden Sommermonaten, also bei hohen Außentemperaturen, durchgeführt.

Tab. 1

Gas- und Energieerzeugung während des Versuches
 Table 1: Gas and energy production during the experiment

		Anlage 1/Biogas plant 1 (n = 84)		Anlage 2/Biogas plant 2 (n = 84)		Relativ/Relative (Anlage 1 = 100)
		Mittel/Mean	SD	Mittel/Mean	SD	
Gaserzeugung/Gas production						
Biogas <i>Biogas</i>	m ³ (N)/Tag	6 098	358	6 300	254	103,3
Methan <i>Methane</i>	m ³ (N)/Tag	3 232	190	3 339	135	103,3
Nutzung des Methans/Methane use						
Stromproduktion <i>Production of electricity</i>	m ³ (N)/Tag	3 217	178	3 251	84	101,1
Heizung & Fackel <i>Heating & torch</i>	m ³ (N)/Tag	15	59	88	91	
Stromerzeugung/Electricity production						
Gemessen <i>Measured</i>	kWh	12 329	903	12 429	385	100,8
Berechnet ¹⁾ <i>Calculated¹⁾</i>	kWh	12 226	677	12 354	321	101,1

¹⁾ kWh_{el} = verstromtes Methan • 3,8 kWh/m³ / kWh_{el} = for electricity production used methane • 3,8 kWh/m³.

Vom Substrat-Input wurde das Gasbildungspotenzial mittels der chemischen Laboranalyse von 24 Maissilage- und 12 Gülleproben und durch Berechnung des Gehaltes an fermentierbarer organischer Trockensubstanz (FoTS) ermittelt [3]. Der Output an nicht verwerteten Stoffen ist durch Analyse von je 24 Gärrestproben pro Anlage untersucht worden.

Der TS-Gehalt der Maissilage wurde mit der Gleichung

$$TS_k \text{ [g/kg]} = TS + 0,95 \text{ NFS} + 0,08 \text{ MS} + 0,77 \text{ PD} + 1,00 \text{ AA} \quad (\text{Gl. 1})$$

auf flüchtige Substanzen korrigiert [4]. Darin bedeuten (alle Angaben in g/kg FM):

NFS = Summe der niederen Fettsäuren
 MS = Milchsäure
 PD = 1,2-Propandiol
 AA = Summe der anderen Alkohole

Die Berechnung der FoTS-Gehalte [3] wurde mit folgenden Gleichungen vorgenommen:

■ für Maissilage

$$\text{FoTS [g/kg TS}_k\text{]} = 984 - (\text{XA}) - 0,47 (\text{XF}) - 0,00104 (\text{XF})^2 \quad (\text{Gl. 2})$$

■ für Rindergülle

$$\text{FoTS [g/kg TS]} = 0,50 (1000 - \text{XA}) \quad (\text{Gl. 3})$$

Darin bedeuten XA und XF die Gehalte an Rohasche bzw. Rohfaser (alle Angaben in g je kg TS_k bzw. TS).

Der Ausnutzungsgrad des Gasbildungspotenzials ist mithilfe einer Marker-Methode berechnet worden, bei der die Konzentration an Rohasche in der TS als interner Marker dient [5].

Zusätzlich wurden alle 2 Wochen von beiden Anlagen größere Gärrestproben entnommen, die unter Stickstoffgas in 30 Liter-Fässer abgefüllt und so ins Labor transportiert wurden. Anschließend wurden mit den Proben in den Fässern Batchversuche bei zwei Temperaturniveaus und einer Inkubationszeit von 30 Tagen durchgeführt. Die beiden Niveaus der Inkubationstemperatur waren konstant 38 °C bzw. Außentemperatur, wobei letztere zwischen 21 und 27 °C schwankte und im Mittel 24 °C betrug.

Energieerzeugung

Gas- und Energieproduktion sowie Verwendung des erzeugten Methans wurden 84 Tage lang erfasst. **Tabelle 1** zeigt die erzeugten Energiemengen. Bei Anlage 2 ist zu Beginn der Versuchszeit eine geringe Menge an Methan für die Heizungsanlage eines Gewächshauses verwendet worden.

