

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  $33 \text{ Pf/m}^3$  Bruttogas allein durch die Abschreibungen, die sich bei einem Eigenverbrauch von 30 % auf  $47 \text{ Pf/m}^3$  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 Dünge- 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 Methanfermentation 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 Elektroenergiebetrieb 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

hin notwendigen Güllebehandlung in der Landwirtschaft immer wieder neu entsteht bzw. erzeugt werden kann. Deshalb wird im Bericht des ZK der SED an den X. Parteitag der SED die Erzeugung und Speicherung von Biogas als Energieträger gefordert [4].

Nach Expertenberichten der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR (zitiert in [5]) erscheinen in der DDR etwa 170 Anlagen der Rinderproduktion und etwa 120 Anlagen der Schweineproduktion als Standorte von Biogasanlagen als geeignet. Bei Großanlagen könnten Tagesproduktionen von 1 000 bis 6 000 m<sup>3</sup> Biogas veranschlagt werden, und mit dem geplanten Potential wären etwa fünf Prozent des gegenwärtigen Brennstoffverbrauchs bzw. theoretisch etwa acht Prozent des DK-Verbrauchs der Landwirtschaft der DDR substituierbar. Über die Inbetriebnahme der ersten großtechnischen Biogasanlage im Bereich der Landwirtschaft der DDR wurde in dieser Zeitschrift berichtet [6]. Das erzeugte Biogas dient zunächst vor allem für Heizzwecke und der anlagen- und saisonbedingte Überschuß für die Elektroenergieerzeugung. Die Verwendung von Biogas als Gebrauchsenergie in der eigenen Anlage ist mit dem geringsten technischen Aufwand und den niedrigsten Kosten verbunden.

In Anbetracht der dargestellten DK-Situation ist aber auch der mobile Einsatz von Biogas volkswirtschaftlich notwendig. Auf der Grundlage des bisherigen Erkenntnisstands werden deshalb die Kriterien des Einsatzes von Biogas in der mobilen Landtechnik untersucht.

## 2. Eigenschaften und Kennwerte von Biogas im Vergleich zu Dieselmotorkraftstoff

Biogas (auch Klärgas oder Faulgas genannt), das durch Vergärung organischer Masse gewonnen wird, enthält je nach Tierart, Futterbasis und Biogasanlage etwa folgende Volumenanteile:

- 55 bis 70 % Methan (CH<sub>4</sub>) als Energieträger
- 30 bis 45 % Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)
- 0,1 bis 0,4 % Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) und ist zunächst wasserdampfgesättigt. Je 10 % Methan beträgt der untere Heizwert 1 kWh/m<sup>3</sup> i. N. = 3,6 MJ/m<sup>3</sup> i. N. und entspricht etwa dem von 0,1 l DK [7]. Die H<sub>2</sub>S- und CO<sub>2</sub>-Anteile haben keinen Heizwert und wirken in Verbindung mit dem Wasserdampf korrosiv.

In Tafel 1 sind zum Vergleich die Dichten und unteren Heizwerte von Kraftstoffen dargestellt. Der massebezogene untere Heizwert ist bei natürlichem Biogas gegenüber dem von DK nur etwa halb so groß, liegt aber bei gereinigtem Biogas etwa in der gleichen Größenordnung wie der von DK. Der volumenbezogene untere Heizwert ist gegenüber dem von DK geringer:

- bei natürlichem Biogas etwa 1 600mal
- bei gereinigtem Biogas etwa 1 000mal
- bei gereinigtem und komprimiertem Biogas unter einem Druck von 15 MPa etwa 7mal und unter einem Druck von 20 MPa etwa 5,3mal.

Aus den dargestellten Eigenschaften und Kennwerten ergibt sich, daß das Biogas für den mobilen Einsatz unbedingt gereinigt und getrocknet sowie zu CNG (Compressed Natural Gas – komprimiertes Naturgas) verdichtet werden muß.

Tafel 1. Dichte und unterer Heizwert von Kraftstoffen (Werte nach Literaturangaben, gerundet)

Kraftstoff	Methananteil %	Druck MPa	Dichte		unterer Heizwert		
			kg/m <sup>3</sup> i. N.	kg/dm <sup>3</sup>	MJ/m <sup>3</sup> i. N.	MJ/dm <sup>3</sup>	MJ/kg
Dieselmotorkraftstoff				0,83		35,44	42,7
Biogas, natürlich	60		1,11		22		19,8
Biogas, gereinigt <sup>1)</sup>	90		0,84		34		40,5
Biogas, gereinigt und komprimiert	90	15		0,12		5,02	40,5
Biogas, gereinigt und komprimiert	90	20		0,17		6,70	40,5

1) entspricht etwa dem Import-Erdgas

## 3. Stand der Technik für den mobilen Einsatz von Biogas als Alternativkraftstoff

Aufgrund gleicher Eigenschaften und des fortgeschrittenen Anwendungsstands wird das Erdgas mit betrachtet. Beim mobilen Einsatz werden Biogas oder Erdgas als CNG in Druckgasflaschen (DGF) von den umgerüsteten Fahrzeugen und Maschinen mitgeführt und über Vorwärmer, Druckregler und Mischer dem Motor zugeführt. Verwendet werden entweder Otto-Motoren, durch die aufgeführten peripheren Einrichtungen ergänzte Ottomotoren oder umgerüstete Dieselmotoren.

