

Zur Inbetriebnahme von Biogasanlagen mit Gülle

Dr. agr. B. Linke/Dr. rer. nat. R. Vollmer, Institut für Düngungsforschung Leipzig – Potsdam der AdL der DDR, Bereich Potsdam

Verwendete Formelzeichen

B_{oTS}	kg/kg · d	Faulschlammbelastung	$\frac{Q_Z S_{oTS}}{V_M x_{oTS}}$
C_{FS}	kg/m ³	Konzentration von wasser- dampfflüchtigen Fettsäuren	
Q_B	m ³ /d	Biogasproduktion (70 % CH ₄)	
Q_R	m ³ /m ³ · d	Raumbeschickung	
Q_Z	m ³ /d	Güllebeschickung	
S_{oTS}	kg/m ³	Konzentration des Substrats (Gülle)	
t	d	Zeit	
t_M	°C	Temperatur	
V_B	m ³ , l	Biogasmenge, Summe von Q_B	
V_{BoTS}	m ³ /kg · d	spezifische Biogasbildungsge- schwindigkeit	$\frac{Q_B}{V_M x_{oTS}}$
V_M	m ³ , l	Volumen der Reaktionsmasse	
x_{oTS}	kg/m ³	Biomassekonzentration	
y	m ³ /kg	Biogausausbeute	$\frac{Q_B}{Q_Z S_{oTS}}$
η		oTS-Abbau, absolut	

Indizes bzw. Exponenten

... ^{oTS}	organische Trockensubstanz
... ⁰	Beginn einer Inbetriebnahme
... ⁱⁿ⁻¹	Zeitpunkt vor Beschickung
... ⁱⁿ	Zeitpunkt nach Beschickung
... ^{IE}	Ende der Iteration

1. Einleitung

Die für den Bau von Biogasanlagen nicht unerheblichen Investitionen müssen schnell produktionswirksam werden. Deshalb sind die Anfahrkonzeptionen für Biogasanlagen auf dieses Ziel auszurichten.

Ohne Verwendung von Impfschlamm ist mit einer Einarbeitungszeit des Biogasreaktors, gemessen an der Konzentration von wasser-dampfflüchtigen Fettsäuren und an der Gasproduktion, von 60 bis 70 Tagen zu rechnen (Bild 1). Der Anfahrbetrieb kann aber wesentlich verkürzt werden, wenn der Biogasreaktor mit Gülle befüllt wird, die mindestens 4 Monate gelagert wurde. In der gelagerten Gülle hat sich die für die Methanproduktion notwendige natürliche Mischpopulation bereits herausgebildet und beginnt nach Erreichen der Prozeßtemperatur schon nach wenigen Tagen mit der Biogasproduktion (Bild 2). Mit dem Beginn der Biogasproduktion ist

aber noch kein stabiler Betriebszustand des Reaktors erreicht, denn der Reaktor wurde noch nicht kontinuierlich mit Güllesubstrat beschickt. Während eine zu geringe Beschickung des Biogasreaktors das Erreichen des Gleichgewichtszustands (steady state) unnötig lange hinauszögert, kann eine zu große Beschickung zu einer Übersäuerung der Reaktionsmasse und damit zu einer Stagnation der Biogasproduktion führen.

Die vorliegende Arbeit soll anhand eines mathematischen Modells über den Weg der Iteration für verschiedene Betriebszustände einen Beitrag für die Inbetriebnahme einstufig im mesophilen Bereich arbeitender Biogasreaktoren liefern.

2. Lösungsweg

Bei der Beschickung des Biogasreaktors mit Güllesubstrat wird von folgenden Arbeitshypothesen ausgegangen:

- Die Reaktionsmasse besteht aus Gülle, die mindestens 4 Monate gelagert wurde.
- Eine gute Homogenisierung sorgt für geringe Substrat- und Temperaturgradienten.
- Die Biomassekonzentration in der Reaktionsmasse soll quantitativ mit der organischen Trockensubstanz (oTS) erfaßt werden und als Bezugsgröße für die Faulschlammbelastung dienen.
- Faulschlammbelastung, Konzentration des Substrats (Gülle) und Abbaugrad der oTS bei der Biogasproduktion bleiben konstant.
- Die in den Biogasreaktor eingebrachte Gülle soll selbst nach teilweise Abbau der oTS zur Erhöhung der Biomassekonzentration im Reaktor beitragen.
- Beschickungs- und Ablaufmenge sind gleich groß, das Volumen der Reaktionsmasse bleibt konstant.

Die Berechnung der Güllemenge Q_Z^{in-1} für die erste Beschickung des Biogasreaktors erfolgt mit Hilfe von Gl. (1):

$$B_{oTS} = \frac{Q_Z^{in-1} S_{oTS}}{V_M x_{oTS}^{in-1}} \quad (1)$$

Hierfür ist auch der Wert für die Größe der Biomassekonzentration vor der ersten Beschickung x_{oTS}^{in-1} zu bestimmen. Nach der erfolgten ersten Beschickung stellt sich die Biomassekonzentration im Reaktor auf einen Wert entsprechend Gl. (2) ein:

$$x_{oTS}^{in} = \frac{Q_Z^{in-1} [S_{oTS} (1 - \eta)] + V_M x_{oTS}^{in-1}}{Q_Z^{in-1} + V_M} \quad (2)$$

Als Beschickungsintervall wählt man zweckmäßigerweise die Zeitdauer eines Tages, so daß der Wert von Q_Z^{in-1} in Gl. (2) die Dimension einer Volumeneinheit hat. Entsprechend den getroffenen Arbeitshypothesen wird x_{oTS}^{in} größer als x_{oTS}^{in-1} sein. Der Wert von x_{oTS}^{in} bestimmt nun die erforderliche Güllemenge Q_Z^{in} für die zweite Beschickung, die entsprechend aus Gl. (1) berechnet werden kann. Auf diese Weise kann man für den konkreten Einzelfall mit vorgegebenen Werten für B_{oTS} , η und V_M die Iteration für Q_Z^{in} und x_{oTS}^{in} durchführen. Von größerem Interesse ist aber eine allgemein gültige Iterationsformel, die unabhängig von der Größe der vorhandenen Reaktionsmasse und der Beschickung ist. Das wird erreicht, indem man die Gln. (1) und (2) nach Q_Z^{in-1}/V_M , also nach Q_R^{in-1} , umstellt, gleichsetzt und nach x_{oTS}^{in} auflöst:

$$x_{oTS}^{in} = \frac{x_{oTS}^{in-1} [1 + B_{oTS} (1 - \eta)]}{1 + x_{oTS}^{in-1} \frac{B_{oTS}}{S_{oTS}}} \quad (3)$$

Damit ist die sich im Biogasreaktor neu einstellende Biomassekonzentration x_{oTS}^{in} nur noch von der vorhergehenden Biomassekonzentration x_{oTS}^{in-1} und den vor der Iteration festgelegten Konstanten B_{oTS} , S_{oTS} und η abhängig.

Nach jedem Iterationsschritt kann nicht nur die Biomassekonzentration entsprechend Gl. (3), sondern auch die zugehörige Raumbeschickung errechnet werden:

$$Q_R^{in} = \frac{B_{oTS}}{S_{oTS}} x_{oTS}^{in} \quad (4)$$

Die Iteration ist dann beendet, wenn x_{oTS}^{in} den gleichen Wert annimmt wie x_{oTS}^{in-1} :

$$x_{oTS}^{IE} = S_{oTS} (1 - \eta) \quad (5)$$

Bild 1. Biogasmenge und Konzentration von wasser-dampfflüchtigen Fettsäuren in Abhängigkeit von der Zeit bei Verwendung von frischer Schweinegülle ohne Zusatz von Impfschlamm

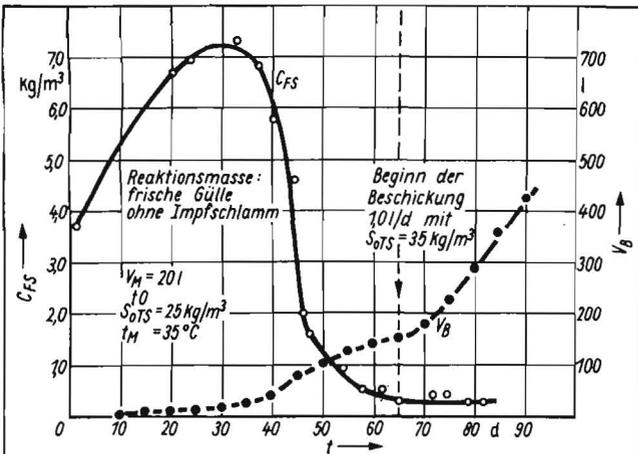
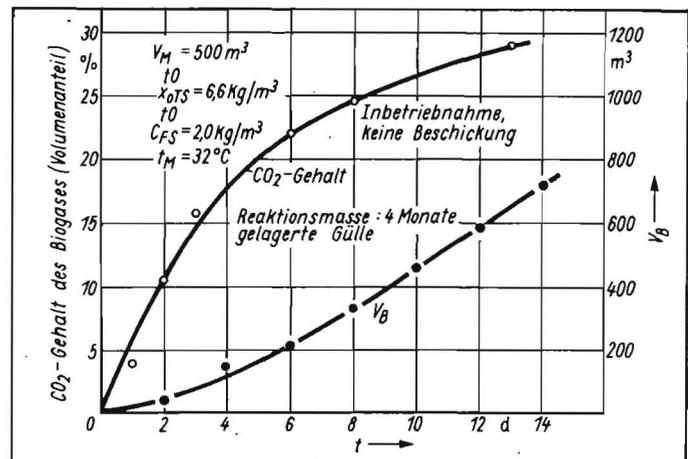


Bild 2. Biogasmenge und CO₂-Gehalt des Biogases in Abhängigkeit von der Zeit bei der Inbetriebnahme eines Biogasreaktors mit 4 Monate gelagerter Schweinegülle



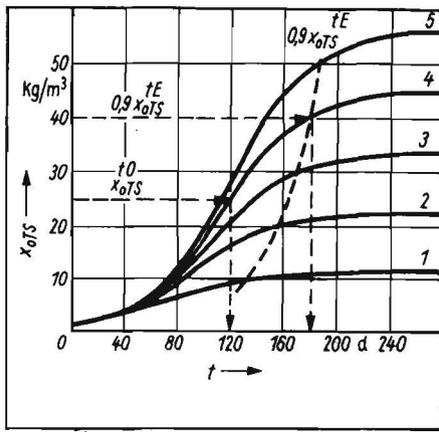


Bild 3. Biomassekonzentration in Abhängigkeit von der Zeit bei maximaler Biogasausbeute (Varianten 1 bis 5)

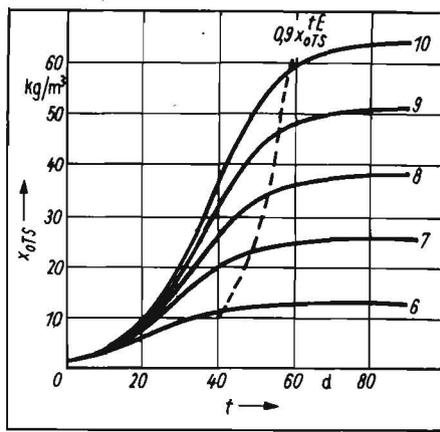


Bild 4. Biomassekonzentration in Abhängigkeit von der Zeit bei maximaler spezifischer Biogasbildungsgeschwindigkeit (Varianten 6 bis 10)

