

Anforderungen an gastechnische Anlagen beim Einsatz von Biogas¹⁾

Stud.-Dir. Obering. J. Kowaczek, KDT, Ingenieurschule für Energiewirtschaft Marktleberg

Biogasanlagen — gastechnische Anlagen
 Biogas stellt neben den bisher üblichen Brenngasen (Stadtgas, Erdgas) nunmehr zur Befriedigung vor allem lokaler Energiebedürfnisse einen weiteren Energieträger dar, der unter bestimmten Bedingungen eine Alternative für definierte Versorgungs- oder auch Substitutionsaufgaben bildet.
 Während für Brenngase von Stadtgas- bzw. Erdgasqualität eine Vielzahl konkreter Erfahrungen und Vorschriften existiert, die auch für deren nichtöffentliche Anwendung herangezogen werden, gibt es derartige Unterlagen für Biogas noch nicht. Geht man jedoch davon aus, daß Biogas in seiner angenommenen durchschnittlichen Qualität ($v_{CH_4} \approx 0,6$; $v_{CO_2} \approx 0,4$; $H \approx 22 \text{ MJ/m}^3$; $d_v \approx 0,9$) etwa mit einem Erdgas der Qualität E 60 vergleichbar ist, so kann abgeleitet werden, daß alle vorliegenden Erfahrungen und Vorschriften sinngemäß auch für Biogas und Biogasanlagen gelten und zu übernehmen sind. Künftig wird man bei Über-

arbeitungen und Neufassungen von Vorschriften (Standards) den Geltungsbereich für Biogas mit einschließen müssen.
 Bei weiteren Betrachtungen zu gastechnischen Anlagen muß davon ausgegangen werden, daß Biogas ein Brenngas ist und im Umgang mit ihm grundsätzliche Sicherheitsmaßnahmen zu beachten sind. Besonders herauszustellen ist dabei die Explosionsgefahr, die unter folgenden Bedingungen gegeben ist:
 — Vorhandensein eines Biogas-Luft- bzw. Biogas-Sauerstoff-Gemisches im Bereich zwischen unterer Zündkerze ($Z_u \approx 5\%$) und oberer Zündgrenze ($Z_o \approx 12\%$)
 — Vorhandensein einer Zündquelle mit der erforderlichen Zündenergie (Zündtemperatur 650 bis 750 °C)
 — Vorhandensein eines quasigeschlossenen Raumes mit der Möglichkeit eines Druckaufbaus.
 Notwendig ist also, daß mit Sicherheit immer mindestens eine dieser Voraussetzungen ausgeschlossen wird.
 Ein sicherer Betrieb der gastechnischen Anlagen wird in erster Linie durch sachkundiges Ausführen und Betreiben garantiert.
 In Anlehnung an [1] ist daher grundsätzlich zu

fordern, daß zu den Arbeiten nur solche Werk-tätige eingesetzt werden, die die erforderliche Qualifikation haben:
 — Ausbildung in einem gasfachlichen Beruf (Facharbeiter, Meister, Ingenieur)
 — praktische Erfahrungen und Kenntnisse auf gastechnischem Gebiet
 — Absolvierung eines Lehrgangs beim zuständigen VEB Energiekombinat
 — Vorhandensein erforderlicher Meß- und Prüfeinrichtungen sowie des einschlägigen Vorschriftenwerks.

Übersicht über technologische Grundschemata
 Der konstruktive Umfang der gastechnischen Anlagen richtet sich nach dem technologischen Grundschemata, das sich vor allem aus folgenden Größen ableitet:
 — anfallende Gasmenge
 — Einsatzzweck/Anwendungsanlage
 — Entfernung Reaktor-Anwendungsanlage.
 So können zwischen Reaktorausgang und Brenner folgende Anlagen in der Gasleitung angeordnet sein (Bild 1):
 — Gebläse
 — Schwefelreinigungsanlage

