

## Der Einsatz eines Holzgas-Dieseltraktors in der Landwirtschaft

E. Stadler, Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, Tänikon

### 1. Einleitung

Unsere heutige Ernährungslage in der Schweiz hängt weitgehend von den Oelimporten ab. Die Lage der Landwirtschaft würde sich bei einer allfälligen Importsperrung von flüssigen Treibstoffen radikal verschlechtern. Kürzere Unterbrechungen in der Einfuhr können am einfachsten durch das Anlegen grösserer Treibstofflager überbrückt werden. Bei längeren Einfuhrsperrungen wird es aber notwendig, die Traktoren auf einheimische Treibstoffe umzustellen. Als eine gangbare Alternative fällt für die schweizerische Landwirtschaft das Holz bzw. die Holzvergasung in Betracht.

An unserer Forschungsanstalt wird seit Frühjahr 1976 das Projekt "Untersuchung über Holzgas in der Landwirtschaft" bearbeitet. Dabei geht es vor allem um zwei Schwerpunkte:

- Die Erfahrungen während des zweiten Weltkrieges und die Untersuchungen (Forschungen) in den Jahren 1962 bis 1969 im Maschinenlabor des zentralschweizerischen Technikums in Luzern unter Leitung von R. Tognoni sollen nicht in Vergessenheit geraten.
- Das jetzt bestehende Diesel-Holzgasssystem soll verbessert werden durch mehr Betriebssicherheit, weniger Wartung, kleineren Treibstoffverbrauch, einfacheren Umbau von Diesel- auf Diesel-Holzgas sowie durch Verwendung von Holzschnitzeln anstelle von Holzklötzchen.

### 1.1 Funktionsprinzip einer Gasgeneratoranlage

Um Holzgas herzustellen, das sich für den Betrieb von Motoren eignet, braucht es eine Holzgasanlage, deren Hauptbestandteile ein Gasgenerator, ein Reiniger, ein Kühler und ein Mischer sind (siehe Bild).

Im Generator bildet sich Holzgas. Dieses wird zunächst durch den Zyklonvorabscheider geleitet, in dem die schwereren Russteilchen abgetrennt werden, anschliessend durch den Kühler, in welchem eine Absenkung der Temperatur erfolgt, dann durch den Feinfilter, in dem die feinen Russteilchen und Schwebstoffe abgeschieden werden, und schliesslich durch den Mischer, in welchem das Holzgas mit der angemessenen Menge Luft vermischt wird. Das Gas-Luftgemisch strömt dann durch die Drosselklappe, bevor es in den Motor eingesogen wird.

## 1.2 Anwendung am Dieselmotor

Die Umstellung von Dieselmotoren auf Generatorgasbetrieb kann nach zwei verschiedenen Systemen erfolgen:

- Voller Generatorgasbetrieb mit elektrischer Fremdzündung, ohne Zusatz von flüssigem Brennstoff.
- Diesel/Gas-Betrieb (Mischgas-Betrieb) mit Kompressionszündung, das heisst: mit Generatorgas als Haupttreibstoff und Dieselöl als Zündtreibstoff.

Die Umstellung auf vollen Generatorgasbetrieb bedingt grosse Eingriffe in den Dieselmotor. Die Kompressionszündung muss durch eine elektrische Zündung ersetzt und das Kompressionsverhältnis auf ein für das Holzgas angemessenes Niveau gesenkt werden. Darüber hinaus muss die Einspritzpumpe demontiert und durch einen Zündverteiler ersetzt sowie ein Gasmischer eingebaut werden.

Die in der Schweiz angewendete Alternativlösung gegenüber dem vollen Generatorgasbetrieb ist der Diesel/Gasbetrieb, bei welchem die Änderungen, indem die Kompressionszündung beibehalten wird - im Vergleich zum Umbau für vollen Generatorgasbetrieb - bedeutend billiger und einfacher sind.

Bei dieser Methode wird das Generatorgas dem Ansaug-System des Motors zugeführt, mit Frischluft gemischt und in den Verbrennungsraum eingesogen. Während des letzten Teils des Kompressionstaktes wird eine kleine Menge Dieselöl eingespritzt, welches sich durch die Kompressionshitze sofort entzündet und seinerseits das Generatorgas-Luftgemisch in Brand setzt. Die für die Zündung des Generatorgases benötigte Menge Dieselöl (Zünd-Oel) ist gering und über den ganzen Drehzahlbereich annähernd gleich gross.

