

# Zur anaeroben Fermentation von Rindergülle im thermophilen Bereich

Dr. rer. nat. R. Vollmer/Dr. agr. B. Linke, Institut für Biotechnologie Potsdam der AdL der DDR

## 1. Einleitung

Im Zusammenhang mit weiterführenden Untersuchungen zur anaeroben Fermentation von Rindergülle [1, 2] waren Untersuchungen auch im thermophilen Bereich von Interesse. Die praktische Anwendung derartiger Verfahren wird noch immer diskutiert, so sollen z. B. in der BRD von 80 bis 100 Biogasanlagen nur 3 thermophil arbeiten [3]. Zur Beantwortung offener Fragen sind Arbeiten im Labor und im Rahmen von Pilotanlagen notwendig.

## 2. Versuchsdurchführung

Der für die Untersuchungen eingesetzte horizontale Pilotreaktor hat ein Reaktionsvolumen von 200 l. Ein mit Heizeinrichtung und Kontaktthermometer versehenes Wasserbad, das mit einem Rührwerk täglich einmal durchmischt wurde, erwärmte das Reaktionsmedium auf eine Temperatur von 55°C. Das entstehende Biogas wurde über einen Präzisionsgaszähler erfaßt. Als Laborfermentoren kamen anaerobe Rührfermentoren des VEB Werk für Technisches Glas Ilmenau mit einem Reaktionsvolumen von 2,5 l und thermostatisierbarem Wasserbad zum Einsatz, die eine für die Untersuchungen ausreichende Temperaturkonstanz bei 55°C sicherten. Die Reaktionsmasse wurde durch Rührer zweimal täglich durchmischt. Das entstehende Biogas wurde in einem Gasometer aufgefangen oder über Präzisionsgaszähler erfaßt. Die Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Anteils erfolgte nach der Orsat-Methode. Als Substrat diente Gülle aus einer Junggrinderanlage mit einem Trockensubstanzgehalt zwischen 8,6% und 10,8%, die einmal täglich zudosiert wurde.

## 3. Versuchsvorbereitung und ausgewählte Ergebnisse

Einen Vergleich aus reaktionstechnischer Sicht zwischen mesophiler und thermophiler anaerober Abwasserreinigung nahmen Wandrey und Aivasidis [4] vor (Tafel 1). Danach ergibt sich in bezug auf die Aktivität der Mi-

croorganismen bei thermophiler Behandlung kein genereller Vorteil. Die Stabilität ist eher bei mesophiler Betriebsweise größer. Wenn es um eine Hygienisierung des Abwassers geht, bringt die thermophile Prozeßführung Vorteile. Der Verlauf der Abtötung von *Escherichia coli* als Modellorganismus und von *Salmonella typhimurium* bei der thermophilen Methangärung (allerdings von Schlachthofabwässern) wurde verfolgt und mit dem in einem mesophilen Parallelansatz verglichen [5]. So beträgt die dezimale Reduktionszeit für *Escherichia coli* 20 Minuten (Prozeßtemperatur 55°C) und für *Salmonella typhimurium* 45 Minuten, während im mesophilen Ansatz die Keimzahl von *Escherichia coli* in 24 h nur um eine Zehnerpotenz abnahm. Dem steht aber ein erhöhter Wärmebedarf für die Substratvorwärmung gegenüber. Andererseits wird eine Erhöhung der Mikroorganismenaktivität bei thermophiler Betriebsweise erreicht [6].

Um zu vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen und damit zur Klärung dieser offenen Fragen beizutragen, wurde die im mesophilen Temperaturbereich untersuchte Rindergülle unter gleichen Bedingungen thermophil fermentiert [1]. Zur Einarbeitung wurde der im mesophilen Bereich stabil arbeitende 200-l-Pilotreaktor auf eine Reaktionstemperatur von 55°C aufgeheizt und nach 14 Tagen die Güllezugabe zunächst auf eine mittlere Verweilzeit von 10 Tagen eingestellt. Die Konzentration der wasserdampfflüchtigen Karbonsäuren stieg dabei an und blieb bei 4,8 g/l im gesamten Versuchszeitraum konstant.

Die Ergebnisse der Fermentationsuntersuchungen im Vergleich zur mesophilen Betriebsweise [1] sind in Tafel 2 zusammengestellt.