Beide Anlagen lieferten etwa die gleiche Menge an Strom. Dabei ist die gemessene Anzahl an kWh nahezu identisch mit der, die sich aus dem verstromten Methan (Normvolumen minus Verbrauch für Heizung und Fackel) bei Annahme eines Heizwertes von 10 MJ/m³ und eines Wirkungsgrades des BHKW von 38 % berechnen lässt.

Der größere Methanverbrauch durch die Fackel der Anlage 2 wurde offensichtlich durch die größeren Amplitude der temperaturbedingten Volumenschwankungen in dem in das gasdichte System einbezogenen und überwiegend leeren Gärrestlager verursacht. Unter Berücksichtigung des zusätzlichen

Tab. 2

Gehalte an „fermentierbarer organischer Trockensubstanz“ (FoTS) und Rohasche sowie Ausnutzung der Substratmischung
 Table 2: Contents of „fermentable organic matter“ (FOM) and of ash and utilization of the substrate mixture

	Anlage 1/Biogas plant 1		Anlage 2/Biogas plant 2		Relativ/Relative (Anlage 1 = 100)
	Mittel/Mean	SD	Mittel/Mean	SD	
FoTS-Gehalt der Substratmischung (n = 12) FoTS [g/kg TS] FOM content of substrate mixture (n = 12) FOM [g/kg DM]	709,4		708,1		
Rohaschegehalt der Substratmischung (n = 12) XA _S [g/kg TS] Ash content of substrate mixture (n = 12) XA _S [g/kg DM]	71,3		70,8		
Rohaschegehalt der Gärreste (n = 24) XA _R [g/kg TS] Ash content of the digestate (n = 24) XA _R [g/kg DM]	229,5	13,0	240,8	19,6	
Scheinbare Substratausnutzung NQ Apparent utilization of the substrates NQ	0,970	0,025	0,994	0,033	102,5
Wahre Substratausnutzung ¹⁾ NQ' True utilization of the substrates ¹⁾ NQ'	0,990	0,025	1,015	0,033	102,5

¹⁾ Bei Annahme von BQ = 0,02/Presumed BQ = 0.02.

Methanverbrauches durch Heizung und Fackel in der Anlage 2 wurden dort 3,3 % mehr Energie erzeugt.

Gasbildungspotenzial und Ausnutzungsgrad

Der Ausnutzungsgrad des Gasbildungspotenzials der Substratmischung lässt sich mit folgenden Gleichungen berechnen [5]:

$$NQ = \frac{1000}{\text{FoTS}} \left(1 - \frac{XA_S}{XA_R} \right) \text{ bzw. } NQ' = \frac{1000}{\text{FoTS}(1-BQ)} \left(1 - \frac{XA_S}{XA_R} \right) \quad (\text{Gl. 4})$$

XA_S und XA_R sind die Rohaschegehalte der Substratmischung bzw. des Gärrestes, jeweils in g je kg TS. Beim scheinbaren Nutzungsquotient (NQ) bleibt unberücksichtigt, dass ein Teil der von der Mikroflora genutzten FoTS in Bakterienbiomasse inkorporiert wird. Beim wahren Nutzungsquotienten (NQ') ist diese Inkorporation berücksichtigt und wird über die Größe BQ (Biomassebildungsquotient) quantifiziert.

Tabelle 2 enthält die Analysenergebnisse für Substratmischungen und Gärreste. Bei den Gehalten an FoTS und XA in den Substraten ist von den Mittelwerten für die gesamte Versuchszeit ausgegangen worden. Dabei ist wichtig, dass alle Inputstoffe, einschließlich der mineralischen Zusätze (Entschwefelungspräparate und Spurenelementmischung), mit erfasst werden. Das ist nur über die Mittelwerte für XA_S über die gesamte Versuchszeit möglich. Die XA-Gehalte der Gärreste gehen dagegen als Einzelwerte in die Berechnung des jeweiligen Nutzungsquotienten ein. Neben den Mittelwerten ist hier für XA_R und NQ bzw. NQ' jeweils auch die Standardabweichung (SD) angegeben.

