

FORSCHUNGSBERICHTE

der Bundesversuchs- und Prüfungsanstalt für
landwirtschaftliche Maschinen und Geräte, Wieselburg

Studie über den Betrieb landwirtschaftlicher Dieselmotore mit Holzgas

Manfred Wörgetter

Heft 5

Dezember 1976

FORSCHUNGSBERICHTE

der Bundesversuchs- und Prüfungsanstalt für
landwirtschaftliche Maschinen und Geräte, Wieselburg

Studie über den Betrieb landwirtschaftlicher Dieselmotore mit Holzgas

Manfred Wörgetter

Dipl. Ing. Manfred Wörgetter
Abteilung Landtechnische Forschung an der Bundesversuchs-
und Prüfungsanstalt für landwirtschaftliche Maschinen und Geräte
A-3250 Wieselburg a. d. Erlauf

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdruckes, der Übersetzung, der Entnahme von Abbildungen, der photomechanischen oder xerographischen Vervielfältigung, der Funksendung und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben auch bei auszugsweiser Wiedergabe vorbehalten.

Als Manuskript gedruckt und herausgegeben von der Bundesversuchs-
und Prüfungsanstalt für landwirtschaftliche Maschinen und Geräte,
A-3250 Wieselburg a. d. Erlauf. Für den Inhalt verantwortlich:
Wirkl. Hofrat Dipl. Ing. Dr. techn. E. Reichmann

VORWORT

Die folgende Studie wurde auf Grund eines Auftrages des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft erstellt und ist der erste Teil einer Untersuchung über Ersatztreibstoffe für die Landwirtschaft. Am Zustandekommen der Arbeit waren zahlreiche Personen beteiligt, denen hier herzlich gedankt sei:

Min. Rat Dr. J. Schröfl für die Anregung, die Ermöglichung und stete Förderung,

Direktor wirkl. Hofrat Dipl. Ing. Dr. techn. E. Reichmann für die Förderung der Arbeit sowie für seine aktive Mitarbeit,

Dipl. Ing. J. Pernkopf für das Zusammentragen der Literatur sowie für die aktive Mitarbeit bei der Erstellung der Studie,

Frau I. Lejsek für den Satz der Formeln und Gestaltung der Abbildungen,

Frau M. Obernberger für das Schreiben des Manuskripts,

Herrn O. Wurzer für die fotografischen Arbeiten,

Herrn E. Hilber für den Druck.

Wieselburg, im Dezember 1976

Manfred Wörgetter

INHALTSVERZEICHNIS

1. Problemstellung	1
1.1 Wirtschaftliche Probleme	1
1.2 Technische Probleme	2
1.2.1 Verwendung fester Brennstoffe	2
1.2.2 Verwendung vergaster fester Brennstoffe	2
2. Beschreibung einer Holzgasanlage	2
2.1 Prinzipieller Aufbau	2
2.2 Vergasung im Generator	3
2.3 Gasreinigung und Kühlung	3
2.4 Gasmotor	4
2.4.1 Allgemeines	4
2.4.2 Erzielbare effektive Motorleistung	5
2.4.3 Spezifischer, stündlicher und täglicher Verbrauch	8
2.5 Wirkungsgrad der Holzgasanlage	10
3. Erfahrungen mit Holzgas	10
3.1 Erfahrungen mit Holzgas bis 1945	10
3.2 Versuchsergebnisse mit neueren Entwicklungen	13
4. Schwierigkeiten beim Holzgasbetrieb	13
4.1 Starten	13
4.2 Regelung	14
4.3 Verbrauch	14
4.4 Gasverunreinigungen und ihre Auswirkungen auf die Umwelt	14
4.5 Anbau der Generatoranlage	15
5. Wirtschaftlichkeit	15
5.1 Umbaukosten und Umbaudauer	15
5.2 Mögliche Dieseleinsparung	16
5.3 Vergleich der Treibstoffkosten	18

6. Abschließende Beurteilung	24
Verwendete Einheiten und Umrechnungsfaktoren	26
Literatur	27

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Studie wird anhand von Veröffentlichungen über Holzgasgeneratoren untersucht, ob es in Österreich grundsätzlich möglich ist, den für die Landwirtschaft nötigen Dieselmotorkraftstoff durch Holz zu ersetzen. Man kann zu dem Schluß kommen, daß das Problem von der technischen Seite her wohl zu lösen wäre, wenn man bereit ist, Leistungsminderung und Bedienungserschwernisse in Kauf zu nehmen, daß aber die wirtschaftlichen und organisatorischen Schwierigkeiten so groß sind, daß man Holzgas als Alternativkraftstoff kaum ins Auge fassen kann. Holz als Energieträger kann wirtschaftlicher in Heizanlagen und vermutlich auch als Ausgangsmaterial für eine Synthese flüssiger Treibstoffe verwendet werden.

1. PROBLEMSTELLUNG

1.1. WIRTSCHAFTLICHE PROBLEME

Durch den hohen Erdölpreis und die unsichere politische Situation in den Erdölförderstaaten ist eine geringe Abhängigkeit von Erdölimporten wünschenswert. In plötzlich auftretenden Krisensituationen wäre es auf alle Fälle wichtig, auf einheimische Treibstoffe übergehen zu können. Für die Landwirtschaft bietet sich Holz als Treibstoff an, da es für viele Landwirte möglich wäre, sich aus dem eigenen Betrieb zu versorgen.

Um eine Vorstellung über die in Österreich jährlich verbrauchte Erdölmenge zu bekommen, seien folgende Zahlen genannt:

Österreich gesamt	Erdöl:	11 Mio t
Verbrauch in der Landwirtschaft	Dieselmotorkraftstoff:	325 000 t
	Heizöl:	200 000 t
	Benzin:	24 500 t

Die genannten Zahlen stammen aus dem Jahre 1972, [1] und dürften sich für 1975 nur geringfügig nach oben verschoben haben. Nicht berücksichtigt dabei ist der Erdölverbrauch der Kunstdüngerproduktion.

Dem Verbrauch gegenübergestellt seien die Erdölvorräte Österreichs:

Geschätzte Gesamtmenge:	100 Mio t
-------------------------	-----------

in bekannten Lagerstätten:	60 Mio t
davon sichere Vorräte:	25 Mio t

Aus den oben genannten Zahlen geht deutlich hervor, daß die Erdölförderung aus einheimischen Lagerstätten den Verbrauch nur für sehr begrenzte Zeit decken kann.

1.2. TECHNISCHE PROBLEME

1.2.1 Verwendung fester Brennstoffe

Die Verbrennung fester Brennstoffe in Verbrennungskraftmaschinen ist wohl theoretisch möglich, Forschungen in dieser Richtung haben aber gezeigt, daß die direkte Verbrennung fester Brennstoffe im Motor praktisch undurchführbar ist. Über den Umweg einer Vergasung kann man aber feste Brennstoffe als Energieträger für Verbrennungskraftmaschinen einsetzen. Holz, Holzkohle und Kohle dienten bis 1945 in größerem Umfang auf diese Weise als Treibstoff.

1.2.2 Verwendung vergaster fester Brennstoffe

Der Bau von Gasmotoren bereitet in technischer Hinsicht keinerlei Schwierigkeiten. Mit Problemen ist dagegen zu rechnen, wenn man die in der Landwirtschaft hauptsächlich verwendeten Dieselmotore auf Gasbetrieb umrüsten möchte. Gasmotore arbeiten nach dem Ottoprozess, beim Umbau müßten die vorhandenen Dieselmotore mit einer Zündanlage versehen werden. Eine weitere Schwierigkeit ist das hohe Verdichtungsverhältnis der Dieselmotore.

2. BESCHREIBUNG EINER HOLZGASANLAGE

2.1. PRINZIPIELLER AUFBAU

Der Aufbau einer Holzgasanlage ist aus Bild 1 ersichtlich. Im Gasgenerator entsteht aus dem Holz das Holzgas (Gengas, Generatorgas, Schwachgas oder Sauggas). Das Gas muß in einem nachgeschalteten Filter gereinigt und in einem Kühler abgekühlt werden, ehe es über ein Mischventil gemeinsam mit Luft dem Gasmotor zugeführt werden kann.

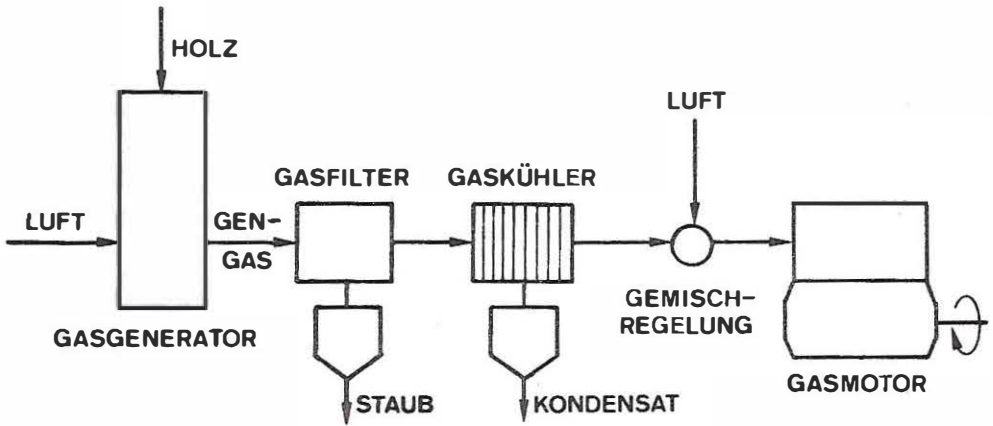


Bild 1: Schema einer Holzgasanlage

2.2. VERGASUNG IM GENERATOR

Der Vorgang im Gasgenerator ist eine Verbrennung mit Luftunterschub. Die für die Vergasung des Holzes notwendige Wärme entsteht durch teilweise Verbrennung desselben. Durch die Entgasung des Holzes entstehen Wasserdampf, Kohlenmonoxyd, Kohlendioxyd, Methan, höhere organische Verbindungen und Holzkohle (Kohlenstoff). Durch Vergasung der Holzkohle wird Kohlenmonoxyd gebildet, durch Einwirkung des glühenden Kohlenstoffs auf Wasser entsteht Wasserstoff und wiederum Kohlenmonoxyd.

Das im Generator erzeugte Gas setzt sich wie folgt zusammen:

Tab. 1 Zusammensetzung des Generatorgases

Brennbar			Unbrennbar		Unterer Heizwert	
CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	H _U	
Vol. %					kJ/m _N ³	kcal/m _N ³
12-24	6-20	1-3	20-8	60-45	4520 - 5570	1080 - 1330

2.3. GASREINIGUNG UND KÜHLUNG

Das Generatorgas hat nach dem Generator eine Temperatur von 300 bis 500° C und ist mit teerigen und harzigen Bestandteilen, Phenolen und

Säuren sowie mit Asche verunreinigt. Das Gas wird in einem Kühler abgekühlt, wobei dampfförmige Verunreinigungen weitgehend auskondensieren, die festen Bestandteile werden in Zyklon- und/oder Stofffiltern ausgefiltert.

2.4. GASMOTOR

2.4.1 Allgemeines

Wie schon weiter vorne ausgeführt, sind Gasmotore Ottomotore und arbeiten mit Fremdzündung. Gasmotore können auf Grund der sehr hohen Oktanzahl der meisten Gase mit sehr hoher Verdichtung betrieben werden, Verdichtungsverhältnisse bis 14:1 lassen sich realisieren. Aus diesem Grund ist der Wirkungsgrad neuentwickelter Gasmotore hoch. Beim Umbau von Dieselmotoren in Holzgasmotore ist aber mit einer Verringerung des Wirkungsgrades zu rechnen.

Bei der Umstellung von Dieselmotoren auf Holzgasbetrieb sind folgende Probleme zu lösen:

1. Reduktion der Verdichtung auf ein Verdichtungsverhältnis von ungefähr 13:1
2. Aufbau einer Zündanlage

Die erste Forderung ist bei Direkteinspritzer-Dieselmotore auf Grund des relativ niedrigen Verdichtungsverhältnisses von ca. 16:1 durch Einbau einer stärkeren Zylinderkopfdichtung in vielen Fällen relativ leicht zu erfüllen. Vorkammermotore erfordern aber wegen der hohen Verdichtung von ca. 20:1 umfangreiche Arbeiten am Zylinderkopf, die u.U. nicht mehr rückgängig gemacht werden können.

Für das zweite Problem bieten sich zwei Lösungen an:

- a) Ersetzen der Einspritzpumpe durch eine wie im Ottomotorenbau übliche Zündanlage. Dabei ist wegen der für Ottobetrieb hohen Verdichtung für einen kräftigen Zündfunken Sorge zu tragen. Der Umbauaufwand ist allerdings groß und der Motor nach dem Umbau nicht mehr auf Dieselbetrieb umzustellen (Zündung durch Zündfunken scheint nur für den Umbau von Ottomotoren und vor allem für Neukonstruktionen geeignet zu sein).
- b) Zünden des Gasgemisches mit einem Dieselizeündstrahl. Dabei wird die vorhandene Einspritzanlage verwendet, die Pumpe wird ledig-

lich auf eine kleine konstante Fördermenge (ca. 10 bis 25 % der Menge bei Dieselbetrieb) einreguliert. Der Umbauaufwand ist gering, Umstellung auf Reindieselbetrieb ist leicht möglich, u. U. ist sogar ein Wechselbetrieb mit Diesel bzw. Diesel-Holzgas möglich.

Von Nachteil bei dieser Version ist allerdings der zusätzliche Verbrauch von Dieselöl.

IM WEITEREN BEFASST SICH DIE STUDIE WEGEN DER RELATIV LEICHTEN REALISIERBARKEIT NUR MIT DIESEL-HOLZGASANLAGEN (kurz DHG-Anlagen genannt)

Das Schema einer DHG-Anlage, wie sie vor kurzer Zeit in Schweden erprobt wurde, zeigt Bild 2.

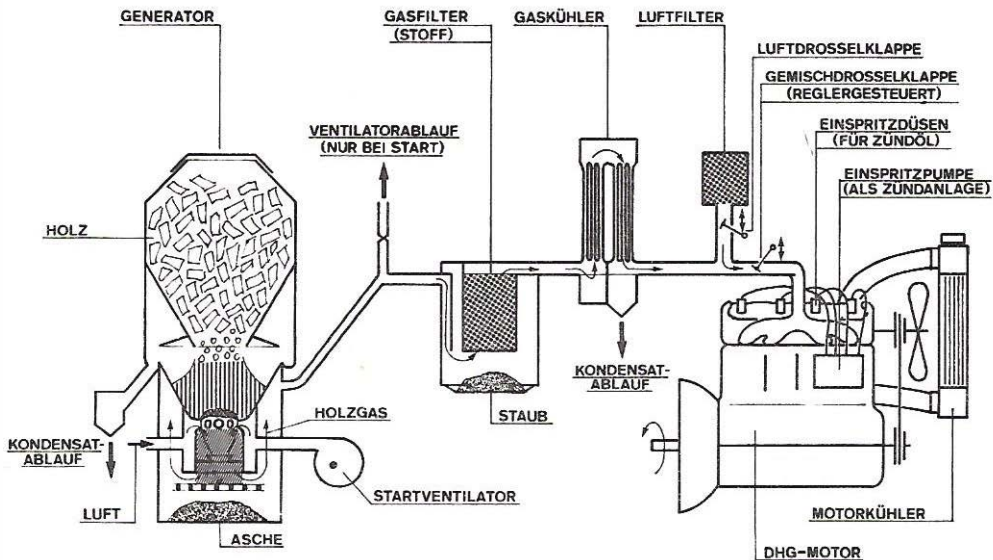


Bild 2: Schwedische Diesel-Holzgasanlage

2. 4. 2 Erzielbare effektive Motorleistung

Sie errechnet sich für den 4-Takt-Motor:

$$P_e = \frac{V_h \cdot n \cdot p_e}{120} \quad [\text{kW}] \quad p_e = \lambda_l \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot H_g \quad [\text{MPa}]$$

$$\left(P_e = \frac{V_h \cdot n \cdot p_e}{900} \quad [\text{PS}] \quad p_e = 0,043 \cdot \lambda_l \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot H_g \quad [\text{kp/cm}^2] \right)$$

$$\eta_i = \eta_g \cdot \eta_{th} \quad \eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \quad \eta_{th} = 1 - \frac{1}{\epsilon^{m-1}}$$

H_g = Energie der Ladung / Volumen der Ladung [MJ/m_N^3], ($[\text{kcal/m}_N^3]$)

$H_g = \frac{H_u}{L_o}$ für den Dieselmotor

P_e effektive Motorleistung in kW (PS)

V_h Hubraum in dm^3

n Motordrehzahl in U/min

p_e mittlerer effektiver Druck in MPa (kp/cm^2)

λ_l Liefergrad

η_g Gütegrad

ϵ Verdichtungsverhältnis

H_u unterer Heizwert in MJ/kg (kcal/kg)

λ Luftverhältnis

η_i innerer Wirkungsgrad

η_{th} thermischer Wirkungsgrad

m Polytropenexponent

H_g Gemischheizwert in MJ/m_N^3 (kcal/m_N^3)

L_o stöchiometrische Luftmenge in m_N^3/kg

Das oben angegebene Berechnungsverfahren gilt für Otto- und Dieselmotoren. Für einen Leistungsvergleich zwischen einem Diesel- und einem DHG-Traktor seien folgende gemeinsame Werte zugrundegelegt:

$$V_h = 3,14 \text{ dm}^3 \quad x = 1,35 \quad \eta_m = 0,8$$

$$n = 2400 \text{ U/min} \quad \eta_g = 0,75$$

Die weiteren voneinander differierenden Werte sind aus Tab. 2, Tab. 3a und Tab. 3b zu ersehen.

Tab. 2 Wirkungsgrade von Diesel- und DHG-Motore

	ϵ	m	η_{th}	η_g	η_i	η_m	η_e
Diesel	16,8	1,35	0,627	0,75	0,471	0,75	0,353
DHG	13,0	1,35	0,593	0,75	0,440	0,75	0,333

Bei Verwendung von Hart- und Weichholz als Generatorbrennstoff läßt sich folgendes Generatorgas erwarten [2, 3, 8]

Tab. 3a Gasanalyse

Bestandteil	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂	N ₂	Σ
Vol %	18	20	2	12	48	100

$$H_U = 5,183 \text{ MJ/m}_N^3 \quad (1238 \text{ kcal/m}_N^3)$$

$$L_o = 1,1 \text{ Luft/m}_N^3 \text{ Gas}$$

Für die Erzeugung von 1 m_N³ Generatorgas sind 0,4 bis 0,5 kg Holz erforderlich [4, 5, 6].

Bei der Berechnung der Motorleistung ist die Abschätzung des Liefergrades λ , schwierig, da über den Strömungswiderstand in Generator, Filter, Kühler und Gemischregelventil sowie über die Abkühlung im Kühler noch zuwenig Aussagen vorliegen. Der Liefergrad bei DHG-Betrieb wurde überschlägig als um 25 % schlechter gegenüber Dieselbetrieb angenommen.

Tab. 3b zeigt eine überschlägige Abschätzung der bei DHG-Betrieb zu erwartenden Leistung.

Tab. 3b Motorleistung bei Diesel- und DHG-Betrieb

		Diesel	Holzgas + Diesel	
H_u	MJ/kg	43, 12		43, 12
	kcal/kg	10 300		10 300
	MJ/m _N ³		5, 183	
	kcal/m _N ³		1238	
λ		1, 3	1, 1	
L_o	kg/m _N ³	14, 5		14, 5
	m _N ³ /m _N ³		1, 1	
H_g	MJ/m _N ³	2, 286	2, 461 ¹⁾	
	kcal/m _N ³	546	588	
λ_l		0, 8	0, 8	
η_e		0, 353	0, 333	
P_e	MPa	0, 645	0, 492	
	kp/cm ²	6, 58	5, 02	
P_e	kW	40, 5	30, 9	
	PS	55	42	

1) Der Gemischheizwert für den DHG-Betrieb wurde entsprechend der Formel "Energie der Ladung/Volumen der Ladung" für die folgenden Brennstoffmengen bestimmt: Zündölverbrauch 34 g/kWh (25 g/PS_h); Holzgasverbrauch 1,7 m_N³/kWh (1,25 m_N³/PS_h); siehe dazu auch Lit [4].

2.4.3 Spezifischer, stündlicher und täglicher Verbrauch

Der Zusammenhang zwischen Verbrauch und Wirkungsgrad ergibt sich aus

$$\eta_e = \frac{\text{Arbeit an der Kurbelwelle}}{\text{aufgewendete Energie im Treibstoff}}$$

$$b_e = \frac{3,6}{H_u \cdot \eta_e}$$

$$B_h = b_e \cdot P_m$$

$$B_d = B_h \cdot t$$

- b_e spezifischer Verbrauch in kg/kWh
- H_u unterer Heizwert in MJ/kg bzw. MJ/m³_N
- B_h stündlicher Verbrauch bei P_m
- P_m mittlere Leistung über den Arbeitstag in kW
- B_d Tagesverbrauch bei einer Einsatzzeit t

Um einzelne Verbrauchswerte besser abschätzen zu können, sei ein spezifischer Verbrauchswert bzw. ein Holz-Diesel-Verhältnis eingeführt.

$$\beta_{HD} = \frac{\text{Holzverbrauch [kg]}}{\text{Dieselverbrauch [l]}}$$

Mit den Werten aus Tab. 2 und Tab. 3b werden die folgenden Verbrauchswerte für einen 40 kW- (55 PS-) Traktor abgeschätzt:

Tab. 4 Verbrauch bei Diesel- und DHG-Betrieb

		Diesel	Holzgas + Diesel	
b_e	kg/kWh	0,237		0,034
	kg/PS _h	0,174		0,025
	m ³ _N /kWh		1,82	
	m ³ _N /PS _h		1,34	
P_m	kW	20		
	PS	27,2		
B_h	kg/h	4,73		0,68
	m ³ _N /h		36,4	
t	h	10		
B_d	l/d	57		8,2
	kgHolz/d		163,8 ¹⁾	
β_{HD}	$\frac{\text{kgHolz}}{\text{kgDiesel}}$	2,87		

1) Errechnet mit der Annahme, daß aus 1 kg Holz 0,45 m³_N Holzgas entsteht [4, 5, 6].

2.5. WIRKUNGSGRAD DER HOLZGASANLAGE

Der Wirkungsgrad des Generators ist relativ hoch, es kann erwartet werden, daß bei Fahrzeuggeneratoren 70 bis 85 % der mit dem Holz eingesetzten Energie aus dem Generatorgas gewonnen werden kann. Laut Tab. 7 konnten 1937 bei stationären Holzgasanlagen Wirkungsgrade zwischen 74 und 90 % gemessen werden, und zwar bei zwischen Voll- und Halblast variierten Generatorbelastungen [2]. Bei geringerer als halber Last ist aber mit einer starken Verminderung des Wirkungsgrades zu rechnen.

Der Wirkungsgrad des Holzgasmotors wird wie aus den vorhergehenden Ausführungen zu ersehen ist, nur geringfügig schlechter sein als bei einem Dieselmotor. Für die gesamte Anlage (Generator plus Motor) könnte ein Wirkungsgrad von fast 28 % erreicht werden.

3. ERFAHRUNGEN MIT HOLZGAS

3.1. ERFAHRUNGEN MIT HOLZGAS BIS 1945

Während des 2. Weltkrieges wurden Fahrzeuge mit Holzgasgeneratoren in größerem Umfang verwendet. Mit Benzin oder Benzol betriebene Ottomotore wurden auf Holzgasbetrieb umgestellt. Dieselmotore wurden nicht umgebaut, ein DHG-Betrieb kam nicht in Frage¹⁾. Die Erfahrungen, die mit Holzgasanlagen gemacht wurden, geben teilweise wenig Anlaß zur Ermutigung. Militär-LKW hatten einen Holzverbrauch von 10 bis 15 kg Holz gegenüber 1 l Benzin [7].

Es liegen aber eine Fülle anderer Meßwerte aus dieser Zeit vor, die einen wesentlich günstigeren Verbraucher erwarten lassen. In Tab. 6 sind einige gemessene Verbrauchswerte und Leistungsverluste angegeben. Die in der Tabelle angeführten Motore waren durchwegs Ottomotore. Für den Verbrauchsvergleich wurde wieder das Holz-Benzin-Verhältnis herangezogen.

$$\beta_{HB} = \frac{\text{Holzverbrauch [kg]}}{\text{Benzinverbrauch [l]}}$$

1) Man ging damals von der Forderung aus, in der Landwirtschaft und bei Straßentransporten Treibstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis hundertprozentig zu ersetzen.

Bei den im folgenden errechneten Holz-Benzinverhältnissen ist allerdings zu berücksichtigen, daß der Benzinverbrauch, der für die Bestimmung von β_{HB} herangezogen wurde, bei den untersuchten Motoren wesentlich höher als bei modernen Konstruktionen war und daß damit ein Rückschluß auf den Holzverbrauch einer DHG-Anlage nicht so ohne weiteres möglich ist.

Falls nicht anders angegeben, so werden für die Berechnung der Verbrauchswerte folgende Dichten eingesetzt:

Tab. 5

	g/cm ³
Holz	0,70
Benzin	0,75
Diesel	0,83
Benzol	0,88

Tab. 6 Verbrauchswerte von Holzgasanlagen

	Motor	Generator	Lit. Hinw.	Meßbe- dingung	Lei- stungs- verlust	spez. Verbrauch		β_{HB}
						Holz	Benzin	
					%	kg/kWh		
1	Militär-LKW 3 t		7	Straße				10,8
2	Militär-LKW 2 t		7	Straße				10,5
3		Gustloff- Generator	5	Werks- angabe		0,95 -2,0	0,41 ¹⁾	7,5- 3,8
4	Hano- mag- Motor	Humbolt- Deutz KU3	8	Prüf- stand	35 - 40	1,9	0,44	3,85
5		Deutsche Holzverg. Ges.	8		35 - 40	1,8	0,44	3,85
6		Imbert 150/550	8		35 - 42	1,7	0,44	3,44
7		Kämpfer- Motor	Deutsche Holzver- gaser Ges.		8			0,37
8	$\epsilon = 5,17$		8		ca. 40	1,6		3,16
9	$\epsilon = 8,89$	Imbert 150/550	8		ca. 20	1,2		2,34

1) Vergleichsverbrauch angenommen

Auffallend sind die beträchtlichen Unterschiede zwischen Straßen- und Prüfstandsverbrauchswerten. Mutmaßliche Gründe dafür sind:

1. Prüfstandsverbrauch wurde bei Vollast gemessen.
2. Die Militär-LKW wurden im Kolonnenbetrieb gefahren, bei den häufigen Haltepausen mußte der Generator aber in Betrieb bleiben.
3. Mangelndes Regelsystem bei Teillast und im Stand.

Bei den damals verwendeten niedrig verdichteten Motoren war die Leistungseinbuße enorm (im Durchschnitt 40 %), bei Erhöhung der Verdichtung (Prüfung Nr. 9) beträgt die Leistungsminderung allerdings nur mehr 20 %.

In einer Vergleichsprüfung für ortsfeste Holzgasgeneratoren, die vom "Österreichischen Kuratorium für Wirtschaftlichkeit" bis zum Jahre 1937 [2] durchgeführt wurde, konnten folgende Generatorwirkungsgrade festgestellt werden:

Tab. 7 Wirkungsgrade von stationären Holzgasgeneratoren (1937)

Herstellerfirma	Generator- gewicht	Liefer- menge	Heizwert		Wirkungs- grad
	kg	m_N^3/min	kJ/m_N^3	$kcal/m_N^3$	%
Kromag, Hirtenberg Typ KS 12	310	0,64	5020	1200	75
Kromag, Hirtenberg Typ K 4	184	0,34	4820	1150	74
Hansa Generatoren AG., Berlin	198	0,60	4770	1140	78,6
Danneberg & Quandt Berlin	200	0,71	5110	1220	80
Leobersdorfer Ma- schinenfabrik AG.	874	1,41	4900	1170	76
Semmler & Vedder, Berlin	229	0,545	4650	1110	74

Wie man aus Tab. 7 ersehen kann, waren die Wirkungsgrade dieser Stationäranlagen beträchtlich hoch. Die gemessenen Wirkungsgrade beziehen sich auf Nennlast, bei Teillast liegen Wirkungsgrad und Heizwert unter den genannten Werten.

3.2. VERSUCHSERGEBNISSE MIT NEUEREN ENTWICKLUNGEN

In den letzten Jahren wurden in Schweden Untersuchungen über DHG-Anlagen, die nach dem in Bild 2 gezeigten Schema arbeiten, durchgeführt. Geprüft wurden Traktoren mittlerer Leistung (25 bis 30 kW bei Holzgasbetrieb) und LKW (Scania-Vabis, 6,23 l Hubraum) sowohl in Prüfstand- als auch in Straßenbetrieb [4, 9].

Meßergebnisse am Prüfstand:

Leistungseinbuße	5 - 20 %
Holzverbrauch	ca. 0,88 kg/kWh (0,65 kg/PSh)
Gasverbrauch	ca. 1,77 m ³ /kWh (1,3 m ³ /PSh)
Zündölverbrauch	20 - 55 g/kWh (15 - 40 g/PSh)
Holz-Diesel-Verhältnis β_{HD}	ca. 3 kg/l

Traktore im praktischen Einsatz (ca. 6000 Betriebsstunden):

Holzverbrauch	12 - 15 kg/h
Zündölverbrauch	1 l/h bzw. ca. 25 % des Dieselbetriebes
Holz-Diesel-Verhältnis β_{HD}	ca. 3,5 kg/l

6 t-LKW im praktischen Einsatz, 1200 km Fahrstrecke, Beladung 4 t:

Holzverbrauch	63 kg/100 km
Zündölverbrauch	3,7 l/100 km bzw. ca. 20 % des Dieselbetriebes
Holz-Diesel-Verhältnis β_{HD}	ca. 3,4 kg/l

Man sieht daraus, daß sich bei diesen Versuchen der Holzverbrauch im praktischen Betrieb in Grenzen hält, daß aber der Zündölverbrauch beträchtlich ist.

4. SCHWIERIGKEITEN BEIM HOLZGASBETRIEB

Grundsätzlich muß gesagt werden, daß Holzgasbetrieb wesentlich gefährlicher als Dieselbetrieb ist. Wegen der hohen Temperatur des Generators besteht Brandgefahr, beim Befüllen von Generatoren in Betrieb sind Verpuffungen möglich.

4.1. STARTEN

Das Starten einer Holzgasanlage ist zeitraubend, frühestens nach 10

Minuten kann mit einer ausreichenden Gasproduktion gerechnet werden, eine Vereinfachung des Startvorganges ist kaum möglich. Bei Fahrtunterbrechung kann der Generator nicht abgestellt werden, der Motor muß bei einer erhöhten Leerlaufdrehzahl laufen.

4. 2. REGELUNG

Die Drehzahlregelung geschieht bei den in Schweden untersuchten Traktoren durch einen Regler, der auf eine Drosselklappe in der Luft-Ansaugleitung wirkt (Bild 2). Man kann damit rechnen, daß die Drehzahlregelung nicht so exakt möglich ist wie beim Dieselmotor.

4. 3. VERBRAUCH

Der Holzverbrauch ist relativ hoch, für einen Traktor mittlerer Leistung¹⁾ (30,9 kW = 42 PS) muß mit einem Verbrauch von ca. 120 bis 200 kg pro Tag (das sind 0,17 bis 0,29 fm Holz bzw. 0,6 bis 1,0 m³ Holzkanteln) gerechnet werden. Es ist kaum möglich, den Vorrat für einen Tagesverbrauch mitzuführen.²⁾ Nachtanken ist zeitraubend und gefährlich (Verpuffungen).

Bei Teillast steigt nicht nur der spezifische Holzverbrauch, sondern auch der spezifische Zündölverbrauch (die Zündölmenge ist je Zündung immer gleich groß). Wie man aus den in Schweden gewonnenen Erfahrungen ersehen kann, beträgt der Zündölverbrauch im praktischen Betrieb bis zu 25 % des Dieselölverbrauches bei Dieselbetrieb, was den Einsatz von DHG-Anlagen recht fraglich macht.

4. 4. GASVERUNREINIGUNGEN UND IHRE AUSWIRKUNGEN AUF DIE UMWELT

Bei der Vergasung von Holz entstehen Asche, teerige Bestandteile und Säuren. Die Reinigung erfolgt mittels Stofffilter und/oder Zyklon plus nachgeschaltetem Kühler mit Kondensatabscheidung. Eine gute Gasreinigung ist von hoher Bedeutung, um den zusätzlichen Motorverschleiß so klein als möglich zu halten. Man wird aber kaum vermeiden können, daß die Ölwechselintervalle wesentlich verkürzt werden. Dadurch fallen höhere Schmierölkosten an.

1) Siehe dazu Seite 8, Tab. 3b und Seite 9, Tab. 4

2) Dazu wäre ein Bunker von 0,9 m Durchmesser und 1,6 m Höhe bzw. von 1,2 x 1,2 x 0,7 m nötig

Die Filter müssen in gewissen Intervallen gereinigt werden. Bei den in Schweden verwendeten Filtern [4] erwies sich eine Reinigung nach 100 bis 150 Betriebsstunden als ausreichend.

Die Abgasqualität von Gasmotoren wird im allgemeinen günstig beurteilt und dürfte dem Dieselmotor entsprechen.

Ein gegenüber herkömmlichen Antriebssystemen neues Problem ist die Entfernung des bei der Gasreinigung anfallenden Kondensats. Bei einer höheren Zahl von Holzgasmotoren könnte die Kondensatentfernung eine unzumutbare Belastung der Umwelt, speziell des Grundwassers, darstellen. Erfahrungen darüber liegen noch keine vor, da in der Zeit bis 1945 Umweltprobleme keine Beachtung fanden.

4.5. ANBAU DER GENERATORANLAGE

Ein weiterer Nachteil des Holzgasbetriebes ist das Gewicht und der Platzbedarf der Holzgasanlage. Für einen 30,9 kW-Traktor (42 PS)¹⁾ ist mit einer Gesamtmasse der Anlage von 350 bis 400 kg bei einer Generatorfüllmenge von 80 kg Holz zu rechnen.

Der Generator kann am Traktor praktisch nur seitlich in der Mitte angebracht werden, Kühler und Filter könnten seitlich oder vorne angeordnet werden. Der Zugang zum Motor wird dadurch stark behindert, die Reparaturfreundlichkeit des Traktors sinkt, die Sicht nach vorne und seitlich wird beeinträchtigt und der Anbau von Front- und Seitengeräten wird erschwert.

5. WIRTSCHAFTLICHKEIT

5.1. UMBAUKOSTEN UND UMBAUDAUER

Für eine Umrüstung kommen nur Traktoren in Frage. Mähdrescher können wegen der akuten Brandgefahr kaum umgebaut werden.

Für die Umbaukosten auf Holzgasbetrieb liegen nur Schätzwerte vor. Die Firma Steyr schätzte 1974 den kompletten Umbau eines 50 PS-Traktors (37 kW-Traktor) auf ca. 45 000 bis 90 000 S (entsprechend 55 000 bis 110 000 S im Jahr 1976). In Schweden nahm man 1973 einen Umbaupreis von ca. 15 000 sKr an [9].

¹⁾Leistung bei DHG-Betrieb

Würde man die 285 000 in Österreich in Verwendung stehenden Traktoren umrüsten, so wären Investitionen von 15 bis 30 Milliarden Schilling nötig. Dazu kommen aber noch die Kosten, die durch die Holzaufbereitung (Trocknung, Lagerung, Zerkleinerung durch Hackmaschinen u. ä.) erwachsen.

Unter der Annahme, daß die österreichische Industrie jährlich 50 000 Holzgasgeneratoranlagen produzieren kann, würde der Umbau sämtlicher Traktoren unter Berücksichtigung einer gewissen Anlaufphase 6 bis 7 Jahre in Anspruch nehmen. Eine kurzfristige Umrüstung zum Krisenzeitpunkt ist unmöglich, eine Umstellung müßte auf lange Sicht geplant werden.

5.2. MÖGLICHE DIESELEINSPARUNG

Wie schon weiter oben gezeigt, ist die Umstellung von Mähdreschern nicht möglich. Traktore mit Vorkammer-Dieselmotore sind nur beschränkt zum Umbau geeignet, der Holzverbrauch und der Zündölverbrauch wird etwas höher liegen.

Tab.8 Jährlicher Dieserverbrauch der Mähdrescher

	Anbaufläche ha	Verbrauch	
		l/ha	t/a
Mais	149 000 ¹⁾	20 ²⁾	2 500
Sonstiges	803 000 ¹⁾	15 ²⁾	10 000
Gesamt	1 052 000		12 500

1) Stand 1974

2) Von der DLG wurde in den Prüfungen ein durchschnittlicher Verbrauch von 13 l/ha für Mais und ca. 10,5 l/ha für sonstige Getreidearten festgestellt. In der Praxis kann man aber auf Grund schwierigen Geländes, schlechter Motoreinstellung und Straßenfahrt mit einem fast 50 %-igen Zuschlag rechnen.

Wie aus Tab. 9 ersichtlich, würde der jährliche Dieserverbrauch der Landwirtschaft von 325 000 t auf ca. 72 000 t, also auf ca. 22 % sinken, es wären aber zusätzlich fast 1,7 Mio fm Holz erforderlich.

Tab. 9 Jährlicher Diesel- und Holzverbrauch vor und nach Umstellung auf DHG-Betrieb

	Mäh- drescher	Traktore mit Vorkammer- motor	Traktore mit Direktein- spritzung	Gesamt
Maschinen- stand 1974	30 000	150 000 ¹⁾	135 000 ¹⁾	315 000
vor Umstellung				
Dieserver- brauch t/a	12 500	150 000	144 500	325 000
nach Umstellung				
Leistungs- abfall %	0	30	24	
Zündöver- brauch %	100	25	15	
β_{HD} kg/l	0	4	3	
Dieserver- brauch t/a	12 500	37 500	21 675	71 675
Holzverbrauch Mio t/a	0	0,723	0,434	1,157
Mio fm/a	0	1,033	0,619	1,652

1) Geschätzte Aufteilung

Um eine Abschätzung der Größenordnung zu ermöglichen, ist in Tab. 10 der Holzeinschlag des Jahres 1972 angegeben.

Tab. 10 Holzeinschlag im Jahre 1972 in Mio fm [10]

	Nutzholz	Brennholz	Gesamt
Betriebe bis 50 ha	2,807	0,819	3,626
Betriebe über 50 ha	4,130	0,594	4,724
Bundesforste	1,597	0,206	1,803
Gesamt	8,534	1,619	10,153

Einem Bedarf von 1,652 Mio fm Generatorholz steht ein Brennholzeinschlag von 1,619 Mio fm gegenüber. Um alle Traktore nach den DHG-Verfahren betreiben zu können, müßte man also das gesamte in Österreich zur Verfügung stehende Brennholz noch zur Vergasung heranziehen.

5.3. VERGLEICH DER TREIBSTOFFKOSTEN

Ein Vergleich der Treibstoffkosten gestaltet sich schwierig, da sich die Entwicklung der Preise der Energieträger (Erdöl bzw. Holz) nur schwer abschätzen läßt. Auch läßt sich für den Preis des Generatorholzes nur schlecht eine Annahme treffen, da es bis zur Verwendung im Generator schon stark mit Vorleistungen behaftet ist (Trocknen, Zerkleinern auf Zündholzschachtelgröße, Lagern, Transportieren). Über Reparaturkosten an der Generatoranlage, über erhöhten Motorverschleiß und über zusätzliche Betriebskosten wie z. B. Filtertausch und kürzere Motorölwechselintervalle sowie über höhere Personalkosten durch längere Nebenzeiten (Betanken, Reinigen, Entfernen des Abfalls) sowie über geringere Traktorleistung läßt sich keine exakte quantitative Aussage treffen.

Um wenigstens einen Anhaltswert der Betriebskosten ¹⁾ zu bekommen, wird im folgenden der Barwert der Betriebskosten über die gesamte Amortisationszeit ausschließlich für die Kosten der Betriebsmittel Diesel bzw. Holz für den Zeitpunkt der Investition gerechnet. Der Barwert errechnet sich für einen 40 kW-Traktor:

bei Dieselbetrieb (Motorleistung 40 kW):

$$BW_D = \sum_{t=1}^n BK_D \cdot p_D^t \cdot \bar{q}^{-t} = BK_D \frac{\left(\frac{p_D}{\bar{q}}\right)^n - 1}{\frac{p_D}{\bar{q}} - 1}$$

bei DHG-Betrieb (Motorleistung 31 kW):

$$BW_{DHG} = AK + BK_H \cdot \sum_{t=1}^n \left(\frac{p}{\bar{q}}\right)^t + BK_{ZÖ} \cdot \sum_{t=1}^n \left(\frac{p_D}{\bar{q}}\right)^t$$

1) Bei der Berechnung der Betriebskosten wurde die geringere Leistung bei DHG-Betrieb nicht berücksichtigt!

mit

$$BK_D = B_{hD} \cdot Z \cdot DPr$$

$$BK_H = B_{hH} \cdot Z \cdot HPr$$

$$BK_{Z\ddot{O}} = B_{hZ\ddot{O}} \cdot Z \cdot DPr = 0,2 B_{hD} \cdot Z \cdot DPr \text{ (20 \% Zündöl)}$$

$$p = 1+g \quad p_D = 1+g_D \quad q = 1+i$$

BW_D Barwert der Betriebskosten des Betriebsmittels Diesel, über die gesamte Amortisationszeit summiert.

BW_{DHG} Barwert der Betriebskosten der Betriebsmittel Diesel und Holz, über die gesamte Amortisationszeit summiert.

n Amortisationszeit in Jahren.

BK_D Summe der Betriebskosten für das Betriebsmittel Diesel im ersten Jahr des Betriebes.

BK_H Summe der Betriebskosten für das Betriebsmittel Holz im ersten Jahr des Betriebes.

$BK_{Z\ddot{O}}$ Summe der Betriebskosten für das Betriebsmittel Zündöl (Diesel) im ersten Jahr des Betriebes.

B_{hD} stündlicher Dieserverbrauch.

B_{hH} stündlicher Holzverbrauch.

$B_{hZ\ddot{O}}$ stündlicher Zündölverbrauch.

Z jährliche Einsatzzeit in Stunden.

DPr Dieselpreis im ersten Jahr des Betriebes.

HPr Holzpreis im ersten Jahr des Betriebes.

g jährliche Geldentwertung in %; die Verteuerung des Betriebsmittels Holz betrage gerade so viel wie die durch-

schnittliche Geldentwertung.

g_D jährliche Verteuerung des Betriebsmittels Diesel

i geforderter jährlicher Zinssatz

Der Berechnung wurden die in Tab. 11 folgenden Werte zugrundegelegt.

Tab. 11

n	B_{HD}	B_{HH}	DPr	HPr	g	g_D	i
a	l/h (kg/h)	fm/h (kg/h)	S/l	S/fm	%/a	%/a	%/a
10	5,70	0,0255	4,37 ¹⁾	300	7	7	8
12,5	(4,73)	(36,4)		450		10	
15				600		12 15	

1) verbilligter Preis der Landwirtschaft

Die Ergebnisse der Berechnung wurden in Form von Barwert-Einsatzzeit-Diagrammen niedergelegt (Bild 3, Fig. 1 bis 12). Aus diesen Diagrammen kann man für die entsprechend Tab. 11 variierten Werte der Amortisationszeiten, Holzpreise und Dieselpreisentwicklungen auf den Ordinaten die Barwerte der Betriebskosten über den Amortisationszeitraum ablesen. Der Schnittpunkt der Diesel-Geraden mit den jeweiligen DHG-Geraden gibt diejenige Einsatzzeit an, ab der unter Beachtung der weiter vorne angegebenen Einschränkungen der DHG-Betrieb von wirtschaftlichem Vorteil sein könnte.

Diskussion der Ergebnisse:

Nimmt man als Holzpreis 1976 einen Mittelwert von 450 S/fm (Engert [11] gibt Werte zwischen 386 S/fm bis 513 S/fm Brennholz) an und rechnet man mit einer jährlichen Einsatzzeit von 500 h (wie es auch bei den ÖKL-Richtwerten geschieht), so könnte nur in den folgenden Fällen (unter Beachtung der weiter vorne angegebenen Einschränkungen) DHG-Betrieb gegenüber Dieselbetrieb von Vorteil sein:

Dieselpreissteigerung 12 %/a, Amortisationszeit 15 Jahre (Fig. 11)

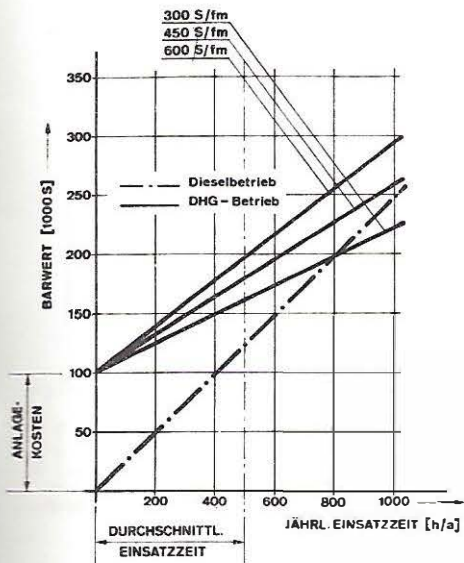


Fig. 1 : Dieselpreisfelgerung: 7 %/a
Amortisationszeit: 10 a

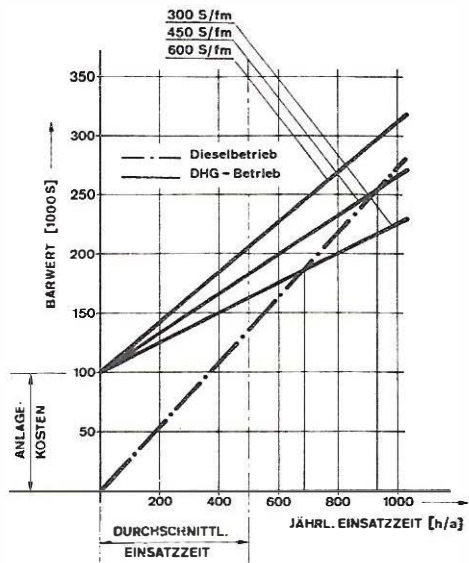


Fig. 2 : Dieselpreissteigerung: 10 %/a
Amortisationszeit: 10 a

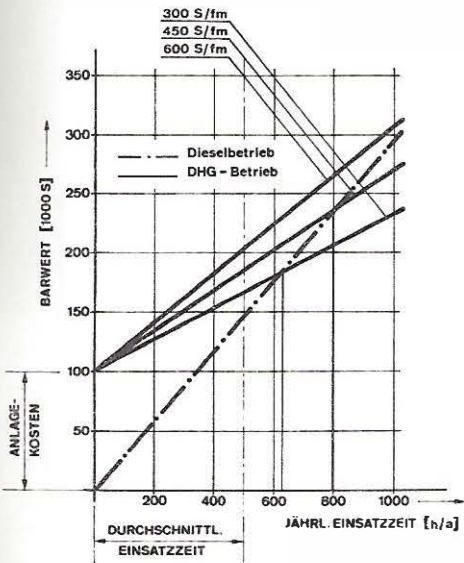


Fig. 3 : Dieselpreissteigerung: 12 %/a
Amortisationszeit: 10 a

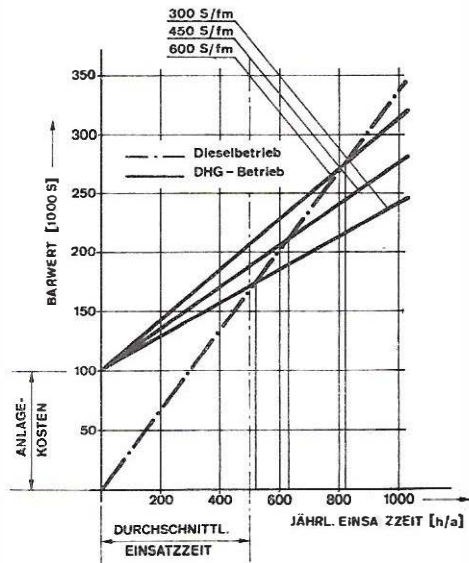


Fig. 4 : Dieselpreissteigerung: 15 %/a
Amortisationszeit: 10 a

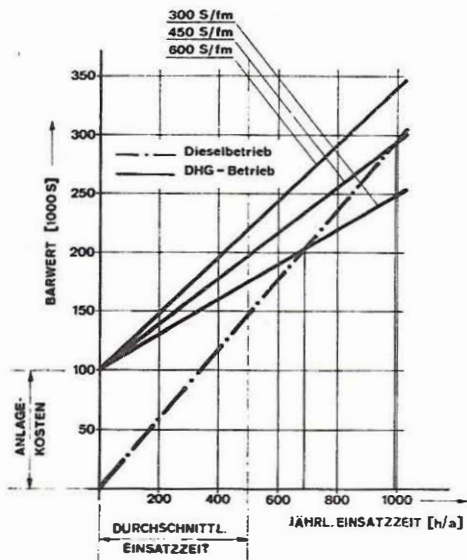


Fig. 5 : Dieselpreissteigerung: 7 %/a
Amortisationszeit: 12,5a

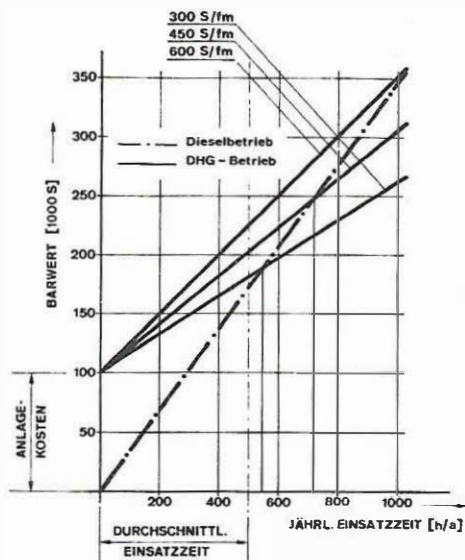


Fig. 6 : Dieselpreissteigerung: 10 %/a
Amortisationszeit: 12,5a

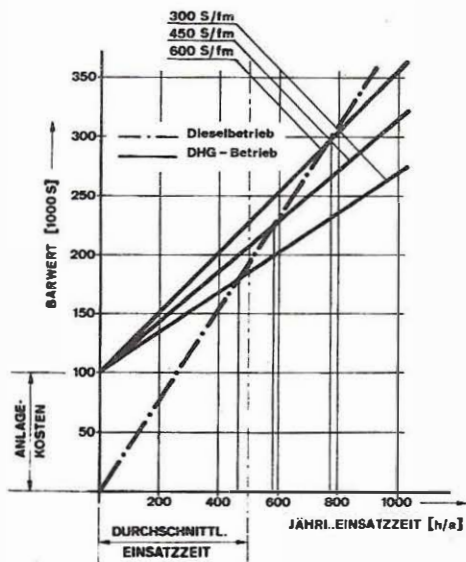


Fig. 7 : Dieselpreissteigerung: 12 %/a
Amortisationszeit: 12,5a

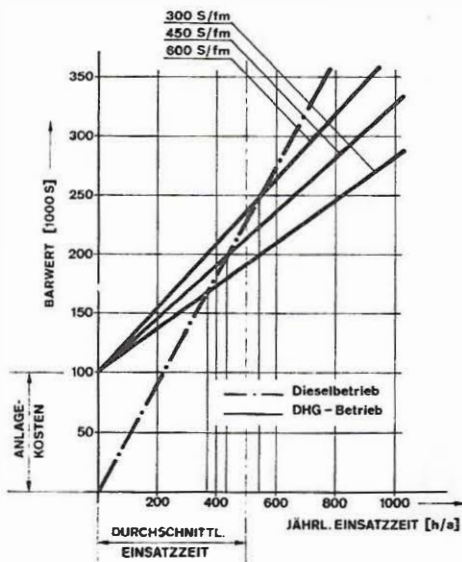


Fig. 8 : Dieselpreissteigerung: 15 %/a
Amortisationszeit: 12,5a

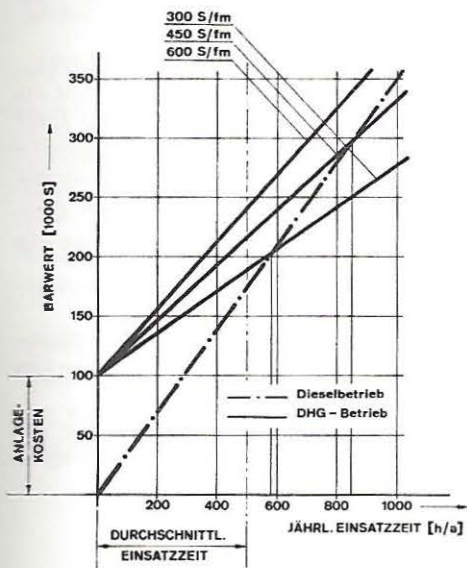


Fig. 9 : Dieselpreissteigerung: 7 % / a
Amortisationszeit: 15 a

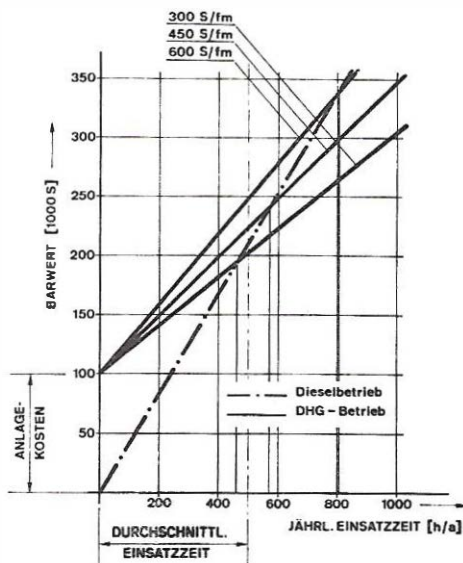


Fig. 10 : Dieselpreissteigerung: 10 % / a
Amortisationszeit: 15 a

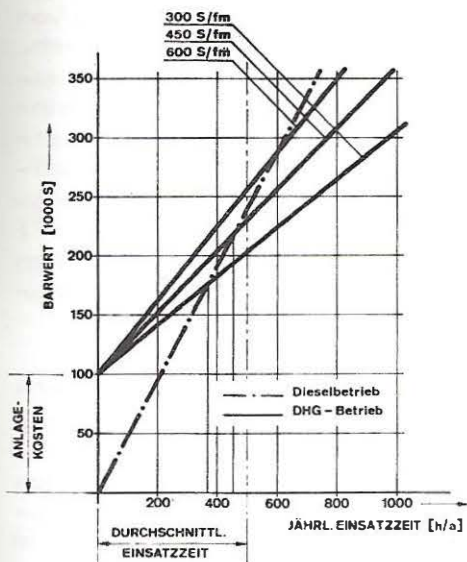


Fig. 11 : Dieselpreissteigerung: 12 % / a
Amortisationszeit: 15 a

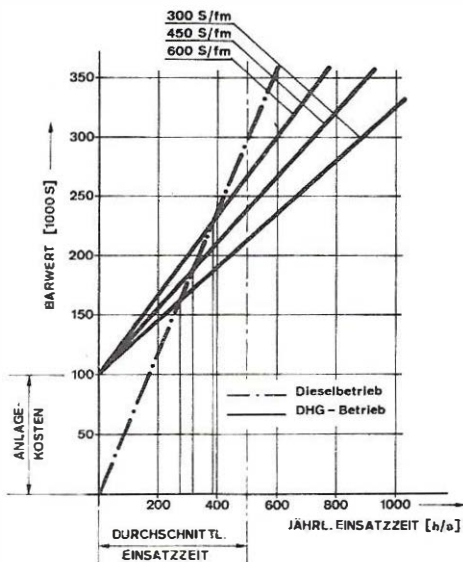


Fig. 12 : Dieselpreissteigerung: 15 % / a
Amortisationszeit: 15 a

Dieselpreissteigerung 15 %/a, Amortisationszeit 15 Jahre (Fig. 12)

Eine Preisentwicklung in dieser Form (7 %/a Preissteigerung bei Holz, 12 bzw. 15 %/a bei Diesel) ist aber zumindestens langfristig nicht zu erwarten, man kann sogar annehmen, daß nach einer gewissen Beruhigung auf dem Energiesektor zumindestens das Verhältnis der Preise pro Energieeinheit konstant bleiben wird. Auch sind Amortisationszeiten von 15 Jahren vermutlich für eine DHG-Anlage zu lang, der Generator würde dabei mit Reparaturkosten stark belastet oder seine Lebensdauer sogar überschritten werden.

Aus den hier angestellten Wirtschaftlichkeitsüberlegungen geht deutlich hervor, daß der Umbau eines Dieseltraktors auf DHG-Betrieb keinesfalls empfohlen werden kann.

Nur unter ganz bestimmten, eng begrenzten Voraussetzungen (niedrige Anlagekosten, sehr starker Dieselpreissteigerung und sehr niedrigen Brennholzkosten) könnte ein DHG-Betrieb von Vorteil sein.

6. ABSCHLIESSENDE BEURTEILUNG

Das rein technische Problem einer Umrüstung von Dieselmotoren auf DHG-Betrieb scheint ohne größere Schwierigkeiten lösbar zu sein. Es ist nur eine geringe Wirkungsgradeinbuße zu erwarten, die Leistungseinbuße wäre aber spürbar. Die Wartung und Bedienung von Holzgastraktoren ist wesentlich aufwendiger wie beim Dieselbetrieb. Die Kosten für eine Umstellung sind enorm hoch. Eine Umstellung aller Traktoren würde einige Jahre dauern, da die Kapazität der einschlägigen Wirtschaftszweige zu gering ist. Der jährliche Holzverbrauch wäre sehr hoch (ca. 16 % des Einschlages), die Treibstoffeinsparung aber nur gering. Die Einsparung bezogen auf den gesamtösterreichischen Erdölverbrauch würde nur ca. 2,2 % betragen¹⁾! Die Betriebskosten bei DHG-Betrieb wären bei den üblichen jährlichen Einsatzzeiten selbst bei ungünstiger Dieselpreisentwicklung höher als bei Dieselbetrieb.

Selbst für Krisenzeiten scheint ein Umbau auf Holzgas nicht von Vorteil, da es bestimmt einfacher ist, Holz in Feuerungen zu verheizen, um Heizöl einzusparen. Hinsichtlich der Forschung auf dem Holzgasgebiet in Schweden muß gesagt werden, daß die Sachlage in Schweden eine ganz andere ist. Schweden hat eine wesentlich höhere Holzproduktion und keine eigene Erdölförderung. Man rechnet dort damit, in

¹⁾ Der Energiewert des in Österreich jährlich eingeschlagenen Holzes entspricht ca. 3,1 Mio t Erdöl.

Krisenzeiten Schleifholz, das zur Zeit in den Export geht, durch Vergasung einer sinnvollen Verwendung zuführen zu können.

Möchte man Holz einer Verwendung als Fahrzeugtreibstoff zuführen, so gäbe es einige andere Möglichkeiten, wie z.B. die Kraftstoffsynthese aus Holz nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren oder eine Methanolsynthese aus Holz. Die Kosten einer solchen Produktion müßten genauer untersucht werden, lägen aber nach dem Urteil von Fachleuten ²⁾ unter den Kosten, die bei Holzgasbetrieb erwachsen würden. Für die erwähnten Syntheseverfahren könnte unter Umständen auch das bisher wenig genutzte Stroh als Rohstoff eingesetzt werden.

Unter Beachtung aller in diesem Bericht aufgezeigten Faktoren kann geschlossen werden, daß der Umbau der zur Zeit verwendeten Traktoren auf Holzgasbetrieb keine Alternative zum Dieselbetrieb sein kann.

2) Ein Fachmann einer Mineralölfirma urteilte anlässlich einer Aussprache im Jahre 1974 in diesem Sinne, ein Forschungsbericht des Battelle-Institutes [12] vertritt eine ähnliche Meinung.

VERWENDETE EINHEITEN UND UMRECHNUNGSFAKTOREN

In der Studie werden entsprechend dem Bundesgesetz vom 13. April 1973 (Änderung des Maß- und Eichgesetzes) SI-konforme Einheiten verwendet. Um aber eine Abschätzung der einzelnen Größen zu erleichtern, erfolgt in den meisten Fällen auch eine Angabe im technischen System (Werte in runder Klammer). Die verwendeten Einheiten und Umrechnungsfaktoren sind im folgenden angegeben:

Größe	SI-Einheit	Umrechnungsfaktor	TS-Einheit
Drehzahl n	U/min	1	U/min
Dichte ρ	g/cm ³	1	g/cm ³
Druck p	MPa	10,197	kp/cm ²
Heizwert, unterer H_u	kJ/kg MJ/kg	0,23885 0,23885 · 10 ³	kcal/kg kcal/kg
Gemischheizwert H_g	kJ/m ³ ¹⁾ kJ/m ³ ¹⁾	0,23885 0,23885	kcal/kg kcal/kg
Leistung P	kW	1,3596	PS
Luftmenge, stöchiometrische L_o	m ³ _N /kg ¹⁾ m ³ _N /m ³ _N	1 1	m ³ _N /kg m ³ _N /m ³ _N
Masse m	g kg	1 1	g kg
Verbrauch, stündlicher B spezifischer b	kg/h kg/kWh	1 0,73550	kg/h kg/PSh
Volumen V	m ³ dm ³ m ³ _N ¹⁾	1 1 1	m ³ dm ³ m ³ _N ²⁾ fm ²⁾

1) Die Einheit m³_N (= Nm³ = Normalkubikmeter) ist keine SI-Einheit, wird aber in der Literatur häufig verwendet und konnte nicht immer in eine Masseneinheit umgerechnet werden.

2) In der Forstwirtschaft übliche Einheit "Festmeter".

LITERATUR

- [1] "Die Energiesituation Österreichs", ein Vortrag von Dipl. Ing. Dr. techn. W. Frank im Landtechnischen Kolloquium vom 3. und 4. Dez. 1975
- [2] "Holzgasgeneratoren", Gesamtbericht des Ausschusses "Holz als Treibstoff", Verlag Julius Springer, Wien (1937)
- [3] "Der Gasgenerator" von Ing. Werner Kroll, Verlag G. Klient, Berlin (1943)
- [4] "Aktuelle Arbeiten auf dem Gebiet der Ersatztreibstoffe in Schweden", ein Bericht von Ing. Olle Nordström, erschienen in "Motorlastwagen "autocamion", 45. Jahrgang
- [5] "Der Gustloff-Generator", eine Informationsschrift der Patronenfabrik Hirtenberg
- [6] "Generatorenbetrieb, 1. Teil" von St.v. Szénásy, Verlag Richard Carl Schmidt & Co., Berlin (1944)
- [7] "Ersatztreibstoffe", ein Bericht von Oberst a.D. Oskar Schmilauer, erschienen im "Truppendienst" 3/1973
- [8] "Holz- und Holzkohlengaserzeuger für Kraftfahrzeuge" von Prof. Dr. Georg Kühne und Dr. Ing. Franz Koch, Heft 60 der RKTL-Schriften
- [9] "Die Landwirtschaft angesichts der Ölkrise", ein Artikel aus "Traktor Journalen" (eine schwedische Zeitung) vom 14. 12. 1973
- [10] "Jahresbericht über die Forstwirtschaft" Ausgabe 1972 vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
- [11] "Der Heizwert des Holzes" von Dipl. Ing. Gerit Engert, ein Artikel aus "Der fortschrittliche Landwirt", Heft 18/1976
- [12] "Welche Treibstoffe kommen als Alternative zu Benzin in Frage" von M. Jones und M. G. Royston, ein Forschungsbericht des Battelle-Institutes Genf (März 1974)