

Bild 6. Wärmeübergangskoeffizient für Flüssigmist in Abhängigkeit von der mittleren Substratgeschwindigkeit bei verschiedenen Trockensubstanzgehalten.

4. Zusammenfassung

Zur Auslegung von Wärmeaustauschern, die zur Erwärmung von Flüssigmist in Biogasanlagen, aber auch zum Wärmezug z.B. aus belüftetem Flüssigmist zu Heizzwecken eingesetzt werden, ist die Kenntnis der Wärmeübergangskoeffizienten für Flüssigmist erforderlich.

Die Messungen ergaben aufgrund der größeren Zähigkeit für Flüssigmist kleinere Wärmeübergangskoeffizienten als für Wasser. Insbesondere bei kleinen Substratgeschwindigkeiten, im Extremfall bei ruhendem Substrat, sind die Werte sehr klein. Da dieser Bereich vorzugsweise für die Wärmerückgewinnung in Betracht zu ziehen ist, sind also entsprechend große Wärmeaustauscherflächen oder Austauschzeiten erforderlich.

Ein Einfluß des Trockenmassegehalts konnte entgegen den Erwartungen bisher nicht festgestellt werden. Zur dimensionslosen und damit möglichst allgemeingültigen Darstellung von Ergebnissen sind weitere Arbeiten zur Bestimmung einer "repräsentativen" Zähigkeit sowie Vergleiche mit Werten ähnlicher Stoffe aus anderen Bereichen der Verfahrenstechnik erforderlich.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] ●Hansen, H.: Wärmeübertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom. 2. Aufl. Berlin: Springer-Verlag 1976.
- [2] ●VDI: VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang. 2. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1974.
- [3] Mills, P.: Minimisation of energy input requirements of an anaerobic digester. Agricultural Wastes Bd. 1 (1979) Nr. 1, S. 57/66.
- [4] Lommatsch, R.: Rheologische Untersuchungen an Rindergülle als Beitrag zur Mechanisierung der Güllewirtschaft. Diss. Univ. Leipzig, 1968.
- [5] Stuhmann, H.: Analytische Betrachtungen und modelltheoretische Untersuchungen zur Bestimmung der optimalen Kanalabmessungen beim Flüssigmistverfahren. Forschungsbericht Agrartechnik der MEG, Nr. 41, Gießen, 1979.
- [6] Hoffmann, L., P. Schümmer u. H. Schwerdt: Strömung viskoelastischer Flüssigkeiten im Ringspalt. Rheol. Acta Bd. 14 (1975) S. 626/30.
- [7] Chmiel, H.: Wärmeübergang in der turbulenten Rohrströmung viskoelastischer Flüssigkeiten. Diss. RWTH Aachen 1971.
- [8] Kipke, K.: Begasen von nichtnewtonschen Flüssigkeiten. BMFT-Forschungsbericht, Bioreaktor VII, Mai 1980.

Erste Erfahrungen mit einem vollständig gefüllten, vertikal durchströmten Biogasgenerator

Von Wolfgang Baader, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.862:662.767.1

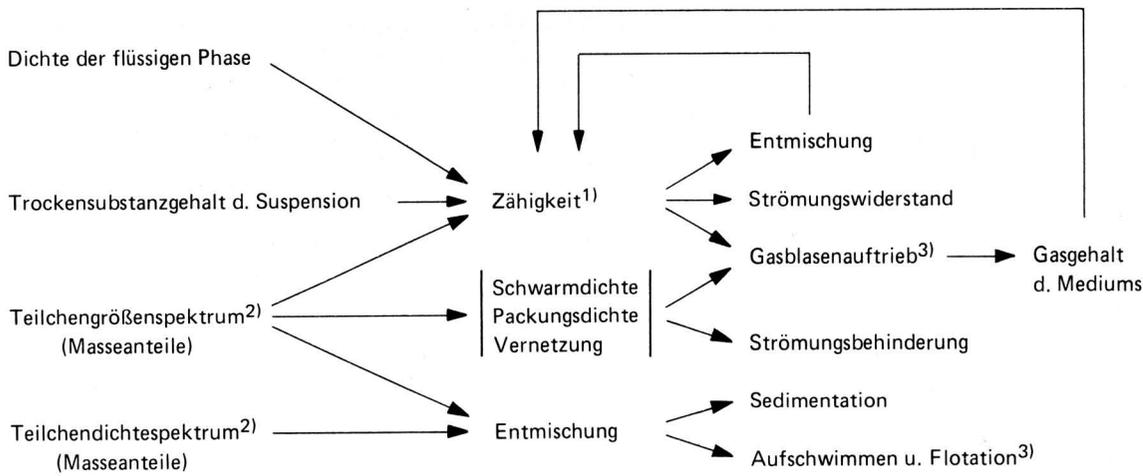
Das Interesse an der anaeroben Gärung, als einer der Möglichkeiten, Energie aus organischen Stoffen bereitzustellen, wird in Zukunft zunehmen. Daher werden vermehrt Biogasanlagen benötigt, die geeignet sind, verschiedenartige Stoffe mit unterschiedlichen physikalischen und biochemischen Eigenschaften zuverlässig zu verarbeiten, und die eine hohe Ausbeute an Nettoenergie über Methan erreichen.

