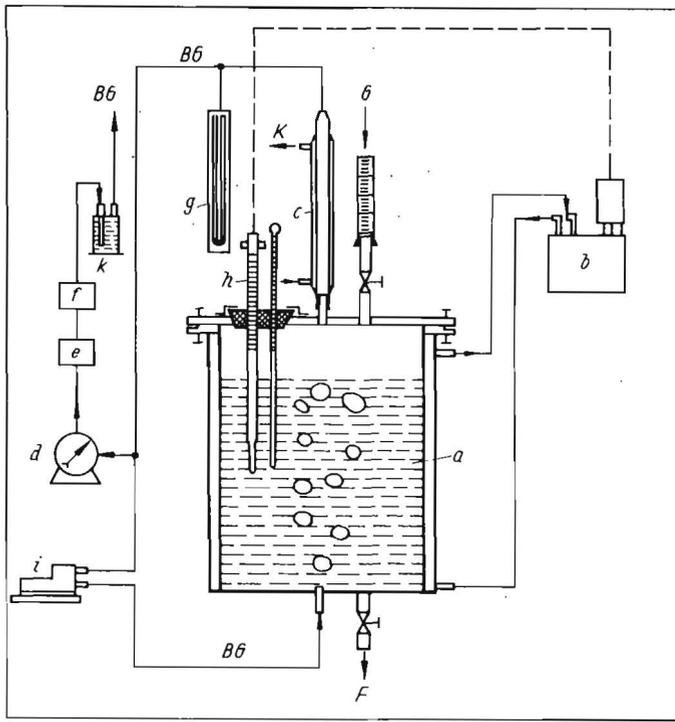


Zur Kinetik der anaeroben Fermentation von Mischgülle im mesophilen Bereich

Prof. Dr. sc. techn. W. Neumann, KDT/Dr. rer. nat. H. Rückauf, KDT
 Technische Hochschule „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik
 Dr. sc. agr. G. Breitschuh, Agrar-Industrie-Vereinigung Berlstedt, Bezirk Erfurt

Verwendete Abkürzungen und Formelzeichen
 C_S Konzentration der wasserdampflichen organischen Säuren
 D Dosierhäufigkeit
 HG Hühnergülle
 K_V tägliche spezifische Biogasproduktion
 p Druck
 RG Rindergülle
 SG Schweinegülle
 T_R Reaktionstemperatur
 t Verweilzeit der Reaktionsmasse
 V_{BG} kumulative Biogasproduktion
 Y_{RG} Konzentration der Rindergülle
 Y_{SG} Konzentration der Schweinegülle

Bild 1
 Schema der Versuchsanlage zur anaeroben Fermentation von Gülle; a Reaktor, b Thermostat, c Intensivkühler, d Präzisionsgaszähler, e Infralyt für CH_4 , f Infralyt für CO_2 , g U-Rohr-Manometer, h Kontaktthermometer, i Taumelscheibenpumpe, k Glasgefäß mit Sperrflüssigkeit, G Gülle, F Faulgut, K Kühlwasser, BG Biogas



