

7. Schlußbemerkung

Für die Bearbeitung von Schweinegülle und ihre Anwendung werden verschiedene physikalische, biologische und chemische Prozesse genutzt, die an der Aufbereitung des Eingangsmaterials nach agrotechnischen, hygienischen und anderen Anforderungen beteiligt sind.

Durch die hohen Ansprüche und den umfassenden Charakter dieser Arbeitsgänge gehört die Güllebearbeitung zu den kompliziertesten landwirtschaftlichen Technologien. Diese Feststellung gewinnt durch die gesellschaftlichen Anforderungen noch an Bedeutung. Die Grundarbeitsgänge der Aufbereitung stellen vorwiegend physikalische Prozesse dar. Die übrigen – chemischen und biologischen – Prozesse ergänzen die erstgenannten lediglich in gewisser Hinsicht. Vor allem die biologischen Prozesse zeichnen sich durch fest umrissene Anforderungen aus. Die Temperatur wird stets ein entscheidender Qualitätsfaktor sein. Die Kompliziertheit der dabei ablaufenden Prozesse ist

Tafel 1
Technologien der Behandlung von Schweinegülle

ausgearbeitete Technologien	zukünftige Technologien
1. Technologie der Düngung mit Gülle (Bild 1)	1. Technologie der Düngung mit Gülle durch Einsatz eines selbstfahrenden Verteilfahrzeugs, Streuers und der Errichtung von Felddeponien
2. Technologie der Düngung mit separierter Gülle (Bild 2)	2. Technologie der Algenzüchtung
3. Technologie des Eindickens der Gülle (Bild 3)	3. Technologie der Kultivierung fotosynthetischer Bakterien
4. Technologie des Klärbeckens – aerobe Stabilisierung, variable thermophile Stabilisierung	4. Technologie der Güllehydrolyse und der Züchtung von Hefepilzen ausgewählter Stämme
5. Technologie des Klärbeckens – anaerobe Gärung	5. Technologie der Ölerzeugung

auch die konkrete Ursache dafür, daß es während des letzten Jahrzehnts im Weltmaßstab nicht zu wesentlichen qualitativen Veränderungen bei den technologischen Linien kam. Dazu sind umfassende Forschungsarbeiten unerlässlich. Das ist wahrscheinlich

auch der Grund dafür, daß die geforderte Vielfalt von Lösungsvarianten bisher unter Betriebsbedingungen nicht erreicht werden konnte. In der Mehrzahl handelt es sich um Arbeiten mit perspektivischem Charakter.

AÜ 3458

Zur volkswirtschaftlichen und betrieblichen Bewertung der Biogaserzeugung und -anwendung

Dipl.-Ing.-Ök. Ute Rockstroh, KDT, Ingenieurhochschule Zittau, Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft
Dozent Dr.-Ing. J. Wilsdorf, KDT, Ingenieurhochschule Zittau, Sektion Kraftwerksanlagen und Energieumwandlung

1. Einleitung

Die technische Erschließung und die wirtschaftliche Verwertung regenerierbarer Energiequellen als Beitrag zur Deckung des Energiebedarfs der Gesellschaft und zur Substitution fossiler Energieträger sind in jüngster Zeit zunehmend in den Vordergrund gerückt worden. Untersuchungsgegenstand sind neben der direkten, z. B. über Sonnenkollektoren möglichen Sonnenenergienutzung auch indirekte Nutzungsvarianten, die von der anaeroben Fermentation organischer Substanz ausgehen. Zu den als Ausgangsstoff dienenden Biomassen zählen sowohl rein pflanzliche Rohstoffe als auch menschliche und tierische Exkremente. Von besonderem Interesse ist die bei der industriemäßigen Tierproduktion konzentriert anfallende Gülle, deren Behandlung zugleich auch ein ökologisches Erfordernis geworden ist.

Im Jahr 1981 wurden in der DDR in genossenschaftlichen und kooperativen Einrichtungen rd. 4,4 Mill. Kühe, 10 Mill. Schweine und 20 Mill. Hühner gehalten [1]. Unter Berücksichtigung der in [2] genannten Werte für die Ausbeute wird damit ein Biogaspotential von rd. 6,1 Mill. m³/d repräsentiert. Bei Beschränkung auf die geeignetsten Standorte kann mit einem Biogaspotential von 200 Mill. m³/a aus rd. 290 Anlagen gerechnet werden [3]. Daraus folgt eine vornehmlich lokale, dort aber erhebliche Bedeu-

tung der Biogaserzeugung, die außerdem wesentlich durch das Verhältnis zwischen Erzeugung und Bedarf an Biogas bestimmt wird. Für eine volkswirtschaftlich effektive Gestaltung der Biogaserzeugung und -verwertung sind Betriebe und Prozesse der Pflanzenproduktion in die territoriale Kopplung mehr als bisher einzubeziehen. Ausgehend von der Doppelfunktion einer Biogasanlage – Desodorierung und hygienische Stabilisierung aller anfallenden Gülle sowie Bereitstellung eines energetisch hochwertigen Energieträgers – sollen nachfolgend einige ausgewählte Aspekte der Faulschlammqualität und -nutzung sowie einer effektiven Biogasverwertung dargestellt werden.