Es wird über Untersuchungen mit einem partiell durchmischten Durchfluß-Biogasreaktor berichtet, mit dem diese Bedingungen erfüllt werden sollen.

*) Prof. Dr.-Ing. W. Baader ist leitender Direktor des Instituts für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode (FAL).

1. Einleitung

Die in der Landwirtschaft anfallenden organischen Stoffe, die für die Methangewinnung in Frage kommen, weisen je nach den einzelbetrieblichen Gegebenheiten ein breites Artenspektrum auf. Einer Biogasanlage werden daher in der Regel Mischsubstrate zugeführt, die sich nicht nur hinsichtlich ihrer Anteile an mikrobiell abbaubarer organischer Substanz und deren jeweiliger Abbaugeschwindigkeit unterscheiden [1 bis 3], sondern in den meisten Fällen auch hinsichtlich ihrer physikalischen Merkmale, wie Anteile an gelösten und suspendierten Feststoffen sowie Spektrum der Dichte, Form und Größe der Feststoffpartikel. Diese wirken sich wesentlich auf das fluidmechanische Verhalten dieser Medien aus, Bild 1. Zusätzlich werden diese physikalischen Stoffwerte durch die Stoffumsetzung während des biologischen Prozesses verändert.



- 1) beeinflusst durch Temperatur und biologischen Abbau
 2) beeinflusst durch biologischen Abbau
 3) beeinflusst durch Intensität der Gasentwicklung u. hydrostatischen Druck

Bild 1. Substrat- und prozeßabhängige physikalische Wirkungen.

Durch Entmischen entstehen unkontrollierte Inhomogenitäten und Ansammlungen von Substratkomponenten, z.B. Bildung von Sediment- und Schwimmschichten, letztere unterstützt durch aufsteigende und an den Feststoffpartikeln anhaftende Gasblasen (Flotation). Dies wiederum kann zu einer Beeinträchtigung des Stoffabbaus und zu Schwierigkeiten beim Austrag des behandelten Mediums aus dem Reaktionsbehälter führen.

Um diesen Gefahren zu begegnen und um die Stoffführung an die spezifischen Substrateigenschaften und Prozeßbedingungen anpassen zu können, wurde nach einer Lösung gesucht, bei der – insbesondere bei Substraten, die zum Entmischen neigen – auf die intensive, vollständige und energieaufwendige Durchmischung des Gärgutes verzichtet werden kann und statt dessen sedimentierendes sowie aufschwimmendes Material jeweils in einer gesonderten Zone umgewälzt wird. Gleichzeitig sollte auch die Möglichkeit geschaffen werden, unter Berücksichtigung der Erkenntnisse über die biologische Methanbildung [4 bis 6] den Abbauprozess näherungsweise in zwei Stufen nacheinander ablaufen zu lassen, wie dies in einigen Forschungsarbeiten als vorteilhaft nachgewiesen wurde [7 bis 9].

Es lag nahe, das frisch eingegebene Substrat zunächst in einer Reaktorzone zu halten, die eine infolge Sedimentation hohe Konzentration an Bakterien und an im Abbau befindlicher organischer Substanz aufweist, das Gärgut anschließend durch eine zweite Zone zu leiten, bevor der Faulschlamm aus dem Reaktor austritt. Aus diesem Konzept ergaben sich folgende technische Anforderungen:

- Hauptströmung: Durchfluß durch einen aufrecht stehenden zylindrischen Faulraum von unten nach oben;
- Nebenströmungen: Umwälzung im unteren Drittel des Faulraums zur Vermischung des frischen Substrats mit vorfermentiertem Gut und zur Verteilung sedimentierender Stoffe; Umwälzung im oberen Bereich des Faulraums zur Homogenisierung des Gärgutes, insbesondere zur Verteilung aufschwimmender Stoffe;
- Sichere Verteilung und Durchleitung von Fasern und Halmgut;
- Sicheres Abfließen nicht abgebauter Feststoffe mit breitem Teilchengrößenspektrum.

2. Technische Mittel zur Stoffführung

Aufgrund dieser Anforderungen wurde eine Reaktorausführung gewählt, wie sie in **Bild 2** schematisch dargestellt ist. Das Substrat wird im unteren Drittel des Faulraums tangential eingegeben und dort dem aktiven Schlamm beigemischt, im Bedarfsfall unterstützt durch Umwälzung des Schlammes in diesem Bereich. In den oberen beiden Dritteln des vollständig gefüllten und im oberen Teil konisch zulaufenden Faulraums hält ein abwärts fördernder Propeller das Faulgut über ein Zentralrohr in einem schlaufenförmigen Umlauf. Auftreibendes Material kann sich hierbei nicht zu einer Schwimmdecke verdichten, da es zwangsläufig von der Abwärtsströmung erfaßt wird, bevor es die Ablauföffnung am obersten Punkt des Faulraums erreicht.

