

Simone Besgen und Peter Schulze Lammers, Bonn, sowie Karl Kempkens, Köln

Energie- und Stoffumsetzung in Biogasanlagen

Ergebnisse messtechnischer Untersuchungen an vier landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Biogasanlagen werden für die Verwertung unterschiedlicher Substrate, die als Reststoffe anfallen, zur Energieerzeugung eingesetzt. Das Grundsubstrat von vier Biogasanlagen, die in landwirtschaftlichen Betrieben mit Viehhaltung vor der Messperiode neu errichtet wurden, war Gülle, die mit verschiedenen Kosubstraten ergänzt wurde. Die Biogasanlagen wurden messtechnisch für die Ermittlung der Stromerzeugung, der Auslastung, des Eigenenergieverbrauchs und des Substratverbrauches sowie in zwei Fällen für die Gaserzeugung in den Nachgärbehältern ausgestattet.

Dr. Simone Besgen war Mitarbeiterin an der LK NRW und gleichzeitig Doktorandin am Institut für Landtechnik der Universität Bonn; e-mail: Simone.Besgen@web.de.

Dr. Karl Kempkens leitet das Referat Ökologischer Land- und Gartenbau der LK NRW, Zentrum für Ökologischen Landbau, Gartenstr. 11, 50765 Köln-Auweiler.

Prof. Dr. Peter Schulze Lammers leitet den Bereich Systemtechnik in der Pflanzenproduktion am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn.

Schlüsselwörter

Regenerative Energien, Biogas, Nachgärer, Kosubstrate

Keywords

Renewable energy, biogas, secondary fermenter, co-substrate

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07101 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Die fehlende oder vornehmlich auf Labortests beruhende Datenlage zur Biogastechnologie war Ausgangspunkt für die Untersuchung, in der über eine Messperiode von drei Jahren verfahrenstechnische Kenndaten an vier landwirtschaftlichen Biogasanlagen erhoben wurden. Die vier mit einer umfangreichen Messtechnik ausgestatteten Anlagen verwerten neben Wirtschaftsdünger nachwachsende Rohstoffe und organische Reststoffe. Die durchgeführten Messungen umfassen zum einen die Ermittlung von Gaserträgen, Energieausbeuten und -nutzungen, und zum anderen die Prozessanalyse. Die Prozessanalyse diente der Untersuchung von Parametern, die Aussagen über die Stabilität des Gärprozesses und der Inhaltsstoffe des Substrates zulassen. Die ermittelten Ergebnisse stellen eine Planungsgrundlage für die Konzeption und den Bau von Biogasanlagen dar.

Anlagenbeschreibung und Methoden der messtechnischen Datenerfassung

In *Tabelle 1* werden die Anlagen und Betriebe vorgestellt. Es handelt sich bei den Anlagen um stehende Behälter, die im mesophilen Temperaturbereich als Durchflusssystem betrieben werden. Die Nachgärer sind mit einem gasdichten Folienspeicher ausgestattet.

Methodik

In *Bild 1* ist das Messkonzept der Anlagen skizziert. Die einzelnen Messgeräte sind mit Datenloggern verbunden, so dass die aufge-

nommenen Messdaten gespeichert, ausgelesen und ausgewertet werden können.

Mit induktiven Durchflussmessern kann bei den Anlagen die Güllezufuhr sowie bei Anlage 1 die Zufuhr von flüssigen Kosubstraten erfasst werden. Die Menge der festen Kosubstrate wird über die installierten Wiegestäbe an den Feststoffdosierer ermittelt. Dieses Verfahren ist notwendig, um die Gasproduktion einzelner Kosubstrate und die tägliche Substratzufuhr festhalten zu können. Der Methangasgehalt des Biogases wurde mit einer dreimaligen Messung pro Tag mit Infrarot-Gasanalysegeräten ermittelt. Über die obligatorisch dreimal täglich durchgeführten Messungen wurden Messungen des Methangasgehaltes im 20-minütigen Messintervall in der Zeit von Ende 2003 bis Mitte 2004 durchgeführt.

Bei der Gasanalyse wurden folgende Komponenten gemessen:

- Methan in % (± 2 % Messgenauigkeit, Infrarotsensoren)
- Schwefelwasserstoff in ppm (± 5 % Messgenauigkeit, elektrochemisch)
- Sauerstoff in % ($\pm 0,5$ % Messgenauigkeit, elektrochemisch)

Voraussetzung für die Messung der Gasproduktion des Nachgärers ist eine getrennte Erfassung der Biogasmenge im Fermenter und im Nachgärer. Dies ist nur in geschlossenen Fermentern (mit Betondecke) möglich, die das erzeugte Biogas über eine Gasleitung in den Gasspeicher des Nachgärers leiten.

