

Inbetriebnahme einer großtechnischen Biogasanlage in der Landwirtschaft

Dr. sc. agr. G. Breitschuh, Kooperative Abteilung Melioration und organische Düngung Vippachedelhausen
 Prof. Dr. sc. techn. W. Neumann, KDT, Technische Hochschule „Carl Schorlemmer“ Leuna – Merseburg
 Dipl.-Ing. V. Heimboldt, KDT/Dipl.-Ing. K. Rödel, KDT, VEB Komplett Chemieranlagen Dresden

1. Einleitung

Die erste großtechnische Biogasanlage im Bereich der Landwirtschaft der DDR wurde im Dezember 1982 in Vippachedelhausen, Bezirk Erfurt, in Betrieb genommen. Sie ist als Großversuchsanlage gebaut, kann aber auch als normale Produktionsanlage genutzt werden. Die Anlage basiert auf einem Verfahren, das vom VEB Komplett Chemieranlagen Dresden, der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg und der Kooperativen Abteilung Melioration und organische Düngung Vippachedelhausen entwickelt worden ist.

Der Betrieb dieser Anlage soll im wesentlichen Rückschlüsse ermöglichen hinsichtlich

- einer optimalen Verfahrens- und Anlagengestaltung
- der Maßstabsübertragung von prozeßkinetischen Parametern, die unter Laborbedingungen ermittelt worden sind
- der Stabilität und optimalen Steuerung von Biogasreaktoren
- der Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen.

Weiterhin sollen Erfahrungen im Zusammenhang mit dem Betrieb und der Wartung von kompletten Biogasanlagen unter den spezifischen Bedingungen der Landwirtschaft der DDR gesammelt werden. Dieser Zielstellung entsprechend ist die Anlage in bezug auf die Grundkonzeption relativ flexibel gestaltet.

2. Anlagenbeschreibung

Der gesamte Anlagenkomplex besteht aus einem Biogasreaktor, entsprechenden Speicherbecken für das Ausgangssubstrat und das Faulgut, einer Phasentrennanlage und einem Aggregat zur Biogasverwertung.

Das vereinfachte technologische Schema der Anlage ist im Bild 1 dargestellt. Die Anlagenstruktur entstand durch die Ergänzung einer bereits vorhandenen Gülleaufbereitungsanlage um die entsprechenden Teilsysteme zur Biogaserzeugung und -verwertung bei maximaler Nutzung vorhandener technischer Ausrüstungen und Gebäude.

Die Rohgülle gelangt aus den Stallanlagen in das Güllespeicherbecken 1. Sie wird von hier aus zur Grobstoffabtrennung über ein großmaschiges Sieb 3 geführt und chargenweise in den Biogasreaktor 4 gepumpt. Der Reaktor weist ein Volumen von rd. 500 m³ auf und besteht aus einem zylindrischen Betonkörper mit Stahlabdeckung, der von außen mit angeschüttetem Erdreich umgeben ist (Bild 2). Die Aufheizung der Reaktionsmasse erfolgt mit einem innenliegenden Wärmeübertrager. Die Durchmischung der Reaktionsmasse kann sowohl hydromechanisch als auch durch Einleitung von verdichtetem Biogas vorgenommen werden. Die Entsorgung des Reaktors wird durch freien Überlauf während seiner Beschickung realisiert. Der Faulschlamm gelangt zur Nachgärung in das Speicherbecken 6 und wird anschließend einer Phasentrennung zugeführt.

Die Verwertung des Biogases erfolgt in einem Warmwasserautomaten 10 zur Erzeugung von Wärmeenergie, die partiell auch zur Aufheizung des Ausgangssubstrats im Reaktor verwendet wird. Eine Speicherung des Biogases ist gegenwärtig nicht realisiert. Überschüssiges Biogas kann gegebenenfalls über eine entsprechende Tauchung 9 in eine Kaltfackel geleitet und an die Umgebung abgegeben werden.