Der bei Zugabe von frischem Substrat und durch Gasentwicklung nach der Zugabe verdrängte Faulschlamm sowie das Gas verlassen den Faulraum über diese Öffnung. Gas und Faulschlamm werden anschließend in einer vertikalen Säule getrennt, an deren unterem Ende der Schlamm über einen Syphon austritt, während das Gas am oberen Ende der Säule abgenommen wird.

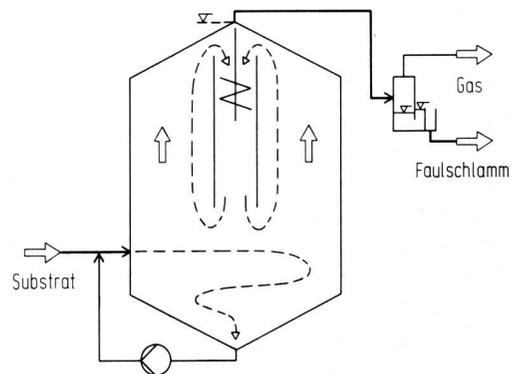


Bild 2. Vertikal durchströmter Bioreaktor mit partieller Umwälzung.

3. Versuche im halbtechnischen Maßstab

3.1 Versuchsaufgaben

Über das Betriebsverhalten der gewählten Stoffführung und über hierdurch hervorgerufene Auswirkungen auf den Gärprozeß bestand zunächst völlige Unklarheit. Versuche sollten daher Auskunft geben über

- die Menge des infolge Gasentwicklung verdrängten Schlammes,
- das Zeitverhalten des Verdrängungsvorganges,
- den Einfluß des Schlammabflusses auf die Leistung des Reaktors,
- die Sicherheit der Ablauf- und Umlaufströmung im Bereich der oberen Auslauföffnung bei Vorhandensein von Halm- und Faserstoffen,
- die Menge und die Beseitigung des im Ablaufstrom enthaltenen Schaumes,
- den Einfluß der Umwälzung auf die Reaktorleistung.

3.2 Versuchsanlage

Um diese Sachverhalte untersuchen zu können, wurde eine Anlage, Bild 3, mit einem Faulraumvolumen von $V_R = 6 \text{ m}^3$ erstellt, deren Ausstattung es erlaubt, Zusammensetzung, Menge und Zyklus der Zugabe, Prozeßtemperatur sowie Betriebsdauer, Arbeitszyklus und Strömungsrichtung der beiden Umwälzsysteme zu verändern.

Das Substrat wird normalerweise in den unteren Behälterbereich eingegeben. Für den Fall, daß ein vollständiges Durchmischen des Substrats mit dem Reaktorinhalt erreicht werden soll, erfolgt die Eingabe im oberen Bereich über das Zentralrohr. Im Zwischenbehälter k erfolgt die Wägung der bis zum Zeitpunkt der nächsten Zugabe ablaufenden Faulschlammmenge.

Als Entschäumer hat sich eine rotierende Scheibe bewährt, die den Querschnitt der Absetzsäule bis auf einen schmalen Rundspalt ausfüllt. Der aufsteigende Schaum wird durch Scherkräfte aufgelöst; Flüssigkeit und Feststoffe werden gegen die Zylinderwand geschleudert und fließen nach unten ab.

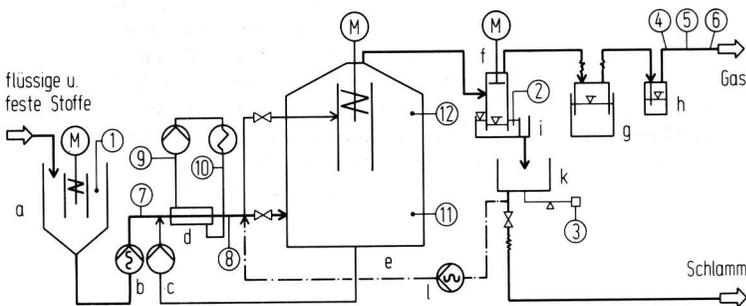


Bild 3. Aufbau der 6 m^3 -Versuchsanlage.

- | | |
|---|---|
| a Vorkammer u. Mischer ($V_M = 0,4 \text{ m}^3$) | f Absetzsäule zur Trennung von Gas und Flüssigkeit mit Entschäumer (Schleuderscheibe) |
| b Zugabepumpe | g Gas-Zwischenspeicher |
| c Umwälzpumpe | h Druckvorlage |
| d Wärmeaustauscher mit Elektroheizung | i Syphon |
| e Faulbehälter ($V_R = 6 \text{ m}^3$, $h_{\text{ges}} = 3000 \text{ mm}$) mit Zentralrohr ($d = 300 \text{ mm}$) und Rührpropeller ($n = 210 \text{ min}^{-1}$) | k Wiegebehälter |
| | l Rücklaufpumpe (nur für Vers. A_6) |
- Meßstellen:
- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 Probenahme aus Zulauf | 6 Methangehalt |
| 2 Probenahme aus Ablauf | 7 u. 8 Substrattemperatur |
| 3 Abgelaufene Faulschlammmenge | 9 u. 10 Wassertemperatur |
| 4 Gasmenge | 11 u. 12 Temperatur im Faulraum |
| 5 Gasstrom | |

Ein Kontaktthermometer an der Meßstelle 11 steuert die Betriebszeit des Heizgerätes nach einer wählbaren Temperatur. Die Umwälzpumpe c und die Heizung d sind immer gleichzeitig in Betrieb. Daneben ist die Pumpe e ebenso wie das Rührwerk im Zentralrohr jeweils über ein gesondertes Zeitprogramm zu schalten. Um das Substrat bei der Eingabe sofort intensiv mit Gärflüssigkeit zu vermengen, ist mit der Zugabepumpe b auch die Umwälzpumpe c in Betrieb.