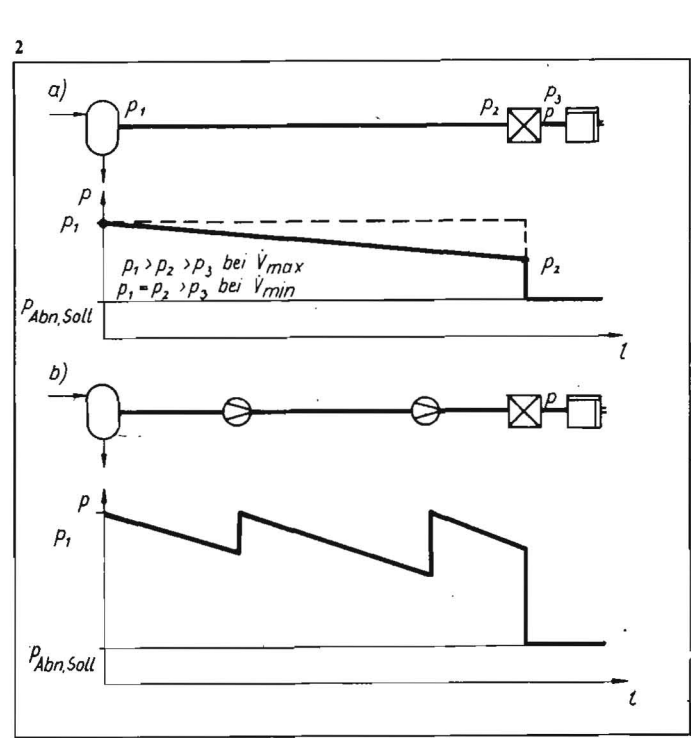
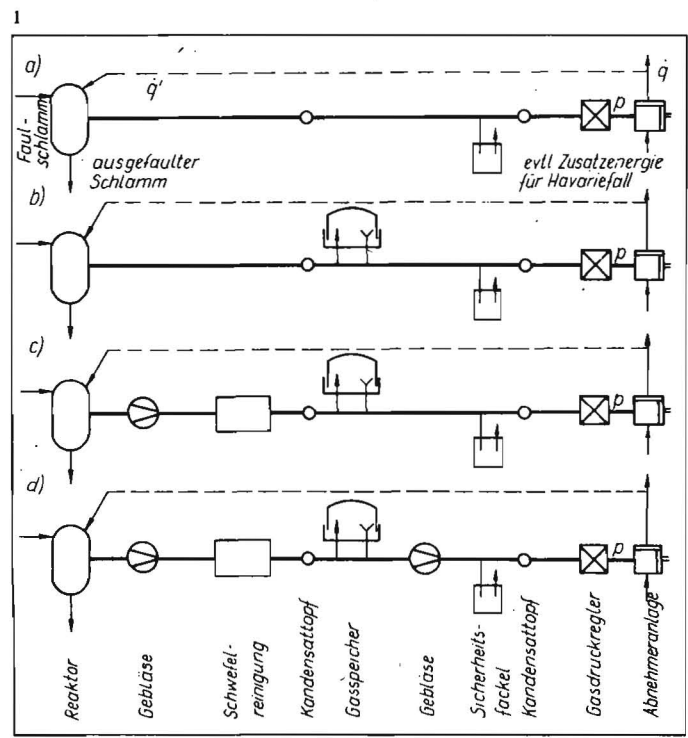
1) Kurzfassung eines Vortrags zur Informations-tagung Biogas in Freiberg am 15. Dezember 1981

Bild 1. Technologische Grundschemata gastechnischer Anlagen:
 a) direkter Einsatz, ohne Reinigung
 b) Einsatz über Gasspeicher
 c) Einsatz über Gasspeicher, mit Reinigung, 1 Gebläse
 d) Einsatz über Gasspeicher, mit Reinigung, 2 Gebläse