3. Substratcharakterisierung und Prozeßbedingungen

Die Biogasanlage ist ausschließlich für die Fermentation von Gülle vorgesehen. Der spezifische Standort der Anlage ermöglicht eine Verarbeitung von Schweine-, Rinder- und partiell von Hühnergülle. Auf der Grundlage entsprechender Ergebnisse kinetischer Untersuchungen wird im Normalfall ein Gemisch aus Rinder- und Schweinegülle im Verhältnis von rd. 1:1 verarbeitet. Der organische Trockenmasseanteil der Schweine- und Rindergülle liegt jeweils zwischen 3,5 % und 5 %.

Die Auslegung des Biogasreaktors läßt eine Fermentation nur im mesophilen Bereich zu, die Reaktionstemperatur ist aber in diesem Bereich variierbar. Als ökonomisch optimal hat sich eine Fermentationstemperatur von rd. 35 °C erwiesen. Bei dieser Temperatur kann der Biogasreaktor auch bei maximal zulässiger Substratbelastung betrieben werden. Der Druck im Gasraum des Reaktors läßt sich im Bereich von 2,0 bis 5,0 kPa variieren. Eine Zwischenverdichtung des Biogases vor seiner Verwertung ist bei diesem Druckniveau nicht erforderlich. Die Verwertung des Biogases erfolgt ohne vorherige Gasreinigung. Der Biogasreaktor kann sowohl diskontinuierlich als auch quasikontinuierlich betrieben werden. Die Durchmischung der Reaktionsmasse kann kontinuierlich erfolgen, wird im allg. aber intervallweise vorgenommen.

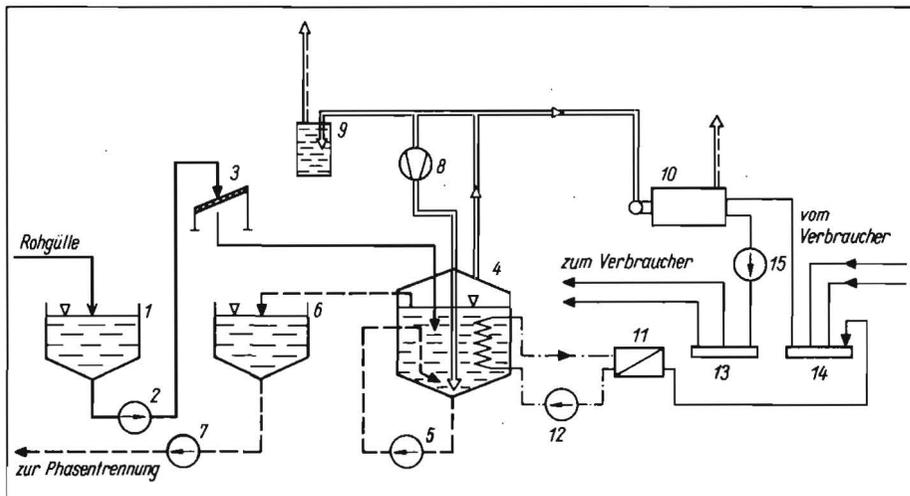
4. Inbetriebnahme der Anlage

Die Inbetriebnahme von Biogasanlagen ist aus sicherheits- und prozeßtechnischer Sicht nicht problemlos. Wird der Gasraum einer Biogasanlage vor Beginn der Biogasbildung nicht inertisiert, entsteht zeitweise im Gasraum der Anlage ein explosibles Biogas-Luft-Gemisch (untere Zündgrenze rd. 6 %, obere Zündgrenze rd. 12 %). Bei gleichzeitigem Vorhandensein einer Zündquelle im explosiblen Bereich mit ausreichender Zündenergie kommt es zur Explosion. Eine sicherheitstechnisch sachgemäße Gestaltung von Biogasanlagen schließt solche Zündinitiale allerdings praktisch aus.

Aus prozeßtechnischer Sicht kann sich der Anfahrvorgang von Biogasanlagen dahingehend kritisch gestalten, daß bei ungünstigen Anfahrbedingungen die instationäre Betriebsphase (Anfahrphase) sehr lange andauert, zum anderen besteht die Gefahr der Übersäuerung der Reaktionsmasse durch übermäßige Zufuhr an Frischsubstrat. Auf mißglückte Anfahrversuche von Biogasanlagen wird in [1] hingewiesen.

