

lungseigenschaften nicht gleich betrachtet werden, so können die Anteile entsprechend Bild 6 voneinander subtrahiert werden.

## 5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Mit dem Modell zur Berechnung des Strahlungswärmestroms von einem Tierkörper auf die ebenen Wände der Tierumgebung wurde dem Ingenieur ein Hilfsmittel zur genaueren Quantifizierung der gesamten Wärmeabgabe und der Wärmeproduktion geschaffen. Da die Strahlungswärmeabgabe mit sinkender Umgebungstemperatur exponentiell zunimmt, ist eine genauere Analyse der Anteile der Wärmeabgabe unter normalen und extremen Bedingungen wichtig.

Bei der Wärmeversorgung von Jung- und Kleintieren findet die Wärmestrahlung bereits breite Anwendung. Ohne hohe Lufttem-

peraturen wird die Wärmeabgabe der Tiere dadurch auf ein erforderliches Maß reduziert.

Die gesamte Wärmeproduktion und -abgabe der Tiere ist art-, masse- und leistungsabhängig. Da für das Tier nur der zu realisierende Gesamtwärmestrom wichtig ist und nicht, auf welchen Wegen die Teilwärmeströme realisiert werden, ist es sinnvoll, Einfluß auf diese Einzelwärmeströme zu nehmen und so in der Gesamtenergiebilanz die optimale Variante zu realisieren. Unter winterlichen Bedingungen könnte durch die Senkung des Strahlungswärmestroms vom Tier an seine Umgebung die Stalllufttemperatur tiefer liegen. Der damit im Zusammenhang stehende ökonomische Vorteil ist offensichtlich. Auch unter sommerlichen Bedingungen kann durch gezielte Veränderungen des Strahlungswärmestroms die Gesamtwärmeabgabe

und damit die Leistung positiv beeinflusst werden.

Deshalb müssen die Gesetzmäßigkeiten der Strahlungswärmeströme zunehmend Berücksichtigung bei der Projektierung neuer und Rekonstruktion alter Tierproduktionsanlagen finden.

## Literatur

- [1] TGL 29 084 Stallklimagegestaltung. Ausg. 1986.
- [2] Stolpe, J.; Bresk, B.: Stallklimagegestaltung. Tierphysiologische Grundlagen und Normative. Jena: G. Fischer Verlag 1985.
- [3] Proske, H.: Beitrag zur Klärung der Probleme der tierischen Wärmeabgabe in den Ställen und zur Berechnung der Strahlungswärmeabgabe von Rindern. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Dissertation A, 1987 (unveröffentlicht).

A 5187

# Biogasanlage als erste Stufe der komplexen Gülleaufbereitung im VEG (T) Rippershausen

Prof. Dr.-Ing. G. Beyer, KDT, VEG(T) Rippershausen, Bezirk Suhl

## 1. Einleitung

Die Gülleaufbereitung im VEG(T) Schweineproduktionsanlage Rippershausen, Bezirk Suhl, ist eine wasserwirtschaftliche, hygienische, technische und ökonomische Aufgabenstellung, deren Lösung von eminenter volkswirtschaftlicher Bedeutung und Tragweite ist.

Die begrenzt zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Verwertungsflächen im Territorium werden durch das mobile Gülleausbringen überdüngt, es kommt zur Minderung der Bodenfruchtbarkeit, zur Geruchsbelastigung der Bevölkerung und zur Verschlechterung der Gewässer- sowie ggf. der Trinkwasserqualität. Im Rahmen der vom VEG(T) Rippershausen durchgeführten Untersuchungen zeichnen sich folgende Verfahrenswege der Gülleaufbereitung ab:

- Bau einer Biogasanlage zur weitgehenden Eigenversorgung der Schweineproduktionsanlage mit dem Energieträger Biogas bei gleichzeitiger Langzeitdenitrifikation der Gülle und Abbau des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB)
- Nachbehandlung der ausgefaulten Gülle zur Trennung der Feststoffe vom Fugat und Nitrifikation des Fugats
- mikrobiologische Aufbereitung des Fugats bis zur Vorflutreife mit gleichzeitiger Rückgewinnung des biologischen Schlammes.