2. Einfluß der Biogaserzeugung auf die Gülleverwertung

2.1. Randbedingungen für den Einsatz von Biogasanlagen

Die organische Düngung, die hauptsächlich auf dem Einsatz tierischer Exkremente beruht, hat wesentlichen Einfluß auf die Stabilisierung der Pflanzenproduktion. Dies gilt in besonderem Maß für Sandböden, die in der DDR rd. ein Drittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche einnehmen. Um eine Diskrepanz zwischen dem Bedarf an organischer Substanz und deren Reduzierung bei anaerober Fermentation, wie sie bei der Biogaserzeugung

auftritt, zu vermeiden, sind Biogasanlagen nur an Standorten zu errichten, wo – Gülleüberschuß vorhanden ist – die sonstige Verwertung des örtlichen Gülleanfalls unökonomisch wird.

Solche Bedingungen sind hauptsächlich an Standorten mit größeren industriemäßigen Tierproduktionsanlagen gegeben. Unabhängig davon machen die Beeinträchtigung der Umwelt und Verschiebungen der ökologischen Bedingungen bis hin zur Beeinflussung des Grundwassers eine Güllebearbeitung zwingend notwendig. Hinsichtlich der Faulschlammverwertung stellen also Düngewert, Geruchsminderung und Hygienisierung wichtige Randbedingungen dar.

Die quantitativen und qualitativen Abläufe und Beeinflussungsmöglichkeiten der Güllekonvertierung zu Faulschlamm sind gegenwärtig noch nicht restlos erforscht. Aus der Literatur [4 bis 8] lassen sich aber bereits jetzt wesentliche Schlußfolgerungen ziehen.

2.2. Düngewert

Im Gegensatz zu den herkömmlichen, aeroben Gülleaufbereitungsverfahren kann mit der anaeroben Biogaserzeugung der Kohlenstoffabbau in der Gülle gesteuert werden. Da sich Biogas vornehmlich aus den Kohlenstoffverbindungen Methan und Kohlendioxid zusammensetzt, wird – abhängig vom Ausfallungsgrad der organischen Substanz – der Kohlenstoffgehalt des ursprünglichen

Einsatzsubstrats reduziert. Dies führt zu einem gegenüber der Gülle engeren Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis, das sich auf die Düngung günstiger auswirkt.

Das Lignin, das in den tierischen Exkrementen als unverdaulicher Nahrungsbestandteil enthalten ist, wird durch die anaerobe Fermentation in ein sehr reaktionsfähiges Stadium überführt. Ist ein günstiger pH-Wert (7 bis 9) gegeben, kann das Lignin bei Zutritt von Luftsauerstoff, wenn im Augenblick der Oxydation zugleich genügend Ammoniak vorliegt, Kernstickstoff anlagern und somit hochwertige Humusvorstufen bilden. Diese Voraussetzung ist bei frischem Faulschlamm erfüllt. Nachteilig für die Biogaserzeugung ist die hemmende Wirkung des Lignins auf die Gasproduktion.

Bei der anaeroben Fermentation wird Phosphor in eine für die Pflanzen besser nutzbare Form gebracht, und es bilden sich Spuren von Stoffen, die auf das Pflanzenwachstum positiv einwirken. Die Nährstoffe Kalium, Phosphorsäure und Kalk bleiben vollständig erhalten.

Bei aeroben Gülleaufbereitungsverfahren treten bis zu 25 % Verluste an Stickstoff auf, der als gasförmiges Ammoniak entweicht. Nach anaerober Fermentation ist etwa die Hälfte des Stickstoffs als gelöstes, von den Pflanzen sofort verwertbares Ammoniak enthalten. Mit dem Biogas wird nur ein geringer Ammoniakanteil abgeführt.

In Verbindung mit der Verfügbarkeitserhöhung durch Substanzabbau entsteht also mit dem Faulschlamm insgesamt ein gut verwertbarer, nährstoffreicher organischer Dünger. Eine grundlegende Entschärfung des Güllemengenproblems dagegen ist nicht zu erwarten. Durch das engere Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis, die Abnahme des organisch gebundenen Stickstoffs und den starken Zuwachs an Ammoniak kann eine veränderte Gestaltung der Düngung notwendig werden. Andererseits können die besseren Düngungseigenschaften des Faulschlammes eine Reduzierung des Mineraldüngereinsatzes und über diesen Weg weitere material- und energieökonomisch positive Effekte in der Volkswirtschaft bewirken.