Temperatur an der Meßstelle 11, Betriebszeit des Heizgerätes, Gasvolumen, Gasstrom, Methangehalt und abgelaufene Masse des Faulschlammes werden mit einem Schreiber registriert.

3.3 Versuchsdurchführung

Ausgangssubstrat für alle Versuche war reiner, bis zu höchstens 4 Tagen gelagerter Rinderflüssigmist, dem im Bedarfsfall nachträglich gehäckseltes Stroh (mittlere Schnittlänge $s = 50 \text{ mm}$) im Mischer a beigegeben wurde.

In Vorversuchen, die der Erprobung der einzelnen technischen Einrichtungen und der Gesamtanlage dienten, wurde beobachtet, daß die Verdrängung von Faulschlamm zwar ungleichförmig, aber nach einer gewissen Gesetzmäßigkeit erfolgt und daß zwischen dem abfließenden Faulschlammstrom und dem Gasstrom eine Korrelation besteht. Da eine beträchtliche Menge an Faulschlamm vor allem auch nach der Zugabe abfloß, stellte sich die Frage, inwieweit hierdurch die Gasproduktion beeinträchtigt wird.

In einer ersten Versuchsreihe (A_6 , Tafel 1) wurde daher der bei der Substratzugabe verdrängte Faulschlamm gesondert aufgefangen und nach Bestimmung der Menge abgelassen; der anschließend verdrängte Faulschlamm jedoch wurde im Wiegebehälter k gespeichert und von dort ständig wieder über die Rücklaufpumpe l in den Faulbehälter zurückgepumpt, so daß dieser stets vollständig gefüllt war. Im Wiegebehälter k befand sich somit jeweils immer nur das durch Gas verdrängte Schlammvolumen, dessen Masse gleichzeitig mit dem Gasstrom kontinuierlich registriert wurde, Bild 4.

In der zweiten Versuchsreihe (B_6) sollte festgestellt werden, ob sich die Gasproduktion verändert, wenn auch die nach der Substratzugabe verdrängte Schlammmenge abgelassen wird.

In beiden Versuchsreihen erfolgte die Zugabe des Substrats im Abstand von 24 Stunden über das Zentralrohr. Der für die Versuchsreihe B_6 gewählte Versuchsablauf wurde bezüglich der verdrängten Faulschlammmenge für die weiteren Versuche beibehalten.

Mit den Versuchsreihen C_6 und D_6 war die Frage zu beantworten, wie sich eine Aufteilung der täglichen Zugabemenge auf 3 Raten (8 h-Zyklus) auf die Gasproduktion auswirkt. Gleichzeitig sollte überprüft werden, wie sich gehäckseltes Stroh — zunächst in geringer Menge dem Substrat beigemischt — hinsichtlich seiner Verteilung im Fluid verhält. Versuchsreihe D_6 unterschied sich von Versuchsreihe C_6 lediglich durch eine um 5 K höhere Prozeßtemperatur. In diesen beiden Versuchsreihen wurde das Substrat in den unteren Bereich des Reaktors eingegeben (vgl. Bild 3).

3.4 Ergebnisse

Versuchsreihe A_6 :

Bei Zugabe des Substrats wird zunächst eine der Zugabemenge entsprechende Faulschlammmenge m_2 verdrängt, Bild 4. Unmittelbar danach stellt sich ein starker Strom ablaufenden Faulschlammes ein, hervorgerufen durch eine spontan eintretende Gasentwicklung, deren kurzzeitig hohe Intensität auf die schnelle Umsetzung der im Substrat sofort verfügbaren organischen Säuren, insbesondere der Essigsäure (vgl. Tafel 1), zurückgeführt wird [6].

Nach Abklingen ersten Reaktion entweicht mehr Gas als nachgeliefert wird, so daß bei ständigem Rückpumpen eine geringere Schlammmenge verdrängt bleibt. Nach Einsetzen der mit der Heizung gekoppelten Pumpe c (im Bild gekennzeichnet durch Δt_{UH}) führt die Umwälzung im unteren Reaktorbereich zu einer

