



## Untersuchung über den Betrieb von Landwirtschaftstraktoren mit Dieselholzgas

E. Stadler

Die FAT führte in den Jahren 1977 bis 1980 praktische Versuche mit einem Landwirtschaftstraktor mit Dieselholzgas durch. Der dreijährige praktische Einsatz wurde durch Prüfstandmessungen ergänzt und zeigte, dass das System in allen landwirtschaftlichen Einsatzbereichen sozusagen störungslos und betriebssicher funktionierte. Indessen wies der Motor gegenüber einem reinen Dieseltraktor eine Leistungseinbusse von 25% auf; die Betriebsstoffkosten waren rund doppelt so hoch wie bei reinem Dieselbetrieb.

### 1. Treibstoffversorgung in der Landwirtschaft

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. Obwohl die Landwirtschaft mit nur etwa 1,7% am Gesamtenergieverbrauch beteiligt ist, drängen sich verschiedene Massnahmen auf:

- Vorratshaltung sowohl zentral als auch auf den einzelnen Landwirtschaftsbetrieben,
- Vorbereitung von Sparplänen (Kontingentierung, Rationierung), im Sinne einer gerechten Treibstoffverwendung,
- Suche nach Ersatztreibstoffen.

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 mögliche Alternative fällt für die schweizerische Landwirtschaft das Holz bzw. die Holzvergasung in Betracht.

An unserer Forschungsanstalt wurde seit 1976 das Projekt «Untersuchung über Holzgas in der Landwirtschaft» bearbeitet



Abb. 1: Landwirtschaftstraktor Hürli Typ D 110, umgebaut auf Diesel-Holzgasbetrieb. 4,5 kg Holz ersetzen im Durchschnitt einen Liter Dieseltreibstoff.

(Abb. 1). Dabei ging es vor allem um zwei Schwerpunkte:

- Die Erfahrungen während des Zweiten Weltkrieges und die Untersuchungen in den Jahren 1962–1969 im Maschinenlabor des Zentralschweizerischen Technikums in Luzern unter Leitung von R. Tognoni sollten nicht in Vergessenheit geraten.
- Das jetzt bestehende Diesel-Holzgas-system sollte verbessert werden durch mehr Betriebssicherheit, weniger Wartung, kleineren Treibstoffverbrauch, einfacheren Umbau von Diesel- auf Diesel-Holzgasbetrieb sowie durch Verwendung von Holzschnitzeln anstelle von Holzklötzchen.

### 2. Wie funktioniert eine Holzgasanlage?

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 (Abb. 2).

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,

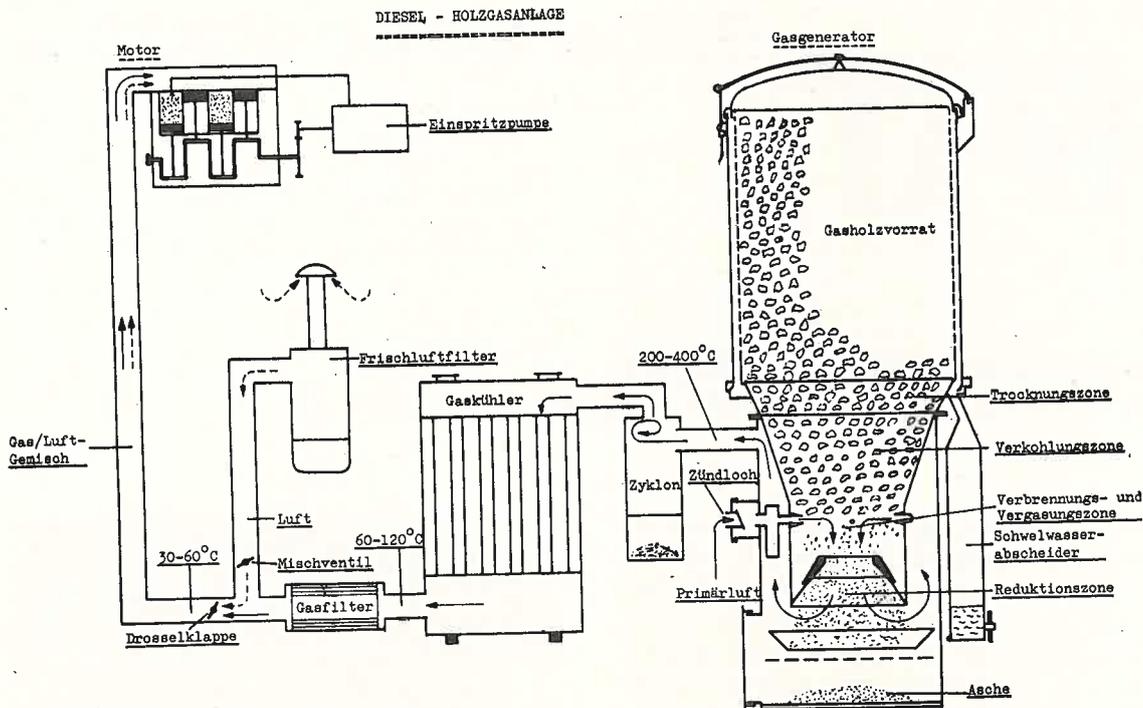


Abb. 2: Funktionsschema der Dieselholzgasanlage.

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.

### 3. Anwendung am Dieselmotor

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

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

**Die Umstellung auf vollen Generatorgasbetrieb (a) 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 eine Zündanlage ersetzt sowie ein Gasmischer eingebaut werden.

Die in der Schweiz angewendete Alternativlösung gegenüber dem vollen Generatorgasbetrieb ist der **Diesel / Gasbetrieb (b)**,

bei welchem die Umbauarbeiten bedeutend billiger und einfacher sind, indem die Kompressionszündung beibehalten wird.

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.

### 4. Welche Aenderungen sind am Motor nötig?

Die wesentlichen Aenderungen am Motor bei Diesel-Gas-Betrieb betreffen die Einspritzpumpe, das Ansaugrohr, allenfalls die Einspritzdüsen, den Einspritzzeitpunkt und die Motorkühlung.

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

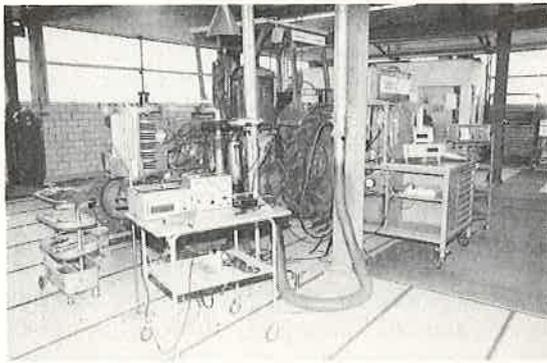


Abb. 3: Exakte Prüfstandmessungen ergänzen die Praxiseinsätze.

des Generatorgases. Bei der Einstellung muss jedoch ein Kompromiss zwischen maximaler Leistung, kloppfreiem Lauf und guten Starteigenschaften geschlossen werden (Abb. 3).

Durch den dem Wasserkühler vorgeschalteten Gaskühler wird die Wasserkühlung des Motors zusätzlich belastet. Dadurch kann eine Verstärkung der Motorkühlung notwendig werden.

## 5. Ergebnisse

**Der Motor** arbeitete während der ganzen Versuchsdauer ohne grössere Störungen. Die bei heissem Wetter und grosser Belastung anfänglich aufgetretenen Klopferscheinungen konnten mit einer verstärkten Motorkühlung behoben werden. Die Leistung am Motor mit maximal 25 kW (34 PS) bei 2000 U/min am Motor lag für die untersuchte Motorgrosse (Hubraum 2,95 Liter) im üblichen Rahmen. Gegenüber reinem Dieselbetrieb bedeutet dies eine Leistungseinbusse von etwa 25%.

Der Gasholzverbrauch von durchschnittlich 13,4 kg/h Holzklötzchen oder Hackholz kann als normal bezeichnet werden. Er variiert stark und wird vor allem durch die Belastung des Gasgenerators, die Holzsorte (Hart- oder Weichholz) sowie vom Traktorfahrer beeinflusst. Im Schnitt ersetzen 4,5 kg Holz einen Liter Diesel-Treibstoff.

**Der Verbrauch an Zündöl** betrug durchschnittlich 1,2 l/h, das heisst etwa 30% des Verbrauches bei normalem Dieselbetrieb. Dieser Verbrauch ist vor allem im Teillastbetrieb 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. Im weiteren hat auch die Fahrweise einen erheblichen Einfluss auf den Zündölverbrauch.

**Ein abnormaler Motorölverbrauch** konnte nicht festgestellt werden. Der Prüfbericht der EMPA über die Oelprobe, welche nach 50 Holzgasbetriebsstunden genommen wurde, zeigte ein günstiges Ergebnis. Oelwechselintervalle von 100 Betriebsstunden können nach Angaben des Motorherstellers empfohlen werden.

**Der Schwelwasseranfall** hängt vor allem stark von der Auslastung des Generators ab und beträgt durchschnittlich 10% des Holzgewichtes. Laut Untersuchungsbericht der EAWAG sollten kleinere Mengen Schwelwasser ohne Schadenfolge der Gülle beigemischt werden können.

**Der neu eingesetzte Gasfilter** hat sich bezüglich Gasreinigung gut bewährt. Das Reinigen des Filtereinsatzes soll alle 20 bis 30 Betriebsstunden durch Ausklopfen oder Auswaschen geschehen.

**Gasholz:** Holzklötzchengemisch  $\frac{1}{3}$  Tanne und  $\frac{2}{3}$  Buche sowie Hackholz in der Schnittlänge von 4 bis 5 cm eignen sich gut für die Holzvergasung, das letztere insbesondere dann, wenn Astholz unter 2 cm Durchmesser vor dem Hacken ausgeschieden wird.

**Die Holzkosten** je Liter Treibstoffersatz belaufen sich bei Klötzchenholz auf etwa Fr. 1.—, bei Hackholz auf etwa Fr. —.60. Werden noch die Mehrkosten für den Betrieb der Gasgeneratoranlage (Amortisation, Reparatur, Bedienung etc.) dazugerechnet, so kostet 1 Liter ersetzten Dieseltreibstoff bei Klötzchenbetrieb rund Fr. 2.40 und bei Hackholzbetrieb zirka Fr. 2.—.

**Der Anbau der Generatorgasanlage** ist wegen der vielseitigen Verwendbarkeit des Traktors heute sehr schwierig geworden. Als einzige Anbaumöglichkeit für den Gasgenerator bietet sich nach wie vor der seitliche Freiraum zwischen Vorder- und Hinterrad an. Bei Traktoren mit nur Hinterradantrieb genügt der Freiraum auch für den seitlichen Fahreraufstieg. Bei Allradantrieb werden die Platzverhältnisse wegen der grösseren Vorderräder bereits sehr knapp. An Traktoren der neusten Entwicklung mit integrierten Fahrerinnen ist der Anbau von Gasgeneratoren ohne umfangreiche Abänderungen am Traktor unmöglich. Die Generatorgasanlage weist betriebsbereit ein Gewicht von zirka 270 kg auf. Infolge des seitlichen Anbaues am Traktor wird der Schwerpunkt um etwa 12 cm zur Seite verschoben. Dadurch erhöht sich die Kippgefahr des Traktors bei Fahrten an Hanglagen.

## 6. Schlussfolgerungen

Nach der dreijährigen, nun mehr abgeschlossenen Versuchsperiode können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Der Versuchstraktor konnte soweit entwickelt werden, dass er in allen landwirtschaftlichen Einsatzbereichen betriebssicher arbeitet.

Die Beschaffung von Holz als dezentralisiert anfallender, regenerierbarer Rohstoff dürfte für Landwirtschaftsbetriebe keine unüberwindlichen Hindernisse bereiten.

Im Hackholz ist eine Aufbereitungsart gefunden worden, die von den Landwirten dezentralisiert und kostengünstig durchgeführt werden kann.

Im Vergleich zum Traktor mit normalem Dieselbetrieb weist demgegenüber der Dieselholzgasbetrieb folgende Erschwernisse und Nachteile auf:

- Die Beschaffung und die Aufbereitung von Gasholz sind arbeitsaufwendig.
- Die Betriebsstoffkosten für die am Traktor nutzbare Kilowattstunde sind derzeit rund doppelt so hoch wie bei reinem Dieselbetrieb.
- Dieseltreibstoff ist trotzdem notwendig (Zweistoffbetrieb).
- Eine Motorleistungseinbusse von zirka 25% muss in Kauf genommen werden.
- Auf dem Fahrzeug lässt sich nur eine sehr beschränkte «Treibstoffreserve» mitführen.
- Platzbedarf für die gesamte Anlage am Traktor. Die Anbaumöglichkeit für gewisse Zusatzgeräte ist erschwert, eventuell sogar verunmöglicht.
- Durch das zusätzliche, seitlich angebrachte Gewicht am Traktor wird die Kippgefahr erhöht.
- Vermehrte, unbequeme und schmutzige Wartung.
- Vergiftungs- und Brandgefahr.
- Der Gesamtwirkungsgrad ist um rund einen Drittel geringer als beim konventionellen Dieselmotor.

Aufgrund dieser Nachteile erscheint es als wenig aussichtsreich, dass das untersuchte Diesel-Holzgasprinzip als langfristige Energie-Alternative für den Betrieb von Landwirtschaftstraktoren grosse Bedeutung erlangen könnte.

Hingegen könnte dieses als funktionstüchtig zu betrachtende System bei einem kurz- bis mittelfristigen gänzlichen Ausfall der Energiezufuhren und beim Fehlen anderer Alternativen zum Strecken der Dieselölvorräte durchaus in Betracht gezogen werden.

In diesem Fall müsste man sich auf bestimmte, für den Umbau gut geeignete, grössere Traktortypen konzentrieren.

Eine weitere zukünftige Möglichkeit zur Nutzung des Holzgassystems ist im Stationärbetrieb in Kombination von Gasmotoren mit Wärmepumpe oder mit Elektrogenerator (Wärme-Kraft-Koppelung) zu sehen, weil hier mehrere der weiter oben aufgezählten Nachteile wegfallen würden. Um einen guten Gesamtwirkungsgrad zu erzielen, muss allerdings vorausgesetzt werden, dass sich die anfallende Abwärme jederzeit voll nutzen lässt.

### Hinweis:

Ein ausführlicher Untersuchungsbericht erscheint in der Schriftenreihe Nr. 12 der FAT, 8355 Tänikon.

**Allfällige Anfragen über das oben behandelte Thema, sowie auch über andere landtechnische Probleme, sind nicht an die FAT bzw. deren Mitarbeiter, sondern an die unten aufgeführten kantonalen Maschinenberater zu richten.**

ZH	Schwarzer Otto, 052 - 25 31 21, 8408 Wülflingen
BE	Mumenthaler Rudolf, 033 - 57 11 16, 3752 Wimmis
	Marti Fritz, 031 - 57 31 41, 3052 Zollikofen
	Herrenschwand Willy, 032 - 83 32 32, 3232 Ins
	Marthaler Hansueli, 035 - 2 42 66, 3552 Bärau
	Hofmann Hans Ueli, landw. Schule Waldhof, 063 - 22 30 33, 4900 Langenthal
LU	Rüttimann Xaver, 045 - 81 18 33, 6130 Willisau
	Widmer Rorbert, 041 - 88 20 22, 6276 Hohenrain
UR	Zurfluh Hans, 044 - 2 15 36, 6468 Attinghausen
SZ	Fuchs Albin, 055 - 48 33 45, 8808 Pfäffikon
OW	Müller Erwin, 041 - 68 16 16, 6074 Giswil
NW	Muri Josef, 041 - 63 11 22, 6370 Stans
ZG	Müller Alfons, landw. Schule Schluetchhof, 042 - 36 46 46, 6330 Cham
FR	Krebs Hans, 037 - 82 11 61, 1725 Grangeneuve
BL	Langel Fritz, Feldhof, 061 - 83 28 88, 4302 Augst
	Speiser Rudolf, Aeschbrunnhof, 061 - 99 05 10, 4461 Anwil
SH	Hauser Peter, Kant. landw. Schule Charlottenfels, 053 - 2 33 21, 8212 Neuhausen a.Rhf.
AR	Ernst Alfred, 071 - 33 26 33, 9053 Teufen
SG	Haltiner Ulrich, 085 - 7 58 88, 9465 Salez
	Pfister Th., 071 - 83 16 70, 9230 Flawil
	Steiner Gallus, 071 - 83 16 70, 9230 Flawil
GR	Stoffel Werner, 081 - 81 17 39, 7430 Thusis
AG	Müri Paul, landw. Schule Liebegg, 064 - 31 52 52
	5722 Gränichen
TG	Monhart Viktor, 072 - 64 22 44, 8268 Arenenberg
TI	Müller A., 092 - 24 35 53, 6501 Bellinzona

Landwirtschaftliche Beratungszentrale, Maschinenberatung, Telefon 052 - 33 19 21, 8307 Lindau.

Nachdruck der ungekürzten Beiträge unter Quellenangabe gestattet.

Die «Blätter für Landtechnik» erscheinen monatlich und können auch in französischer Sprache unter dem Titel «Documentation de technique agricole» im Abonnement bei der FAT bestellt werden. Jahresabonnement Fr. 27.-, Einzahlung an die Eidg. Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, 8355 Tänikon, Postcheckkonto 30 - 520. In beschränkter Anzahl können ferner Vervielfältigungen in italienischer Sprache abgegeben werden.