

Bild 3. Zusammensetzung des Gases in den Reaktoren während der Anfahrphase

strahlröhren erreicht. Dazu wurde das Substrat jeweils von einer außenliegenden Umwälzpumpe abgezogen und über Freistrahldüsen wieder eingedüst. Die Umwälzpumpen haben eine Nennförderleistung von rd. 700 m³/h.

Im Bild 2 ist der Abfall des Sauerstoffgehalts in den Reaktoren dargestellt. Während Reaktor 1 bei einem Innendruck von durchschnittlich 1,5 kPa inertisiert wurde, erfolgte die Inertisierung beim Reaktor 2 in einem Druckbereich von 4,6 bis 5,2 kPa. Der erhöhte Druck im Reaktor 2 führte durch die größere Gaslöslichkeit zu einem schnelleren Sauerstoffverzehr. Nach einer Umwälzzeit von 47,5 h im Reaktor 1 bzw. 42 h im Reaktor 2 war die festgelegte Grenze von 5% Sauerstoff unterschritten. Aus den während der Inertisierung gewonnenen Meßwerten läßt sich durch Regressionsrechnung der bestehende funktionale Zusammenhang ermitteln.

Der Verlauf des Sauerstoffverzehrs folgt einer Exponentialkurve. Unter den aufgeführten

Bedingungen gelten folgende Beziehungen:

- Faulbehälter 1
 $r_{O_2} = 19,844 \cdot e^{-0,029 t}$;
 $B_1 = 0,999$
- Faulbehälter 2
 $r_{O_2} = 20,345 \cdot e^{-0,035 t}$;
 $B_2 = 0,978$.

Die sauerstoffreduzierte Luft des Reaktors 1 wurde durch Fortsetzung der Füllung des Reaktors mit intensiv belüfteter Gülleflüssigkeit in das Gassystem verdrängt. Die Spülung des Gassystems bis vor die Dampferzeuger einschließlich des Gasspeichers wurde so lange durchgeführt, bis die Luftanalysen einen Sauerstoffgehalt < 5% auswiesen. Danach erfolgte die Beimpfung der Reaktoren mit Impfschlamm. Im Bild 3 ist die sich entwickelnde Methanproduktion in den Faulbehältern dargestellt. Vier Tage nach dem Beginn des Impfprozesses erreichte der Methangehalt des Gases in den Reaktoren 39% Volumenanteil. Damit war das Gas brennbar.

Während des Impfzeitraumes und danach wurde der Inhalt der Reaktoren täglich einmal oder mehrmals mit Hilfe von Umwälzpumpen durchmischt. 16 Tage nach Aufnahme des Anfahrbetriebs konnte der erste Dampferzeuger mit Biogas in Betrieb gesetzt werden.

In Tafel 2 sind die wesentlichsten Parameter der Umwälzsubstrate in den Reaktoren beim Erreichen des normalen Füllstands zusammengestellt. Die Gasproduktion zeigte täglich noch erhebliche Schwankungen.

4. Zusammenfassung

Für das Anfahren von landwirtschaftlichen Biogasanlagen sind noch keine speziellen Vorschriften vorhanden. Ausgehend von Vorschriften der Wasserwirtschaft und Ergebnissen der Inbetriebnahme eines

Tafel 2. Charakteristik der Umwälzsubstrate in den Reaktoren beim Erreichen des Normalfüllstands

	°C	Faulbehälter	
		1	2
Temperatur	36,0	36,0	
Trockenmasse	%	2,00	2,00
organ. Trockenmasse	%	1,11	1,49
organ. Fettsäuren	g/l	0,66	1,92
pH-Wert		7,60	7,79

500-m³-Reaktors wurde für eine Biogasanlage mit zwei Reaktoren von je 8000 m³ ein Inbetriebnahmeprogramm erarbeitet. Wesentlichste Forderungen für den Anfahrprozeß sind die Gewährleistung des Explosions-schutzes und eine der Entwicklung der Methanbakterienpopulation angepaßte Belastung der Reaktoren mit Substrat. Das Beispiel der erfolgreich durchgeführten Inbetriebnahme der Anlage im VEG(Z) Nordhausen zeigt, daß große Reaktoren in kurzer Zeit und mit geringem Kostenaufwand inertisiert und auf Leistung gefahren werden können. Vergleichbare Anlagen der Wasserwirtschaft benötigten bisher für das Anfahren einen Zeitraum von rd. 2 bis 3 Monaten. Die beschriebene großtechnische Anlage der Landwirtschaft wurde dagegen in 3 Wochen auf 80% der projektierten Leistung gebracht.

Literatur

- [1] TGL 26 710/04 Betrieb und Instandhaltung kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen. Aug. 11/85.
- [2] Linke, B., u. a.: Zur Inbetriebnahme von Biogasanlagen mit Gülle. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 11, S. 508-509.
- [3] Breitschuh, G., u. a.: Ergebnisse und Schlußfolgerungen der Großversuchsanlage Biogas Vippachedelhausen. KAMOD Vippachedelhausen, 1984. A 4977

Einflußfaktoren auf die Effektivität landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Dipl.-Ing. G. Reinhold/Prof. Dr. sc. agr. G. Breitschuh
 Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR, Bereich Jena

1. Einleitung

In Abhängigkeit vom Ausgangssubstrat und von der Verfahrensgestaltung setzt sich Biogas zu 60 bis 70% aus Methan und zu 30 bis 40% aus Kohlendioxid zusammen [1]. Schwefelwasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff sind meist nur in Spuren vorhanden. Der Heizwert von Biogas ergibt sich aus dem Methananteil und liegt zwischen 21,5 und 25 MJ/m³.

Auch in der Landwirtschaft der DDR besteht seit Ende der siebziger Jahre, bedingt durch die Verknappung und Verteuerung der Primärenergieträger, eine Hinwendung zu alternativen Energiequellen, wozu auch das Biogas gehört. Aus landwirtschaftlicher Sicht eignen sich für die Biogaserzeugung folgende Substrate:

- Gülle
- Stallmist
- pflanzliche Abfälle.

Die Technik und Technologie der Biogaserzeugung aus Stallmist und/oder pflanzlichen Abfällen ist noch nicht weit fortgeschritten, so daß alle acht zur Zeit in der DDR betriebenen landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf Güllebasis arbeiten. Die im weiteren dargestellten Ergebnisse wurden an der Großversuchsanlage (GVA) Biogas Vippachedelhausen, Bezirk Erfurt, gewonnen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Anlage ist u. a. in [2, 3] zu finden.

2. Einflußfaktoren auf die Effektivität

2.1. Überblick

Die Ökonomie der Biogaserzeugung wird bei Orientierung des Verfahrens auf die Energiegewinnung maßgeblich durch den Wert der abzulösenden Energieträger bestimmt. Weiterhin sind Kriterien wie Verfügbarkeit der Primärenergieträger und Stabilität der Energiebereitstellung mit in die Effektivitätsbe-

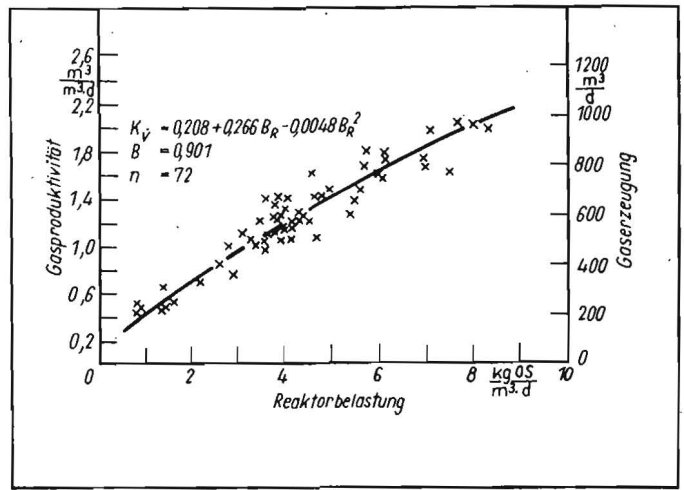
trachtungen einzubeziehen. Die perspektivische Entwicklung der Energiepreise ist auch zu beachten, da diese die Ökonomie dieses Verfahrens sehr schnell verändern kann. Die wesentlichen, anlagenintern wirkenden Faktoren, die während der Planung und des Betriebs der Anlage einflußbar sind, werden in Tafel 1 dargestellt. Diese Merkmale sind eine Auswahl, die nicht nach dem Vollständigkeitsprinzip erstellt wurde. Welche Bedeutung ein Merkmal erlangt, hängt maßgeblich vom Verfahrensziel und von den konkreten Standortbedingungen ab.