Bild 2. Druckregime;
 a) ohne Verdichtung
 b) mit Verdichtung

Tafel 1. Angaben zur Dimensionierung von Biogasrohrleitungen

Nennweite	Kostenkennziffer	spezifischer Druckabfall	mögliche Transportentfernung bei $\Delta p = 2 \text{ kPa}$ (Rohrleitung ohne Einbauten)
mm	M/m	Pa/m	m
80	150,—	110	< 18
100	165,—	40	50
150	200,—	5	400
200	250,—	1,1	1800
300	315,—	0,15	13000



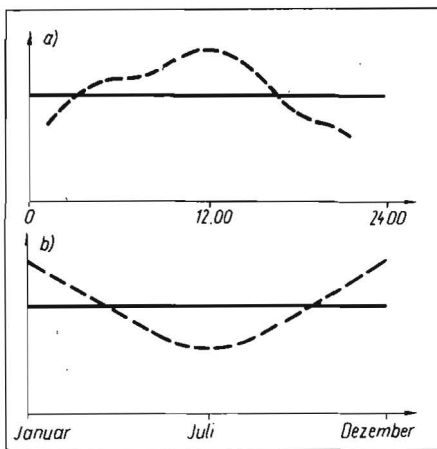


Bild 3. Gasspeicherung;
a) Tagescharakteristik
b) Jahrescharakteristik
— Biogasanfall
- - - Biogasbedarf

- Kondensatsammelbehälter
- Gasspeicherbehälter
- Sicherheitsfackel
- Gasdruckregler
- Gasanwendungsanlage.

Dabei sind nur unbedingt erforderliche Anlagen vorzusehen. In die Betrachtungen muß jedoch die Gesamtanlage, d. h. auch die Abgasanlage, die Lebensdauer der Kesselanlagen und der Umweltschutz, mit einbezogen werden. Im Hinblick auf eine möglichst schnelle Realisierung, d. h. Nutzung des Biogases z. B. zur Heizölablösung, kann auch eine stufenweise Komplettierung der Anlage entsprechend Bild 1 vorgenommen werden.

Anforderungen an einzelne gastechnische Anlagen

Druckregime

Technologischer Aufbau und Druckregime bedingen sich gegenseitig (Bild 2). Geht man davon aus, daß am Anfang der gastechnischen Anlagen ein Anfangsdruck p_1 als Reaktor- oder Brennerdruck von 5 kPa entsteht und am Brenner, je nach Anlage, d. h. Kessel- bzw. Brennertyp, noch ein Druck p_2 von 3 kPa erforderlich ist, steht für die Transportaufgabe ein Druck von $\Delta p = p_1 - p_2 = 5 \text{ kPa} - 3 \text{ kPa} = 2 \text{ kPa}$ zur Verfügung. Damit müssen der Druckverlust der geraden Rohrleitung gemäß der Beziehung

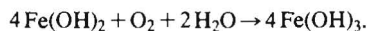
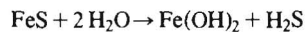
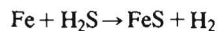
$$\Delta p = p_1 - p_2 = C \frac{\dot{V}^2 d_v l \lambda}{d^5}$$

sowie zusätzlich die Summe der Widerstände durch Armaturen und Einbauten abgedeckt werden. Reicht der zur Verfügung stehende Wert von Δp dafür nicht aus, muß eine zusätzliche Verdichtung, d. h. Druckerhöhung, vorgesehen werden, um zu garantieren, daß die Bedingung $p_2 > p_3$ (Bild 2) erfüllt wird. Von den zusätzlichen Widerständen der Einbauten abgesehen, die als bekannt vorausgesetzt werden können, ergeben sich für die Dimensionierung der Biogasrohrleitung die Verhältnisse entsprechend Tafel 1.