Die komplexe Lösung dieser Verfahrensschritte bei großen Tierproduktionsanlagen ergibt die folgenden volkswirtschaftlichen Vorteile:

- Substitution von Heizöl, Stadt- oder Erdgas bzw. festen Brennstoffen durch die Biogasproduktion
- Anfall von denitrifizierter ausgefaulte Gülle mit mineralisiertem organischen Stickstoff einschließlich der Hygienisierung und Senkung des BSB
- Gewinnung von Feststoffen aus der ausgefaulten Gülle zur Herstellung von Dünger

mit anorganischen oder/und organischen Abprodukten bzw. Zusatzstoffen (Stroh, Holzspäne, Kali, Kalk, Phosphor oder Stickstoff)

- Nitrifikation des Fugats und Gewinnung von Belebtschlamm für die flüssige Düngung des Bodens bzw. als fester Dünger mit den vorgenannten Abprodukten oder Zurückführung in die Biogasanlage
- Senkung der BSB-Last im nitrifizierten Fugat auf Nutz- bzw. Brauchwasserqualität.

Die Ökonomie dieser komplexen Gülleaufbereitung in industriemäßigen Tierproduktionsanlagen muß gesondert behandelt werden [1], da hier die Landwirtschaftsbetriebe als potentielle Energieerzeuger und Verbrau-

cher in Erscheinung treten und damit, je nach Wetterlage, an 8 bis 10 Monaten im Jahr energieautarke Tierproduktionsanlagen betreiben können.

## 2. Biogasanlage

Der Aufbau der Biogasanlage und ihr technologischer Ablauf wurden in [2, 3, 4] und im Detail für die Hohlwellen-Rührwerke in [5] beschrieben und dargestellt.

Kennzeichnende Merkmale der Reaktoren sind:

- Verwendung der in der DDR-Landwirtschaft entwickelten und in Fertigteiltbauweise errichteten quaderförmigen Güllebehälter mit 5 Kammern (bisher 3 Kammern)
- Abdeckung des Gasraumes der 5 Kammern und der 5 liegenden Hohlwellen-Rührwerke mit Plastikfolie.

Diese Güllebehälter haben sich seit 20 Jahren in der DDR-Landwirtschaft im störungsfreien Betrieb bewährt.

In Abhängigkeit von der täglich anfallenden Güllemenge einer Tierproduktionsanlage können mehrere Reaktoren hintereinander oder parallel betrieben werden.

Die auszufaulende Gülle durchfließt in Mäanderform mit einer spiralförmigen Pfropfen-

Bild 1. Konzentrationsänderungen  $c$  im Eingangssubstrat des Biogasprozesses in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  und  $\text{H}_2\text{S}$  in gasförmiger Phase);

$\Delta H_v$  substratvolumenbezogene Reaktionswärme  
 $S_{A, \epsilon}$  Substrateingangs- und Substratausgangskonzentration  
 $\text{BSB}_{A, \epsilon}$  biologischer Sauerstoffbedarf (Eingang, Ausgang)  
 $\text{N}_2\text{O}_v$  oxydierter Stickstoff  
 $\text{NO}_2-\text{N}$  Nitrit  
 $\text{NO}_3-\text{N}$  Nitrat  
 $\text{O}_2-\dot{A}_\epsilon$  Sauerstoff-Äquivalent (Eingang)

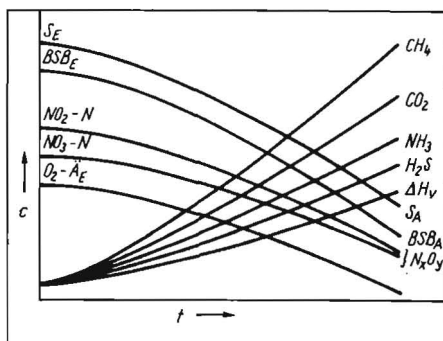
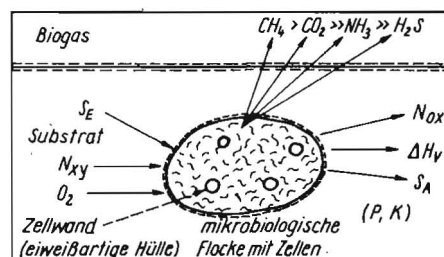


Bild 2. Anaerober Biogasprozeß mit mikrobieller Denitrifikation im Güllesubstrat;  
 $\text{N}_{xy}$  Stickstoff (2-, 3wertig)  
 $\text{N}_{ox}$  oxydierter Stickstoff



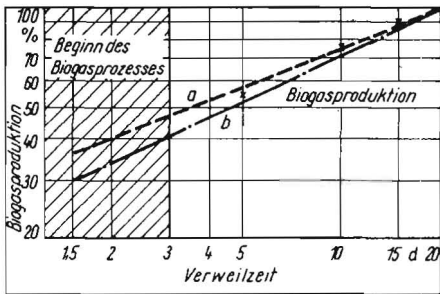


Bild 3. Auswertung der Meßergebnisse der Biogasproduktion im Zeitraum vom 1. April 1985 bis 30. Juni 1987 [s. a. Tafel 2 und Gl. (6) in Tafel 3]; a Druckdifferenzmessungen, b berechnete Werte

strömung die Reaktoren. Durch den Impulsaustausch wird die zulaufende Gülle ohne Zwischenpumpwerk durch die Reaktoren gefördert.

Der Gasdruck im Gasraum oberhalb des Güllespiegels der Reaktoren ([5], Bilder 1 und 2) wird mit Hilfe von Flüssigkeitsstauungen < 300 Pa gehalten.

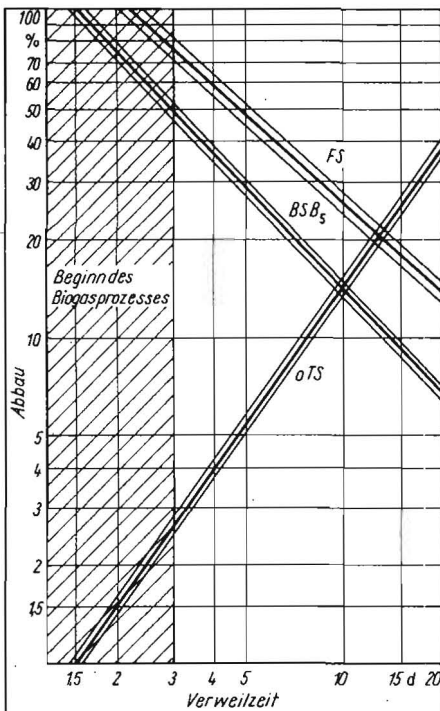
Der Flüssigkeitsdruck am Boden der Reaktoren beträgt 36 kPa. Er nimmt zum Gasraum hin ständig ab, bis ein Gasdruck < 300 Pa erreicht ist.

Diese Druck- und Strömungsverhältnisse und die entsprechenden Reaktorentemperaturen ergeben einen günstigen anaeroben Lebensraum für die Methanbakterien.

Die Austauschflächen in der Gülle, die zur biologischen Umsetzung und Heranführung der „Nahrung“ an die bewegungslosen Methanbakterien über den Querschnitt der Reaktorzellen infolge der räumlichen Spiral- und Pfropfenströmung erforderlich sind, lassen sich berechnen durch:

– die Bewegung der horizontalen und vertikalen Einbauten der Rührer auf

Bild 4. Abbau von oTS, FS und biologischem Sauerstoffbedarf (5 Tage) BSB<sub>5</sub> [s. a. Tafel 4 sowie Gl. (1), (2) und (3) in Tafel 3]



Tafel 1. Allgemeine Feststellung über den Abbau der Güleinhaltsstoffe durch die biologischen Umwandlungen in den Reaktoren

Inhaltsstoffe	Reaktor			
	1	2	3	4
oTS	klein	klein	groß	groß
FS	groß	groß	klein	klein
BSB <sub>5</sub>	groß	groß	klein	klein
O <sub>2</sub>	groß	groß	klein	klein
N <sub>ox</sub> (DN)	groß	groß	klein	klein
P	} unverändert			
K				

N<sub>ox</sub> (DN) oxydierter Stickstoff in den Reaktoren, die zugleich als Denitrifikationsanlage arbeiten

$1,26 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{d}$  und durch die entstandenen Turbulenzen an den Schnittkanten der Rührer und deren Einbauten von  $> 12,6 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{d}$  [5, 6]

– den Gaseintrag von  $0,128 \text{ m}^3/\text{min}$  und Rührer über die Winkelgurte der Rührer ([5], Bild 1), d. h. von  $921,6 \text{ m}^3 \text{ Biogas}/\text{d}$ .

Mit einer Blasengröße von rd. 5 mm ergibt dies in der auszufaulenden Gülle für  $1,88 \cdot 10^{10}$  Blasen eine Oberfläche von  $1,475 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{d}$ .