Durch den Abbau der organischen Substanz im Fermenter steigt der Rohaschegehalt in der TS an. Aus diesem Anstieg er-

rechnet sich für beide Anlagen eine nahezu vollständige Ausnutzung der FoTS. Dennoch ergibt sich – und zwar unabhängig davon, ob die bakterielle Inkorporation berücksichtigt wird oder nicht – für Anlage 2 eine um 2,5 % bessere Ausnutzung der Substrate als für Anlage 1. Damit bestätigt sich die schon beim Vergleich der erzeugten Energiemengen höhere Effizienz der Anlage 2 mit dem gasdichten Gärrestlager.

Restgaspotenzial

Als Bewertungsmaßstab für die in den Batchtests gemessene Restgasbildung dient hier das Methanbildungspotenzial der Substratmischung, das bei den bisherigen Untersuchungen anderer Autoren nicht zur Verfügung stand [1; 2]. Die Verwendung dieser Bezugsgröße hat den Vorteil, dass sie unabhängig von der gegebenen Effizienz der jeweiligen Biogasanlage ist.

Zu diesem Zweck ist das im Batchtest gemessene und üblicherweise auf die oTS des Gärrestes (oTS_R) bezogene Methanvolumen auf die TS der Substratmischung (TS_S) umgerechnet worden. Dazu diente der „Gehalt an organischem Gärrest“ (oGR) je kg TS der Substrate. Dieser ist wie folgt definiert:

$$\text{oGR [g/kg TS}_S] = 1000 - XA_S \text{ [g/kg TS}_S] - \text{FoTS [g/kg TS}_S] \quad (\text{Gl. 5})$$

Der oGR ist mit der oTS des Gärrestes bei 100 % Ausnutzung der FoTS gleichzusetzen. Dementsprechend gilt für das aus dem Gärrest gebildete und auf die Substrat-TS bezogene Methan:

$$\text{Methan [l/kg TS}_S] = \text{Methan [l/kg oTS}_R] \cdot \text{oGR [g/kg TS}_S] / 1000 \quad (\text{Gl. 6})$$

Tab. 3

Ergebnisse von Batchversuchen mit dem Gärrest (n = 7 Tests mit jeweils 3 Wiederholungen)

Table 3: Results of intermittent fermentation tests with the digestate from biogas production (n = 7 tests with 3 replicates each)

	Anlage 1/Biogas plant 1		Anlage 2/Biogas plant 2		Differenz	
	Mittel/Mean	SD	Mittel/Mean	SD	Mittel/Mean	SD
Methanbildung aus dem Gärrest bei 38 °C (Rest-Methanertragspotenzial) <i>Methane forming from the digestate at 38 °C (residual methane yield potential)</i>						
I(N)/kg oTS _{Gärrest} I(N)/kg OM _{digestate}	119,7	3,5	78,6	11,8		
I(N)/kg TS _{Substrat} I(N)/kg DM _{Substrate}	26,3	0,8	17,4	2,6	8,9	2,7
% des MBP des Substrats % of MFP of substrate	8,1	0,2	5,5	0,8	2,6	0,8
Methanbildung aus dem Gärrest bei 24 °C (Rest-Methanemissionspotenzial) <i>Methane forming from the digestate at 24 °C (residual methane emission potential)</i>						
I(N)/kg oTS _{Gärrest} I(N)/kg OM _{digestate}	41,4	7,8	20,1	8,2		
I(N)/kg TS _{Substrat} I(N)/kg DM _{Substrate}	9,1	1,7	4,4	1,8	4,6	0,9
% des MBP des Substrats % of MFP of substrate	3,0	0,5	1,5	0,6	1,5	0,3

MBP = Methanbildungspotenzial/MFP = methane forming potential

Die so berechnete Methanbildung kann dann in Prozent des Methanbildungspotenzials der Substratmischung (kg FoTS • 420 l) ausgedrückt werden und ist damit der unabhängigen Bewertung zugänglich. **Tabelle 3** zeigt die Ergebnisse.