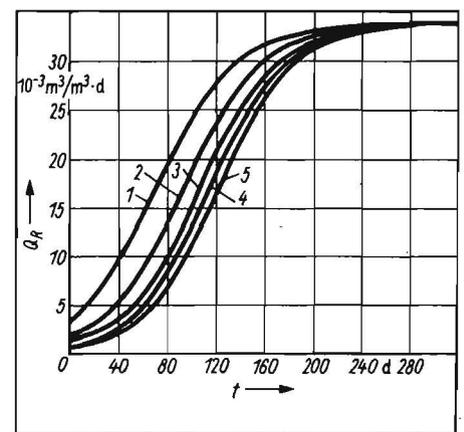


Bild 5. Raumbeschickung in Abhängigkeit von der Zeit bei maximaler Biogasausbeute (Varianten 1 bis 5)

Den entsprechenden Endwert der Raumbeschickung erhält man, wenn in Gl. (4) x_{OTS}^{in} den Wert am Ende der Iteration annimmt:

$$Q_R^{\text{TE}} = B_{OTS}(1 - \eta). \quad (6)$$

3. Berechnungsbeispiel

Die Anwendung der Iteration zur Darstellung der Biomassekonzentration nach Gl. (3) und der Raumbeschickung nach Gl. (4) erfordert die Festlegung der Konstanten B_{OTS} , S_{OTS} und η sowie der Biomassekonzentration vor der ersten Beschickung. Um möglichst viele Betriebszustände erfassen zu können, wurden insgesamt 10 Varianten gerechnet (Tafel 1). Diese Varianten lassen sich in zwei Gruppen einteilen, die sich innerhalb der Gruppe nur durch Variation der Substratkonzentration unterscheiden.

Die Wahl einer geringen Faulschlammbelastung bei den Varianten 1 bis 5 läßt eine maximale Biogasausbeute von $y = 0,46 \text{ m}^3/\text{kg}$ zu. Entsprechend gering ist aber die spezifische Biogasbildungsgeschwindigkeit v_{BOTS} mit $0,028 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{d}$.

Dagegen zeichnen sich die Varianten 6 bis 10 durch eine hohe Faulschlammbelastung aus, die einen Maximalwert für $v_{BOTS} = 0,052 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{d}$ liefert. Entsprechend gering ist aber auch der zugehörige y -Wert mit nur $0,29 \text{ m}^3/\text{kg}$. Die genannten Parameter wurden unter laborexperimentellen Bedingungen mit Gülle aus einer industriemäßigen Schweinezuchtanlage im kontinuierlichen Versuch ermittelt.

Mit Hilfe eines programmierbaren Kleinrechners K 1003 wurden für jeden Iterationsschritt die Werte für x_{OTS} und die zugehörigen Werte für Q_R ermittelt. Die Anfangsbiomassekonzentration war für alle Varianten gleich und betrug $1,0 \text{ kg/m}^3$. Da jeder Iterationsschritt die Zeiteinheit eines Tages hat, läßt sich die Entwicklung der Biomassekonzentration und der Raumbeschickung zeitabhängig darstellen (Bilder 3 bis 6). Während bei den Varianten mit geringer Faulschlammbelastung (Bild 3) 90 % der Biomassekonzentration im Gleichgewichtszustand je nach Substratkonzentration erst nach 132 bis 188 Tagen erreicht werden, tritt dieser Zustand bei den Varianten mit hoher Faulschlammbelastung schon nach 43 bis 58 Tagen ein (Bild 4). Die gleichen Zeiträume ergeben sich, wenn man 90 % des Endwerts der Raumbeschickung nach Beendigung der Iteration zugrunde legt (Bilder 5 und 6).