Versuchsreihe		A ₆	B ₆	C ₆	D ₆
Versuchsdauer	d	20	42	30	20
Temperatur	°C	32	32	32	37
Zulauf					
Substrat: Rinderflüssigmist					
tägl. Menge	m ³ /d	0,3	0,3	0,3	0,3
Strohanteil	kg/m ³	—	—	6,7	6,7
Anzahl der Teilzugaben	1/d	1	1	3	3
Konzentration an ges. Trockensubstanz	%	9,92	10,41	11,43	11,32
org. Trockensubstanz	%	8,15	8,58	9,34	9,31
org. Säuren	mg/l	4860,8	2987,67	2131,4	2072,5
davon Essigsäure	mg/l	2440,3	1790,5	1629,4	1639,9
Faulraumbelastung (org. Trockensubst.)	kg/m ³ d	4,08	4,29	4,67	4,66
theoretische Verweilzeit	d	20	20	20	20
Ablauf					
Konzentration an					
org. Trockensubstanz	%	7,96	8,17	8,80	8,73
org. Säuren	mg/l	477,60	294,12	142,3	62,0
davon Essigsäure	mg/l	366,2	236,93	138,7	62,0
Gas					
tägl. Menge gesamt					
auf Faulraumvolumen bezogen	m ³ /m ³ d	1,17	1,18	1,22	1,41
auf Zugabe org. Substanz bezogen	m ³ /kgd	0,29	0,30	0,26	0,30
tägl. Menge Methan					
auf Faulraumvolumen bezogen	m ³ /m ³ d	0,70	0,64	0,74	0,84
auf Zugabe org. Substanz bezogen	m ³ /kgd	0,17	0,16	0,16	0,18

stärkeren Entgasung, die Dichte des Fluids wird größer, und weiterer Schlamm wird aus dem Behälter k in den freigewordenen Reaktorraum nachgeliefert. Bei der folgenden Unterbrechung der Umwälzung wird mehr Gas im Reaktor gespeichert, wodurch der Gasstrom zurückgeht und die ablaufende Faulschlammmenge zunimmt. Die Menge des durch Speicherung von Gas aus dem Reaktor verdrängten Faulschlammes streute zwar während der Versuchszeit stark, sie erreichte aber in zahlreichen Fällen den Wert der Zugabe. Der erzielte mittlere Methanertrag von 0,17 m³/kg, bezogen auf die eingebrachte Menge der organischen Substanz bei einem Methangehalt des Gases von 60 %, diente als Bezugsgröße für die Bewertung der Ergebnisse aus den anschließenden Versuchen ohne Rücklauf des Schlammes (Tafel 1).

Versuchsreihe B₆:

Da beim hierfür gewählten Versuchsablauf der Faulschlamm nicht in den Reaktor zurückgeführt wird, fällt der Flüssigkeitspegel im Faulraum nach Abklingen der nach der Substratzugabe eingetretenen intensiven Reaktion in dem Maße, wie sich die Dichte des Fluids infolge Entgasung mit einem gegenüber der Gasproduktion höheren Gasstrom \dot{V}_G (vgl. Bild 4) erhöht.

Tafel 1. Betriebswerte der 6 m³-Versuchsanlage.

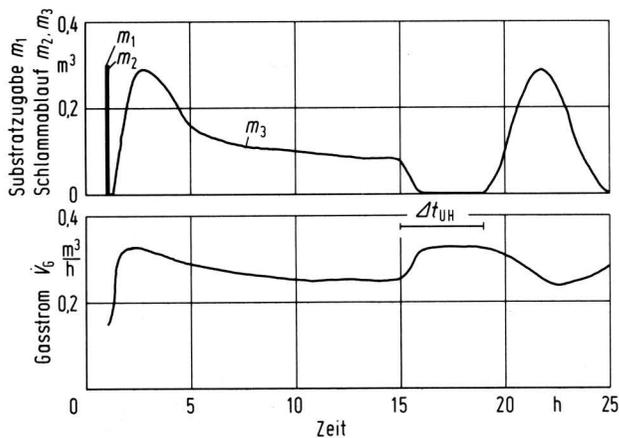


Bild 4. Daten zum Substratzu- und -ablauf des Reaktors und zeitlicher Verlauf von Gasstrom \dot{V}_G ; Beispiel aus der Versuchsreihe A₆.

- m₁ Volumen des zugegebenen Substrats
- m₂ Volumen des ablaufenden Faulschlammes bei Zugabe des Substrats
- m₃ Faulschlammmenge im Wiegebehälter k (s. Bild 3) bei ständigem Rückpumpen in den Reaktor
- Δt_{UH} Betriebszeit von Umwälzpumpe c und Heizung

Sofern eine erneute Aufblähung ausbleibt, oder eine solche den Pegel nicht bis zur vollständigen Füllung anhebt, verbleibt ein gasgefüllter Raum im Reaktor. Dieser wird bei der folgenden Zugabe zunächst aufgefüllt, und es fließt eine geringere Faulschlammmenge ab, als der Zugabemenge entspricht. Dieser Fall trifft für das in Bild 5 gezeigte Beispiel zu. Der Verlauf der Kurve für den Gasstrom \dot{V}_G läßt sich mit den aus der Versuchsreihe A₆ gewonnenen Erkenntnissen erklären. Die im Behälter k gespeicherte Faulschlammmenge nimmt nach der ersten Reaktion erst dann wieder zu, wenn sich durch eine Gasspeicherung das Fluid so stark aufbläht, daß der Faulraum überläuft, wie dies im Beispielfall nach dem Betrieb der Umwälzpumpe c (s. Δt_{UH}) der Fall war. Der Vergleich mit der Versuchsreihe A₆ zeigt, daß sowohl hinsichtlich des Methanertrags als auch hinsichtlich des Abbaus der organischen Säuren¹⁾ — zwei der wichtigsten Kriterien für die Bewertung des biologischen Prozesses — dieser Versuchsablauf, bei dem der verdrängte Faulschlamm nicht wieder in den Faulraum zurückgepumpt wird, keine Nachteile aufweist (Tafel 1).

