

# Zur Prozeßführung in Biogasreaktoren

Prof. Dr. sc. H. Koriath/Dr. rer. nat. R. Vollmer/ Dr. agr. B. Linke  
 Institut für Düngungsforschung Leipzig-Potsdam der AdL der DDR, Bereich Potsdam

## 1. Einführung

Im Rahmen der Güllewirtschaft gibt es für den Umschlag der aus Anlagen der Rinder- und Schweineproduktion anfallenden Dünger in der Pflanzenproduktion differenzierte Lösungen. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Schweinegülle unterscheiden sich wesentlich von denen der Rindergülle. Mit der Einbeziehung der Biogastechnologie in die Güllewirtschaft eröffnet sich die Frage der Auswirkungen dieser unterschiedlichen Eigenschaften auf die Stoffführung in Biogasreaktoren bzw. deren Gestaltung.

## 2. Versuchsdurchführung

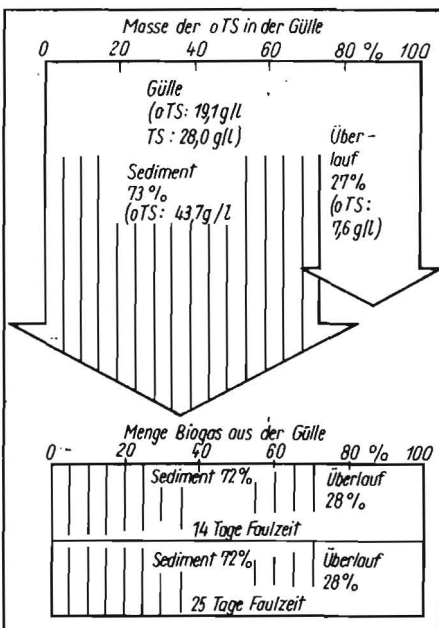
Die untersuchten Güllesubstrate wurden in Laborfermentoren bzw. Pilotreaktoren mit Reaktionsvolumina zwischen 2,5 und 200 l im mesophilen Bereich bei 33°C anaerob fermentiert. Das Durchmischen der Reaktionsmasse erfolgte mechanisch mit einem Rührer oder hydraulisch durch Umpumpen. Die Versuchsreaktoren wurden mit Thermostaten aufgeheizt. Das entstehende Biogas wurde in einem Gasometer aufgefangen bzw. über Präzisionsgaszähler mengenmäßig erfaßt. Die Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Anteils wurde nach der Orsat-Methode vorgenommen, zur Kontrolle wurde ebenfalls der O<sub>2</sub>-Anteil bestimmt. Die Beschreibung der Reaktoren erfolgte quasikontinuierlich. Die batch-Versuche wurden in Reaktionsgefäßen von 1 l Volumen bei 33°C durchgeführt, der Impfmasseanteil betrug 50% der Trockenmasse. Einmal täglich wurde die Reaktionsmasse durch Umschütteln durchgemischt.

## 3. Versuchsergebnisse und Diskussion

### 3.1. Anaerobe Fermentation von Rindergülle

Neben den rheologischen Kenndaten sind

Bild 1. Bilanzierung der Biogasproduktion im batch-Versuch



der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) und der Gehalt an wasserdampfvlüchtigen Carbonsäuren wichtige Stoffkennwerte für das Substrat einer Methangärung. Für die Effizienz einer Biogasanlage ist die Bereitstellung einer TS-reichen Gülle entsprechend der Haltungsform unbedingte Voraussetzung.

In Milchproduktionsanlagen, in denen etwa die Hälfte der Rindergülle anfällt, ist dazu die gesonderte Ableitung und Aufbereitung bzw. Verwertung des Produktionsabwassers aus dem Bereich der Milchgewinnung und -lagerung sowie der Tränkmilchaufbereitung neben anderen Maßnahmen zur Gewinnung TS-reicher Rindergülle notwendig [1].

TS-Gehalte von etwa 9% und mehr in der Jungrinderaufzucht und Bullenmast werden bereits in Praxisanlagen erreicht [2, 3]. In solchen Rindergüllen mit hohen TS-Gehalten (>6%) sind die Sedimentationsprozesse stark verlangsamt. Um eine ausreichende Versorgung der Mikroorganismen mit Substrat zu sichern, sollte deshalb ein ideal durchmischter Reaktor gewählt werden. Die Durchmischung der Reaktionsmasse kann durch Eintragen von Biogas erfolgen, wobei entweder die Dispergierung des komprimierten Gases am Reaktorboden die Umwälzung bewirkt oder das Biogas in ein Rohr oder einen Ringraum, die in den Reaktor eingebaut sind, eingetragen wird. Nach dem Prinzip der einstufigen Mammutschlaufe wird eine Flüssigkeitszirkulation erreicht, da die Dichte der Mischphase im begasten Bereich geringer ist als die Dichte der Flüssigkeit im unbegasten Bereich.

Rinderproduktionsanlagen mit einstreuloser Haltung werden vorwiegend über Fließkanal entmistet. Der Anteil der Tierplätze mit mechanischer Entmistung beträgt nur etwa 10% [1]. Über den Kot der Tiere werden – bekannterweise beträgt der Bakterienanteil im Kotvolumen 20 bis 40% – ausreichend Mikroorganismen in die Fließkanäle eingebracht. Hauptabbauprodukt des anaeroben Stoffwechsels dieser Mikroorganismen sind flüchtige Carbonsäuren, so daß sich die Zusammensetzung der Gülle im Abschnitt der Gülleabführung ändert [3].

Die Erhöhung der Konzentration an Carbonsäuren durch mikrobiellen Stoffwechsel wirkt sich positiv auf die Fermentation im Biogasreaktor aus. Der Vergleich der Fermentation bei mittleren Verweilzeiten von 20 Tagen zwischen einer aus der Sammelgrube einer Jungrinderanlage entnommene Gülle und einer aus Kot, Harn und Wasser gemischten frischen Gülle ist in Tafel 1 dargestellt.

Für die aus der Sammelgrube des Stalls entnommene Gülle wird eine höhere Biogasaus-

beute erzielt als für frische Gülle. Bei einer vergleichenden Diskussion der Versuchsergebnisse muß aber angemerkt werden, daß die aus dem Stall eingesetzte Gülle im TS-Gehalt niedriger lag als die Modellgülle und somit die in Tafel 1 aufgeführten Biogasausbeuten bei gleicher Raumbelastung nicht so stark divergieren würden. Während sich für die aus Kot und Harn gemischte Rindergülle bei mittleren Verweilzeiten von 10 Tagen langfristig im mesophilen Bereich keine stabile Prozeßführung realisieren ließ, kann die vorgesäuerte Gülle den Fermentor mit hohen Raumausbeuten durchlaufen [3]. Dabei lassen sich Biogasbildungsgeschwindigkeiten um 2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> · d erzielen.

### 3.2. Anaerobe Fermentation von Schweinegülle

Für die Anlagen der Schweineproduktion ist die Bereitstellung einer TS-reichen Gülle wie für Rinderanlagen auch bei gut arbeitender Wärmerückgewinnung aus dem Fermentorablauf notwendig. Der wesentliche Teil des unnötig der Gülle zufließenden Wassers stammt in der Schweineproduktion aus der Tränkevorrichtung und dem Reinigungsverfahren. Lösungen zur Reduzierung dieser Wasserverluste liegen vor allem für Anlagen der Schweinemast vor [1].

Die Ausrüstung von Fließkanälen der Schweineproduktion mit Stauklappen und der damit verbundene funktionssichere Abfluß der Gülle hat durch die mikrobiellen Stoffwechselvorgänge in den Fließkanälen ebenfalls positive Auswirkungen auf die Fermentation im Biogasreaktor [4].

Schweinegülle hat die Eigenschaft, sich relativ schnell zu entmischen. Das trifft vor allem für Gülle aus Zuchtanlagen zu, in denen vielfach noch ein sehr hoher Wassereintrag zu verzeichnen ist. In diesem Zusammenhang wird für Schweineproduktionsanlagen ohne notwendige Gülleaufbereitung die Gewinnung einer TS-reichen Fraktion für die Biogasproduktion diskutiert und auch schon praktiziert. Die Sedimentation der TS-armen Schweinegülle wird also technologisch genutzt. Die aus einer Modellgülle aus frischem Kot, Harn und Wasser gewonnenen Trennprodukte nach Sedimentation sowie die Ausgangsgüllen wurden im batch-Versuch ausgefäult. Die Bilanzierung des produzierten Biogases ergab, daß die Gasmenge mit der in der Trennkomponente enthaltenen Masse an organischer Trockensubstanz korreliert (Bild 1). Wenn also im Sediment einer TS-armen Gülle 73% der organischen Masse enthalten sind, dann beträgt der Biogasanteil aus dem Sediment 72% des Gesamtpotentials der TS-armen Gülle.

Die Stoffführung im Biogasreaktor ist bei TS-

Tafel 1  
 Vergleich der Fermentation von frischer (A) und aus dem Stall geförderter Rindergülle (B) bei einer Reaktionstemperatur von 33°C

	A	B
mittlere Verweilzeit	d	20
Raumbelastung	g αTS/l · d	4,42
Biogasausbeute	l/g αTS	0,14
Biogasbildungsgeschwindigkeit	l/l · d	0,60

Tafel 2. Fermentation von Schweinegülle mit Biomasserückführung

mittlere Verweilzeit	20 d
Raumbelastung	1,1 g oTS/l · d
Biogasausbeute	0,53 l/g oTS
Biogasbildungsgeschwindigkeit	0,58 l/l · d

reichen Substraten normalerweise auf eine vollständige Durchmischung ausgerichtet, wozu Gaseinpressung, mechanische Umwälzung oder hydraulische Umwälzung möglich sind. Neuere Entwicklungen sind auf eine schonende Umwälzung der Reaktionsmasse gerichtet, um die Symbiose der acetogenen und methanogenen Mikroorganismen nicht negativ zu beeinflussen. Auch das Gärkanalsystem wird wieder praktiziert. Das Gärmedium durchfließt den Reaktorraum im Hauptstrom in Längsrichtung, wobei langsam bewegte Rührarme eine Umwälzung in Querrichtung bewirken.

Da die am anaeroben Abbau beteiligten Mikroorganismen nur langsam wachsen, führt der Übergang zu mittleren Verweilzeiten von 5 Tagen und kürzer zum Ausspülen von Biomasse, was den Stoffabbau in vollständig durchmischten Reaktoren einschränkt und große Behältervolumina erfordert. Für Substrate mit geringem TS-Gehalt gewinnen daher Verfahren zunehmend an Bedeutung, die auf eine Entkopplung der Verweilzeiten von Substrat und Bakterienmasse ausgerichtet sind. Meist wird die Eigenschaft der Mikroorganismen genutzt, auf vorhandenen künstlich erzeugten Oberflächen zu wachsen oder absetzbare Agglomerate zu bilden.

Beim Kontaktverfahren wird in einer dem Reaktor nachgeschalteten Einrichtung die biomassehaltige Komponente des Fermentationsablaufs abgetrennt und teilweise dem Reaktor wieder zugeführt. Für Schweinegüllesubstrate ist die Sedimentation in einem nachgeschalteten Absetzbecken oder besser die Abtrennung der mit Biomasse besiedelten Feststoffe über Bogensiebe praktikabel.

In den in Tafel 2 gezeigten Versuchsergebnissen aus einem 200-l-Pilotreaktor wurden 3% der Menge Ausgangssubstrat als Filterrückstand der Fest-Flüssig-Trennung in den Reaktor zurückgeführt. Die Biogasausbeute des Substrats ohne Rückführung von Bogensiebrückstand beträgt 0,45 m<sup>3</sup>/kg oTS, so daß gegenüber der Stoffführung beim normalen Durchflußreaktor eine Erhöhung der Biogasausbeute erreicht wird. Die Rückführung von Güllefeststoff bewirkt ebenfalls die Verlängerung der Verweilzeit von schwer abbaubarer organischer Substanz, die einer teilweisen Rezirkulation unterliegt.

Eine weitere Möglichkeit der Entkopplung der Verweilzeiten von Bakterien und Substrat

Tafel 3

Vergleich der Fermentation vom Überstand TS-armer Schweinegülle mit Anaerobfilter (A) sowie ideal durchmischtem Laborreaktor (B)

		A	B
mittlere Verweilzeit	d	5	5
Raumbelastung	g oTS/l · d	1,72	1,32
Biogasausbeute	l/g oTS	0,47	0,34
Biogasbildungsgeschwindigkeit	l/l · d	0,8	0,45
CO <sub>2</sub> -Anteil im Biogas (Volumenanteil)	%	17,0	28,9

besteht darin, die Biomasseanreicherung im Reaktor selbst vorzunehmen. Gemeinsame Merkmale dieser Verfahrenslösungen sind das Fehlen jeglicher Rührreinrichtungen und die Durchströmung des Reaktors von unten nach oben. Die praktische Realisierung solcher Reaktorformen ist bisher aber auf Industrieabwässer beschränkt (hauptsächlich Abwasserreinigung in Zuckerfabriken).

Beim Anaerobfilter besteht der Reaktor aus einer aus inertem Material gebildeten Füllkörpersäule. Mit Schweinegülle wurden Granitspäne, Muschelschalen, Korallen und Tonrohre getestet [5], wobei bisher nur Ergebnisse aus Laboruntersuchungen vorliegen. Die Bakterien werden an der Füllkörperoberfläche zurückgehalten. Durch die erhöhte Mikroorganismenkonzentration lassen sich gegenüber dem ideal durchmischten Reaktor wesentlich geringere Verweilzeiten und höhere Biogasausbeuten erzielen.

Solche Reaktoren eignen sich aber nur für Substrate mit geringen Feststoffgehalten. Untersuchungen mit Schweinegülle, von der die Feststoffe durch Sedimentation abgetrennt wurden, unterstreichen den erhöhten Stoffumsatz solcher Reaktorsysteme. Als Füllkörpermaterial wurden gekörnte Ziegelsteine verwendet. Die Ergebnisse der Untersuchungen mit mittleren Verweilzeiten von 5 Tagen im Vergleich zum ideal durchmischten Behälter (Durchmischung einmal stündlich) sind in Tafel 3 aufgeführt. Die mittlere Verweilzeit der Gülleflüssigkeit läßt sich bei hohen Biogasbildungsgeschwindigkeiten bis zu einem Tag reduzieren.

Eine andere Form der Immobilisierung von Bakterien stellen Fixed-Film-Reaktoren dar, in denen die Bakterien an Wänden aus Glas oder ähnlichem Material fixiert werden. Zur Schweinegüllefermentation im Laborreaktor wurde Polyesterfaser verwendet [6].

Mit mittleren Verweilzeiten von 2,6 Tagen sind Biogasbildungsgeschwindigkeiten von 3,5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> · d mit einem Methananteil von 71 bis 72% Volumenanteil im Biogas erreichbar. Ein Zuwachsen der Reaktoren infolge Biomasseanreicherung, was in Anaerobfiltern auftreten kann, ist hier wenig wahrscheinlich.

Zur Anwendung derartiger Reaktorsysteme für TS-arme Güllesubstrate – was auch auf den Wirbelbett- und den Schlammbedreaktor zutrifft – sind neben den Laboruntersuchungen tiefgreifendere Erprobungen im

halbtechnischen sowie großtechnischen Maßstab notwendig, um neben den reaktionskinetischen und reaktionstechnischen Parametern die technische Gestaltung solcher Reaktoren beherrschen zu lernen.

#### 4. Zusammenfassung

Ausgehend von der Einordnung der Biogastechnologie in die Güllewirtschaft werden Möglichkeiten zur Stoffführung von Güllesubstraten aus Anlagen der industriellen Tierproduktion in Biogasreaktoren aufgeführt. Für die Wirtschaftlichkeit der Verfahren ist die Bereitstellung einer TS-reichen Gülle notwendig. Für TS-arme Gülle aus Schweinezuchtanlagen kann eine Fermentation mit einer Entkopplung der Verweilzeiten von Substrat und Biomasse eine optimierte Verfahrenslösung darstellen.

#### Literatur

- [1] Koriath, H.; Rinno, G.; Ebert, K.: Gewinnung trockensubstanzreicher Gülle. Markkleeberg: agrabuch 1984.
- [2] Ebert, K.: Gewinnung trockensubstanzreicher Gülle in der Rinderproduktion. Tagungsberichte der AdL der DDR, Berlin (1983) 211, S. 109–116.
- [3] Vollmer, R.; Franke, G.; Franz, J.; Holzapfel, H.: Zur zweistufigen anaeroben Fermentation von Rindergülle, agrartechnik, Berlin 34 (1984) 11, S. 510–511.
- [4] Vollmer, R.; Völkel, B.; Franz, J.: Zur Substratbereitstellung für die Erzeugung von Biogas aus Schweinegülle. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 11, S. 506–507.
- [5] Colleran, E.; Barry, M.; Wilkie, A.; Newell, P. J.: Anaerobic Digestion of Agricultural Waste Using the Upflow Anaerobic Filter Design (Die anaerobe Behandlung von Gülle mit Hilfe eines Anaerobfilters). Process Biochemistry, London (1982) 2, S. 12–17.
- [6] Kennedy, K. J.; van den Berg, L.: Continuous slug loading of downflow stationary fixed film reactors digesting piggery waste (Kontinuierliche Belastungssteigerung eines stationären Festbettreaktors mit Rückführung für die Aufbereitung von Schweinegülle. Biotechnology Letters, Manchester 4 (1982) 2, S. 137–142. A 4485

Folgende Fachzeitschriften des Maschinenbaus erscheinen im VEB Verlag Technik:

agrartechnik; Feingerätetechnik; Fertigungstechnik und Betrieb; Hebezeuge und Fördermittel; Kraftfahrzeugtechnik; Luft- und Kältetechnik; Maschinenbautechnik; Metallverarbeitung; Schmierungstechnik; Schweißtechnik; Seewirtschaft