2.2. Höhe der Biogaserzeugung

Die Biogaserzeugung wird, um Vergleiche zwischen verschiedenen Anlagen zu ermöglichen, meist durch folgende Kennwerte beschrieben:

- Biogasproduktivität (m³ Biogas je m³ Reaktorvolumen und Tag).

Bild 1. Gasproduktivität K_V und Gaserzeugung V_{BG} in Abhängigkeit von der Reaktorbelastung B_R



Tafel 1. Wesentliche Merkmale der Einflußfaktoren auf die Ökonomie einer landwirtschaftlichen Biogasanlage

Einflußfaktor	Merkmale
Ausgangssubstrat	- Tierart - Trockensubstanzgehalt - Anfallmenge - Inhaltsstoffe
Standort	- Transportentfernungen für die Ausgangs- und Endprodukte - vorhandene Ausrüstungen - Energiebedarf - Geländegestaltung
Verfahren	- Substratvorbehandlung - Reaktorgestaltung (Form, Isolierung, Homogenisierung, Substraterwärmung usw.) - Prozeßparameter (Temperatur, Verweilzeit, Reaktorbelastung usw.)
Biogasproduktion	- Gasproduktivität - Gasausbeute - Methangehalt - Prozeßgasbedarf
Verfahrenskosten	- Abschreibung - Instandhaltungskosten - Energiekosten - Lohnkosten - sonstige Kosten
Gasverwertungsgrad	- Größe des Energiespeichers - Energiebedarf im Jahresverlauf - Möglichkeiten der Energiewandlung
Nebenwirkungen der Gaserzeugung	- auf die Güllewirtschaft (Sedimentationsneigung usw.) - auf die Pflanzenproduktion (Düngewirkung usw.) - auf die Umwelt (pathogener Status usw.)

Tafel 2. Gliederung der Verfahrenskosten der GVA Biogas Vippachedelhausen (Mittelwerte 1984/85)

Kostenart	Kosten 1 000 M	relativer Anteil zu den Verfahrenskosten %	relativer Anteil zu den Gesamtkosten %
Verfahrenskosten	167,5	100,0	76,0
Abschreibung	59,7	35,6	27,1
Instandhaltung	48,7	29,1	22,1
Energie	15,2	9,1	6,9
Lohn	43,9	26,2	19,9
sonstige Kosten	52,9		24,0
Gesamtkosten	220,4		100,0

- Biogasausbeute (m^3 Biogas je kg eingesetzte organische Substanz).

Die Höhe der Gaserzeugung wird innerhalb eines Verfahrens und einer Substratart maßgeblich durch die täglich dem Biogasreaktor zugeführte Menge an organischer Substanz (OS) bestimmt. Bild 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Reaktorbelastung und Gasproduktivität in Auswertung der Produktionsdaten der GVA Biogas Vippachedelhausen über einen Zeitraum von rd. zwei Jahren. Das hohe Bestimmtheitsmaß von 0,9 zeigt einen engen Zusammenhang, der funktionelle Ursachen hat.

Verfahren mit längeren Verweilzeiten der Gülle im Biogasreaktor liefern mehr Gas je kg eingesetzter organischer Substanz, fordern dafür aber höhere Investitionen. Bei Verlängerung der Verweilzeit von 10 auf 20 bzw. 30 Tage muß der doppelte bzw. dreifache Reaktorraum gebaut werden. Der durch die verlängerte Verweilzeit erzielte Energiegewinn beträgt bei 20 Tagen Verweilzeit 20% und bei 30 Tagen 34% der Nettogaserzeugung (Bruttogaserzeugung minus dem Gasanteil, der zur Aufrechterhaltung des Prozesses benötigt wird). Der Energiegewinn von 20 bzw. 34% ergibt sich aus der höheren Gasausbeute bei längeren Verweilzeiten abzüglich des höheren Bedarfs an Prozeßenergie durch die erhöhten Wärmeverluste (Bild 2).