Der Inbetriebnahme der beschriebenen Biogasanlage ging eine Simulation des Anfahrvorgangs unter Laborbedingungen mit den zu verarbeitenden Substraten voraus. Ohne Animpfen mit Faulgut ließ sich dabei der Anfahrvorgang am effektivsten mit frischer Rindergülle gestalten. Befriedigende Ergebnisse

Bild 1. Vereinfachtes technologisches Schema der Biogasanlage;
 1 Güllespeicherbecken, 2 Speisepumpe, 3 Siebanlage, 4 Biogasreaktor, 5 Substratumwälzpumpe, 6 Faulgutspeicherbecken, 7 Faulgutpumpe, 8 Verdichter, 9 Überdrucksicherung (Tauchung), 10 Warmwasserautomat, 11 Wärmeübertrager, 12 Heizkreislaufpumpe, 13 Heißwasservorlaufverteiler, 14 Heizwasserrücklaufverteiler, 15 Heißwasserumlaufpumpe



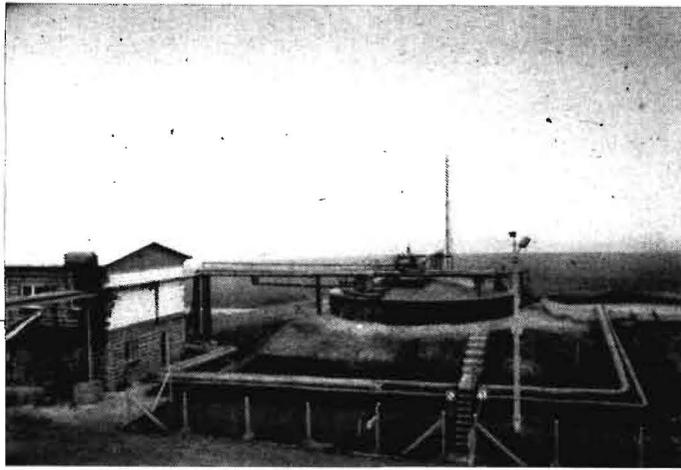


Bild 2. Biogasreaktor

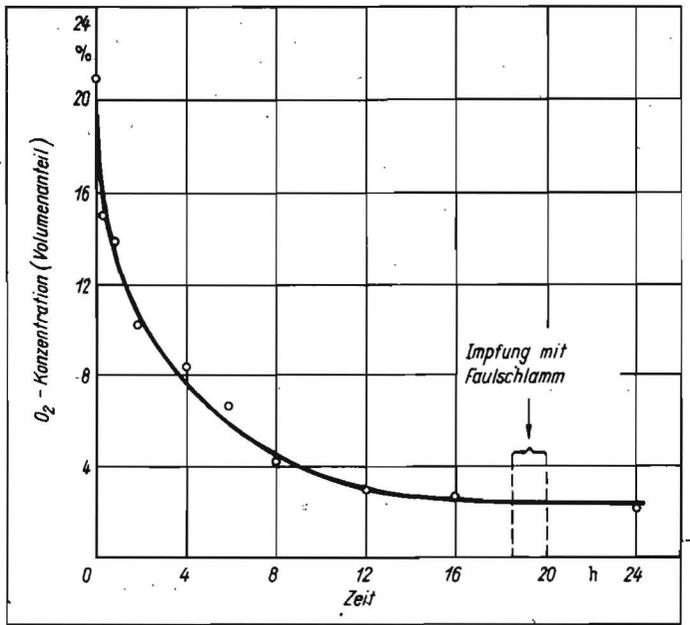


Bild 3. Zeitliche Änderung der O₂-Konzentration der Luft im Gasraum während des Inertisierungsvorgangs

wurden gleichfalls mit Hühnergülle und verschiedenen Mischgüllen erzielt. Aufgrund der hohen Konzentration an Carbonsäuren in der Schweinegülle ergaben Anfahrversuche mit diesem ungeimpften Substrat keine akzeptablen Resultate.