2.3. Geruchsminderung

Die Geruchsbelästigungen durch faulende organische Substanz in offenen Behältern oder nach dem Feldaustrag beruhen auf der Auflösung von Ammoniakverbindungen, flüchtigen organischen Säuren und Sulfiden. In einem anaeroben Reaktionsraum hingegen werden diese Gase zum großen Teil mit dem Biogas abgeführt.

Die in direkter Abhängigkeit zum Ausfauungsgrad der organischen Substanz stehende Geruchsreduzierung ist im praktischen Betrieb durch die technisch-ökonomisch bestimmte Fauldauer begrenzt und daher nicht vollständig. In [7] wird eine Geruchsreduzierung des Faulschlammes gegenüber frischer Schweinegülle um 57 % bei 30 Tagen Fauldauer mitgeteilt. Bei einer anschließenden Lagerung über weitere 30 Tage blieb dieser Geruchsbelästigungsunterschied erhalten, zwölf Stunden nach Ausbringen des Faulschlammes wurde auf dem Feld nur noch ein leichter Geruch wahrgenommen.

Andere Quellen geben an, daß die Gülle ihren belästigenden Geruch bei einem Ausfauungsgrad von 30 bis 40 % sogar vollständig verliert.

2.4. Hygienisierung

Durch die anaerobe Fermentation werden die in der Gülle enthaltenen pathogenen Keime reduziert. Eine sichere Hygienisierung wird jedoch bei keinem anaeroben Verfahren erreicht, da eine vollständige Abtötung Temperaturen und eine Fauldauer erfordern würde, die sich technisch-ökonomisch und nicht zuletzt biochemisch nicht realisieren lassen. Dennoch kann die erzielte Teilhygienisierung als unbedingter Vorteil angesehen werden.

2.5. Volkswirtschaftliche Bewertung

Der erreichte, z. T. widersprüchliche Kenntnisstand zu den Hauptfaktoren

- Verbesserung des Düngewerts
- Ertragsveränderungen nach Menge und Qualität
- Einsparung an Kunstdünger
- Teilhygienisierung
- Reduzierung bzw. Wegfall von Folgeschäden des Gülleaustrags

läßt eine quantitative Beurteilung der Einflußnahme einer Biogaserzeugung auf die Güllequalität noch nicht zu. Umfassende Untersuchungen unter Berücksichtigung volkswirtschaftlicher Verflechtungsbeziehungen zur richtigen ökonomischen Bewertung von Biogasanlagen über den rein energetischen Effekt hinaus sind unbedingt notwendig.

3. Varianten der Biogasverwertung

Über die brenntechnischen Eigenschaften des bei der anaeroben Fermentation organischer Substanz entstehenden Biogases sowie die energetischen und anwendungstechnischen Probleme und Möglichkeiten ist bereits mehrfach veröffentlicht worden [2, 9]. Von besonderer Bedeutung sind dabei:

- das Einbeziehen der Sekundärenergienutzung innerhalb der Verwertungsvarianten
- die effektive Nutzung der über Biogas erzeugten Gebrauchsenergieträger sowohl in der Biogasanlage selbst als auch in neben- und nachgelagerten Prozessen und
- die optimale Verflechtung der Biogasverwertung mit den Energieanwendungsprozessen im wirtschaftlich erschließbaren Umkreis unter Beachtung territorialer

Aspekte und des jahreszeitlich schwankenden Verhältnisses zwischen Biogasanfall und Energiebedarf.

Nachstehend sollen dazu einige weiterführende Aspekte dargestellt werden.

3.1. Variantenübersicht

Bild 1 zeigt, daß der Einsatz von Biogas als Brenngas oder als Treibstoff über eine Vielzahl möglicher Umwandlungsprozesse vor allem zu folgenden Gebrauchsenergieträgern führt:

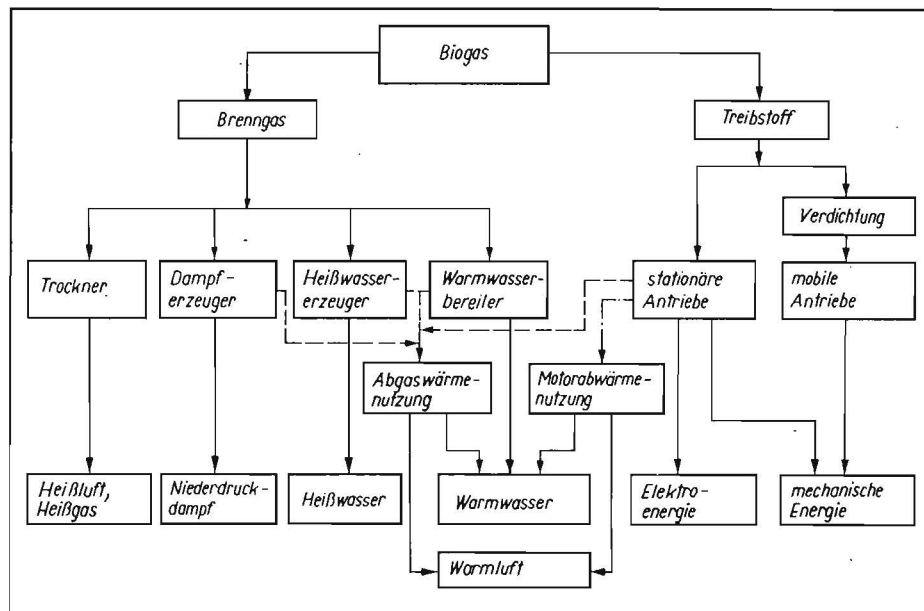
- Wärme (in Form von Dampf, Heißwasser, Heißluft oder Heißgas)
- mechanische Energie (über mobile oder stationäre Antriebe)
- Elektroenergie (über gasmotorgetriebene Generatoren).

Mit der Nutzung der Sekundärenergiequellen Abgaswärme und Motorabwärme können vorwiegend Warmwasser bzw. Warmluft zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs erzeugt werden. Das stellt u. U. eine Alternative zu einem Wärmepumpeneinsatz dar.

Hinsichtlich des anlagentechnischen Aufwands erscheint die Biogasverbrennung im betriebseigenen, auf Zweistofffahrweise umgerüsteten Heizhaus zur Bereitstellung von Heizwärme bei gleichzeitiger Substitution fester, ggf. auch flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe als die derzeit günstigste Verwertungsvariante. Mit dem Bruttogasanfall ist die Abdeckung des gesamten Heizwärmebedarfs einer Milchviehanlage mit 1930 Tierplätzen auch bei der niedrigsten Auslegungstemperatur möglich, wenn gleichzeitig der Eigenbedarf der Biogasanlage an Prozeßenergie (rd. 30 % des Bruttogasanfalls bei mesophilem Betrieb) durch Anfallenergienutzung und der Gebrauchswarmwasserbedarf durch Maßnahmen der rationellen Energieaufwendung im übrigen Bereich (z. B. durch Abwärmenutzung bei der Milchkühlung) gedeckt wird.

Die Nutzung des im Sommer anfallenden Gasüberschusses durch Integrieren eines Fremdbnehmers mit Produktionswärmebedarf in den Gas- bzw. Wärmeversorgungs-komplex ist oftmals aufgrund der großen Ent-

Bild 1. Übersicht zu Varianten der Biogasverwertung



fernungen zwischen den Standorten schwierig. Eine energetisch interessante Alternative ist die Gasverwertung zur Trocknung landwirtschaftlicher Güter in den Sommermonaten.

Angaben aus der Literatur zur Biogasqualität lassen einen solch hohen Anteil an Ammoniak und Schwefelverbindungen erwarten, daß ein Einsatz von Biogas in Gasmotoren ohne vorherige Gasreinigung problematisch, wenn nicht sogar ausgeschlossen erscheint. Werden diese Werte durch Betriebsergebnisse an konkreten Standorten in der DDR bestätigt, wird der Einsatz von Biogas als Treibstoff durch erhöhte Investitions- und Betriebskosten für Gasaufbereitungsanlagen erheblich vorbelastet und vermutlich erst oberhalb eines wirtschaftlichen Grenzwerts, dessen energieökonomische Bestimmung noch aussteht, diskutabel. Des weiteren sind Optimierungsprobleme hinsichtlich des Speicherns, Betankens und Mitführens des Treibstoffersatzes für mobile Antriebe einschließlich der notwendigen Druckerhöhung zu lösen.

Elektroenergie kann im Betrieb selbst oder durch Einspeisung in das Netz ganzjährig genutzt werden. Ihre Erzeugung kann daher zum Abbau des Biogasüberschusses im Sommer beitragen. Die Wirtschaftlichkeit eines solchen Gasmotor-Generator-Komplexes, dessen Leistung bei einem Biogasanfall von 2 000 m³/d maximal rd. 200 kW betragen kann, hängt nicht zuletzt wesentlich von der Realisierbarkeit der Motorabwärme- und Abgaswärmenutzung ab.

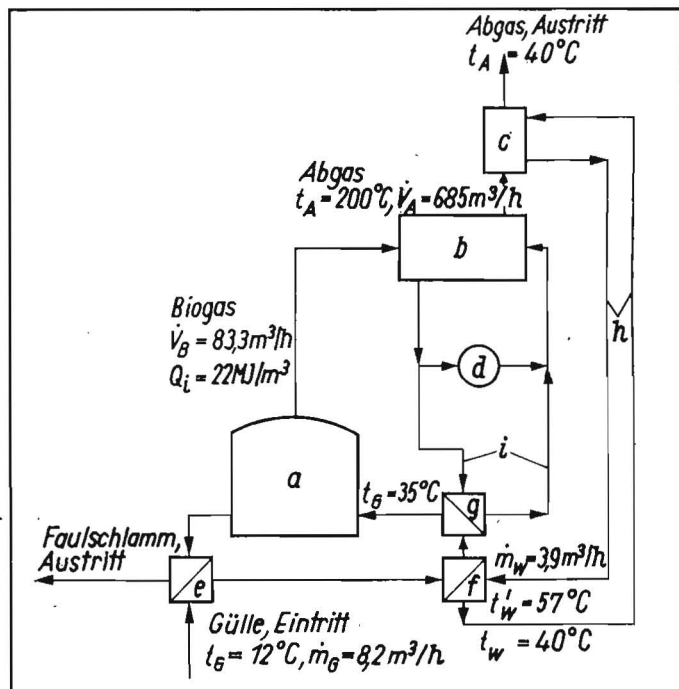
Eine interessante Variante sind auch in der Landwirtschaft Gasmotoren für die stationären Antriebe der Belüftungsaggregate von biologischen Abwasserreinigungsanlagen [10].

3.2. Kopplung der Abgaswärmenutzung bei der Biogasverwertung mit der Biogaserzeugung

Bei der Biogaserzeugung ist der weitaus größte Teil des Prozeßenergie-Eigenverbrauchs für die Erwärmung der Gülle auf Prozeßtemperatur aufzubringen. In einer Biogasanlage, die den Gülleanfall einer Milchviehanlage mit 1 930 Tierplätzen von 196 t/d mit einer Eintrittstemperatur von 12 °C unter mesophilen Bedingungen – d. h. einer Prozeßtemperatur von 35 °C – verarbeitet und dabei rd. 2 000 m³/d Biogas erzeugt, wird dafür eine Wärmemenge $Q_G = 790 \text{ MJ/h}$ benötigt. Da es sich hier um Niedertemperaturwärme handelt, lag es nahe, den Einsatz eines neu entwickelten Verfahrens zur Abgaswärmenutzung nach [11] zu untersuchen. Ein mögliche Schaltung zur Kopplung mit der Güllevorwärmung zeigt Bild 2.

Dieses Verfahren beruht darauf, daß Abgas, das aus vorgeschalteten Dampf- oder Heißwassererzeugern b mit Temperaturen von 140 bis 200 °C austritt, in einem Primärwärmeübertrager c im Direktkontakt mit einem flüssigen Medium – meist Wasser – unter den Wasserdampftaupunkt abgekühlt wird und dabei neben fühlbarer Wärme auch die Kondensationsenthalpie des im Abgas enthaltenen Wasserdampfs abgibt. Das flüssige Medium kann dabei je nach den gewählten Bedingungen auf 55 bis 60 °C erwärmt werden. Es wird gleichzeitig durch Aufnahme löslicher Bestandteile aus dem Abgas korrosiv, so daß ein geschlossener Primärkreislauf h notwendig wird. Ein sekundärer Wärmeübertrager f ermöglicht dann die Erwärmung

Bild 2
Biogasverwertung mit Abgaswärmenutzung zur Güllevorwärmung:
a Biogasreaktor, b Heißwassererzeuger, c Primärwärmeübertrager, d Verbraucher, e Wärmeübertrager I (Faulschlamm/Gülle), f Wärmeübertrager II (Primärkreislaufwasser/Gülle), g Wärmeübertrager III (Heißwasser/Gülle), h Primärwasserkreislauf, i Heißwasserkreislauf



des Nutzmediums. Eine materialökonomisch günstige Variante zur Beherrschung der Korrosionsproblematik sowohl von seiten des Primärkreislaufwassers als auch der Gülle besteht im Einsatz von Bauelementen – einschließlich Rohrleitungen und Wärmeübertrager – aus Rasothermglas.