Versuchsreihe C₆:

Auch nach Umstellung der Zugabe auf einen Zyklus von 8 Stunden unter Beibehaltung der tägl. Zugabemenge liefen zwischen den Zugabezeiten die in Bild 5 gezeigten Vorgänge in gleicher Weise ab, Bild 6. Mit Hilfe einer empfindlicheren Aufzeichnung des Gasstromes \dot{V}_G ließen sich auch kurzzeitige Schwankungen dieser Größe erfassen. So zeigten sich Spitzenwerte, wenn beim Zugeben des Substrats Gas aus dem oberen Reaktorbereich verdrängt wurde, sofern sich dort zuvor durch Entgasung ein tieferer Pegel eingestellt hatte. Auch die positive Wirkung der Umwälzung auf die Gasfreisetzung war deutlich zu erkennen.

¹⁾ Die chemischen Analysen wurden beim Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL durchgeführt.

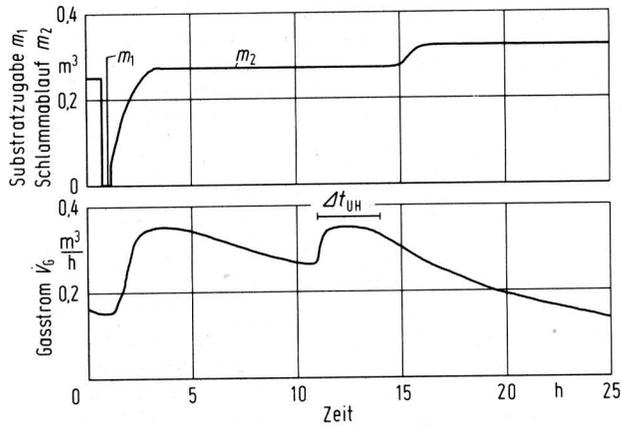


Bild 5. Daten zum Substratzu- und -ablauf des Reaktors und zeitlicher Verlauf von Gasstrom \dot{V}_G ; Beispiel aus der Versuchsreihe B_6 .

m_1 Volumen des zugegebenen Substrats
 m_2 aus dem Reaktor verdrängte, im Behälter k (s. Bild 3) gespeicherte Schlammmenge
 Δt_{UH} Betriebszeit von Umwälzpumpe c und Heizung

Versuchsreihe D_6 :

Die Temperaturerhöhung um 5 K bewirkte eine geringfügige, aber signifikante Steigerung des Methanertrags. Auch war gegenüber der Versuchsreihe C_6 ein stärkerer Abbau der organischen Säuren zu verzeichnen (Tafel 1).

Der bessere Abbau der organischen Säuren in den beiden Versuchsreihen C_6 und D_6 gegenüber den Versuchsreihen A_6 und B_6 läßt vermuten, daß bei der Eingabe des Substrats in den unteren Bereich des Faulraums die abbaubaren Stoffe dort länger verweilen, während bei der Substrateingabe in das Zentralrohr die Gefahr besteht, daß geringe Mengen abbaubarer Stoffe über die Schlaufenströmung zu früh mit dem ablaufenden Faulschlamm ausgetragen werden.

In den Versuchsreihen C_6 und D_6 war die Betriebsweise des Rührpropellers im Zentralrohr mehrmals verändert worden. Weder die Umkehr der Förderrichtung noch ein Wechsel des Zeitprogramms zwischen Dauerbetrieb und Arbeitszyklen mit jeweils 2–3 min Betriebszeit im Abstand von 20 min, 60 min, 8 h und 24 h bewirkten eine signifikante Veränderung der Gasproduktion.

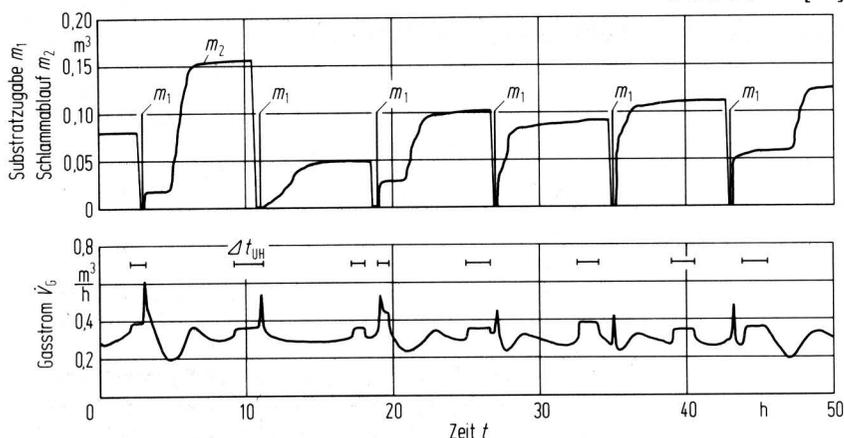


Bild 6. Daten zum Substratzu- und -ablauf des Reaktors und zeitlicher Verlauf von Gasstrom \dot{V}_G ; Beispiel aus der Versuchsreihe C_6 .

m_1 Volumen des zugegebenen Substrats
 m_2 aus dem Reaktor verdrängte, im Behälter k (s. Bild 3) gespeicherte Schlammmenge
 Δt_{UH} Betriebszeit von Umwälzpumpe c und Heizung

Versuchsreihe		A ₁₀₀	B ₁₀₀
Versuchsdauer	d	44	21
Temperatur	°C	33	33
Zulauf			
Substrat: Rinderflüssigmist			
tägl. Menge	m ³ /d	4	5
Strohanteil	kg/m ³	—	—
Anzahl der Teilzugaben	1/d	4	5
Konzentration an ges. Trockensubstanz	%	4,68	6,75
org. Trockensubstanz	%	3,79	5,48
org. Säuren	mg/l	3219,9	1910,1
davon Essigsäure	mg/l	1825,2	1344,9
Faulraumbelastung (org. Trockensubst.)	kg/m ³ d	1,52	2,74
theoretische Verweilzeit	d	25	20
Ablauf			
Konzentration an org. Trockensubstanz	%	3,24	4,88
org. Säuren	mg/l	48,6	42,9
davon Essigsäure	mg/l	48,6	42,9
Gas			
tägl. Menge gesamt			
auf Faulraumvolumen bezogen	m ³ /m ³ d	0,553	0,8514
auf Zugabe org. Substanz bezogen	m ³ /kgd	0,36	0,31
tägl. Menge Methan			
auf Faulraumvolumen bezogen	m ³ /m ³ d	0,3279	0,5023
auf Zugabe org. Substanz bezogen	m ³ /kgd	0,22	0,18

Tafel 2. Betriebswerte der 100 m³-Versuchsanlage.

4. Versuche im technischen Maßstab

Mit der gewählten Stoffführung und Reaktorbauart konnten inzwischen erste Betriebserfahrungen auch an einer Versuchsanlage mit einem Faulraumvolumen von $V_R = 100 \text{ m}^3$ gesammelt werden. Auf den Aufbau und die technischen Daten dieser Anlage wird an anderer Stelle [10] näher eingegangen.

In den beiden bisher gefahrenen Versuchsreihen A_{100} und B_{100} , Tafel 2, für die aus technischen Gründen nur verdünnter strohfreier Rinderflüssigmist verfügbar war, wurden Substratmengen von jeweils $m_1 = 1 \text{ m}^3$ tägl. 4mal (Versuchsreihe A_{100}) bzw. tägl. 5mal (Versuchsreihe B_{100}) nach Aufheizen auf Prozeßtemperatur gemeinsam mit der von der Umwälzpumpe geförderten Gärflüssigkeit in das untere Drittel des Faulraums tangential eingegeben. Der Propellerrührer im Zentralrohr war jeweils nur während des Zugabevorgangs eingeschaltet.

Wie die in Tafel 2 zusammengefaßten Daten ausweisen, lag der Methanertrag aus der zugegebenen organischen Substanz bei der Verweilzeit von 20 Tagen (Versuchsreihe B_{100}) in der Größenordnung, wie er bei den vergleichbaren Versuchsreihen C_6 und D_6 der 6 m³-Anlage erzielt wurde. Die längere Verweilzeit von 25 Tagen (Versuchsreihe A_{100}) führt erwartungsgemäß zu einer Erhöhung des Methanertrags.

5. Beurteilung der Ergebnisse

Die bisher mit dem vollständig gefüllten Reaktor aus der zugegebenen organischen Substanz erzielten Methanerträge liegen günstig im Vergleich zu Werten, die an anderen Stellen unter ähnlichen Betriebsbedingungen erreicht worden sind und über die in einer neueren Übersichtsarbeit berichtet wird [11]. Offensichtlich wirkt sich das Abfließen von Faulschlamm, hervorgerufen durch die Zunahme des im Reaktor befindlichen Gasvolumens bei Einsetzen der Abbaureaktion, nicht nachteilig aus. Da die Aufenthaltszeit des Gases im Reaktor mit der Zähigkeit des Fluids zunimmt, ist zu erwarten, daß bei Vergärung von Substraten mit höheren Trockensubstanzgehalten größere Faulschlammengen verdrängt werden. In weiteren Versuchen soll daher der Einfluß des Trockenmassegehalts der Zugabe auf den Verdrängungsvorgang und in Zusammenhang damit auf den Austrag von unvollständig abgebauter organischer Substanz ermittelt werden.

Die Versuche reichen auch noch nicht aus, um mit hinreichender Sicherheit aussagen zu können, daß mit der gewählten Anordnung einer partiellen Umwälzung auch andere Substrate, deren physikalische Eigenschaften von denen der bisher verwendeten wesentlich abweichen, in der beabsichtigten Weise im Reaktor bzw. durch diesen geführt werden können.