Für die deskriptiv statistischen Berechnungen der aufgenommenen Daten werden Mittelwert (\bar{x}), Standardabweichung (σ) und

Tab. 1: Beschreibung der Anlagen und Betriebe

Table 1: Description of the biogas plants and the farms

Reststoffanlagen	Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3	Anlage 4
Tierhaltung				
Tierart	Milchvieh	Schwein/Milchvieh	Milchvieh	Schwein
Großvieheinheiten	214	349	300	159
Technik Substratzufuhr				
flüssige Kosubstrate	50 m ³ Tank	Vorgrube	Güllelager	Vorgrube
feste Kosubstrate	Pumpe	Presskolben	Futtermischwagen	Presskolben
Behältervolumen				
Fermenter netto [m ³]	610	905 (Betondecke)	905 (Betondecke)	571
Nachgärer netto [m ³]	1182 (beheizt)	1100	2500	905 (beheizt)
Energieerzeugung/verwendung				
BHKW [kW _e]	2•100	2•100	2•80	2•100
Wärmeverwendung	Heizung Wohnhaus	Heizung Wohnheim	Heizung Wohnhäuser (6)	Stallbeheizung, Wohnhäuser (2)

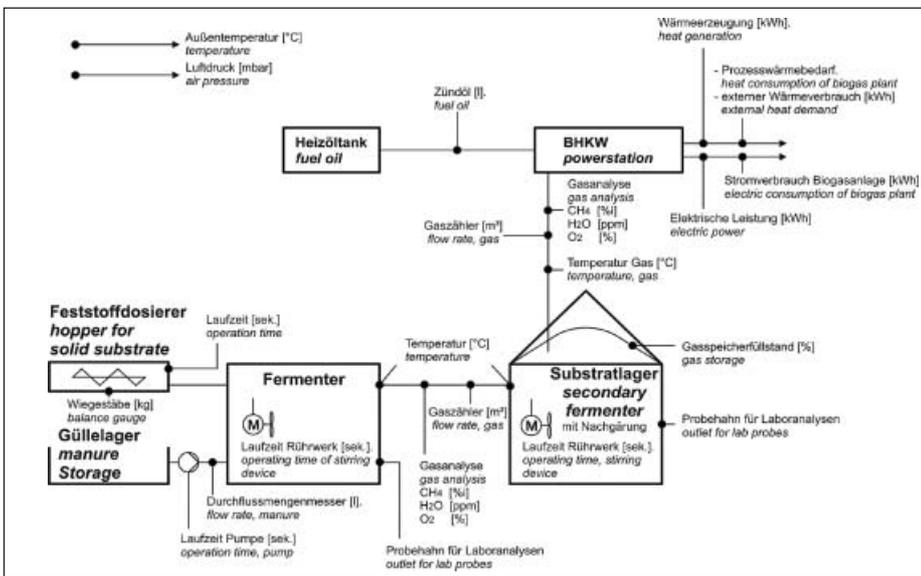


Bild 1: Schematische Übersicht zur Messausstattung und Messanordnung für die Anlagen 2 und 3 (Fermenter mit Betondecke)

Fig. 1: Scheme of instrumentation of the plants 2 and 3 (fermenter with concrete cover)

Variationskoeffizient (V) als Tageswerte ausgegeben. Weiterhin wird zu einigen Untersuchungsergebnissen der Korrelationskoeffizient (R) mit Angabe der Fallzahl (n) und des Signifikanzniveaus (p) ergänzt. Das Signifikanzniveau wird mit dem t-Test nach Student (Wahrscheinlichkeitsverteilung) berechnet.

Darstellung und Diskussion der Messergebnisse

Biogasproduktion und -qualität

Anlage 3 verzeichnet mit 1642 m³/d die geringste Gasproduktion, da hier nur 160 kW elektrisch installiert sind. Die Anlagen 1, 2 und 4 sind mit 200 kW_{el} ausgestattet und dementsprechend beziffert sich die gesamte Gasproduktion auf 1813 bis 1941 m³/d. Es

ist zu berücksichtigen, dass der Gasverbrauch auch vom Heizölanteil beeinflusst wird.

Gasqualität

Die Methangasgehalte der vier Anlagen insgesamt betragen im Mittel 57 % (52,3 bis 59,7 %). Im Durchschnitt bezieht sich der Schwefelwasserstoffgehalt der Anlagen auf 259 ppm (143 bis 358 ppm).