Die Umrüstung von Dieselmotoren kann wahlweise für zwei verschiedene Betriebszustände erfolgen:

- Für den reinen Gasbetrieb ist der Dieselmotor zum Ottomotor umzurüsten und läßt sich dann nicht mehr mit DK betreiben.
- Für den DK-Gas-Betrieb oder Zweistoffbetrieb erfolgt die Umrüstung auf das Zündstrahlverfahren, bei dem der Motor auch weiterhin wahlweise mit 100 % DK betrieben werden kann. Für das Zünden des Gases im Motor ist die Zufuhr einer konstanten DK-Menge erforderlich, deren Anteil am Energieverbrauch aus der Sicht der Zündwilligkeit und der Reichweite des Gasspeichervolumens so hoch wie nötig, aber aus der Sicht der DK-Einsparung so gering wie möglich sein sollte.

Als CNG-Behälter sind international DGF mit einem Gasvolumen von 50 l und einem Gasdruck von 20 MPa üblich, so daß im gefüllten Zustand 10 m<sup>3</sup> i. N. Gas enthalten sind. Die Masse einer solchen DGF beträgt leer etwa 65 kg und voll etwa 72 kg. Verwendet werden aber auch DGF mit einem Gasdruck von 15 MPa, einem Gasvolumen von 40 l bzw. 6 m<sup>3</sup> i. N., einer Leermasse von etwa 44 kg und einer Vollmasse von etwa 48 kg. Die Befüllung der DGF erfolgt stationär an der Gasspeicher- bzw. Gasabfüllstation, die mit noch höheren Drücken arbeiten muß. Im günstigsten Fall enthält das Gas etwa 95 % Methan. An der Feinreinigung in Richtung eines Methananteils von annähernd 100 % wird international gearbeitet.

Der Einsatz von komprimiertem Methan (CNG) aus Biogas als Kraftstoff in Fahrzeugen begann bereits in den 30er Jahren, erreichte während des zweiten Weltkriegs und in den Nachkriegsjahren den ersten Höhepunkt, war aber aufgrund der uneingeschränkten Verfügbarkeit von DK und Vergaserkraftstoff (VK) seit dem Ende der 50er Jahre bis auf wenige Ausnahmen wieder in Vergessenheit geraten. Zu den Ausnahmen gehören die Ukrainische SSR und Italien. In Lwow ist heute noch eine CNG-Tankstelle in Betrieb,

die etwa 200 NKW versorgt [8]. In größerem Umfang wurde der CNG-Betrieb nur in Italien weitergeführt und hat heute auf Erdgasbasis einen hohen Entwicklungsstand [9]. In Italien sollen 30 CNG-Tankstellen und etwa 260 000 CNG-betriebene Fahrzeuge mit insgesamt etwa 800 000 DGF in Betrieb sein.

Informationen zum mobilen Einsatz von Biogas in Traktoren sind in den letzten Jahren vor allem aus der BRD bekannt geworden [7, 10, 11, 12, 13, 14]. Bemerkenswert ist, daß die prinzipiell ablehnende Haltung in der BRD-Fachliteratur mit zunehmenden DK-Preisen abgebaut wurde.

In [7] wird berichtet, daß ein Traktor Deutz D 6207 mit 44-kW-4-Zylinder-Motor auf Gasbetrieb umgerüstet wurde. Der höchste Motorwirkungsgrad wird beim DK-Betrieb mit 36 %, beim Biogasbetrieb mit 27 % angegeben, der spezifische Gasverbrauch mit etwa 0,60 bis 0,64 m<sup>3</sup> i. N./kWh. Der Gasvorrat der installierten vier 50-l-DGF mit einem Gasdruck von 20 MPa würde demnach bei mittlerer Auslastung (rd. 40 %) des 44-kW-Traktors etwa 4 h reichen. Der Schalldruckpegel soll beim Biogasbetrieb um 5 dB (A) niedriger liegen als beim DK-Betrieb.

Für den DK-Gas-Betrieb wurden im Jahr 1983 bei Anwendung des Zündstrahlverfahrens in der DDR folgende Forschungsmuster des VEB Kombinat Landtechnische Instandsetzung Berlin vorgestellt [15]:

- NKW W 50 mit 6 DGF in einer Aufnahmevorrichtung zwischen Fahrerkabine und Kippermulde
- Traktor ZT 300 mit 4 DGF, die in Schräglage zwischen den Vorder- und Hinterrädern mit den Ventilen nach vorn, je 2 links und rechts übereinander, angeordnet sind.

Das energiebezogene Mischungsverhältnis beträgt nach [15] im Einsatz 50:50 (DK: Biogas, gereinigt und getrocknet). Wenn eine mittlere Motorauslastung von etwa 40 % angenommen wird und die DK-Zündstrahlmenge an der Einspritzpumpe konstant eingestellt ist, liegt das Mischungsverhältnis bei einer Motorauslastung von 100 % bei 20:80, d. h., der Energieanteil der konstanten DK-Zündstrahlmenge beträgt bei Nennleistung 20 %.

Über den Einsatz von Biogas in selbstfahrenden Landmaschinen liegen keine Informationen vor.

## 4. Kriterien und deren Erfüllung

### 4.1. Umrüstaufwand und Einschränkung technischer Einsatzparameter

Aufgrund des relativ geringen Biogasangebots sowie des Einsatzumfangs und der gegenüber DK-Betrieb wesentlich höheren Aufwendungen sind möglichst wenig Fahrzeug- bzw. Maschinentypen für den mobilen Ein-

Tafel 2. Anzahl umgerüsteter Fahrzeuge in Abhängigkeit von Ausrüstungsvariante und Biogastankstellenskapazität (theoretische Richtwerte bei täglichem Verbrauch der Speicherkapazität)

Ausrüstungsvariante	Reinmethanbedarf m <sup>3</sup> i. N./d	Anzahl umgerüsteter Fahrzeuge bei einer Biogastankstellenskapazität in m <sup>3</sup> i. N./d von			
		1 000	2 000	4 000	6 000
4 40-l-DGF, 15 MPa	24	25	50	100	150
6 40-l-DGF, 15 MPa	36	16	33	67	100
4 50-l-DGF, 20 MPa	40	15	30	60	90
6 50-l-DGF, 20 MPa	60	10	20	40	60

Tafel 3. Kalkulierter äquivalenter DK-Verbrauch bei Gas- und bei DK-Gas-Betrieb für verschiedene Ausrüstungsvarianten und Reinmethan

Ausrüstungsvariante	Zusatzmasse (Schätzwert) kg	Reinmethan, Energieinhalt MJ	äquivalenter DK-Verbrauch			
			Volllast l	Teillast l	Volllast l	Teillast l
2 40-l-DGF, 15 MPa	100	432	12	9	15	18
4 40-l-DGF, 15 MPa	200	864	24	18	30	36
6 40-l-DGF, 15 MPa	300	1 296	36	27	45	54
2 50-l-DGF, 20 MPa	150	720	20	15	25	30
4 50-l-DGF, 20 MPa	300	1 440	40	30	50	60
6 50-l-DGF, 20 MPa	450	2 160	60	45	75	90

satz von Biogas umzurüsten. Die Umrüstung muß mit möglichst geringem konstruktivem Aufwand durchführbar sein. Die Zusatzmassen dürfen keine kritische Erhöhung des Bodendrucks zur Folge haben. Der Umrüstungsbedarf darf zu keiner unzumutbaren Einschränkung der Sichtverhältnisse, der Hangtauglichkeit und der Zugänglichkeit für Wartungs- und Pflegearbeiten führen. Es wird eingeschätzt, daß etwa sechs DGF mit vertretbarem konstruktivem Aufwand und ohne kritische Einschränkung von Bodendruck, Sicht, Hangneigung sowie Wartung und Pflege am NKW W 50 und an den Schwadmähern angeordnet werden können. Vier DGF können unter Beachtung der gleichen Kriterien an den mittleren und kleinen Traktoren seitlich – je zwei links und rechts – angebracht werden. Die bei Versuchen in der BRD angewendete Anordnung auf dem Dach führt zur Verminderung der Hangtauglichkeit. Bei sechs 50-l-DGF beträgt die Zusatzmasse am Fahrzeug mindestens 450 kg (s. Tafel 3), so daß sich z. B. die Nutzmasse des NKW W 50 beim DK-Biogas-Betrieb um etwa 10 % vermindert. Bei vier 50-l-DGF beträgt die Zusatzmasse am Fahrzeug mindestens 300 kg, so daß sich z. B. die Eigenmasse des Traktors ZT 300 beim DK-Biogas-Betrieb um etwa 5 % erhöht. Je nach der Verteilung der Zusatzmasse auf die Achsen kann die Bodendruckhöhung noch größer sein. Bei großen Feldtraktoren und bei Mähdreschern, Feldhäckslern und Rodeladern wäre beim DK-Gas-Betrieb zur Erzielung einer akzeptablen Reichweite eine so hohe Anzahl an DGF erforderlich, daß konstruktiver Aufwand, Bodendruckhöhung, Sichtverhältnisse usw. nicht diskutabel sind.