Die berechenbare Austauschfläche wird dann

$$1,26 \cdot 10^6 + 12,6 \cdot 10^6 + 1,475 \cdot 10^6 = 15,335 \cdot 10^6 \text{ m}^2/\text{d}.$$

Das Biogas wird in textilen Foliensäcken gespeichert und mit Gaspumpen (Roots-Gebläse) über Rohrleitungen den Verbrauchern zugeführt.

### 3. Praktischer Biogasprozeß

In den Bildern 1 und 2 sowie in der Tafel 1 sind die qualitativen Konzentrationsänderungen und der Phasenübergang einiger Inhaltsstoffe der Gülle für den anaeroben mikrobiologischen Prozeß in Abwandlung des aeroben Prozesses [7] formal dargestellt. Weiterhin werden Aussagen über den Abbau der Inhaltsstoffe bzw. ihre biochemische Umwandlung getroffen. Kalium und Phosphor werden nicht umgewandelt, während Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel z. T. biochemisch umgewandelt werden und in der flüssigen, festen und gasförmigen Phase als chemische Verbindung vorliegen.

#### 3.1. Auswertung der Produktionsergebnisse

Die Produktionsergebnisse sind in Tafel 2 dargestellt. Durchschnittlich werden der Bio-

Tafel 2. Produktionsergebnisse im Zeitraum vom 1. April 1985 bis 30. Juni 1987

Gütleparameter	
Durchsatz	212 m <sup>3</sup> /d
Eingang oTS	28,81 kg/m <sup>3</sup>
FS	8,69 kg/m <sup>3</sup>
Ausgang oTS	17,75 kg/m <sup>3</sup>
FS	1,34 kg/m <sup>3</sup>
Biogasproduktion (brutto)	4 510 m <sup>3</sup> /d
Gasqualität	70,43 % CH <sub>4</sub>
Gasausbeute	0,73841 m <sup>3</sup> /kg oTS <sub>zu</sub>
Gasausbeute, bezogen auf oTS- und FS-Abbau	1,1555 m <sup>3</sup> /kg (oTS + FS) <sub>ab</sub>

zeitliche Abfolge der Biogasproduktion	Δp-Messungen	berechnete Werte
5 d	50,4 %	49,9 %
10 d	24,7 %	20,8 %
15 d	15,5 %	15,9 %
20 d	9,4 %	13,4 %

BUG oTS	0,023175 kg/m <sup>3</sup> · h
BUG FS	0,016123 kg/m <sup>3</sup> · h
BSB <sub>5</sub> -Abbau	≙ 93 %
Denitrifikation	≙ 93 %
Energieaufwand Umwälzung	5,36 W/m <sup>3</sup> RV
Wärmeverluste Reaktoren	0,596 kWh/m <sup>3</sup> RV
Heizung Reaktoren	1,375 kWh/m <sup>3</sup> RV
Heizung Rohgülle <sup>1)</sup>	36,34 kWh/m <sup>3</sup> RG
Wärmeverluste Rohgülle <sup>1)</sup>	15,74 kWh/m <sup>3</sup> RG

RV Reaktoryolumen, RG Rohgülle  
1) ohne Wärmerückgewinnung

gasanlage 212 m<sup>3</sup> Gülle/d mit einem organischen Trockensubstanzgehalt (oTS-Gehalt) von 28,81 kg/m<sup>3</sup> und einem Fettsäuregehalt (FS-Gehalt) von 8,69 kg/m<sup>3</sup> zugeführt. In der ausgefaulten Gülle sind die entsprechenden Gehalte für oTS 17,75 kg/m<sup>3</sup> und FS 1,34 kg/m<sup>3</sup>, d. h. 11,06 kg oTS/m<sup>3</sup> und 7,45 kg FS/m<sup>3</sup> wurden umgesetzt. Mit diesen umgesetzten Stoffen wurden brutto 4510 m<sup>3</sup> Biogas/d bei einer Gasqualität von 70,43 % Methan produziert.

Die spezifische Gasausbeute, bezogen auf die zugeführte organische Substanz, war 0,73841 m<sup>3</sup> Biogas/kg oTS<sub>zu</sub>, und die spezifische Gasausbeute, bezogen auf den Abbau von oTS und FS, entsprach 1,1555 m<sup>3</sup> Biogas/kg (oTS + FS)<sub>ab</sub>.

Für die Umwälzung des Substrats in den Re-

Tafel 3. Gleichungssysteme für den Abbau von oTS, FS und BSB sowie für die biologische Umsetzungsgeschwindigkeit von oTS und FS

Die mathematisch-statistische Auswertung der Meßergebnisse von 822 Tagen ergibt folgende

#### Regressionskoeffizienten

oTS-Abbau	b = 1,4266
FS-Abbau	b = -0,9220
BSB <sub>5</sub> -Abbau	b = -1,0631
BUG oTS	b = 0,6546
BUG FS	b = -1,6175
Biogasproduktion	b = 0,5012

#### Regressionsgleichungen

oTS-Abbau	$y(\text{oTS}) = \exp(1,4266 \ln t - 0,6260)$	(1)
FS-Abbau	$y(\text{FS}) = \exp(5,3612 - 0,9220 \ln t)$	(2)
BSB <sub>5</sub> -Abbau	$y(\text{BSB}_5) = \exp(5,0337 - 1,0631 \ln t)$	(3)
BUG oTS	$= \exp(0,6546 \ln t - 5,3926)$	(4)
BUG FS	$= \exp(-1,6175 \ln t - 0,6092)$	(5)
Biogasproduktion	$= \exp(3,1038 + 0,5012 \ln t)$	(6)

Tafel 4. Abbau der Gülleinhaltsstoffe

	t	oTS	FS	BSB <sub>5</sub>
	d	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
<b>Aufgabe</b>	<b>0</b>	<b>28,81</b>	<b>8,69</b>	<b>23,30</b>
	5	1,53	4,19	6,72
	10	4,11	2,21	3,22
	15	7,33	1,52	2,09
	20	11,06	1,34	1,54
<b>Abgang</b>		<b>17,75</b>	<b>1,34</b>	<b>1,54</b>

aktoren wurden rd. 25 kW benötigt. Die Wärmeverluste durch Abstrahlung der Reaktoren beliefen sich auf 139 kW, und die mittlere Reaktortemperatur lag bei 37,66°C.

### 3.2. Auswertung der zeitlichen Abfolgen der Biogasproduktion in den Reaktoren und der biologischen Umsetzung von oTS und FS

Die mathematisch-statistische Auswertung der Meßergebnisse (Tafeln 2 bis 5 und Bilder 3 bis 5) unter Beachtung eines organischen Zerfall- bzw. Abbauprozesses ergibt die in Tafel 3 ermittelten Regressionskoeffizienten b. Die entsprechenden Exponentialgleichungen für diese Abbauprozesse von oTS, FS, BSB sowie die Biogasproduktion und die biologischen Umsetzungsgeschwindigkeiten (BUG) zeigen gleiche Tendenzen und sind als Gerade darzustellen. Die Verwendung der Bezeichnung „Reaktionsgeschwindigkeit“ für den biologischen Prozeß erscheint unzulänglich, da es sich nicht um eine chemische Reaktion, sondern um eine biologische Umsetzung oder einen biologischen Zerfall bzw. besser um einen bakteriologischen Prozeß handelt. Bei den Untersuchungen des Prozeßparameters Biogasproduktion wurden folgende zwei Methoden angewendet:

- Gasdruckmessungen mit Meßblenden
- Gasmengenmessungen mit Gasuhren.

Mit beiden Methoden konnte festgestellt werden, daß der Biogasprozeß bereits nach maximal 1,5 bis 2 Tagen ohne Impfung des Substrates „voll angesprungen“ ist. Dieser Bereich wurde in den Bildern 3, 4 und 5 schraffiert dargestellt. Eine bessere Quantifizierung ist nicht möglich, da in den Reaktoren die Kammern 1 bis 5 gülle- und gaseitig untereinander verbunden und zueinander offen sind.

Dieser Umstand erschwert besonders im Reaktor 1 die exaktere zeitliche Erfassung des Gasbildungsprozesses.

Tafel 5. Biologische Umsetzungsgeschwindigkeit

t	oTS	FS
d	kg/m <sup>3</sup> · h	kg/m <sup>3</sup> · h
5	0,01305	0,0402623
10	0,02054	0,0131207
15	0,02678	0,0068106
20	0,03233	0,0042973
<b>BUG</b>	<b>kg/m<sup>3</sup> · h</b>	<b>0,023175</b>
<b>Halbwertszeit d</b>	<b>12,06</b>	<b>8,80</b>

Die gesamte erzeugte Biogasmenge wird mit Gasmengenmeßgeräten vor den Verbrauchern ermittelt. In Tafel 5 und im Bild 5 sind für oTS und FS die Mittelwerte der BUG gebildet und mit Hilfe der Gln. (4) und (5) in Tafel 3 die dazugehörigen Umsetzungszeiten bestimmt worden. Es ist zu erkennen, daß die mittlere BUG bereits nach 8,8 d für die FS, aber erst nach 12,06 d für die oTS erreicht ist.

### 4. Zusammenfassung

Die Produktionsergebnisse der Biogasanlage im VEG(T) Schweineproduktionsanlage Rippershausen und die Auswertung der gesamten Meßergebnisse während des Untersuchungszeitraums von 822 Tagen gestatten folgende Aussagen:

- Die von den VEB Landbaukombinat der Bezirke Suhl und Karl-Marx-Stadt entwickelten und in der Güllewirtschaft eingesetzten Stapelbehälter mit 3 Kammern mit einem Inhalt von je 500 m<sup>3</sup> lassen sich ausgezeichnet zu Biogasreaktoren mit 5 Kammern mit einem Inhalt von je 300 m<sup>3</sup> ohne Änderung der Grundkonzeption umgestalten.
- Die horizontalen Hohlwellen-Giterrührer schaffen bei geringstem Energieaufwand ausreichende Austauschflächen (Umsetzungsflächen) für die Methanbakterien.
- Die Abdeckung des Gasraumes mit Plastikfolie ist bei den niederen Druckverhältnissen im Gasraum eine sehr effektive Lösung.
- Die bisher erreichten Produktionsergebnisse sind sehr zufriedenstellend.
- Die spezifischen Kennzahlen des Prozesses sind Spitzenwerte im Vergleich zu denen anderer Biogasanlagen.
- Die Probleme der Energieerzeuger- und Verbraucherpreise müssen für diese energieautarken bzw. teilweise energieautarken Anlagen erneut untersucht werden, schon im Hinblick auf die biologisch-tech-

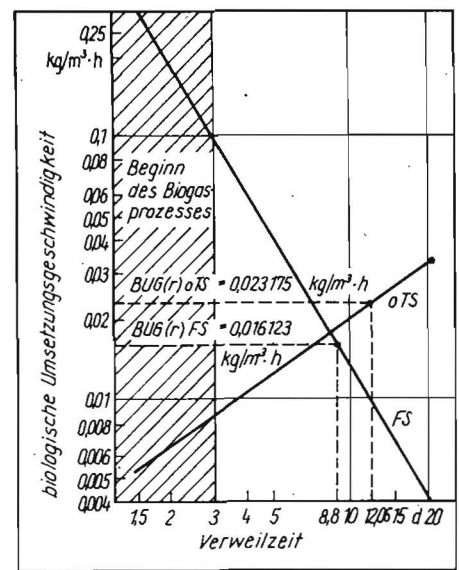


Bild 5. Biologische Umsetzungsgeschwindigkeiten von oTS und FS [Halbwertszeiten für BUG: 12,06 d (oTS), 8,80 d (FS); s. a. Tafel 5 sowie Gln. (4) und (5) in Tafel 3]

nologische Kette mit dem Primat Umweltbelastung – Umweltschutz und der grundsätzlichen Fest-Flüssig-Nährstoffgewinnung für den landwirtschaftlich genutzten Boden.

### Literatur

- [1] Rockstroh, U.: Zur komplexen ökonomischen Bewertung von Biogasverwertungsanlagen. Energieanwendung, Leipzig 35 (1986) 6, S. 221–224.
- [2] Engshuber, M.; Beyer, G.: Renaissance für Biogas. Technische Gemeinschaft, Berlin 31 (1983) 3, S. 29–31.
- [3] Beyer, G.: Der neue Reaktor BGR3600 zur Biogaserzeugung. KDT-Fachtagung am 4. Mai 1983, Vortragsmanuskript.
- [4] Engshuber, M.: Einsatz inertreicher Brenngase. Gas-Wärme-International, Essen 34 (1985) 5/6, S. 228–229.
- [5] Beyer, G.: Beitrag zur Bestimmung des Leistungsbedarfs horizontaler Giterrührer. Neue Bergbautechnik, Leipzig 17 (1987) 5, S. 182–184.
- [6] Albring, W.: Angewandte Strömungslehre. Berlin: Akademie-Verlag 1978.
- [7] Moser, A.: Bioprozeßtechnik. Wien/New York: Springer-Verlag 1981. A 5159

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