Der CO<sub>2</sub>-Volumenanteil im Biogas beträgt bei mesophiler Prozeßführung 41,0% und bei thermophiler Prozeßführung 51,6%. Da im mesophilen Temperaturbereich im Fall von Rindergülle die Konzentrationen an wasserdampfflüchtigen Karbonsäuren auch in hochbelasteten Reaktoren üblicherweise unter 2 g/l liegen, mußte geprüft werden, ob ein zweiter, möglicherweise ebenfalls stabiler Gleichgewichtszustand existiert. Bergter [7] zeigte anhand einer Analogcomputer-simulation, daß bei einer Verdünnungsrate, d. h. auch bei einer Verweilzeit, zwei stabile Gleichgewichtszustände auftreten können, die durch eine geringe und durch eine hohe Biomassekonzentration gekennzeichnet sind. Da eine hohe Biomassekonzentration eine

geringe Substratkonzentration erwarten läßt, galten weiterführende Versuche der Einstellung eines Gleichgewichtszustands bei Konzentrationen an wasserdampfflüchtigen Karbonsäuren von weniger als 2 g/l. Dazu wurden – um Störungen in der Gasproduktion und damit im Wachstum der Mikroorganismen einzuschränken – thermostatierte Laborreaktoren mit einem Reaktionsvolumen von 2,5 l genutzt, da Temperaturschwankungen von ±1 K die Gasproduktion im 200-l-Reaktor merklich beeinflussen. Weiterhin wurde als Substrat eine Modellgülle gewählt (Kot:Harn 2:1, Trockensubstanzgehalt 108,0 g/l).

Nach etwa 7 Wochen Einarbeitung unter konstanten Bedingungen konnte mit Modellgülle aus Kot und Harn eine stabile Gasproduktion bei Konzentrationen an wasserdampfflüchtigen Karbonsäuren unter 1 g/l mit den in Tafel 3 aufgeführten Parametern bei mittleren Verweilzeiten von 10 Tagen realisiert werden, wobei im Biogas ein Volumenanteil von 40,0% CO<sub>2</sub> enthalten war. Der Wechsel von Modellgülle zur im praktischen Betrieb anfallenden Gülle (Trockensubstanzgehalt 98,8 g/l) in der Substratzufuhr brachte außer den durch die geringere Raumbelastung hervorgerufenen keine weiteren wesentlichen Veränderungen. Beim Übergang zu mittleren Verweilzeiten von 5 Tagen mit Praxisgülle als Substrat war ein Ansteigen der Konzentration an wasserdampfflüchtigen Karbonsäuren auf Werte zwischen 1,4 g/l und 1,5 g/l festzustellen. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind ebenfalls in Tafel 3 dargestellt, wobei mit 3,0 l Biogas je l Reaktionsvolumen und Tag Biogasbildungsgeschwindigkeiten ermittelt wurden, die unter mesophiler Prozeßführung nicht erreicht werden konnten.

Zur Ermittlung der Stabilität des Prozesses im Hinblick auf einen Abfall der Temperatur wurde über Nacht der Thermostat abgestellt. Die Auswirkungen auf die Biogasproduktion sind in den Bildern 1 und 2 dargestellt. Während sich bei einer Raumbelastung von 7,98 g organischer Trockensubstanz je l·d nach 48 Stunden wieder die ursprüngliche Gasproduktion einstellt, d. h. keine Unterschiede zu mesophiler Prozeßführung festgestellt werden konnten, wird im gleichen Fall bei einer Raumbelastung von 17,74 g organischer Trockensubstanz je l·d eine Beeinträchtigung des Prozesses registriert, die mit einem Ansteigen der Konzentration der wasserdampfflüchtigen Karbonsäuren ver-

Tafel 1. Vergleich zwischen mesophiler und thermophiler Fermentation nach [4]

	mesophil	thermophil
Aktivität	0	0
Stabilität	+	–
Hygienisierung	0	+
Wärmebedarf	+	–
Sterilität	0	+