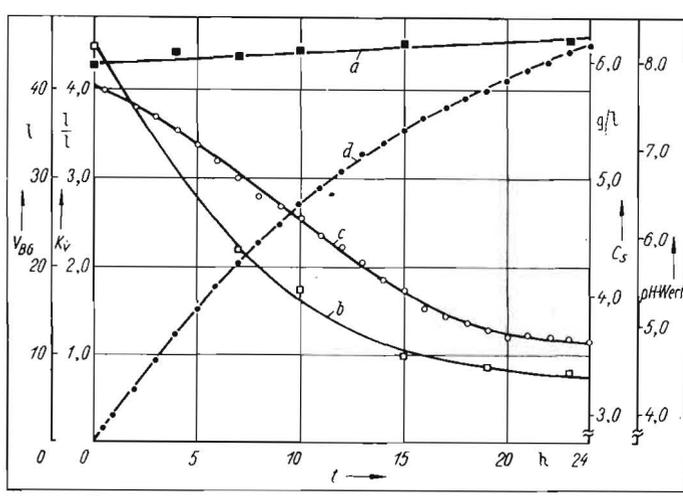
1. Einleitung

Im Zusammenhang mit der Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen kommt der Steigerung der Biogasproduktion je Zeit- und Reaktorvolumeneinheit eine wesentliche Bedeutung zu. Die spezifische Biogasproduktion hängt u. a. von der Feststoffkonzentration und von der Zusammensetzung des zu verarbeitenden Substrats ab. Bei der Planung von Biogasanlagen kann in einer Reihe von Fällen in gewissen Grenzen auf diese Parameter Einfluß genommen werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden in verschiedenen Ländern Biogasanlagen auf der Grundlage von Mischsubstraten betrieben bzw. befinden sich in der Phase der Vorbereitung.

2. Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

Die realisierte Versuchsanlage zur anaeroben Fermentation von Gülle besteht aus 6 gleichartigen Biogasreaktoren mit einem aktiven Reaktorvolumen von rd. 20l. Der prinzipielle Aufbau dieser Anlage mit nur einem Reaktor ist im Bild 1 dargestellt. Die Durchmischung der Reaktionsmasse erfolgt durch Umpumpen des sich bildenden Biogases. Die Reaktoren werden mit Hilfe von Thermostaten aufgeheizt. Die Temperaturregelung ist automatisiert und arbeitet mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1^\circ C$. Das entstehende Biogas wird durch einen Intensivkühler abgekühlt und zur Durchsatzmessung über einen Präzisionsgaszähler geführt. Mit Hilfe je eines Infralyts lassen sich die Konzentrationen von CH_4 und CO_2 im Biogas messen. Der Druck in den Reaktoren ist regelbar und wird mit einem U-Rohr-Manometer bestimmt. Die Zuführung der Gülle in die Reaktoren und die Faulschlammabnahme erfolgen über entsprechende Ventile (Kugelhähne). Bei allen Reaktoren ist auch während ihres Betriebs eine Füllstandsmessung möglich. Die Reaktoren lassen sich simultan im mesophilen und thermophilen Bereich sowohl diskontinuierlich als auch quasikontinuierlich betreiben. Der simultane Betrieb mehrerer Reaktoren hat im Vergleich zum sequentiellen Betrieb den Vorteil, daß gleichartige Güllechargen gleichzeitig fermentiert werden können und somit ungewollte Parameteränderungen durch

Bild 2
 Zeitabhängigkeit der spezifischen und kumulativen Biogasproduktion bei Mischgülle (57% SG mit einem TS-Gehalt von 6,0%, 43% RG mit einem TS-Gehalt von 7,5%); $T_R = 35^\circ C$, $\bar{t} = 8$ d, $p = 200$ Pa, $D = 1 \times 1/24$ h
 a pH-Wert, b Konzentration der wasserdampflichen organischen Fettsäuren C_S , c spezifische Biogasproduktion K_V , d kumulative Biogasproduktion V_{BG}



Güllealterung usw. weitestgehend ausgeschlossen werden können. Die Reaktoren wurden bei der Inbetriebnahme mit Gülle und einer Impfschubstanz (Massenanteil rd. 70%), die auf der Grundlage der gleichen Güllen erzeugt worden war, gefüllt und auf die vorgesehene Reaktionstemperatur erwärmt. Die Reaktoren wurden quasikontinuierlich beschickt und entsorgt. Bei der Änderung von Betriebsparametern bzw. von Gülleparametern wurden Messungen erst bei stationärem Zustand der Reaktoren durchgeführt. So wurden z. B. bei Verweilzeitänderungen vor jeder Messung mindestens 3 der jeweiligen Verweilzeiten realisiert. Als Ausgangssubstrate für die anaerobe Fermentation wurden Schweine-, Rinder- und