Die wesentlichen Änderungen am Motor bei Diesel/Gas-Betrieb betreffen die Einspritzpumpe, das Ansaugrohr, allenfalls die Einspritzdüsen und den Einspritzzeitpunkt. Das Ansaugrohr des Motors wird mit einem Gasmischer versehen.

Für eine sichere Zündung und eine genügende Kühlung der Einspritzdüsen ist eine Treibstoffmenge erforderlich, die etwa der normalen Leerlaufmenge bei Dieselbetrieb entspricht. Damit die Einspritzpumpe diese Zündölmenge über den ganzen Drehzahlbereich liefern kann, muss sie umgestellt werden.

Der Einspritzzeitpunkt muss im allgemeinen mehr vorverstellt werden als bei reinem Dieselbetrieb; der Grund dafür liegt an der niedrigeren Verbrennungsgeschwindigkeit des Generatorgases. Bei der Einstellung muss jedoch oft ein Kompromiss zwischen maximaler Leistung, kloppfreiem Lauf und guten Starteigenschaften geschlossen werden.

### 1.3 Leistungsverhältnis und Treibstoffverbrauch

#### Das Leistungsverhältnis:

Der Leistungsverlust bei Diesel-Gasbetrieb hängt vor allem von folgenden Faktoren ab: Kompressionsverhältnis, Einspritzzeitpunkt, sowie von der Temperatur und dem Unterdruck des Generatorgases im Ansaugrohr des Motors. Dieser Unterdruck ist auf die Strömungswiderstände im Generator, Filter und Kühler zurückzuführen. Die Leistungsverminderung beträgt bei Nennleistung etwa 20 - 30 % gegenüber reinem Dieselbetrieb. Bei tieferen Drehzahlen ist die Leistungseinbuße geringer.

#### Der Treibstoffverbrauch:

Der (Gas)-Holzverbrauch ist sehr verschieden und wird vor allem durch die Belastung des Generators, die Holzsorte (Fichte oder Buche) und die Qualität beeinflusst. Der Dieselöl-Verbrauch (Zündöl) jedoch ist allein drehzahl-, aber nicht lastabhängig; deshalb kann die Sparwirkung bei vielen Leer- oder Kurzfahrten äusserst klein werden.

#### 1.4 Technische Daten des Versuchstraktors

Traktor: Fabrikat Hürlimann Typ D 110

Motor Hürlimann Typ D 110

Art: Diesel, 4-Takt, Direkteinspritzung

4 Zylinder, Bohrung/Hub: 95/104 mm, Hubraum 2948 cm<sup>3</sup>

Verdichtung 16:1, Einspritzbeginn 30° vor OT

Einspritzpumpe: Bosch-Kolbenpumpe Typ PES 4A 706 320/3MS 1056

Regler: Bosch EP/RSV 300-1050 A1B 11 R

Einspritzmenge bei Vollast: 50 ml<sup>3</sup>/Hub (Dieselbetrieb)

Leistung bei Dieselbetrieb:

33 kW (45 PS) bei 2100/585 U/min

32 kW (43 PS) bei 1940/540 U/min

Getriebe: Schubradschaltung mit 10 Vorwärts- und 2 Rückwärtsgängen

Zapfwelle: Motor- und Wegzapfwelle

Motorzapfwelle: 540 U/min bei 1940 U/min am Motor

Gasgenerator: Inhalt des Holzbehälters: 85 Liter

Inhalt des Schwelwasserabscheiders: 8 Liter

Innendurchmesser des Herdringes: 70 - 90 mm

Innendurchmesser der Luftdüsen: 7 - 10 mm

Anzahl der Luftdüsen: 5

Gasfilter: Trockenluftfilter: MANN und HUMMEL

Typ: Pico-Luftfilter 45 440 65 104

Filterfläche: 5,6 m<sup>2</sup>

## 2. Versuchsprogramm und Ergebnisse 1976-1978

Im Jahre 1976 erfolgten vor allem die Vorbereitungen, das heisst die Umrüstung des Dieseltraktors auf das Diesel-Holzgasssystem. In weiteren wurde ein Gasfilter gesucht, um den sehr grossen und unständlichen Glasgewebefilter abzulösen. Es konnten erste Versuche in der Praxis gemacht werden.

Genäss Versuchsprogramm sollten die Jahre 1977 und 1978 zeigen, wie weit dieser Versuchstraktor mit Diesel-Holzgas in der Praxis eingesetzt werden kann.

Dabei standen folgende Fragen in Vordergrund:

- Genaue Zahlen über den Holzklötzchen- und Zündölverbrauch
- Ermittlung des Schwelwasseranfalls bei verschiedenen praktischen Arbeitseinsätzen
- Motorölverbrauch gegenüber normalem Dieselbetrieb
- Wie bewährt sich der neue Gasfilter in der Praxis?
- Wie kann das beim Generatorbetrieb anfallende Schwelwasser schadlos beseitigt werden?
- Wie gross ist der Arbeits- und Energieaufwand für die Holzklötzchenherstellung?

In Folgenden sind einige Arbeitseinsätze, die mit dem Dieselholzgas-Traktor gefahren wurden, beschrieben. Dabei fällt auf, dass oft bei gleichen Arbeitseinsätzen der Verbrauch von Holz und Zündöl stark voneinander abweicht. Offenbar beeinflusst die Fahrweise den Treibstoffverbrauch erheblich.

### 2.1 Vergleichstest mit Diesel- und Dieselholzgasbetrieb

#### Warentransport nach Marthalen (Versuch Nr. 7)

Vergleichsfahrt mit 2 Traktoren des selben Typs und mit gleichen Anhängergewicht.

Traktor a: DHG-Versuchstraktor Hürlimann, Motor Typ D 110  
mit Diesel-Holzgasbetrieb (DHG)

Traktor b: Dieseltraktor Hürlimann, Motor Typ D 110  
mit Dieselbetrieb

Fahrstrecke total 70 km, Anhängergewicht brutto 2000 kg

Fahrzeit total 3,5 h

### Treibstoffverbrauch

Traktor a: DHG-Versuchstraktor	55 kg Holzklötzchen	=	15,7 kg/h
	4,6 l Dieselöl	=	<u>1,3 l/h</u>

Traktor b: Vergleichstraktor Dieselbetrieb

	12,6 l Dieselöl	=	<u>3,6 l/h</u>
--	-----------------	---	----------------

Dieselöleinsparung bei DHG-Betrieb = 8 l oder 63 %

### 2.2 Praktische Einsätze mit Dieselholzasbetrieb

Die praktischen Einsätze, welche sich vom Frühjahr 1977 bis Frühjahr 1978 erstreckten, sind in Tabelle 1 zusammengestellt und zeigen folgendes Bild:

Die Leistung des Motors reicht aus für Arbeiten wie zum Beispiel mit den Kreiselheuer, einen mittleren Ladewagen sowie für Transportarbeiten auf der Strasse. Knapp genügend ist die Motorleistung für die Arbeit mit einem Erntewagen in ebenen Gelände und beim Pflügen mit einem Einscharpflug. Ungenügend ist die Motorleistung jedoch für die Arbeit mit einem Erntewagen am Hang und mit der Federzinkenegge bei einer Arbeitsbreite von 2,2 m.

Es zeigte sich auch, dass bei Aussentemperaturen von über zirka 25° C das Kühlwasser des Motors bei schwerer Arbeit die 90° C Marke übersteigt und der Motor zu klopfen beginnt, begleitet von einem starken Leistungsabfall.

#### 2.2.1 Treibstoffverbrauch

##### Verbrauch an Gasholzklötzchen

Das Klötzchengemisch bestand zu 1/3 Tannen- und zu 2/3 Buchenholz, der Feuchtegehalt lag zwischen 12 und 18 %. Der Verbrauch an Holzklötzchen war mit 10 kg/h an kleinsten beim Einsatz mit dem Ladewagen "Bucher T 20 K" (Versuch 6) und mit 18 kg/h an grössten beim Versuch 14 mit der Federzinkenegge. Im Durchschnitt

Taballe 1; Praktische Einsätze und Verbrauchswerte bei Dieselholzeinsatzbetrieb

Einsatzart und Versuchsbedingungen	Versuch Nr.	Einsatz- dauer (eff. Fahrz.) h	Holzklötzchen- verbrauch kg/h	Dieselöl- verbrauch l/h	Schwefelwasseranfall	
					l/h	in % des Holz- gewichtes
<u>a) Einzelversuche</u>						
Pflügen mit Einscharpflug "Menzi Rival 10" Fläche: 1 ha	6	10,6	14	1,3		
Warentransport nach Marthalen, Anhänger- gewicht 2000 kg	7	3,5	15,7	1,3		
Heutransport mit Ladewagen "Bucher T 20 K"	8	2,5	10	0,85		
Welkheutransporte mit Erntewagen "Pöttinger"	9	1,75	14,3	1,18	1,14	8
Welkheutransporte mit Erntewagen "Pöttinger"	10	3	12	1,06	1,2	10
Einsatz mit Kreiselheuer und Erntewagen "Pöttinger" (Gastemp. an Gasfilter 50-70° C)	11	5,5	14,5	1,27		
Eggen mit Federzinkenegge, Arbeitsbreite 2,2 m Fahrgeschw. 8 km/h	14	2	18	1,4	1,2	1
Strohtransport ab Feld mit Unterbrüchen für das Abladen	15	2,7	15	1,22	1,9	13
Strohtransporte ab Feld mit Unterbrüchen für das Abladen	16	5,3	11,3	1,3	1,6	14
Strohtransporte Tänikon-Tablat-Manzenhub Anhängergew. 3700 kg	17	3,1	11,3	1,1	1,3	12
Einsatz mit Kreiselheuer	18	3,3	12	1,2	1,2	10
Heutransport "Alp Hörnli" Fahrstrecke 34 km, Anhängergew. 2150 kg	19	2,5	12	1,3	1,6	13
Pflügen mit Einscharpflug "Menzi Rival 10" Fläche: 1 ha	20	9,2	13	1,1	1,1	8

Tabelle 1b: Durchschnittliche Verbrauchswerte bei Dieselholzgasbetrieb

Einsatzart und Versuchsbedingungen	Holzklötzchen- verbrauch	Dieselöl- verbrauch	Schmelzwasseranfall	in % des Holz- gewichtes
	kg/h	l/h	l/h	
<u>b) Mittelwerte, gruppiert nach Arbeitsarten</u>				
Pflügen und Eggen	15	1,27	1,2	8
Transporte mit Ladewagen	12,5	1,12	1,46	12
Arbeit mit Kreiselheuer	13,2	1,23	1,2	9
Strassentransporte mit Unterbrüchen für das Auf- und Abladen	13	1,24	1,45	11
alle Versuchsfahrten	13,4	1,21	1,33	10

aller Versuche Tabelle 1b lag der Klötzchenverbrauch bei 13,4 kg/h. Die Nachfüllmenge des Gasgenerators betrug zirka 20 kg Holzklötzchen, das heisst es muss je nach Arbeitseinsatz frühestens nach einer und spätestens alle zwei Stunden nachgebunkert werden. Im Durchschnitt reicht eine Bunkerfüllung 1,5 h aus. Für das Nachbunkern muss der Motor nicht abgestellt werden.

### 2.2.2 Verbrauch an Zündöl (Dieselöl)

Der Zündölverbrauch hängt vor allem von der Motordrehzahl ab. Er betrug im Minimum 0,85 l/h beim Versuch 8 mit dem Ladewagen "Bucher T 20 K" und im Maximum 1,4 l/h beim Versuch 14 in Einsatz mit der Federzinkenegge. Der Durchschnittsverbrauch an Zündöl aus allen Versuchen lag bei 1,21 l/h.

Die Minimalmenge von 0,85 l/h beim Versuch 8 lässt sich damit erklären, dass während des ganzen Abladevorganges der Motor mit stark gedrosselter Drehzahl (ca. 1200 U/min) betrieben wurde und weil der Zündöl-Verbrauch weitgehend drehzahlabhängig ist.

### 2.2.3 Motorölverbrauch

Ein abnormaler Motorölverbrauch konnte nicht festgestellt werden. Nach 50 Betriebsstunden in DHG-Betrieb wurde das Motoröl abgelassen und an die EMPA in Dübendorf zur Laborprüfung übergeben. Wie aus dem Untersuchungsbericht der EMPA zu entnehmen ist, war das Motoröl nach 50 Betriebsstunden nur wenig durch Russ verschmutzt. Der Bericht stellt weiter fest, dass das Motoröl unter gleichbleibenden, offenbar günstigen Betriebsbedingungen noch länger verwendet werden könnte.

Ein zweiter Versuch mit 100 Betriebsstunden wurde kurz vor dessen Abschluss durch einen Irrtum beim Ölwechsel unbrauchbar gemacht. Er sollte wiederholt werden.

### 2.2.4 Schwelwasseranfall und dessen Beseitigung

Der Anfall an Schwelwasser hängt vor allen von der Auslastung des Generators und von dem Feuchtegehalt des Holzes ab. Am meisten Schwelwasser wird produziert,

wenn der Traktor immer wieder ausser Betrieb gesetzt wird, wie zum Beispiel in den Versuchen 15 und 16. Bei diesen Versuchen wurden Strohballen auf dem Feld mit einem Ballenlader geladen, zum Hof transportiert und dort von Hand abgeladen. Während des Abladevorganges, welcher etwa 0,5 h dauerte, wurde der Traktor jeweils ausser Betrieb gesetzt. Der Schwelwasseranfall war mit 1,6 und 1,9 l/h (bis zu 14 % des Holzgewichtes) sehr hoch. Wie zu erwarten, war der Schwelwasseranfall bei langen und schweren Einsätzen am geringsten und betrug beispielsweise beim Versuch 20 (Einsatz mit dem Einscharpflug) lediglich 1,1 l/h, entsprechend 8 % des Holzgewichtes.

Im Durchschnitt aller Versuche betrug der Schwelwasseranfall 1,33 l/h oder 10 % des Holzgewichtes.

Zur Zeit des letzten Weltkrieges konnte das von den Holzgasgeneratoren anfallende Schwelwasser noch an bestimmten Plätzen in das Erdreich ausgelassen werden. Die heutigen Umwelt- und Gewässerschutzvorschriften verbieten das. Somit musste eine andere, bessere Lösung zur Beseitigung des Schwelwassers gesucht werden. Wir gelangten deshalb an die EAWAG mit der Bitte, sie möchten das Schwelwasser nach abwassertechnischen Gesichtspunkten untersuchen und uns Vorschläge für dessen schadloose Beseitigung machen. Th. Conrad von der EAWAG erklärte sofort seine Bereitschaft, uns in dieser Angelegenheit weiterzuhelfen. In seinem Bericht über die Untersuchung zur Beseitigung von Schwelwasser aus Holzgasgeneratoren in der Landwirtschaft zieht er nachstehende Schlussfolgerung:

- Zur Beseitigung kleinerer Mengen Schwelwasser, wie solche aus Kraftstoff-Generatoren in landwirtschaftlichen Betrieb anfallen, kann die relativ gute Abbaubarkeit der Inhaltstoffe dieses Abwassers in Mischung mit einem N- und P-haltigen Substrat ausgenützt werden. Dies kann durch Zugabe des Schwelwassers in die Jauche- oder Mistgrube erfolgen. Dabei entfällt auch die getrennte Neutralisation des stark sauren Schwelwassers.
- Sollte diese Beseitigung nicht möglich sein, wäre eine Stapelung des Schwelwassers in einen Behälter zur Abscheidung von Teer, zur Neutralisation mit Kalk und zum Rückhalten der Feststoffe erforderlich. Die wässrige, neutrale Phase könnte der häuslichen Kanalisation zugegeben werden.

### 2.2.5 Der Gasfilter

Der Trockenluftfilter "MANN und HUMMEL" Typ 45 440 65 104, welcher an Stelle des sperrigen Glasgewebefilters angebau wurde, ist von seinen Abmessungen her gesehen sehr interessant. Seine Aussermasse sind etwa ein Drittel-, die Filterfläche ist mit  $5,6 \text{ m}^2$  jedoch mehr als das doppelte so gross als beim Glasgewebefilter. Die Filterwirkung scheint sehr gut zu sein, es konnten keine "Staubansätze" weder in Mischrohr noch an den Einlasskanälen zu den Einlassventilen festgestellt werden. Die Filterwartung muss alle 20 bis 25 Betriebsstunden erfolgen, wobei der Zeitpunkt leicht daran zu erkennen ist, dass der Unterdruck in Ansaugrohr unzulässig hoch steigt und deshalb die Luftmischklappe fast oder ganz geschlossen werden muss.

Der Filtereinsatz kann leicht und schnell demontiert werden. Jedoch ist das Reinigen (ausklopfen oder mit Pressluft ausblasen) dermassen mit einer Staubentwicklung verbunden, dass es kaum zumutbar ist, diese Arbeit alle 20 bis 25 Betriebsstunden auszuführen. Um dies zu umgehen, wurde versucht, die Filterpatrone mit Wasser auszuspülen. Wie oft eine Filterpatrone ausgewaschen werden kann ohne dass sie Schaden nimmt, konnte noch nicht ermittelt werden. Allenfalls könnte man durch einen besseren Zyklonvorabscheider den Staubanteil in Gas wesentlich verringern, was dann die Standzeit der Filterpatrone in gleichen Mass verlängern würde. Die praktischen Versuche zeigten nämlich, dass sich nur etwa  $1/3$  von der gesamten Staubmenge in Zyklonvorabscheider ablagert, während etwa  $2/3$  in Pico-Luftfilter zurückbleibt und die Standzeit des Filters verkürzt.

### 2.3 Arbeitsaufwand für die Zubereitung von Gasholzklötzchen

Das Gasholz wurde von unserem Gutsbetrieb zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um Tannen- und Buchenspäalten, die zwei Jahre in Freien gelagert waren. Die Holzfeuchtigkeit betrug zur Zeit der Verarbeitung 15 bis 17 %. Der Arbeitsvorgang war folgender: Die Spälten wurden zuerst auf eine Abschnittlänge von etwa 5 bis 6 cm gefräst, dann wurden sie mit einer Maschine zu Klötzchen verarbeitet, welche zur Zeit des letzten Weltkrieges für die Herstellung von Gasholz verwendet wurde.

Tabelle 2 zeigt die Arbeitsleistung und den Stromverbrauch bei der Klötzchenherstellung mit zwei Personen.

Tabelle 2: Arbeitsbedarf für die Holzklötzchenherstellung

	Arbeitsleistung (2 Personen) kg/h	Arbeitsaufwand h/100 kg	Stromverbrauch	
			absolut kWh	kWh/100 kg
<u>Tannenholz (15 % Feuchte)</u>				
Fräsen der Spalten auf 5 bis 6 cm Abschnitlänge	385	0,52	2,2	0,57
Abschnitte mit Maschine zu Klötzchen verarbeiten, inkl. absacken	462	<u>0,43</u>	1,2	<u>0,26</u>
Total	-	0,95	-	0,83
<u>Buchenholz (17 % Feuchte)</u>				
Fräsen der Spalten auf 5 bis 6 cm Abschnitlänge	453	0,44	2,8	0,62
Abschnitte mit Maschine zu Klötzchen verarbeiten, inkl. absacken	680	<u>0,29</u>	1,33	<u>0,20</u>
Total	-	0,73	-	0,82

Mit zwei Personen kann mit einer durchschnittlichen Stundenleistung von ca. 250 kg Klötzchen bei einem Stromverbrauch von ca. 1,9 kWh gerechnet werden.

#### 2.4 Herstellungskosten für Holzklötzchen

Die praktischen Einsätze mit dem Versuchstraktor für Dieselholzgas zeigen, dass für den Ersatz von einem Liter Dieseltreibstoff in Durchschnitt etwa 4,5 kg Holzklötzchen notwendig sind. Um 100 kg Holz (Wassergehalt 15 - 20 %) zu Klötzchen aufzuarbeiten, ist ein Arbeitsaufwand von rund 50 Minuten nötig bei einem Stromverbrauch von 0,83 kWh. Für die Anschaffung einer Kreissäge und einer Klötzchenmaschine werden Fr. 4'000.-- veranschlagt. Die jährlichen Maschinenkosten werden mit 12,5 % der Anschaffungskosten angenommen und auf 100 h im Jahr verteilt. Demnach ergeben sich die Gestehungskosten nach Tab. 3.

Tabelle 3: Gestehungskosten für Holzklötzchen. (1978)

	Fr. pro 100 kg
Maschinenkosten	4.20
Stromkosten (à 12 Rp./kWh)	0.10
Arbeitskosten (à 10.50 Fr./h)	8.70
	<u>13.00</u>
Holzkosten (1 Ster von 445 kg à Fr. 40.--)	9.00
	<u>22.00</u>
Gestehungskosten für 100 kg Holzklötzchen	====

Die Herstellungskosten für 100 kg geklötztes Holz, was ca. 22 Liter Dieseltreibstoff zu ersetzen vermag, betragen zirka Fr. 22.—, das heisst ein Liter Dieseltreibstoff kostet rund einen Franken. Dazu müssen noch die Kosten für die Amortisation, Verzinsung, Reparatur und Wartung der Holzgas-Generatoranlage gerechnet werden.

### 3.1 Zusammenfassung

Die praktischen Versuche in den Jahren 1977 bis Frühjahr 1978 zeigten zusammengefasst folgendes:

Der Motor arbeitete während der ganzen Versuchsdauer ohne grössere Störungen. Bei heissen Wetter und grosser Belastung traten Klopferscheinungen auf. Die Leistung an der Zapfwelle mit max. 25 kW (34 PS) bei 2000 U/min am Motor bei DHG-Betrieb liegt bei dieser Motorgrösse (Hubraum 2,95 Liter) im üblichen Rahmen. Gegenüber Dieseltreibstoff muss mit einer Leistungseinbusse von 25 % gerechnet werden.

Am Motor traten keine nennenswerten Schäden auf, die auf den Einsatz von Holzgas zurückzuführen waren.

Der Gasholzverbrauch von durchschnittlich 13,4 kg/h Holzklötzchen kann als normal bezeichnet werden.

Der Verbrauch an Zündöl liegt mit durchschnittlich 1,21 l/h eher etwas hoch, dürfte jedoch schwer zu senken sein, ausser man würde die Nenndrehzahl des Motors tiefer ansetzen, was aber aus Rücksicht auf die zapfwellengetriebenen Arbeitsgeräte nicht möglich ist.

Ein abnormaler Motorölverbrauch konnte nicht festgestellt werden. Der Prüfbericht der EMPA über die Oelprobe, welche nach 50 Holzgasbetriebsstunden genommen wurde, zeigte ein günstiges Ergebnis. Eine weitere Oelprüfung nach 100 Betriebsstunden sollte noch durchgeführt werden.

Der Schwelwasseranfall hängt vor allen stark von der Auslastung des Generators ab und beträgt durchschnittlich 1,33 l/h oder 10 % des Holzgewichtes. Laut Untersuchungsbericht der EAWAG sollten kleinere Mengen Schwelwasser ohne Schadenfolge der Jauche- oder Mistgrube beigemischt werden können.

Der neu eingesetzte Gasfilter hat sich bezüglich Gasreinigung gut bewährt. Ein ungelöstes Problem sind indenen das Reinigen des Filters sowie die kurzen Wartungsintervalle.

Die Zeitmessungen für die Gasholzzubereitung zeigten, dass allein die Herstellungskosten für Holzklötzchen, wie sie im Generator verwendet wurden, auf Fr. 13.-- pro 100 kg zu stehen kommen. Rechnet man die Kosten für das Holz dazu (den Ster à Fr. 40.--), erhalten wir einen Preis von Fr. 22.-- pro 100 kg, das heisst pro Liter ersetzten Dieseltreibstoffs, betragen die Gestehungskosten etwa einen Franken. Es muss deshalb nach einer Holzverarbeitung gesucht werden, die wesentlich weniger Kosten verursacht.

### 3.2 Weiteres Vorgehen

Die Versuche sollten weitergeführt werden und die folgenden wichtigsten Programmpunkte enthalten:

1. Einsatz von Hackholz verschiedener Schnittlängen
2. Gasfilterreinigung erleichtern und Wartungsintervall verlängern
3. Zündölverbrauch senken ohne weiteren Leistungsabfall des Motors
4. Motorkühlung verbessern, damit das Klopfen verhindert wird
5. Weitere Versuche betreffend Motorölverbrauch

# DIESEL - HOLZGASANLAGE