6. Zusammenfassung

Im Hinblick auf die Bearbeitung von Mischsubstraten, die ein breites Spektrum von Stoffkomponenten aufweisen und die sich in ihrem Abbauverhalten und in ihren physikalischen Eigenschaften unterscheiden können, wurde eine neuartige Gestaltung der Stoffführung in einem Biogasreaktor untersucht. Die besonderen Kennzeichen sind die aufwärtsgerichtete Längsdurchströmung des Reaktors mit partieller Umwälzung in zwei Zonen und die vollständige Füllung des Faulraums mit Austritt des Faulschlammes am obersten Punkt des Reaktors. Erste Versuche an einem Reaktor mit einem Volumen von 6 m³ zeigten, daß die Verdrängung von Faulschlamm durch das bei der Abbaureaktion freiwerdende Gas die Methanproduktion nicht beeinträchtigt. Andererseits konnte mit der gewählten Anordnung jegliche störende Ansammlung von Schwimmstoffen im Reaktor vermieden werden. Das Prinzip wird inzwischen auch an einem Reaktor mit einem Volumen von 100 m³ erprobt.

Weitere Versuche sollen über das Betriebsverhalten des Systems bei Einsatz von trockenmassereichen flüssigen Substraten Auskunft geben.

Schrifttum

- [1] *Reinhold, F. u. W. Noack*: Laboratoriumsversuche über die Gasgewinnung aus landwirtschaftlichen Stoffen. In: *Liebmann, H.* (Hrsg.): Gewinnung und Verwertung von Methan und Mist. S. 252/68. München: Verlag R. Oldenbourg, 1956.
- [2] *Schuchardt, F.*: Untersuchungen zum Gärverhalten von tierischen Exkrementen und Pflanzen. *Grundl. Landtechnik* Bd. 31 (1981) Nr. 2, S. 42/47.
- [3] *Badger, D.M., M.J. Bogue u. D.J. Stewart*: Biogas production from crops and organic wastes. *New Zealand Journal of Science* Bd. 22 (1979) S. 11/20.
- [4] *Bryant, M.P.*: The microbiology of anaerobic degradation and methanogenesis with special reference to sewage. In: *Schlegel, H.G. u. J. Barnea* (Hrsg.): Microbial energy conversion. S. 107/117. Göttingen: Verlag Erich Goltze KG, 1976.
- [5] *Schoberth, S.*: Mikrobielle Methanisierung von Klärschlamm, Chemie-Biologie-Potential. In: Bundesministerium für Forschung und Technologie (Hrsg.): Biologische Abfallbehandlung, Klärschlamm – Stand und Aussichten. S. 87/135. Jülich: Projektträger Biotechnologie, 1978.
- [6] *Sahm, H. u. S. Schoberth*: Mikrobielle Umsetzung von pflanzlichen Rückständen. Jahresbericht 1978/79 der Kernforschungsanlage Jülich, S. 55/64.
- [7] *Ghosh, S., J.R. Conrad u. D.L. Klass*: Anaerobic acidogenesis of wastewater sludge. *J. Water Poll. Contr. Federation* Bd. 47 (1975) Nr. 1, S. 30/45.
- [8] *Fan, L.T., L.E. Erickson, J.C. Baltes u. P.S. Shah*: Analysis and optimization of two-stage digestion. *J. Water Poll. Contr. Federation* Bd. 45 (1973) Nr. 4, S. 591/610.
- [9] *Cohen, A., R.J. Zoetemeyer, A. van Deursen u. J.G. van An del*: Anaerobic digestion of glucose with separated acid production and methane formation. *Water Research* Bd. 13 (1979) S. 571/80.
- [10] *Baader, W.*: Das FAL-Biogasprojekt. *Grundl. Landtechnik* Bd. 31 (1981) Nr. 2, S. 37/41.
- [11] *Lettinga, G.*: Anaerobic digestion for energy saving and production. Abstracts Intern. Conference Energy from Biomass, Brighton, 4./7. Nov. 1980.

Zur betriebstechnischen Einordnung von Biogasanlagen

Von Hans Helmut Würch, Braunschweig-Völkenrode*)

Mitteilung aus dem Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.862:662.767.1:658.232

Der Viehhaltung eines landwirtschaftlichen Betriebes fällt hinsichtlich des Einsatzes der Biogastechnik eine Schlüsselrolle zu.

Aus der Art der Tiere, der Bestandsgröße und der Halteform ergibt sich ein in Beschaffenheit, Menge und

zeitlicher Verteilung charakteristisches Substrat- und damit Energieangebot. Von der Form der Nutztierhaltung wird andererseits auch die betriebliche Energiebedarfsstruktur bestimmt. Damit werden die Möglichkeiten der Gasverwertung eingegrenzt. An diesen Vorgaben haben sich die Anforderungen an die Ausführung einer Biogasanlage zu orientieren. Die Zusammenhänge werden schwerpunktmäßig am Beispiel milchviehhaltender Betriebe dargestellt.

*) Dipl.-Ing. H.H. Würch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.