Hühnergülle sowie unterschiedliche Mischgüllen auf ihrer Grundlage verwendet. Die Fermentationstemperatur betrug jeweils 35 bzw. $36^\circ C$. Der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) der einzelnen Güllen wurde konstant gehalten und betrug in allen Fällen bei Rindergülle 7,5%, bei Schweinegülle 6,0% und bei Hühnergülle 10,0%. Insgesamt wurde eine Untersuchung folgender Einzel- und Mischsubstrate (Verhältnisangaben in %) durchgeführt:
 — reine Rindergülle
 — reine Schweinegülle
 — Rindergülle/Schweinegülle (43:57, 20:80, 92:8)
 — Rindergülle/Schweinegülle/Hühnergülle (35:45:20, 41:54:5).

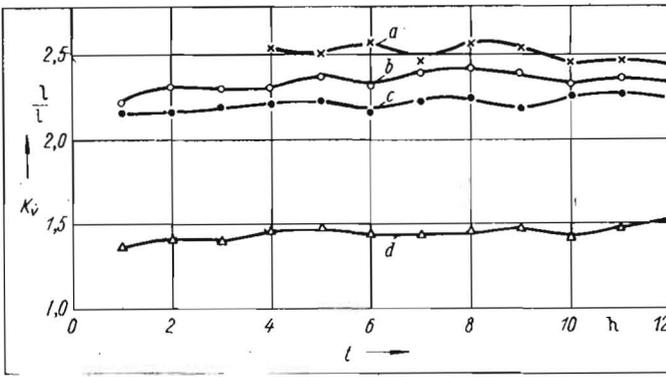


Bild 3. Spezifische Biogasproduktion unterschiedlicher Mischgülle bei $T_R = 36^\circ\text{C}$;
 a 57% SG/43% RG, $\bar{t} = 6$ d,
 b 57% SG/43% RG, $\bar{t} = 7$ d;
 c 54% SG/41% RG/5% HG, $\bar{t} = 7$ d,
 d 45% SG/35% RG/20% HG, $\bar{t} = 7$ d

3. Ausgewählte Versuchsergebnisse

Die durchgeführten Messungen zeigten, daß unter gleichen Bedingungen die Reaktionsgeschwindigkeit bei der anaeroben Fermentation bestimmter Mischgülle signifikant höher ist als die der Einzelgülle.

Bei Rindergülle wurde z. B. bei einer mittleren Verweilzeit $\bar{t} = 12$ d eine tägliche spezifische Biogasproduktion von 0,8 bis $1,0 \text{ m}^3$ je m^3 Reaktionsmasse erzielt. Bei Schweinegülle betrug die tägliche spezifische Biogasproduktion bei $\bar{t} = 20$ d rd. $1,0 \text{ m}^3$ je m^3 Reaktionsmasse.

Eine Verkürzung der mittleren Verweilzeit der Reaktionsmasse bei Verwendung von Schweinegülle auf Werte unterhalb von 18 Tagen führte durch den Anstieg der Konzentration der wasser-dampfflüchtigen organischen Fettsäuren zur Reaktionsinstabilität und damit zur Absenkung der Biogasproduktion.

Die tägliche spezifische Biogasproduktion der entsprechenden Mischgülle, bestehend aus 57% Schweinegülle und 43% Rindergülle, betrug demgegenüber bei $\bar{t} = 12$ d rd. $1,4 \text{ m}^3$ je m^3 Reaktionsmasse. Der pH-Wert der Reaktionsmasse nahm von der Schweinegülle über die Mischgülle zur Rindergülle hin ab und war in fast allen Fällen $> 8,0$, d. h. überstieg den allgemein als optimal angenommenen Bereich von 7,1 bis 7,6.