Gasreinigung

Biogas ist ein feuchtigkeitsgesättigtes Gas mit einem hohen CO_2 -Gehalt und einem H_2S -Gehalt von rd. $3,0 \text{ g/m}^3$. Vor allem aufgrund des H_2S -Anteils kommt es durch das beim Transport anfallende Kondensat zu erheblichen Korrosionen an Stahlteilen der Gasanlage. Außerdem können bei Tau-

punktunterschreitung in den Abgasanlagen (Taupunkt 45 bis 60°C) erhebliche Korrosionen an den Kesselanlagen und unzulässige Umweltbelastungen auftreten:

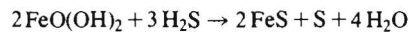


Daher ist zumindest bei größeren Anlagen eine Schwefelreinigung anzustreben, die dann vor einer eventuellen Gasspeicherung anzuordnen ist. Hierzu kommen unter Beachtung der an Biogasanlagen vorliegenden Druck- und Mengenverhältnisse zwei Verfahren in Betracht, die nachfolgend diskutiert werden.

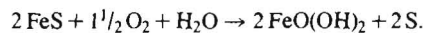
Niederdruck-Trockenentschwefelung

Die Niederdruck-Trockenentschwefelung mit Reiniger- oder Regeneriermassen (nach Standard TGL 190-466/02) wird z. B. noch im Gaswerk Potsdam angewendet.

Reinigung:



Regeneration:



Die in Reinigerkästen auf Holzborden aufgebraute Reiniger- oder Regeneriermasse (z. B. auf Eisenoxid- bzw. Eisenhydroxidbasis) wird vom Gas durchströmt. Dabei erfolgt eine H_2S -Entfernung bis auf einen Volumenanteil von rd. $0,001\%$. Die verbrauchte Reiniger- oder Regeneriermasse muß nach Ausdampfung manuell — die Arbeitskräfte sind mit Atemschutzgeräten auszurüsten — mit Hacke und Schaufel ausgetragen werden. Sie kann durch Ausrösten oder Umschaukeln (Sauerstoffanreicherung) wieder regeneriert werden. Dieses Verfahren ist relativ kostenaufwendig, bindet viele Arbeitskräfte und erfordert zusätzlichen Einsatz von Energie und Hilfsstoffen (z. B. Elektroenergie, Dampf, Wasser und Inertgas). Es wäre aber grundsätzlich in der DDR importunabhängig realisierbar.

Gegenstrom-Entschwefelung in H_2S -Umlaufreinigungsanlagen nach Raffleur (Granulatverfahren)

Die Reiniger- oder Regeneriermasse durchwandert mechanisiert von oben nach unten einen siloartigen Behälter und wird dabei im Gegenstrom vom Gas durchströmt. Dieses Verfahren wurde im Zeitraum von 1966 bis 1973 im Gaswerk Gera angewendet. Die erforderliche Reiniger- oder Regeneriermasse, ein Granulat aus Kiesabbrand und Zement, wurde vom VEB Chemiewerke Coswig hergestellt und war ebenfalls regenerierfähig.

Im Vergleich zur Reinigung in Reinigerkästen ist dieses Verfahren moderner und vorteilhafter. Die Aufwendungen für Fläche, Ausrüstungen und Bau sind geringer. Die körperlich schwere Arbeit des Ausschaukelns entfällt. Erforderlich wären eine zentral veranlaßte Entwicklung von Typenlösungen sowie die Bereitstellung des Granulats.

Insgesamt wird jedoch eingeschätzt, daß gegenwärtig eine Gasreinigung „in Einzelfertigung“ mit vertretbarem Aufwand praktisch nicht realisierbar ist. Die Betriebsbedingungen müßten daher zumindest so gestaltet werden, daß der Taupunkt von 45 bis 60°C nicht unterschritten wird, die Abgastemperatur deutlich über dem Säuretaupunkt liegt ($> 180^\circ\text{C}$) und die Kesselwandtemperatur möglichst $> 130^\circ\text{C}$ erreicht.

Werden Reinigungsanlagen vorgesehen, dann sind Druckerhöhungen durch Gebläse bzw. Verdichter unumgänglich (s. Bilder 1 und 2).