Der Gärrest von Anlage 2 wies im Vergleich zu dem der Anlage 1 ein deutlich geringeres Rest-Methanertrags-Potenzial auf. Bezogen auf das Methanbildungspotenzial der Substrate sank dieses Restpotenzial von 8,1 auf 5,5 %. Beide Werte erscheinen immer noch relativ hoch und können Maßnahmen zur besseren Ausnutzung der Substrate rechtfertigen. Für die Bewertung des Effektes der gasdichten Abdeckung des Gärrestbehälters zählt allein die Differenz zwischen beiden Anlagen. Sie beträgt 2,6 % und bestätigt damit die Effekte, die bei der Substratausnutzung (2,5 %) und der Energieproduktion (3,3 %) festgestellt wurden.

Bei Inkubation der Gärreste unter sommerlichen Außentemperaturen (hier durchschnittlich 24 °C) wurde erwartungsgemäß erheblich weniger Methan gebildet. Dieses Rest-Methanemissionspotenzial verringerte sich durch die Passage des gasdicht abgedeckten Gärrestlagers von 3,0 auf 1,5 %.

Schlussfolgerungen

Als Gesamtergebnis ist festzustellen, dass durch die gasdichte Abdeckung des Gärrestbehälters und seinen Anschluss an das Gasverwertungssystem das Gasbildungspotenzial der Substrate um etwa 3 % besser ausgenutzt werden kann. Dies gilt bei sommerlichen Außentemperaturen. Da der Gärrest während der kalten Jahreszeiten in einem unbeheizten Gärrestbehälter jedoch schneller auskühlt, dürfte der auf das ganze Jahr berechnete ökonomische Vorteil allerdings unter 3 % liegen.

Die Menge an Methan, die aus einem unbeheizten Gärrestlager durch gasdichtes Abdecken vor der Freisetzung in die Atmosphäre bewahrt werden kann, ist wesentlich geringer. Sie beträgt im Sommerhalbjahr nur etwa 1,5 % und auf das ganze Jahr berechnet, also unter Einschluss winterlicher Lagertemperaturen, wird sie weniger als 1 % des Gasbildungspotenzials der Substrate ausmachen. Die Frage nach der Verhältnismäßigkeit einer Forderung, Gärreste künftig generell unter gasdichter Abdeckung zu lagern, ist deshalb mit Recht gestellt worden [2].

Literatur

- [1] VDI-Richtlinie 3475 (2010): Emissionsminderung - Biogasanlagen in der Landwirtschaft, S. 1-79
- [2] Reinhold, G. (2011): Restgas muss nicht entweichen. Bauernzeitung; 52 (11), S. 34-35
- [3] Weißbach, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. Landtechnik 63(6), S. 356-358
- [4] Weißbach, F. und C. Strubelt (2008): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen. Landtechnik 63(2), S. 82-83
- [5] Weißbach, F. (2009): Ausnutzungsgrad von Nawaros bei der Biogasgewinnung. Landtechnik 64(1), S. 18-21

Autoren

Prof. Dr. agr. habil. Friedrich Weißbach ist als freischaffender Firmenberater tätig, E-Mail: prof.f.weissbach@web.de

Dipl.-Ing. Nils Engler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Lehrstuhl für Abfall- und Stoffstromwirtschaft, E-Mail: nils.engler@uni-rostock.de; (Leiter: **Prof. Dr. M. Nelles**, E-Mail: michael.nelles@uni-rostock.de)

Dipl.-Ing. Stefanie Weßeling ist bei der EnviTec Biogas AG, 48369 Saerbeck, beschäftigt, E-Mail: s.wesseling@envitec-biogas.de