Weiterhin war erkennbar, daß eine relativ hohe spezifische Belastung der Biogasreaktoren bei Verwendung von Mischsubstraten aus Rinder- und Schweinegülle möglich war, ohne daß dadurch die Prozeßstabilität beeinträchtigt wurde. Bild 2 zeigt z. B. den zeitlichen Verlauf der spezifischen und kumulativen Biogasproduktion bei einer relativ hohen Belastung der Reaktoren mit einem Mischsubstrat aus Schweine- und Rindergülle. Aus diesem Bild ist zu ersehen, daß die Werte für die Konzentration der wasser-dampfflüchtigen organischen Fettsäuren relativ hoch waren und den häufig angegebenen Grenzwert von $2,5 \text{ g/l}$ beträchtlich überstiegen. Beim Übergang zu einer kontinuierlichen Fahrweise der Reaktoren sank die mittlere Fettsäurekonzentration ab. Insgesamt muß aber angenommen werden, daß aufgrund der relativ hohen Pufferwirkung von Gülle der obere Grenzwert für die Konzentration der wasser-dampfflüchtigen organischen Fettsäuren relativ hoch ist.

Die niedrigste mittlere Verweilzeit der Reaktionsmasse, bei der eine stabile Prozeßführung unter Verwendung von Mischsubstrat aus Schweine- und Rindergülle realisiert werden konnte, betrug 6 Tage: Bereits eine Erhöhung des TS-Gehalts der Mischgülle auf 10% führte

bei dieser Verweilzeit zu einem allmählichen Anstieg der Fettsäurekonzentration und damit zu einer Prozeßinstabilität. Ausschlaggebend für die maximale Belastbarkeit der Reaktoren mit Gülle ist gleichfalls das Güllealter und damit die Konzentration der Stoffwechselprodukte der sauren Gärung im Ausgangssubstrat.

Wie aus Bild 3 zu erkennen ist, führt eine Zumischung von Hühnergülle zum Substrat aus Rinder- und Schweinegülle zur Absenkung der spezifischen Biogasproduktion. Diese Tatsache wird wahrscheinlich durch einen Anstieg der Konzentration der wasser-dampfflüchtigen organischen Fettsäuren und der Verschlechterung des Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnisses bewirkt.

Die Untersuchung des Einflusses der Dosierhäufigkeit auf die spezifische Biogasproduktion zeigte, daß im betrachteten Intervall auch bei unterschiedlichen Substraten und mittleren Verweilzeiten kein signifikanter Einfluß erkennbar ist. Einige diesbezügliche Ergebnisse sind im Bild 4 dargestellt. Durch eine gezielte Einstellung der Dosierhäufigkeit wird es in großtechnischen Biogasanlagen möglich, schwankenden Bedarfsanforderungen während eines Tages in bestimmten Grenzen auch bei einer kleinen Biogasspeicherkapazität zu entsprechen.

Der Methananteil im Biogas änderte sich bei den durchgeführten Untersuchungen im Bereich von 72 bis 77%. Die H_2S -Konzentration im Biogas betrug im stationären Zustand rd. 0,05%. Ein Anstieg der H_2S -Konzentration war bei tendenzieller Übersäuerung der Reaktionsmasse zu verzeichnen.

Spezielle Untersuchungen zum Einfluß der Mischsubstratzusammensetzung auf die Intensität der Biogasproduktion ergaben, daß die größere Reaktionsgeschwindigkeit bei der Fermentation bestimmter Mischsubstrate im Verhältnis zu den Einzelsubstraten nicht allein durch ein verbessertes Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis erklärbar ist. So ergaben z. B. Messungen der Konzentration der wasser-dampfflüchtigen organischen Fettsäuren in reiner Rinder- und Schweinegülle sowie von Mischgülle auf ihrer Grundlage bei unterschiedlichem Mischungsverhältnis den im Bild 5 dargestellten Sachverhalt. Die Konzentration der wasser-dampfflüchtigen organischen Säuren war in der Mischgülle unmittelbar nach deren Zubereitung in jedem Fall höher als nach dem entsprechenden Mischungsverhältnis der Einzelgülle zu erwarten war. Dieser Fakt traf für beliebige Mischgülle aus Rinder- und Schweinegülle zu. Im Bild 5 ist die Konzentrations-

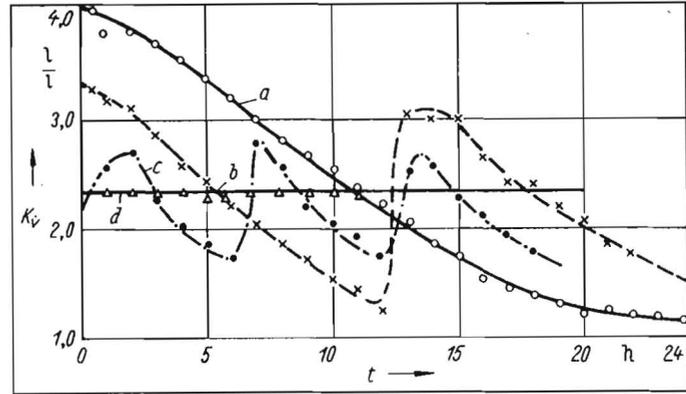


Bild 4. Abhängigkeit der spezifischen Biogasproduktion von der Dosierhäufigkeit;
 a $D = 1 \times / 24 \text{ h}$; b $D = 2 \times / 24 \text{ h}$; c $D = 4 \times / 24 \text{ h}$; d $D = \text{stündlich}$

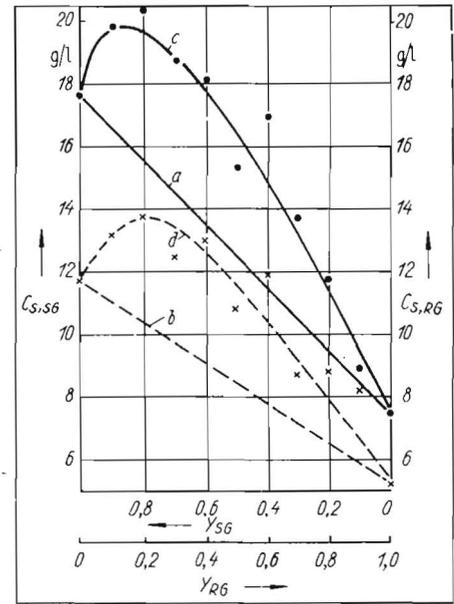


Bild 5. Konzentrationsverteilung der wasser-dampfflüchtigen organischen Fettsäuren für zwei unterschiedliche Mischgülle in Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis; a, b aus dem Mischungsverhältnis der reinen Gülle errechnete Säurekonzentrationen, c, d gemessene Säurekonzentrationen in den Mischgülle

verteilung der wasser-dampfflüchtigen organischen Fettsäuren für zwei unterschiedliche Mischgülle dargestellt. Eine endgültige Klärung des genannten Effekts konnte z. Z. noch nicht erreicht werden.

4. Zusammenfassung

Durch anaerobe Fermentation von Mischgülle auf der Grundlage von Schweine- und Rindergülle läßt sich eine höhere spezifische Biogasproduktion als aus den Einzelgülle erzielen. Die z. Z. erreichte maximale tägliche spezifische Biogasproduktion aus dieser Mischgülle beträgt rd. $2,5 \text{ m}^3$ je m^3 Reaktionsmasse bei einer mittleren Verweilzeit von 6 bis 8 Tagen und einer Fermentationstemperatur von 35 bis 36°C .

Die Dosierhäufigkeit der Biogasreaktoren hat im untersuchten Intervall keinen signifikanten Einfluß auf die Intensität der Biogaserzeugung. Durch eine gezielte Gestaltung der Dosierhäufigkeit kann in gewissen Grenzen einer bestimmten dynamischen Bedarfsanforderung entsprochen werden.