Der H_2S -Gehalt bringt einen typischen Geruch mit sich, durch den das Gas beim unkontrollierten Ausströmen aus den Anlagen wahrgenommen werden kann. Deshalb muß bei Verwendung einer Schwefelreinigungsanlage das gereinigte Gas aus Sicherheitsgründen odoriert werden. Dazu dient ein Odoriermittel, z. B. Lauchhammer F7, das über die Kondensatsammelbehälter zugesetzt wird.

Gasspeicherung

Die Notwendigkeit der Gasspeicherung ergibt sich aus der Tatsache, daß bei schwankendem Energiebedarf zwischen Gasanfall (Gaserzeugung) und Gasabnahme (Gasbedarf) im Verlauf des Tages sowie im Verlauf des Jahres Unterschiede auftreten (Bild 3). Üblicherweise wird dabei der Tagesausgleich mit etwa 50 bis 70% der Tageserzeugung berücksichtigt. Ein Jahresausgleich ist dagegen nicht möglich. Zur Gasspeicherung werden meist nasse Niederdruck-Glockengasbehälter aus Stahl (TGL 190-351/01 und 02; TGL 190-373/01 und 02) eingesetzt. Sie sind wartungsaufwendig (Korrosionsschutz außen und innen, Beheizung des Sperrwassers zur Frostfreiheit). Die Kosten erreichen nach Informationen des Chemieanlagenbaus die in Tafel 2 zusammengestellten Werte. Mit dem Speicher ist man in der Lage, Spitzen im Gasbedarf auszugleichen. Dagegen müßte bei einem Abnahmeminimum bei gefülltem Behälter über die Sicherheitsfackel abgeflackelt werden, wenn es nicht gelingt, dafür weitere Gasabnehmer zu finden. Unter dem Aspekt der rationellen Energieanwendung sind jedoch in jedem Fall Überlegungen anzustellen und alle Anstrengungen zu unternehmen, um das anfallende Biogas energiewirtschaftlich zu nutzen.

Tafel 2. Kosten für Niederdruck-Glockengasbehälter

		Volumen 5 000 m ³	10 000 m ³
Fertigungskosten M	0,920 · 10 ⁶	1,120 · 10 ⁶	
mit Montagekosten M	1,150 · 10 ⁶	1,400 · 10 ⁶	

Große Bedeutung kommt dabei einer gründlich durchdachten Einsatzkonzeption zu, die Fragen der Kooperation, der 2-Stoff-Fahrweise, der Trocknungsprozesse, der Änderung zeitlicher Abläufe bestimmter Arbeiten, des Betriebens von Beregnungsanlagen mit gasbetriebenen Motoren u. a. einschließt. Für bestimmte Brenner bzw. bei größeren Entfernungen bis zum Einsatzort selbst ist nach der Gasspeicherung nochmals eine Verdichtung erforderlich.

Kondensatabscheider

Das anfallende Gas ist bei der Temperatur von rd. 35°C feuchtigkeitsgesättigt und scheidet bei Abkühlung auf 20°C Kondensat aus:

$$35^\circ\text{C} \rightarrow 47 \text{ g H}_2\text{O/m}^3 \text{ Gas}$$

$$20^\circ\text{C} \rightarrow 19 \text{ g H}_2\text{O/m}^3 \text{ Gas}$$

Daraus ergibt sich ein Wasseranfall von $28 \text{ g H}_2\text{O/m}^3 \text{ Gas}$.

Bei einer angenommenen Tagesproduktion von $10\,000 \text{ m}^3$ würden dementsprechend bei Abkühlung von 35°C auf 20°C täglich 280 t Wasser anfallen. Dies muß in Kondensatsammelbehältern (Wassertöpfe), die in oder an die Leitung ein- bzw. angebunden werden, aufgefangen und kontinuierlich entfernt werden (TGL 20790). Die Wassertöpfe werden dazu an natürlichen oder künstlichen Tiefpunkten der Gas-

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 m³/kg für Rindergülle; a = 0,35 m³/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 Fermentieranlage 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