

# Perspektiven für den Einsatz von Alternativkraftstoffen in der Landwirtschaft der DDR

Dr.-Ing. I. Irmischer, KDT, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion

## Volkswirtschaftliche Ergebnisse und Tendenzen für den perspektivischen Einsatz von Verbrennungsmotoren

In vielen Bereichen der Volkswirtschaft werden uneingeschränkt mobile Antriebssysteme unbedingt benötigt. Dazu gehört auch die Landtechnik (vor allem Feldwirtschaft und Transportwesen). Nach dem Stand von Wissenschaft und Technik kann dieser Aufgabe bis zum Jahr 2000 und u. U. auch weit darüber hinaus in volkswirtschaftlichen Maßstäben nur der Hubkolbenverbrennungsmotor gerecht werden. Diese Feststellung ergibt sich aus der Bewertung mobiler Kraftmaschinensysteme nach folgenden Kriterien:

- Charakteristik der Energiewandlung
  - $M_{\max} = f(n)$
  - $\eta_{\text{ges}} = f(M, n)$
- Masse, Volumen, Bauart
- Energiebereitstellung
  - Lieferung zum Betreiber und zur Maschine
  - Energiespeicher (Betrag, Masse, Volumen)
- Kosten für Anschaffung, Betrieb und Instandsetzung
- Bedienungs- und Wartungsaufwand, Automatisierbarkeit
- Zuverlässigkeit, Nutzungsdauer, Eignung zur Regenerierung bzw. Instandsetzung
- Anlaufverhalten
- Verfügbarkeit
- Schutzgüte
- Geräusch- und Stoffemission
- Schwingungsverhalten
- instationäres Betriebsverhalten.

Der Hauptvorteil von Verbrennungskraftmaschinen gegenüber Elektromotoren besteht in den effektiven Möglichkeiten zur Speicherung von Energie in chemisch gebundener Form in vorzugsweise flüssigen Kohlenwasserstoffen, die als Diesel- bzw. Vergaserkraftstoffe in einfachen Tanks mitgeführt werden können. Die dominierende Rolle der Diesel- und Ottomotoren gegenüber anderen Verbrennungsmotoren, wie z. B. Rotationskolbenmotoren und Gasturbinen, ist durch eine Vielzahl von Vorteilen zu begründen. Dazu gehören der Wirkungsgrad, die Zuverlässigkeit und die Nutzungsdauer sowie die Gesamtheit der Kosten.

Nicht zu unterschätzen ist der Umstand, daß die vorhandene Infrastruktur auf Fahrzeuge und selbstfahrende Maschinen orientiert ist, die mit Flüssigkraftstoff-Hubkolbenmotoren ausgerüstet sind. Grundsätzliche Umstellungen würden weite Bereiche der Volkswirtschaft betreffen: die Energiewirtschaft, die Kraftstoffindustrie, die Motorenindustrie einschließlich der spezialisierten Zulieferindustrien, das Tankstellensystem, die Instandhaltungsbetriebe und den Nutzer selbst.

Folgende Entwicklungstendenzen sind offenbar von Bedeutung:

- Der sparsame Umgang mit herkömmlichen Kraftstoffen ist von außerordentlicher Bedeutung. Deshalb ist man weltweit bestrebt,

- eine neue Generation von Motoren mit spürbaren Verbesserungen hinsichtlich ihrer Kraftstoffökonomie und Umweltfreundlichkeit im breiten Umfang in die Praxis zu überführen
- die Gesamtwirkungsgrade der Maschinensysteme entscheidend zu erhöhen, wobei motorseitig der Betrieb im Bereich des geringsten spezifischen Kraftstoffverbrauchs angestrebt wird
- die Wartung und Instandhaltung so durchzuführen, daß stets ein technisch einwandfreier Betrieb möglich ist
- die Nutzung so zu gestalten, daß der Gesamtenergieverbrauch bei einem höchstmöglichen, aber volkswirtschaftlich erforderlichen Ergebnis minimal ist.
- Aufgrund des fossilen Charakters der Basis der konventionellen Kraftstoffe unternimmt die Kraftstoffindustrie große Anstrengungen zur effektiveren Nutzung der verfügbaren (vorzugsweise der einheimischen) und der durch Substitution in anderen Bereichen freigesetzten Energieträger. Es vollzieht sich langfristig ein Prozeß des Übergangs zur teilweisen Produktion konventioneller Kraftstoffe aus alternativen Rohstoffen. Dazu gehören die Kraftstoffsynthese aus Kohle und im gewissen Sinn auch die tiefere Aufspaltung des Erdöls.
- Die Nutzung nichtfossiler Energieträger beschränkt sich im mobilen Bereich vorrangig auf nachwachsende Rohstoffe, d. h. Biomasse. Als Kraftstoffe bzw. Ausgangsprodukte für diese kommen dabei in erster Linie Biogas, Ethanol und Pflanzenöle in Frage. Die Verfügbarkeit dieser Energieträger ist jedoch begrenzt. Deshalb ist über ihren Einsatz als Alternativkraftstoff sinnvoll zu entscheiden.
- Die großtechnische und ökonomisch vorteilhafte Produktion von Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffen auf der Basis von Wasser und Kohlendioxid mit Hilfe nuklearer Energiequellen kann in der weiteren Perspektive eine grundlegende Bedeutung erlangen, wofür jedoch noch zahlreiche Probleme zu lösen sind (Herstellung, Vertrieb, Lagerung und Speicherung, motorische Verbrennung).
- Als längerfristige Übergangslösungen werden bisher minderwertig genutzte fossile Energieträger als Kraftstoffe für Sonderbedarfsträger diskutiert, aber auch schon eingesetzt bzw. zu diesen veredelt (Propan-Butan-Flüssiggas, Erdgas, Methanol). Dadurch sind gleichzeitig positive Effekte hinsichtlich der Verminderung der Schadsstoffemission erreichbar.

## Anforderungen an Kraftstoffe für Motoren mit innerer Verbrennung

Im Verlauf der mehr als 100jährigen Entwicklung des Hubkolbenverbrennungsmotors haben sich die allgemein gebräuchlichen Vergaser- und Dieselmotoren als optimal er-

*Liebe Leser!*

Anlässlich des 35jährigen Bestehens unserer Zeitschrift erhielten wir von Ihnen viele Grüße und Glückwünsche, über die wir uns sehr gefreut haben. Deshalb möchten wir an dieser Stelle allen offiziellen und persönlichen Gratulanten ein herzliches Dankeschön sagen.

Mit den guten Wünschen – auch in sehr origineller Form – brachten Sie Ihre enge Verbundenheit mit der „agrartechnik“ zum Ausdruck. Für uns in der Redaktion ist diese Anerkennung zugleich ein lohnender Auftrag, weiterhin gemeinsam mit Ihnen und für Sie fachlich niveauvolle interessante Hefte mit einem hohen Informationsgehalt und in einer breiten Themenvielfalt zu gestalten. Wir werden uns große Mühe geben, diese Aufgabe zu erfüllen.

Bleiben wir bei Jubiläen. Sicher wird Ihnen auf der 1. Umschlagseite der Hefte dieses Jahres das Signet auffallen, das auf 40 Jahre VEB Verlag Technik Berlin hinweist. Nachfolgend vermitteln wir Ihnen ein paar Daten und Fakten über den Verlag, in dem unsere Zeitschrift seit 1951 herausgegeben wird.

Als erste Publikation des Verlags erschien im Juli 1946 auf der Grundlage einer der Kammer der Technik erteilten Lizenz der sowjetischen Militärverwaltung in Deutschland die Zeitschrift „Die Technik“. Allmählich lief auch die Buchproduktion an, bis 1950 erschienen 4 Titel, dann nahm die Zahl der Editionen sehr rasch zu. Eine große Hilfe war in den ersten Jahren, als kaum Arbeiten eigener Autoren zur Verfügung standen, die Übersetzung sowjetischer Werke. Ab 1960 ist unser Verlag nach einer Umprofilierung für die Herausgabe technischer Literatur auf allen Gebieten des Maschinenbaus, der Elektrotechnik/Elektronik sowie mehrsprachiger Fachwörterbücher verantwortlich.

Im VEB Verlag Technik kommen gegenwärtig 19 Fachzeitschriften heraus, die über den Postzeitungsvertrieb bezogen werden können. In der Buchproduktion besteht das Jahresvolumen aus rd. 150 Titeln, davon etwa 50 Erstauflagen, der Rest Nachauflagen bewährter Titel.

Neben der Herausgabe von Fachbüchern, Nachschlagewerken und Monographien hat der Verlag heute in seinem Programm eine große Anzahl von Lehrbüchern. Allein für die Berufsbildung erscheinen jährlich rd. 40 Bücher. Insgesamt sind im Programm des Verlags 79 Titel der berufsbildenden Literatur und 59 Arbeitsblätter in Klassensätzen enthalten, die für die Ausbildung von Facharbeitern in 68 Berufen die Grundlage bilden.

Seit seiner Gründung bis Ende 1984 sind im Verlag 5431 Titel (Erst- und Nachauflagen) mit rd. 33 Millionen Exemplaren erschienen. 15% der gesamten Zeitschriftenproduktion wird exportiert, bei Büchern beträgt der Export 16% der Warenproduktion.

Das 40jährige Bestehen des Verlags begehen wir im Jahr des XI. Parteitages der SED. Speziell diesem Anlaß gewidmet ist die deutsch-sowjetische Gemeinschaftsentwicklung des Titels „Rechnergestützte Gestaltung von Fertigungsprozessen im Maschinenbau“.

Sie, liebe Leser, sind also zukünftig ein bißchen besser im Bilde, wenn Sie Bücher mit unserem Verlagssignet sehen.

Redaktion „agrartechnik“

wiesen. Aufgrund ihrer fossilen Basis und der z. T. toxischen Abgaskomponenten werden die früher bereits bekannten anderen und teilweise auch erprobten, jedoch bisher insgesamt ungünstigeren Kraftstoffe als Alternativkraftstoffe unter geändert gewichteten Bewertungskriterien diskutiert. Einen Vergleich verschiedener Kraftstoffe enthält Tafel 1.

Diesel- und Ottomotoren stellen aufgrund des inneren Verbrennungsprozesses relativ hohe Anforderungen an die Qualität der einzusetzenden Kraftstoffe. Die Bewertung von Kraftstoffen kann nach folgenden Kriterien erfolgen:

- Energiespeichervermögen  
hoher unterer Heizwert; hohe Dichte; hinreichende Lagerbeständigkeit
- günstige Eigenschaften hinsichtlich der Zuführung vom Energiespeicher zum Brennraum, gutes Gemischungsverhalten, Dosierbarkeit  
definierte Viskosität; definiertes Siedeverhalten; definierte, nicht zu große Verdampfungswärme; definierter Dampfdruck; ggf. Schmierfähigkeit (Einspritzelemente, 2-Takt-Gemischschmierung); nicht aggressiv, nicht rückstandbildend; keine ungelösten Begleitstoffe; reine Stoffe bzw. homogene Stoffgemische; Kälte- und Hitzebeständigkeit
- Reaktionsverhalten  
theoretischer Luftbedarf und Gemischheizwert; Zündgrenzen; definiertes Entzündungsverhalten, d. h. hohe Klopfestigkeit (ROZ/MOZ) bei Ottomotoren bzw. gute Fähigkeit zur Selbstentzündung (CaZ) bei Dieselmotoren; definiertes Durchbrennverhalten; vollständige Verbrennung zu nicht oder nur geringfügig toxischen fluiden, vorrangig gasförmigen Produkten, die weder einzeln noch gemeinsam aggressiv oder rückstandbildend wirken
- Handhabbarkeit  
Schutzgüte; geringe Toxizität; Kälte- und

- Hitzebeständigkeit; Lagerstabilität; Umfang erforderlicher Spezialtechnik; Brand- und Explosionsgefährdung
- Verfügbarkeit und Kosten.

### Alternative Energiequellen im Bereich der Landwirtschaft und deren Bewertung als Grundstoffe für die Herstellung von Kraftstoffen

Die alternativen Energiequellen im Bereich der Landwirtschaft basieren auf der ständig nachwachsenden Biomasse, d. h., es handelt sich um regenerierbare Energiequellen. Prinzipiell ist eine Vielzahl landwirtschaftlicher Produkte und Abfallstoffe als Energieträger geeignet. Das Primat der Lebens- und Futtermittelproduktion beschränkt allerdings die energetische Nutzung. International werden vor allem folgende Energieträger diskutiert:

- Biogas aus der anaeroben Vergärung pflanzlicher Abfälle, von Gülle, Abwässern und Kommunal Müll
- holzartige Abfälle
- stärke-, zucker- und zellulosehaltige Biomasse als Grundstoff für die Ethanolgärung
- Pflanzenöle.

Aus dieser Aufstellung wird deutlich, daß für die DDR faktisch nur Biogas interessant ist. In anderen Ländern jedoch, die eine üppigere Vegetation und eine Überproduktion von Landwirtschaftsprodukten aufweisen, ergeben sich entsprechend günstigere Möglichkeiten einschließlich des Anbaus von Feldfrüchten zum Zweck der energetischen Nutzung sowie für die Biogasgärung, für die bestimmte Temperaturregime optimal sind.

Aus einer Studie der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR [8] geht hervor, daß in der Landwirtschaft der DDR an 290 Standorten die Produktion von Biogas auf der Basis von Gülle aus Tierproduktionsanlagen sinnvoll ist, d. h., eine Bruttoproduktion von 200 Mill. m<sup>3</sup> i. N. jährlich möglich wäre. Dabei wurden alle Randbedingungen, vor allem die Erhaltung der Bodenfruchtbar-

keit durch eine zweckmäßige Güllewirtschaft, berücksichtigt. Weiterhin ist ein Biogasaufkommen bis zu 65 Mill. m<sup>3</sup> i. N. jährlich aus dem Bereich der Wasserwirtschaft [9] und aus Mülldeponien möglich. Damit könnte die Nettobiogasproduktion an der Energiebilanz der DDR einen Anteil in der Größenordnung von 0,1% erreichen. Mit derselben Biogasmenge könnten höchstens 1% des derzeitigen Bedarfs an konventionellen Kraftstoffen substituiert werden. Dennoch darf der nichtfossile Energieträger Biogas nicht unterbewertet werden, weil er hochwertig ist, mit seiner Gewinnung aus Gülle gleichzeitig eine Aufbereitung von Gülleüberschüssen verbunden ist und weil er in der Wasser- und Kommunalwirtschaft als Nebenprodukt anfällt.

Die einfachste Verwertung ist die Nutzung von Biogas für Heizzwecke. Eine andere Möglichkeit ist die sog. Kraft-Wärme-Kopplung, wobei Biogas als Kraftstoff eines stationären, meist zum Antrieb eines Generators genutzten Verbrennungsmotors verwendet und die über die Kühlflüssigkeit und die Abgase abgeführte Wärmemenge zu Heizzwecken genutzt wird. Der Gesamtwirkungsgrad ist dabei sehr hoch (0,7 bis 0,9). Durch den Einsatz einer Wärmepumpe anstelle eines Generators kann ein Maximum an Nutzwärme bereitgestellt werden.

Eine weitere Anwendungsmöglichkeit besteht in der Nutzung von Biogas als Alternativkraftstoff für mobil eingesetzte Verbrennungsmotoren. Hierfür ist eine Veredlung erforderlich:

#### 1. Veredlungsstufe: Methan-Druckgas

Das Biogas ist zu entschwefeln und einer CO<sub>2</sub>-Wäsche zu unterziehen. Gegebenenfalls sind weitere Begleitstoffe, z. B. Wasser und Feststoffpartikel, zu entfernen, um hinreichend reines Methan zu erhalten. Für die Speicherung in mobilen Maschinen ist eine Verdichtung auf 15 bis 20 MPa zweckmäßig. Dennoch sind erhebliche Einbußen hinsichtlich der gespeicherten Energiemenge (rd. 50%) und durch die Masse und das Volumen der Druckgasflaschen unumgänglich. Eine Eignung für mobile Landmaschinen ist mit Ausnahme von im Bereich des jeweiligen Standorts der Biogasanlage betriebenen Transportfahrzeugen nicht gegeben. Mobile Betankungssysteme sind energetisch nicht sinnvoll [10, 11].

#### 2. Veredlungsstufe: Methan-Flüssiggas

Durch die Verflüssigung von Methan und die Speicherung in Kryotanks ist es möglich, Methan sehr günstig im Fahrzeug bzw. in der selbstfahrenden Landmaschine zu speichern. Die Anforderungen an die Reinheit des verwendeten Methans sind dabei hoch. Die Aufwendungen für die Verflüssigungs- und Betankungstechnik sind einschließlich der erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen ebenfalls zu berücksichtigen. Dennoch erscheint dieses Konzept aussichtsreich. Über erste fahrzeugtechnische Lösungen berichtet Steinmetz [12]. Auch eine mobile Betankung ist vorstellbar.

#### 3. Veredlungsstufe: Methanol

Theoretisch bietet sich Methan für die Methanolsynthese an, wie sie allgemein praktiziert wird. Methanol gilt als aussichtsreicher Alternativkraftstoff, der ähnlich wie handelsübliche Diesel- und Vergaserkraftstoffe zu handhaben ist. Recherchen haben jedoch gezeigt, daß die Methanolsynthese nur groß-

Tafel 1. Übersicht über verschiedene Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren (nach [1 bis 7])

Kraftstoff	MOZ/ROZ	H <sub>v</sub>		Tank (Beispiel)	Energiedichte im Tank		
		MJ/kg	MJ/m <sup>3</sup> i. N.		MJ/l netto	MJ/l brutto	MJ/kg brutto
<b>Flüssigkraftstoffe</b>							
DK 1,	CaZ ≈ 45	40,6...44,4	-	Blechtank	35,5	35,3	40,5...44,3
TGL 4938							
VK,	84/88...92	42,7...43,6	-	Blechtank	31,4	31,2	42,6...43,5
TGL 6428							
Methanol	95/114	19,7	-	Blechtank	15,7	15,5	19,6
Ethanol	94/111	26,8	-	Blechtank	21,3	21,1	26,7
Rüböl		40,6	-	Blechtank	35,3	35,3	40,5
<b>Gaskraftstoffe</b>							
Methan	115/125	49,9	35,8	Druckbehälter (20 MPa)	7,1	6	5,7
				Kryotank (80% Füllung)	16,5	≈ 13	≈ 13,5
Propan-Butan-Flüssiggas, TGL 3073	97...103/125	46,1		Druckbehälter für Flüssiggas	20,9	16	20
Generatorgas	90...100		5	Holzbehälter (Buche)	11,5		(Anhänger) 11,5 8 <sup>1)</sup>
Wasserstoff		119,6	10,8	Druckbehälter (20 MPa)	2,15	1,8	1,7
				Kryotank (80% Füllung)	6,8	5,5	5,5
				Metallhydridtank			2,4...10
zum Vergleich: Bleiakкумуляtor						0,35	0,1

1) Effektivwert bei einem Vergasungswirkungsgrad von 0,7

Tafel 2. Einsatzmöglichkeiten von Alternativkraftstoffen

Motor, Betriebsart	Gase, wie Methan, Biogas, Generatorgas	Alkohole, wie Methanol, Ethanol	Pflanzenöle
Ottomotor, Flüssigkraftstoffanlage, alkoholresistent		bis 20 % im VK	
Ottomotor als Alkoholmotor		bis 100 % $\epsilon_{max} = 14$	
Ottomotor als VK-Gas-Wechselmotor	×		
Ottomotor als Gasmotor	×	$\epsilon_{max} = 14$	
Dieselmotor		als Additives mit Lösungsvermittler	ggf. mit Additives
Dieselmotor als Zündstrahlmotor (Gas)	×		evtl. als Zündkraftstoff
Dieselmotor als Zündstrahlmotor		×	evtl. als Zündkraftstoff

technisch sinnvoll ist. Anlagen in der Größenordnung, wie sie für die größten Biogasanlagen geeignet wären (Produktion bzw. Verarbeitung von 10 000 m<sup>3</sup> i. N. Methan täglich), sind aus der Sicht der chemischen Technologie nicht realisierbar. Insgesamt wird deutlich, daß Biogas hauptsächlich als Heizgas sowie weiterhin in der Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt werden sollte. Der Einsatz als Alternativkraftstoff für mobil eingesetzte Verbrennungsmotoren hat eine untergeordnete Bedeutung: würde man die gesamte Biogasproduktion der Landwirtschaft zur Substitution von DK einsetzen, so wäre unter Berücksichtigung von 8 % Energieaufwand für die Verdichtung, 8,5 % Energieverlust durch die Reduzierung der Nutzmasse und 10 % weitere Verluste durch einen schlechteren Wirkungsgrad gegenüber dem Dieselverfahren und zusätzliche Fahrten durch öftere Betankung die Ablösung von 57 000 t DK jährlich erreichbar. Aufgrund der anderen Verwertungsmöglichkeiten von Biogas ist praktisch vielleicht die Substitution von 0,5 bis 1 % des heutigen DK-Verbrauchs der DDR-Landwirtschaft möglich.

In der Landwirtschaft und vor allem in der Forstwirtschaft stehen relativ viele holzartige Abfälle, die nicht anderweitig nutzbar sind, zur Verfügung. Deshalb wurde mehrfach bereits die Nutzung dieser Abfälle zum Betrieb von Fahrzeug-Holzgasgeneratoren diskutiert und praktiziert. Dabei ist aber zu beachten, daß die herkömmlichen Holzgasgeneratoren spezielle Anforderungen an das Holz stellen. Das betrifft sowohl die Art des Holzes als auch die Größe der Stücke, so daß eigentliches Abfallholz erst entsprechend geschnitten, getrocknet und in vielen Fällen brikiert werden müßte. Weiterhin ist gegenüber DK bzw. VK wegen des geringen Heizwerts und der Umwandlungsverluste im Holzgasgenerator die fünffache Masse an Holz mitzuführen, wobei das bei einer raumverlustfreien Packung etwa dem 6- bis 8fachen Volumen des Tanks entspricht. Zusätzlich ist ein Holzgasgenerator mit Gaskühler, Gasreiniger und weiterem Zubehör zu installieren, für den 8 bis 16 kg Masse je kW Motorleistung zu kalkulieren sind [13]. Die Motorlei-

stung wird um 20 bis 30 % vermindert. Die Herstellung von Ethanol und Pflanzenölen kann mit den herkömmlichen Verfahren erfolgen. Ethanol erfordert aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften einen speziellen Motor, wobei die Einsatzbedingungen denen von Methanol sehr nahekommen. Der geringere Heizwert im Vergleich zu herkömmli-

chen Kraftstoffen ist durch einen entsprechend größeren Tank und die Dosierung auszugleichen. Die höhere Verdampfungswärme erfordert spezielle Maßnahmen zur Gemischbildung. Die Verwendung als Additives zu DK und VK ist bei evtl. Anwendung von Lösungsvermittlern möglich. Pflanzenöle haben Eigenschaften, die denen von DK sehr nahekommen. Probleme werden jedoch durch die Neigung zur Veresterung und eine höhere Viskosität erwartet. Bisher wurden nur Ergebnisse von Kurzzeitversuchen bekannt, die positiv verliefen, jedoch Probleme durch Ablagerungen im Motor andeuteten [1].

Einen Vergleich der aufgeführten Alternativkraftstoffe enthält Tafel 1. Mit Ausnahme von Pflanzenölen handelt es sich dabei um klopfeste Ottokraftstoffe, so daß sich die Nutzungsmöglichkeiten entsprechend den Angaben in Tafel 2 ergeben. Beim Wechselbetrieb sind energetische Einbußen zu erwarten, weil ein Motor stets nur für eine Betriebsart optimiert sein kann. Natürlich können diese Probleme durch eine zielstrebige Entwicklungsarbeit kompensiert werden, die aber in ähnlicher Weise auch zu einer weiteren Verbesserung der herkömmlichen Motoren dienen könnte. Bedeutsame Vorteile gegenüber dem Benzinmotor sind mit hochverdichteten Alkohol- bzw. Gasmotoren hinsichtlich der Energieökonomie erreichbar. Dennoch sind sie im Normalfall nicht konkurrenzfähig im Vergleich zu Dieselmotoren. Der Zündstrahlbetrieb (Zweistoff-Fahrweise) bietet zwar den Vorteil der wahlweisen Verwendung von DK und VK als Zündkraftstoff

Tafel 3. Technische Abweichungen von Alternativkraftstoffmotoren gegenüber VK- bzw. DK-Motoren (einschl. Energiespeicher)

	Biogas-Methan-Betrieb	Alkoholbetrieb
Energiespeicher	Druckgasbehälter <sup>1)</sup> Kryotank <sup>1)</sup>	resistenter Tank, etwa doppeltes Volumen
Betankung	Gastankstelle mit spezieller Sicherheitstechnik, Verflüssigungs- bzw. Verdichtungsanlage <sup>1)</sup>	Tankstelle oder Tankwagen ähnlich DK, VK
Kraftstoffzufuhr zum Motor	Rohrbruchsicherung <sup>1, 2)</sup> Druckminderer <sup>1, 2)</sup> Wärmeübertrager <sup>1)</sup> Filter Druckregler Armaturen Druckleitungen	Kraftstoffanlage, resistent
Gemischbildung	flammenrückschlagsichere, explosionsdruckfeste Gas-Luft-Mischeinrichtungen	Alkoholvergaser bzw. -verdampfer oder Alkoholeinspritzung
Gemischdosierung Zündstrahlverfahren	Qualitätsregelung Drosselorgan, gekoppelt an das Regelsystem der Einspritzanlage (DK); sicherheitstechnisch verblockte Gaszufuhr; teilweise Quantitätsregelung möglich	Qualitätsregelung Drosselorgan bzw. Dosierung, gekoppelt an das Regelsystem der Einspritzpumpe (DK); teilweise Qualitätsregelung möglich
Gemischdosierung Fremdzündungsprinzip	Quantitätsregelung Gasdosierung gemeinsam mit der Luft (Drosselklappe), Gemischabmagerung im Teillastbereich, Gemischanreicherung im Vollastbereich, sicherheitstechnisch verblockte Gaszufuhr	Quantitätsregelung Vergaser mit Drosselklappe bzw. an den Luftstrom gebundene Dosierung (z. B. der Einspritzung)
besondere Sicherheitsanforderungen	– System von Sicherheitsarmaturen – Hermetisierung der Kabine – verbesserte Kurbelgehäuse- und -entlüftung – explosions- und brandschutzsichere Ausführung (Elektrik, Belüftung usw.) – Drucksicherheit – jährliche Revision	– wie VK/DK – Gesundheitsgefährdung beachten!

1) entfällt bei stationären Gasmotoren  
2) nur bei Druckgasanlagen



(ständig 5 bis 25 % der DK-Vollastmenge) und Gas bzw. Alkohol als Hauptkraftstoff, beinhaltet aber in sich den Widerspruch zwischen dem Dieselmotor mit innerer Gemischbildung und dem Zündstrahlmotor mit partiell äußerer Gemischbildung.

Lediglich bei der Alkohol-Direkteinspritzung könnte dieser Widerspruch besser lösbar sein, wobei sich die hohe Verdampfungswärme negativ auswirken könnte. Die Anwendung von Mischkraftstoffen ist, wie bereits festgestellt, auch möglich. Sie kann, vor allem bei Vergaserkraftstoffen, zur Erhöhung der Qualität derselben führen.

Methan als Gaskraftstoff begünstigt im Vergleich zu Flüssigkraftstoffen den Prozeß der Gemischbildung, die vorwiegend als äußere erfolgt. Gas-Ottomotoren weisen deshalb eine deutlich niedrigere (und bleifreie) Schadstoffemission als die jeweilige VK-Ausführung auf. Zündstrahlmotoren laufen nahezu rauchfrei. Reine Gasmotoren und Zündstrahlmotoren mit geringer Ladungsbewegung im Zylinder zeichnen sich durch einen auffallend weichen Verbrennungsablauf aus, während eine intensive Ladungsbewegung, die für die meisten anderen Dieselmotoren charakteristisch ist, einen harten Motorlauf bedingt. Das bestätigen eigene und auch in der Literatur dargelegte Erfahrungen.

Einen Überblick über technische Details von Gas- und Alkoholmotoren enthält Tafel 3. Der Gasbetrieb erfordert eine entsprechende Gasanlage, die vor allem bei Wechselmotoren erhebliche zusätzliche Investitionen bedingt. Hohe Kosten werden in erster Linie durch den als Druckbehälter ausgeführten Gastank, weiterhin durch die Gasarmatu-

ren, vor allem den Druckregler, verursacht. Bei Alkoholmotoren ist das Gemischbildungssystem relativ aufwendig. Bei der Verwendung von Mischkraftstoffen mit Alkohol sind die zusätzlichen Kosten gegenüber einem üblichen Motor gering.

### Zusammenfassung

Alternativkraftstoffe, auch auf nichtfossiler Basis, gewinnen an Bedeutung, werden aber insgesamt eine untergeordnete Rolle spielen. Im Rahmen der Erweiterung der Kohleverflüssigung kann u. U. mit dem Einsatz von Methanol als Mischungskomponente oder evtl. auch als Kraftstoff selbst gerechnet werden.

Innerhalb der Landwirtschaft der DDR könnte in der Perspektive in den Standortbereichen von Biogasanlagen in begrenztem Maß Methan als Alternativkraftstoff eingesetzt werden. Einen größeren Umfang, d. h. in jeder größeren Anlage, könnte der Betrieb stationärer Gasmotoren zum Antrieb von Generatoren und Wärmepumpen annehmen.

Die Hauptaufgaben bei der Anwendung des Verbrennungsmotors bleiben aber für den Landtechniker der Einsatz des Dieselmotors in Bereichen niedrigen spezifischen Kraftstoffverbrauchs, die qualitativ hochwertige Instandhaltung sowie der fachgerechte und energieoptimale Einsatz aller Maschinen.

### Literatur

[1] Batel, W., u. a.: Pflanzenöle für die Kraftstoff- und Energieversorgung. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 30 (1980) 2, S. 40-51.

- [2] Batel, W., u. a.: Ethanol aus nachwachsenden Rohstoffen als alternativer Kraftstoff für Fahrzeuge. Grundlagen der Landtechnik, Düsseldorf 31 (1981) 4, S. 125-137.
- [3] Prescher, K.: Wasserstoffantrieb für Automobile. Neue Speichertechnologie erhöht den Wirkungsgrad. MTZ, Stuttgart 4 (1983) 6, S. 211ff.
- [4] Jante, A.: Vorlesung Verbrennungsmotoren 1.-4. Lehrbrief. TU Dresden, Sektion 16, WB Verbrennungsmotoren und Kraftfahrzeuge, 1972.
- [5] Arndt, A.: Kleines Formellexikon, 10. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1972.
- [6] Reinhold, H.: Das Kraftfahrzeug in Formeln und Tabellen. Berlin: VEB Verlag Technik 1966.
- [7] Algenstaedt, K.: Nutzung alternativer Energiequellen in der Landwirtschaft der DDR - ein Beitrag zur Reduzierung des Aufwands an traditionellen Energieträgern. 10. Internationaler Kongreß für Landwirtschaftstechnik Budapest 1984.
- [8] Engshuber, M.; Beyer, G.: Renaissance für Biogas? Technische Gemeinschaft, Berlin 31 (1983) 3, S. 29ff; Korrektur im Heft 6, S. 2.
- [9] Noack, D.: Biogasanlagen in der Wasserwirtschaft. Vortrag auf der KDT-Fachtagung „Gewinnung und Verwertung von Biogas“. TH Merseburg, 25./26. Mai 1984 (nach persönlichen Aufzeichnungen).
- [10] Witt, P.: Nutzfahrzeugtechnik auf der Leipziger Herbstmesse 1983. KFT, Berlin 33 (1983) 11, S. 345ff.
- [11] Baumhchel, G.: Kriterien des Einsatzes von Biogas in mobiler Landtechnik. agrartechnik, Berlin 34 (1984) 11, S. 502ff.
- [12] Steinmetz, W.: Verflüssigtes Biogas als Alternativkraftstoff. agrartechnik, Berlin 36 (1986) 4, S. 150-153.
- [13] Bartel, W.: Alternative Kraftstoffe für die Landwirtschaft. Landtechnik, Lehrte (1982) 6, S. 278-280. A 4651

## Verflüssigtes Biogas als Alternativkraftstoff

Dr. sc. techn. W. Steinmetz, KDT/Prof. Dr. sc. agr. K. Mührel, KDT  
Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock der AdL der DDR  
Dr. agr. J. Franz, VEG(Z) Tierzucht Nordhausen

### 1. Einleitung

Biogas hat weltweit wieder das Interesse als Energieträger im allgemeinen und als Alternativkraftstoff im besonderen geweckt. Biogas entsteht durch anaerobe Fermentation organischer Abprodukte, wie sie in der Tierproduktion, an kommunalen Kläranlagen und auf Mülldeponien anfallen. Es stellt somit erneuerbare Energie dar.

In der DDR könnten vom täglichen Gülleanfall her an 290 Standorten der Tierproduktion größere Biogasanlagen errichtet werden. Mit dem Gesamtpotential an Biogas aus diesen Anlagen könnten etwa 8 % des DK-Verbrauchs der Landwirtschaft substituiert werden.

Biogas ist ein Gasgemisch, das im wesentlichen zu 60 bis 70 % aus Methan und zu 30 bis 40 % aus Kohlendioxid besteht. Es ist wie Erdgas ein idealer Kraftstoff für Ottomotoren. Gegenüber Superbenzin hat es eine weit höhere Klopfestigkeit. Die Abgase biogasbetriebener Motoren enthalten bedeutend geringere Schadstoffmengen als die Abgase von konventionellen Motoren. Technisch schwierig ist jedoch die Speicherung des Biogases bei Fahrzeugen. An der Speichertechnik hat sich seit 50 Jahren nichts Grundlegendes verändert. Das Biogas wird ge-

trocknet, gereinigt und als hochprozentiges Methan komprimiert. Das komprimierte Methan wird unter einem Druck von 15 bis 20 MPa in Druckflaschen im Fahrzeug gespeichert. Das gleiche Verfahren wird auch für verdichtetes Erdgas angewendet. International hat sich für verdichtetes Erdgas die Bezeichnung „CNG“ (Compressed Natural Gas) durchgesetzt; sie wurde auch für verdichtetes Biogas übernommen.

Nachteil sind die große Masse der Druckflaschen und die zu kleinen Aktionsradien der CNG-Fahrzeuge. Zur Vermeidung der Nachteile von komprimiertem Biogas wurde im Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock im Rahmen eines Forschungsthemas nach effektiveren Verfahren der Biogasspeicherung gesucht [1].

Als aussichtsreiche Variante erschien die Biogasverflüssigung. Dazu müßte das Biogas durch eine Reinigung in Reinform überführt und anschließend durch Abkühlung auf 161,5°C verflüssigt werden. Solche Anlagen zur Biogasverflüssigung sind bisher noch nicht bekannt geworden. Eine z. T. ähnliche Technologie wird aber in der Erdgaswirtschaft bereits in großtechnischem Maßstab angewendet. Seit 2 Jahrzehnten wird Erdgas in verflüssigtem Zustand auf Spezialtank-

schiffen auf dem Seeweg transportiert. Für das verflüssigte Erdgas wurde international die Abkürzung „LNG“ (Liquefied Natural Gas) eingeführt. Obwohl sich verflüssigtes Biogas in seiner Zusammensetzung von verflüssigtem Erdgas unterscheidet, soll aufgrund der in beiden Produkten enthaltenen Hauptkomponente Methan die gleiche Bezeichnung „LNG“ verwendet werden.

Die Aufgabenstellung der o.g. Forschungsarbeit läßt sich in zwei Schwerpunkten fixieren:

- Bau und Erprobung verschiedener Prototypen von LNG-Fahrzeugen
- Eigenerzeugung von LNG.

### 2. Kleintechnische Anlage zur Methanverflüssigung

Für die Erprobung der LNG-Fahrzeuge war deren Versorgung mit Flüssigmethan (LNG) die entscheidende Frage. Daher wurde als erstes Problem die Eigenerzeugung von LNG aus Reinformethan in Angriff genommen. Das Reinformethan wurde in komprimiertem Zustand vom VEB Leuna-Werke bezogen und sollte dann in einer zu bauenden Kleinanlage verflüssigt werden.

Die im Institut für Energie- und Transportforschung Meißen/Rostock entwickelte klein-