Die Zeitdauer für das Erreichen der Bio-

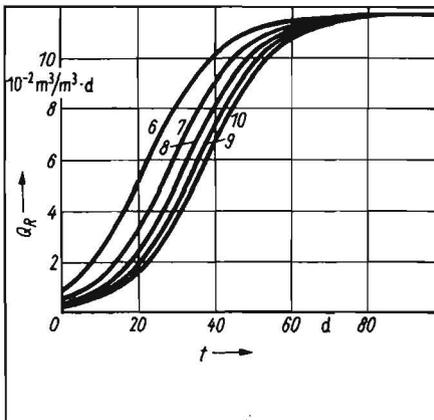


Bild 6. Raumbeschickung in Abhängigkeit von der Zeit bei maximaler spezifischer Biogasbildungsgeschwindigkeit (Varianten 6 bis 10)

massekonzentration im Gleichgewichtszustand x_{OTS}^{TE} ist nicht nur von den vor der Iteration festgelegten Konstanten B_{OTS} , S_{OTS} und η abhängig, sondern hauptsächlich auch von der Größe des Werts x_{OTS}^{in} . Zur Erfassung vieler Betriebszustände wurde in den Bildern 3 bis 6 die Anfangsbiomassekonzentration mit $x_{OTS}^{\text{in}} = 1,0 \text{ kg/m}^3$ gering gewählt. Praktisch hat aber gut homogenisierte und über einen Zeitraum von mindestens 4 Monaten gelagerte Schweinegülle einen größeren Wert der organischen Trockensubstanz.

Beträgt der Wert von x_{OTS}^{in} beispielsweise

Tafel 1. Iterationsvarianten für die Inbetriebnahme einer Biogasanlage

Variante	B_{OTS} $\text{kg}/\text{kg} \cdot \text{d}$	η	S_{OTS} kg/m^3
1	0,06	0,44	20
2	0,06	0,44	40
3	0,06	0,44	60
4	0,06	0,44	80
5	0,06	0,44	100
6	0,18	0,35	20
7	0,18	0,35	40
8	0,18	0,35	60
9	0,18	0,35	80
10	0,18	0,35	100

25 kg/m^3 und sollen bei Variante 4 (Bild 3) 90 % des Endwerts der Biomassekonzentration im Gleichgewichtszustand (40 kg/m^3) erreicht werden, so ist für diese Erhöhung der Biomassekonzentration ein Zeitraum von 60 Tagen erforderlich. Die für diesen Zeitraum entsprechenden Werte für die Raumbeschickung sind für die gleiche Variante dem Bild 5 zu entnehmen, so daß für die Inbetriebnahme der Biogasanlage die Größe der Güllebeschickung zu jedem Zeitpunkt leicht bestimmt werden kann.

4. Zusammenfassung

Die Verwendung von Schweinegülle, die mindestens über einen Zeitraum von 4 Monaten gelagert wurde, als Impfmateriale für die Inbetriebnahme von Biogasanlagen führt sofort nach Erreichen der erforderlichen Prozeßtemperatur zu einer stetig steigenden Biogasproduktion. Zur möglichst schnellen Erreichung eines stabilen Betriebszustands (steady state) des Biogasreaktors ist die Güllebeschickung bei gleichbleibender Belastung (Faulschlammbelastung) vorzunehmen.

Da sich aber nach jeder Güllebeschickung auch bei konstanter Substratkonzentration die Biomassekonzentration im Reaktor ändert, muß die Ermittlung der Güllebeschickung auf dem Weg der Iteration erfolgen. Mit Hilfe einer Iterationsformel und eines programmierbaren Kleinrechners wurde für verschiedene angestrebte Betriebszustände des Biogasreaktors die Entwicklung der Biomassekonzentration und der Raumbeschickung im Verlauf der Zeit grafisch dargestellt, so daß zu jedem Zeitpunkt der Inbetriebnahme die optimale Güllebeschickung leicht bestimmt werden kann.

A 4126

Hinweis für unsere Leser im Ausland

Wir bitten alle Bezieher unserer Zeitschrift außerhalb der DDR, die Erneuerung der Abonnements für das Jahr 1985 rechtzeitig vorzunehmen. Die Zeitungsvertriebsstellen Ihres Landes finden Sie auf Seite 524.

Redaktion agrartechnik