Ein hoher Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) der Gülle ist ebenso eine Voraussetzung für eine effektive Biogaserzeugung. Bei gleichem Tierbesatz, d. h. gleicher Anfallmenge an organischer Substanz, ist durch Erhöhung des TS-Gehalts z. B. von 4 auf 7% eine Steigerung der Nettogaserzeugung um rd. 20% möglich (Bild 3). Diese Steigerung ergibt sich

bei konstanter Reaktorbelastung aus der geringeren Güllemenge, indem je Einheit organischer Substanz eine geringere Menge an Wasser auf Reaktionstemperatur zu erwärmen ist.

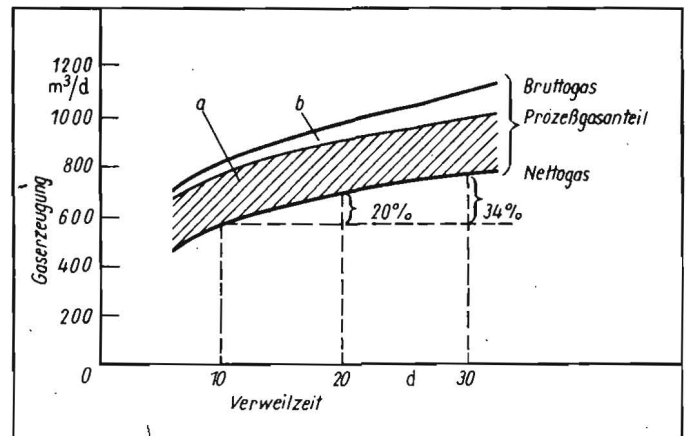
2.3. Gasverwertungsgrad

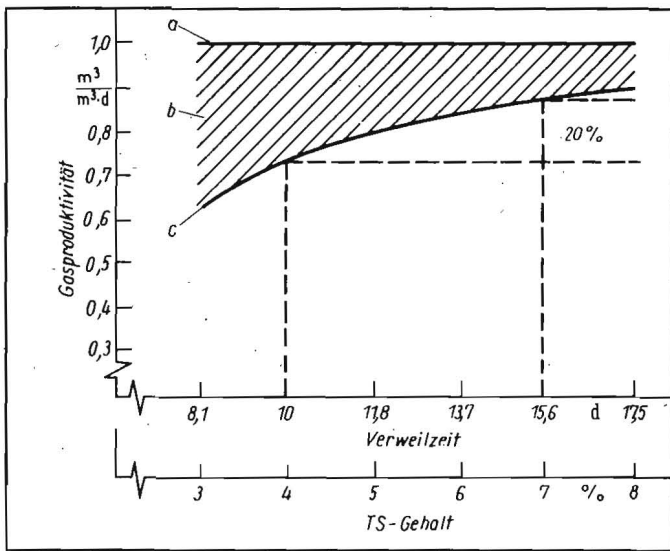
Als Gasverwertungsgrad wird der prozentuale Anteil des Nettogases definiert, der tatsächlich verwertet wird. Die Definition eines solchen Kennwertes ist notwendig, da es nur in wenigen landwirtschaftlichen Biogasanlagen möglich ist, das gesamte Nettogas zu verwerten. Das Energieflußbild einer typischen landwirtschaftlichen Biogasanlage gibt Bild 4 wieder. Der Prozeßenergiebedarf für mesophil arbeitende Anlagen liegt meist in der Größenordnung von 30% der Bruttogaserzeugung. Die Höhe des nicht verwerteten Gasanteils ist von den speziellen Bedingun-

gen der einzelnen Biogasanlage abhängig. Die wesentlichen Ursachen für nicht verwertete Gasanteile sind folgende:

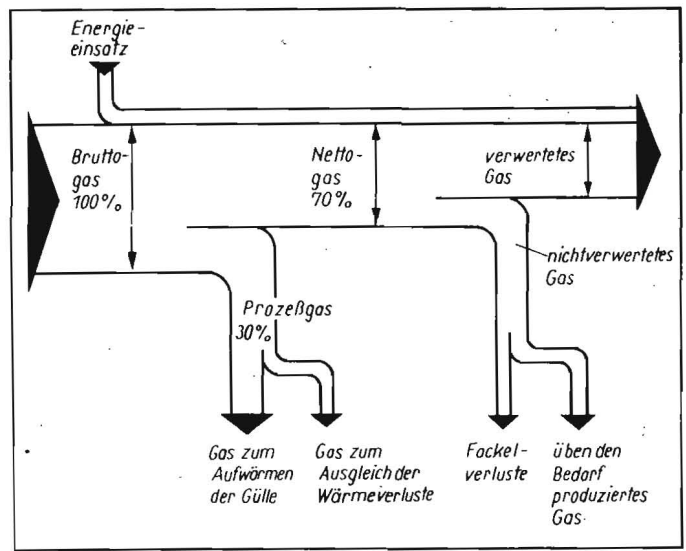
- auftretende Schwankungen der Gaserzeugung sowie des Gasbedarfs im Tagesverlauf sowie zwischen einzelnen Produktionsperioden
- Die Ursachen für Veränderungen in der Gaserzeugung können sowohl verfahrensbedingt (Zuspeisung und Homogenisierung) als auch stallseitig (Veränderungen im TS-Gehalt) bedingt sein.
- Gülle- und Außenlufttemperaturen sind im Winter erheblich niedriger als im Sommer. Dadurch steigt der Prozeßgasbedarf, und die Nettogasmenge reduziert sich. Hieraus folgt, daß im Zeitraum des höchsten Energiebedarfs die Nettogaserzeugung am geringsten ist.

Bild 2 Einfluß der Verweilzeit auf die Brutto- und Nettogaserzeugung bei konstantem Gülleanfall; a Gas zur Aufheizung der Gülle, b Gas zum Ausgleich der Wärmeverluste

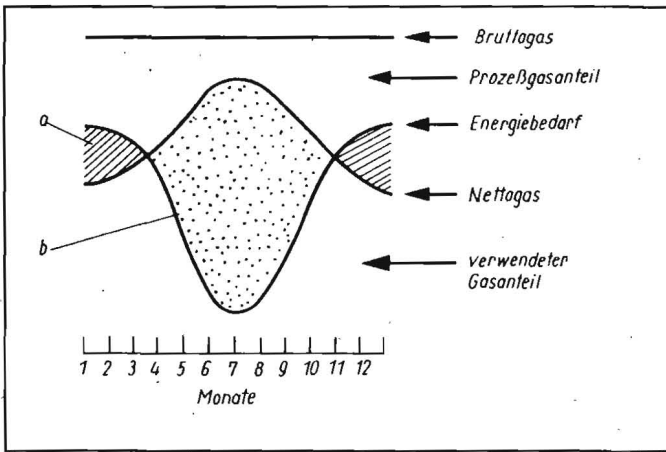




3



4



5

Bild 3
Einfluß des TS-Gehalts auf die Gasproduktivität K_v bei konstanter Reaktorbelastung; a Bruttogas, b Prozessgasanteil, c Nettogas

Bild 4
Energieflußbild einer typischen landwirtschaftlichen Biogasanlage

Bild 5
Schematische Darstellung der Gaserzeugung und des Gasbedarfs (Heizzwecke) einer landwirtschaftlichen Biogasanlage; a Gasmangel, b Gasüberschuß

umzulegen, und zur Ermittlung der Kosten je verwertetem m^3 Biogas sind die Kosten auf die verwertete Biogasmenge zu beziehen. Für die GVA liegen die Gaserzeugungskosten je nach Produktion zwischen $0,55 \text{ M}/m^3$ (Gasproduktion $1100 \text{ m}^3/d$) und $1,00 \text{ M}/m^3$ (Gasproduktion $600 \text{ m}^3/d$). Umgerechnet sind das $20,6$ bzw. $37,9 \text{ M}/Gj$. Die Preise für die Primärenergieträger werden zwar noch nicht erreicht, aber das Verfahren befindet sich an der Grenze zur Wirtschaftlichkeit.

3. Zusammenfassung

Die Effektivität einer landwirtschaftlichen Biogasanlage wird durch vielfältige Faktoren, die untereinander engen Verflechtungen unterliegen, bestimmt. Für Verfahren, die auf die Energieerzeugung orientieren, wird die Effektivität extern durch den Wert der abzulösenden Primärenergieträger und anlagenintern maßgeblich durch den verwerteten Gasanteil in Kombination mit den Verfahrenskosten bestimmt. Positiv auf die Effektivität einer Biogasanlage wirken kurze Verweilzeiten der Gülle im Reaktor (große Raum-Zeit-Ausbeute) und hohe Trockensubstanzgehalte der Gülle (Reduzierung des Prozessgasbedarfs).

Literatur

- [1] Stöber, H.: Bio-Gas – jetziger Stand. Wasser und Boden, Hamburg/Berlin 33 (1981) 5, S. 293–242.
- [2] Breitschuh, G.; Neumann, W.; Heimbold, V.; Rödel, K.: Inbetriebnahme einer großtechnischen Biogasanlage in der Landwirtschaft. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 11, S. 508–510.
- [3] Ergebnisse und Schlußfolgerungen zur Errichtung und Erprobung der Großversuchsanlage (GVA) Biogas Vippachedelhausen. Entwicklungs- und Erprobungsgemeinschaft Biogas Berstedt, F/E-Bericht 1984 A 5017

– Biogas wird in landwirtschaftlichen Anlagen oft für Heizzwecke eingesetzt
Der Energiebedarf von Heizanlagen ist im Sommerhalbjahr meist sehr gering, wodurch in dieser Zeit oft ein Überschuß an Biogas vorhanden ist.

Die o. g. auftretenden Schwankungen der Gaserzeugung lassen sich durch leistungsfähige Gasverwertungssysteme und Gas- bzw. Energiespeicher abbauen. Die grafische Darstellung der beiden anderen o. g. Sachverhalte zeigt Bild 5. Es sind deutlich Zeiträume mit Gasmangel (Winterhalbjahr) und solche mit Gasüberschuß (Sommerhalbjahr) zu erkennen. Als mögliche Varianten zur Reduzierung des Gasüberschusses, die aber immer anlagen- und standortspezifisch zu sehen sind, ergeben sich:

- Anschluß weiterer Gasverbraucher
- Verstromung von Biogas, zum Beispiel durch Installation einer Wärme-Kraft-Kopplung
- Steuerung der Biogaserzeugung über die

Belastung des Reaktors mit organischer Substanz.

2.4. Verfahrenskosten

Die Verfahrenskosten der GVA Biogas Vippachedelhausen sind in Tafel 2 dargestellt. Der Anteil der Abschreibung liegt im Vergleich mit anderen Biogasanlagen mit nur 27,1 % der Gesamtkosten relativ niedrig, da diese Biogasanlage durch Umbau eines vorhandenen Güllebeckens errichtet wurde. Bedingt durch die Forderung einer dreischichtigen Überwachung der Anlage ist der Lohnkostenanteil mit 19,9 % sehr hoch. Nach Inbetriebnahme der am gleichen Standort errichteten Biogasanlage mit dreimal 1200 m^3 Reaktorvolumen, in die auch die GVA integriert wird, reduziert sich auch der Lohnkostenanteil. Der erste Reaktor der Großanlage wurde im November 1986 und der zweite im Mai 1987 in Betrieb genommen. Zur Ermittlung der Gaserzeugungskosten sind die Gesamtkosten auf die Gaserzeugung

Hinweis für unsere Leser im Ausland

Wir bitten alle Bezieher unserer Zeitschrift außerhalb der DDR, die Erneuerung des Abonnements für das Jahr 1988 rechtzeitig vorzunehmen. Die Zeitungsvertriebsstellen Ihres Landes finden Sie auf Seite 480.

Redaktion agrartechnik