Um aus den o. g. Gründen auch den Umrüstaufwand für die Dieselmotoren so gering wie möglich zu halten, müssen die umzurüstenden Motoren universell einsetzbar sein. In der mobilen Landtechnik der DDR ist der Motortyp 4 VD 14,5/12-1 SRW des VEB IFA-Motorenwerke Nordhausen am weitesten verbreitet. Er ist in den Traktoren der ZT-Baureihe, in NKW W 50 und in den Mähdreschern E 512 und E 514 eingesetzt. Universelle Verwendung hat weiterhin der Belarus-Motor in den Traktoren der MTS-Baureihe und in den Schwadmähern E 301, E 302 und E 303.

#### 4.2. Betankung

Wenn von der in [5] genannten prognostischen Anzahl von 290 Anlagen ausgegangen wird, kommen auf jeden Kreis der DDR im Durchschnitt maximal 1 bis 2 Anlagen bzw. Biogastankstellen. Die Betankung von mobiler Landtechnik ist theoretisch stationär an der Anlage oder mobil auf dem Feld denkbar. Für die stationäre und gegen die mobile Betankung lassen sich folgende Gründe aufzählen:

- Sicherheitstechnische Gründe beim Einsatz von DGF verbieten die mobile Betankung.
- Aufgrund der geringeren Energiedichte und des wesentlich höheren Volumens des CNG gegenüber einer äquivalenten DK-Menge wäre der Aufwand für die mobile Betankung im Vergleich zu dem beim DK-Betrieb wesentlich höher als bei stationärer Betankung.
- Bei stationärer Betankung ist kein Spezialfahrzeug für einen relativ geringen Einsatzbereich erforderlich.

- Die zur Verfügung stehende Biogasmenge kann allein durch Fahrzeuge, die die Biogastankstelle täglich frequentieren, verbraucht werden (s. Tafel 2).

Für die vollständige Nutzung des im Sommerhalbjahr nicht für Heizzwecke benötigten, aber kontinuierlich anfallenden Biogases kommen deshalb in erster Linie Fahrzeuge mit mindestens halbjährigem und kontinuierlichem Einsatz in der Nähe der Biogastankstelle in Frage. Dazu gehören auf jeden Fall die Ver- und Entsorgungsfahrzeuge der Anlage und die Transportfahrzeuge in der näheren Umgebung der Anlage. Nicht dazu gehören die Feldtraktoren, Landmaschinen, Lader und Stallarbeitsmaschinen. Selbst wenn alle selbstfahrenden Landmaschinen zusammengefaßt werden, ist im Jahresverlauf etwa die im Bild 1 dargestellte Auslastung der Motorleistung zu verzeichnen.

Lader und Stallarbeitsmaschinen erscheinen auf den ersten Blick für den mobilen Einsatz von Biogas als gut geeignet, weil

- die ergonomischen Vorteile des Gasbetriebs (geringere Lärm- und Schadstoffemission) bei der Arbeit in geschlossenen Räumen und in der unmittelbaren Nähe von Tieren besonders hoch zu bewerten sind
- sie ganzjährig im Einsatz sind
- das erforderliche CNG-Speichervolumen an der Maschine ohne kritische Einschränkung von Bodendruck, Sicht, Wartung und Pflege u. a. realisiert werden könnte.

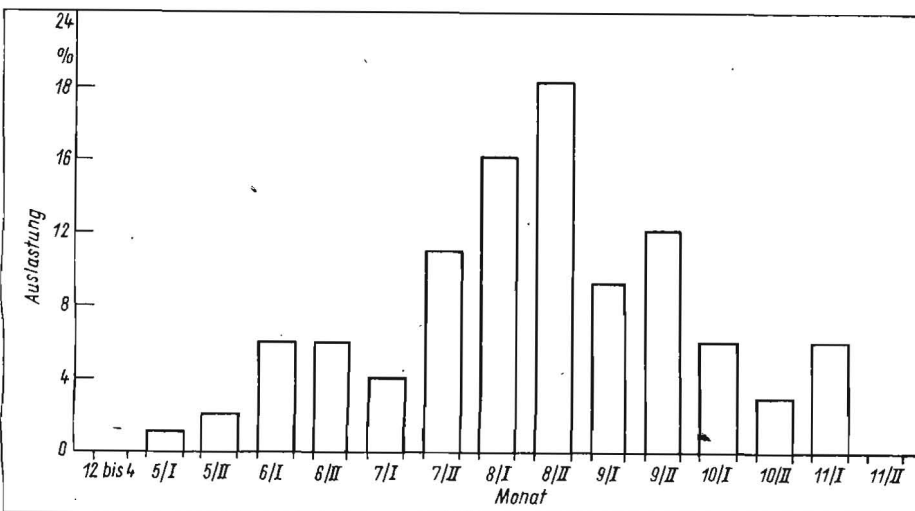
Die Stallarbeitsmaschine wird jedoch in Ställen mit mobiler Mechanisierung der Fütterung und Entmistung eingesetzt, während das Biogas aus Investitionsgründen in der DDR in sehr großen Anlagen erzeugt werden wird, in denen die Fütterung und Entmistung mit stationären Mechanisierungsmitteln erfolgt. Bei Ladern wird in der DDR für Arbeiten im Stand bereits die Umrüstung auf E-Netzbetrieb, der dem Biogaseinsatz eindeutig überlegen ist, praktiziert, während bei Stallarbeitsmaschinen der E-Speicherbetrieb möglich und vorteilhaft erscheint.

#### 4.3. Verbrennungsverfahren

Unter landwirtschaftlichen Einsatzbedingungen ist der reine Gasbetrieb nicht geeignet. Für den DK-Gas-Betrieb bzw. das Zündstrahlverfahren und gegen den reinen Gasbetrieb sind folgende Gründe aufzuführen:

- Die auf das Zündstrahlverfahren umgerüsteten Fahrzeuge sind entsprechend der Biogasbereitstellung für den mobilen Einsatz variabel einsetzbar, z. B. im Sommerhalbjahr mit DK und CNG und im Winterhalbjahr, wenn das Biogas zweckmäßiger für Heizzwecke eingesetzt wird, nur mit DK.

Bild 1. Auslastung der Gesamtmotorleistung der selbstfahrenden Landmaschinen im Jahresverlauf (nach Wagenlehner u. a. [16])



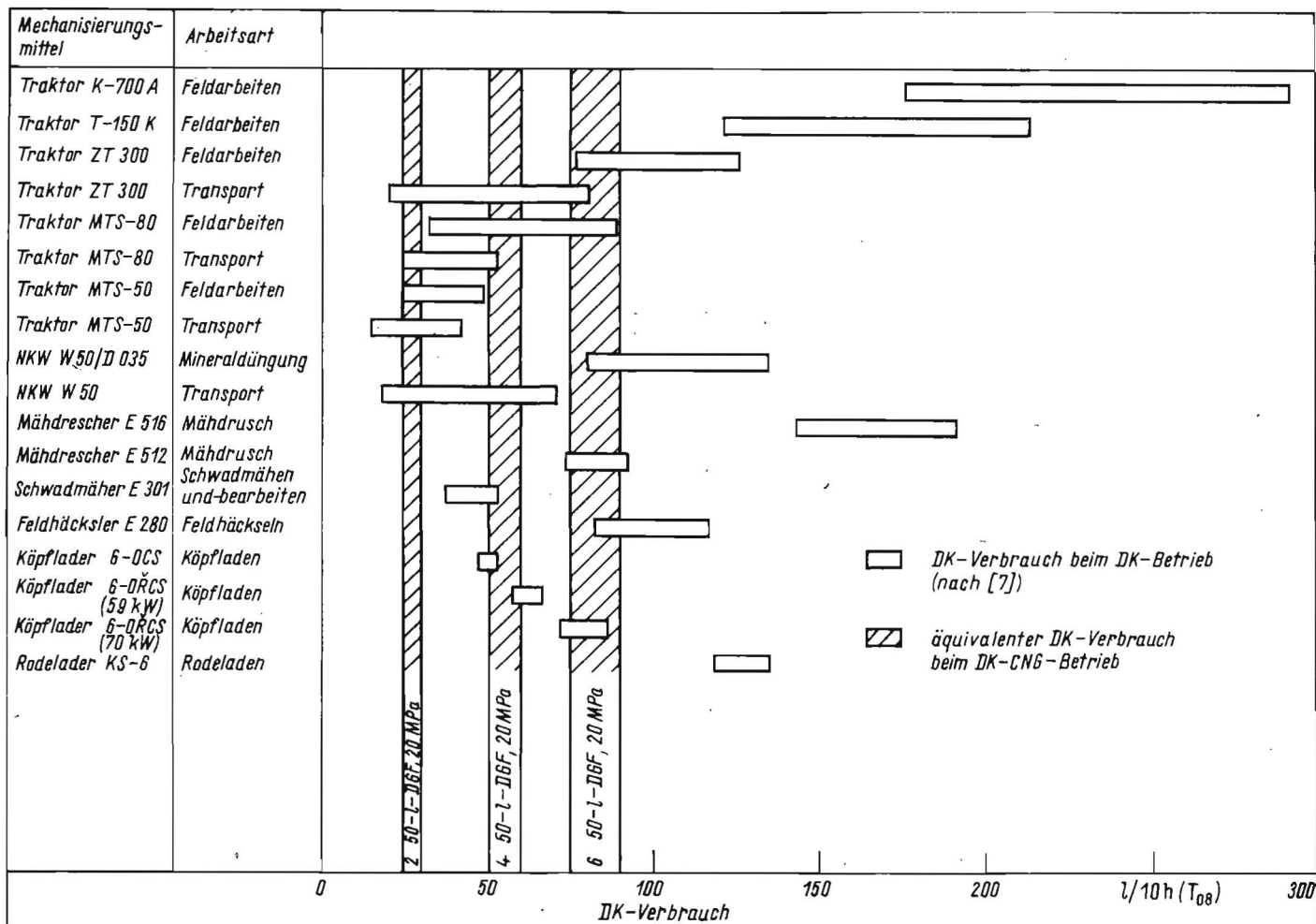


Bild 2. DK-Verbrauch beim DK-Betrieb und äquivalenter DK-Verbrauch beim DK-Gas-Betrieb für verschiedene landtechnische Arbeitsmittel

- Die Reichweite ist im praxisnahen Teillastbetrieb bei reinem Gasbetrieb nur halb so groß wie bei DK-Gas-Betrieb (s. Tafel 3).
- In der DDR sind die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten für die Umrüstung des Motors 4 VD 14,5/12-1 SRW, wie er im NKW W 50 eingesetzt ist, auf das Zündstrahlverfahren abgeschlossen.

#### 4.4. Reichweite

Die Reichweite der Fahrzeuge ist beim mobilen Einsatz von Biogas aufgrund der begrenzten Möglichkeiten zur Anbringung einer dem DK-Tank entsprechenden DGF-Kapazität geringer als beim DK-Betrieb. Aus Tafel 3 ist für verschiedene Ausrüstungsvarianten, Verbrennungsverfahren sowie für Voll- und Teilauslastung des Motors der äquivalente DK-Verbrauch ersichtlich, den das umgerüstete Fahrzeug bei vollständigem Verbrauch des mitgeführten Biogases haben würde. Dabei wurde aufgrund der bisherigen Ausführungen folgendes unterstellt:

- Je nach Fahrzeug- bzw. Maschinengröße können mit vertretbaren konstruktiven Aufwendungen und Einschränkungen der Betriebsparameter nicht mehr als 2 bis 6 DGF angeordnet werden.
- Der Wirkungsgrad wird für diese Überlegungen bei Vollast für DK-, Gas- und DK-Gas-Betrieb etwa gleich angenommen, bei Teillast für Gas- und DK-Gas-Betrieb um etwa 25 % geringer als beim DK-Betrieb.
- Der energiebezogene DK-Anteil beträgt beim DK-Gas-Betrieb und bei Voll- bzw. Teillast etwa 20 % bzw. 50 %.

- Das Biogas besteht fast zu 100 % aus Reinemethan.

Zum Vergleich sind nachfolgend die DK-Tankvolumina der in der DDR eingesetzten mobilen landtechnischen Arbeitsmittel angeführt, die i. allg. bei hoher Motorauslastung mindestens eine Schicht bzw. mindestens etwa 10 h (T<sub>08</sub>) reichen:

– Köpflader 6-0CS	50 l
– Lader T 174-2	80 l
– Traktor MTS-50/52 und Köpflader 6-ORCS	90 l
– NKW W 50 und Schwadmäher E 301, E 302	100 l
– Traktor MTS-80/82 und Traktoren der ZT-Baureihe	120 l
– Feldhäcksler E 280/E 281	185 l
– Mähdrescher E 512/E 514	200 l
– Traktor T-150 K	320 l
– Rodelader KS-6 (DK-Tankvolumen ungewöhnlich groß, für SU-Bedingungen bemessen)	2 x 380 l
– Mähdrescher E 516 B	390 l
– Traktor K-700 A	450 l

Unter Beachtung der Ausführungen im Abschn. 4.1. ergibt sich, daß eine mit dem DK-Tank etwa vergleichbare Reichweite bei mobilem Biogaseinsatz nur mit folgender Umrüstvariante realisiert werden könnte:

- NKW W 50 und Schwadmäher E 301, E 302 mit je sechs 50-l-DGF und einem Gasdruck von 20 MPa beim DK-Gas-Betrieb unter Teillast.

Werden anstelle von 50-l-DGF mit einem Gasdruck von 20 MPa 40-l-DGF mit einem Gasdruck von 15 MPa verwendet, vermin-

dert sich die Reichweite generell um 40 %, so daß unter dieser Voraussetzung und aufgrund der bisher dargestellten Einschränkungen keine Umrüstvariante mehr angegeben werden kann, mit der die volle Reichweite des DK-Tanks erreicht werden würde.

Für die einzelnen Arbeitsarten ist der DK-Verbrauch in l/h bzw. je Schicht allerdings sehr unterschiedlich. Im Bild 2 ist für die wichtigsten in der DDR eingesetzten Mechanisierungsmittel und bei Zusammenfassung der in [17] angegebenen Richtwerte für Feld- bzw. Erntearbeiten sowie Transport der DK-Verbrauch bei DK-Betrieb dargestellt. Zum Vergleich wurde außerdem der kalkulierte äquivalente DK-Verbrauch bei DK-CNG-Betrieb mit 50-l-DGF und einem Fülldruck von 20 MPa eingezeichnet.

Aus Bild 2 geht hervor, daß die Ausrüstungsvariante mit zwei 50-l-DGF und einem Gasdruck von 20 MPa für die angegebenen Fahrzeuge und Maschinen nicht diskutabel ist. Vier 50-l-DGF mit einem Gasdruck von 20 MPa würden für eine zehnstündige Schichtzeit T<sub>08</sub> beim DK-CNG-Betrieb ausreichen für

- leichte bis mittlere Transportarbeiten mit dem Traktor ZT 300
  - Transportarbeiten mit dem Traktor MTS-80
  - Transport- und Feldarbeiten mit dem Traktor MTS-50
  - Schwadmäher und Köpflader 6-0CS.
- Die Anbringung von sechs 50-l-DGF mit einem Gasdruck von 20 MPa würde das Einsatzspektrum erweitern auf

- alle Transportarbeiten mit dem Traktor ZT 300
  - alle Feldarbeiten mit dem Traktor MTS-80
  - alle Transportarbeiten mit dem NKW W 50
  - Kpflader 6-OÄCS,
- ist aber aufgrund der anderen Kriterien (s. Abschn. 4.1. und 4.2.) nur beim NKW W 50 vertretbar.
- Weder die erforderliche Reichweite noch die anderen Kriterien des DK-CNG-Einsatzes werden erfüllt bei
- Traktoren K-700 A und T-150 K
  - Feldarbeiten mit dem Traktor ZT 300
  - Mineräldüngung mit dem NKW W 50/D 035
  - Mähdreschern, Feldhäckslern und Rodeladern.

## 5. Zusammenfassung

Der teilweise Ersatz von Dieselmotorkraftstoff durch gereinigtes, getrocknetes sowie komprimiertes Biogas ist volkswirtschaftlich notwendig und erscheint in der DDR gegenüber dem Einsatz anderer Alternativkraftstoffe am aussichtsreichsten. Allerdings wird nur ein relativ geringer Prozentsatz des DK durch Biogas ersetzt werden können. Deshalb sind nur diejenigen Fahrzeuge bzw. Maschinen umzurüsten, bei denen die Nachteile des mobilen Einsatzes von Biogas am geringsten bzw. zu vertreten sind.

Kriterien des mobilen Einsatzes von Biogas sind das aus fahrzeugtechnischen Gründen begrenzte Gasbehältervolumen, die daraus resultierende Einschränkung der Reichweite gegenüber dem DK-Betrieb, die aus der Masse des Umrüstsatzes resultierende Verringerung der Nutzmasse und Erhöhung des Bodendrucks, die Einschränkung von Sicht, Hangtauglichkeit und Zugänglichkeit für War-

tung und Pflege bei Anbringung einer möglichst großen Gasbehälterkapazität, der Einsatz einer dem Biogasangebot entsprechenden Mindestanzahl umgerüsteter Fahrzeuge oder Maschinen in der Nähe der Biogastankstelle und nicht zuletzt die Unmöglichkeit der Umrüstung auf Elektronetz- oder Elektrospeicherbetrieb. Unter landwirtschaftlichen Einsatzbedingungen kommt nur der DK-Gas-Betrieb nach dem Zündstrahlverfahren in Frage. Für den DK-CNG-Betrieb sind NKW und kleine bis mittlere Traktoren umzurüsten, die eine tägliche Arbeitsfahrt in der Nähe der Biotankstellen haben und mindestens im Sommerhalbjahr durchgängig im Einsatz sind. Selbstfahrende Landmaschinen sowie Lader und Stallarbeitsmaschinen erfüllen die Kriterien des mobilen Einsatzes von Biogas nicht.

## Literatur

- [1] Statistisches Jahrbuch 1983 der DDR. Berlin: Staatsverlag der DDR 1983.
- [2] Richter, H.: Immer mehr Energie für weniger Energie. Interview in: „wir“ Nr. 46 vom 18. Nov. 1983, S. 3, Beilage der Sächsischen Zeitung, Dresden.
- [3] Otto und Diesel unerreicht. Wirtschaftswoche, Frankfurt (Main), Nr. 45 vom 5. Nov. 1982.
- [4] Honecker, E.: Bericht des Zentralkomitees der Sozialistischen Einheitspartei Deutschlands an den X. Parteitag der SED. Berlin: Dietz-Verlag 1981, S. 50–51.
- [5] Engshuber, M.; Beyer, G.: Renaissance für Biogas? Technische Gemeinschaft, Berlin 31 (1983) 3, S. 29–31.
- [6] Breitschuh, G.; Neumann, W.; Heimboldt, V.; Rödel, K.: Inbetriebnahme einer großtechnischen Biogasanlage in der Landwirtschaft. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 11, S. 508–511.
- [7] Büttner, S.; Maurer, K.: Traktor mit Biogasantrieb. Umrüstung und erste Einsatzverfahren.

gen. Landtechnik, Lehrte 37 (1982) 6, S. 284–287.

- [8] Gasoline is not the only motor fuel (Benzin ist nicht der einzige Kraftstoff). Interview mit dem Stellv. Vorsitzenden der Staatlichen Kommission für Expertisen des Staatlichen Plankomitees der UdSSR (GOSPLAN) in: Moscow News Nr. 37/1981.
- [9] Methan in Motor-Vehicles (Methan in Motor-Fahrzeugen). Firmenschrift der Firma Tartarini, Castelmaggiore.
- [10] Dohne, E.; Brenndörfer, M.: Wie aktuell ist heute Biogas? Landtechnik, Lehrte 29 (1974) 7, S. 302–307.
- [11] Dohne, E.; Brenndörfer, M.: Anwendungsmöglichkeiten von Biogas im landwirtschaftlichen Betrieb. Landtechnik, Lehrte 33 (1978) 2, S. 64–76.
- [12] Dohne, E.: Biogas production from organic agricultural wastes (Biogasproduktion aus organischen landwirtschaftlichen Abfällen). FAO/ECE, AGRI/WP.2/53, AGRI/MECH Report Nr. 97, New York, 1982.
- [13] Sie führen mit Pflanzenöl, Alkohol, Biogas und Holzgas. Praktische Landtechnik, Wien 34 (1981) 11, S. 342–344.
- [14] Appel, V.: Energieeinsparung bleibt notwendig. DLG-Mitteilungen, Frankfurt (Main) 99 (1984) 2, S. 97–98.
- [15] Katalog wichtiger Ergebnisse des WTF, Neuerungen, Rationalisierungslösungen für die Landwirtschaft, Teil III. Herausgegeben anlässlich der zentralen Beratung mit Leitungskadern und Praktikern der sozialistischen Landwirtschaft vom 18. bis 21. Januar 1983 in Markkleeberg.
- [16] Wagenlehner, G., u. a.: Studie über die Möglichkeiten der Vereinheitlichung selbstfahrender Landmaschinen. VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen Neustadt in Sachsen 1980 (unveröffentlicht).
- [17] Eberhardt, M., u. a.: Sparsamer Einsatz von Dieselmotorkraftstoff in der Pflanzenproduktion, Teil 2, Richtwerte für den DK-Verbrauch. Markkleeberg: agrabuch 1982.

A 4219

# Zur Substratbereitstellung für die Erzeugung von Biogas aus Schweinegülle

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

Dr. sc. agr. B. Völkel, Forschungszentrum für Tierproduktion Dummerstorf-Rostock der AdL der DDR

Dr. agr. J. Franz, VEG(Z) Tierzucht Nordhausen

## 1. Einführung

Aus sicherheitstechnischen sowie veterinär- und arbeitshygienischen Gründen und im Zusammenhang mit der biotechnologischen Verwertung landwirtschaftlicher Sekundärprodukte ist eine stärkere wissenschaftliche Durchdringung mikrobieller und biochemischer Prozesse in Güllekanälen industriemäßiger Anlagen der Tierproduktion notwendig.

Die gasförmigen Reaktionsprodukte solcher Prozesse können über die Zusammensetzung der Stallluft teilweise erfaßt werden, was Rückschlüsse auf die mikrobielle Stoffwechsellätigkeit der in den Güllekanälen vorhandenen Bakterienkulturen zulassen könnte [1]. Weiterhin ist über die Bestimmung der Konzentration wasserdampf-flüchtiger Carbonsäuren (C<sub>1</sub>–C<sub>6</sub>) eine Aussage über die bakteriellen Prozesse in Güllekanälen möglich.

## 2. Versuchsdurchführung

In einer industriemäßig produzierenden Sauenzuchtanlage S 112 wurde schwerpunktmäßig in den Sommermonaten die Stallluft von 3 Meßpunkten unterschiedlicher Höhe gaschromatographisch analysiert. Dazu wurde organoleptisch der Stall mit der stärksten Geruchsemission ausgewählt. Die Gasproben wurden in der Mitte der mit Jungschweinen belegten Ställe (Fließkanalentmischung) direkt über dem Kotrost, in einer Höhe von 1,70 m und unter dem Dach entnommen. Von Schweinen derselben Haltungsfarm wurde aus Kot, Harn und Wasser eine synthetische Gülle gewonnen, mit der nach anaerober Lagerung von 10, 20, 30 und 50 Tagen batch-Versuche (diskontinuierliche Fermentation) angesetzt wurden. Weiterhin wurden kontinuierliche Fermentationsversuche in einem 4-l-Laborreaktor durchgeführt.

## 3. Versuchsergebnisse

Die anaerobe Lagerung von Gülle ist mikrobiologisch durch eine syntrophe Mischkultur fermentativer, acetogener und methanogener Mikroorganismenpopulationen gekennzeichnet. Während Methanbakterien hinsichtlich ihrer Kulturbedingungen anspruchsvoll sind, kann die Stoffwechsellätigkeit fermentativer Mikroorganismen schon unter relativ einfachen Bedingungen eintreten, so daß die mikrobiellen Vorgänge in Güllekanälen meist durch diese Bakterien hervorgerufen werden. Allerdings ist bei anaerober Lagerung von Güllesubstraten auch eine Umwandlung der Gärungszwischenprodukte zu Methan möglich, wie Untersuchungen zur Lagerung von Überschüßschlamm der aeroben Gülleaufbereitung zeigten [2].

Stoffwechselprodukte fermentativer Mikroorganismen sind vor allem die Spaltprodukte