Biogasproduktion im Nachgärer

Für die Anlagen 2 und 3 war es möglich, die Biogasproduktion von Fermenter und Nachgärer getrennt zu ermitteln. Über den gesamten Zeitraum vom 20. 5. bis 19. 8. 2003 hinweg wurden insgesamt 195 514 m³ Biogas produziert. Davon wurden direkt hinter dem Fermenter 132 236 m³ Biogas (Verweil-

zeit 38,4 Tage) gemessen. Die Differenz von 63278 m³ Biogas kann dementsprechend dem Nachgärer (Verweilzeit 46,7 Tage) zugerechnet werden. Die Gasproduktion des Nachgärers stellt somit 32,4 % der gesamten Gasproduktion dar. Die Gasausbeute im Nachgärer ist mit 32,2 % im Vergleich zu den herangezogenen Literaturangaben mit 10 bis 20 % [1, 2] als sehr hoch zu bewerten.

Stromerzeugung, -verbrauch und Laufzeit der Blockheizkraftwerke

In Tabelle 2 sind die Werte für die Stromproduktion der einzelnen Anlagen pro Tag sowie die daraus berechnete Auslastung der BHKW dargestellt. Der Mittelwert des Stromverbrauchs der vier Anlagen liegt bei durchschnittlich 157,9 kWh_{el}/d, was 3,7 % der Stromerzeugung entspricht. Die Auslastung der acht BHKW bezieht sich im Durchschnitt auf 95 % mit einem Variationskoeffizienten von 4,8 %. Damit erreichten alle Anlagen eine sehr gute Auslastung der installierten Leistung. Das Ergebnis von BHKW 2 in Anlage 1 ist auf eine Überkapazität zurückzuführen.

Substratanalysen

Der pH-Wert beläuft sich bei den Anlagen im Mittelwert auf 7,7, der TS-Gehalt auf 6,2 % und der oTS-Gehalt auf 44,5 kg/m³.

Verweilzeit

Tabelle 3 zeigt die durchschnittlichen Verweilzeiten des Gärsubstrates in den jeweiligen Gärbehältern. Die Verweilzeiten sind abhängig von der Menge der zugeführten Substrate sowie den vorhandenen Gärvolumina.

Nährstoffe im Nachgärer

Die Werte der Nährstoffe in den Nachgärern sind abhängig vom Substratinput. Der Gesamtstickstoff der Anlagen beläuft sich im Durchschnitt auf 4,3 kg/m³ mit einem niedrigen Variationskoeffizienten von 3,5 %. Bei Ammonium (NH₄) bezieht sich die Inhaltsmenge auf 2,3 kg/m³ und der Variationskoeffizient liegt mit 4,6 % ähnlich niedrig wie beim Gesamtstickstoff. Die Messergebnisse der FNR [2] ergeben einen Durchschnitt von 3,69 kg/m³ Ammonium.

Bei Phosphor liegt der Durchschnittswert bei 1,5 kg/m³ und der Variationskoeffizient bei 10,3 %. Die Ergebnisse für Kalium belaufen sich bei Anlage 1 und 4 auf 3,4 kg/m³, bei Anlage 3 auf 4,2 kg/m³ und bei Anlage 2 auf 4,5 kg/m³.

Tab. 2: Durchschnittliche Stromerzeugung und -verbrauch, Betriebsstunden und Auslastung aller BHKW; BHKW: Blockheizkraftwerk, power station; x: Mittelwert, mean value; V: Variationskoeffizient, coefficient of variance

Table 2: Average electricity generation and consumption, operating hours and utilization of all CHP's

	Anlage 1 (2•100 kW _{el})		Anlage 2 (2•100 kW _{el})		Anlage 3 (2•80 kW _{el})		Anlage 4 (2•100 kW _{el})		x̄ _{1,2,3...8}	V _{1,2,3...8}
	1	2	1	2	1	2	1	2		
BHKW										
Stromprod. [kWh _{el} /d]	2261	2475	2286	2155	1708	1847	2367	2276	2172	12,1
Stromverbr. [kWh _{el} /d]	250,4		111,1		185,1		86,0		157,9	36,5
Betriebsstd. [h/a]	8252	9032	8348	7867	7796	8427	8637	8305	8333	4,2
Auslastung [%]	94,2	103,1	95,3	89,8	89	96,2	98,6	94,8	95,1	4,8

Anlage	1[d]	2 [d]	3 [d]	4 [d] (2BHKW)	4 [d] (3 BHKW)
Fermenter	30,6	33,7	41,7	18,6	14,4
Nachgärer	59,4	41,0	115,2	29,5	22,8
Endlager	64,1				
Gesamt	154,1	74,7	156,9	48,1	37,2

Tab. 3: Verweilzeiten der Substrate in den Anlagen

Table 3: Retention times of substrates in the facilities

Das Vorhaben wurde finanziell unterstützt von dem Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen