

leitung, die mit Gefälle (1:250) zum Wassertopf verlegt wird, vorgesehen. Beim Einbau von Wassertöpfen mit einem Fassungsvermögen von 40 l müßten davon 7 Stück vorgesehen und täglich geleert werden. Wassertöpfe sind ebenfalls durch Innen- und Außenanstriche gegen Korrosion zu schützen.

Rohrleitungen

Als Werkstoffe für die Rohrleitungen kommen unter Beachtung der Korrosionsprobleme (vor allem bei Anlagen ohne Schwefelreinigung) und der Druckverhältnisse in Frage:

- PVC-h-Rohre (TGL 11689/03) bis 0,1 MPa; Probleme:
 - Empfindlichkeit gegen mechanische Belastungen
 - sehr große Temperaturabhängigkeit (daher zu verlegen mit 1 m Deckung mit Kiesbettung von 10 cm)
 - Gummidichtungen an den Steckkupplungen (H₂S-anfällig)
- Stahl-Rohre (TGL 9413, 25304, 27603); Verlegung oberirdisch und unterirdisch möglich

— Stahl-Rohre mit PVC-h-Auskleidung (TGL 36012) mit Flanschverbindungen; Verlegung oberirdisch und unterirdisch möglich.

Bei ungeschützten Stahlrohren muß mit einem Korrosionsabtrag von 0,5 bis 0,7 mm/a gerechnet werden. Bei der Wanddickenfestlegung ist daher mit entsprechenden Korrosionszuschlägen zu rechnen. Außerdem ist passiver Korrosionsschutz vorzusehen.

Sicherheitstechnische Vorschriften

Neben dem Problem der Explosibilität (Brandgefahr) ist eine Vielzahl von Vorschriften für Gasanlagen zu berücksichtigen. An dieser Stelle kann auf sie im Detail nicht eingegangen werden. Einige der wichtigsten einschlägigen Standards sind nachfolgend aufgeführt:

- TGL 30042 Verhütung von Bränden und Explosionen; Einordnung von Arbeitsstätten
- TGL 30270 Schweißen und Schneiden und ähnliche thermische Verfahren
- TGL 30451 GAB — Gasanlagen

- /01 Allgemeine Forderungen
- /03 Gasfortleitung
- /04 Gasabnehmeranlagen
- /05 Freigabe Gas
- TGL 10709 Niederdruck-Gasanlagen; Installation
- TGL 190-354 Gasleitungen
 - /01 Verlegevorschriften
 - /17 Einbau von Wassertöpfen
- TGL 190-392 Industrielle Gasabnehmeranlagen.

Weiterhin wird auf folgende Materialien verwiesen, die sich jeder Errichter bzw. Betreiber von Biogasanlagen besorgen sollte:

- Verzeichnis der Vorschriften für Energieversorgungsbetriebe, Teil Gasanlagen, Ausgabe 1982
- Vorschriften und Bestimmungen für die Durchführung von Arbeiten an Gasanlagen, Teil I und II. Mitteilungen des Brennstoffinstituts Freiberg, Sonderheft Nr. 16/81.

Literatur

- [1] Anordnung über die Berechtigung zu Arbeiten an Energieanlagen. GBl. der DDR Teil I, Nr. 30, vom 14. November 1980. A 3431

Energetische Aspekte der Biogasproduktion

Prof. Dr.-Ing. M. Engshuber, KDT, Bergakademie Freiberg, Sektion Maschinen- und Energietechnik

1. Einleitung

Zur Bewältigung des hohen Anfalls von Gülle in den industriemäßigen Tierproduktionsanlagen ist — bei Erhaltung ihres Düngewerts — die Umsetzung der Gülle in ein umweltfreundliches, desodoriertes Produkt zwingend notwendig. Das ist sowohl aerob als auch anaerob realisierbar. Die aeroben Stabilisierungsverfahren verlaufen zwar stark exotherm, der Energieverbrauch für die Intensivbelüftung ist aber so hoch, daß daraus kein technisch verwertbarer Energieüberschuß resultiert. Im Gegensatz dazu ist es bei den anaeroben Verfahren unter bestimmten, auch erfüllbaren Voraussetzungen möglich, ein brennbares CH₄,CO₂-Gemisch (Biogas) im Überschuß zu erzeugen. Dann wird nicht nur der Güllestabilisierungsprozeß selbst energieautark ablaufen, sondern darüber hinaus sogar eine bilanzierungswürdige Einsparung an Bezugsenergie, wie Heizöl, Briketts, Stadtgas, Erdgas und evtl. auch Kraftstoff, durch Substitution erzielt. In der für Biogasanlagen charakteristischen Koppelproduktion kommt der stabilisierten Gülle stets die Rolle des Hauptprodukts zu. Das Biogas ist Nebenprodukt, günstigenfalls zweites Hauptprodukt. Das bedeutet, daß technische Biogasanlagen niemals separat, sondern grundsätzlich als integraler Bestandteil sowohl des betrieblichen Energieversorgungssystems als auch der jeweiligen Güllebehandlungstechnologie zu betrachten sind. Für ihren Entwurf hat das einige Konsequenzen, die zeitig genug beachtet werden müssen. Auf einige davon wird im folgenden eingegangen.

2. Potential an Biogas

Das Potential an Biogas entspricht der Biogasmenge, die sich — bezogen auf einen bestimmten Zeitraum — aus der im Stall anfallenden Gülle maximal gewinnen läßt. Es ist folglich eindeutig vorgegeben durch — Art und Größe des Tierbestands

- Fütterungsregime und Futterzusammensetzung
- Fermentationsdauer.

Rechnet man für klassische technische Fermentationsbedingungen, die einer mesophilen Fahrweise über maximal 30 Tage mit natürlicher Mischpopulation von Azeto- und Methanobakterien entsprechen, mit einem Abbaugrad der organischen Trockensubstanz (oTS) von 25 %, sind nachstehende Gleichungen verwendbar:¹⁾

$$V_{BG} = a \cdot m_{TS} \quad (1)$$

$$\dot{V}_{BG} = a \cdot \dot{m}_{TS}; \quad (2)$$

V_{BG} Biogasvolumen in m³

\dot{V}_{BG} Biogasvolumenstrom in m³/d

m_{TS} Güllemenge (wasserfrei) in kg

\dot{m}_{TS} Güllemengenstrom (wasserfrei) in kg/d

a Ausbeutefaktor in m³/kg ($a = 0,17 \text{ m}^3/\text{kg}$ für Rindergülle; $a = 0,35 \text{ m}^3/\text{kg}$ für Schweinegülle).

Auf Tierart und Anlagentyp bezogen, beinhalten die Tafeln 1 und 2 [1] Orientierungswerte für den Biogasanfall [2]. In beiden Fällen ist, auf einen Heizwert des Biogases $Q_{i,BG}$ von 22 MJ/m³ bezogen, auch der jeweilige energetische Leistungswert angegeben.

Die so erhaltenen Werte bewegen sich nahe der unteren Grenze des Erwartungsbereichs und berücksichtigen weder in der Gülle enthaltenes ausbeutesteigerndes Restfutter noch Einstreu. Werte aus laufenden kleineren Anlagen bestätigen das [3, 4].

Beachtenswert erscheinen die Feststellungen, daß die spezifischen Biogasausbeuten vom Prinzip der Reaktionsführung (z. B. Vermischung, Rührkesselkaskade, Pfropfenströmung) deutlich abhängig sind, dagegen von der

Fermentationstemperatur (mesophil bzw. thermophil), vom Feststoffgehalt der Gülle und vom Gebrauch von Desinfektionsmitteln offenbar nicht gravierend beeinflusst werden. Die physikalischen, chemischen und brenntechnischen Eigenschaften von Biogas sind in [2] und [5] ausreichend vorgestellt worden.

3. Prozeßenergiebedarf

Der technische Fermentationsprozeß benötigt zu seiner Aufrechterhaltung Energie. Sie muß als thermische Energie für die Erwärmung der Gülle auf Fermentationstemperatur und für die Kompensation der Leitungs- und Strahlungsverluste der Fermenteranlage sowie als mechanische (elektrische) Energie für die Güllebewegung (Füllen, Entleeren, Umpumpen, Rühren) und die Gasverwertung (Absaugen, Verdichten) bereitgestellt werden.

3.1. Energiebedarf zum Erwärmen der Gülle

Der weitaus größte Energiebedarf ist für die Erwärmung aufzubringen:

$$W_G = \frac{(\dot{m}_{TS} + \dot{m}_W) (t_F - t_1) c_G}{86400}; \quad (3)$$

W_G Energiebedarf zum Erwärmen der Gülle in kW

Tafel 1. Anhaltswerte des täglichen Bruttoanfalls an Biogas unter mesophilen Bedingungen

Tierart	Biogasanfall je Tier	
	m ³ /d	kW
Rind (Milchkuh)	1,00	0,25
Jungrind	0,35	0,09
Kalb	0,15	0,04
Zuchtsau mit Nachwuchs	1,30	0,33
Altsau	0,30	0,08
Jungschwein	0,25	0,06
Mastschwein	0,20	0,05
Ferkel	0,05	0,01

1) Volumenangaben, sofern nicht anders vermerkt, auf Normzustand bezogen

Tafel 2. Voraussichtlicher täglicher Biogasanfall (brutto) in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion (unter mesophilen Bedingungen)

Anlagentyp	Tierart	Tierbestand St.	Gülle-anfall ¹⁾ (TS) t/d	Biogasanfall ²⁾			Bemerkungen
				m ³ /d	GJ/d	kW	
AP 1232	Milchkühe	1231	7,6	1250	27,5	318	
AP 1930	Milchkühe	1928	11,75	2000	44	509	
AP 3200	Kälber	2799	2,3	400	8,8	102	3.—26. Woche
AP 4200	Jungrinder	4012	9,5	1600	35,2	407	7. Monat bis 24. Monat
AP 4480	Jungrinder	4356	10,7	1800	39,6	458	
RM männlich	Jungrinder	15722	28,3	4800	105,6	1222	3. Woche bis 15. Monat
RM weiblich	Jungrinder	17867	25,6	4350	95,7	1108	
Zuchtanlage/SZA	Sauen	1275	5,0	1750	38,5	446	einschl. Nachwuchs
S 111/112	Sauen	4500	17,6	6150	135,3	1566	
Mastanlage	Schweine	6000	3,0	1050	23,1	267	je 35 bis 120 kg
Mastanlage	Schweine	12480	6,4	2250	49,5	573	
Mastanlage	Schweine	25000	12,7	4450	97,9	1133	

1) nach Koriath [1]

2) Gehalt an organischer Substanz (oTS): 75% der Trockensubstanz (oTS = 0,75 TS);

Abbaugrad der oTS: 20 bis 25% bei Rindergülle, 30% bei Schweinegülle
spezifische Gasaubeute

1 m³/kg oTS (abgebaut) der Rindergülle

1,5 m³/kg oTS (abgebaut) der Schweinegülle

Q_{in} = 22 MJ/m³ Biogas

- m_{TS} Güllemengenstrom (wasserfrei) in kg/d
- m_w Wassermengenstrom (in der Gülle) in kg/d
- t_F Fermentertemperatur in °C
- t₁ Gülleintrittstemperatur in °C
- c_G spezifische Wärmekapazität der Gülle in kJ/kg · K.

Da t_F prozeßbedingt vorgegeben wird und c_G als Stoffkonstante anzusehen ist, erweisen sich der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) und die Eintrittstemperatur der Gülle als die bestimmenden Faktoren. Beide sollen so hoch wie möglich liegen. Das bedeutet, die Gülle aus dem Stall mit so wenig wie möglich Wasser zu beseitigen und eine nachträgliche weitere Verdünnung mit sonstigen Produktionsabwässern zu vermeiden. Außerdem ist ihrer Abkühlung auf dem Weg vom Stall zum Fermenter entgegenzuwirken.

Beide Forderungen können durch technische und betriebsorganisatorische Maßnahmen erfüllt werden. Bild 1 demonstriert beispielhaft den Energiebedarf, der für einen Güllestrom von m_{TS} = 1000 kg/d bei unterschiedlicher Eintrittstemperatur und unterschiedlichem Trockensubstanzgehalt zu decken ist. Um vor allem

die Werte des im Bild als Rechteck hervorgehobenen voraussichtlichen Arbeitsbereichs mesophiler Biogasanlagen richtig einordnen zu können, sei vergleichsweise angeführt, daß unter Bezugnahme auf Gl. (1) aus Rindergülle (Schweinegülle) eine Leistung von 43,3 (89,1) kW gewinnbar ist.

Üblicherweise wird die Gülle mit Hilfe von Warmwasser erwärmt. Die schwach exotherme Reaktionsenthalpie der Fermentation ist mit 420 kJ/m³ Biogas zu gering, um den Energieverbrauch merklich zu senken [2, 5]. Der Energiebedarf für die Güllbewegung trägt (als Reibungsleistung) zur Temperaturerhöhung der Gülle bei.

3.2. Leitungs- und Strahlungsverluste

Die Höhe der Leitungs- und Strahlungsverluste ist konstruktionsbedingt und wird einerseits von Werkstoff und Dicke der Dämmschicht, andererseits von der zu dämmenden Fermenteroberfläche bestimmt. Die für die größte zu erwartende Temperaturdifferenz erforderliche Dämmschichtdicke kann man entweder nach wirtschaftlichen Kriterien (Relation der Energieeinsparung zu den Kosten der Dämmschicht) oder durch Vorgabe einer maxi-

malen Wärmeverlustleistung berechnen. Es erscheint zweckmäßig, zunächst die Leitungs- und Strahlungsverluste zu begrenzen (z. B. zwischen 5 und 10% der Bruttoenergie) und dann den Dämmstoff unter Zuhilfenahme der o. g. ökonomischen Kriterien auszuwählen [6]. Praktische Werte für die Schichtdicke liegen nach [4, 7] zwischen 4 cm und 19 cm.

3.3. Elektroenergiebedarf

Der Elektroenergiebedarf von Biogasanlagen ist noch nicht verlässlich belegt. Verschiedentlich finden sich Leistungsangaben für Rührer- und Pumpenantriebe. Für große gerührte Anlagen kann nach Degen mit folgender Beziehung gerechnet werden [2]:

$$P = 6 + 0,01 V_F \quad (4)$$

P Antriebsleistung in kW

V_F Fermentervolumen in m³.

Für kleinere Anlagen (V_F < 400 m³) werden 2 bis 5 kW genannt [3, 4]. Dabei ist aber zu beachten, daß die tägliche Rührzeit lediglich mit 20 min bis 4 h angegeben wird. Das entspräche dann annähernd 0,1 bis 0,2 kWh/m³ Biogas (180 bis 360 kJ/m³). Wenn auch für den praktischen Betrieb dieser Energiebetrag kaum Bedeutung hat, kann die Gewährleistung der erforderlichen elektrischen Anschlußwerte durchaus problematisch sein.

3.4. Wirkungsgrade

Die aus den Abschn. 3.1. bis 3.3. verfügbaren Werte gestatten, den thermischen und den energetischen Wirkungsgrad von Biogasanlagen zu berechnen. Als Standardfall der Energieversorgung soll angenommen sein, daß im betriebseigenen, biogasbefeuerten Heizhaus Warmwasser erzeugt und keinerlei eigene Anfallenergie genutzt wird. Die Elektroenergie soll im Fall des thermischen Wirkungsgrades aus dem Landesnetz bezogen werden. Der thermische Wirkungsgrad η_{th} sei dann wie folgt definiert:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{\Delta H_G^{ph} + Q_v - (P + \Delta H_G^{ex})}{H_{BG}^{ch}} \quad (5)$$

ΔH_G^{ph} die der Gülle über das Warmwasser zugeführte Enthalpie in kW oder kJ/m³ Biogas

Q_v Leitungs- und Strahlungsverluste des Fermenters in kW oder kJ/m³ Biogas

P zugeführte elektrische Leistung für Güllbewegung in kW oder kJ/m³ Biogas

H_{BG}^{ch} chemische Enthalpie des Biogases (brutto) in kW oder kJ/m³ Biogas

ΔH_G^{ex} Reaktionsenthalpie in kW oder kJ/m³ Biogas.

Um den energetischen Wirkungsgrad η_{en} zu ermitteln, ist der für die Warmwasserbereitung erforderliche energetische Aufwand im Heizhaus (angenommener Kesselwirkungsgrad η_K = 0,8) zu berücksichtigen und auch von einer Eigenerzeugung der Elektroenergie (η_{EE} = 0,25) auszugehen:

$$\eta_{en} = 1 + \frac{1,25 (\Delta H_G^{ph} + Q_v - P) + \Delta H_G^{ex} + 3 P}{H_{BG}^{ch}} \quad (6)$$

Die Gln. (5) und (6) liegen den in den Bildern 2 und 3 dargestellten Verläufen der Wirkungsgrade einer mesophilen Biogasanlage auf einer Milchviehanlage (MVA) AP 1930 bzw. einer Schweinezuchtanlage (SZA) S 111/112 (für den Winterbetrieb) zugrunde. Folgendes ist daraus generell ableitbar:

— Die Wirkungsgrade steigen mit zunehmenden

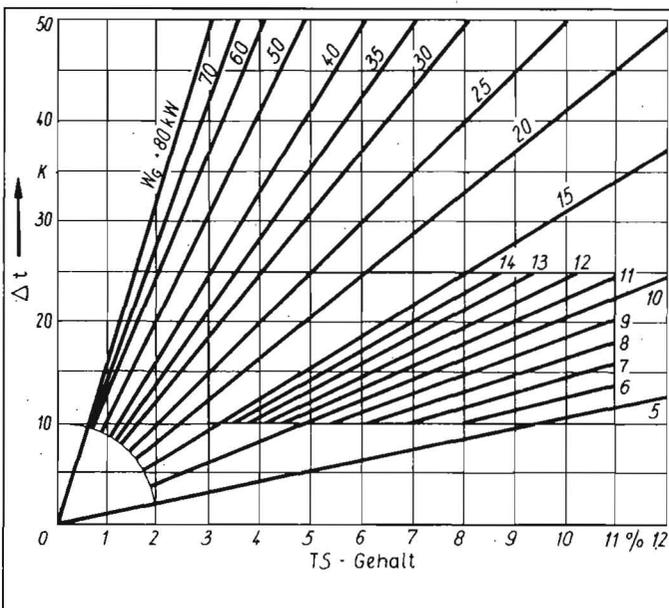


Bild 1
Für die Erwärmung von Frischgülle (bezogen auf m_{TS} = 1000 kg/d) erforderlicher Energiebetrag W_G als Funktion des TS-Gehalts und der Temperaturdifferenz

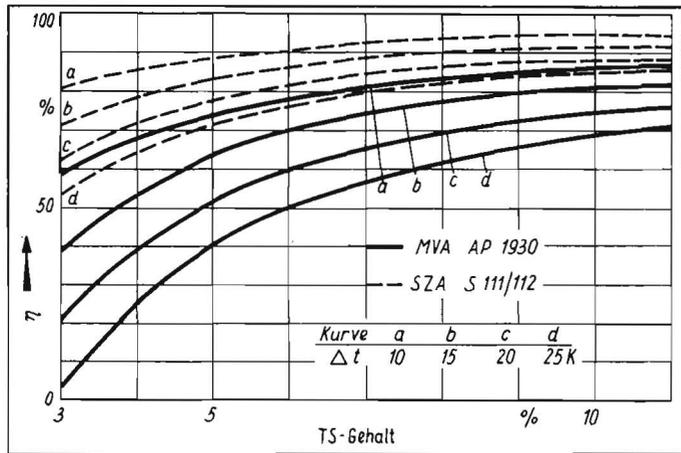


Bild 2. Thermischer Wirkungsgrad einer Biogasanlage auf einer Milchvieh- bzw. Schweinezuchtanlage

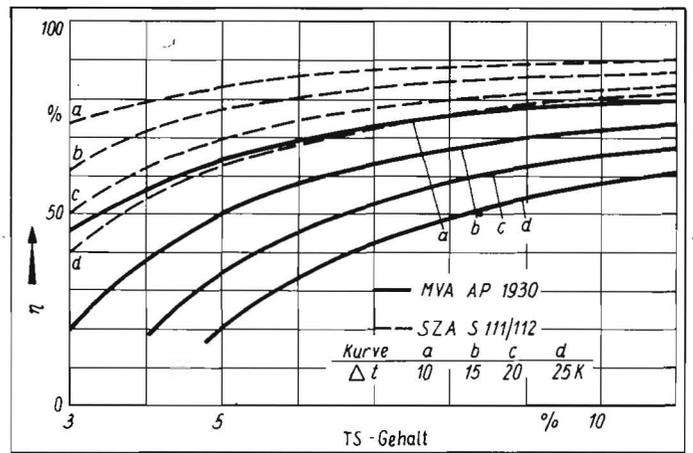


Bild 3. Energetischer Wirkungsgrad einer Biogasanlage auf einer Milchvieh- bzw. Schweinezuchtanlage

dem TS-Gehalt und abnehmender Temperaturdifferenz zur Erwärmung der Gülle an. Dabei tritt der anfänglich stärker ausgeprägte Einfluß des TS-Gehalts zugunsten der Temperatur zunehmend zurück.

- Energetische Wirkungsgrade von 90 (80)% bei Schweinegülle (Rindergülle) sind erreichbar.
- Die Unterschiede zwischen den thermischen und energetischen Wirkungsgraden betragen mindestens 5- bis 10% und werden um so größer, je ungünstiger die Ausgangsbedingungen aus energetischer Sicht sind.
- Erwartungsgemäß ist die Schweinegülle der Rindergülle als Ausgangsprodukt überlegen. Das basiert auf ihrer wesentlich höheren spezifischen Gasausbeute (s. Abschn. 2). Sowohl bei den thermischen als auch bei den energetischen Wirkungsgraden entspricht der jeweils dargestellte ungünstigste Fall bei Schweinegülle in etwa dem günstigsten Fall bei Rindergülle.
- Während bei Schweinegülle praktisch jeder TS-Gehalt über 3% (bei $\Delta t = 15$ bis 20K) akzeptable energetische Wirkungsgrade von wenigstens 50% zu erreichen verspricht, sind bei Rindergülle TS-Gehalte von wenigstens 6,5% erforderlich.
- Jede Steigerung der Gasergieausbeute, d. h. des Produkts $\dot{V}_{BG} Q_{i,BG}$, und jede Verkürzung der Verweilzeit (bei konstanter Ausbeute) erhöht den Wirkungsgrad der Biogasanlage.

3.5. Varianten der Deckung des Prozeßenergiebedarfs und Nettogasanfall

Neben der im Abschn. 3.4. aufgeführten Standardvariante der Prozeßenergiebedarfsdeckung sind noch weitere Lösungen denkbar [8]. Sie werden im wesentlichen davon bestimmt, welche Energieversorgungsstruktur der gesamten Tierproduktionsanlage zugrunde liegt und welche Aufgabe der Biogasanlage innerhalb der betrieblichen Energieversorgung zugeordnet ist. Wie der Tafel 3 zu entnehmen ist, ist der Nettogasanfall dem energetischen Wirkungsgrad der Biogasanlage direkt proportional. Das Maximum entspricht dem Bruttogasanfall. Energetische Verbesserungen durch primäre (Vorwärmung der Frischgülle mit Hilfe der warmen ausgefaulten Gülle) oder sekundäre Anfallenergienutzung (z. B. Vorwärmung der Frischgülle oder der Verbrennungsluft mit der Stallabluft) können die Nettogasanfall bis zur Bruttomenge steigern. Darüber hinaus gehende Beträge senken den Energiebedarf der Tierproduktionsanlage ins-

gesamt. Unter einem solchen Aspekt ist auch der Einsatz von Wärmepumpen, Regenerativ-Wärmeübertragern u. a. m. zu prüfen.

4. Verfahrenstechnische Lösungen

Die gegenwärtige Anzahl von schätzungsweise 8 Millionen Biogasanlagen in der Welt (Stand 1980) darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß es sich überwiegend um primitive, diskontinuierlich arbeitende Kleinst- und Kleinanlagen sowie um eine relativ bescheidene Anzahl solcher Anlagen von mittlerer Größe, die z. T. mit Hilfsenergie arbeiten, handelt [8]. Großanlagen mit kontinuierlicher Fahrweise, die in der Tafel 2 aufgeführten Leistungen bringen, sind höchst selten. Deshalb existiert auch noch keine Technologie, die anderen deutlich überlegen wäre. Natürlich bestehen bestimmte verfahrenstechnische Grundlösungen, die auch in den kontinuierlichen Großanlagen auf verschiedene Weise realisiert werden [9]. Das ist zum einen das Prinzip der idealen Vermischung z. B. in konventionellen Rührkesseln, das seine praktische Umsetzung in den Turm- oder Behälterverfahren mit Umwälzpumpen erfährt (Bild 4). Die Frischgülle wird hier unverzüglich mit dem ganz oder teilweise ausgefaulten Behälterinhalt vermischt. Von Vorteil ist zweifellos die dadurch erreichte gute Impfung, von Nachteil der Austrag einer durchschnittlich nicht vollständig ausgefaulten Gülle (breites Verweilzeitenspektrum) und die stoffwechsellindernde Belastung der Methanbakterien durch rasche Druckänderungen während des Passierens der Pumpe.

Das andere Prinzip ist die ideale Pfropfenströmung, die einem ungestörten und folglich un-

vermischten Durchfluß durch ein Rohr entspricht. Diese Bedingungen sind mit einer Batch-Faulung auf beweglicher Ortsachse vergleichbar. Die Faulung kann durch Wahl der Aufgabemenge beliebig weit getrieben werden. Nachteilig ist, daß es zu einer schwer unterdrückbaren Schwimmdeckenbildung mit allen bekannten Schwierigkeiten kommen kann und zu wenig neue Austauschfläche, die dem Stoffwechsel der Bakterien förderlich wäre, geschaffen wird. Nach bisheriger Erkenntnis wird die Bildung des Biogases dadurch begünstigt, daß eine Pfropfenströmung von einer schwachen Quervermischung überlagert wird. Das sog. Beckenverfahren verwirklicht dieses Prinzip [10]. Die Gülle durchströmt zwangsweise mehrere Zellen, die aus landbautypischen Rechteckgütlebehältern mit scheidrechten Wänden (z. B. Typ Meiningen oder Karl-Marx-Stadt) konstruktiv angepaßt wurden und mit langsam laufenden, rd. 20 m langen horizontalen Hohlwellen, wie sie sich in der Kaliindustrie bewährt haben, ausgerüstet sind. Eine entsprechende Wärmedämmung, eine Abdichtung mit gasundurchlässiger Plane und andere Maßnahmen gewährleisten einen funktionsgerechten Betrieb dieses Anlagentyps (Bild 5). Da ihm konstruktiv das Modulprinzip zugrunde liegt, kann er für jeden beliebigen Durchsatz ausgelegt werden.

5. Verwertung des Biogases

Neben der Bestimmung des Potentials und der verfügbaren Nettomenge an Biogas ist es gleichermaßen wichtig, rechtzeitig über dessen Verwertung zu entscheiden. Als Prämisse soll gelten, daß jeweils die gesamte im Stall an-

Tafel 3. Varianten der Deckung des Prozeßenergiebedarfs und Nettogasanfall

Variante	Energieträgereinsatz für Warmwasserbereitung	Elektroenergieerzeugung	Nettogasanfall $\dot{V}_{BG,N}$
Energieautarkie	Biogas	Biogas	$\dot{V}_{BG,N} = \eta_{en} \dot{V}_{BG}$
	Biogas Anfallenergie		$\eta_{en} \dot{V}_{BG} < \dot{V}_{BG,N} \leq \dot{V}_{BG}$
Eigenversorgung	Biogas	Bezug aus Landesnetz	$\eta_{en} \dot{V}_{BG} < \dot{V}_{BG,N} < \eta_{th} \dot{V}_{BG}$
	Biogas Anfallenergie		$\eta_{en} \dot{V}_{BG} = \dot{V}_{BG,N} \leq \dot{V}_{BG}$
Fremdbezug	Stadtgas, Heizöl, Rohbraunkohle, Briketts o. ä.	Bezug aus Landesnetz	$\dot{V}_{BG,N} = \dot{V}_{BG}$
	dto. Anfallenergie		

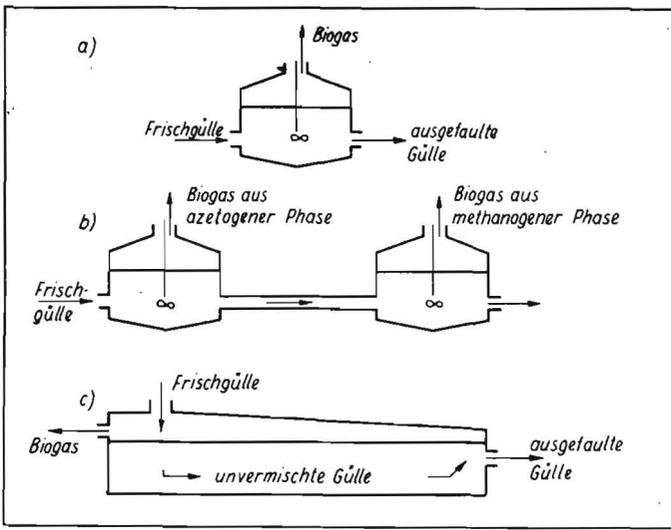


Bild 4. Verfahrenstechnische Grundlösungen der Biogasgewinnung;
 a) ideale Vermischung im Rührkessel
 b) mehrstufige Vermischung in Rührkesselkaskade
 c) ideale Pfropfenströmung im Strömungsrohr

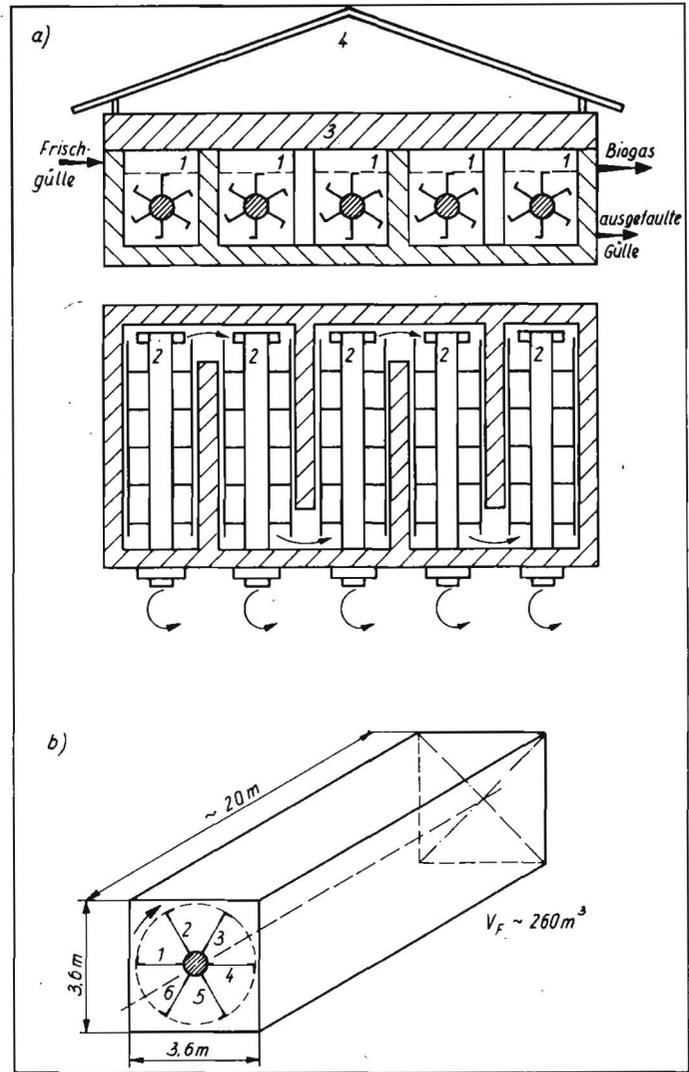
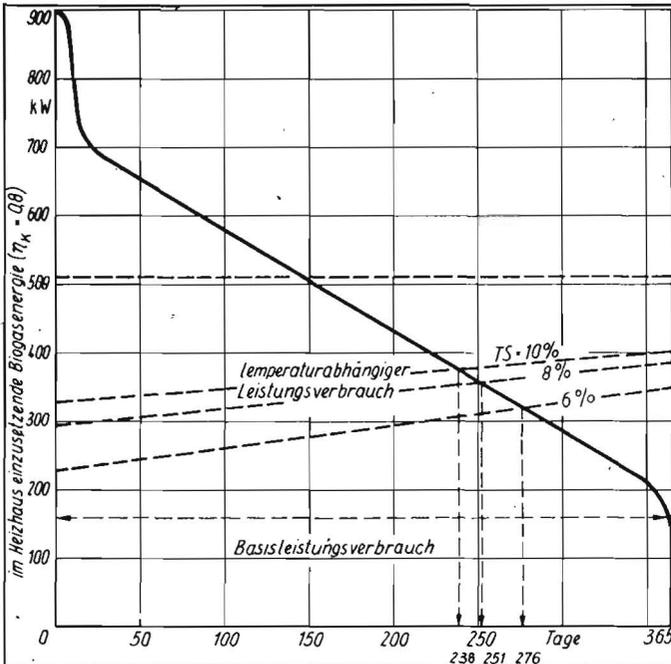


Bild 5. Schematische Darstellung des Beckenverfahrens;
 a) Fermenter mit Zellen- und Hohlwellenrühreranordnung
 1 Fermenterzelle, 2 Hohlwellenrührer, 3 gasdichte, wärmeisolierte Abdeckung, 4 Dach
 b) Zellenmodell

Bild 6. Geordnete Jahresganglinien der Energiebereitstellung und des Energieverbrauchs (Biogas) für eine Milchviehanlage AP 1930

fallende Gülle zur Biogasproduktion eingesetzt wird. Hauptsächliche Einsatzgebiete sind:

- Einsatz als Brennstoff im Heizhaus zur Warmwasser (oder Dampf-)erzeugung für die Deckung des technologischen und Raumwärmebedarfs der Tierproduktionsanlage einschließlich angeschlossener Nebenverbraucher
- Einsatz als Brennstoff zur Warmluft- oder Heißgaserzeugung für die Trocknung landwirtschaftlicher Produkte (z. B. Futter, Getreide)
- Einsatz als Treibstoff in stationären Gasmotoren oder Kleingasturbinen zur Elektroenergie- und Wärmeerzeugung (Wärme-Kraft-Kopplung)
- Einsatz als Treibstoff für Fahrzeuge.

Die einzelnen Anwendungsvarianten unterscheiden sich im Belastungsgang, d. h. im zeitlichen Verlauf der Leistungsanspruchnahme, und in der technischen Ausrüstung der Verwendungsanlagen deutlich voneinander. Deshalb muß man sich einen repräsentativen Überblick über den tatsächlichen Tagesverbrauch bzw. -bedarf an Brennstoff und Treibstoff ver-

schaffen. Eine gebräuchliche grafische Methode der Auswertung ist die Darstellung als Jahresbelastungsganglinie. Trägt man die Tageswerte des Verbrauchs über dem Datum (1. Januar bis 31. Dezember) auf, gewinnt man Aussagen über den jahreszeitlichen Verlauf und den Schwankungsbereich der Tageswerte [11].

In der sog. geordneten Jahresbelastungsganglinie sind die Tageswerte entsprechend ihrer Größe den 365 Tagen eines Jahres zugeordnet [2]. Sie gibt u. a. Auskunft darüber, welcher Verbrauch an wieviel Tagen im Jahr auftritt, wie ausgeprägt die Belastungsspitzen sind und wie weit sich Erzeugung und Verbrauch in genereller Übereinstimmung befinden. Anhand der folgenden Verwertungsvariante wird darauf näher eingegangen.

5.1. Warmwasserbereitung

Als Beispiel wird eine Milchviehanlage AP 1930 mit einem Biogaspotential (nach Tafel 1) von 509 kW herangezogen. An Nettoenergie stehen entsprechend den energetischen Wirkungsgraden nach Bild 3 die im Bild 6 aus-

gewiesenen Leistungen zur Verfügung. Aus der getroffenen Annahme, daß die Gülle an den kältesten bzw. wärmsten Tagen um 20 bzw. 10 K vorzuwärmen ist, resultiert der von links nach rechts schwach ansteigende Verlauf der geordneten Jahresganglinie der Bereitstellung.

Die Jahresganglinie des Verbrauchs zeigt eine charakteristische Temperaturabhängigkeit. Ausgehend von einem Basisleistungsbedarf, der das ganze Jahr über zu decken ist, steigt die Leistung mit fallender Temperatur annähernd linear an. Der linke Abschluß ist durch einige wenige (nicht unbedingt zusammenhängende) Tage mit extrem hohem Verbrauch (Superspitze) gekennzeichnet.

Der konkrete Verlauf ist natürlich von der jeweiligen standortbezogenen Situation geprägt. So wird mit steigendem Raumheizungsanteil (Stall- und Gebäudeheizung) sowohl der Abfall der Geraden steiler als auch die Superspitze deutlicher ausgeprägt sein. Dagegen wird der Prozeßenergiebedarf den Anteil der Basisleistung bestimmen. Es soll noch vermerkt sein, daß die Ganglinie eines einzigen (zufälligen)

Jahres nicht unbedingt repräsentativ sein muß.

Der entgegengesetzte Verlauf beider Ganglinien wirft einige schwerwiegende Probleme der Gasverwertung auf. Nimmt man die extremen Lagen der Schnittpunkte an, ergeben sich solche Situationen, daß entweder das gesamte Nettoangebot an Biogas, so wie es anfällt, auch verbraucht wird, aber ein zweiter Energieträger einen beachtlichen Zusatzverbrauch abzudecken hat (bivalente Fahrweise) oder der gesamte Verbrauch einschließlich der Superspitze (mindestens) durch das Biogas jederzeit gesichert ist. Aber dann steht eine bedeutende überschüssige Leistung das ganze Jahr über an.

Der Normalfall wird eine zwischen den Extremen liegende Variante sein. Der Leistungsbedarf kann lediglich über einen Teil des Jahres gedeckt werden, so daß zeitweilig entweder zuzuheizen ist oder Überschulleistung angeboten wird.

Im vorliegenden Beispiel, das einen Kesselwirkungsgrad $\eta_K = 0,8$ bereits berücksichtigt, kann das Biogas den Bedarf (je nach TS-Gehalt der Gülle) an 89 bis 127 Tagen des Jahres, die nicht zwingend aufeinanderfolgen müssen, decken. Gleichzeitig fällt ein Überschuß zwischen 20 und 40 dam^3 Biogas an. Über den größeren Teil des Jahres ist zuzuheizen. Der dafür erforderliche Brennstoffbedarf errechnet sich aus der zugehörigen Fläche unter der Ganglinie bei Beachtung des Brennstoffheizwerts und des Kesselwirkungsgrades, sofern dieser von 0,8 abweicht.

Ein Weideaustrieb der Tiere wirkt sich so aus, daß im rechten Teil des Diagramms über dessen Dauer eine der Beteiligung proportionale Senkung der Bereitstellungsganglinien, aber auch ein bestimmter stärkerer Abfall der Verbrauchsganglinie festzustellen ist. Zu beachten ist, daß sich diese Auswirkungen auf die Biogasbereitstellung um die Fermentationsdauer verzögern und es deshalb denkbar wäre, daß der Basisverbrauch daran anschließend zeitweilig nicht gedeckt werden könnte.

5.2. Weitere Einsatzgebiete

Wenn der thermische Energiebedarf einer Tierproduktionsanlage vollständig über andere Gebrauchsenergeträger gedeckt und überdies eine Biogasanlage betrieben wird, dann ist das gesamte Biogaspotential überschüssig. Eine solche Variante setzt Konzeptionen voraus, die einen (vorrangigen) Einsatz des Biogases entweder für thermische Zwecke außerhalb der eigenen Tierproduktionsanlage oder zur Elektroenergieerzeugung oder als Treibstoff vorsehen. Von den zu prüfenden Varianten sollten diejenigen den Vorrang haben, die einen dem Anfall des Biogases entsprechenden zeitgleichen Einsatz garantieren. Je besser das gelingt, um so größer ist die nutzbare Biogasmenge, da eine Speicherung größerer Gasmengen nicht ökonomisch ist. Zu solchen Anwendungsfällen zählen die partielle Deckung des hohen Wärmebedarfs von Schweine- und Geflügelzuchtanlagen, die Einspeisung in ein öffentliches Gasversorgungsnetz, die Deckung des Prozeßenergiebedarfs günstig gelegener Fremdbetriebe. Die Elektroenergieerzeugung zählt prinzipiell ebenfalls dazu. Hier ist aber die Verwertung der thermischen Abfallenergie, deren Energieinhalt mindestens das Doppelte der anteiligen Elektroenergie ausmacht, am Ort der Entstehung zu sichern (Wärme-Kraft-Kopplung). Ein Einsatz als Motortreibstoff ist bei einem hohen Biogasangebot erwägenswert. Allerdings verlangt das einen nicht unerheblichen finanziellen und materiellen Aufwand für Gasreinigung, -verdichtung, -speicherung unter hohem Druck sowie für Umrüstung und Betankung der Fahrzeuge.