Das Animpfen von Rinder-, Hühner- und Mischgülle mit Faulgut (Massenanteil 1 %) führte zu einer wesentlichen Beschleunigung des Prozeßablaufs. Auch älterer Faulschlamm (Alter 3 bis 6 Monate), der bei wesentlich niedrigeren Fermentationstemperaturen gewonnen wurde, zeigte als Impfsubstanz eine zwar eingeschränkte, aber noch befriedigende Aktivität.

Als optimale Feststoffkonzentration des Substrats für den Anfahrvorgang wurde ein Trockensubstanzgehalt von 1,4 bis 3 % ermittelt. Der Anfahrvorgang der großtechnischen Biogasanlage wurde mit Rindergülle, die über einen Trockensubstanzgehalt von rd. 2 % verfügte, durchgeführt. Der Gasraum der Biogasanlage wurde nach Erreichen der angestrebten Fermentationstemperatur von 35 °C durch aeroben Abbau eines Teils des in der Luft enthaltenen Sauerstoffs inertisiert. Dazu wurde Gas im Kreislauf aus dem Gasraum mit Hilfe eines Verdichters angesaugt und durch die Reaktionsmasse gedrückt. Dieser Vorgang wurde nach Erreichen einer Sauerstoffkonzentration in der Luft von rd. 2 % (Volumenanteil) abgeschlossen. Zur Beschleunigung des Anfahrvorgangs wurde die Reaktionsmasse mit rd. 16 m³ speziell erzeugtem Faulschlamm angeimpft. Die zeitliche Änderung der O₂-Konzentration im Gasraum während des Inertisierungsvorgangs ist im Bild 3 dargestellt. Die Biogasentwicklung setzte bereits einige Stunden nach Abschluß der Impfung ein. In den ersten Tagen wurde keine Zugabe an Frischsubstrat vorgenommen. Auf eine Durchmischung der Reaktionsmasse wurde verzichtet. Als Steuergrößen für die Substratzuführung in den folgenden Tagen wurden die Konzentration der wasserdampfflüchtigen Carbonsäuren und die Intensität der Biogasproduktion genutzt. Auf eine Zugabe von Schweinegülle wurde zunächst verzichtet. Die Steigerung der Belastung des Reaktors mit Substrat erfolgte sehr schonend, um eine ausreichende Adaption der methanbildenden Mikroorganismen an das Substrat und an die steigende Konzentra-

tion der flüchtigen Carbonsäuren zu gewährleisten. In dem Maß, in dem sich der Prozeß stabilisierte, wurde der Anteil der Schweinegülle im Substrat bis auf einen Massenanteil von 53 % gesteigert. Der obere zulässige Grenzwert für die Konzentration der wasserdampfflüchtigen Fettsäuren wurde mit rd. 2,0 g/l festgelegt.

Die Zufuhr an Frischsubstrat erfolgte quasi-kontinuierlich. Die Durchmischung der Reaktionsmasse wurde intervallweise durch Umpumpen von Biogas vorgenommen. Der spezifische Energieverbrauch des Verdichters war extrem gering.

Die zeitliche Entwicklung der spezifischen Biogasproduktion K_v und der spezifischen Biogasausbeute φ_{BG} sind im Bild 4 dargestellt. Das zeitweise Absinken der spezifischen Biogasproduktion entspricht der in diesem Zeitraum verminderten Zuführung an Substrat.

Dabei wurde deutlich, wie intensiv der Methanbildungsprozeß beeinflusst werden kann. Der relativ hohe stationäre Wert der spezifischen Biogasausbeute φ_{BG} deutet auf einen hohen Abbaugrad der organischen Substanz und einen günstigen Prozeßverlauf hin.

Die zeitliche Entwicklung der spezifischen Biogasproduktion und der mittlere Wert der wasserdampfflüchtigen Fettsäuren im Substrat lassen vermuten, daß eine weitere Belastung des Reaktors mit Substrat möglich ist und ein Wert für die spezifische Biogasproduktion K_v , je Tag von rd. 2 m³ Biogas je m³ Reaktionsmasse bei einer mittleren Verweilzeit der Reaktionsmasse von 10 Tagen erreicht werden kann. Der pH-Wert des Faulwassers ist mit 8,2 bis 8,4 relativ hoch und deutet auf die hohe Pufferwirkung der Reaktionsmasse hin. Der Methananteil (Volumenanteil) im Biogas liegt zwischen 65 % und 72 %.

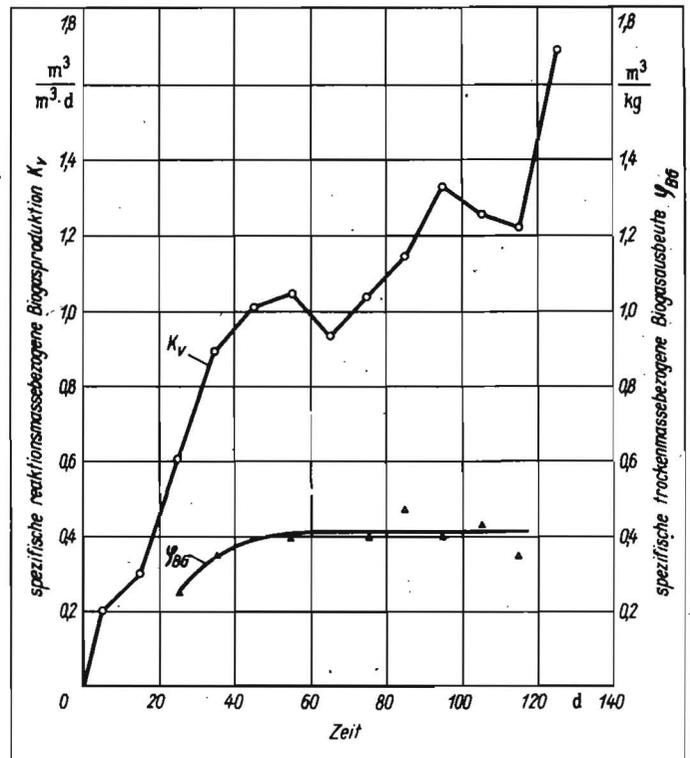


Bild 4. Entwicklung der spezifischen Biogasproduktion K_v und der spezifischen Biogasausbeute φ_{BG} in der Anfahrphase der Anlage

5. Schlußfolgerungen

Aus dem halbjährigen Betrieb der großtechnischen Biogasanlage lassen sich folgende erste Schlußfolgerungen ziehen:

- Der in [2] gegebene Hinweis auf die günstigere anaerobe Vergärbarkeit bestimmter Mischgülle im Vergleich zu den Einzelgülle hat sich bestätigt.
- Die Ergebnisse der kinetischen Untersuchungen zur anaeroben Fermentation von Gülle im Labormaßstab entsprechen prinzipiell den erzielten Ergebnissen in der großtechnischen Anlage bei Verwendung des gleichen Substrats. Da sich die strömungstechnischen Bedingungen im Laborreaktor und im großtechnischen Reaktor unterscheiden, muß der geschwindigkeitsbestimmende Schritt bei der Biogasbildung auch bei einer relativ geringen Durchmischungsintensität der Reaktionsmasse die biochemische Umwandlung und nicht der Stofftransport sein. In Bio-

gasreaktoren ohne Durchmischung der Reaktionsmasse kommt es allerdings zu Prozeßhemmungen durch zu geringe Diffusion.

- Als sehr effektiv hat sich die Durchmischung der Reaktionsmasse mit Hilfe von Biogas erwiesen. Diese Tatsache bezieht sich auf den spezifischen Energieverbrauch, die Zuverlässigkeit und die technologische Wirksamkeit (Schwimm-schichtzerstörung, Konzentrationsausgleich in der Reaktionsmasse usw.). Die in [3, 4] gegebenen Hinweise auf die besondere Effektivität von Hohlwellenrührern mit Paddeln sind keinesfalls zu verallgemeinern.
- Die Biogasverwertung ohne Biogasvorbehandlung in Warmwasserautomaten einheimischer Produktion ist bei den Brenneigenschaften von Biogas ohne Veränderung der Brenner in einem breiten Belastungsbereich problemlos möglich. Eine

Inspektion des Automaten zeigte bisher keine nennenswerten Korrosionserscheinungen.

Literatur

- [1] Maurer, M.; Winkler, J.-P.: Biogas, theoretische Grundlagen, Bau und Betrieb von Anlagen. Karlsruhe, Verlag C. F. Müller 1982.
- [2] Neumann, W.; Rückauf, H.; Breitschuh, G.: Zur Kinetik der anaeroben Fermentation von Mischgülle im mesophilen Bereich. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 12, S. 529-530.
- [3] Engshuber, M.: Energetische Aspekte der Biogasproduktion. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 12, S. 537-541.
- [4] Engshuber, M.; Beyer, G.: Renaissance für Biogas? Technische Gemeinschaft, Berlin 31 (1983) 3, S. 29.

A 3842

Gülesubstrate zum Anfahren von Biogasanlagen

Dr. rer. nat. R. Vollmer, Institut für Düngungsforschung Leipzig - Potsdam der AdL der DDR, Bereich Potsdam
Dr. agr. J. Franz, VEB (Z) Tierzucht Nordhausen

Verwendete Formelzeichen

TS	Trockensubstanz
oTS	organische Trockensubstanz
c_{FS}	Konzentration der wasserdampf-flüchtigen organischen Säuren
t	Versuchszeit
V_{GA}	spezifische Gasausbeute je Tag
RB	Raumbelastung

1. Einleitung

Instabilitäten in der Anfahrphase von Biogasanlagen haben ihre Ursache im komplizierten synthetischen Zusammenwirken einer Vielzahl unterschiedlicher Mikroorganismen. Der wichtigste Grund dürfte aber in der letzten Reaktionsstufe der Methangärung zu suchen sein, die durch eine Substrathemmung durch Essigsäure gekennzeichnet ist.

Durch diese Substrathemmungskinetik wird das Heranwachsen einer hohen Mikroorganismenkonzentration außerordentlich erschwert [1], d. h. in Versuchsanlagen bzw. in Praxisanlagen mit anaeroben Güllebehandlungsverfahren wird der durch eine stabile Mikroorganismenpopulation gekennzeichnete robuste Betriebszustand erst nach Wochen und Monaten [2 bis 4] oder länger erreicht [5]. Während in Anlagen zur Verarbeitung von Rindergülle durch teilweise Reaktivierung der Pansenpopulationen noch relativ günstige Bedingungen auftreten, bereitet die Einarbeitungsphase von Schweinegülle vergärenden Fermentoren sowohl in Praxisanlagen als auch in Labor- und kleintechnischen Versuchsanlagen erhebliche Schwierigkeiten [6].

Eine wesentliche Verkürzung der Einarbeitungsphase könnte durch die Adaption von Mikroorganismen anderer methanogener Ökosysteme an technische Reaktoren erreicht werden. Derartige Ökosysteme entstehen beispielsweise während der Lagerung

von Gülle oder Überschussschlämmen vor allem in den Sommermonaten. In den Lagerbecken von Bioschlämmen einer zweistufigen mikrobiologischen Aufbereitung von Schweinegülle konnte eine außergewöhnliche Aktivität der Methanbakterien nachgewiesen werden.

2. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Durch Untersuchungen in Laborreaktoren (Reaktionsvolumen 4 l und 5 l) wurde in 4 Varianten die Eignung solcher gelagerten Überschussschlämme im Gemisch mit anderen

Substraten der aeroben Aufbereitung von Schweinegülle bzw. mit Wasser als Impfsupstrat überprüft (Angaben in Volumenanteilen):

Variante 1 (Reaktionsvolumen 4 l)
25 % Impfschlamm, 75 % Wasser

Variante 2 (Reaktionsvolumen 4 l)
25 % Impfschlamm, 75 % Überlauf des Nachklärers der intensivbiologischen Stufe

Variante 3 (Reaktionsvolumen 4 l)
50 % Impfschlamm, 12,5 % Überschussschlamm der Belebungsstufe, 37,5 % Wasser

Bild 1. Zeitabhängigkeit der spezifischen Gasausbeute V_{GA} und der Konzentration der wasserdampf-flüchtigen Säuren c_{FS}