+ vorteilhaft, – ungünstig, 0 mittelmäßig

Tafel 2. Vergleich der Ergebnisse zwischen mesophiler und thermophiler anaerober Rindergüllefermentation bei hoher Konzentration wasserdampfflüchtiger Karbonsäuren

		mesophil	thermophil
mittlere Verweilzeit	d	10	10
Raumbelastung	g oTS/l·d	7,3	5,9
Biogäsausbeute	l/g oTS	0,20	0,15
Biogasbildungsgeschwindigkeit	l/l·d	1,45	0,9

Tafel 3. Thermophile anaerobe Fermentation von Rindergülle (A Modellgülle, B Praxisgülle) bei niedriger Konzentration wasserdampfflüchtiger Karbonsäuren

		A	B	B
mittlere Verweilzeit	d	10	10	5
Raumbelastung	g oTS/l·d	8,76	7,98	17,74
Biogäsausbeute	l/g oTS	0,25	0,26	0,17
Biogasbildungsgeschwindigkeit	l/l·d	2,2	2,0	3,0

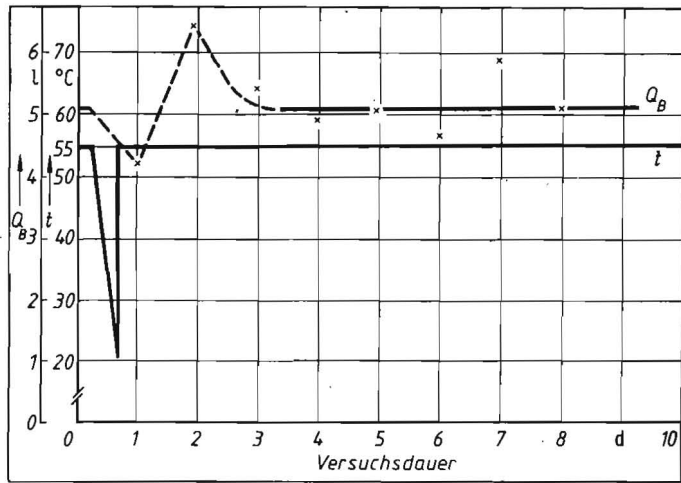


Bild 1. Auswirkungen eines Temperaturabfalls von 55°C auf 25°C auf die Stabilität des Biogasprozesses in einem schwächer belasteten Reaktor bei der anaeroben Fermentation von Rindergülle im thermophilen Bereich (Raumbelastung 7,98 g oTS/l · d)  
 $Q_B$  Biogasmenge

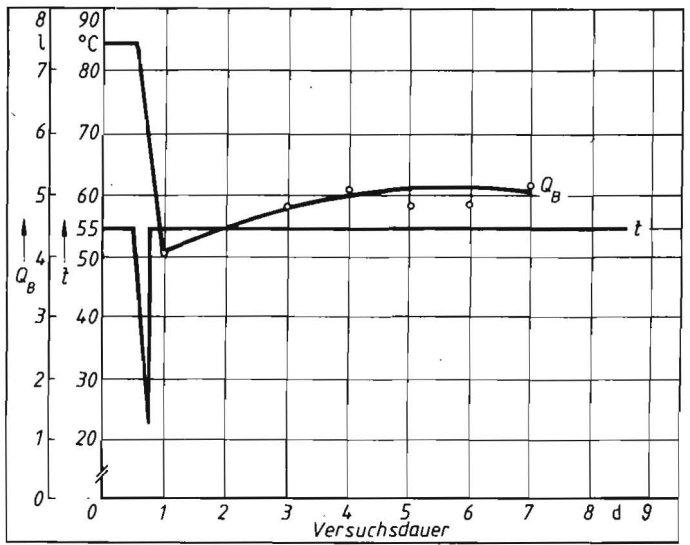


Bild 2. Auswirkungen eines Temperaturabfalls von 55°C auf 25°C auf die Stabilität des Biogasprozesses in einem stärker belasteten Reaktor bei anaerober Fermentation von Rindergülle im thermophilen Bereich (Raumbelastung 17,74 g oTS/l · d)  
 $Q_B$  Biogasmenge

bunden ist und ein Neuanfahren des Reaktors erfordert.