6. Zusammenfassung

Biogasanlagen sind integrale Bestandteile sowohl der betrieblichen Energieversorgungs- als auch der Gülleverwertungseinrichtungen industriemäßiger Tierproduktionsanlagen. Ihr Energiepotential ist proportional dem Gülleanfall (Trockensubstanz). Der Prozeßenergiebedarf ist eine Funktion des Wassergehalts und der erforderlichen Temperaturerhöhung der

Gülle. Auch die zur Deckung der Leitungs- und Strahlungsverluste sowie zur Güllebewegung und Gasverwertung notwendigen Energiebeiträge zählen dazu. Auf den wahrscheinlichsten Arbeitsbereich bezogen, sind daraus die thermischen und energetischen Wirkungsgrade von Biogasanlagen, die auf Rinder- und Schweinegülle ausgelegt sind, berechnet worden. Die günstigsten η_{en} -Werte liegen bei 80 bzw. 90 %.

Von den möglichen verfahrenstechnischen Lösungen wird das Beckenverfahren erwähnt. In bezug auf die Verwertung des Biogases spielen die Interpretation der geordneten Jahresbelastungsganglinien und die daraus ableitbaren Einsatzvarianten eine wichtige Rolle.

Literatur

- [1] Koriath, H., u. a.: Aufbereitung und Verwertung von Gülle. Markkleeberg: agrabuch 1980.
- [2] Engshuber, M.; Biet, J.: Zur Dimensionierung von Biogasanlagen. Energieanwendung 31 (1982) H. 1, S. 23—27.
- [3] Meynell, P.-J.: Biogas-Anlagen. München: Pfriemer-Verlag 1980.
- [4] Dohne, E.: Biogas Production from Organic Agricultural Wastes. United Nations, Report FAO/ECE/AGRI/WP.2/R.38, Genf 1979.
- [5] Biet, J.: Gewinnung methanhaltiger Brenngase durch thermophile Faulung. Energietechnik 31 (1981) H. 10, S. 373—377.
- [6] Döring, R., u. a.: Wärmetechnische Isolierung. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1981.
- [7] Häusler, F.: Die BIMA-Anlage. energie 2 (1981) ÖNE-Sonderheft E'80: Alternativenergien, S. 16—18.
- [8] Engshuber, M.; Biet, J.: Biogas — seine Ausichten in der DDR. Energietechnik 30 (1980) H. 12, S. 466—470.
- [9] Report of Committee B „Production of Manufactured Gases, part SC B IV, Report IGU/B — 82 des XV. Weltgaskongresses, Lausanne 1982.
- [10] Verfahren und Vorrichtung zur kontinuierlichen Erzeugung von Biogas. Patent WP C 02 C/237 247 o vom 8. Februar 1982.
- [11] Hanke, E.; Schupp, S.: Wärmeenergetische Prozeßanalyse in einer Milchviehanlage. agrartechnik 30 (1980) H. 11, S. 483—485.

A 3521

Ing. Peter Heß verstorben



Am 24. Juli 1982 verstarb im Alter von 56 Jahren nach kurzer schwerer Krankheit Ing. Peter Heß, Chefkonstrukteur Bodenbearbeitung im Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Bodenbearbeitungsgeräte Leipzig. Peter Heß war nach Abschluß des Ingenieurstudiums seit 1952 im VEB Bodenbearbeitungsgeräte Leipzig tätig. Er hat sich vom Konstrukteur über den Gruppenleiter bis zum Chefkonstrukteur Bodenbearbeitung entwickelt. Seine schöpferische Tätigkeit, sein hohes Können und seine Erfahrungen waren die Grundlage für die Entwicklung der Bodenbearbeitungstechnik in der DDR. Unter seiner Leitung wurden besonders die Bodenbearbeitungsgeräte entwickelt, die heute für die Mechanisierung der Bodenbe-

arbeitung in der Landwirtschaft der DDR, aber auch in vielen sozialistischen Ländern und in einer Reihe von Entwicklungsländern große Bedeutung haben. Dazu gehört vor allem die Baureihe der Aufsattel-Beetpflüge B 200 und B 201, die nach dem VIII. Bauernkongreß 1964 für Traktoren der 20-kN-Zugkraftklasse entwickelt wurden und von denen gegenwärtig allein in der Landwirtschaft der DDR mehr als 13000 Stück im Einsatz sind. Mit diesen Pflügen wurden erstmalig hydraulische Überlastsicherungen zur Anwendung gebracht, wie sie heute auch international weit verbreitet sind. Die Einführung schwerer Traktoren der 50-kN-Zugkraftklasse erforderte die kurzfristige Entwicklung von Aufsattel-Beetpflügen mit und ohne Überlastsicherung. Unter Leitung von Ing. Peter Heß wurde, beginnend im Jahr 1976, eine Reihe von Aufsattel-Beetpflügen für diese Traktoren konstruiert und zum größten Teil in die Produktion übergeführt, die den unterschiedlichen Anforderungen der DDR-Landwirtschaft, aber auch der Landwirtschaft anderer Länder gerecht wurden. Nach dem Aufsattel-Beetpflug B 550, der sich im In- und Ausland zwischenzeitlich vielfältig bewährt hat, entstanden der Aufsattel-Beetpflug B 552 für Moor- und Wiesenbruch und der Aufsattel-

Beetpflug B 551 für schwere Böden mit Arbeitstiefen bis zu 35 cm. Parallel dazu wurde von Ing. Heß ein Scharschälplflug mit einer Arbeitsbreite von 4,20 m konzipiert, dessen Produktion und Anwendung in der Landwirtschaft er durch seinen frühen Tod nicht mehr erleben konnte.

In bilateralen und multilateralen Arbeitsgremien hat sich Peter Heß die Achtung und Anerkennung als ein hervorragender Spezialist auf dem Gebiet der Mechanisierung der Bodenbearbeitung nicht nur bei der Entwicklung von Pflügen, sondern auch von Saatbettbereitungsgeräten und besonders von Kombination der Grundbodenbearbeitung und Oberflächenbearbeitung erworben.

Für seine Verdienste wurde er als Verdienter Techniker des Volkes, mit dem Orden Banner der Arbeit, mit der Theodor-Neubauer-Medaille sowie mehrfach als Aktivist ausgezeichnet.

Alle, die ihn als Menschen, als Leiter eines Kollektivs und als Fachmann kannten, werden ihm ständig ein ehrendes Andenken bewahren.

AK 3547

Dr. H. Dünnebeil, KDT