Wird das gesamte Biogas der o. g. Anlage in einem Heißwassererzeuger b eingesetzt, fallen rd. 685 m³/h Abgas an. Wenn das Abgas von 200 auf 40 °C abgekühlt wird, kann eine Wärmemenge $Q_w = 280 \text{ MJ/h}$ zurückgewonnen und zur Erwärmung der Gülle auf eine Temperatur von 35 °C mit genutzt werden. Nimmt man an, daß mit dem aus dem Biogasreaktor a austretenden Faulschlamm im Wärmeübertrager e eine Vorwärmung der Gülle von 12 auf 25 °C erreicht wird, könnten dann rd. 90 % des Wärmebedarfs zur Gülleerwärmung aus Sekundärenergie gedeckt werden. Nur rd. 10 % sind dann noch durch zusätzliches Heißwasser i aufzubringen. Ein dafür zu installierender weiterer Wärmeübertrager g im Gülleweg wäre aus Gründen der Betriebssicherheit ohnehin erforderlich.

Ökonomische Bewertung der vorgestellten Verwertungsvariante

Unter den vorgenannten Bedingungen können aus dem Abgas beim Einsatz des neuen Verfahrens 15,2 % der mit dem Biogas in den vorgeschalteten Heißwassererzeuger eingebrachten chemisch gebundenen Energie, die sonst nutzlos an die Umgebung abgeführt würde, zurückgewonnen werden. Da Gleichzeitigkeit zwischen Bedarf und Anfall an Abgaswärme besteht, kann mit einer Benutzungsstundenzahl $T_B = 8 760 \text{ h/a}$ gerechnet werden, und die jährliche Einsparung beträgt

$$Q_B = Q_w T_B = 2 450 \text{ GJ/a.}$$

Unter Berücksichtigung des Heizwertes und des Wirkungsgrades führt dies zur Substitution folgender Brennstoffmengen:

- feste Brennstoffe (Brikett-Rohbraunkohlen-Gemisch im Wärmemengenverhältnis 1:3) 48,9 t/a Briketts, 335,7 t/a Rohbraunkohle (entsprechen 20 835 M/a nach Preisbasis 1984)
- Biogas 127 700 m³/a (entsprechen

62 185 M/a mit einem Heizwertäquivalent umgerechneten Preis – Preisbasis 1984 – nach Erdgas-Niederdruck-Mengenpreistarif).

Bei einem Investitionsaufwand von 37 500 M für die zusätzlichen Maßnahmen folgt daraus eine zugehörige Rückflußdauer von 2,5 bzw. 0,7 a.

Eine andere Variante zur Verwertung der mit der Abgaswärmenutzung gewonnenen Niedertemperaturwärme ist der Einsatz zur Gewächshausbeheizung, die bei entsprechender Lage des Heizhauses zu einer Gewächshausanlage territorial günstig sein könnte. Allerdings ließe sich mit der o. g. Wärmemenge $Q_w = 280 \text{ MJ/h}$ und bei einem spezifischen Heizwärmebedarf von $1,2 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h}$ ($\Delta t = 25 \text{ K}$) nur eine Gewächshausfläche von rd. 225 m² beheizen. Außerdem liegt hier die mögliche jährliche Benutzungsstundenzahl T_B wesentlich niedriger, so daß eine längere Rückflußdauer zu erwarten ist.

Eine auf den ersten Blick äußerst interessant erscheinende CO₂-Begasung des Gewächshauses mit dem noch 40 °C warmen Abgas aus der Biogasverbrennung nach der Abgaswärmenutzung als zusätzliche Maßnahme scheidet nach gegenwärtigen Erkenntnissen aus, weil der eingangs erwähnte mögliche Schwefelgehalt des Biogases zu SO₂-Gehalten im Abgas führen würde, die beim Direkt-einsatz weit über den tolerierbaren Grenzwerten für Schadstoffe in der Pflanzenproduktion liegen. Eine technisch mögliche Entschwefelung des Biogases oder auch des Abgases bringt zusätzliche ökonomische Belastungen. Vergleichende Berechnungen zur Quantifizierung dieser Überlegungen sind noch nicht durchgeführt worden.

3.3. Faulschlamm-trocknung mit Biogas

Ziel der thermischen Faulschlamm-trocknung ist die Reduzierung des Faulschlammvolumens. Sie kann besonders in den Vegetationsmonaten, in denen ein möglicher Gülleüberschuß auftritt, notwendig werden. Mit ihr können sowohl pflanzenbaulich positive Wirkungen als auch ökonomische Effekte, wie Senkung des Kraftstoffverbrauchs und

des Transportaufwands, bei der Faulschlammasubstanzung erzielt werden. Biogaseinsatz für landwirtschaftliche Trocknungsprozesse kann eine anteilige Substitution der dort derzeit zumeist eingesetzten gasförmigen oder flüssigen Energieträger bei gleichzeitigem Abbau von Biogasüberschuß im Sommer ermöglichen. Technische Schwierigkeiten, die durch Abweichungen der brenntechnischen Eigenschaften des Biogases von denen des Stadtgases oder des Erdgases entstehen, sind in [9] beschrieben worden und müssen beachtet werden.

3.4. Zur betrieblichen Bewertung der Biogasnutzung

Die betriebliche Bewertung der Biogaserzeugung kann gegenwärtig nur vom energetischen Effekt der Biogasnutzung ausgehen. Einen Orientierungswert erhält man, wenn man den Erdgas-Niederdruck-Mengenpreistarif heizwertäquivalent auf Biogas umrechnet. Bei einem Heizwert $Q_H = 22 \text{ MJ/m}^3$ und der Preisbasis 1984 ergibt sich ein Preis von $48,7 \text{ Pf/m}^3$. Spezifische Investitionskosten von $5 \text{ M je m}^3/\text{a}$ Brutto-Biogaskapazität führen bei einer normativen Nutzungsdauer von 15 a bereits zu einer Belastung von 33 Pf/m^3 Bruttogas allein durch die Abschreibungen, die sich bei einem Eigenverbrauch von 30 % auf 47 Pf/m^3 Netto-Gasproduktion erhöhen würden. Die Relationen zu den derzeitigen Preisen für feste Brennstoffe deuten die ökonomische Problematik der Brennstoffsubstitution an. Aus dieser Situation ergeben sich folgende Aufgaben:

- Herabsetzung der spezifischen Investitionskosten vor allem durch Erhöhung der

Raum-Zeit-Ausbeute, Einsatz billiger Typenbauelemente und Reduzierung des Aufwands für die Gasspeicherung

- maximale Nutzung von Sekundärenergie innerhalb des Prozesses
- Einbeziehung der ökonomischen Effekte aus Folgewirkungen der Biogaserzeugung und -verwertung.

4. Schlußbemerkung

Die im Beitrag behandelten Berechnungen und Überlegungen zeigen, daß die Biogaserzeugung im weiteren Sinne beachtliche Auswirkungen sowohl auf die Düngungs- als auch auf die Energiewirtschaft landwirtschaftlicher Komplexe hat, die über die betriebswirtschaftlichen Grenzen einer Tierproduktionsanlage hinausgehen. So ist innerhalb der Pflanzenproduktion der durch anaerobe Fermentation tierischer Exkremente, ggf. auch anderer organischer Rückstände entstehende Faulschlamm für die Düngung pflanzenphysiologisch und ökonomisch von Bedeutung, andererseits beeinflusst er das ökologische Gleichgewicht der von der Gülleaustragung erfaßten Gebiete nicht unerheblich. Schließlich tritt energetisch neben Brennstoffsubstitutionseffekten ein zusätzlicher Nutzen auch mit einer sinnvollen territorialen Verflechtung von Verwertungsvarianten ein. Die ökonomische Effektivität kann noch nicht eindeutig beurteilt werden. Der erreichte Kenntnisstand ermöglicht betriebswirtschaftliche Teilaussagen, läßt aber eine quantitative Beurteilung aller Zusammenhänge zwischen Biogaserzeugung und -verwertung sowie eine territorial optimale Variantenauswahl noch nicht zu. Weitere

Untersuchungen sind notwendig. Hierfür wurden einige wichtige Richtungen angegeben.

Literatur

- [1] Statistisches Jahrbuch der DDR 1981. Berlin: Staatsverlag der DDR 1982.
- [2] Engshuber, M.: Energetische Aspekte der Biogasproduktion. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 12, S. 537-541.
- [3] Engshuber, M.; Beyer, G.: Renaissance für Biogas? Technische Gemeinschaft, Berlin 31 (1983) 3, S.29-31.
- [4] Baader, W.; Dohne, E.; Brenndörfer, M.: Biogas in Theorie und Praxis. KTBL-Schrift 229. Münster/Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH 1978.
- [5] Poch, M.: Biogas - Wege zur zusätzlichen Energiegewinnung in der Landwirtschaft bei gleichzeitiger Verbesserung der Humuswirtschaft. Berlin: Dt. Landwirtschaftsverlag 1953.
- [6] Inden, P. P.: Mikrobielle Methanerzeugung aus Biomasse durch anaerobe Fermentation im technischen Maßstab. Technische Hochschule Aachen, Dissertation 1977.
- [7] Wenzlaff, R.: Erfahrungen mit Biogas im praktischen Betrieb. KTBL-Schrift 266. Münster/Hiltrup: Landwirtschaftsverlag GmbH 1981.
- [8] Meynell, P.-J.: Biogasanlagen. München: Udo Pfriemer Verlag GmbH 1980.
- [9] Biet, J.; Zschoke, K.: Zu einigen Fragen der Biogasanwendung. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 12, S. 531-534.
- [10] Klauwer, E.; Rumpf, H.-G.: Möglichkeiten zur Verringerung der Energiekosten und Einsparung von Primärenergie bei der Abwasserbehandlung. Brennstoff-Wärme-Kraft, Düsseldorf 32 (1980) 12, S. 372-380.
- [11] Wilsdorf, J.; Müller, R.: Erprobung und Bewertung eines Verfahrens zur Abgaswärmenutzung mit Taupunktunterschreitung. Energietechnik, Leipzig 33 (1983) 9, S. 339-344.

A 4016

Kriterien des Einsatzes von Biogas in mobiler Landtechnik

Dipl.-Ing. Dipl.-Betriebsw. G. Baumhekel, KDT, VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt in Sachsen

1. Volkswirtschaftliche Bedeutung des Einsatzes von Biogas

Als Energiewandler für die mobile Landtechnik hat sich weltweit bis auf wenige Ausnahmen der Dieselmotor durchgesetzt. Andere Antriebsaggregate werden auch im nächsten Jahrzehnt kaum von Bedeutung sein. In Ländern mit hohem Mechanisierungsgrad der Landwirtschaft wird deshalb für den Einsatz der mobilen Landtechnik ein hoher Anteil des Dieselmotorkraftstoffes (DK) der Volkswirtschaft benötigt. In der DDR beträgt dieser Anteil etwa ein Fünftel, obwohl die DK-Gesamtproduktion der DDR von 1950 bis 1980 auf fast das 14fache anstieg [1]. Der Rohstoff für die DK-Herstellung gehört jedoch zu den defizitären fossilen Energieträgern, die importiert werden müssen und in den 70er Jahren im Weltmaßstab einer unvorhergesehenen Preisexplosion unterlagen. So stieg der Rohölpreis international von 1970 bis 1982 auf rd. das 15fache, und obwohl sich die Situation wieder beruhigt hat, rechnen Experten mit einer nochmaligen Preisverdoppelung bis 1990 [2].

In den betroffenen Ländern sind deshalb neben drastischen Sparmaßnahmen, die die Volkswirtschaft der DDR z. B. bei steigender Produktion realisiert, in den letzten Jahren intensive Bemühungen zu verzeichnen, die aus Erdöl hergestellten Kraftstoffe durch Alternativkraftstoffe, wie Alkohole, Pflanzenöle, Holzgas, Autogas (LPG = Liquid Petroleum Gas), Wasserstoff, Erdgas und Biogas, zu ersetzen oder das Einsatzgebiet der Elektroenergie zu erweitern.

In der DDR wird *Elektroenergie* vorwiegend aus heimischer Rohbraunkohle hergestellt, ist allerdings nur zum Betreiben solcher Fahrzeuge und Maschinen geeignet, die netzabhängig (stationär oder quasistationär) arbeiten oder deren Energiebedarf bzw. Aktionsradius den Elektrospeicherbetrieb ermöglicht.

Für die Produktion von *Alkoholen* und *Pflanzenölen* sind in der DDR keine landwirtschaftlichen Nutzflächen vorhanden.

Die für die Vergasung geeigneten Holzreserven sind sehr begrenzt, aber immerhin eine Möglichkeit, die vorwiegend im Bereich der

Forstwirtschaft genutzt wird, um DK durch *Holzgas* zu ersetzen.

Autogas (LPG) ist ein Koppelprodukt der Erdölraffinerie und steht in der DDR nur in beschränktem Umfang für Großstadttaxis zur Verfügung.

Wasserstoff ist an und für sich ein idealer Energieträger, erfordert aber zu seiner Erzeugung noch mehr Energie als nutzbar ist, seine Speicherung im Fahrzeug ist weit problematischer als bei den anderen Gasen, die Verbrennungsprobleme im Motor sind erheblich, und der Stirlingmotor ist außerordentlich aufwendig und kompliziert [3].

Erdgas ist hauptsächlich Importrohstoff. Ausgehend von den Beschlüssen des X. Parteitag des SED [4] hat der Einsatz von Erdgas in Nutzkraftwagen (NKW) in der DDR begonnen.

Biogas schließlich hat im Prinzip die gleichen Eigenschaften wie Erdgas, aber darüber hinaus den entscheidenden Vorteil, daß es kein defizitärer fossiler Energieträger ist, sondern bei der Aufbereitung organischer Abfallstoffe in Kläranlagen und bei der ohne