Die Stabilität des Prozesses im thermophilen Bereich muß also differenziert gesehen werden. Während der Prozeß unter den Bedingungen einer hohen Konzentration wasserdampf-flüchtiger Karbonsäuren äußerst instabil ist, geringe Temperaturschwankungen einen merklichen Rückgang der Gasproduktion zur Folge haben und bei weiterer Zugabe von frischem Substrat der Stoffwechsel der Mikroorganismen völlig inhibiert wird, sind bei hoher Mikroorganismenkonzentration die Auswirkungen von Prozeßstörungen unterschiedlich. Dabei ist der schwächer belastete Reaktor gegenüber Temperaturschwankungen relativ unempfindlich. Da aber der Wärmebedarf im thermophilen Bereich erheblich über dem im mesophilen Bereich liegt, ist das Betreiben eines Biogasreaktors unter thermophilen Bedingungen praktisch nur bei Realisierung einer hohen Belastung oder Raum-Zeit-Ausbeute gerechtfertigt. Das wiederum stellt hohe Ansprüche an die technische Realisierung im Hinblick

auf die Temperaturkonstanz während der Prozeßführung und besonders während der Einfahrphase des Reaktors.

#### 4. Zusammenfassung

Die anaerobe Fermentation von Rindergülle im thermophilen Bereich ist bei zwei stabilen Gleichgewichtszuständen möglich, die durch unterschiedliche Konzentrationen an Karbonsäuren charakterisierbar sind. Bei niedrigen Karbonsäurekonzentrationen sind hohe Biogasbildungsgeschwindigkeiten erreichbar, die die bei mesophiler Prozeßführung übertreffen. Die Stabilität des Prozesses ist in beiden Gleichgewichtszuständen unterschiedlich. Für den praktisch relevanten hochbelasteten Reaktor ist bei einem Temperaturabfall mit empfindlichen Störungen in der Gasproduktion zu rechnen, die sich in der Einfahrphase der Reaktoren besonders prägnant auswirken. Die Anforderungen an die technische Ausrüstung thermophil betriebener Biogasreaktoren müssen deshalb sehr hoch angesetzt werden.

#### Literatur

- [1] Vollmer, R.; Franzke, G.; Franz, J.; Holzapfel, H.: Zur zweistufigen anaeroben Fermentation von Rindergülle. *agrartechnik*, Berlin 34 (1984) 11, S. 510-511.
- [2] Koriath, H.; Vollmer, R.; Linke, B.: Zur Prozeßführung in Biogasreaktoren. *agrartechnik*, Berlin 36 (1986) 4, S. 154-155.
- [3] Richter, W.; Sarreiter, R.; Hammer, K.: Biogasproduktion mit einer industriell gefertigten Anlage. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch*, München 61 (1984) 7, S. 667-674.
- [4] Wandrey, C.; Aivasidis, A.: Zur Reaktionstechnik der anaeroben Fermentation. *Chemie-Ingenieur-Technik*, Weinheim 55 (1983) 7, S. 516-524.
- [5] Temper, U.; Winter, J.; Kandler, O.: Methane Fermentation of wastes at mesophilic and thermophilic temperatures (Methanfermentation von Abfällen bei mesophilen und thermophilen Temperaturen). *Applied Science Publications*, London (1983) S. 521-525.
- [6] Beck, D.: *Biogas - Gewinnung und Nutzung in der Landwirtschaft*. Spektrum, Berlin (1982) 10, S. 11-14.
- [7] Bergter, F.: *Wachstum von Mikroorganismen*. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag 1972.

A 4825

Lieferbar in 2., bearbeiteter Auflage

## Einführung in die Kältetechnik

Von Dr.-Ing. Dieter Otto. 196 Seiten, 175 Bilder, 32 Tafeln, 2 Beilagen, Pappband, DDR 20,- M, Ausland 28,- DM. Im Fachbuchhandel erhältlich. Bestellangaben: 553 541 2/Otto, Kältetechnik

Das Buch gibt in leicht verständlicher Form einen Überblick über das Gebiet der Kälteerzeugung und -anwendung im Temperaturbereich oberhalb von -100°C sowie über grundsätzliche Fragen der Wärmepumpentechnik. Die Auflage berücksichtigt zahlreiche Veränderungen einschlägiger Standards. Mehrere Ergänzungen, z. B. bei den Anlagenschaltungen und zur Wärmedämmung, wurden eingefügt.



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN