

550
HEFT 60 DER **RKTL** SCHRIFTEN

**HOLZ- UND
HOLZKOHLENGASERZEUGER
FÜR KRAFTFAHRZEUGE**

ERGEBNISSE WISSENSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGEN
AUSGEFÜHRT IM INSTITUT FÜR LANDMASCHINEN
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE MÜNCHEN

VON

Professor Dr. GEORG KÜHNE und Dr.-Ing. FRANZ KOCH

MIT 110 ABBILDUNGEN

1 9 3 5

BEUTH-VERLAG GMBH BERLIN SW 19

RKTL

Schriften des Reichskuratoriums für Technik in der Landwirtschaft

HEFT 60

**HOLZ- UND HOLZKOHLENGASERZEUGER
FÜR KRAFTFAHRZEUGE**

Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen
Ausgeführt im Institut für Landmaschinen der Technischen Hochschule München

Von

Professor Dr. GEORG KÜHNE und Dr.-Ing. FRANZ KOCH

Q II 550

Lehrkanzel
für allgem. u. landwirtschaftl.
Maschinenkunde
a. d. Hochschule für Bodenkultur in Wien.

Mit 110 Abbildungen

1935

BEUTH-VERLAG GMBH BERLIN SW 19

Alle Rechte, insbesondere das der Über-
setzung in fremde Sprachen, vorbehalten.
Copyright 1935 by Reichskuratorium
für Technik in der Landwirtschaft,
Berlin SW 11, Bernburger Straße 14.

Vorwort

Auf Anregung des Reichskuratoriums für Technik in der Landwirtschaft (RKTL) und des Ausschusses für Technik in der Forstwirtschaft (ATF) sind im Herbst 1931 in dem mir unterstellten Institut für Landmaschinen an der Technischen Hochschule München Untersuchungen mit dem anfänglichen Ziel aufgenommen worden, festzustellen, ob Holzgaserzeuger zum Betriebe von landwirtschaftlichen Motorschleppern geeignet seien. Die erforderlichen Mittel wurden vom RKTL bereitgestellt, dem ich hierfür und für sein den Versuchen stets entgegengebrachtes reges und großes Interesse zu ganz besonderem Dank verpflichtet bin.

Nach den ersten Versuchsreihen reifte die Erkenntnis, daß die Verwendung von Holzgas als Treibmittel für landwirtschaftliche Schlepper nur in ganz wenigen Sonderfällen Nutzen zu bringen verspricht, im übrigen aber wegen grundsätzlicher Schwierigkeiten nicht in Frage gezogen werden kann.

Trotz dieses Ergebnisses waren die genannten Organisationen für Fortsetzung der Versuche, da es sich erwiesen hatte, daß das Holzgas mit Vorteil für andere Zwecke, besonders als Treibmittel für Fahrzeugmotoren in Lastkraft- und Großraum-Personenwagen und für ortsfeste Motoren nutzbar gemacht werden könne. Waren bis dahin die Gaserzeuger nur auf dem Prüfstand untersucht worden, so konnten dank der Bereitstellung eines Zuschusses zu den Versuchskosten durch den Herrn Reichsverkehrsminister die Untersuchungen an einem Lastkraftwagen fortgesetzt und die früher auf dem Prüfstand gewonnenen Ergebnisse im praktischen Fahrbetrieb bestätigt und erweitert werden.

So sind im Laufe von rund drei Jahren zwanzig verschiedene Ausführungsformen von Holz- bzw. Holzkohlengaserzeugern untersucht und zahlreiche grundlegende Erkenntnisse gewonnen worden. Greifbare Ergebnisse sind den Herstellern stets sofort nach Ermittlung unmittelbar bekanntgegeben worden und außerdem wurde in Aufsätzen und Vorträgen schnellstens darüber berichtet. Auf diese Weise war es möglich, den an der Entwicklung von Gaserzeugern arbeitenden Firmen Ratschläge zu geben und die Entwicklungsarbeiten zu fördern. Die große Zahl der an mich gelangten anerkennenden Zuschriften sind Beweise dafür, daß dieser Weg richtig war. Daß manche Veröffentlichung von der einen oder anderen Herstellerfirma nicht mit Freude begrüßt worden ist, weil sie auch über Mängel der Anlagen ungefärbt berichtet hat, sei nebenbei erwähnt.

Da die bisherigen Veröffentlichungen über die Münchener Versuche in Form von Einzelaufsätzen in der Fachliteratur verstreut sind, von mehreren Seiten aber der Wunsch nach einer Zusammenfassung geäußert worden ist, sind sämtliche bisher bekanntgegebenen Berichte in neuer Ordnung und durch eine Reihe noch nicht veröffentlichter Abschnitte ergänzt in der folgenden Arbeit niedergelegt. Diese soll dem Hersteller wie dem Abnehmer von Holz- und Holzkohlengaserzeugern zuverlässige Auskunft über alle wichtigen einschlägigen Fragen geben. Auch dürfte sie für die Forschungsinstitute der Wärmetechnik und des Kraftfahrwesens, die den hier erörterten Problemen bislang wenig Beachtung geschenkt haben, nun aber weitere Sonderfragen klären wollen, eine Grundlage für neue Arbeiten bilden.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, hier auch den Förderern der Versuche meinen besten Dank abzustatten, so der Kammer der Forsten bei der Regierung von Oberbayern für die kostenlose Hergabe der benötigten großen Mengen von Kantelholz, der Firma Wigger in Unna (Westf.) für die unentgeltliche Überlassung von Schnitzelholz und der Holzkohlen-Verkaufsstelle G. m. b. H. in Frankfurt a. M. für die kostenlose Lieferung bedeutender Mengen von Buchenholzkohle, ferner der Hanomag in Hannover für die kostenlose leihweise Überlassung eines Schleppermotors und der Auto-Union, Werk DKW, in Zschopau (Sa.) für die Stiftung eines Zweitaktmotors, ferner allen Firmen, die ihre Anlagen zu den Versuchen zur Verfügung gestellt und damit deren Durchführung ermöglicht haben.

Ganz besonders danke ich aber meinen treuen Mitarbeitern, nämlich den Diplomingenieuren Dr.-Ing. *Franz Koch*, *Ernst Fischer* und *Georg Rammler*, Fräulein *Maria Schwertfirm*, dem Werkmeister *Heinrich Gräf* und dem Mechaniker *Anton Schaber*, die in unermüdlichem Fleiß und häufig unter schwierigen Arbeitsbedingungen ihr ganzes Können eingesetzt und dadurch beigetragen haben, das gesteckte Ziel zu erreichen.

München, im Januar 1935

Georg Kühne

3 ein
An-
Eine
ins
dem
Gas

ons-
ohle
CO₂,

).
ffes
vei-
len-

en-
ge-

o-
es

n-
).

ss

r-

e-

n

)

-

-

1

Einteilung

	Seite
I. Einleitung	5
A. Über Vergasung fester Brennstoffe, insonderheit von Holz und Holzkohle	5
B. Angaben über die bei den Versuchen verwendeten Brennstoffe	6
II. Die Versuche im Laboratorium	9
A. Die Versuchsanordnung	9
B. Versuche an einem Hanomag-Schleppermotor	10
1. Kleingaserzeuger „KU 3“ der Humboldt-Deutzmotoren A.-G., Köln-Kalk (1. Bauform)	11
Bauform und Betriebsanleitung — Motorleistung und Holzverbrauch — Gaszusammensetzung und Heizwert, Temperatur- und Druckverhältnisse — Allgemeine Beobachtungen	
2. Holzgaserzeuger Nr. 42 der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft m. b. H., Oberbexbach/Saar	14
Bauform und Betriebsanleitung — Motorleistung und Holzverbrauch — Gaszusammensetzung und Heizwert, Temperatur- und Druckverhältnisse	
3. Holzgaserzeuger 150/550 Nr. 115/49 der Imbert-Gas-Generatoren G. m. b. H., Berlin	16
Bauform und Betriebsanleitung — Motorleistung und Holzverbrauch — Gaszusammensetzung und Heizwert, Temperatur- und Druckverhältnisse	
4. Der Leistungsabfall und die Möglichkeiten seiner Bekämpfung	19
C. Versuche an einem Kämper-Motor	20
1. Versuche zur Leistungssteigerung durch Erhöhung der Verdichtung	20
Gasanalysen, Temperatur- und Druckverhältnisse — Praktische Maßnahmen zur Verdichtungssteigerung	
2. Versuche zur Leistungserhöhung durch Vorverdichtung des Gas-Luftgemisches mit einem Gebläse	23
3. Weitere Einzeluntersuchungen	26
Holzgas und Motorschmierung — Zündkerzen — Anlaufversuche — Vergasungsversuche mit Schnitzelholz — Generator und Motorgröße	
4. Untersuchungen an zwei Holzgaserzeugern der Kromag A.-G. Bauform „Kromag-Sagam“ Type C2. — Bauform „Kromag“ Type III Nr. 100	32
5. Untersuchungen an einem Holzgaserzeuger der Humboldt-Deutzmotoren A.-G.	35
6. Untersuchungen an einem Holzgaserzeuger der Framo-Werke G. m. b. H., Frankenberg i. Sa.	37
7. Untersuchungen an einem „Abogen“-Holzkohlengaserzeuger der Holzkohlenverkaufsstelle G. m. b. H., Frankfurt a. M.	39
Vorbemerkung — Aufbau und Wirkungsweise — Anlaufversuche — Motorleistung und Holzkohlenverbrauch — Druck- und Temperaturverhältnisse — Gas- und Abgasanalysen, Heizwerte — Folgerungen — Wasserdampfzusatz — Regenerierung von Motorabgasen	
8. Versuche mit einem DKW-Zweitaktmotor	44
Benzinversuche — Holzgasversuche	
III. Fahrversuche	47
A. Der Versuchs-Lastkraftwagen und seine Meßeinrichtungen	47
B. Die Versuchsstrecken	49
C. Die Versuche	50
1. Versuche mit Imbert- und D. H. G.-Gaserzeugern	50
Der Wagen im Gelände — Durchschnittsgeschwindigkeit und Brennstoffverbrauch — Beschleunigungsmessungen — Gas- und Abgasanalysen, Temperatur und Unterdruck — Allgemeines	
2. Versuche mit einem „Kromag“-Gaserzeuger	57
3. Versuche mit einem Humboldt-Deutz-Gaserzeuger	57
4. Versuche mit einem schnellfahrenden Lastkraftwagen	58
5. Versuche mit zwei parallel geschalteten Gaserzeugern	59
IV. Betrachtungen zur Frage der Wirtschaftlichkeit des Holzgasbetriebes	61
Zusammenfassung	63

I. Einleitung

A. Über Vergasung fester Brennstoffe, insbesondere von Holz und Holzkohle

Unter *Vergasung* versteht man die Überführung fester Brennstoffe, wie Steinkohle, Koks, Braunkohle, Torf, Holz, Holzkohle, in brennbare Gase unter *Zufuhr von Luft oder Wasserdampf*; die hierzu dienenden Einrichtungen werden als *Gaserzeuger* oder *Gasgeneratoren* bezeichnet. Bei dem Vergasungsvorgang bleiben lediglich die im Brennstoff enthaltenen mineralischen Bestandteile als *Asche* zurück.

Zum Unterschied hiervon wird mit *Entgasung* oder *Destillation* ein Prozeß bezeichnet, bei dem durch *Erwärmung* des Brennstoffes unter *Luftabschluß* seine flüchtigen Bestandteile abgespalten werden und Koks oder Holzkohle als Rückstand gewonnen wird. Die Entgasung kann mit dem Ziele durchgeführt werden, eine möglichst große Gasausbeute zu erhalten oder gewisse Nebenprodukte in großer Menge zu gewinnen. Eine der letzteren Arten bezeichnet man als *Schwelen* oder *Schwelung*; hierbei wird der Brennstoff langsam und nicht über 400 bis 500 ° C erhitzt und neben Halbkoks oder Holzkohle als wertvolles Produkt der Urteer gewonnen. Reine Entgasung kann in einem Gaserzeuger nicht durchgeführt werden.

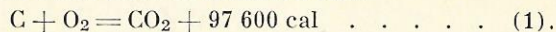
Zur Vergasung fester Brennstoffe werden *Druck- oder Sauggaserzeuger* benutzt; erstere werden ausschließlich als ortsfeste Anlagen gebaut, letztere finden seit einigen Jahren auch in *Kraftfahrzeugen* Verwendung.

In einem Gaserzeuger lassen sich je nach der Beschaffenheit des Brennstoffes durch Anwendung verschiedener Verfahren Gase verschiedener Zusammensetzung, wie Luftgas, Wassergas, Halb- oder Mischgas, herstellen. Da bei der Vergasung des Holzes und der Holzkohle fast ausschließlich Sauggaserzeuger in Anwendung kommen und Luft- oder Halbgas gewonnen wird, soll im folgenden nur auf die Erzeugung dieser Gase in Sauggasgeneratoren eingegangen werden. Zur Erläuterung der Vergasungsvorgänge sollen die schematischen Skizzen (Abb. 1 und 2) dienen.

Der Gaserzeuger (Abb. 1) ist ein meist zylindrischer Fülllofen, dessen Höhe und Durchmesser sich nach den jeweils vorliegenden Betriebsverhältnissen richten. Durch den Fülltrichter *a* wird bei der erstmaligen Inbetriebnahme und nach jeder vollständigen Entleerung eine Schicht Holzkohle und darauf Holz eingefüllt, der Trichter luftdicht verschlossen und die Holzkohle über einem Rost *b* angezündet. Zunächst wird durch einen an den Gasaustrittsstutzen *c* angeschlossenen Ventilator bei der

Luftgaserzeugung Luft, bei der Halbgaserzeugung ein Gemisch von Wasserdampf und Luft durch die Ansaugöffnung *d* in den Gaserzeuger gesogen. Eine einfache Vorrichtung gestattet, das Gas vorerst ins Freie abzuführen und, sobald es brennbar ist, dem Motor zuzuleiten, der dann nach Bedarf das Gas selbst weiter ansaugt.

Unmittelbar über dem Rost in der Oxydationszone *f* verbrennt der Kohlenstoff *C* der Holzkohle mit dem Sauerstoff *O₂* der Luft zu Kohlendioxyd *CO₂*, einem nicht mehr brennbaren Gas.



Bei der vollständigen Verbrennung des Kohlenstoffes entsteht eine Wärmemenge von 97 600 cal. Bei weiterem Durchgang durch die glühende Holzkohlen-

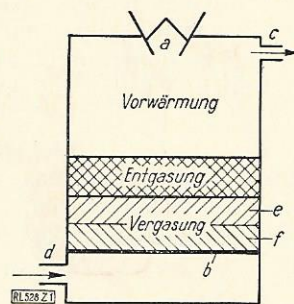


Abb. 1
Gaserzeuger mit aufsteigender Vergasung
a Fülltrichter; *b* Rost; *c* Gasaustritt; *d* Luftansaugeöffnung; *e* Reduktionszone; *f* Oxydationszone

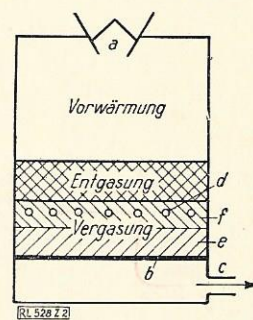
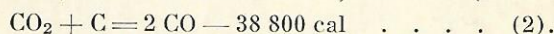


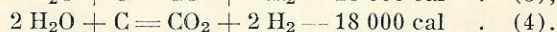
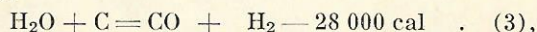
Abb. 2
Gaserzeuger mit absteigender Vergasung oder umgekehrter Verbrennung
Luftzuführung *d* oberhalb des Rostes, Gasaustritt unterhalb des Rostes

schicht wird das *CO₂* ganz oder zum Teil zu Kohlenoxyd *CO*, einem brennbaren Gas, reduziert (Zone *e*).



Diese Reduktion wie auch die des Wasserdampfes (Gl. 3 und 4) geht nur vor sich, wenn Wärme vorhanden ist, deren Mindestmenge sich aus dem Molekulargewicht und dem Heizwert der in Reaktion tretenden Stoffe errechnet und die in Gl. (2) 38 800 cal beträgt.

Wird der angesaugten Luft Wasserdampf *H₂O* zugesetzt, so kommen für die Bildung von Wasserstoff *H₂* im wesentlichen folgende Umsetzungen in Frage:



Während bei der Oxydation (Gl. 1), wie bereits oben gesagt, Wärme frei wird, verbrauchen die Umsetzungen nach Gl. (2) bis (4) einen großen Teil dieser Wärme. Der restliche Teil ist in der fühlbaren Wärme des Gases enthalten und wird auch zur Erwärmung des Gaserzeugers verbraucht. Wird viel

Wasserdampf zugesetzt, dann kann die Temperatur der Glutzone so niedrig werden, daß die Reduktion des CO_2 sehr unvollkommen wird. Der zugesetzte Wasserdampf wird auch nicht restlos reduziert, es wird sich im Gas immer Wasserdampf feststellen lassen.

Über der Vergasungszone liegt eine Brennstoffschicht, in der das Holz durch Erwärmung entgast wird, schwere Kohlenwasserstoffe, Methan, Wasserstoff und Teer, werden abgespalten und dadurch die für die Vergasung notwendige Holzkohle nachgebildet. Das Vorhandensein von Holzkohle ist also unbedingte Voraussetzung für den richtigen Ablauf des Vergasungsprozesses, und deshalb kann nur ein Brennmaterial verwendet werden, das zur Holzkohlebildung geeignet ist. Hierher gehören Hart- und Weichhölzer in Form von kleinen Scheiten oder Klötzen (Kanteln) oder groben Schnitzeln, unbrauchbar sind Reiser, Säge- und Hobelspäne.

Vergasung und Entgasung spielen sich in einem Gaserzeuger gleichzeitig ab, ausschlaggebend für die Gaszusammensetzung ist aber stets die Vergasung.

Im obersten Teil des Generators wird das Holz vorgewärmt und das enthaltene Wasser verdampft. Der Stickstoff N_2 der Luft durchzieht den Gaserzeuger, ohne sich an irgendeiner Umsetzung zu beteiligen und findet sich unverändert im Gas wieder. Das Gas, das in einer derartigen Anlage erzeugt wird, enthält noch Teer, stückige Verunreinigungen und Wasserdampf; zum Antrieb eines Motors muß es gereinigt werden. Dies geschieht in besonderen Teerabscheidern und Reinigern.

Um nun ohne Teerabscheider ein teerfreies Gas zu erhalten, ist man dazu übergegangen, Gaserzeuger mit umgekehrter Verbrennung zu bauen. Die Luftzuführung liegt dabei oberhalb des Rostes

(in Abb. 2 bei *d*) und ist meist ringförmig ausgebildet, der Gasaustritt befindet sich unterhalb des Rostes. Die grundlegenden chemischen Umsetzungen (Gl. 1 bis 4) in der Oxydations- und Reduktionszone, die allerdings ihre Lage zum Rost vertauscht haben, sind die gleichen geblieben. Durch diese Bauart wird erreicht, daß der in der Entgasungszone entstehende Teer durch die Glutzone gesogen und dort verbrannt wird. Ebenso werden alle anderen Entgasungsprodukte und der in der Vorwärmzone gebildete Wasserdampf durch die glühende Holzkohlenschicht gezogen und dabei zersetzt. Bei der Vergasung von Holz nach der umgekehrten Verbrennung wird man der angesogenen Luft meistens keinen Wasserdampf zusetzen, da das im Holz enthaltene Wasser zur Bildung einer genügenden Dampfmenge in der Regel ausreicht.

Für die Vergasung von Holzkohle gilt das oben Gesagte sinngemäß, jedoch muß beachtet werden, daß die Holzkohle gewöhnlich nur geringe Mengen Wasser enthält und praktisch frei von Schwelprodukten ist.

B. Angaben über die bei den Versuchen verwendeten Brennstoffe

Bei den Versuchen wurde Holz — Buche, Fichte und Kiefer — in Form von Kanteln verschiedener Größe vergast, um den Einfluß der Holzart und Stückgröße auf den Gang des Generators festzustellen. Die Kanteln waren durch Sägen und Spalten hergestellt und hatten die folgenden Stückgrößen: 16 cm Länge bei 15 bis 20 cm^2 Querschnitt, 8 cm Länge bei 40 bis 60 cm^2 bzw. 20 bis 25 cm^2 Querschnitt und 5 cm Länge bei 40 bis 60 cm^2 bzw. 5 bis 6 cm^2 Querschnitt (vgl. die Abb. 3 bis 6).

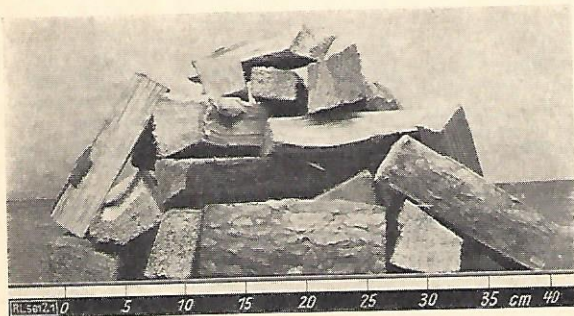


Abb. 3 Holz von 16 cm Stücklänge, 15 bis 20 cm^2 Querschnitt

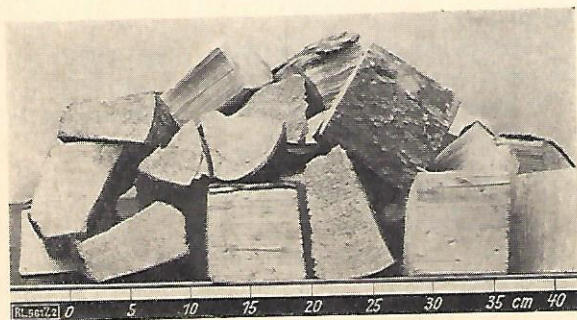


Abb. 4 Holz von 8 cm Stücklänge, 40 bis 60 cm^2 Querschnitt

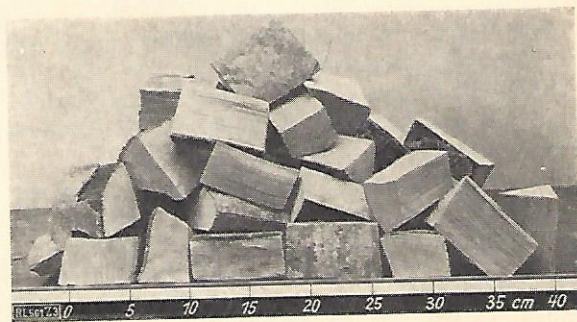


Abb. 5 Holz von 8 cm Stücklänge, zerkleinert auf 20 bis 25 cm^2

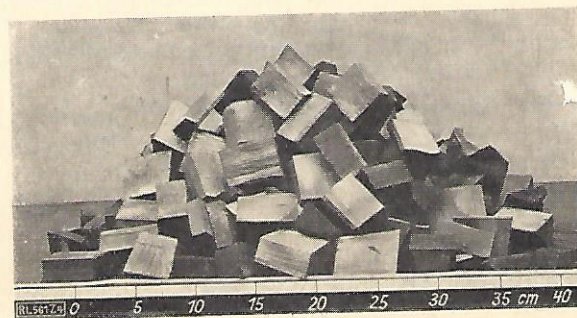


Abb. 6 Holz von 5 cm Stücklänge, zerkleinert auf 5 bis 6 cm^2 (Streichholzschachtelstärke)

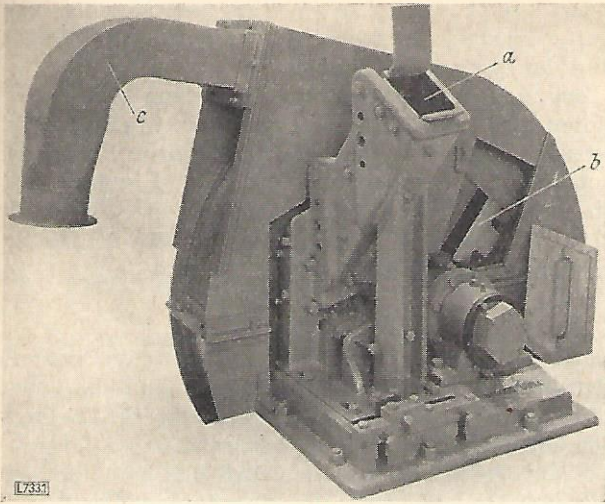


Abb. 7 Holzhackmaschine Bauart Wigger

Da die generatorfertige Zerkleinerung des in einem Gaserzeuger verwendbaren Holzes durch Sägen und Spalten den Hauptanteil der Brennstoffkosten ausmacht, wurden ferner auch Versuche mit maschinell zu Schnitzeln zerkleinertem Holz durchgeführt. Die Schnitzel waren auf einer Sondermaschine der Firma Wigger in Unna (Westf.) hergestellt, welche die Zerkleinerung des Holzes in einem Arbeitsgang ermöglicht.

Den Aufbau einer solchen Maschine, die in ortsfester und fahrbarer Ausführung geliefert wird, zeigt Abb. 7. Das Holz wird als Knüppel- oder Scheitholz mittels eines dreifachschrägen Hackbockes *a* den Hackmessern *b* zugeführt. Die Holzschnitzel werden durch Wurfflügel aus dem Rüssel *c* geschleudert. Das Holz wird nach der in Kochereien der Papierfabrikation üblichen Art — Schnitzel — zerhackt; die Kosten dieses Zerkleinerungsvorganges sind erheblich geringer als die der gewöhnlichen Aufbereitung. Die Firma Wigger gibt an, daß die Maschine in einer Stunde etwa 9 Raummeter Scheitholz bei einem mittleren Leistungsbedarf von etwa 13 PS zu Schnitzeln zerkleinert und zur Bedienung der Maschine ein Mann erforderlich sei. Bei stärkerem Knüppelholz können etwa 13 Raummeter bei einem Leistungsbedarf von etwa 16 PS zerkleinert werden.

Die Abmessungen der Schnitzel waren: Länge (gemessen in Richtung der Holzfaser) 6 bis 7 cm; Breite (2) bis 7 bis (12) cm; Dicke (0,5) bis 2 bis (3) cm. Die Schnitzelgröße war bei Buchen- und Birkenholz gleichmäßiger als bei Fichtenholz, siehe Abb. 8 und 9.

Zur Bestimmung des Wassergehaltes wurden Proben genommen, die im Trockenschrank bei 100 bis 105°C getrocknet wurden. Der Wassergehalt wird stets in % des feuchten Holzes angegeben.

Von Bedeutung ist ferner das erreichbare Gewicht der Füllung eines Gaserzeugers, da hiervon die Brenndauer einer Beschickung abhängt. Es war anzunehmen, daß sich diese Werte mit der Stückgröße des verwendeten Holzes ändern. In Zahlentafel 1 sind die beim Einfüllen eines Gaserzeugers in natürlicher Lagerung erzielten Raumgewichte für verschiedene Holzarten und -größen zusammengestellt. Um die erhaltenen Werte miteinander vergleichen zu

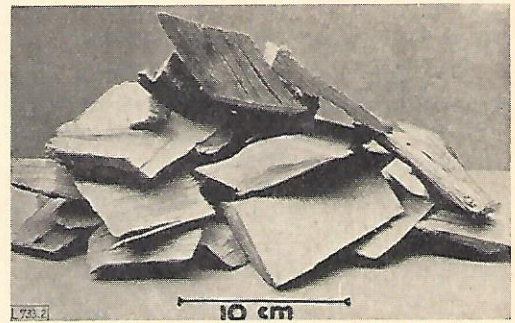


Abb. 8 Hartholzschnitzel

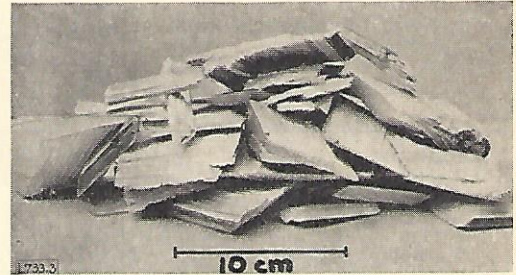


Abb. 9 Weichholzschnitzel

Zahlentafel 1

Raumgewichte verschiedener Brennstoffarten und -größen bei natürlicher Schüttung

	Stückgröße	Raumgewicht [kg/m ³] bei 17% Wassergehalt
Hartholzkantel	5 cm × 6 cm ²	285
„	5 cm × 20 cm ²	290
„	8 cm × 20 cm ²	300
„	16 cm × 20 cm ²	360
„	8 cm × 25 bis 30 cm ²	345
Hartholzschnitzel	7,3 cm lang; 6,4 cm breit; 1,2 cm dick	265
Weichholzkantel	8 cm × 6 cm ²	210
„	16 cm × 20 cm ²	255
„	8 cm × 25 bis 30 cm ²	240
Gemisch aus gleichen Raumteilen Hart- und Weichholz 8 cm × 25 cm ²		290
Gemisch aus gleichen Raumteilen Hart- und Weichholzschnitzel		230
Buchenholzkohle mit ≈ 5% Wassergehalt		210

können, sind die sämtlichen Gewichte auf 1 m³ bei einem Wassergehalt von 17% bezogen.

Der zu den Versuchen mit Holzkohlengaserzeugern benutzte Brennstoff war kleinstückige Retorten-Buchenholzkohle mit einem Wassergehalt von rd. 5%.

Der untere Heizwert des als wasserfrei angenommenen Holzes wird mit rd. 4400 kcal/kg, der der Holzkohle zu 7500 kcal/kg angegeben. Da aber diese Brennstoffe stets einen gewissen Wassergehalt aufweisen, z. B. bezeichnet man als luftgetrocknetes Holz ein Holz, das 10 bis 25% Wasser enthält, vermindert sich der untere Heizwert auf

$$H_{u\text{feucht}} = (1-x) \cdot H_{u\text{trocken}} - 600x,$$

worin x den Gewichtsanteil des Wassers, bezogen auf 1 kg feuchten Brennstoff, darstellt.

Es ergibt sich also für Holz mit einem Wassergehalt von rd. 20 % ein Heizwert von rd. 3400 kcal/kg und für Holzkohle mit rd. 5 % Wassergehalt ein Heizwert von rd. 7100 kcal/kg.

Zahlentafel 2 gibt die bei der Vergasung von Holz bzw. Holzkohle erreichten mittleren Gaszusammensetzungen und die Heizwerte an.

Zahlentafel 2

Wichtige Eigenschaften des Holzgasen und des Holzkohlengases

	Gaszusammensetzung					unterer Heizwert	Luftüberschußzahl	Gemischheizwert
	CO %	H ₂ %	CH ₄ %	CO ₂ %	N ₂ %	H _u kcal/m ³	λ	H _{Gem} kcal/m ³
Weich- und Hartholz lufttrocken	21,7	18,5	1,8	11,0	4,7	1290	1,05	590
Buchen-Holzkohle	31,9	5,6	2,6	2,3	57,6	1340	1,05	610

Die Gegenüberstellung läßt erkennen, daß das „Holz“-Gas als Mischgas zu bezeichnen ist, da das Gas einen ziemlich großen H₂-Anteil aufweist. Dieser ist auf die Zersetzung des im Brennstoff reichlich vorhandenen Wassers zurückzuführen. Im Zusammenhang damit ist auch der verhältnismäßig hohe Anteil der Kohlensäure CO₂ zu erklären.

Das „Holzkohlen“-Gas dagegen kann als Luftgas gelten. Man beachte das Verhältnis CO₂ und den geringen H₂-Gehalt.

Zur restlosen Verbrennung des erzeugten Gas-Motor muß dem Gas noch eine der Gaszusammensetzung entsprechende Sauerstoff- bzw. Luftmenge unter Berücksichtigung eines genügend großen Luftüberschusses zugemischt werden. Der Heizwert dieses Gemisches ist hauptsächlich für die Motorleistung maßgebend. Er ergibt sich zu

$$H_{\text{Gem}} = \frac{H_u}{1 + \lambda \cdot L_{\text{min}}}$$

worin H_u den aus der Analyse ermittelten unteren Heizwert, λ die Luftüberschußzahl und L_{min} den Mindest-Luftbedarf darstellt (sämtliche Größen sind auf den Normalzustand bezogen).

Es sei darauf hingewiesen, daß den dem Gas entsprechenden Werten, die in Zahlentafel 2 eingefügt sind, ein Gemischheizwert des Benzoldampf-Luftgemisches von rd. 830 kcal/m³ gegenübergestellt. Die entstehende Differenz zeigt an, daß der Betrieb eines Motors für flüssige Brennstoffe Holz- oder Holzkohlengas ein Leistungsabfall mit sich bringen muß.

Für die zuverlässige Beantwortung der bei der Vergasung von Holz und Holzkohle und bei der Verwendung der so gewonnenen Gase in Verbrennungsmotoren auftretenden Fragen war es nötig, die Untersuchungen in zweifacher Hinsicht durchzuführen:

- als Laboratoriumsversuche mit der Möglichkeit der exakten Messung;
- als Fahrversuche zur Beurteilung des Verhaltens von Holzgasbetriebener Kraftfahrzeuge im Verkehr und Gelände.

II. Die Versuche im Laboratorium

A. Die Versuchsanordnung

Da es sich bei den zu untersuchenden Gaserzeugern um Anlagen handelt, die unter besonderer Berücksichtigung des Einbaues in Kraftfahrzeuge entworfen wurden, mußten auch für die Versuche im Laboratorium Bedingungen geschaffen werden, die den Verhältnissen des Fahrbetriebes in weitem Umfang Rechnung tragen.

Die im Fahrbetrieb auftretenden Stöße und Schwingungen verhindern Hohlraumbildungen im Generator, die infolge der verhältnismäßig geringen Lichtweiten desselben besonders bei Vergasung sperrigen Holzes leicht eintreten können, und bewirken, daß die Füllung mit fortschreitendem Verbrauch gleichmäßig nachfällt. Da solche Hohlräume den Gang des Generators bei den Versuchen im Laboratorium ungünstig beeinflussen können, wurde eine Rüttelvorrichtung (Abb. 10) entworfen, welche die Erschütterungen des Fahrbetriebes nachzuahmen gestattet. Der auf dem Spannrost erhöht befestigte, aus U-Eisen verfertigte Grundrahmen *a* trägt die Lager für eine Nockenwelle *b*, den Holzblock *c* mit Korkplatten *d* und das Gelenk *e*. Der Winkeleisenrahmen *f*, auf dem der Gaserzeuger *g* befestigt ist, ist im Gelenk *e* drehbar gelagert und liegt außerdem auf den exzentrischen Nocken *h* bzw. den Hubbegrenzern *c, d*. Der Antrieb der Nockenwelle erfolgt über ein Vorgelege durch Riemen von einem

regelbaren Elektromotor aus. Diese Anordnung ermöglicht, durch Veränderung der Fallhöhe die Intensität der Stöße und durch Veränderung der Drehzahl die Häufigkeit der Erschütterungen so zu verändern, daß dem Fahrbetrieb ähnliche Bedingungen erzielt werden können.

Mit der Rüttelvorrichtung ist eine Wägevorrichtung vereinigt. Der am Gelenk *e* befestigte Rahmen *f* mit dem Gaserzeuger *g* stützt sich mit zwei Holmen *i* auf eine Dezimalwaage *k*. Zwischen dem Generator und den fest gelagerten Reinigern ist nahe am Gelenk *e* ein elastisches Rohrstück *l* in die Gasleitung eingebaut, das Bewegungen um die Drehachse *e* zuläßt. Aus einer Eichkurve — 1 kg am Generator entspricht etwa 25 g auf der Waage — läßt sich das

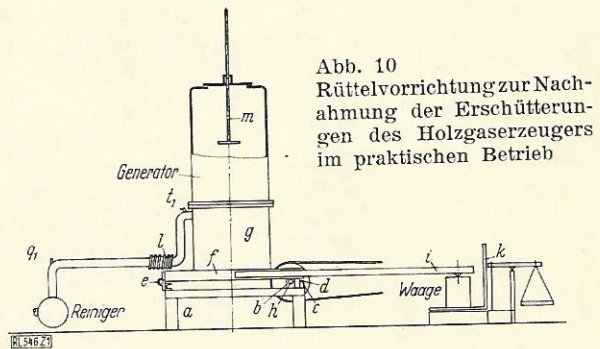


Abb. 10 Rüttelvorrichtung zur Nachahmung der Erschütterungen des Holzgaserzeugers im praktischen Betrieb

a Grundrahmen, *b* Nockenwelle, *c* Holzblock mit Korkplatte *d* und Gelenk *e*, *f* Winkeleisenrahmen, *g* Gaserzeuger, *h* exzentrischer Nocken, *k* Dezimalwaage zur Feststellung des Holzverbrauchs, *i* Holm zur Übertragung des Gewichtes vom Gaserzeuger auf die Waage, *l* elastisches Rohrstück, *m* „Schwimmer“

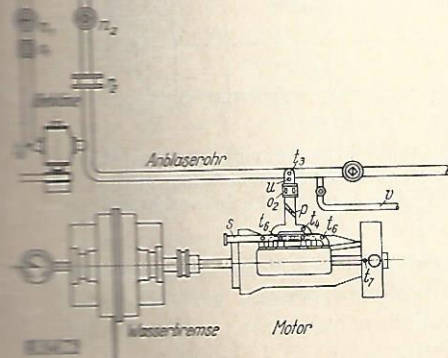
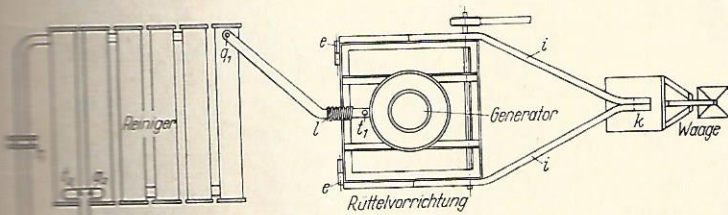
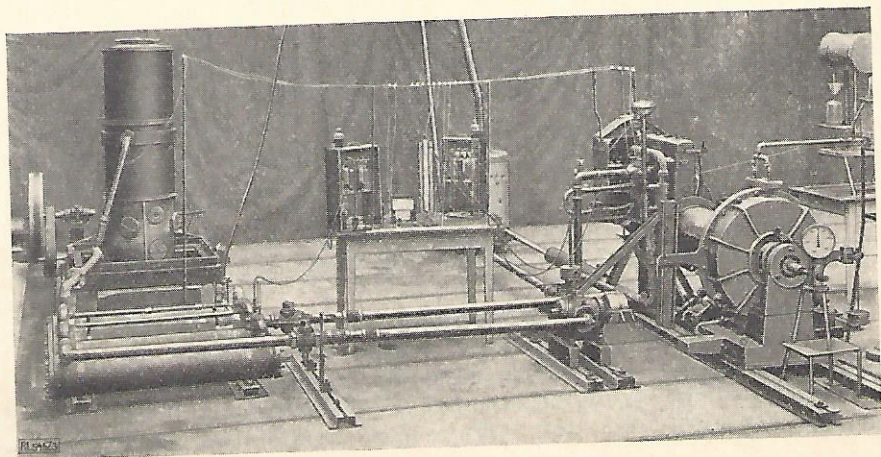


Abb. 12 Vereinfachte Darstellung der Versuchsanlage

k Dezimalwaage, *l* elastisches Rohrstück, *n1, n2* Messerhähne, *o1, o2* Ringschieber, *v* Drosselventil, *e1, e2* Entnahmestelle für Gasproben, *o1, o2* Stopfbüchsen, *s* Auspuffleitung, *t1* bis *t7* Temperatur-Messstellen, *v* absperzbare Rohrleitung

Abb. 11 Gesamtaufbau der Versuchsanlage



tatsächliche Gewicht des Generators samt seiner Füllung feststellen. Auf diese Weise kann der Holzverbrauch jederzeit während eines Versuches schnell und genau ermittelt werden.

Mit einem am Verschlussdeckel angebrachten „Schwimmer“ m kann die jeweilige Schütthöhe des Holzes im Generator ermittelt werden. Bei zylindrisch ausgeführtem Vorratsraum gibt diese Messung Anhaltspunkte für den Verbrauch an Holz. Die Genauigkeit dieser Verbrauchsmessung ist von der Stückgröße des Holzes in hohem Maße abhängig, sie liefert bei Holz von etwa Streichholzschachtelgröße zuverlässige Werte.

Der Gesamtaufbau der Anlage ist in den Abb. 11 und 12 dargestellt. Das Gas wird durch eine Rohrleitung aus dem auf der Rüttelvorrichtung stehenden Generator abgesogen und gelangt zunächst in die zylindrischen Reiniger. Diese sind zur Abscheidung mechanischer Bestandteile, wie Flugasche und Ruß, mit Prallblechen versehen. Gleichzeitig kühlt sich das Gas an den großen Strahlungsflächen ab, und der im Gas enthaltene Wasserdampf kondensiert zu Wasser. Um eine dem natürlichen Windzug beim Fahrbetrieb entsprechende Kühlung auch im Laboratorium zu erzielen, werden einige der Reiniger berieselt. Der sich in den fünf oder sechs hintereinander geschalteten Reinigern abscheidende Staub und das Kondenswasser können durch die an den beiden Seiten befindlichen Schraubverschlüsse entfernt werden.

Durch Anordnung zweier Absperrhähne n_1 und n_2 ist es möglich, das Gas wahlweise hinter dem 5. Reiniger dem Motor unmittelbar zuzuleiten oder aber durch den 6. Reiniger mit einem Gebläse anzusaugen. Zum Anlassen des Generators wird das Gebläse benutzt, das in diesem Falle die noch nicht brennbaren Gase durch ein Anblaserohr ins Freie befördert.

Bei Saugbetrieb saugt der Motor das Gas selbst an (Hahn n_1 geschlossen, n_2 geöffnet), die zur Verbrennung nötige Luft wird durch den regelbaren Ringschieber o_2 zugeleitet und der Gemischstrom durch eine Drosselklappe p geregelt. Die Gasleitung ist mit der gewöhnlichen aus dem Benzolvergaser gespeisten Ansaugleitung zu einem „Hosenrohr“ durch Schweißung vereinigt, so daß die Möglichkeit des wahlweisen Betriebes mit flüssigem Brennstoff oder Holzgas bzw. einem Gemisch aus beiden gegeben ist. Die Leistung des Motors wird mit einer Liebelschen Wasserbremse bestimmt, die Drehzahl an einem mit der Kurbelwelle gekuppelten Tachometer abgelesen und mit Hilfe eines Umdrehungszählers nachgeprüft.

Die Lage der notwendigen Temperaturmeßstellen geht ebenfalls aus der Übersicht hervor. Es wird gemessen bei:

- t_1 die Temperatur des Gases beim Verlassen des Generators,
- t_2 die Temperatur des Gases nach dem 5. Reiniger,
- t_3 die Temperatur des Gases vor der Mischung mit der Verbrennungsluft,
- t_4 die Temperatur des Gas-Luftgemisches vor Eintritt in die Zylinder,
- t_5 die Temperatur des vom Kompressor angesogenen Gas-Luftgemisches vor der Verdichtung,

- t_6 die Temperatur der Auspuffgase beim Verlassen der Zylinder,
- t_7 die Temperatur des Kühlwassers (Aus- und Eintritt).

Die Entnahme von Gasproben zur technischen Gasanalyse kann bei q_1 oder q_2 erfolgen. Zur Kontrolle der Verbrennung und Ermittlung des Luftüberschusses steht die Auspuffleitung s mit einem Orsatapparat in Verbindung. Zur Bestimmung der angesogenen Gasmengen ist vor der Mischung mit Luft jeweils ein Staurand (r_1 und r_2) mit selbstregistrierender Ringwaage in gerade Teile der Gasleitung eingebaut. Der bei Saugbetrieb in der Leitung herrschende Unterdruck kann bei q_1 vor den Reiniger bzw. bei u unmittelbar vor dem Eintritt des Gases in den Motor gemessen werden.

Eine absperrbare Rohrleitung v führt das Gas zur Bestimmung seines Heizwertes einem Junkers-Kalorimeter zu.

B. Versuche an einem Hanomag-Schleppermotor

Für die folgenden Versuchsreihen stand ein Hanomag-Schleppermotor Bauform R 28 zur Verfügung, der durch folgende Angaben gekennzeichnet ist:

Zylinderzahl	4
Arbeitsweise	4-Takt
Bohrung	$d = 96$ mm
Hub	$s = 150$ mm
Verdichtungsverhältnis	$\epsilon = 4,98:1$
Normaldrehzahl	$n = 1100$ /min

Zur Gewinnung eines Vergleichsmaßstabes wurde die Leistung des Motors zunächst mit Benzol bei Vollast und verschiedenen Drehzahlen bestimmt; die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Abb. 13 dargestellt.

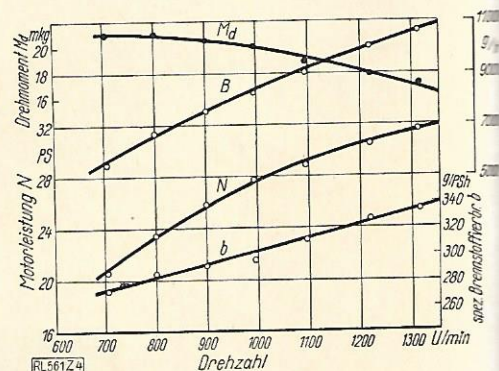


Abb. 13 Leistung, Drehmoment, Brennstoffverbrauch des Versuchsmotors mit Benzol bei Vollast und verschiedenen Drehzahlen

halten. Der Betriebszustand des Motors wurde während der sich über mehrere Monate erstreckenden Versuche durch Leistungsversuche mit Benzol wiederholt nachgeprüft.

Eigenschaften des benutzten Benzols:

Spez. Gewicht	0,873 kg/l
C-Gehalt	92,35 %
H-Gehalt	7,65 %
unterer Heizwert	9858 kcal/kg

1. Kleingaserzeuger „KU 3“ der Humboldt-Deutz-Motoren A.-G., Köln-Kalk (1. Bauform)

Bauform und Betriebsanleitung

Der Deutzer Kleingaserzeuger „KU 3“ (Abb. 14 und 15) dient nach Angabe der Herstellerin zur Vergasung von Holz kleinerer Stückgröße. Seine Bauart ist dadurch gekennzeichnet, daß jegliche Ausmaue-

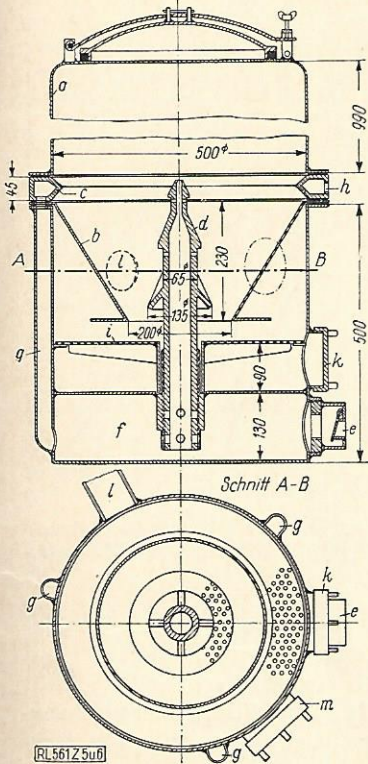


Abb. 14 u. 15
Deutzer Kleingaserzeuger KU 3
oberes Teil verkürzt dargestellt

- a Vorratsraum mit Deckel
- b Feuerkorb
- c Randdüse
- d Mitteldüse (verstellbar)
- e Öffnung mit Rückschlagklappe für den Durchtritt der Vergasungsluft in Raum f
- g Steigkanäle
- h Gewindestopfen
- i Sieb
- k Öffnung zum Entfernen der unbrauchbaren Rückstände
- l Absaugstutzen
- m Stochloch

rung und andere gegen Erschütterungen empfindliche Teile fehlen, wodurch der Gaserzeuger besonders für den Einbau in Kraftfahrzeuge geeignet erscheint.

Das obere Teil *a* des Generators ist als Vorratsraum ausgebildet, seine Einfüllöffnung ist mit einem dichtschießenden Deckel verschlossen, der mit einer Blattfeder angedrückt wird und bei etwa auftretenden Verpuffungen als Sicherheitsventil wirkt. In dem Unterteil mit dem kegelförmig gestalteten, aus feuerfestem Blech gefertigten Feuerkorb *b* geht die Vergasung vor sich. Die dazu nötige Luft wird durch eine Randdüse *c* und eine verstellbare Mitteldüse *d* der Oxydationszone zugeführt. Die Randdüse ist gegossen und weist am Umfang 24 Bohrungen von je 3 mm Dmr. auf, die nach Vorversuchen auf 5 mm Dmr. aufgeböhrt wurden. Die ebenfalls aus feuerbeständigem Werkstoff gegossene Mitteldüse hat an ihrer Spitze eine Bohrung von 5 mm Dmr., darunter acht am Umfang gleichmäßig verteilte von 4 mm Dmr.; etwas tiefer befinden sich weitere acht Bohrungen, die nach Vorversuchen von 8 mm Dmr. auf 5 mm Dmr. verkleinert wurden. Die Vergasungsluft tritt durch eine mit einer Rückschlagklappe versehene Öffnung *e* in einen unter dem Aschenraum angeordneten Raum *f*. Die hier etwas vorgewärmte Luft strömt zum Teil in die Mitteldüse, zum Teil durch drei röhrenförmige Steigkanäle *g* in die Ringdüse und wird hier über den ganzen Um-

fang verteilt. Daneben besteht noch die Möglichkeit, der Ringdüse nach Herausrauben dreier Gewindestopfen *h* Luft unmittelbar zuzuführen.

Durch die Anordnung zweier Düsen (Rand- und Mitteldüse) soll eine gleichmäßige, über den ganzen Querschnitt verteilte Glutzone erzielt werden. Diese soll verhindern, daß sich in der Mitte ein kalter Kern bildet, durch den die in der Entgasungszone abgespaltenen Teerdämpfe unverbrannt mit abgesogen werden können und den Motor verunreinigen. Die in der Höhe verstellbare Mitteldüse gibt ferner die Möglichkeit, den freien Querschnitt zwischen Feuerkorb und Düsenschirm zu verändern. Der Gaserzeuger soll dadurch verschiedenen Belastungen (Motorstärken) angepaßt werden können. Gleichzeitig soll erreicht werden, daß von der bei der Vergasung entstehenden Holzkohle nur eine so große Menge in den Gasabsaugraum gelangt, als bei der Reduktion des Gases aufgezehrt wird.

Die Holzkohle ruht auf einem Sieb *i*, das von außen durch einen Hebel gerüttelt werden kann, um den Kohlenstaub und die Asche auch während des Betriebes absieben zu können. Die unbrauchbaren Rückstände werden durch die Öffnung *k* entfernt. Das Gas wird vom Motor durch den Stutzen *l* abgesogen und gelangt in die Reiniger.

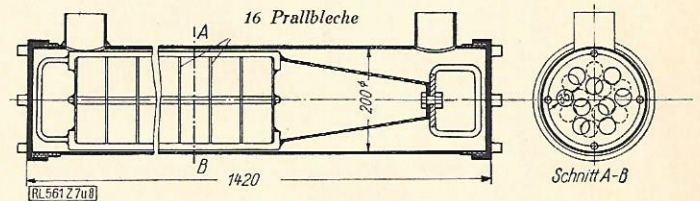


Abb. 16 u. 17 Reiniger (linkes Teil verkürzt dargestellt)

Die Reinigungsanlage besteht aus drei röhrenförmigen Reinigern, deren erster in Abb. 16 und 17 dargestellt ist. Der Einsatz ist mit Pralldüsen ausgestattet, an denen sich die mechanischen Beimengungen durch Stoßwirkung absetzen und der ebenfalls mitgerissene Wasserdampf infolge der Abkühlung zu Wasser kondensiert. Während der Einsatz des ersten Reinigers außer den Pralldüsen

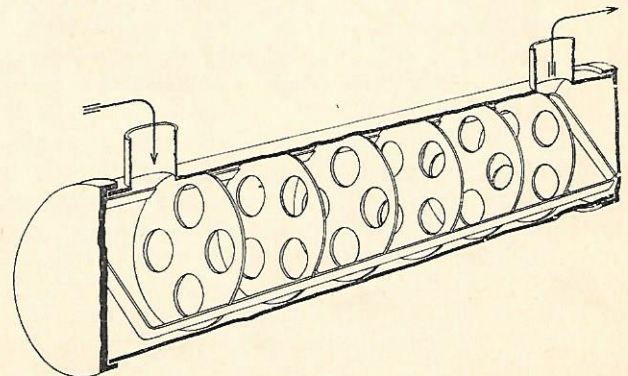


Abb. 18 Reiniger mit Pralldüsen

auch ein kegelförmiges Sieb aufweist, ist der zweite Reiniger nur mit Pralldüsen versehen (Abb. 18) und der dritte (in welchem sich meistens das Kondenswasser niederschlägt) mit einer zylindrischen Bürste ausgerüstet. Vor dem Eintrittsstutzen am

Motor wird in der Regel ein Wassertopf angeordnet, um das in der Leitung sich noch bildende Wasser abzuscheiden.

Zum Anblasen des Gaserzeugers dient beim Fahrzeugbetrieb ein Ventilator, der entweder von Hand oder mittels eines an die Starterbatterie angeschlossenen kleinen Elektromotors betrieben wird. (Bei den Versuchen wurde das oben erwähnte Gebläse zum Anblasen benutzt.)

Bei erstmaliger Inbetriebnahme des Gaserzeugers und nach jeder vollständigen Entleerung muß der Feuerkorb mit etwa haselnußgroßer Holzkohle bis zur Höhe der Düsenöffnungen gefüllt werden. Nach dem Auffüllen des Vorratsraumes mit kleinstückigem Holz ist der Deckel gut zu verschließen. Das Anzünden des Generators geschieht durch die Luft Eintrittsöffnung *e* am zweckmäßigsten mit einem mit Öl getränkten, brennenden Lappen. Das noch nicht brennbare Gas wird vom Ventilator angesogen und durch das geöffnete Anblaserrohr ins Freie gedrückt. Sobald das Gas brennbar ist und seine Flamme klar und bläulich erscheint, kann der Motor in Betrieb genommen und der Ventilator stillgesetzt werden.

Um Verpuffungen zu vermeiden, legt man zweckmäßig nach jedem Nachfüllen vor dem Schließen des Deckels ein Stück brennendes Papier in den Vorratsraum. Die Holzkohle muß durch Rütteln des Siebes von Zeit zu Zeit aufgelockert werden. Die Reiniger sollen täglich durch Herausnehmen und Abklopfen der Einsätze gereinigt werden. Sämtliche Schraubverschlüsse sind mit einer Graphitölpaste einzuschmieren, um ein Festsetzen zu vermeiden. Die Asche ist in regelmäßigen Zeitabständen zu entfernen.

Bei kurzen Betriebspausen kann der Motor sofort mit Gas weiterbetrieben werden. Längere Betriebsunterbrechungen erfordern neues Anzünden und Anblasen des Generators mit Hilfe des Ventilators.

Motorleistung und Holzverbrauch

Zu Beginn der Untersuchungen wurde der Gaserzeuger — die Höhe der Mitteldüse — durch einen Beauftragten der Herstellerin auf die Motorstärke des Versuchsmotors eingestellt. Die im Generator am zweckmäßigsten zu verarbeitende Stückgröße des Holzes wurde von der Lieferfirma mit 5 bis 8 cm Länge und etwa Streichholzschatelstärke angegeben. Mit dieser Einstellung wurden die je einständigen Versuche Nr. 1, 4, 7 (Zahlentafel 3) durchgeführt. Bei dieser Düsenstellung und Holz von Streichholzschatelstärke lieferte der Gaserzeuger teerfreies Gas von gleichmäßiger Zusammensetzung und arbeitete störungsfrei. Die Versuche 1, 4, 7 zeigen, daß die Art des verwendeten Holzes praktisch ohne Einfluß auf die Motorleistung ist. Der Verbrauch ist jedoch bei Buchenholz größer als bei Fichte und Kiefer. Der höhere Verbrauch läßt sich mit dem höheren spezifischen Gewicht des Buchenholzes und seinem höheren Wassergehalt (23 % gegenüber 17 %) erklären.

Auf den Unterschied des spezifischen Gewichtes ist ferner zurückzuführen, daß eine Füllung Buchenholz von Streichholzschatelstärke in 3,75 Std. (Abb. 19) und Fichtenholz von gleicher Stückgröße

bei gleicher Belastung des Gaserzeugers schon in etwa 2,4 Std. vergast wurde. Die Abb. 19 zeigt außerdem, daß bei zylindrischem Vorratsraum und gleichbleibender Belastung der Abbrand des Holzes verhältnismäßig zur Zeit ist.

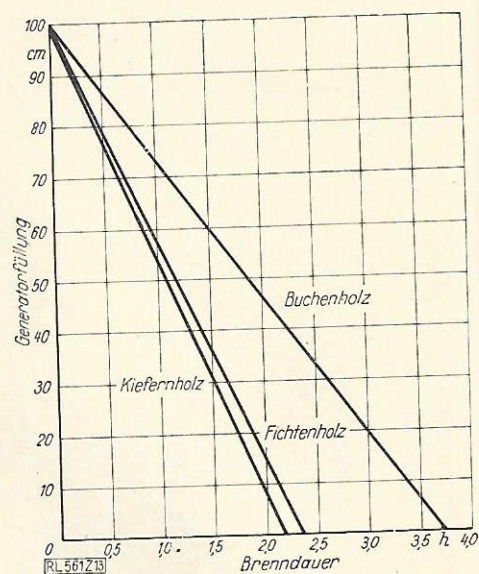


Abb. 19 Brenndauer einer Füllung des Holzgas-erzeugers mit verschiedenen Holzarten

Zur teerfreien Vergasung grobstückigen Fichten- und Kiefernholzes von 8 cm Länge und 40 bis 50 cm² bzw. 16 cm Länge und 15 bis 20 cm² Querschnitt war es erforderlich, die Mitteldüse höherzuschrauben. Mit der neuen Düsenstellung wurde zwar teerfreies Gas erzielt, doch war es von stark wechselnder Zusammensetzung und verursachte starke Schwankungen in der Motorleistung. Letztere sind darauf zurückzuführen, daß das grobe Holz in der Vergasungszone Brücken bildet, also Hohlräume entstehen, die eine Verschlechterung des Gases und Verminderung der Drehzahl zur Folge haben. Sobald die Brücken zerstört werden und damit die Hohlräume verschwinden, wird das Gas wieder besser, und die Drehzahl steigt. Dieses Spiel wiederholte sich innerhalb kurzer Zeit sehr oft. Selbst starkes Rütteln des Gaserzeugers konnte die Brückenbildung nicht verhindern. Ein gleichmäßiger Lauf des Motors konnte unter diesen Umständen auch bei niedrigen Drehzahlen nicht erreicht werden. Die Versuche Nr. 5, 6, 8, 9 zeigen, daß die gewonnene Motorleistung hinter der mit Streichholzschatelstärke erzielten zurückbleibt.

Buchenholz von 5 cm Stücklänge und etwa 20 bis 25 cm² Querschnitt eignete sich besser zur Vergasung, doch wurde mit dieser Holzgröße eine geringere Motorleistung (Versuch Nr. 3) erzielt als bei Verwendung von Holz mit Streichholzschatelgröße

Bei Versuchen über den Einfluß der Düsenstellung auf die Teerfreiheit des Gases und die Leistung des Motors wurde eine günstigste Düsenstellung ermittelt. Mit dieser Stellung wurde eine Versuchsreihe mit je ½ stündigen Versuchen mit Buchenholz von Streichholzschatelgröße durchgeführt, deren Ergebnisse in Abb. 20 enthalten sind. Die erzielte

Leistungen dürften bei normalem Verdichtungsverhältnis als die im günstigsten Falle erreichbaren anzusehen sein. Ein Vergleich der Leistungskurven bei Holzgas und Benzol zeigt, daß ein Leistungsabfall von 35 bis 40,8 % auftritt (Abb. 21).

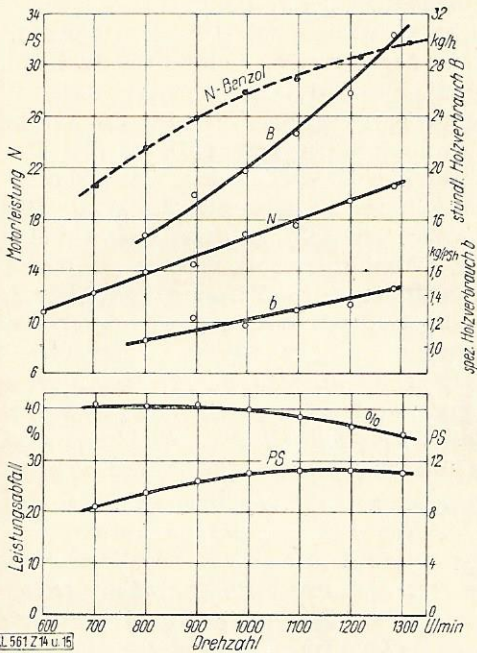


Abb. 20 (oben) Motorleistung und Holzverbrauch bei Holzgasbetrieb

Abb. 21 (unten) Leistungsabfall bei Holzgasbetrieb (bis 40,8%)

Zur Erzielung der Holzgas-Bestleistungen mußte der Zündzeitpunkt auf 18 mm (36,5°) vor den oberen Totpunkt vorverlegt werden.

Gaszusammensetzung und Heizwert, Temperatur- und Druckverhältnisse

Die Gasentnahme zur technischen Gasanalyse erfolgte hinter der Reinigungsanlage und vor der Mischung mit der zur Verbrennung nötigen Luft. Bei der Vergasung von lufttrockenem Buchenholz (Versuch 3, Zahlentafel 3) ergab sich bei einer Motordrehzahl $n=1100$ U/min folgende mittlere Gaszusammensetzung (luftfrei):

CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	H _u
16,1	10,1	3,4	0,2	12,2	—	58	1070

Die gleichzeitig mit obiger Gasanalyse durchgeführte Analyse der Motorabgase ergab eine Luftüberschußzahl von $\lambda=1,08$. Aus dieser Tatsache kann man auf den Energieinhalt (Gemischheizwert) des dem Motor zugeführten Brenngas-Luftgemisches Rückschlüsse ziehen. Für den vorliegenden Fall berechnet sich der Gemischheizwert zu $H_{\text{Gem}}=524$ kcal/m³.

Merkliche Unterschiede in der Gaszusammensetzung waren bei Vergasung verschiedener Holzarten gleicher Stückgröße im untersuchten Drehzahlbereich des Motors nicht festzustellen. Dagegen wechselte bei Verarbeitung grobstückigen Holzes, wie oben gesagt, die Gaszusammensetzung außer-

Zahlentafel 3 Versuche mit Holzgas

Nr.	Holzart	Stückgröße	Motor- Drehzahl 1/min	Leistung PS	Holzverbrauch stündl. kg/h	spez. kg/PS h
1	Buche	5 cm 5 bis 6 cm ²	1100	16,75	22,7	1,36
2	Buche	5 cm 5 bis 6 cm ²	600 bis 1300	aus Abb. 20 zu entnehmen		
3	Buche	5 cm 20 bis 25 cm ²	1100	16,4	22,0	1,34
4	Kiefer	8 cm 5 bis 6 cm ²	1086	16,72	19,5	1,17
5	Kiefer	8 cm 40 bis 50 cm ²	1100	15,0	—	—
6	Kiefer	16 cm 15 bis 20 cm ²	1102	14,4	—	—
7	Fichte	8 cm 5 bis 6 cm ²	1090	16,65	20,0	1,20
8	Fichte	8 cm 40 bis 50 cm ²	1100	15,4	—	—
9	Fichte	16 cm 15 bis 20 cm ²	1100	14,5	—	—

ordentlich, und die gefundenen Heizwerte lagen infolge des meist großen CO₂-Gehaltes des Gases unter den bei Verwendung kleineren Holzes gefundenen Werten.

Die Temperatur des Holzgases im Gasabsaugeraum wurde mit einem mit Strahlungsschutz versehenen Thermolement gemessen, das in dem Stochloch *m*, (siehe Abb. 15) angebracht war. Die Auspufftemperaturen der 4 Zylinder des Motors wurden ebenfalls mit Thermolementen gemessen. Die Temperatur des Brenngases t_{Gas} wurde mit einem Quecksilberthermometer vor der Mischung mit der Verbrennungsluft bestimmt. Der Unterdruck h [mm WS] wurde kurz vor der Maschine ermittelt. Der Druckabfall in der Reinigungsanlage wurde zu rd. 50 mm WS festgestellt. Die Temperaturen des Kühlwassers wurden beim Austritt aus der Maschine t_A und beim Eintritt t_E in dieselbe gemessen. Die Zahlentafel 4 gibt den Temperaturverlauf in Mittelwerten für einen Versuch bei Vergasung von Buchenholz, 5 cm lang, Streichholzschachtelstärke, bei verschiedenen Drehzahlen wieder.

Zahlentafel 4

Abhängigkeit verschiedener Temperaturen und des Unterdruckes in der Ansaugleitung von der Motordrehzahl

Drehzahl $n=1/\text{min}$	t_{Gas} Absaugeraum	t_{Gas} vor dem Motor	Kühlwasser		t_{Auspuff}	h mm WS
			t_A	t_E		
1300	600	42,5	77,8	72,0	530	220
1200	600	39,5	78,0	72,5	515	195
1100	575	39,0	76,0	70,6	500	175
1000	575	36,0	77,3	71,8	487	160
900	460	39,5	79,5	73,8	460	125
800	427	40,0	79,5	73,3	452	100
700	410	39,0	79,0	73,0	440	100

Alle Temperaturen sind in °C angegeben.

Der Einfluß der Temperatur des Gases auf die Leistung des Motors ist nicht unerheblich; so wurde bei einer Gastemperatur $t_{\text{Gas}} = 40^\circ$ vor der Maschine die Leistung mit $N = 17,5$ PS gemessen, bei $t_{\text{Gas}} = 53^\circ\text{C}$ war N etwa 16,5 PS.

Die verwendete Holzart hat keinen merklichen Einfluß auf die beobachteten Temperaturen, dagegen steigt bei Vergasung von grobstückigem Holz die Gastemperatur im Absaugeraum des Generators (hoher CO_2 -Gehalt!).

Allgemeine Beobachtungen

Die Versuche haben gezeigt, daß der Gaserzeuger bei Verwendung von Holz vorgeschriebener Größe, 5 bis 8 cm lang, Streichholzschachtelstärke, betriebssicher arbeitet. Der Motor zeigt hierbei einen ruhigen, gleichmäßigen Gang. Die Anlaufzeit des Generators — d. h. die Zeit bis zur Gewinnung brennbaren Gases — ist bei Verarbeitung kleinen Holzes wesentlich kürzer als bei grobem Holz.

2. Holzgaserzeuger Nr. 42 der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft m. b. H., Oberbexbach/Saar Bauform und Betriebsanleitung

Der Gaserzeuger (Abb. 22 und 23) dient nach Angabe der Herstellerfirma zur Vergasung von Holz. Der Generator ist zum Einbau in Kraftfahrzeuge geeignet, da er eine gedrungene Bauform aufweist und

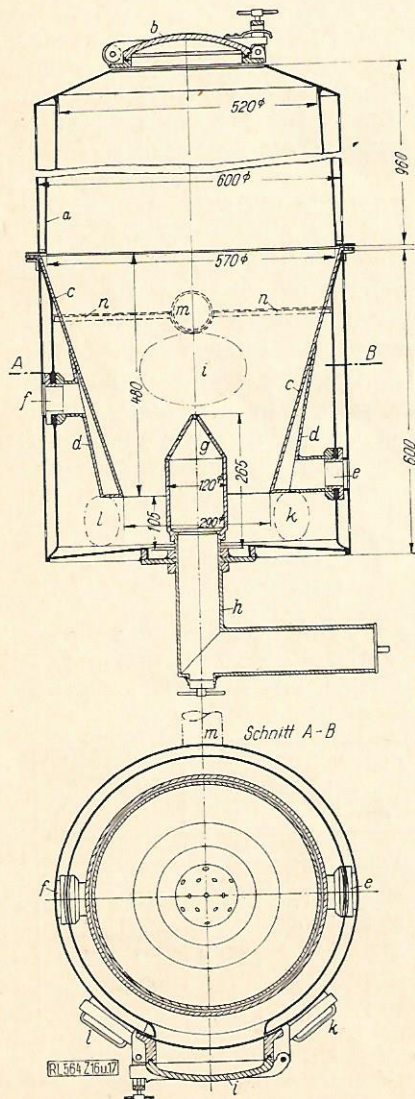


Abb. 22 und 23
Oberbexbacher
Holzgaserzeuger
Nr. 42

(oberes Teil verkürzt
dargestellt)

- a Füllschart
- b Verschlussdeckel
- c Feuerkorb
- d Mantel (am Feuerkorb angeschweißt)
- e Eintrittsstutzen für Kühlluft
- f Austrittsstutzen für Kühlluft
- g Luftdüse
- h Knierohr
- i Tür (gasdicht verschließbar)
- k, l Stochlöcher
- m Gasstutzen
- n Winkelring

aus Werkstoffen gefertigt ist, die gegen Stöße und Erschütterungen unempfindlich sind.

Der Füllschart *a* des Gaserzeugers erweitert sich nach unten hin, wodurch auch bei Verwendung sperrigen Holzes Brückenbildungen vermieden werden sollen. Der Deckel *b* ist gasdicht verschließbar und wird durch einen Bügel, dessen Druckschraube gegen eine entsprechend starke, am Deckel angebrachte Feder drückt, in der Verschlussstellung gehalten. Dieser Anordnung soll erreicht werden, daß der Deckel bei etwa auftretenden Verpuffungen nachgeben kann und als Sicherheitsventil wirkt. Der Feuerkorb *c* war bei dem gelieferten Versuchsgaserzeuger aus Flußstahlblech von Normalgüte hergestellt. An den Feuerkorb ist ein zweiter Mantel *d* angeschweißt. Der Zwischenraum in dem so gebildeter Doppelmantel steht durch zwei Stützen *e, f* unmittelbar mit der Außenluft in Verbindung. Die durch die unteren Stützen *e* eintretende Luft von Außen in den Generator streicht um den glühenden Feuerkorb, erwärmt sich dabei und tritt durch den oben angeordnete Stützen *f* wieder aus. Mit dieser Vorrichtung wird eine wirksame Kühlung des Feuerkorbes beabsichtigt.

Die zur Vergasung des Holzes nötige Luft tritt durch die Mitteldüse *g* in den Vergasungsraum ein. Eine Ringdüse ist nicht vorhanden. Ein besonderes Merkmal der Düse ist ihr verhältnismäßig großer Innendurchmesser. Infolge des großen Düsenquerschnittes ist die Luftgeschwindigkeit gering und die Vorwärmung der zugeführten Vergasungsluft geringlich. Die verwendete Düse wies an ihrem kegelförmigen Oberteil 13 Bohrungen von je 8 mm Dmr. auf. Die erforderliche Angleichung des Generators an die Motorstärke kann dadurch erfolgen, daß der Generator durch ein Knierohr *h* aufgeschraubte Düsenkörper ausgewechselt wird. Neben der Möglichkeit, die Düsenkörper verschiedener Abmessungen zu verwenden, ist die Düse zusammen mit dem Knierohr in der Höhe verstellbar; ihre Lage wird durch eine Gummimutter festgelegt. Das Gewicht des Gaserzeugers beträgt etwa 175 kg.

Der Gaserzeuger ist als rostlos zu bezeichnen. Bei der Vergasung entstehende Holzkohle gleitet an der Düse vorbei und bleibt auf dem Boden des Generators liegen. Durch eine gasdicht verschließbare Tür *i* wird außerdem in den Gasabsaugeraum des Generators stückige Holzkohle bis zur Höhe des unteren Randes eingebracht. Die Holzkohle muß von Zeit zu Zeit durch die beiden Stochlöcher *k, l* aufgeflockt werden. Der Kohlenstaub und die anfallende Asche können ebenfalls durch diese Öffnungen abgeblasen werden. Um dem Motor, der das Gas durch die Stützen *m* absaugt, dasselbe möglichst aus dem ganzen Querschnitt des Reduktionsraumes abzusaugen, ist auf der Seite des Gasabzuges ein Winkelring *n* so an die Außenwand des Generators geschweißt, daß der freie Querschnitt mit dem Abstand vom Gasabsauger immer größer wird.

Die Reinigungsanlage bestand aus sechs zylindrischen Reinigern, die im vorliegenden Falle für die Versuche im Laboratorium in einem Blechgehäuse einer Einheit zusammengefaßt waren. Die Kühlung erfolgte als Durchflußkühlung. Die ersten vier

ger waren ähnlich dem in Abb. 18 dargestellten gebaut. Ihre Baulänge ist 1,10 m; der Einsatz besteht aus 30 Prallblechen, die in je 30 mm Abstand angeordnet sind. Die letzten beiden Reiniger enthalten je eine Bürste. Die ganze Reinigungsanlage wiegt etwa 100 kg. Das in den Reinigern sich sammelnde Kondenswasser wurde durch Rohre in den letzten Reiniger geleitet und konnte durch einen Hahn abgelassen werden.

Zum Anblasen des Generators dient ein Ventilator. Bei erstmaliger Inbetriebnahme des Generators und nach jeder vollständigen Reinigung ist der Feuerkorb mit Holzkohle bis über die Düsenhöhe aufzufüllen, desgleichen ist die Holzkohle im Gasabsaugeraum durch die Öffnung *i* zu ergänzen.

Motorleistung und Holzverbrauch

Zu Beginn der Untersuchungen wurde der Gaserzeuger durch Wahl der entsprechenden Düsengröße und Einstellung der Düsenhöhe von einem Beauftragten der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft m. b. H. der Motorstärke angepaßt. Mit dieser Einstellung wurden Versuchsreihen mit Einzelversuchen von durchschnittlich einstündiger Dauer und Holz verschiedener Art und Stückgröße durchgeführt, deren Ergebnisse in Abb. 24 enthalten sind. Sämtliche Versuche wurden bei unveränderter Düsenstellung durchgeführt; der Gaserzeuger lieferte in allen Fällen teerfreies Gas und arbeitete störungsfrei.

Die Versuchsreihen konnten jedoch nicht, wie vorgesehen, zu Ende geführt werden, da während eines Versuches der Feuerkorb durchbrannte. Dieser war zur Erprobung seiner Form in dem zu den Untersuchungen zur Verfügung gestellten Gaserzeuger, wie oben gesagt, aus Flußstahlblech von Normalgüte gefertigt. Die Herstellerin will nach endgültiger Festlegung der Form den Feuerkorb aus feuer- und hitzebeständigem Werkstoff fertigen.

Abb. 24 zeigt, daß mit Buchenholz eine höhere Motorleistung erzielt wurde als mit Fichten- und Kiefernholz, mit Fichtenholz aber eine höhere als mit Kiefernholz. Der Unterschied in den Motorleistungen bei den Weichhölzern ist jedoch nicht so groß wie zwischen Hart- und Weichholz. Soweit die vorliegenden Versuchsergebnisse erkennen lassen, scheinen die bei den Versuchen verwendeten Stückgrößen des Holzes keinen erheblichen Einfluß auf die Motorleistung zu haben. Der Lauf des Motors war allerdings bei Fichtenholz von 16 cm Stücklänge bei höheren Drehzahlen ($n=1200$ und $1300/\text{min}$) nicht mehr so gleichmäßig wie bei 8 cm langem Holz und gleichen Drehzahlen. Bei diesen Drehzahlen vollzieht sich infolge der erhöhten Saugwirkung des Motors die Vergasung des in der Feuerzone befindlichen Holzes in kürzerer Zeit, und das Holz muß schneller nachfallen. Das sperrige, 16 cm lange Holz bildet dabei leichter Brücken und Hohlräume als 8 cm langes. Mit der Bildung von Brücken und Hohlräumen und ihrer Zerstörung wechselt aber die Gaszusammensetzung stark, infolgedessen wird der Lauf des Motors ungleichmäßig.

Der Holzverbrauch ist bei Buchenholz (20 bis 23 % Wassergehalt) größer als bei Fichtenholz (15 bis 17 % Wassergehalt). Der Mehrverbrauch bei Buchenholz von 8 cm Stücklänge und 20 bis 25 cm² gegenüber

solchem von 40 bis 60 cm² Querschnitt dürfte darauf zurückzuführen sein, daß das gröbere Holz eine bessere Gasausbeute ergeben hat. Im untersuchten Drehzahlbereich ist der stündliche Verbrauch verhältnismäßig zur Drehzahl; der spezifische Verbrauch steigt mit der Drehzahl nur schwach an und liegt zwischen 1,2 und 1,4 kg/PSh.

Ein Vergleich der Holzgas- und Benzolleistungen zeigt, daß der Leistungsabfall in % der Benzolleistung (Abb. 25) mit steigender Drehzahl abnimmt und im günstigsten Falle bei Buchenholz bei

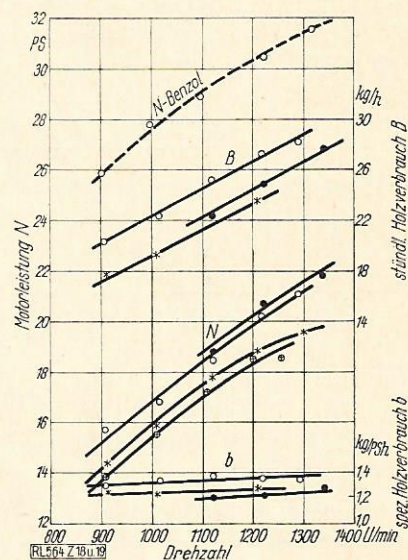


Abb. 24
Motorleistung und Holzverbrauch bei Holzgasbetrieb

- Kiefer 8cm 40-60cm²
- *— Fichte 16 " 15-20 "
- +— Buche-Fichte-Gemisch 8cm 20-25cm²
- " 8cm 20-25cm²
- " 8 " 40-60 "
- " 16 " 15-20 "

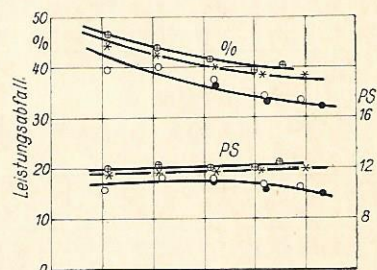


Abb. 25
Leistungsabfall bei Holzgasbetrieb

$n=1300/\text{min}$ etwa 32,5 % beträgt; bei $n=1100/\text{min}$ sind etwa 36,5 % und bei $n=900/\text{min}$ sogar etwa 43 % Abfall festzustellen. Der Leistungsabfall bei Weichholz ist entsprechend den erzielten geringeren Motorleistungen höher.

Während obiger Versuche wurde der Gaserzeuger dauernd gerüttelt. Es wurde aber festgestellt, daß der Generator bei Normaldrehzahl des Motors und Holz von 8 cm Stücklänge und 20 bis 25 cm² bzw. 40 bis 60 cm² Querschnitt auch ohne Rütteln über mehrere Stunden gleichmäßiges Gas lieferte. Die Motorleistung betrug bei einer Mischung von gleichen Raumteilen Buchen- und Fichtenholz obiger Stückgröße bei $n=1100/\text{min}$ $N=17,6$ PS. Selbst bei einer Mischung von Buchen-, Fichten- und Kiefernholz von 16 cm Stücklänge gab der Gaserzeuger ohne Rütteln bei Normaldrehzahl noch ziemlich gleichmäßiges Gas,

mit dem der Motor störungsfrei lief; die Motorleistung betrug bei $n = 1100/\text{min}$ $N = 17,1$ PS.

Zur Erzielung der obigen Höchstdauerleistungen mußte der Zündpunkt auf 18 mm ($36,5^\circ$) vor den oberen Totpunkt gelegt werden.

Gaszusammensetzung und Heizwert, Temperatur- und Druckverhältnisse

Die Gasentnahme zur technischen Gasanalyse erfolgte hinter der Reinigungsanlage, vor der Mischung mit der zur Verbrennung nötigen Luft.

Bei der Vergasung von lufttrockenem (etwa 20 % Wassergehalt) Buchenholz von 8 cm Länge und 20 bis 25 cm² Querschnitt ergaben sich folgende Analysen (luftfrei):

Eine Gegenüberstellung mittlerer Werte der Gaszusammensetzung und der damit erzielten Motorleistung bei Vergasung verschiedener Holzarten etwa gleicher Stückgröße bringt die Zahlentafel 6.

Diese Gasanalysen bestätigen die Leistungsmessung und lassen die Abhängigkeit der Leistung von dem erzielbaren Gemischheizwert erkennen.

Die Temperatur t_1 °C des Gases wurde mit einem Thermoelement an der Stelle bestimmt, an der das Gas den Gasabsaugeraum des Generators verläßt. Die Temperatur t_2 °C des Gases wurde nach seiner Abkühlung in den Reinigern gemessen. Der Unterdruck h in mmWS wurde kurz vor der Maschine vor Mischung des Gases mit der Verbrennungsluft

Zahlentafel 5 Gas- und Abgasanalysen, Heizwerte

Drehzahl n 1/min	Gasanalyse						Unterer Heizwert kcal/m ³	Abgasanalysen		Gemisch- heizwert kcal/m ³
	CO %	H ₂ %	CH ₄ %	C _n H _{2n} %	CO ₂ %	N ₂ %		CO ₂ %	O ₂ %	
1300	19,5	10,0	6,1	—	11,8	52,6	1400	—	—	—
1200	16,9	11,2	6,8	—	11,5	54,6	1392	19,8	0,8	585
1100	14,2	13,7	5,0	0,3	13,6	53,2	1250	19,1	0,4	568
1000	19,1	13,7	4,7	—	14,8	47,7	1330	19,1	0,6	588
900	13,3	10,6	6,3	0,3	13,9	55,6	1260	17,9	1,6	533

Zahlentafel 6 Gasanalysen bei Vergasung verschiedener Holzarten

	Gasanalyse						Unterer Heizwert H_u kcal/m ³	Luftüber- schußzahl	Gemisch- heizwert kcal/m ³	Erzielte Leistung N PS
	CO %	H ₂ %	CH ₄ %	C _n H _{2n} %	CO ₂ %	N ₂ %				
Buche	16,5	12,0	5,7	0,1	13,0	52,7	1315	1,05	578	18,5
Fichte	15,4	10,5	5,4	—	11,1	57,6	1200	1,08	540	17,8
Kiefer	14,8	10,4	7,2	—	12,0	55,6	1334	1,08	555	17,2

Zahlentafel 7

Versuche mit Buchenholz 8 cm, 20 bis 25 cm²

n [1/min]	t_1 [°C]	t_2 [°C]	h [mm WS]
1300	328	22,5	349
1200	323	22,5	297
1100	315	21,5	235
1000	312	18,5	195
900	306	17,0	174

Zahlentafel 8

Versuche mit Fichtenholz 16 cm, 15 bis 20 cm²

n [1/min]	t_1 [°C]	t_2 [°C]	h [mm WS]
1300	360	19,0	420
1200	340	20,0	305
1100	353	19,5	273
1000	345	17,5	193
900	377	15,0	173

Die Gasanalysen weisen durchweg einen hohen Methangehalt (CH₄) auf.

bestimmt. Die beobachteten Temperaturen und Unterdrücke sind in den Zahlentafeln 7 und 8 zusammengestellt.

Die Temperaturen des Gases beim Verlassen des Gaserzeugers liegen bei den Weichhölzern, besonders bei sperrigem Holz, höher als bei den Harthölzern. Diese Feststellung erklärt sich mit dem meist geringen Wassergehalt des Weichholzes. Der gemessene Unterdruck ist bei den entsprechenden Drehzahlen des Motors bei Verwendung von Fichten- und Kiefernholz größer als bei Vergasung von Buchenholz, da die aus Weichholz sich bildende Holzkohle leichter zerfällt und infolgedessen dem Gas größeren Widerstand bietet.

3. Holzgaserezeuger 150/550 Nr. 115/49 der Imbert-Gas-Generatoren G. m. b. H., Berlin

Bauform und Betriebsanleitung

Der in Abb. 26 und 27 dargestellte Imbert-Holzgasgenerator dient zur Vergasung von lufttrockenem Holz, das nach Angabe der Herstellerin zweckmäßig in Stücke (Scheite) von 6 bis 8 cm Länge zerkleinert werden soll. Der Generator ist dadurch gekennzeichnet, daß jegliche Schamotteausmauerung fehlt.

Es lassen sich zwei Hauptteile unterscheiden: das doppelwandige Oberteil und das Unterteil mit dem Herd und dem Außenmantel.

Das Oberteil *a* trägt den gasdichten Schraubverschlußdeckel *b*, in den das Sicherheitsventil *c* eingebaut ist. Der innere Mantel *d*, der aus dünnem Flußstahlblech gefertigt ist, weist an seinem Umfang gegeneinander versetzt angeordnete Öffnungen *e* auf, die nasenförmig aus dem Blech herausgedrückt sind

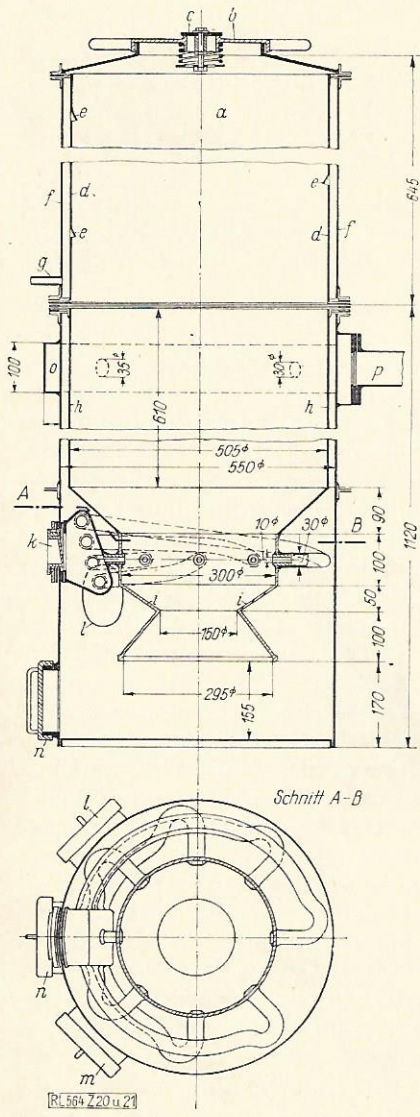


Abb. 26 und 27
Imbert-Holzgas-
erzeuger 150/550
(oberes Teil verkürzt
dargestellt)

- a Oberteil
- b Schraubverschluß-
deckel
- c Sicherheitsventil
- d innerer Mantel
- e Öffnungen zum Aus-
tritt von Dämpfen
- f äußerer Mantel
- g Rohr als Abfluß der
kondensierten
Dämpfe
- h innerer Mantel des
Unterteils
- i Herd
- k Öffnung zum Ein-
tritt der Ver-
gasungsluft
- l, m Stochlöcher
- n Öffnung zum Ent-
fernen der Asche
- o Ringkanal
- p Gasabsaugestutzen

und in den Holzvorratsraum hineinragen. Durch die Öffnungen sollen die in der Entgasungszone aus dem Holz entweichenden Dämpfe (Wasser-, Essigsäure- und Teerdämpfe) in den mit dem äußeren Mantel *f* gebildeten Hohlraum entweichen, wo sie an dem durch die Außenluft gekühlten Mantel *f* kondensieren und durch ein U-förmig gebogenes Rohr *g* bei Stillstand des Motors — beim Lauf desselben herrscht Unterdruck — abfließen.

An den inneren Mantel *h* des Unterteils, der zur Aufnahme des Holzes bestimmt ist, ist unten ein „Diabolo“-förmiger Herd *i* aus „hochfeuer- und zunderbeständigem“ Spezialguß geschweißt. Die zur Vergasung nötige Luft wird der Feuerzone (dem Herd) durch eine mit einer Rückschlagklappe ver-

sehene Öffnung *k* zugeführt. Von dieser aus werden 8 Düsen von je 10 mm l. W., die in gleichen Abständen am Umfang verteilt und in den gegossenen Herd eingeschweißt sind, gespeist. Die Rohre, welche den Düsen die Luft zuführen, sind, wie Abb. 27 zeigt, gekrümmt. Diese Formgebung bezweckt, Risse an den Schweißstellen infolge der auftretenden Wärmespannungen zu vermeiden. Außer dieser Ringdüse hat der beschriebene Generator keine weitere Luftzuführung.

Die in der Vergasungszone sich bildende Holzkohle gleitet nach unten; ein besonderer Rost ist nicht vorhanden. Durch die mit Schraubverschlüssen versehenen Stochlöcher *l* und *m* wird kleinstückige Holzkohle bis zum unteren Rand der Öffnungen eingefüllt. Die Auflockerung der Holzkohle erfolgt durch die Stochlöcher *l, m*; die Asche kann durch die Öffnung *n* entfernt werden. Das aus dem Herd entweichende Gas wird durch den vom äußeren und inneren Mantel gebildeten Hohlraum vom Motor abgesogen und gibt dabei einen Teil seiner fühlbaren Wärme an die nachgleitende Holzfüllung ab. Um die Gasbewegung über den ganzen Ringquerschnitt möglichst gleichmäßig zu gestalten, ist ein weiterer Ringkanal *o* an den äußeren Mantel geschweißt. Der Kanal steht mit dem Gasabsaugeraum durch Löcher in Verbindung, deren Durchmesser mit der Entfernung vom Gasabsaugestutzen *p* größer wird. Durch den letzteren gelangt das Gas in die Reinigungsanlage. Diese bestand aus fünf zylindrischen Reinigern (vgl. Abb. 18), die je 1450 mm lang und mit 20 Prallblechen in Abständen von 60 mm ausgerüstet sind.

Vor der ersten Inbetriebnahme und nach jeder Reinigung ist der Generator, wie oben angegeben, mit Holzkohle zu füllen. Die Holzkohle im Gasabsaugeraum ist durch die Stochlöcher *l, m* zu ergänzen. Das Anzünden erfolgt durch die Öffnung *k*. Die Inbetriebnahme und sonstige Wartung des Gaserzeugers und seiner dazugehörigen Anlagen geschieht in der oben beschriebenen Weise.

Das Gewicht des Generators beträgt etwa 140 kg, das eines Reinigers 23,5 kg.

Motorleistung und Holzverbrauch

Für die Versuche stand zunächst ein Gaserzeuger mit Luftzuführung nach Abb. 28 und 29 zur Verfügung. Die Untersuchung desselben mußte nach einigen Tagen abgebrochen werden, da er Gas mit verhältnismäßig hohem CO₂-Gehalt lieferte. Eine nähere Untersuchung zeigte, daß zwei Düsen an den Schweißstellen *a* (Abb. 29) Risse hatten, durch die Luft in den Gasabsaugeraum eintreten konnte. Es ist anzunehmen, daß an dieser Stelle bereits ein Teil des CO verbrannte.

Die Imbert-Gas-Generatoren G. m. b. H. lieferte daraufhin einen Einsatz mit Luftzuführung nach Abb. 26 und 27. Der Gaserzeuger wurde dann mit diesem Einsatz in gegenwart eines Beauftragten der Lieferfirma in betriebsfertigen Zustand gebracht und auf den Prüfstand genommen.

Es wurden mit Holz verschiedener Art und Stückgröße Versuchsreihen mit durchschnittlich einstündigen Einzelversuchen durchgeführt, deren Ergeb-

nisse in Abb. 30 enthalten sind. Die in der Abb. 30 gewählten Symbole entsprechen den in Abb. 24 näher bezeichneten Holzsorten. Der Gaserzeuger lieferte bei allen Stückgrößen teerfreies Gas, während sämtlicher Versuche wurde er dauernd gerüttelt.

Aus Abb. 31 ist zu ersehen, daß bei Weichholz eine geringere Motorleistung als bei Buchenholz und bei Kiefernholz eine etwas geringere als bei Fichtenholz

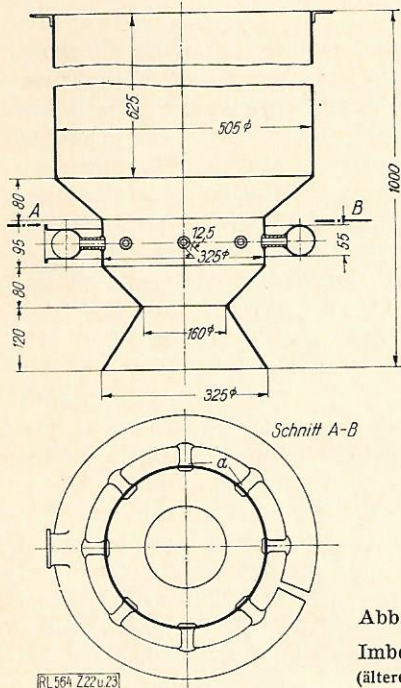


Abb. 28 und 29
Imbert-Herdeinsatz
(ältere Bauform)

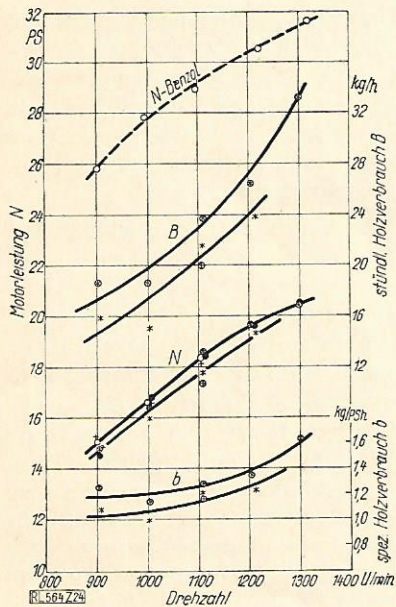


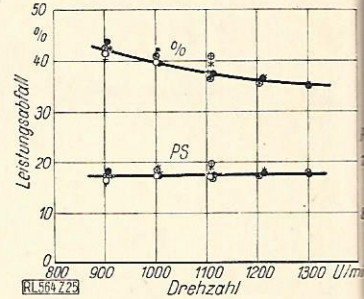
Abb. 30
Motorleistung und
Holzverbrauch bei
Holzgasbetrieb

erzielt wurde. Die Versuche haben ferner ergeben, daß die Motorleistung praktisch unabhängig von der bei den Versuchen verwendeten Stückgröße des Holzes ist, und daß mit einer Mischung gleicher Raumteile Buchen- und Fichtenholz von 8 cm Stücklänge und 20 bis 25 cm² Querschnitt praktisch die gleichen Leistungen erzielt wurden wie mit reinem Buchenholz. Die Verwendung reinen Buchenholzes hat jedoch gegenüber dem gemischten Holz den Vor-

teil, daß mit einer Generatorfüllung von ersterem länger gefahren werden kann.

Der stündliche Holzverbrauch ist wiederum bei Buchenholz (20 bis 23 % Wassergehalt) größer als bei Fichtenholz (15 bis 17 % Wassergehalt) und steigt mit der Drehzahl stärker als proportional an. Der spez. Verbrauch beträgt bei Normaldrehzahl etwa 1,1 bis 1,3 kg/PS h.

Abb. 31
Leistungsabfall bei
Holzgasbetrieb



Bei Buchen- und Fichtenholz von 16 cm Länge und 15 bis 20 cm² Querschnitt sowie bei Kiefern- und Buchenholz von 8 cm Länge und 40 bis 60 cm² Querschnitt lieferte der Gaserzeuger bei niedrigen Drehzahlen ($n=900/\text{min}$ bis $n=1100/\text{min}$) gleichmäßige Gas und arbeitete störungsfrei. Bei $n=1200/\text{min}$ und $1300/\text{min}$ traten vereinzelt starke Verpuffungen des Gas-Luftgemisches in der Ansaugleitung auf, die zu starken Schwankungen der Motorleistung zur Folge hatten. Bei Buchenholz und einer Mischung von diesem und Fichtenholz von 8 cm Länge und 20 bis 25 cm² Querschnitt traten bei höheren Drehzahlen die Verpuffungen so oft und heftig auf, daß eine Leistungsmessung nicht möglich war. Die Anzahl der in der Zeiteinheit festgestellten Verpuffungen nahm mit fallender Drehzahl ab. Bei der letzten Holzgröße wurde es von der Normaldrehzahl ab wieder möglich, die Leistungsbestimmungen durchzuführen, obwohl auch bei dieser Drehzahl noch Verpuffungen, einzeln und serienweise, zu verzeichnen waren. Bei $n=900/\text{min}$ traten diese nur mehr vereinzelt auf. Diese Explosionen wirken sich dahin aus, daß je nach ihrer Heftigkeit und Aufeinanderfolge die minutliche Motordrehzahl für kurze Zeit um 100 bis 200 (bei Serien um noch mehr) Umdrehungen fällt und dann wieder steigt. Die Verpuffungen dürften darauf zurückzuführen sein, daß die Verbrennung im Zylinder noch nicht beendet ist, wenn das Einlaßventil wieder öffnet („schleichende Verbrennung“) und so die Möglichkeit gegeben ist, das Gas-Luftgemisch im Ansaugstutzen zu entzünden. Die Verpuffungen traten nur auf bei Einstellung der Zündung und des Gas-Luftgemisches auf Höchstleistung; sie können unterbunden werden durch weitere Vorverlegung des Zündpunktes oder Drosselung der Luftzufuhr. Infolge dieser Maßnahmen fällt allerdings die Motorleistung ab. Bei $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ Last wurden Verpuffungen nicht mehr festgestellt.

Ein Vergleich der Holzgas- und Benzolleistung zeigt, daß der Leistungsabfall in % der Benzolleistung (Abb. 31) mit steigender Drehzahl abnimmt und bei Buchenholz bei $n=1300/\text{min}$ etwa 35 % beträgt, während bei $n=1100/\text{min}$ etwa 37,5 % und bei $n=900/\text{min}$ etwa 42,5 % Abfall festzustellen sind. Bei Weichholz liegt der Leistungsabfall en-

sprechend den erzielten geringeren Leistungen etwas höher.

Zur Erzielung der obigen Höchstdauerleistung mußte der Zündpunkt auf 18 mm (36,5°) vor den oberen Totpunkt gelegt werden.

Gaszusammensetzung und Heizwert, Temperatur- und Druckverhältnisse

Die Entnahme des Gases zur technischen Gasanalyse erfolgte nach der Reinigung und Abkühlung des Gases vor der Mischung mit der zur Verbrennung im Motor nötigen Luft.

Bei der Vergasung von lufttrockenem Buchenholz von 8 cm Länge und 50 cm² Querschnitt ergaben sich bei verschiedenen Drehzahlen folgende Gasanalysen (vgl. Zahlentafel 9).

Zahlentafel 9 Gas- und Abgasanalysen, Heizwerte

Drehzahl	Gasanalyse						Unterer Heizwert	Abgasanalyse		Gemischheizwert
	<i>n</i> l/min	CO %	H ₂ %	CH ₄ %	C _n H _{2n} %	CO ₂ %	N ₂ %	H _u kcal/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
1200	16,1	14,2	4,0	—	12,7	53,0	1200	18,6	0,3	568
1100	17,1	14,8	3,3	0,2	12,5	52,1	1215	18,9	0,3	578
1000	22,5	14,2	2,5	—	9,9	50,9	1267	19,2	0,5	593
900	17,9	16,5	3,1	0,2	11,6	50,7	1240	18,1	0,6	570

Die Analysen weisen durchweg einen hohen H₂-Gehalt auf, eine Tatsache, die auch bei Vergasung anderer Holzarten, und zwar ungeachtet der Stückgröße, beobachtet werden konnte.

Die Temperatur *t*₁ °C des Gases beim Verlassen des Gaserzeugers wurde durch ein Thermoelement am Gasabsaugestutzen bestimmt. Die Zahlentafel 10 gibt Aufschluß über die bei Vergasung verschiedener Holzarten wechselnder Größe im untersuchten Drehzahlbereich des Motors gemessenen Werte.

Zahlentafel 10

Gastemperaturen in °C im Absaugestutzen

Drehzahl des Motors [1/min]	1300	1200	1100	1000	900
Buche 8 cm, 20 cm ² . . .	—	—	148	136	127
Buche 8 cm, 50 cm ² . . .	—	213	193	148	129
Buche 16 cm, 15 bis 20 cm ²	199	202	184	157	146
Fichte 16 cm, 15 bis 20 cm ²	198	210	180	185	169
Fichte-Buche 8 cm, 20 cm ²	182	—	151	145	131

Die Temperatur *t*₂ °C des Gases nach der Reinigungsanlage vor der Mischung mit der Verbrennungsluft wurde bei allen Versuchen durch Regelung der Wasserkühlung konstant gehalten, sie war etwa 20 °C. Der am Gaserzeuger bei Normaldrehzahl des Motors herrschende Unterdruck betrug im Mittel *h* = 150 mm WS.

Der Leistungsabfall und die Möglichkeiten seiner Bekämpfung

Die Versuche am Hanomag-Motor haben erkennen lassen, daß es möglich ist, Verbrennungsmotoren, die für den Betrieb mit flüssigen Brennstoffen ge-

baut sind, mit einem durch Vergasung von Holz verschiedener Arten und Stückgrößen gewonnenen Gas betriebsicher zu betreiben, sofern die Gaserzeuger richtig eingestellt und sorgsam gewartet werden.

Aus diesen Versuchen folgte als wichtigstes Ergebnis, daß die Leistung eines mit Holzgas betriebenen Motors gegenüber der Benzinleistung desselben Motors rd. 40 % geringer ist. Die nächste Aufgabe bestand deshalb in der Ermittlung der Ursachen dieses Leistungsabfalles und der Erprobung von Möglichkeiten zu seiner Beseitigung.

In Zahlentafel 11 sind die wesentlichsten der für die Leistungsabgabe eines Verbrennungsmotors maßgebenden Größen für die beiden Kraftstoffe Benzol und Holzgas einander gegenübergestellt.

Zahlentafel 11

Gegenüberstellung wichtiger Kenngrößen für Benzol und Holzgas

	Benzol	Holzgas
Heizwert <i>H</i> _u (0° 760 mm Hg)	9590 [kcal/kg]	1290 [kcal/m ³]
Gemischheizwert <i>H</i> _{Gem} (0° 760 mm Hg) . . .	835 [kcal/m ³]	600 [kcal/m ³]
Luftüberschußzahl λ . . .	1,0	1,08
Liefergrad des Motors η _L (angenommen)	0,85	0,85
Barometerstand	715 [mm Hg]	715 [mm Hg]
Lufttemperatur	20 [°C]	20 [°C]
Druck	- 35 [mm Hg]	- 20 [mm Hg]
Temperatur	+ 8 [°C]	+ 25 [°C]

Unter Berücksichtigung dieser Werte ergibt sich der Gemischheizwert, bezogen auf die Ansaugverhältnisse des Benzol-Luftgemisches zu rd. 625 kcal/m³ und des Holzgas-Luftgemisches zu rd. 477 kcal/m³.

Der Vergleich der zugeführten Energien läßt bei Holzgasbetrieb folglich eine Leistungsinderung um rd. 23,7 % erwarten. Da aber die Versuche innerhalb des untersuchten Drehzahlbereiches einen Leistungsabfall von rd. 40 % ergaben, ist anzunehmen, daß noch andere Gründe dafür vorhanden sein müssen.

Die Zahlentafel 12 gibt einen Überblick über den thermischen Wirkungsgrad des angenäherten Kreisprozesses für verschiedene Exponenten *m* in Abhängigkeit des Verdichtungsverhältnisses ε, gemäß der Formel:

$$\eta_{th} = 1 - \epsilon^{m-1}$$

Es kann angenommen werden, daß der Exponent *m* für Benzol-Luftgemisch *m*_B rd. 1,4 und der für Holzgas-Luftgemisch *m*_H rd. 1,3 beträgt. Der

Zahlentafel 12

Thermischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit von ϵ und m

	$m = 1,4$	1,3
$\epsilon = 4:1$	0,426	0,341
$\epsilon = 5:1$	0,475	0,383
$\epsilon = 7:1$	0,541	0,442
$\epsilon = 9:1$	0,585	0,483

Wirkungsgrad bei der Verbrennung des Holzgas-Luftgemisches ist also um $\left(\frac{0,475 - 0,383}{0,475} \cdot 100\right) = 19,3\%$ schlechter als der bei der Verbrennung des Benzol-Luftgemisches. Faßt man diese beiden Feststellungen zusammen, so ergibt sich für den Holzgasbetrieb eine Minderleistung von 38,5 %, ein Ergebnis, das den bei den Versuchen ermittelten Werten sehr nahe kommt.

Die Möglichkeiten zur Erhöhung der Motorleistung sind:

1. Zusatz von flüssigem Brennstoff,
2. Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades durch Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses,
3. Aufladung des Motors mit Hilfe eines Verdichters.

Besonders die unter 2. und 3. aufgeführten Möglichkeiten sind infolge der hohen Klopffestigkeit des Holzgas-Luftgemisches von praktischer Bedeutung.

Einem Wunsche der Praxis entsprechend wurde aber auch die Möglichkeit des Zusatzes von flüssigem Brennstoff untersucht. Die Ergebnisse der am Hanomag-Motor durchgeführten Versuche sind in Zahlentafel 13 zusammengefaßt.

Zahlentafel 13

Versuche mit Holzgas und Benzolzusatz

Holzart	Stückgröße	Motor-		Holzverbrauch		Benzolverbrauch	
		Drehzahl 1/min	Leistung PS	stündl. kg/h	spez. kg/PSh	stündl. g/h	spez. g/PSh
Buche	5 cm	1088	21	18,5	0,88	2820	134,3
	5 bis 6 cm ²						
Kiefer	5 cm	1100	21,4	14,7	0,69	3057	142,8
	5 bis 6 cm ²						
Fichte	5 cm	1086	21,3	16,5	0,78	3045	143,0
	5 bis 6 cm ²						

Bei diesen Versuchen war sowohl die Drosselklappe des Benzolvergasers als auch diejenige zur Regelung der Holzgaszufuhr voll geöffnet. Diese Versuche zeigen, daß der Motor trotz einer verhältnismäßig großen Zusatzmenge Benzol gegenüber reinem Holzgasbetrieb (vgl. S. 13) nur 3 bis 4 PS mehr geleistet hat.

Bezieht man den Benzolverbrauch auf die erzielte Mehrleistung, so ergibt sich ein spez. Verbrauch von rd. 800 g/PSh. Aus diesen Versuchen geht klar hervor, daß diese Art der Leistungssteigerung, und sei es nur zur Überwindung kurzzeitiger Belastungsstöße, unwirtschaftlich ist.

C. Versuche an einem Kämper-Motor

Die folgenden Versuche sind mit einem Motor der Motorenfabrik Heinrich Kämper in Berlin-Marienfelde durchgeführt worden, der durch folgende Angaben gekennzeichnet ist:

Zylinderzahl 4
Arbeitsverfahren 4-Takt
Bohrung $d = 110$ mm
Hub $s = 160$ mm
Verdichtungsverhältnis $\epsilon = 5,17:1$
Normaldrehzahl $n = 1100$ /min

Steuerungsverhältnisse:
Auslaßventil öffnet 19 mm v. unt. Totpunkt
" schließt 1 mm nach ob. Totpunkt
Einlaßventil öffnet im oberen Totpunkt
" schließt 12 mm nach unt. Totpunkt.

Leistung und Verbrauch des Motors bei Vollast und verschiedenen Drehzahlen bei Betrieb mit Benzol sind in Abb. 32 enthalten.

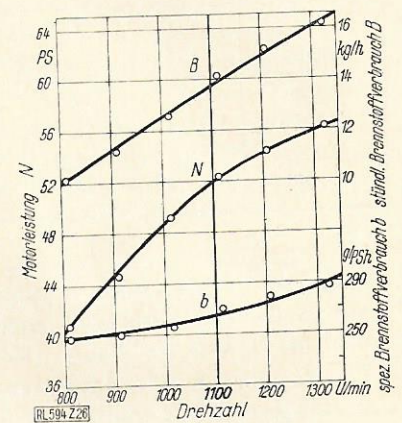


Abb. 32 Leistung, Brennstoffverbrauch des Kämper-Motors mit Benzol bei Vollast und verschiedenen Drehzahlen

Für die Wahl der Motorgröße war entscheidend, daß die Versuche mit einem Motor durchgeführt werden sollten, dessen Leistung und Normaldrehzahl etwa denen gebräuchlicher Schlepper- und Lastkraftwagenmotoren entsprechen.

1. Versuche zur Leistungssteigerung durch Erhöhen der Verdichtung

Versuche am Kämper-Motor bei normaler Verdichtung ($\epsilon = 5,17:1$) zeigten, daß bei Betrieb des Motors mit Holzgas aus lufttrockenem Holz die Größe des Leistungsabfalles der bei früheren Versuchen an einem Hanomag-Motor ermittelten entsprach. Zur Untersuchung des Einflusses höherer Verdichtung auf die Motorleistung wurden zunächst die normalen Kolben gegen erhöhte, die ein Verdichtungsverhältnis $\epsilon = 8,89:1$ ergaben, ausgetauscht. Mit zwischen Kurbelwanne und Zylinderblock eingelegten Blechen — der Kämper-Motor läßt dies zu, da er dreiteilig gebaut ist — wurde dann das Verdichtungsverhältnis auf $\epsilon = 6,89:1$ erniedrigt. Mit den Verdichtungsverhältnissen $\epsilon = 5,17:1$; $\epsilon = 6,89:1$ und $\epsilon = 8,89:1$ wurden dann jeweils mit einem Gaserzeuger der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft und der Imberger Gasgeneratoren-Gesellschaft Versuchsreihen mit $\frac{3}{4}$ stündigen Einzelversuchen durchgeführt; lediglich bei $n = 1400$ min betrug die Versuchsdauer 15 min. Vergast wurde Buchenholz von 8 cm Stücklänge und etwa 30 cm² Querschnitt, der Wassergehalt betrug

etwa 17%. Bei der Versuchsreihe mit dem Imbert-Gaserzeuger und $\epsilon = 6,89:1$ wurde Holz mit etwa 25% Wassergehalt vergast, die Motorleistung liegt daher etwas niedriger als nach den Versuchen bei $\epsilon = 5,17:1$ und $\epsilon = 8,89:1$ zu erwarten wäre.

Die Deutsche Holzvergaser-Gesellschaft hatte für diese Versuche einen Gaserzeuger mit einem Feuerkorb aus feuer- und hitzebeständigem Material zur Verfügung gestellt. Das in Abb. 33 dargestellte Unterteil des Gaserzeugers weist gegenüber dem früher

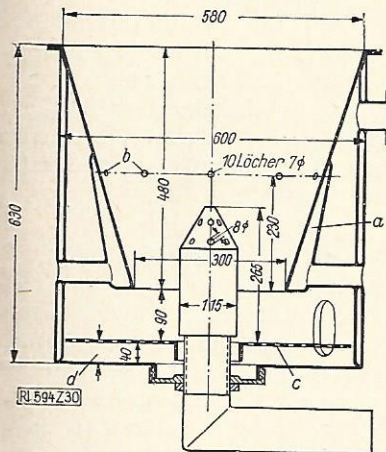


Abb. 33
Unterteil des Gaserzeugers der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft

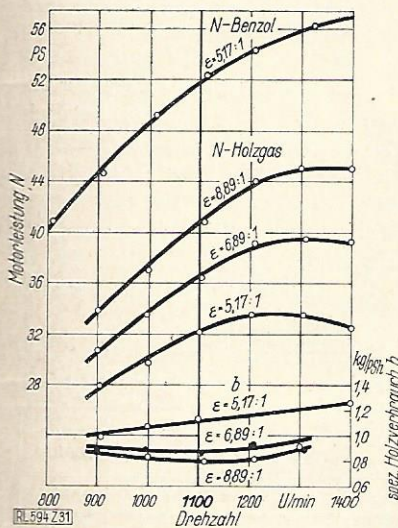


Abb. 34
Motorleistung und spez. Holzverbrauch bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen und Drehzahlen
Deutsche Holzvergaser-Gesellschaft

beschriebenen eine Änderung in der Luftzufuhr auf. Neben einer Mitteldüse mit 13 Bohrungen von 8 mm Durchmesser bilden 10 in den Kühlmantel *a* gebohrte Löcher *b* mit je 7 mm Durchmesser eine Ringdüse. Der Gaserzeuger hat auch mit dieser zusätzlichen Ringdüse teerfreies Gas geliefert und störungsfrei gearbeitet. Außerdem ist unterhalb des Feuerkorbes ein Rüttelsieb *c* angebracht worden, das aber nur nach Öffnung eines Entschungsloches bewegt werden kann; der Abstand *d* des Siebes vom Generatorboden erwies sich jedoch als zu klein, die Asche konnte nur sehr schwer und nur z. T. durch die vorhandenen Öffnungen entfernt werden. Auch scheint es zweckmäßig zu sein, eine Vorrichtung anzubringen, die gestattet, während des Betriebes das Rüttelsieb zu betätigen.

Die Ergebnisse der obigen Versuchsreihen sind in den Abb. 34 bis 38 enthalten. In Abb. 34 und 36 ist

Abb. 35
Leistungsabfall bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen und Drehzahlen
Deutsche Holzvergaser-Gesellschaft

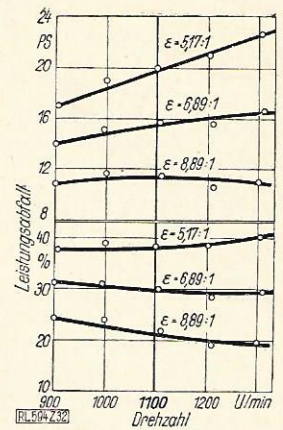


Abb. 36
Motorleistung u. spez. Holzverbrauch bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen u. Drehzahlen
Imbert-Gas-Generatoren-Gesellschaft

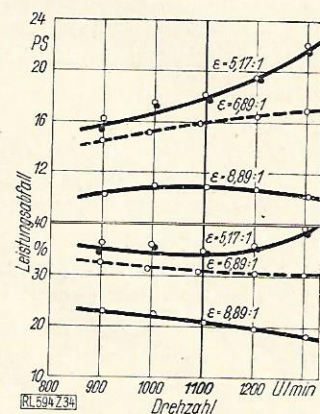
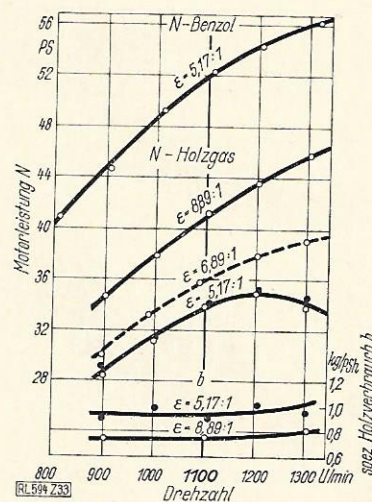


Abb. 37
Leistungsabfall bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen und Drehzahlen
Imbert-Gas-Generatoren-Gesellschaft

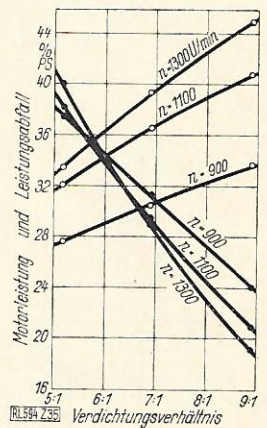


Abb. 38
Motorleistung und Leistungsabfall in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis
Deutsche Holzvergaser-Gesellschaft

die Motorleistung und der spez. Holzverbrauch bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen in Abhängigkeit von der Drehzahl dargestellt, zum Vergleich ist die Motorleistung bei Benzol eingezeichnet. Aus den Abbildungen ist zu ersehen, daß durch die Erhöhung der Verdichtung von $\epsilon = 5,17:1$ auf $\epsilon = 8,89:1$ die Motorleistung bei Normaldrehzahl von 32,1 PS auf 40,8 PS bzw. von 33,8 PS auf 40,9 PS gesteigert wurde, bei Verdichtungssteigerung auf

$\epsilon=6,89:1$ stieg die Motorleistung von 32,1 auf 36,6 PS bzw. von 33,8 auf 35,9 PS. Der bei Normaldrehzahl ermittelte Leistungsabfall ist in Zahlentafel 14 enthalten, für andere Drehzahlen kann er aus den Abb. 35 und 37 entnommen werden.

Zahlentafel 14

Leistungsabfall in % der Benzoleistung bei $n=1100/\text{min}$

$\epsilon =$	5,17:1	6,89:1	8,89:1
Deutsche Holzvergaser-Gesellschaft	38,2	29,5	21,3
Imbert-Gas-Generatoren-Gesellschaft .	34,8	30,8	21,1

Die Leistungskurven lassen erkennen, daß die Drehzahl-Charakteristik des Motors mit der Verdichtungssteigerung sich im höheren Drehzahlbereich ändert; das Maximum der Leistung liegt bei $\epsilon=5,17:1$ schon bei etwa $n=1200/\text{min}$, während bei den höheren Verdichtungen noch mit steigender Drehzahl ein Leistungszuwachs festzustellen ist.

Beachtenswert ist das Absinken des spez. Holzverbrauches bei Verdichtungssteigerung. Die Abb. 34 und 36 zeigen, daß bei Normaldrehzahl und $\epsilon=5,17:1$ der Holzverbrauch etwa 1,1 kg/PSH bzw. 0,95 kg/PSH beträgt, während bei $\epsilon=8,89:1$ und gleicher Drehzahl nur etwa 0,8 kg/PSH bzw. 0,75 kg/PSH verbraucht werden.

In Abb. 38 sind die Motorleistung und der Leistungsabfall in Abhängigkeit von dem Verdichtungsgrad dargestellt. Der Verlauf der Kurven läßt erkennen, daß durch weitere Verdichtungssteigerung noch ein Leistungszuwachs zu erwarten wäre, wenn die Motorbauart eine höhere Verdichtung als 9:1 zugelassen hätte.

Während der Motor bei $\epsilon=8,89:1$ einen etwas harten, aber einwandfreien Lauf hatte, war dieser bei $\epsilon=6,89:1$ schon weicher und glich sich mehr demjenigen bei normaler Verdichtung an. Der Leerlauf war in allen Fällen gut.

Zur Erzielung der obigen Leistungen bei Normaldrehzahl war der Zündpunkt wie folgt eingestellt:

Benzol	$\epsilon=5,17:1$	15,5 mm v. o. T.	$\approx 29^\circ$
Holzgas	$\epsilon=5,17:1$	21,0 „ „ „	$\approx 39^\circ$
„	$\epsilon=6,89:1$	19,0 „ „ „	$\approx 35,5^\circ$
„	$\epsilon=8,89:1$	17,3 „ „ „	$\approx 31,5^\circ$

d. h. mit steigendem Verdichtungsverhältnis mußte der Zündpunkt zur Erzielung der Höchstleistung etwas zurückverlegt werden. Bei den erhöhten Verdichtungen mußten Zündkerzen mit hohem Glühzündungswert (Bosch DM 225) verwendet werden; Kerzen mit niedrigerem Wert (M 145) ergaben keinen störungsfreien Lauf des Motors.

Gasanalysen, Temperatur- und Druckverhältnisse

Die Entnahme des Gases zur technischen Gasanalyse erfolgte bei den beiden untersuchten Gaserzeugern unmittelbar nach dem Austritt des Gases aus dem Generator. Bei der Betrachtung der in den Zahlentafeln 15 und 16 zusammengefaßten Gasanalysen, die bei Vergasung von Holz gleicher Art und Stückgröße und gleichem Wassergehalt gefunden wurden, ist zu berücksichtigen, daß alle Werte, um sie miteinander vergleichen zu können, auf luftfreies Gas bezogen wurden. Die Gas-Luft-Gemischheizwerte lassen bei beiden Gaserzeugern bei allen untersuchten Verdichtungsgraden im Drehzahlbereich deutliche gesetzmäßige Unterschiede nicht erkennen. Die Verdichtungssteigerung scheint ohne Einfluß auf die Gaszusammensetzung zu sein.

Aus den obigen Gasanalysen geht außerdem hervor, daß das im Gaserzeuger der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft (D.H.G.) erzeugte Gas höhere

Zahlentafel 15 Gasanalysen, Abgasanalysen, Heizwerte, Temperaturen, Unterdruck (Gaserzeuger der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft)

Verdichtungsverhältnis	Drehzahl 1/min	Gasanalysen							Unterer Heizwert kcal/m ³	Abgasanalysen		Gemisch-Heizwert kcal/m ³	Temperaturen °C				Unterdruck mm WS
		CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂		CO ₂	O ₂		t ₁	t ₂	t _A	t _K	
$\epsilon=5,17:1$	1400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	447	34	609	72	180
	1300	18,9	16,4	2,8	0,2	11,6	—	50,1	1261	18,8	1,2	573	445	30,5	607	82	148
	1200	19,4	16,8	2,4	—	10,9	—	50,5	1230	19,4	0,2	586	446	29	607	86	125
	1100	16,0	18,8	2,7	0,1	14,1	—	48,3	1216	19,6	0,4	574	437	30,5	592	84	120
	1000	18,0	16,4	2,6	0,4	12,4	—	50,2	1247	19,8	0,5	580	434	27	575	85	107
	900	18,9	16,4	2,8	0,2	11,6	—	50,1	1286	19,2	0,8	590	424	26	558	86	91
$\epsilon=6,89:1$	1400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	475	29	609	73	155
	1300	16,9	19,5	3,5	—	14,7	—	45,4	1317	20,0	0,5	594	470	30	595	74	112
	1200	18,7	20,2	3,8	—	13,1	—	44,2	1411	19,4	0,8	595	465	29	584	76	105
	1100	16,8	18,5	3,5	—	15,0	—	46,2	1287	19,6	0,6	583	450	25	573	77	90
	1000	19,8	19,4	2,6	—	15,0	—	43,3	1317	19,2	1,4	583	442	25	556	78	78
	900	19,7	20,0	2,0	—	13,6	—	44,7	1284	—	—	584	439	24	542	77	72
$\epsilon=8,89:1$	1400	—	—	—	—	—	—	—	—	18,1	0,9	—	463	26	560	78	160
	1300	17,8	17,1	2,9	—	14,5	—	47,7	1220	19,8	0,6	572	474	29	565	78	140
	1200	—	—	—	—	—	—	—	—	19,4	0,4	—	452	26	566	77	127
	1100	—	—	—	—	—	—	—	—	19,5	0,2	—	469	25	548	77	97
	1000	20,5	16,3	2,5	—	12,1	—	48,7	1248	19,8	0,4	586	437	24	530	79	96
	900	20,7	18,2	2,2	—	13,0	—	45,9	1285	19,1	1,2	582	428	23	520	79	85

Zahlentafel 16 Gasanalysen, Abgasanalysen, Heizwerte, Temperaturen, Unterdruck (Imbert-Gaserzeuger 150/550)

Verdichtungsverhältnis	Drehzahl 1/min	Gasanalysen							Unterer Heizwert kcal/m ³	Abgasanalysen		Gemisch-Heizwert kcal/m ³	Temperaturen °C				Unterdruck mm WS
		CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂		CO ₂	O ₂		t ₁	t ₂	t _A	t _K	
ε = 8,89:1	1300	23,3	18,0	1,5	—	11,1	—	46,1	1297	18,6	1,0	592	281	23	576	82	165
	1200	22,4	20,0	1,8	—	11,0	—	44,8	1350	17,9	1,9	587	271	22	550	82	152
	1100	22,8	17,7	1,5	—	7,7	—	50,3	1277	19,7	0,3	599	262	21	545	80	137
	1000	14,1	18,8	3,5	—	16,3	—	47,3	1212	19,9	0,3	568	248	21	540	81	119
	900	21,8	18,5	2,0	—	10,8	—	46,9	1310	19,6	0,8	597	230	20	530	80	90

Bestandteile an mehratomigen Gasen (CH₄; CO₂) aufweist als das im Imbert-Gaserzeuger gewonnene Gas. Vgl. auch die Werte in den Zahlentafeln 5 und 9. Diese Tatsache gewinnt an Bedeutung, wenn man bedenkt, daß bei der Leistungssteigerung durch Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades ($\eta_{th} = 1 - \epsilon^{m-1}$) neben dem Verdichtungsverhältnis auch der Exponent m von Wichtigkeit ist. Der Exponent m ist für zweiatomige Gase gleich 1,4, für CH₄ und CO₂ jedoch gleich 1,3 zu setzen (s. Hütte 25. Aufl. Bd. 2 S. 541.)

Ein Vergleich der möglichen Leistungssteigerung durch Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses mit der bei Normaldrehzahl des Motors gemessenen Leistungssteigerung ist in Zahlentafel 17 für die beiden untersuchten Gaserzeugerbauarten durchgeführt.

Zahlentafel 17

Mögliche und tatsächliche Leistungssteigerung bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen und wechselnden Exponenten m

Verdichtungsverhältnis	Mögl. Verbesserung des therm. Wirkungsgrades %		Gemessene Motorleistung PS		Erzielte Leistungssteigerung %	
	m = 1,4	m = 1,3	Imbert	D. H. G.	Imbert	D. H. G.
	5:1	—	—	33,8	32,1	—
7:1	13,8	15,4	(35,9)	36,6	(6,2)	14
9:1	23,1	25,7	40,9	40,8	21,0	27,1

Diese Zusammenstellung zeigt, wie — entsprechend der bei der Gasanalyse festgestellten Gaszusammensetzung — beim Imbert-Gas bei niedrigem ε eine gute Leistung erzielt werden konnte (vgl. Wirkungsgrad für $m = 1,4$, Zahlentafel 17), wogegen die Leistungssteigerung beim D.H.G.-Gas größer ist. Beide Ergebnisse decken sich mit den theoretischen Erwägungen sehr gut.

Die Temperaturen t_1 des Gases, die beim Austritt des Gases aus dem Generator gemessen wurden, zeigen unter sich keine nennenswerten Unterschiede, soweit sie nicht durch die Bauart des Generators bedingt sind. (Größenordnung bei der Bauart: Deutsche Holzvergaser-Gesellschaft t_1 etwa 450°C; bei der Bauart: Imbert t_1 etwa 250°C.) Die Temperatur t_2 wurde vor der Mischung des Gases mit der Verbrennungsluft gemessen. Die Auspufftemperaturen t_A sinken mit steigender Verdichtung ab. Die praktische Bedeutung dieser Abnahme liegt in der Wärmeentlastung der Auspuffventile und damit des gesamten Kühlsystems (Kühlwassertemperaturen t_K).

Zahlentafel 18

Auspuff- und Kühlwassertemperaturen bei Benzol-Vollastbetrieb

n [1/min]	t _A [°C]	t _K [°C]
1300	776	95
1200	752	95
1100	747	94
1000	718	96
900	695	99
800	661	99

In Zahlentafel 18 sind vergleichsweise die Auspuff- und Kühlwassertemperaturen bei Benzol-Vollastbetrieb in Abhängigkeit der Drehzahl aufgeführt.

Der in mm WS am Generator gemessene Unterdruck h nimmt mit steigender Verdichtung ab.

Praktische Maßnahmen zur Verdichtungssteigerung

Die Verdichtungssteigerung kann je nach dem zu erstrebenden Verdichtungsverhältnis und der Motorbauart auf verschiedene Weise bewirkt werden. Geringere Verdichtungssteigerungen können durch Abfräsen des Zylinderkopfes und -blockes und gegebenenfalls des Kurbelgehäuses neben Verwendung einer dünneren Zylinderkopfdichtung erreicht werden. Sollen jedoch erhebliche Steigerungen erzielt werden, so wird man entweder den Zylinderkopf auswechseln oder erhöhte Kolben verwenden müssen.

Es sei in diesem Zusammenhange erwähnt, daß Versuche, die Leistung des zu den ersten Untersuchungen benutzten Hanomag-Motors durch Verlängerung der gußeisernen Kolben mit Platten aus Leichtmetall erheblich zu erhöhen, fehlgeschlagen sind. Eine nennenswerte Leistungssteigerung dürfte sich nur mit einteiligen Kolben erzielen lassen.

2. Versuche zur Leistungserhöhung durch Vorverdichtung des Gas-Luftgemisches mit einem Gebläse

Durch die obigen Versuche ist erwiesen worden, daß durch die Erhöhung der Verdichtung des Motors der thermische Wirkungsgrad der Verbrennung verbessert wird und infolge der höheren Klopfestigkeit des Holzgases auf diese Weise eine Verringerung des Leistungsabfalles erzielt werden kann. Am Kämper-Motor ergab sich bei $\epsilon = 5,17:1$ ein Leistungsabfall von etwa 40 % der Benzolleistung, der durch Steigerung des Verdichtungsverhältnisses auf $\epsilon = 8,89:1$ bis auf etwa 20 % herabgedrückt werden konnte. Die volle Benzolleistung dürfte auf diesem Wege nur in seltenen und besonders günstig gelegenen

nen Fällen erreicht werden. Die Verdichtung läßt sich meist nur bis auf etwa $\varepsilon=9:1$ steigern, da bei höheren Verdichtungsgraden infolge des raschen Anwachsens der Höchstdrücke Schäden im Triebwerk eintreten können. Bei so hohen Verdichtungsgraden fällt auch die Möglichkeit, den Motor wahlweise mit flüssigem Brennstoff zu betreiben, fort. Schon der Zusatz geringer Mengen flüssigen Brennstoffes kann bei höher verdichtetem Motor erhebliche Schäden in den Triebwerksteilen herbeiführen.

Über die bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen zu erwartenden Höchstdrücke gibt Zahlentafel 19 Aufschluß:

Zahlentafel 19

Kompressionsenddrücke und Verbrennungshöchstdrücke bei Benzol- und Holzgasbetrieb in Abhängigkeit des Verdichtungsverhältnisses

Brennstoff	Verdichtungsverhältnis ε	Kompressionsenddruck [ata] für $m =$		Verbrennungshöchstdruck [ata] für $m =$	
		1,35	1,3	1,35	1,3
Benzol	5,17:1	8,9	—	22,7	—
Holzgas	5,17:1	8,6	7,95	17,1	16,1
Holzgas	6,89:1	12,7	11,56	24,8	23,3
Holzgas	8,89:1	17,9	16,1	34,6	31,7

(Diese Werte sind unter Zugrundelegung eines mechanischen Wirkungsgrades $\eta_m=0,85$ aus gemessenen Größen entstanden; für Benzol wurde der Exponent $m=1,4$ gesetzt.)

Versuchsmäßige Bestimmungen des Verbrennungshöchstdruckes, die mit einem Maihak-Indikator durchgeführt wurden, haben erkennen lassen, daß die obigen errechneten Werte bei großer Frühzündung erheblich überschritten werden können.

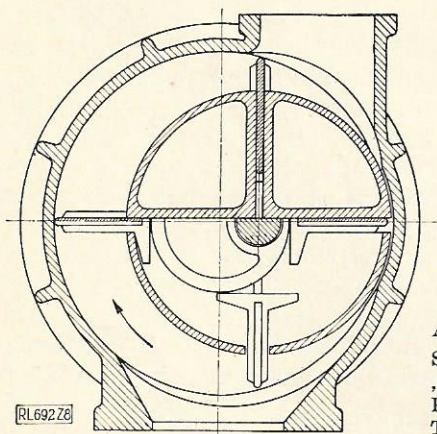


Abb. 39
Schnitt durch den „Kromag-Zoller“-Kompressor Type Z 9

Man kann daraus schließen, daß bei Holzgasbetrieb, sofern das Verdichtungsverhältnis $\varepsilon > 7:1$ gewählt wird, trotz der Minderleistung eine Überbeanspruchung der Triebwerksteile eintritt. Es ist deshalb beim Umbau veralteter Motoren Vorsicht geboten.

Durch Aufladung des Motors mit einem geeigneten Gebläse ist es möglich, unter Vermeidung verschiedener Nachteile jeden Motor auf volle Benzolleistung

zu bringen, sofern der Eigenverbrauch des Kompressors ein gewisses Maß nicht überschreitet. Vorversuche, die mit einem gewöhnlichen (Schmiede-) Sternkolbengebläse durchgeführt worden sind, haben dies erwiesen und zu praktisch befriedigenden Ergebnissen geführt. Mit einem Kraftwagen-„Root“-Gebläse dagegen, das mit zwei Kolben von Lemnikatenform ausgerüstet war, konnten infolge der erforderlichen hohen Drehzahlen (bis zu 9000 U/min) zufriedenstellende Ergebnisse nicht erzielt werden.

Für die nachfolgend aufgeführten, umfangreichen Versuche stand ein Sternkolbengebläse Bauart „Kromag-Zoller“ Type Z 9 der Kromag A.-G. in Hirtenberg (Nied.-österreich) zur Verfügung. Die Wirkungsweise dieser Bauart geht aus dem vereinfacht dargestellten Schnitt (Abb. 39) hervor. Die besondere Eignung dieses Gebläses zum Vorverdichten von Gasen für holzgasbetriebene Kraftfahrzeuge sieht die Herstellerfirma in der Steuerung der einzelnen Flügel, wodurch auch bei niedrigen Drehzahlen die

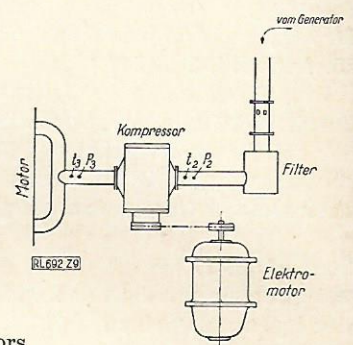


Abb. 40
Anordnung des Kompressors

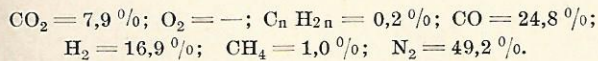
unvermeidlichen Spaltverluste auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. Der Kompressor war weiterhin mit einer selbsttätigen Rutschkupplung ausgestattet, um bei etwaigen plötzlichen Störungen Brüche zu vermeiden. Der Antrieb erfolgte durch Ketten.

Der Aufbau der Versuchsanordnung ist in Abb. 40 vereinfacht dargestellt. Der Verdichter wurde durch einen besonderen Elektromotor angetrieben, dessen Leistungsaufnahme durch Strom- und Spannungsmessung leicht ermittelt und verfolgt werden konnte. Anschließend an die bei den früheren Versuchen durchgeführten Messungen wurden nach der Mischung mit der Verbrennungsluft Druck p_2 [mm Hg] und Temperatur t_2 [°C] des Gas-Luftgemisches vor dem Kompressor bestimmt. Ebenso konnte der erreichte Überdruck p_3 [mm Hg] beobachtet und die Temperatursteigerung bei der Verdichtung an der Temperaturmeßstelle t_3 [°C] abgelesen werden. Den Gesamtaufbau zeigt Abb. 41.

Die Versuche wurden bei einem Verdichtungsverhältnis des Motors $\varepsilon=6,89:1$ durchgeführt. Um den günstigsten Überdruck und das hierzu erforderliche Übersetzungsverhältnis zwischen Motor und Kompressor zu ermitteln, wurde bei der Normaldrehzahl des Motors ($n=1100$ U/min) eine Versuchsreihe mit verschiedenen Überdrücken gefahren. Die Versuchswerte sind in Zahlentafel 20, Versuch Nr. 1 bis 4, zusammengefaßt. Hierbei zeigte sich, daß die Holzgas-Brutto-Motorleistung mit wachsendem Über-

druck geradlinig ansteigt (Abb. 42) und bei einem Überdruck von etwa 260 mm Hg die der Normaldrehzahl bei $\epsilon = 5,17:1$ entsprechende Benzolleistung erreicht. Bis zu diesem Überdruck war auch die Leistungsaufnahme des Kompressors den erzielten Drücken etwa proportional. Bei mehr als 300 mm Hg Überdruck stieg der Kompressorverbrauch erheblich an, die Holzgas-Netto-Motorleistung nahm infolgedessen nur noch wenig zu. In Abb. 42 ist neben den Motorleistungen der Kompressorverbrauch dargestellt.

Die mittlere Gaszusammensetzung während dieser Versuchsreihe war:



Der untere Heizwert des Gases ergibt sich zu $H_u = 1307 \text{ kcal/m}^3$.

Der Holzverbrauch steigt mit wachsendem Überdruck rasch an.

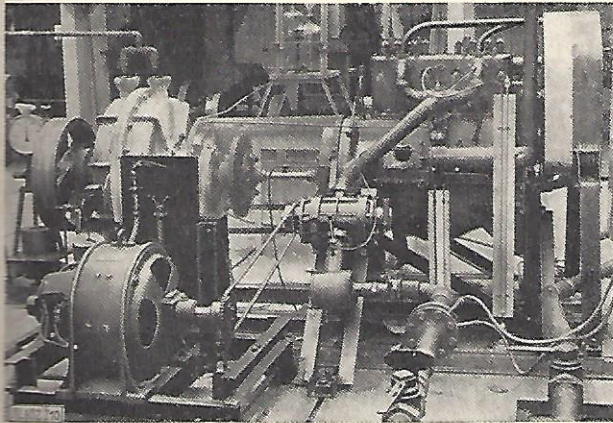


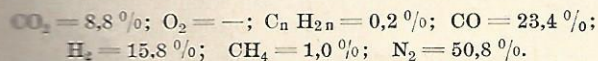
Abb. 41 Gesamtansicht der Versuchsanlage

Um eine schädigende Überbeanspruchung des Motors zu vermeiden, wurde für die Drehzahlreihe das bei $n = 1100 \text{ U/min}$ einem Überdruck von 260 mm Hg entsprechende Übersetzungsverhältnis

$$i = \frac{\text{Motordrehzahl } n_M}{\text{Kompressordrehzahl } n_K} = 1,106 \text{ gewählt.}$$

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe sind in Zahlentafel 20, Versuch Nr. 5 bis 8, zusammengestellt. Die Brutto- und Netto-Holzgas-Leistungscharakteristik bei konstantem Übersetzungsverhältnis, von dem man ja beim praktischen Fall ausgehen muß, ist im Vergleich zur Benzolleistungskurve in Abb. 43 gezeichnet. Die größtmögliche Holzgas-Nettoleistung konnte ohne wesentliche Überbeanspruchung (hohe Bruttoleistung) der Triebwerksteile nicht erreicht werden. In Abb. 44 ist der Verlauf des Leistungsabfalles im Drehzahlbereich dargestellt. Es zeigte sich, daß sich bei der Normaldrehzahl $n = 1100 \text{ U/min}$ ein Bestwert von etwa 12,2% ergibt.

Die mittlere Gasanalyse bei diesen Versuchen war:



Der untere Heizwert ist somit $H_u = 1229 \text{ kcal/m}^3$.

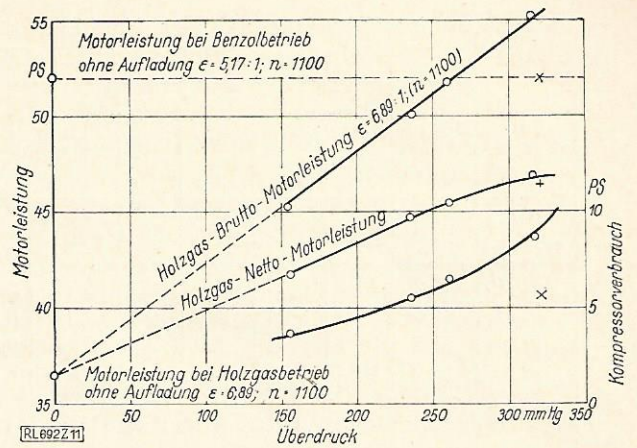


Abb. 42 Holzgasleistung bei Normaldrehzahl und Leistungsbedarf des Kompressors bei verschiedenen Überdrücken

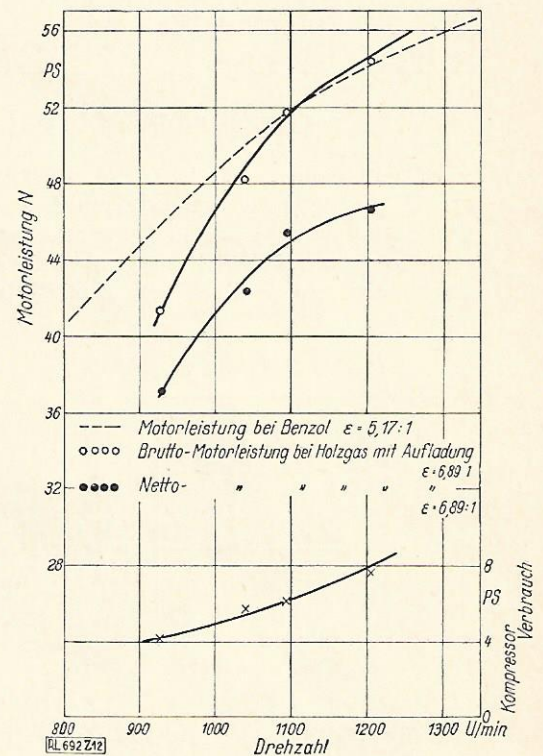
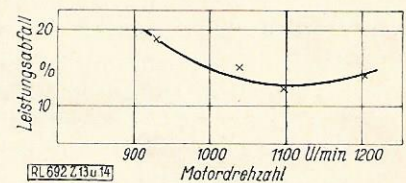


Abb. 43 Holzgas-Brutto- und Netto-Leistung, Kompressorverbrauch im Vergleich zur Benzolleistung bei festem Übersetzungsverhältnis $i = 1,106$ zwischen Motor und Kompressor

Abb. 44 Prozentualer Leistungsabfall in Abhängigkeit der Drehzahl bei festem Übersetzungsverhältnis



Der spez. Brennstoffverbrauch weist bei etwa $n = 1000$ bis 1100 U/min einen günstigsten Wert auf und steigt mit wachsender Drehzahl rasch an (Zahlentafel 20).

Bei Normaldrehzahl und einem Verdichtungsverhältnis des Motors $\epsilon = 8,89:1$ wurde ein Versuch gefahren (Zahlentafel 20, Versuch Nr. 9). Die ge-

Zahlentafel 20 Versuche bei Normaldrehzahl und verschiedenen Überdrücken
 Holz: Buche-Fichte-Gemisch ($F = 11,8\%$), $\epsilon = 6,89:1$

Versuch Nr.	Motor- dreh- zahl n _{Motor} 1/min	Brems- leistung N _M brutto PS	Brennstoff- verbrauch		Kom- pres- sor- dreh- zahl n _{Kompr} 1/min	Überset- zungs- verhältnis i	Leistungsbedarf des Kompressors			Nutz- lei- stung N _M netto PS	Leistungs- abfall ΔN %	Temperaturen bzw. Unter- Über- Drücke							
			stünd- lich B _h kg/h	spez- ifisch b kg/PS h			N _K brutto PS	N _{eigen} PS	N _K netto PS			t ₁ °C	p ₁ mm WS	t ₂ °C	p ₂ mm Hg	t ₃ °C	p ₃ mm Hg	t _K °C	
1	1090	45,2	28,4	0,63	890	1,225	4,03	0,56	3,47	41,7	19,2	415	-110	28	-21	57	+154	—	b _t = 710 mm Hg t = 22,5 °C
2	1100	50,0	32,5	0,65	960	1,145	5,99	0,56	5,43	44,6	14,0	451	-105	29,4	-23	70	+236	—	
3	1094	51,7	38,3	0,74	990	1,106	6,89	0,56	6,33	45,4	12,2	455	-136	29,5	-24	67	+260	—	
4	1100	55,2	58,4	1,06	1040	1,060	9,08	0,60	8,48	46,7	10,0	470	-120	30	-35	83	+315	—	
Drehzahlversuche, durchgeführt mit konstantem Übersetzungsverhältnis i zwischen Motor und Kompressor																			
5	1203	54,4	57,7	1,06	1090	1,102	8,36	0,60	7,76	46,6	14,2	497	-185	37	-33	87	+270	84	b _t = 708,5 mm Hg t = 17,5 °C
6	1094	51,7	38,3	0,74	990	1,106	6,89	0,56	6,33	45,4	12,2	455	-136	29,5	-24	67	+260	83	
7	1038	48,1	34,6	0,72	950	1,095	6,35	0,56	5,79	42,3	15,2	458	-165	31,5	-26	79	+250	87	
8	926	41,3	35,6	0,86	835	1,11	4,70	0,56	4,14	37,2	18,6	429	-115	29,8	-18	70	+208	84	
9	1060	52,0	—	—	1020	1,040	6,15	0,60	5,55	46,4	8,3	—	—	73	31,5	-20	75	+320	ε = 8,89:1

fundenen Werte sind in Abb. 42 als Sternchen eingetragen; sie lassen erkennen, daß zur Erzielung etwa der gleichen Holzgas-Netto-Motorleistung ein erheblich geringerer Aufwand am Kompressor erforderlich ist als bei $\epsilon = 6,89:1$. Dies ist auf den besseren thermischen Wirkungsgrad bei der höheren Verdichtung zurückzuführen, d. h. die Ladung wird besser ausgenutzt.

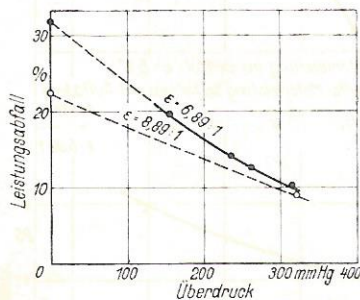


Abb. 45
 Prozentualer Leistungsabfall bei den Motorverdichtungsverhältnissen $\epsilon = 6,89:1$ und $\epsilon = 8,89:1$ in Abhängigkeit des vom Kompressor erzielten Überdruckes

In Abb. 45 ist der Leistungsabfall in % der Benzolleistung für die Verdichtungsgrade $\epsilon = 8,89:1$ und $\epsilon = 6,89:1$ über dem mit dem Vorverdichter erzielten Überdruck aufgetragen. Berücksichtigt man die beim Überdruck 0 — d. i. bei reinem Sauggasbetrieb — erhaltenen Werte, so ergibt sich, daß der Leistungsgewinn durch den Kompressorbetrieb bei der niedrigen Verdichtung größer ist als bei der hohen. Beide Kurvenzüge scheinen einem Bestwert zuzustreben.

Bei allen Versuchen wurde ein Gemisch aus gleichen Raumteilen Buchen- und Fichtenholz von einer Stückgröße 8 cm × 25 cm² vergast. Der Wassergehalt betrug etwa 11,8 %. Ein Vergleich der bei Kompressorbetrieb festgestellten Gaszusammensetzung mit den beim Sauggasbetrieb gewonnenen Analysen läßt erkennen, daß der Gaserzeuger den größeren Anforderungen durchaus gewachsen war.

Die Gasmengenmessung ergab als mittleren Kompressorwirkungsgrad $\eta_{K} = 62,2\%$ bezogen auf die Ansaugverhältnisse [$p = 696$ mm Hg; $t = 35^\circ\text{C}$]. Stellt man dieses Ergebnis in Vergleich zum Ansaugvolumen des Motors, so errechnet sich daraus (auf

gleichen Druck und gleiche Temperatur bezogen) ein Füllungsgrad von etwa 106,8 %. Die Energie-
 ladung wurde also durch den Kompressor um rd. 20 % vergrößert, da der Liefergrad bei Sauggasbetrieb $\eta_L \sim 85$ bis 90 % beträgt. Dieses Ergebnis entspricht ziemlich genau der mit dem Kompressor erreichten Leistungssteigerung.

Die Brauchbarkeit eines Kompressors hängt in hohem Maße von der Güte seiner Fertigung ab. Größte Genauigkeit bei der Herstellung und gute Durchbildung der Schmierung während des Betriebes gewährleisten geringen Eigenverbrauch bei großer Leistung. Eine besondere Gefahr besteht für den Holzgas-Kompressorbetrieb in der möglichen Verschmutzung. Aus diesem Grunde hatte die Kromag A.-G. vor den Verdichter ein besonderes Filter, „Airmaze“, geschaltet, das sich jedoch für Dauerbetrieb nicht als geeignet erwies.

Der Einbau in Lastkraftwagen älterer Bauart wird sich infolge schwieriger Antriebsverhältnisse im allgemeinen nicht einfach gestalten lassen, hingegen kann man sich die Vorteile des Kompressorbetriebes bei Triebwagen zunutze machen.

Beim Kompressorbetrieb ist bei geeigneter Wahl des Übersetzungsverhältnisses zwischen Motor und Verdichter und gleicher Belastung des Motors ein geringerer Leistungsabfall zu erwarten, als durch Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses erreicht werden kann. Es ist anzunehmen, daß die Kolbenhöchst-
 drücke hierbei in einem günstigeren Verhältnis zum mittleren Kolbendruck stehen als bei der Verdichtungssteigerung. Außerdem besteht die Möglichkeit, den Betrieb jederzeit ohne Umbauten mit flüssigem Brennstoff wieder aufnehmen zu können.

5. Weitere Einzeluntersuchungen Holzgas und Motorschmierung

Um den Einfluß des Holzgases auf die Schmierfähigkeit des Öles festzustellen, wurde nach 70 bzw. 200 Betriebsstunden eine Probemenge aus dem Motor abgelassen und untersucht. Als Frischöl war vorschriftsgemäß Gargoyle Mobiloel B der „Deutschen Vacuum Oel A.-G.“ verwendet worden.

Zahlentafel 20 Versuche bei Normaldrehzahl und verschiedenen Überdrücken
 Holz: Buche-Fichte-Gemisch ($F=11,8\%$), $\epsilon=6,89:1$

Versuch Nr.	Motor- dreh- zahl n_{Motor} 1/min	Brems- leistung N_M brutto PS	Brennstoff- verbrauch		Kom- pres- sor- dreh- zahl $n_{Kompr.}$ 1/min	Überset- zungs- verhältnis i	Leistungsbedarf des Kompressors			Nutz- lei- stung N_M netto PS	Leistungs- abfall ΔN %	Temperaturen bzw. Unter- Über- Drücke						
			stünd- lich B_h kg/h	spezifisch b kg/PS h			N_K brutto PS	N_K eigen PS	N_K netto PS			t_1 °C	p_1 mm WS	t_2 °C	p_2 mm Hg	t_3 °C	p_3 mm Hg	t_K °C
1	1090	45,2	28,4	0,63	890	1,225	4,03	0,56	3,47	41,7	19,2	415	-110	28	-21	57	+154	-
2	1100	50,0	32,5	0,65	960	1,145	5,99	0,56	5,43	44,6	14,0	451	-105	29,4	-23	70	+236	-
3	1094	51,7	38,3	0,74	990	1,106	6,89	0,56	6,33	45,4	12,2	455	-136	29,5	-24	67	+260	-
4	1100	55,2	58,4	1,06	1040	1,060	9,08	0,60	8,48	46,7	10,0	470	-120	30	-35	83	+315	-
Drehzahlversuche, durchgeführt mit konstantem Übersetzungsverhältnis i zwischen Motor und Kompressor																		
5	1203	54,4	57,7	1,06	1090	1,102	8,36	0,60	7,76	46,6	14,2	497	-185	37	-33	87	+270	84
6	1094	51,7	38,3	0,74	990	1,106	6,89	0,56	6,33	45,4	12,2	455	-136	29,5	-24	67	+260	83
7	1038	48,1	34,6	0,72	950	1,095	6,35	0,56	5,79	42,3	15,2	458	-165	31,5	-26	79	+250	87
8	926	41,3	35,6	0,86	835	1,11	4,70	0,56	4,14	37,2	18,6	429	-115	29,8	-18	70	+208	84
9	1060	52,0	-	-	1020	1,040	6,15	0,60	5,55	46,4	8,3	-	-	73	31,5	-20	75	+320 $\epsilon=8,89:1$

fundenen Werte sind in Abb. 42 als Sternchen eingetragen; sie lassen erkennen, daß zur Erzielung etwa der gleichen Holzgas-Netto-Motorleistung ein erheblich geringerer Aufwand am Kompressor erforderlich ist als bei $\epsilon=6,89:1$. Dies ist auf den besseren thermischen Wirkungsgrad bei der höheren Verdichtung zurückzuführen, d. h. die Ladung wird besser ausgenutzt.

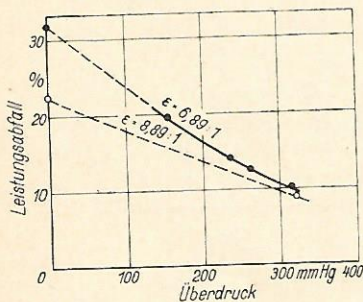


Abb. 45
 Prozentualer Leistungsabfall bei den Motorverdichtungsverhältnissen $\epsilon=6,89:1$ und $\epsilon=8,89:1$ in Abhängigkeit des vom Kompressor erzielten Überdruckes

In Abb. 45 ist der Leistungsabfall in % der Benzolleistung für die Verdichtungsgrade $\epsilon=8,89:1$ und $\epsilon=6,89:1$ über dem mit dem Vorverdichter erzielten Überdruck aufgetragen. Berücksichtigt man die beim Überdruck 0 — d. i. bei reinem Sauggasbetrieb — erhaltenen Werte, so ergibt sich, daß der Leistungsgewinn durch den Kompressorbetrieb bei der niedrigen Verdichtung größer ist als bei der hohen. Beide Kurvenzüge scheinen einem Bestwert zuzustreben.

Bei allen Versuchen wurde ein Gemisch aus gleichen Raumteilen Buchen- und Fichtenholz von einer Stückgröße 8 cm \times 25 cm² vergast. Der Wassergehalt betrug etwa 11,8 %. Ein Vergleich der bei Kompressorbetrieb festgestellten Gaszusammensetzung mit den beim Sauggasbetrieb gewonnenen Analysen läßt erkennen, daß der Gaserzeuger den größeren Anforderungen durchaus gewachsen war.

Die Gasmengenmessung ergab als mittleren Kompressorwirkungsgrad $\eta_K=62,2\%$ bezogen auf die Ansaugverhältnisse [$p=696$ mm Hg; $t=35^\circ\text{C}$]. Stellt man dieses Ergebnis in Vergleich zum Ansaugvolumen des Motors, so errechnet sich daraus (auf

gleichen Druck und gleiche Temperatur bezogen) ein Füllungsgrad von etwa 106,8 %. Die Energieladung wurde also durch den Kompressor um etwa 20 % vergrößert, da der Liefergrad bei Sauggasbetrieb $\eta_L \sim 85$ bis 90 % beträgt. Dieses Ergebnis entspricht ziemlich genau der mit dem Kompressor erreichten Leistungssteigerung.

Die Brauchbarkeit eines Kompressors hängt in hohem Maße von der Güte seiner Fertigung ab. Die größte Genauigkeit bei der Herstellung und die sorgfältige Durchbildung der Schmierung während des Betriebes gewährleisten geringen Eigenverbrauch bei großer Leistung. Eine besondere Gefahr besteht bei dem Holzgas-Kompressorbetrieb in der möglichen Verschmutzung. Aus diesem Grunde hat die Kromag A.-G. vor den Verdichter ein besonderes Filter „Airmaze“, geschaltet, das sich jedoch für Dauerbetrieb nicht als geeignet erwies.

Der Einbau in Lastkraftwagen älterer Bauart kann sich infolge schwieriger Antriebsverhältnisse nicht allgemein nicht einfach gestalten lassen, hingegen kann man sich die Vorteile des Kompressorbetriebes bei Triebwagen zunutze machen.

Beim Kompressorbetrieb ist bei geeigneter Wahl des Übersetzungsverhältnisses zwischen Motor und Verdichter und gleicher Belastung des Motors ein geringerer Leistungsabfall zu erwarten, als durch die Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses erreicht werden kann. Es ist anzunehmen, daß die Kolbenringe bei niedrigeren Überdrücken in einem günstigeren Verhältnis zum mittleren Kolbendruck stehen als bei der Verdichtungssteigerung. Außerdem besteht die Möglichkeit, den Betrieb jederzeit ohne Umbauten mit flüssigem Brennstoff wieder aufnehmen zu können.

3. Weitere Einzeluntersuchungen Holzgas und Motorschmierung

Um den Einfluß des Holzgases auf die Schmierfähigkeit des Öles festzustellen, wurde nach 200 Betriebsstunden eine Probemenge aus dem Öl abgelassen und untersucht. Als Frischöl wurde schiffsgemäß Gargoyle Mobiloel B der „Deutsche Vacuum Oel A.-G.“ verwendet worden.

In Zahlentafel 21 sind die Ergebnisse der Untersuchung im Vergleich zu den von der Lieferfirma genannten Standarddaten für frisches Öl aufgeführt.

Zahlentafel 21

Beschaffenheit des Schmieröles

	Frisches Öl	Öl*) nach 70 Betriebsstunden	Öl nach 200 Betriebsstunden
Viskosität im Engler-Apparat bei 50° C	21,0	21,54	20,79
Flammpunkt im offenen Tiegel	254°	238°	238°
Beim Filtrieren der verdünnten Lösung zurückbleibende Schmutzteile in %	—	0,02	0,02

*) Das Öl enthielt merkliche Mengen Wasser.

Die Ergebnisse lassen erkennen, daß auch nach 200 stündigem Betrieb eine wesentliche Änderung der Viskosität und des Flammpunktes nicht eingetreten war. Die Verschmutzung des Öles durch mitgerissene Rußteilchen ist mit 0,02 % als geringfügig zu bezeichnen.

Der Holzgasbetrieb ermöglicht also, da eine Ölverdünnung durch Kondensate nicht stattfinden kann, eine längere Verwendung einer Ölfüllung. Dieses Ergebnis ist von großer Bedeutung für die Frage der Wirtschaftlichkeit des Holzgasbetriebes.

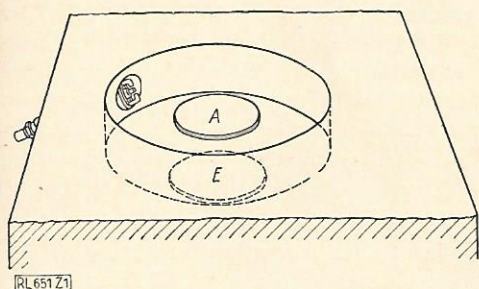


Abb. 46 Die Lage der Zündkerze im Verbrennungsraum

Zündkerzen

Zündkerzen mit verschiedenen Glühwerten und verschiedenen Formen und Anordnungen der Elektroden können bei Verwendung in einem Motor, der mit Holzgas betrieben wird, sehr große Unterschiede in ihrer Wirkung zeigen. Manche Kerzen, die beim Benzin- oder Benzolbetrieb einwandfrei wirken, sind im Holzgasmotor unbrauchbar. Zur praktischen Klärung dieser Zusammenhänge haben Vergleichsversuche gedient, die am Kämper-Motor durchgeführt worden sind.

Die Lage der Kerze im Verbrennungsraum, deren Kenntnis zur Beurteilung der hier behandelten Fragen wichtig ist, ist aus Abb. 46 ersichtlich.

Die Versuche wurden bei ganz geöffneter Drosselklappe, also Vollgas, durchgeführt. Nennenswerte Abweichungen von den im Drehzahlbereich 1300 bis 900 U/min bereits früher gefundenen Leistungen konnten nicht festgestellt werden. Glühzündungen

verursachen große Leistungsschwankungen und machen bei serienweisem Auftreten den Betrieb unmöglich.

Die Kühlwassertemperatur wurde bei allen Versuchen auf etwa 85° C gehalten.

Die Startprobe wurde derart durchgeführt, daß die Zündung des Motors nach erreichtem Beharrungszustand in der Normaldrehzahl kurzgeschlossen und nach Erreichen des Drehzahlbereiches, in welchem die Abschnappkupplung des Zündapparates arbeitet, wieder eingeschaltet wurde.

In der folgenden Zusammenstellung sind die untersuchten Kerzentypen und die mit denselben gesammelten Erfahrungen enthalten:

Fabrikat	Typenbezeichnung	Glühzündungen	Starten	Belag
Bosch	DM 45/1	nach längerem Betrieb vereinzelt zwischen $n = 1200$ und $n = 900$ U/min	gut	graubraun
Bosch	M 95 S 106	häufige Glühzündungen zwisch. $n = 1200$ bis 900 U/min	mittel	weißrötlich
Bosch	M 95/1	Glühzündungsserien — Betrieb unmöglich	mittel	weißrötlich
Bosch	DM 145/1	desgl.	mittel	grau
Bosch	DM 175/1 12 M	keine	mittelgut	teilweise u. weißlich
Bosch	DM 175/1 7 M	keine	gut	grauweißlich
Bosch	DM 175/23	keine	gut	} grauschwarz
Bosch	DM 225	keine	gut	
Beru	175/b 1	keine	gut	
Siemens	AG 30	keine	gut	} weißlich
Champion	Commercial 10	Glühzündungsserien	gut	

Der Durchmesser der Elektroden beträgt bei den untersuchten Kerzen der Rob. Bosch A.-G. 2,5 mm, ausgenommen die Kerzentypen M 95/1 und DM 225/1, die wie die „Siemens“-Kerze AG 30 und die „Champion“-Kerze „Commercial 10“ Elektroden von etwa 1,5 mm Stärke aufweisen. Die Kerze „Beru“ 175/b 1 hat drei Elektroden mit rechteckigem Querschnitt, während die Elektroden der Kerzen aller anderen Fabrikate kreisförmigen Querschnitt haben. Die Kerzen DM 45/1, M 95/1 und DM 145/1 der Rob. Bosch A.-G. sowie die Championkerze Commercial 10 haben zwei Elektroden.

Für einen einwandfreien Start mit Holzgas scheint es von besonderer Bedeutung zu sein, daß die Elektroden entweder ziemlich weit in den Verbrennungsraum hineinragen oder aber der Raum um die Elektroden möglichst groß gehalten ist.

Anlaufversuche

Zur Bestimmung der Anlaufzeit eines Holzgasgenerators wurden Versuche angestellt, die erkennen lassen sollten, nach welcher Zeit der Generator seinen Gleichgewichts-(Beharrungs-)Zustand erreicht hat. Beobachtet wurden die Temperatur t_1 [°C] des Gases im Gasabsaugeraum nach dem Verlassen der

Reduktionszone, die Temperatur t_2 [°C] des Gases beim Verlassen des Generators, der Unterdruck h [mm WS] am Generator und die Motorleistung. Die Inbetriebsetzung erfolgte in stets gleicher Weise. Zum Anblasen diente ein elektrisch angetriebener Ventilator, die Zündflamme wurde in allen Fällen eine Minute lang an die Lufteintrittsöffnung gehalten. An einem am Ausblaserohr hinter dem Ventilator angebrachten Probierrutzen wurde die Brennbarkeit

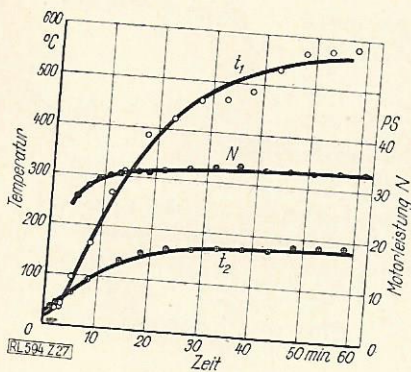


Abb. 47
Anlaufkurven eines Gaserzeugers Bauart Imbert 150/550 bei Vergasung von Buchenholz, 8 cm · 20 cm², F = 17 %

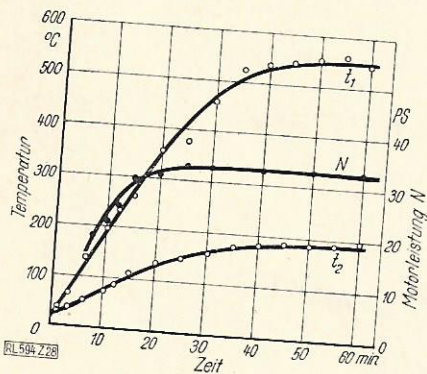


Abb. 48
Anlaufkurven eines Gaserzeugers Bauart Imbert 150/550 bei Vergasung von Buchenholz, 8 cm · 30 bis 50 cm², F = 17 %

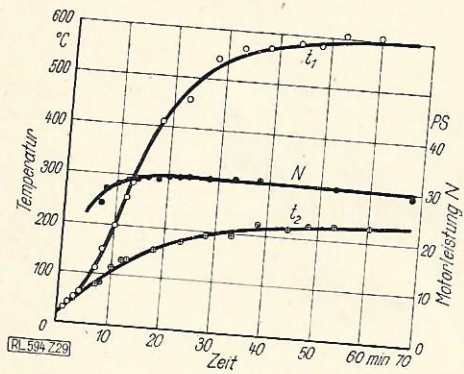


Abb. 49
Anlaufkurven eines Gaserzeugers Bauart Imbert 150/550 bei Vergasung von Buchenholz, 8 cm · 30 bis 50 cm², F = 37 % (Sommerfällung!)

des Gases festgestellt. Der Motor wurde angeworfen, sobald das vom Ventilator gelieferte Gas brannte, und seine Leistung bei Normaldrehzahl ($n = 1100$ U/min), die während der ganzen Versuchsdauer konstant gehalten wurde, in kurzen Zeitabständen bestimmt. Bei dem in Abb. 47 dargestellten Anlaufversuch wurde in einem Gaserzeuger Bauart Imbert, Type 150/550, Buchenholz von 8 cm Länge und einem Querschnitt von etwa 20 cm² vergast. Der Wassergehalt des Holzes betrug rd. 17 %. Das Kurvenbild läßt den Verlauf der beiden gemessenen Gastemperaturen, ausgehend von der etwa 20°C betragenden Raumtemperatur erkennen. Nach einer Zeit von etwa 5 Minuten lieferte der Ventilator am Probierrutzen brennbares Gas; die sogleich am Motor vorgenommene Leistungsmessung ergab 25,5 PS. Der Verlauf der Leistungskurve zeigt, daß die erzielbare Höchstleistung nach etwa 30 Minuten erreicht wird, jedoch steigen die beiden Temperaturen noch an. t_1 bis auf etwa 550°C und t_2 bis auf etwa 180°C. Die Temperatur des Gases beim Eintritt in den Motor wurde bei allen Versuchen konstant gehalten und war etwa 25°C. Die Kühlwassertemperatur des Motors erreichte ihren konstanten Wert $t_K = 75$ °C nach etwa 30 Minuten. Der Unterdruck ist in Zahlentafel 22 enthalten. Eine bei Beharrungszustand vorgenommene Gasanalyse ergab folgende Werte:

Der untere Heizwert betrug $H_u = 1389$ kcal/m³ und der Gemischheizwert bei $\lambda = 1,05$ $H_{Gem} = rd.$ 600 kcal/m³. Bei Vergasung von Holz einer Stückgröße von 8 cm Länge und 30 bis 50 cm² Querschnitt, dessen Feuchtigkeit ebenfalls 17 % betrug, wurde ein Schaubild nach Abb. 48 erhalten. Der Verlauf der Temperaturen ist ähnlich dem in Abb. 47 dargestellten Versuch. Die Leistungslinie zeigt wie bei Vergasung größeren Holzes, daß brennbares Gas zwar nach der gleichen Zeit gewonnen wird, die Leistung des Motors jedoch langsamer ansteigt als im vorhergehenden Falle. Die Höchstleistung wurde nach 30 Minuten erreicht. Der Versuch bestätigt die Tatsache, daß die Betriebsbereitschaft eines Holzgasgenerators bei Verwendung von Holz kleinerer Stückgröße größer ist als bei Vergasung von grobstückigem Holz. Abb. 49 zeigt einen Anlaufversuch bei Vergasung von Holz einer Stückgröße von etwa 30 bis 50 cm² bei einem Wassergehalt von etwa 37 %. Infolge des hohen Wassergehaltes des verwendeten Holzes benötigte der Generator zur Erzeugung brennbaren Gases eine längere Anblasezeit (6 Minuten). Dieser Mangel wird jedoch z. T. dadurch ausgeglichen, daß nach Erhalt brennbaren Gases die Motorleistung unter Berücksichtigung der entsprechenden Zeit etwas höher liegt als bei Vergasung von lufttrockenem Holz gleicher Stückgröße. Das Schaubild läßt aber erkennen, daß die Motorleistung nur noch schwach ansteigt. Der Beharrungszustand ist zwar schon nach etwa 20 Minuten erreicht, jedoch bleibt die Höchstleistung hinter der bei Vergasung von lufttrockenem Holz erzielten weit zurück. Die Temperaturen t_1 und t_2 steigen im vorliegenden Falle höher an, t_1 bis auf etwa 600°C, t_2 bis auf etwa 230°C, eine Tatsache, die auf den hohen CO₂-Gehalt des Gases zurückzuführen ist. Eine im Beharrungszustand vorgenommene Gasanalyse ergab:

nicht brennbare Bestandteile		brennbare Bestandteile	
CO ₂	12,9 %	CO	22,5 %
O ₂	—	H ₂	17,8 %
N ₂	43,7 %	CH ₄	3,1 %
		C _n H _{2n}	—

nicht brennbare Bestandteile		brennbare Bestandteile	
CO ₂	16,6 %	CO	14,5 %
O ₂	—	H ₂	18 %
N ₂	47 %	CH ₄	3,9 %
		C _n H _{2n}	—

Der untere Heizwert betrug $H_u = 1239$ kcal/m³ und der Gemischheizwert bei $\lambda = 1,05$ $H_{Gem} = 564$ kcal/m³.

Der Wasserstoff- und Methangehalt des Gases bewegt sich in normalen Grenzen, der Anteil des Kohlenoxyds an den brennbaren Bestandteilen ist sehr gering, der CO₂-Gehalt dagegen unverhältnismäßig hoch. Der Unterdruck am Generator ist in Zahlentafel 22 für alle herangezogenen Versuche zusammengestellt.

Zahlentafel 22

Unterdruck [mm WS] beim Anlaufen eines Generators

Zeit min	Buchenholz 8 cm · 20 cm ²	Buchenholz 8 cm · 30 bis 50 cm ²	Buchenholz 8 cm · 30 bis 50 cm ²
	F = 17%	F = 17%	F = 37%
5	248	245	281
10	251	245	253
15	213	245	237
20	206	238	220
25	175	215	196
30	175	188	188

Man kann erkennen, daß der Widerstand des Generators mit zunehmender Erwärmung abnimmt und im Beharrungszustand einen Mindestwert erreicht, dessen absolute Größe von der Holzgröße abhängt.

Vergasungsversuche mit Schnitzelholz

Bei der aus Buchen-, Fichten- und Birkenholz bestehenden Versuchsmenge war der mittlere Wassergehalt des Hartholzes etwa 17,2 %, der des Weichholzes etwa 15,9 %. Die Abmessungen der Schnitzel waren: Länge (gemessen in Richtung der Holzfaser) 6 bis 7 cm; Breite (2) bis 7 bis (12) cm; Dicke (0,5) bis 2 bis (3) cm. Die Schnitzelgröße war bei Buchen- und Birkenholz gleichmäßiger als bei Fichtenholz, siehe Abb. 8 und 9.

Um die Eignung des in der beschriebenen Art zerkleinerten Holzes zur Vergasung festzustellen, wurde es in einem Gaserzeuger verwendet, dessen Eigenschaften bei Verwendung von Holzkanteln üblicher Stückgröße (8 cm × 20 bis 25 cm²) bekannt waren. Zur Vergasung gelangte wie bei früheren Versuchen eine Mischung aus gleichen Raumteilen Hart- und Weichholz. Die Messung der Motorleistung *N* bei Normaldrehzahl *n* = 1100 U/min, des stündlichen (*B_h*) und des spezifischen (*b*) Holzverbrauches ergab die in Zahlentafel 23 aufgeführten Werte.

Zahlentafel 23

Leistung und Verbrauch

Holz in	Leistung <i>N</i> PS	stündlicher Brennstoffverbrauch	
		<i>B_h</i> [kg/h]	spezifischer <i>b</i> [kg/PS · h]
Kanteln	34	28,3	0,83
Schnitzeln . . .	33,5	31,5	0,94

Die Leistung zeigt nur einen geringen Abfall, während der Verbrauch infolge des allzu raschen Zerfalles der kleinen (Fichten-) Holzschnitzel etwas ansteigt.

Der Vergleich der bei Verwendung beider Holzgrößen gewonnenen Gasanalysen bestätigt die Erfahrungen der Leistungsmessung, wie aus der Gegenüberstellung in Zahlentafel 24 hervorgeht.

Zahlentafel 24

Gasanalysen

Holz in	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	unterer Heizwert <i>H_u</i> [kcal/m ³]
Kanteln	19,2	14,6	3,2	—	12,9	—	50,1	1235
Schnitzeln	22,0	16,5	1,4	—	13,0	—	47,1	1214

Der untere Heizwert zeigt nur geringe Unterschiede, jedoch ist der Wert aus einer andersartigen Gaszusammensetzung entstanden. Die leicht zerfallenden kleinen Holzschnitzel bilden eine sehr feinkörnige Holzkohle, deren dichte Lagerung die Bildung von CO und H₂ begünstigt. Dagegen ist der Gehalt an Methan CH₄ wesentlich zurückgegangen. Die Gasbildung war stets gleichmäßig, übermäßige Brückenbildungen im nachrutschenden Holz wurden nicht beobachtet. Holzkohle bildete sich in durchaus genügender Menge nach, der Anteil der staubförmigen Holzkohle war jedoch bei Vergasung von Schnitzelholz größer als bei Verwendung von stückigem Holz.

Die Messung der Temperaturen (*t*) und des Unterdruckes (*p*) am Gaserzeuger bei den verschiedenen Drehzahlen läßt den Einfluß der feinkörnigen Holzkohle deutlich erkennen. Die Ergebnisse sind in Zahlentafel 25 zusammengefaßt.

Zahlentafel 25

Temperatur und Unterdruck im Drehzahlbereich

Drehzahl <i>n</i> 1/min	Kantel		Schnitzel	
	<i>t</i> [°C]	<i>p</i> [mm WS]	<i>t</i> [°C]	<i>p</i> [mm WS]
1300	—	—	555	144
1200	553	68	550	110
1100	545	64	535	95
1000	551	56	535	82
900	537	51	525	72

Bei nahezu gleichen Temperaturverhältnissen liegen die Werte des Unterdruckes bei Verwendung von Schnitzelholz erheblich über den mit stückigem Holz gewonnenen — eine Folge der anfallenden feinkörnigen Holzkohle. Im praktischen Fahrbetrieb dürfte daher zur Vermeidung von Verstopfungen eine häufigere Reinigung notwendig werden als bei größerem Holz.

Da der größte Teil des bei den obigen Versuchen verwendeten Weichholzes infolge mangelhafter Lagerung hinsichtlich seiner Beschaffenheit gelitten hatte, insbesondere rissig und splittrig geworden war, wurden bei einer weiteren Versuchsreihe je 250 kg Buchenholzkantel (8 cm × 20 cm²) und Buchenholzschnitzel (mittlere Stückgröße: 7,3 cm lang, 6,4 cm breit, 1,2 cm dick) guter Beschaffenheit vergast. Zur Versuchszeit war der Wassergehalt der Kantel etwa 26 %, der des Schnitzelholzes dagegen nur 21,5 %. Da beide Mengen dem nämlichen Holzvorrat entstammten, lassen die verschiedenen Werte der Wassergehalte erkennen, daß die Holzschnitzel infolge ihrer aufgeschlossenen Form Feuchtigkeit schneller abgeben — und selbstverständlich auch aufnehmen — als die Kantel.

Die Abb. 50 gibt über die an der Bremse bei verschiedenen Drehzahlen erzielte Motorleistung und über den spezifischen Holzverbrauch Aufschluß. Die Leistungsunterschiede sind so gering, daß sie praktisch ohne Bedeutung sind. Der stündliche und damit auch der spezifische Holzverbrauch ist bei Vergasung von Holzschnitzeln etwas höher als bei Verwendung von stückigem Holz. Dies ist, wie schon erwähnt, auf den schnellen Zerfall der Holzschnitzel zurückzuführen. Der spezifische Holzverbrauch nimmt in beiden Fällen mit wachsender Drehzahl ab.

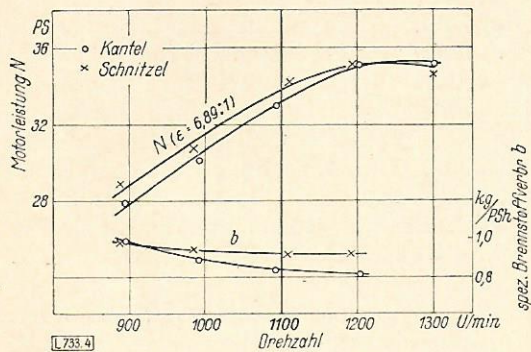


Abb. 50 Motorleistung und Holzverbrauch

Ein Vergleich der bei beiden Versuchsreihen gewonnenen Gasanalysen, die in Zahlentafel 26 aufgeführt sind, läßt wesentliche Unterschiede in der Gasqualität nicht erkennen.

Zahlentafel 26

Gasanalysen

Holz in	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	unterer Heizwert H _u [kcal/m ³]
Kanteln	19,9	18,3	3,4	0,2	14,8	—	43,4	1395
Schnitzeln	19,5	17,0	3,9	—	14,7	—	44,9	1365

Der hohe Heizwert ist darauf zurückzuführen, daß reines Buchenholz vergast wurde. Die Gasbildung war stets gleichmäßig. Die Gasmengenmessung ergab für beide Holzgrößen eine Gasausbeute von 2,2 m³/kg [0°C, 760 mm Hg]; unter Berücksichtigung des Wassergehaltes des Holzes ergibt sich für die Vergasung der Kantel ein chemischer Wirkungsgrad $\eta_{\text{chem}} = 78,5\%$, für die Vergasung der Schnitzel ein solcher von $\eta_{\text{chem}} = 72,5\%$.

In Zahlentafel 27 sind die Ergebnisse der Messungen der Temperatur (*t*) und des Unterdruckes (*p*) am Gaserzeuger bei verschiedenen Drehzahlen zusammengestellt.

Zahlentafel 27

Temperatur und Unterdruck im Drehzahlbereich

Drehzahl <i>n</i> [U/min]	Kantel		Schnitzel	
	<i>t</i> [°C]	<i>p</i> [mm WS]	<i>t</i> [°C]	<i>p</i> [mm WS]
1200	288	160	250	222
1100	283	145	253	189
1000	263	140	236	211
900	264	118	229	197

Hier zeigt sich wiederum der Einfluß der aus den Schnitzeln anfallenden feinkörnigen Holzkohle; der Unterdruck am Gaserzeuger liegt auch in dieser Versuchsreihe bei Vergasung von Schnitzelholz erheblich über den bei Vergasung von grobstückigem Holz gemessenen Werten.

Die Anlaufversuche, die in Abb. 51 dargestellt sind, ergaben, daß in beiden Fällen nach 5 min brennbares Gas vorhanden war und der Motor angelassen werden konnte. Die Holzgröße zeigte keinen Einfluß auf den Anstieg der Leistung; nach etwa 40 min

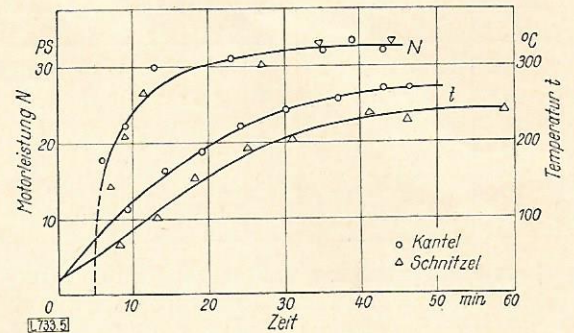


Abb. 51 Anlaufversuche

war der Beharrungszustand erreicht. Die Temperaturkurve liegt beim Versuch mit Schnitzelholz unter der bei Vergasung von Kanteln festgestellten Kurve (s. auch Zahlentafel 27).

Aus der Aufstellung in Zahlentafel 1 geht hervor, daß die Füllung eines Gaserzeugers bei Schnitzelholz um etwa 12 bis 20 % geringer ist als bei stückigem Holz, was auf die große Unregelmäßigkeit der Formen und der dadurch bedingten Zwischenräume zurückzuführen ist.

Für den praktischen Fahrbetrieb erscheint ein auf solche Weise zerkleinertes Holz als durchaus brauchbar, zumal die Unbequemlichkeiten einer etwas häufigeren Reinigung und des öfteren Nachfüllens gegenüber der erzielten Kostenersparnis nicht ins Gewicht fallen.

Der etwas größere Holzverbrauch je Leistungseinheit und der etwas geringere chemische Wirkungsgrad werden durch den nahezu verlustfreien Zerkleinerungsvorgang bei der Herstellung der Holzschnitzel gegenüber den Sägemehlverlusten bei Aufbereitung des Holzes zu Kanteln ausgeglichen.

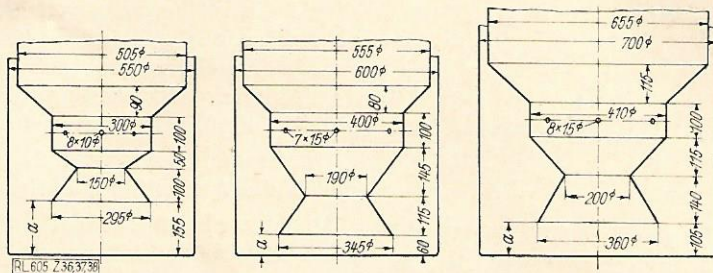
Generator und Motorgröße

Die Imbert-Gas-Generatoren-Gesellschaft hatte zu den folgenden Untersuchungen drei Gaserzeuger verschiedener Größe zur Verfügung gestellt. In den Abb. 52 bis 54 sind die Unterteile der Generatoren, welche die Bezeichnungen 150/550 (Abb. 52), 190/600 (Abb. 53) und 200/700 (Abb. 54) tragen, vereinfacht dargestellt. In diesen Bezeichnungen bedeutet die jeweils erste Zahl den kleinsten Durchmesser des Herdeinsatzes und die hinter dem Strich stehende den Manteldurchmesser des Generators. Alle Generatoren wurden an dem bereits näher beschriebenen Kämper-Motor bei einem Verdichtungsverhältnis $\varepsilon = 5,17:1$ untersucht. Mit der Type 150/550 waren außerdem die früher behandelten Untersuchungen an einem Hanomag-Schleppermotor, Bauform R 28,

durchgeführt worden. Dabei hatte sich, wie Abb. 30 erkennen ließ, gezeigt, daß mit Steigerung der Drehzahl stets eine Leistungssteigerung des Motors erzielt werden konnte. In bezug auf den Generator heißt das also, daß dieser bei den vom Motor im untersuchten Drehzahlbereich angesogenen Gasmengen noch nicht überlastet gewesen ist. Derselbe Generator (150/550) zeigt bei den mit dem 50 PS-Kämper-Motor aufgenommenen Leistungskurven (Abb. 55) bei Überschreiten einer Drehzahl von etwa $n=1200$ U/min einen bedeutenden Leistungsabfall. Hier-

bei den verhältnismäßig großen durchgesogenen Luftmengen nahezu restlos verbrennt (hoher CO_2 -Gehalt, hohe Temperaturen) und die zur Reduktion der Verbrennungsgase in brennbare Gase notwendige Holzkohle in ungenügender Menge nachgebildet wird. Die Gasqualität wird schlechter, infolgedessen nimmt die Leistung des Motors ab. Ein unterbelasteter Generator aber bleibt zu kalt, die zur Reduktion nötigen Temperaturen werden nicht erreicht, und außerdem besteht die Gefahr, daß sich ein kalter (dunkler) Kern im Herd bildet, durch den die in der

Abb. 52 bis 54
Imbert-Herdeinsätze



aus folgt, daß der Generator durch den Kämper-Motor überlastet wird, also ungünstig arbeitet, sobald n größer ist als 1200 U/min. Die beiden Kurven wurden bei der Vergasung von lufttrockenem Buchenholz (Wassergehalt etwa 17 %) und einer Stückgröße von 8×20 bis 25 cm^2 und 8×30 bis 50 cm^2 gefunden. Bei Verwendung von Buchenholz gleicher Stückgröße, aber mit einem Wassergehalt von 37 % ergab sich ein Kurvenzug, wie er in Abb. 55 strichpunktiert eingezeichnet ist. Für die vorliegende Betrachtung ist die erzielte geringere Leistung, die in diesem Falle auf die Verwendung nassen Holzes zurückzuführen ist, ohne Bedeutung, wichtig ist dagegen, daß die Charakteristik auch hier bei einer Drehzahl von über 1200 U/min deutlich einen Abfall der Leistung zeigt.

Versuche mit einem Gaserzeuger 190/600, bei denen Kiefernholz von einer Größe 8×30 bis 50 cm^2 und einem Wassergehalt von etwa 15 % vergast wurde, ergaben eine Leistungskurve, wie sie in Abb. 55 gestrichelt dargestellt ist. Aus dieser ist zu erkennen, daß zwischen $n=1300$ und $n=1400$ U/min die Höchstleistung erreicht wurde.

Bei Vergasung eines lufttrockenen Buchen-Fichtenholzgemisches mit einer Stückgröße von $16 \times 20 \text{ cm}^2$ in einem Generator 200/700 ist aus der Leistungskurve (Abb. 55) ersichtlich, daß in dem untersuchten Drehzahlbereich der Generator noch nicht vollbelastet gewesen ist.

Die am Kämper-Motor erzielten Höchstleistungen liegen für den Generator 150/550 bei $n=1200$ U/min, für den Generator 190/600 bei $n=1300$ bis 1400 U/min und für den Generator 200/700 bei einer Drehzahl über $n=1400$ U/min. Daraus geht hervor, daß für den Betrieb eines Motors von der Größenordnung des Kämper-Motors die Generatorgröße 150/550 gewählt werden muß, wenn die günstigste Belastung des Generators angestrebt wird.

Die Untersuchung zeigt allgemein, daß der Generator auf die Motorgröße abgestimmt sein muß. Überlastung eines Generators hat zur Folge, daß das Holz

Entgasungszone abgespaltenen Teerdämpfe unzersezt hindurchgesogen werden können und den Motor verunreinigen, wenn nicht sogar den Betrieb unmöglich machen.

Die Abb. 52 bis 54 zeigen weiterhin, daß die Herdeinsätze in allen Fällen zwar gleiche Grundformen, jedoch in ihren Abmessungen bemerkenswerte Un-

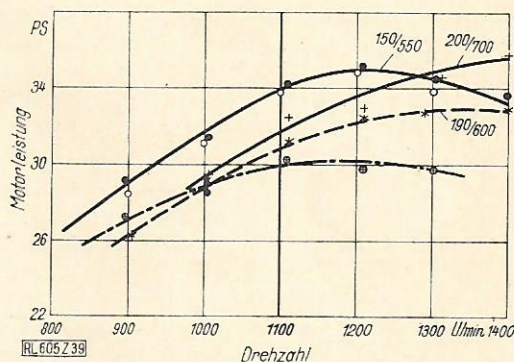


Abb. 55 Beziehungen zwischen Generatorgröße und Motorleistung

terschiede aufweisen. Ein besonders wichtiges Maß für die Betriebssicherheit ist das der „Bodenfreiheit“, womit der Abstand a des Herdes vom Boden der äußeren Generatorverkleidung bezeichnet sei.

Es war zu erwarten, daß der Unterdruck mit größer werdenden Generatoren infolge der größeren Querschnitte und daher geringeren Luft- bzw. Gasgeschwindigkeiten abnimmt. Beim Generator 190/600 dagegen waren in allen Fällen unverhältnismäßig hohe Unterdrücke festzustellen (vgl. Zahlentafel 28), die sich mit Sicherheit auf die zu geringe Bodenfreiheit, $a=60$ mm, zurückführen lassen. Mit dem Gaserzeuger konnte ein einwandfreier Betrieb längerer Dauer nicht erzielt werden, da er beständig zum Verstopfen neigte und deshalb oft durchgestoßen werden mußte. Durch diese geringe Bodenfreiheit

Zahlentafel 28

Bodenfreiheit und gemessener Unterdruck bei verschiedenen Generatorgrößen

Generatorgröße	Bodenfreiheit a mm	Unterdruck h [mm WS] bei Drehzahlen n [1/min] =				
		1300	1200	1100	1000	900
150/550	155	165	152	137	119	90
190/600	60	225	181	179	170	122
200/700	105	116	110	100	83	70

wird auch die Reinigung des Generators erschwert. Das Mindestmaß für die Bodenfreiheit dürfte $a = 100$ mm sein.

4. Untersuchungen an zwei Holzgaszeugern der Kromag A.-G.

Bauform „Kromag-Sagam“ Type C 2

In Abb. 56 ist der von der Kromag A.-G. für Werkzeug- und Metallindustrie in Hirtenberg (Nied.-Öst.) in Lizenz der Firma Sagam, Paris, gebaute Holzgaszeuger „Kromag-Sagam“ Type C 2 vereinfacht dargestellt. Der Generator arbeitet nach dem Prinzip der umgekehrten Verbrennung. Die zur Vergasung

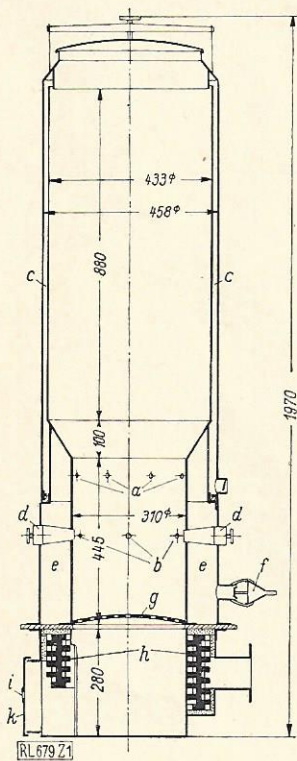


Abb. 56
Gaserzeuger „Kromag-Sagam“ Type C 2 der Kromag A.-G. in Hirtenberg (Nied.-Öst.)

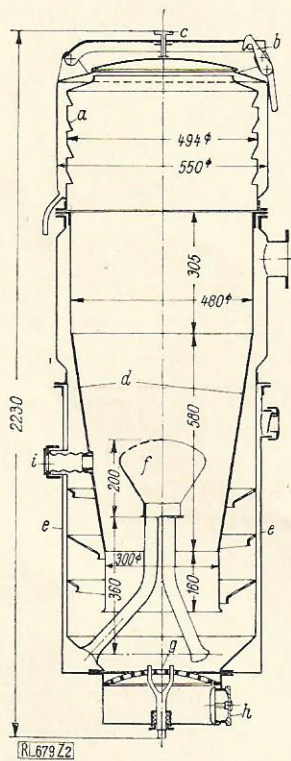


Abb. 57
Gaserzeuger „Kromag“ Type III Nr. 100 der Kromag A.-G. in Hirtenberg (Nied.-Öst.)

des Holzes nötige Luft wird teils unmittelbar durch zwei Düsenreihen a und b , teils als „Oberluft“ durch einen mit der Außenluft durch eine Luftklappe in Verbindung stehenden Doppelmantel c und den Vorratsraum der Brandzone zugeführt. Die Inbrandsetzung des Generators erfolgt durch zwei Zünd-

düsen d . Der Luftzutritt zu dem Luftraum e , der die eigentlichen Luftdüsen speist, erfolgt durch ein Membranventil f ; der freie Querschnitt des letzteren wird durch den am Ansaugestutzen des Motors jeweils herrschenden Unterdruck eingestellt. Mit dieser Einrichtung soll die Luftzufuhr zum Generator dem tatsächlichen Gasbedarf angepaßt werden.

Das Gas verläßt den zylindrisch ausgeführten Feuerkorb durch einen Rost g und wird durch einen mit Porzellankörpern gefüllten ringförmigen Raum h gesogen. Durch dauernde Verbrennung eines Teiles des Gases — die hierzu erforderliche Luft tritt durch die kleine Öffnung i ein — sollen die Porzellankörper in glühendem Zustand gehalten werden, womit erreicht werden soll, daß im Gas enthaltene Teerdämpfe verkracken und der vom Gas mitgeführte Wasserdampf zusätzlich zerlegt wird.

Durch den Rost fallende Ascheteilchen können durch die Aschentür k entfernt werden.

Die im Sommer 1932 angestellten Prüfstandsversuche zeigten, daß der verwendete Kämper-Motor bei einem Verdichtungsgrad $\varepsilon = 5,17:1$ eine erheblich geringere Leistung lieferte als beim Betrieb mit Generatoren anderer Herkunft. Versuche, durch Veränderung der Querschnitte der Luftdüsen bzw. durch eine andere Anordnung der letzteren den Gang des Generators wesentlich zu verbessern, schlugen fehl. Im nachstehenden sind die Versuchsbedingungen der einzelnen Versuche — Holzart und -größe, Angaben über die Düsenabmessungen — zusammengestellt.

Versuch Nr.	Holzart	Holzgröße	Einstellung der Düsen
1 bis 3	Buchenholz	8 cm × 10 cm ²	obere Reihe: 8 × 12 mm Dmr untere Reihe: geschlossen
4	Buchenholz	8 cm × 10 cm ²	obere Reihe: 8 × 11 mm Dmr. untere Reihe: 6 × 8 mm Dmr. + Zünddüsen
5 bis 10	Buchenholz	8 cm × 15 bis 20 cm ²	} wie bei Versuch 4
11	Buchenholz	8 cm × 30 bis 50 cm ²	
12	Fichtenholz	8 cm × 30 bis 50 cm ²	

Das verwendete Holz war lufttrocken, die Feuchtigkeit betrug etwa 15 bis 20 %. Die erzielte Leistung und der Leistungsabfall gegenüber Benzolbetrieb sind aus Zahlentafel 29 zu ersehen. Die Zusammensetzung des Gases und die Temperaturen am Gaserzeuger lassen beim Vergleich mit früheren Ergebnissen erkennen, daß der Generator vorbeschriebener Bauform die in der Oxydationszone entstehenden Verbrennungsgase nicht in dem Maße in brennbare Gase überzuführen imstande ist wie Gaserzeuger anderer Bauformen. Aus diesem Grunde liegt auch der spez. Brennstoffverbrauch über den bisher festgestellten Werten.

Die Gastemperaturen t_1 [°C] beim Austritt des Gases aus dem Generator sind sehr hoch, sie betragen etwa 400°C. Dies bedeutet eine hohe Wärmebelastung des Kühlsystems (die Gastemperatur vor der Kühl- und Reinigungsanlage ist mit t_2 [°C] bezeichnet). Schlechte Kühlwirkung hat hohe Gastemperaturen t_3 [°C] am Motor und damit verminderte Leistung infolge schlechter Füllung zur Folge.

Zahlentafel 29 Leistungen, spez. Holzverbrauch, Gasanalysen, Heizwerte, Temperaturen und Unterdruck. („Kromag-Sagam“ Type C 2)

Ver- such	Dreh- zahl	Lei- stung	Lei- stungs- abfall	Spez. Holzver- brauch	Gasanalysen							Heizwerte kcal/m ³		Temperatur °C			Unterdruck mm WS	
					Nr.	1/min	PS	%	kg/PSh	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	H _u	H _{Gem}
1	1200	31,0	43,1	1,23	18,7	14,7	2,6	0,6	14,1	—	49,3	1255	563	411	370	45	137	—
2	1100	28,8	44,6	1,01	17,3	16,3	2,6	0,3	15,0	—	48,5	1210	575	382	377	44	155	—
3	1000	28,7	41,0	1,06	19,4	17,5	2,5	0,5	13,5	—	46,6	1320	588	343	342	57	180	—
4	1100	28,6	45,0	—	15,3	16,0	3,5	0,2	13,5	—	51,5	1204	556	359	257	42	95	141
5	1400	28,6	51,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	427	406	33	155	250
6	1300	27,8	52,2	1,29	17,8	15,7	2,2	0,2	14,4	—	49,7	1163	563	393	400	35	142	209
7	1200	27,6	49,3	1,5	14,7	15,7	2,5	0,6	14,9	—	51,6	1137	540	407	391	34	135	197
8	1100	26,7	48,7	1,25	15,8	14,3	2,0	0,1	13,7	—	54,1	1030	535	416	360	34	106	158
9	1000	26,1	46,3	1,12	—	—	—	—	15,6	—	—	—	—	414	338	31	104	148
10	900	24,2	45,7	1,09	—	—	—	—	14,2	—	—	—	—	405	320	29	91	148
11	1100	27,0	48,1	—	11,6	19,0	—	0,9	15,8	—	52,7	968	510	396	288	44	123	157
12	1100	27,5	47,1	—	15,1	12,9	1,6	0,3	13,0	—	57,1	967	508	420	335	45	85	155

Der Unterdruck h_1 [mm WS] wurde am Generator, h_2 [mm WS] hinter der Reinigungsanlage gemessen.

Trotz der Zusatzeinrichtung der Porzellanglühkörper wies das Gas einen unverhältnismäßig hohen Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen $C_n H_{2n}$ auf. Die getroffene Anordnung der Zufuhr der Verbrennungsluft läßt nicht erwarten, daß eine am ganzen Umfang gleichmäßige Glühwirkung erzielt werden kann. Sauggasgeneratoren mit absteigender Verbrennung arbeiten bei richtiger Konstruktion und Einstellung auf die Motorstärke auch ohne diese Zusatzeinrichtung vollkommen teerfrei, wie die Versuche an Gaserzeugern anderer Bauart gezeigt haben.

Dichtungsflächen in der Höhe des Rostes sind unzweckmäßig, da Gefahr besteht, daß bei schadhafter Dichtung eine zusätzliche, sehr ungünstige Verbrennung des Gases auftritt und so der Volumenanteil der nicht brennbaren Gasbestandteile erheblich erhöht wird. Die Regelung der Luftzufuhr zum Gaserzeuger durch ein vom Unterdruck am Motor abhängiges Ventil ist bei Sauggasbetrieb überflüssig, da die angesogene Luftmenge an sich von der Anzahl der Saughübe des Motors und den Widerständen in der Zuleitung abhängig ist.

Einen Teil der Verbrennungsluft dem Generator als „Oberluft“ zuzuleiten, erweist sich unter Umständen als vorteilhaft, weil dadurch allenfalls möglichen Verpuffungen im Gaserzeuger vorgebeugt ist.

Bauform „Kromag“ Type III Nr. 100

Der in Abb. 57 vereinfacht dargestellte Gaserzeuger dient zur Vergasung von lufttrockenem Holz. Der Generator ist zum Einbau in Kraftfahrzeuge geeignet, da erschütterungsempfindliche Werkstoffe, wie Porzellan, vermieden sind.

Der Oberteil des Gaserzeugers ist mit einem Schweleinsatz a versehen. Die sich niederschlagenden Kondensate werden in einem etwas tiefer angeordneten Topf gesammelt und können von Zeit zu Zeit abgelassen werden. Der aus Stahlblech gepreßte Verschlussdeckel ist an einem kräftigen U-Profil-Bügel nachstellbar befestigt. Der Verschluss erfolgt durch Herabdrücken des als Kniehebel ausgebildeten Handhebels b . Der Dichtungsring ist, um Beschädigungen beim Nachfüllen des Holzes sicher zu ver-

meiden, in einer Nute am Deckel eingelassen. Ein etwaiges Zusammenpressen der Dichtungsmasse kann mittels der Schraube c , mit welcher der Abstand des Deckels vom Bügel eingestellt wird, ausgeglichen werden. Damit ist ein sicheres Schließen des Deckels immer gewährleistet. An den Schweleinsatz schließt sich der Feuerkorb d an, dessen am meisten der Hitze ausgesetztes Mantelteil aus einem Werkstoff von Sondergüte Phönix „R 1“ gefertigt ist. Das schwach konisch sich verjüngende Teil setzt sich nach unten in einem kurzen Zylinderstück fort.

Die zur Vergasung nötige Luft tritt durch drei am Umfang um 120° versetzt angeordnete Luftklappen in den Mantelraum e ein. Im Gegenstrom zum abziehenden Gas wird die Luft vorgewärmt und gelangt durch drei Rohre zu der brausenförmig aus Sonderwerkstoff „R 1“ gefertigten Düse f , deren ballige Oberseite 43 Löcher von je 5 mm Dmr. aufweist. Die drei Zuleitungsrohre (Werkstoff: Poldi Antox) stellen die Befestigung der Düse dar und dienen noch einer weiteren Vorwärmung der Luft. Im Gasabsaugeraum angeordnete Blechschirme sollen einen möglichst gleichmäßigen Gasabzug bewirken. Durch einen Rost, der von außen gerüttelt werden kann, wird die Holzkohle entascht. Die Asche ist durch den Verschluss h zu entfernen. Die Inbrandsetzung des Generators erfolgt durch zwei Zündlöcher i .

Außer bei der ersten Inbetriebsetzung ist es nicht erforderlich, Holzkohle auf- oder etwa von außen nachzufüllen. Bewegliche Teile bzw. Türen sind außer dem Einfülldeckel und der Aschentür nicht vorhanden. Nach Abschrauben des Aschenkastens fällt der Gesamtinhalt des Gaserzeugers heraus, wodurch bei der Generalreinigung die Putzarbeit sehr vereinfacht wird.

Das Gewicht des leeren Generators beträgt etwa 150 kg.

Die von den ersten Versuchen her vorhandene Reinigungsanlage, welche bei der neuen Bauform wesentlich vereinfacht ist, besteht aus einem Grobreiniger mit Stahlspänefüllung, an den sich ein Röhrenkühler schließt. Letzterer wurde bei den Laboratoriumsversuchen mit Durchflußkühlung gekühlt. Hinter dem Kühler war ein Feinreiniger (Abb. 58 und 59) angeordnet, vor dessen vier parallel

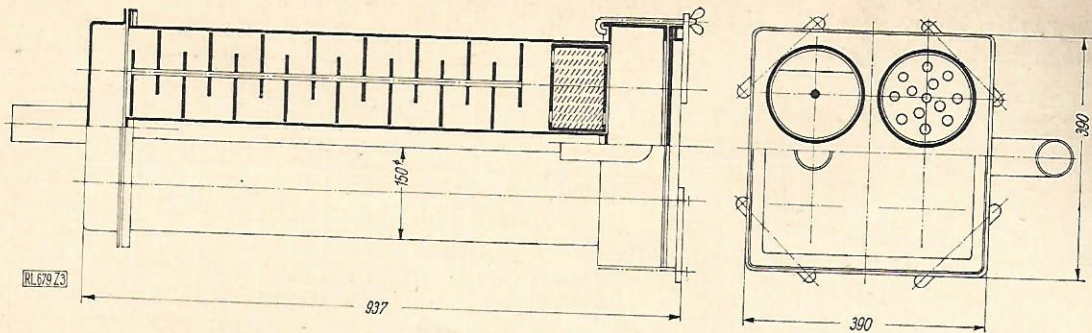


Abb. 58 u. 59
Feinreiniger
der Kromag
A.-G.

geschalteten Prallblechreinigern mit Holzwollefüllung das Gas je eine mit Raschigringen gefüllte Patrone durchströmen muß. Der gasdichte Verschluss der Reinigungselemente wird durch Anwendung glatter, mit einer Dichtung versehenen Deckel erzielt, die mittels Spannbügel, Hakenschrauben und Flügelmuttern angepreßt werden.

Zum Anblasen dient ein an die Starterbatterie anzuschließender Elektroventilator, dessen Gehäuse aus Blech gepreßt ist.

Das Gewicht der Gesamtanlage einschließlich Rohrleitungen beträgt etwa 300 kg.

Die Versuche wurden am Kämper-Motor bei einer Verdichtung von $\epsilon = 8,89:1$ durchgeführt. Die Ergebnisse einer Drehzahlversuchsreihe — die Einzelversuche erstreckten sich durchschnittlich über eine Zeit von dreiviertel Stunden — sind in Zahlentafel 30

Zahlentafel 30

Leistung, Brennstoffverbrauch und Leistungsabfall. („Kromag“ Type III Nr. 100)

Drehzahl 1/min	Bremsleistung PS	Brennstoffverbrauch		Leistungsabfall	
		stündl. kg/h	spez. kg/PSh	PS	%
1312	43,9	—	—	12,1	21,6
1187	41,7	34,2	0,82	12,3	22,8
1105	40,4	34,0	0,84	11,6	22,3
997	36,2	27,8	0,77	12,4	25,5
904	32,3	28,7	0,89	12,3	27,6

zusammengefaßt. Vergast wurde ein Buchen-Fichtenholzgemisch von einer Stückgröße 8 cm × 20 bis 25 cm² und einem Wassergehalt von $F = 11,8\%$. Die erzielte Leistungskurve und der Verlauf des spez. Holzverbrauches sind in Abb. 60 dargestellt. Ein Vergleich der Holzgas- und Benzolleistungen zeigt, daß der Leistungsabfall in % der Benzolleistung, Zahlentafel 30, mit steigender Drehzahl abnimmt. Bei der

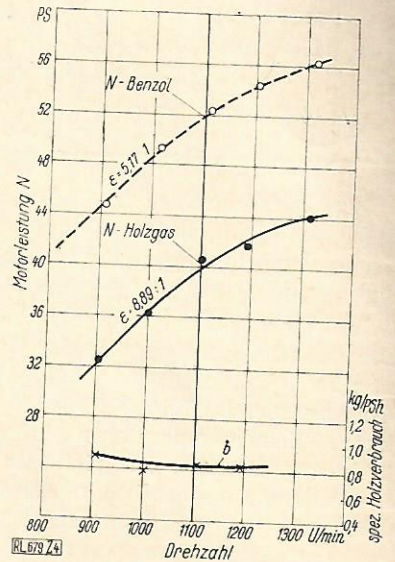


Abb. 60
Motorleistung und
spez. Holzverbrauch
bei verschiedenen
Drehzahlen

Normaldrehzahl $n = 1100$ U/min wurde eine Minderleistung von 22,3 % festgestellt. Der spez. Holzverbrauch liegt zwischen 0,8 und 0,9 kg/PSh und ist über den ganzen Drehzahlbereich nahezu konstant.

Die während dieser Versuchsreihe genommenen Gas- und Abgasanalysen, ebenso die Heizwerte, Temperaturen und der am Generator gemessene Unterdruck h [mm WS] sind in Zahlentafel 31 aufgeführt. Dabei bedeutet t_1 die Temperatur des Gases beim Verlassen des Generators, t_2 die Temperatur des Gases nach den Reinigern vor der Mischung mit der Verbrennungsluft, t_A die Auspufftemperatur und t_K die Kühlwassertemperatur.

Das Gas weist im allgemeinen die übliche Zusammensetzung auf; der verhältnismäßig große Anteil der schweren Kohlenwasserstoffe $C_n H_{2n}$ ist auf die besondere Form der Herdausbildung zurückzuführen.

Zahlentafel 31 Gas- und Abgasanalysen, Heizwerte, Temperaturen und Unterdruck. („Kromag“ Type III Nr. 100)

Drehzahl 1/min	Gasanalysen							Abgasanalysen		Unterer Heizwert kcal/m ³	Gemisch-Heizwert kcal/m ³	Temperaturen °C				Unterdruck mmWS
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	O ₂			t ₁	t ₂	t _A	t _K	
1312	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	397	38	595	79	127
1187	20,6	21,0	1,2	0,24	10,3	—	46,7	16,0	2,0	1304	578	392	35	591	77	112
1105	21,0	18,5	0,85	0,21	9,65	—	49,8	17,0	3,4	1218	541	377	32	584	75	80
997	19,4	19,0	1,2	0,36	11,1	—	48,9	16,8	3,2	1232	544	361	31	557	77	94
904	18,4	18,9	0,95	0,23	12,2	—	49,3	15,0	6,0	1160	483	370	32	536	72	60

Holzart (8 cm · 20 cm ²)	Drehzahl <i>n</i>	Leistung <i>N</i>	Leistungsabfall		Verbrauch		Luftüberschusszahl <i>λ</i>	Gasanalysen						Heizwerte		Temperaturen				Unterdruck <i>h</i>	
			PS	%	<i>B</i> kg/h	<i>b</i> kg/PSh		CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	<i>H_u</i> kcal/m ³	<i>H_{Gem}</i> kcal/m ³	<i>t</i> ₁ °C	<i>t</i> ₂ °C	<i>t</i> _A °C		<i>t</i> _K °C
Buche und Fichte F = 11,8%	1105	40,4	11,5	22,2	34,0	0,84	1,19	21,0	18,5	0,9	0,2	9,7	—	49,7	1218	541	377	32	584	75	80
Buche F = 11,5%	1099	40,1	11,8	22,75	38,7	0,97	1,19	24,2	17,8	1,3	0,2	9,8	—	46,7	1328	563	411	33	570	76	100
Fichte F = 11,9%	1100	36,6	15,3	29,5	25,8	0,71	1,19	20,9	16,5	1,46	0,1	9,8	—	51,24	1199	536	450	43	555	74	145

Die Abgasanalysen weisen hohe Werte von Sauerstoffüberschuß O₂ auf, die auf zu großen Luftüberschuß bei der Holzgas-Luft-Gemischbildung schließen lassen. Schlechte Gemischbildung hat aber einen verringerten Gemischheizwert zur Folge.

Die Ergebnisse der bei Normaldrehzahl mit verschiedenen Holzarten durchgeführten Versuche sind in Zahlentafel 32 vereinigt. Eine Mischung von Buchen- und Fichtenholz zu etwa gleichen Raumteilen erwies sich als vorteilhaft. Sowohl die absolute Leistung wie auch der Leistungsabfall in % der Benzolleistung nahmen bei der gleichzeitigen Verwendung beider Holzarten günstigste Werte an. Bemerkenswert ist auch noch der geringe Unterdruck bei Gemischholzbetrieb gegenüber dem hohen Wert bei reinem Fichtenholzbetrieb. Bei letzterem wächst infolge der leicht zerfallenden Holzkohle der Strömungswiderstand rasch an, und der Gaserzeuger muß deshalb öfters gerüttelt und gereinigt werden.

rüttelt. Zur Erreichung der günstigsten Leistungen mußte der Zündzeitpunkt auf etwa 33° vor dem oberen Totpunkt eingestellt werden.

Der Barometerstand war in allen Fällen, von geringfügigen Schwankungen abgesehen, *b_t* = 708 mm Hg für *t* = 16°C.

Während der ganzen Versuchsdauer arbeitete der Generator störungsfrei. Seine Wartung ist einfacher als die anderer Bauarten, da ein Nachfüllen einer äußeren Holzkohlenschicht überflüssig ist und die Entaschung der im Reduktionsraum vorhandenen Holzkohle durch einen von außen zu betätigenden Rüttelrost erreicht werden kann.

Der Generator erkaltet infolge seines dreifachen Mantels sehr langsam und braucht deshalb auch nach längerem Stillstand nicht aufs neue in Brand gesteckt zu werden. Wünschenswert erscheint ein etwas größeres Fassungsvermögen des Generators, um allzu häufiges Tanken vermeiden zu können. Bei plötzlichem Stillsetzen des Motors tritt ein lästiges „Nachrauchen“ des Gaserzeugers ein, das vermieden werden sollte. Die Fertigung ist vorbildlich.

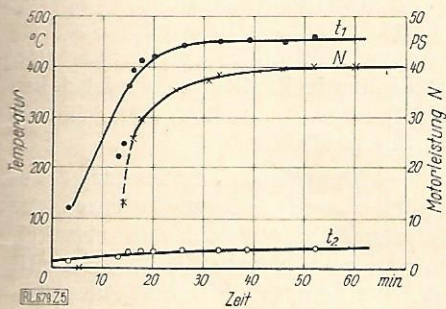


Abb. 61. Anlaufkurven eines Gaserzeugers Bauart „Kromag“ Type III Nr. 100 der Kromag A.-G. in Hirtenberg (Nied.-Öst.)

Ein Anlaufversuch, der in Abb. 61 dargestellt ist, läßt die Zeit (etwa 40 Minuten) bis zur Erreichung des Beharrungszustandes erkennen. Eine Störung beim Anlassen des Motors verschob die Leistungskurve seitlich etwas. Nach etwa 5 Minuten Anblasen war gutes, brennbares Gas vorhanden — dieser Punkt ist auf der Abszissenachse durch einen Stern gekennzeichnet und als Ausgangspunkt der Leistungskurve zu werten.

Während der Durchführung obiger Versuchsreihen wurde der Gaserzeuger etwa entsprechend den Erschütterungen des praktischen Fahrbetriebes ge-

5. Untersuchungen an einem Holzgaserzeuger der Humboldt-Deutzmotoren A.-G.

Der Gesamtaufbau des in Abb. 62 vereinfacht dargestellten Gaserzeugers, Bauart KU, ähnelt der bereits früher beschriebenen Bauform KU 3.

Das Oberteil des Gaserzeugers ist mit einem Schweißeinsetz ausgerüstet. Das sich aus Wasser- und Teerdämpfen bildende Kondensat kann durch einen Hahn abgelassen werden. Die zur Vergasung nötige Luft wird durch eine Rand- und eine zylindrische Mitteldüse der Oxydationszone zugeführt. Die Randdüse *a* ist durch Einschweißen des kegelförmigen Feuerkorbes in das zylindrische Oberteil entstanden; die Zuführung der Frischluft erfolgt durch eine mit einer Rückschlagklappe versehene Öffnung *b*. Zur Erzielung einer gleichmäßigen Luftverteilung ist die Ringdüse mit Löchern versehen, deren Querschnitte mit wachsendem Abstand von der Lufteintrittsöffnung zunehmen. Da der Stutzen *b* durch den Gasabsaugeraum führt, muß er gegen diesen sorgfältig abgedichtet werden. Der aus hochhitzebeständigem, nickelchromhaltigem Werkstoff hergestellte Feuerkorb *c* weist eine besondere Form auf, durch die eine Vergrößerung des Reduktionsraumes erreicht wird.

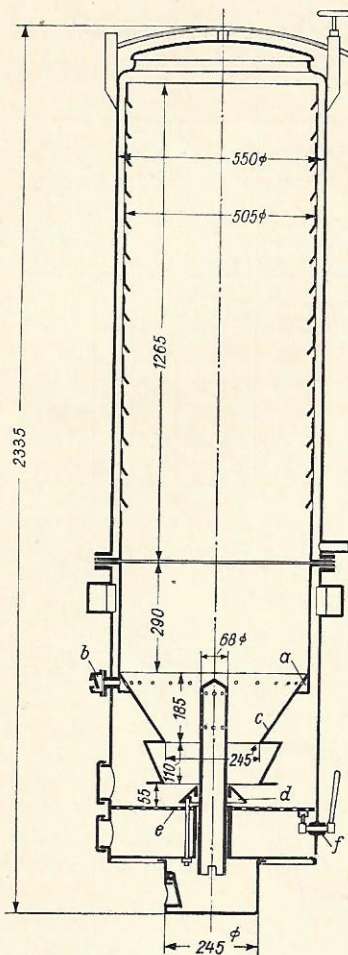


Abb. 62
Deutzer Kleingaserzeuger KU

Die Höhenlage des kegelig ausgebildeten Schirmes *d* kann von außen verändert werden. Durch die damit erzielbare Querschnittsverengung soll eine Anpassung der zur Reduktion notwendigen Holzkohlenmenge an die Belastung des Gaserzeugers ermöglicht werden. Das Rüttelsieb *e* kann von außen durch einen Hebel betätigt werden. Auf die Dichtheit der Stopfbüchse *f* ist größter Wert zu legen, da bei etwaigem Eintreten von Luft im Gasabsaugeraum eine Teilverbrennung des Gases stattfinden kann. Um einen möglichst gleichmäßigen Gasabzug zu erreichen, sind zwei einander gegenüberliegende Gasabzugstutzen angeordnet.

Die Reinigungsanlage besteht aus vier mit Prallblecheinsätzen versehenen Reinigern, deren Länge 1,8 m und deren Durchmesser 18 cm beträgt. Beim

Zahlentafel 33 Gas- und Abgasanalysen, Heizwerte, Temperaturen und Unterdruck (Deutz Type KU)

Drehzahl <i>n</i> 1/min	Gasanalysen							Abgasanalysen		Luftüberschußzahl λ	Unterer Heizwert H_u kcal/m ³	Gemisch-Heizwert H_{Gem} kcal/m ³	Temperaturen				Unterdrücke	
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	O ₂				t_1 °C	t_2 °C	t_A °C	t_K °C	p_1 mm WS	p_2 mm WS
1300	18,5	13,0	2,2	0,2	12,0	—	54,1	17,5	0,9	1,044	1115	549	420	21	582	72	185	380
1200	17,5	14,0	2,4	—	13,1	—	53,0	15,5	1,5	1,076	1099	547	379	19	584	74	160	344
1100	19,7	14,6	2,8	—	13,4	—	49,5	15,8	1,9	1,100	1216	556	396	20	562	74	141	306
1000	17,0	16,4	2,2	0,2	14,9	—	49,3	13,9	2,0	1,105	1155	540	382	19	542	74	135	279
900	18,0	13,9	3,4	—	12,6	—	52,1	15,1	1,3	1,065	1197	553	378	18	525	77	105	198

Laboratoriumsversuch wurden die Reiniger zur Kühlung berieselt.

Die Versuche im Laboratorium wurden am Kämper-Motor bei einer Verdichtung von $\epsilon = 6,89:1$ durchgeführt. Vergast wurde dabei ein Gemisch aus gleichen Raumteilen Buchen- und Fichtenholz, dessen

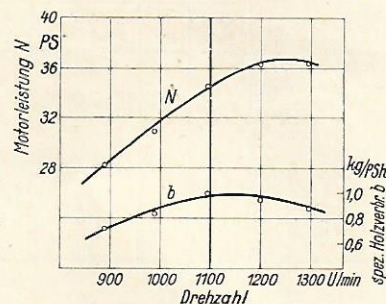


Abb. 63
Motorleistung und spez. Brennstoffverbrauch (Deutz KU)

Stückgröße 8 cm × 20 bis 25 cm² war. Der mittlere Wassergehalt betrug etwa 14 %. Die im Drehzahlbereich erzielte Leistungskurve und der Verlauf des spez. Holzverbrauchs sind in Abb. 63 dargestellt. Bei der Normaldrehzahl $n = 1100$ U/min beträgt die Minderleistung gegenüber Benzolbetrieb ($\epsilon = 5,17:1$) 33,5 %. Der spez. Holzverbrauch weist bei der Normaldrehzahl einen Höchstwert von etwa 1,0 kg/PSH auf. Der mittlere Barometerstand war bei allen Versuchen etwa $b_t = 715$ mm Hg für $t = 21,5^\circ\text{C}$.

Die während der Versuchsreihe genommenen Gas- und Abgasanalysen, ebenso die Heizwerte, Temperaturen und Unterdrücke sind in Zahlentafel 33 zusammengestellt. Darin bedeutet t_1 die Temperatur des Gases beim Verlassen des Gaserzeugers, t_2 die Temperatur des Gases nach den Reinigern vor der Mischung mit der Verbrennungsluft, t_A die Auspufftemperatur und t_K die Kühlwassertemperatur.

Bei der Gaszusammensetzung ist der verhältnismäßig hohe Anteil des Methans CH₄ bemerkenswert. Die Heizwerte weisen normale Höhe auf. Das Gas verläßt den Generator mit einer Temperatur von etwa 400 °C; beim Einbau in Kraftfahrzeuge ist daher das Unterteil des Gaserzeugers mit einer Wärmeschutzhülle zu umgeben.

Der Unterdruck p_1 [mm WS], am Generator gemessen, ist, verglichen mit den an Gaserzeugern anderer Bauart festgestellten Werten als ziemlich hoch anzusehen. Diese Tatsache läßt sich mit Sicherheit auf die geringe Bodenfreiheit (der Abstand zwischen der Unterkante des Feuerkorbes und dem Rüttelsieb beträgt 55 mm) zurückführen.

Ein Anlaufversuch, der in Abb. 64 dargestellt ist, läßt erkennen, daß nach etwa 9 min brennbares Gas vorhanden war und der Motor angelassen werden konnte. Der Beharrungszustand wurde nach ungefähr 30 min erreicht.

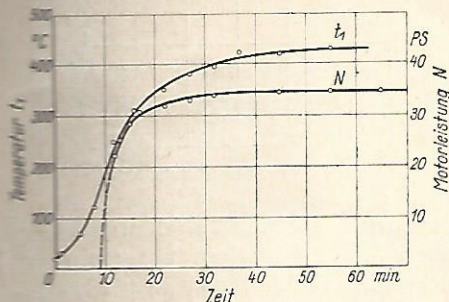


Abb. 64. Anlaufkurven eines Gas-erzeugers „Deutz KU“

Während der Durchführung dieser Versuche wurde der Gaserzeuger entsprechend den Erschütterungen des praktischen Fahrbetriebes gerüttelt. Der Zündzeitpunkt war auf etwa 33° vor dem oberen Totpunkt eingestellt. Die Versuche konnten störungsfrei durchgeführt werden. Die Möglichkeit, die Holzkohle durch das von außen zu betätigende Rüttelsieb auch während des Betriebes zu entaschen, erwies sich nach Anbringung eines genügend langen Hebels als vorteilhaft.

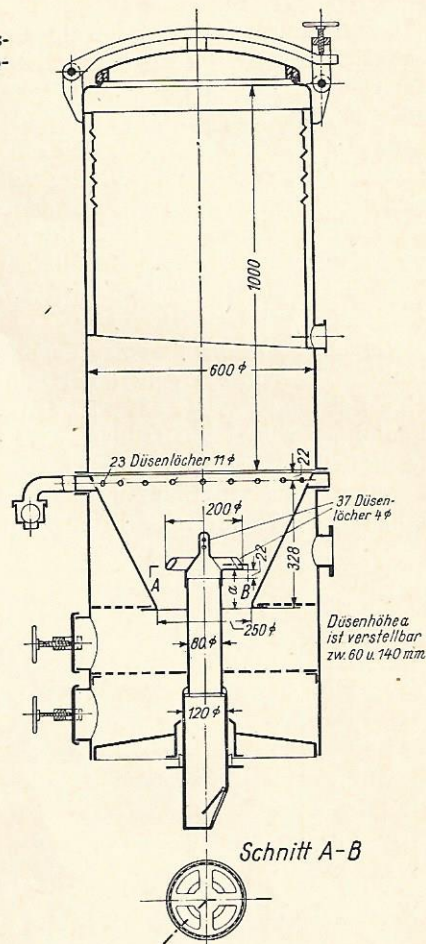
6. Untersuchungen an einem Holzgas-erzeuger der Framo-Werke G. m. b. H., Frankenberg i. Sa.

Der zur Untersuchung zur Verfügung gestellte Holzgas-erzeuger, eine Erstaussführung, war mit einer Ring- und einer tellerförmigen Mitteldüse (Abb. 65) ausgerüstet. Als Versuchsmotor diente der Kämper-Motor, dessen Verdichtungsverhältnis auf $\epsilon = 6,89:1$ eingestellt war. Bei den Versuchen ergab sich bei Normaldrehzahl des Motors $n = 1100$ U/min eine Leistung von nur $N = 22$ PS. Der Teergehalt des Gases war so hoch, daß ein Betrieb von längerer Dauer wegen der Gefahr einer Verschmutzung des Motors unmöglich war. Bei der Wiederholung des Versuches mit tiefer gestellter Düse wurde bei $n = 1100$ U/min wiederum die Leistung zu $N = 22$ PS festgestellt. Der CO_2 -Gehalt des Gases betrug etwa 19 %, der Gehalt an teerigen Bestandteilen war noch so groß, daß ein Betrieb nicht möglich erschien. Diese Ergebnisse waren mit Sicherheit auf das Mißverhältnis zwischen der Größe der Luft Eintrittsöffnungen an der Ring- und an der Mitteldüse zurückzuführen.

Aus diesem Grunde wurde die Ringdüse bei einem weiteren Versuch vollständig ausgeschaltet. Die Leistung war wiederum $N = 22$ PS bei $n = 1100$ U/min; dabei waren Undichtheiten am Ringflansch festzustellen. Der Teergehalt war immer noch erheblich. Bei einem weiteren Versuch wurden von den 23 Bohrungen der Ringdüse 17 verschlossen. Die Leistungsmessung ergab bei einem etwas geringeren Teergehalt und etwa 13,5 % CO_2 -Gehalt eine Steigerung auf $N = 29,8$ PS.

Alle diese Versuche zeigten, daß die Tellerform der Mitteldüse ein gleichmäßiges Nachfallen der zur Reduktion notwendigen Holzkohle hinderte. Durch die so verursachten Hohlräume konnten die teerigen Bestandteile unverbrannt und unzersetzt wieder ab-

Abb. 65. Holzgas-erzeuger der Framo-Werke G. m. b. H.



ziehen. Da Teer im Gas eine stete Gefahr für den Motor bildet und nur bei völliger Teerfreiheit ein sicherer Betrieb des Motors gewährleistet ist, war die Beseitigung dieses Übelstandes die wichtigste Aufgabe vor weiteren Versuchen.

Die bisherigen Versuche ließen erkennen, daß ohne grundlegende Eingriffe in den Bau und damit in den Gang des Gaserzeugers weitere Verbesserungen nicht zu erwarten waren.

Es wurde infolgedessen an Stelle der Tellerdüse eine einfache, kegelig ausgebildete Düse (s. Abb. 66) eingebaut. Das Ergebnis war bei $n = 1100$ U/min eine Motorleistung von $N = 34$ PS. Das Gas war nahezu teerfrei und wies 12,2 % CO_2 auf. Daraufhin wurde die Düse höher gestellt und mit dieser Einstellung eine Motorleistung $N = 35,7$ PS bei $n = 1100$ U/min festgestellt. Jedoch waren hierbei wieder größere Mengen Teer im Gas nachweisbar.

Der Einbau einer gleichartigen, also einfach gestalteten Düse mit größerem Durchmesser ergab zwar nur noch geringe Mengen Teer, hingegen ging die Leistung auf etwa $N = 33$ PS zurück. Der CO_2 -Gehalt des Gases war etwa 12 %. Um völlige Teerfreiheit des Gases zu erreichen, wurden an der Ringdüse 5 Löcher, am Umfang gleichmäßig verteilt, aufgebohrt. Bei teerfreiem Gas war die Leistung etwa 31 PS, der CO_2 -Gehalt ging auf 10,6 % zurück.

Bei richtiger Wahl der Abmessungen des Erzeugers ist eine Luftzuführung durch Mittel- und Ringdüse erfahrungsgemäß nicht notwendig. Bei einem Versuch, bei dem sämtliche Öffnungen der Ringdüse verschweißt, dafür aber die Querschnitte der Luft-

eintrittöffnungen an der eingebauten Tellerdüse vergrößert waren, lieferte der Erzeuger nahezu teerfreies Gas, der Motor leistete bei $n=1100$ U/min $N=35$ PS. Bei einer Drehzahl $n=1200$ U/min sank die Leistung auf $N=33,6$ PS. Hierbei war das Gas praktisch teerfrei. Ferner zeigte sich jedoch, daß der Gaserzeuger bei Schwankungen in der Gasentnahme entweder zur Teerbildung neigte oder aber an Leistung sehr verlor. Um diesem Übelstand abzuhelfen, wurde seitens der Verfasser eine Änderung des Feuerkorbes vorgeschlagen.

Versuche mit dem neuen Feuerkorb und eingebauter Tellerdüse ergaben bei völliger Teerfreiheit eine Leistung von $N=33$ PS. Jedoch wurden dabei häufig — wie schon früher — Hohlrumbildungen festgestellt. Infolgedessen wurde die schon erwähnte kegelige Düse eingebaut und deren günstigste Stellung durch Versuche ermittelt. Mit der in Abb. 66

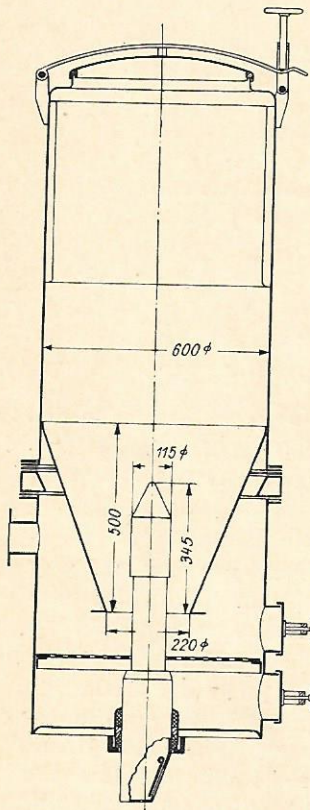
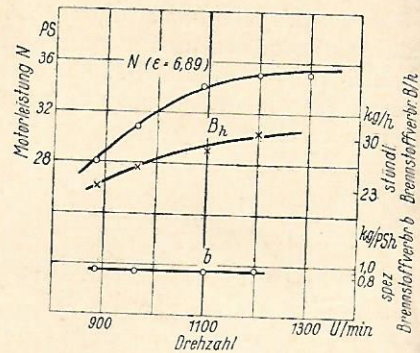


Abb. 66 Holzgaserzeuger der Framo-Werke G. m. b. H.

gezeichneten Einstellung wurde eine Versuchsreihe gefahren, deren Einzelergebnisse in der Zahlentafel 34 aufgeführt sind. Die Motordauerleistung, der stündliche und spez. Holzverbrauch sind in Abb. 67

Abb. 67 Motorleistung und Brennstoffverbrauch eines Gaserzeugers der Framo-Werke G. m. b. H.



dargestellt. Vergast wurde — wie bei allen vorhergehenden Versuchen — ein Gemisch aus gleichen Raumteilen Buchen- und Fichtenholz; der Wassergehalt betrug etwa 12 %. Die Holzstücke waren etwa 8 cm lang und wiesen einen Querschnitt von 20 bis 25 cm² auf. Der Holzverbrauch ist als günstig anzusehen. Vorübergehend konnte die Leistung durch Erschüttern des Gaserzeugers mühelos um etwa 6 bis 8 % gesteigert werden. Dieser Unterschied zwischen der Dauerleistung und der Höchstleistung ist mit Sicherheit auf Brückenbildungen der Holzstücke im Erzeuger zurückzuführen. Da der neue Feuerkorb nur behelfsmäßig eingesetzt war, entstand an der Übergangsstelle zwischen diesem und dem zylindrischen Oberteil eine Stufe, die zu den Brückenbildungen Anlaß gab. Daneben dürfte auch die große Lochung am Schweißensatz das störungsfreie Nachgleiten des sperrigen Holzes hindern — Mängel, die leicht beseitigt werden können.

Die Gasanalysen weisen einen verhältnismäßig hohen Gehalt an CO₂ auf. Dies ist eine Folge der erwähnten Hohlrumbildungen. Sehr günstig ist der große Anteil an CH₄. Die übrigen Werte entsprechen normaler Vergasung. Um sie miteinander vergleichen zu können, sind sie auf luftfreies Gas bezogen. Der untere Heizwert H_u und der Gas-Luft-Gemischheizwert H_{Gem} entsprechen dem praktisch Erreichbaren. Die Temperaturen t_1 des Gases, die beim Austritt des Gases aus dem Gaserzeuger gemessen wurden, sind sehr hoch. Zweckmäßig wird die Wärmeenergie des abziehenden Gases zur Vorwärmung der Vergasungsluft herangezogen. Dadurch wird der Wirkungsgrad des Gaserzeugers verbessert. Die Temperatur t_2 wurde nach der Kühlung vor der Mischung mit der Verbrennungsluft gemessen; t_A ist die Auspufftemperatur, t_K die Kühlwassertemperatur. Der Unterdruck p_1 wurde am Gaserzeuger, p_2 vor der Mischung mit der Luft in der Mischdüse gemessen.

Zahlentafel 34 Gas- und Abgasanalysen, Heizwerte, Temperaturen und Unterdruck (Framo)

Drehzahl	Frischgasanalysen							Unterer Heizwert kcal/m ³	Abgasanalysen			Gemisch-Heizwert kcal/m ³	Temperaturen °C				Unterdrücke mm WS	
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂		CO ₂	O ₂	CO		t ₁	t ₂	t _A	t _K	p ₁	p ₂
1200	18,9	13,2	4,1	—	12,7	—	51,1	1271	18,5	1,6	0,1	569	553	34,5	572	86	68	435
1100	19,4	16,0	3,6	—	12,9	—	58,1	1311	17,7	2,0	0,9	574	545	32	557	88	64	365
1000	19,3	14,2	2,7	0,3	13,0	—	50,5	1220	18,7	1,7	0,1	555	551	30	523	85	55	193
900	19,1	18,2	2,5	0,2	13,2	—	51,2	1205	19,2	1,4	—	560	537	28,8	495	86	51	195

Die Versuche haben gezeigt, daß mit dem Gaserzeuger in der neuen vereinfachten Bauform bei teerfreiem Gas eine Motordauerleistung von $N=34$ PS ($n=1100$ U/min) erzielt werden konnte gegen eine Leistung von ursprünglich 22 PS bei stark teerhaltigem Gas.

7. Untersuchungen an einem „Abogen“-Holzkohlengaserzeuger der Holzkohlenverkaufsstelle G. m. b. H., Frankfurt a. M.

Vorbemerkung

Die bisher durchgeführten Versuche an Holzgasern für Kraftfahrzeuge haben gezeigt, daß bei Vergasung von lufttrockenem Holz entsprechender

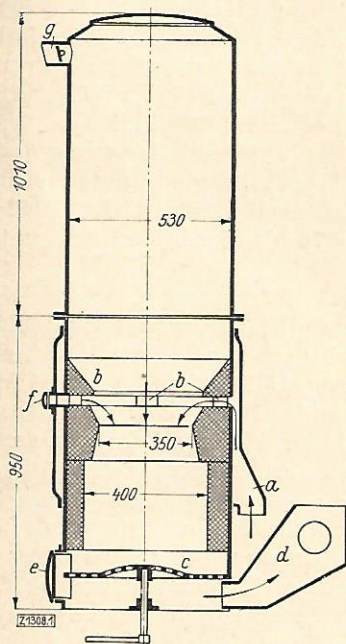


Abb. 68. Holzkohlen-Gaserzeuger „Abogen“

Stückgröße und bei sorgfältiger Wartung der Anlage ein mit Holzgas betriebenes Lastkraftfahrzeug durchaus betriebssicher ist. Der billige Betriebsstoff „Holz“ gewährleistet erhebliche Ersparnisse an den Betriebskosten. Die bei der Vergasung von Holz in der Schwelzone entstehenden unerwünschten Stoffe, wie Teer, Holzessig und der im Übermaß vorhandene Wasserdampf, werden zum Teil in einem sog. Schwelinsatz am Oberteil des Gaserzeugers abgesondert und nach außen abgeführt. Der Rest dieser Dämpfe wird durch die Feuerzone gesogen und hier unschädlich gemacht, so daß Betriebsstörungen vermieden werden.

Es war naheliegend, auch Stoffe zu vergasen, die von vornherein frei von unerwünschten Schwelprodukten sind und infolgedessen betriebssicherer erscheinen.

Als besonders hochwertiger Brennstoff ist die Holzkohle zu nennen, die als Retortenholzkohle bei der Essigsäuregewinnung in großen Mengen und stets gleichbleibender Beschaffenheit anfällt. Für die Vergasung erscheint die Holzkohle besonders geeignet, da sie nur geringen Wassergehalt aufweist, praktisch teerfrei und kleinstückig ist.

Aufbau und Wirkungsweise

Der Gaserzeuger, der nach schwedischen Plänen von der Firma Deutsche Gold- und Silberscheidanstalt, Abt. Tonwaren, Frankfurt a. M., gefertigt worden ist, ist in Abb. 68 vereinfacht dargestellt. Der Gaserzeuger arbeitet nach dem Prinzip der umgekehrten Verbrennung. Die Vergasungsluft tritt durch den Stutzen *a* ein und gelangt vorgewärmt durch vier Öffnungen *b* in den Verbrennungsraum. Das untere Teil des Gaserzeugers ist mit einem hochfeuerfesten Spezialstein der aus der Abbildung ersichtlichen Form ausgekleidet. Das Gas strömt durch einen rüttelbaren Kuppelrost *c* und verläßt den Gaserzeuger durch den angeschweißten Gassammler *d*, der durch seine Form eine Verminderung der Gas-

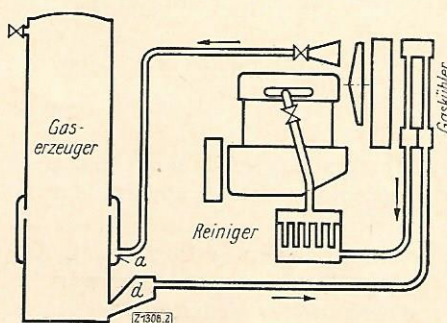


Abb. 69. Anordnung der Holzkohlengas-Anlage im Kraftwagen

Erläuterung zu Abb. 68 und 69

- a* Eintritt der Vergasungsluft
- b* vier Öffnungen zum Verbrennungsraum
- c* rüttelbarer Kuppelrost
- d* Gassammler (Grobreiniger)
- e* Aschenöffnung
- f* Zündklappe
- g* Stutzen zum Ablassen der Verbrennungsgase beim Anlassen und des Wasserdampfes

geschwindigkeit und damit eine Grobreinigung des abziehenden Gases bewirkt. Die anfallende Asche kann durch die Öffnung *e* entfernt werden.

Die Anordnung der Gesamtanlage im Kraftfahrzeug ist in Abb. 69 schematisch dargestellt. Vom Lufteintrittsstutzen *a* ist ein Rohr bis zum Kühlerventilator des Motors vorgeführt. In die kegelige Erweiterung am Ende wird durch den Ventilator Luft gedrückt. Der Luftstrom kann mit einer Drosselklappe geregelt werden; am Generator soll stets ein gewisser Überdruck herrschen. Diese Anordnung dient auch zum Anfachen des Gaserzeugers. Der Motor wird mit flüssigem Brennstoff angelassen und drückt Luft in den Verbrennungsraum des Generators. Die Holzkohle wird durch die Zündklappe *f* mittels ölgiger Putzwolle in Brand gesetzt. Die zunächst entstehenden Verbrennungsgase entweichen durch einen am Oberteil angebrachten, verschließbaren Stutzen *g* ins Freie. Der im Gaserzeuger auch während des Gasbetriebes des Motors herrschende Überdruck soll nach Absicht der Herstellerin benutzt werden, um den bei Vergasung feucht gelagerter Holzkohle entstehenden Wasserdampf durch den Stutzen *g* abzuführen, damit eine schädliche Tempe-

raturherabsetzung in der Reduktionszone vermieden wird. Nach Verlassen der Gassammelkammer am Gaserzeuger wird das heiße Gas in einem vor den Motorkühler gesetzten Gaskühler durch den Luftzug des Ventilators abgekühlt.

Die Reinigung des Gases von mitgerissenen Asche- teilchen und Ruß erfolgt in einem kastenförmigen Reiniger, dessen Filtertaschen mit Stoff bezogen sind. Die Abmessungen des Reinigerkastens sind folgende: Länge 480 mm; Höhe 345 mm; Breite 325 mm. In den Taschen befinden sich Spiralfedern, die das Abschütteln des sich ansetzenden Staubes fördern sollen. Das Gas soll keinen Wasserdampf mitführen, damit eine Verschmierung der Filtertücher vermieden wird; auch im Hinblick hierauf ist das Abblasen des Dampfes aus dem Stutzen *g* von Bedeutung. Nach der Reinigung wird das Gas der Luftmischkammer bzw. dem Motor zugeführt.

Das Gewicht der Gesamtanlage beträgt etwa 400 kg.

Anlaßversuche

Die Laboratoriumsversuche wurden am Kämper- Motor bei einer Verdichtung von $\epsilon = 6,89:1$ durch- geführt.

Das Anblasen des Gaserzeugers erfolgte nach An- gaben der Lieferfirma. Für den Lufttrichter war die günstigste Stellung ermittelt worden. Der Motor wurde mit Benzol angelassen und lief im Leerlauf mit einer Drehzahl $n = 1100$ U/min. Mit dem zum Motor gehörenden vierflügeligen Ventilator wurde am Lufteintrittsstutzen des Gaserzeugers ein Über- druck von rd. 10 mm WS erzielt. Nach 35 Minuten konnte mit dem Umschalten des Gaserzeugers auf Sauggasbetrieb begonnen werden, dabei betrug die Gastemperatur am Gasabsaugerohr (unten am Gas- erzeuger) etwa 120°C . Nach weiteren 10 Minuten lief der Motor mit Gas allein. Der Benzolverbrauch der Maschine betrug hierbei 3,4 l.

Dieser für den praktischen Betrieb zu hohe Zeit- aufwand ist in der Hauptsache auf die Anlaßmethode zurückzuführen. Der Wirkungsgrad eines gewöhn- lichen Kühlerventilators ist an sich gering, er wird weiter geschmälert, da der Lufttrichter nur einen ge- ringen Teil des vom Ventilator erzeugten Luftstromes erfassen kann. Da die Verbrennungsgase der Anlaß- periode durch den Entlüftungsstutzen am Oberteil des Gaserzeugers ins Freie gedrückt werden, dehnt sich die entstehende Glutzone hauptsächlich nach oben hin aus, während beim normalen Sauggas- Motorbetrieb die Gase nach unten — also gerade entgegengesetzt — abgesogen werden. Beim Um- schalten des Motors auf Sauggasbetrieb ist also nur ein geringer Teil der erzeugten Glut für die Reduktion wirksam, die weitaus größere Menge der glühenden Holzkohle liegt ungenutzt über dem Lufteintritts- querschnitt. Daraus erklärt sich die lange Umschalt- zeit.

Zur Beseitigung dieses Mangels wurde bei einem weiteren Versuch der Gaserzeuger nach unten, d. h. in Richtung der nachfolgenden Beanspruchung, an- geblasen. Zu diesem Zwecke wurde in die Gasleitung zum Motor eine Abzweigung eingebaut, die gestattete, die Rauchgase der Anlaßperiode ins Freie abzuleiten. Die Entlüftungs-klappe am Oberteil mußte dabei natürlich verschlossen bleiben. Im übrigen glich der

Anlaßvorgang dem der vorgeschriebenen Inbetrieb- setzung. Der am Lufteintrittsstutzen erzielte Über- druck betrug 10 mm WS; am Gasabzugsstutzen wur- den + 8 mm WS festgestellt. Nach 35 Minuten An- blasezeit war die Gastemperatur am Gaserzeuger auf etwa 200°C gestiegen, und der Motor konnte auf Gas umgeschaltet werden.

Durch das Anblasen in Richtung des Sauggas- stromes konnte die Normalleistung in wesentlich kürzerer Zeit erreicht werden. Diese Tatsache läßt deutlich erkennen, daß das Anblasen nach oben dem eigentlichen Gang des Gaserzeugers widerspricht.

Da von seiten des Vertreters der Lieferfirma diese Ergebnisse zum Teil auch auf die für diesen Zweck ungenügende Ventilatorwirkung des „Kämper“-Pro- pellers zurückgeführt wurden, sind die Anblasever- suche nach Einbau eines sechsflügeligen Propellers der Holzkohlen-Verkaufsstelle G. m. b. H. wiederholt worden. Dabei war der erzielte Überdruck am Luft- eintrittsstutzen 15 bis 17 mm WS. Nach 47 Minuten lief der Motor einwandfrei mit Gas. Bei diesem Ver- such wurde die folgende Lagerung der Glutzone am Ende der Umschaltperiode festgestellt: Die Glut er- streckte sich nach oben etwa 30 bis 40 cm und nach unten etwa 10 bis 15 cm über bzw. unter die Düsen- reihe.

War der Gaserzeuger durch Lösen der Aschentür- schraube und Öffnen der Entlüftungs-klappe in Brand gehalten worden, so betrug die Anlaßzeit nach einem Stillstand von 15 Stunden nur etwa 7 Minuten; dabei verbrauchte der Motor etwa 1,5 l Benzol. Der Holz- kohlenverbrauch des zur Erhaltung der Glut als Ofen arbeitenden Gaserzeugers betrug bis zu 2,5 kg je Stunde.

Die Anlaßzeit des Gaserzeugers aus kaltem Zustand bis zur Gewinnung brennbaren Gases bei Verwen- dung einer in die Motorsaugleitung eingeschalteten Pumpe wurde zu 10 Minuten festgestellt; dabei ent- sprach die Saugleistung der im Laboratorium ver- wendeten Pumpe etwa der in Holzgaswagen gewöhn- lich eingebauten Hand- oder Elektroventilatoren.

Die auf die letzte Weise erhaltenen Anlaßzeiten entsprechen denen an Holzgasern anderer Bauart wiederholt festgestellten Werten.

Motorleistung und Holzkohlenverbrauch

Über die im Drehzahlbereich erzielten Leistungen und über den spez. Holzkohlenverbrauch gibt Abb. 70 Aufschluß. Die als Vollinie gezeichnete Kurve gibt die Leistung bei Verwendung des Original-Kämper- Ventilators wieder, sie liegt etwa 1 PS über der mit dem Propeller der Holzkohlen-Verkaufsstelle G.m.b.H. erzielten Leistung (gestrichelt gezeichnet). Das Schaubild läßt erkennen, daß der nunmehr am Gas- erzeuger erreichte Überdruck durch einen Leistungs- aufwand am Ventilator von rd. 1 PS = rd. 3 % der Motorleistung erkaufte werden mußte.

Der spezifische Brennstoffverbrauch beträgt bei Normaldrehzahl etwa 0,45 bis 0,5 kg/PS_h; der stünd- liche Holzkohlenverbrauch etwa 16,5 bis 17 kg.

Ein Versuch, bei dem zur Leistungserhöhung Benzol zugesetzt worden war, ergab bei vollständig ge- öffneter Gas- und Benzol-Drossel-klappe eine Lei- stung von $N = 44$ PS bei der Normaldrehzahl

$n = 1100$ U/min. Diese Leistungssteigerung von rd. 8 PS wurde bei einem stündlichen Benzolverbrauch von 5500 g erreicht, entsprechend einem zusätzlichen spezifischen Verbrauch von 690 g/PS. Dieser Versuch hat gezeigt, daß auch bei Gas- und Benzolgemischbetrieb trotz des unverhältnismäßig großen

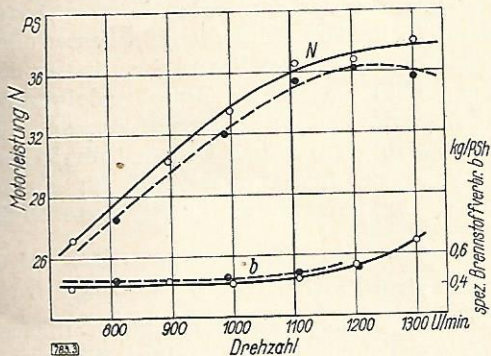


Abb. 70 Motorleistung und Brennstoffverbrauch

Verbrauches an Benzol eine Leistungssteigerung auf 100 % der Benzolleistung nicht erzielt werden kann (vgl. Seite 20).

Druck- und Temperaturverhältnisse

Die Aufgaben der verschiedenen Meßstellen sind aus der folgenden Zusammenstellung ersichtlich:

Temperatur am Lufteintrittsstutzen	t_e [°C]
Überdruck am Lufteintrittsstutzen	p_e [mm WS]
Temperatur des Gases beim Austritt aus dem Gaserzeuger	t_1 [°C]
Temperatur des Gases beim Austritt aus dem Aschenfänger	t_2 [°C]
Unterdruck des Gases beim Austritt aus dem Aschenfänger	p_1 [mm WS]
Temperatur des Gases beim Eintritt in den Kühler	t_3 [°C]
Temperatur des Gases beim Austritt aus dem Kühler	t_4 [°C]
Temperatur des Gases vor der Mischung mit der Verbrennungsluft	t_5 [°C]
Unterdruck des Gases vor der Mischung mit der Verbrennungsluft	p_2 [mm WS]
Kühlwassertemperatur	t_K [°C]
Temperatur der Auspuffgase	t_A [°C]

Die Ergebnisse der Messungen sind in Zahlentafel 35 zusammengestellt, und zwar getrennt für den Motorbetrieb mit „Kämper“-Propeller (vierflügelig) bzw. dem Propeller der Holzkohlen-Verkaufsstelle G. m. b. H. (sechsflügelig). Im letzteren Falle war — ausgenommen für $n = 1100$ U/min — bei allen Versuchsreihen die Luftdrosselklappe am Ventilator halb geschlossen, da bei den größeren Überdrücken wegen der Undichtheit der Entlüftungsklappe Gasverluste zu erwarten waren. Die Temperatur des Gases beim Verlassen des Aschenfängers betrug im Mittel etwa 450°C. Um eine einigermaßen gute Motorfüllung zu erreichen, muß das Gas herabgekühlt werden. In Zahlentafel 36 sind die Temperaturgefälle in den einzelnen Saugleitungsabschnitten in Abhängigkeit der Motordrehzahl zusammengestellt.

Die Außenlufttemperatur war etwa 25°C; die Temperatur des Gases vor der Mischung mit der Ver-

Zahlentafel 35

Druck- und Temperaturmessungen

Ventilator	Drehzahl 1/min	t_e °C	p_e mmWS	t_1 °C	t_2 °C	p_1 mmWS	t_3 °C	t_4 °C	t_5 °C	p_2 mmWS	t_K °C	t_A °C
4-flügelig	1300	—	+ 8	689	457	-65	317	93	41	-297	80	622
	1200	—	+ 5	772	463	-58	312	87	41	-241	81	580
	1100	—	+ 4	562	445	-54	289	83	41	-208	82	597
	1000	—	+ 5	565	445	-39	263	75	41	-136	86	591
	900	—	+ 3	549	443	-38	260	70	39	-139	82	566
	750	—	+ 3	695	435	-31	222	60	38	-142	82	510
6-flügelig	1300	20	+ 2	490	428	-63	290	84	—	-278	70	587
	1200	23	+ 2	574	445	-58	286	80	—	-249	69	599
	1100	26	+14	576	472	-42	292	78	—	-211	69	600
	1000	22	+ 2	477	440	-46	269	73	—	-225	68	563
	800	31	+ 1	471	443	-36	240	65	—	-184	67	524

Zahlentafel 36

Temperaturgefälle

Ventilator	Drehzahl n 1/min	Rohr-Generator-Kühler Δt_1 °C	Kühler Δt_2 °C	Rohr und Filter Kühler-Motor Δt_3 °C
4-flügelig	1300	140	224	52
	1200	151	225	47
	1100	156	206	43
	1000	182	188	35
	900	183	190	30
	735	213	162	22
6-flügelig	1300	138	206	45
	1200	159	206	40
	1100	180	214	38
	1000	171	196	32
	810	203	175	27

brennungsluft betrug zwischen 38°C und 42°C. Die Gegenüberstellung läßt erkennen, daß der Wärmeaustausch in der Rohrleitung, deren l. W. 62 mm beträgt, mit fallender Gasgeschwindigkeit günstiger wird. Es wird daher ratsam sein, die Rohrdurchmesser etwa auf 90 mm l. W. zu vergrößern. Die Kühlwirkung des Kühlers nimmt bei dem vierflügeligen Ventilator trotz wachsender Gasgeschwindigkeiten mit steigender Drehzahl zu, während beim sechsfügeligen Ventilator das Optimum des Wärmeaustausches zwischen Gas und Kühlluft bei etwa $n = 1100$ U/min liegt. Eine Steigerung der Luftgeschwindigkeiten, wie sie die Erhöhung der Motordrehzahl auf $n = 1200$ bis 1300 U/min mit sich bringt, scheint ohne zusätzliche Kühlwirkung zu sein. Der Leistungsaufwand am Ventilator entspricht also auch in diesem Falle nicht den gestellten Forderungen.

Gas- und Abgasanalysen, Heizwerte

Die im Drehzahlbereich gefundenen Werte für die Gaszusammensetzung sind in Zahlentafel 37 aufgeführt. Eine Abhängigkeit der Gaszusammensetzung vom stündlichen Brennstoffdurchsatz läßt sich nicht feststellen. Die Heizwerte sind als sehr günstig zu bezeichnen und entsprechen den Motorleistungen.

Zahlentafel 37

Gas- und Abgasanalysen und Heizwerte

Ventilator	Drehzahl n 1/min	Gasanalysen						Abgasanalysen		Luftüberschußzahl λ	Unterer Heizwert H_u Kcal/m ³	Gemisch-Heizwert H_{Gem} Kcal/m ³
		CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	O ₂			
4-flügelig	1300	31,2	6,3	2,9	2,5	—	57,1	19,3	0,3	1,014	1362	617
	1200	32,8	4,9	2,8	2,3	—	57,2	18,3	0,2	1,01	1366	622
	1100	31,7	5,6	2,6	2,4	—	58,7	19,5	0,6	1,03	1333	614
	1000	33,4	5,5	2,7	1,7	—	56,7	19,5	0,6	1,03	1392	627
	900	31,3	5,3	2,4	2,6	—	58,4	19,0	0,6	1,03	1296	614
	735	31,4	5,8	2,2	2,5	—	58,1	17,3	1,5	1,076	1296	614
6-flügelig	1200	30,2	4,2	3,6	1,9	—	60,1	—	—	—	1338	—
	1100	34,8	5,0	2,0	2,6	—	55,6	—	—	—	1371	—
	800	33,1	5,9	2,1	2,3	—	56,6	—	—	—	1341	—

Das Filter hat sich während der ganzen Betriebszeit bewährt. Die Reinigung des Gases ist sehr gut, bei pfleglicher Behandlung und Wartung sind Verstopfungen an den Filtertaschen nicht zu erwarten, sofern nicht durch Feuchtigkeit im Gas zusammen mit der feinen Flugasche die Tücher verschmiert werden.



Abb. 71 Aussinterungen am Feuerkorb

Die Ausmauerung des Feuerkorbes wurde nach etwa 50 Betriebsstunden freigelegt. Dabei wurden stalaktitische Ansätze (s. Abb. 71) an den beiden Mauerringen oberhalb und unterhalb der Luft-eintrittsöffnungen festgestellt. Offensichtlich handelte es sich um Aussinterungen des Mauermaterials. Die ursprüngliche Form des Feuerkorbes konnte durch vorsichtiges Abschlagen der Ansätze leicht wiederhergestellt werden, im weiteren Verlaufe der Versuche wurden wesentliche Formänderungen nicht mehr festgestellt.

Folgerungen

Die Anlaßversuche lassen die Verwendung eines an die Motorsaugleitung angeschlossenen Hand- oder Elektroventilators empfehlenswert erscheinen. Die entstehende Glutzone wird dadurch an der richtigen Stelle — nicht nach oben verlagert — erzeugt, wodurch der Anlaßvorgang erheblich beschleunigt wird.

Dem gleichen Ziele würde eine gleichmäßigere Verteilung der Vergasungsluft, etwa durch sechs am Umfang verteilte Luftdüsen, dienen. Bei der Verwendung der eingangs beschriebenen Gaserzeugertypen zum Betrieb eines Motors mit einem Hubvolumen von rd. 6 Litern würde eine Verengung der Verbrennungszone, verbunden mit einer etwas höheren Geschwindigkeit der aus den sechs Düsen austretenden Luft ebenfalls die Gasbildung beim Anlassen fördern, da hierdurch die Entstehung eines kalten Kernes wirksam verhindert würde. Eine Verkleinerung des Reduktionsraumes soll mit dieser Maßnahme nicht verbunden sein, da von dem Volumen dieses Raumes die Elastizität des Gaserzeugers, die für den Fahrzeugbetrieb besonders wichtig ist, wesentlich abhängt.

Wasserdampfzusatz

Die bei der gewöhnlichen Holzkohlen-Luftgaserzeugung freiwerdenden überschüssigen Wärmemengen können bei Überlastung des Gaserzeugers Schäden an der Ausmauerung, am Rost oder anderen inneren Teilen hervorrufen. Diese Wirkungen lassen sich vermeiden, wenn man eine gewisse Wassermenge in den Generatorprozeß einführt. Die mit dem Brennstoff und der Vergasungsluft zugeführten Wassermengen sind im allgemeinen zu gering, um genügend Wärme binden zu können. Feuchtigkeit im Brennstoff erschwert übrigens die Inbrandsetzung des Generators, verlängert die zum Anblasen erforderliche Zeit und ist deshalb unerwünscht. Dagegen ist der nachträgliche Zusatz von Wasserdampf bei voller Belastung des Gaserzeugers nützlich, da er die Bildung von Wasserstoff H₂ fördert und damit die Zündfähigkeit des Holzkohlengases verbessert.

Bei den Laboratoriumsversuchen wurde zunächst der Dampf in einem besonderen, mit Leuchtgas beheizten Gefäß erzeugt. Durch verschiedene starke Beheizung konnten wechselnde Mengen Dampf erzeugt werden. Die jeweils verdampfte Wassermenge wurde durch Wägung der gesamten Verdampfungsanlage zu Beginn und am Ende eines jeden Versuches bestimmt.

Damit die Dampferzeugung beherrscht werden kann und eine unerwünschte Abkühlung des Brennstoffbettes durch Nachverdampfen bei plötzlichem Übergang von großer auf kleine Belastung (Leerlauf!) verhindert wird, muß die Dampferzeugung im praktischen Betrieb in einem in die Gasleitung eingebauten und durch die fühlbare Wärme der Gase beheizten Verdampfer vorgenommen werden.

Um den Bestwert des unteren Heizwertes in Abhängigkeit von der stündlichen Dampfzusatzmenge durch Kalorimeter-Messung feststellen zu können, wurde der Gaserzeuger bei den Versuchen zunächst durch ein Kreis-Kolbengebläse belastet, das einen Teil des erzeugten Gases einem „Junkers“-Kalorimeter zuführte. Die Gaszusammensetzung wurde gleichzeitig durch technische Gasanalyse ermittelt. Dabei entsprach die vom Gebläse stündlich abgesogene Gasmenge etwa dem vom Versuchsmotor bei Vollast und Normaldrehzahl angesogenen Volumen.

Die Ergebnisse der Kalorimeter-Versuche sind in Abb. 72 dargestellt. Die angesogene Luft enthielt im Mittel 6,4 g/m³ Wasserdampf; der Wassergehalt der

Holzkohle war durchschnittlich 4,6 % (bezogen auf feuchte Holzkohle). Der für die Motorleistung maßgebende untere Heizwert erreicht bei einer Zugabe von etwa 3,6 kg/h Dampf einen Bestwert.

Für die gleiche Versuchsreihe sind die im Frischgas gefundenen Werte für die $\Sigma H_2 + CH_4$ und CO_2 über dem stündlichen Dampfzusatz in Abb. 73 aufgetragen. Während die $\Sigma H_2 + CH_4$ mit wachsen-

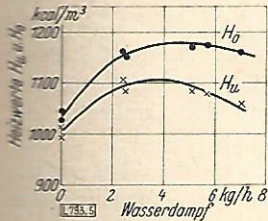


Abb. 72 Abhängigkeit der Heizwerte vom Wasserdampfzusatz

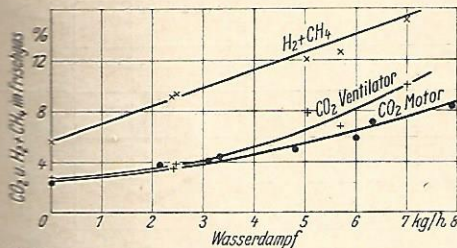


Abb. 73 Abhängigkeit der Gaszusammensetzung vom Wasserdampfzusatz

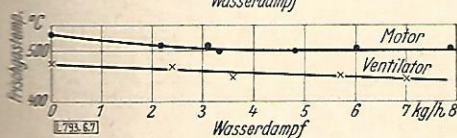


Abb. 74 Abhängigkeit der Gastemperatur vom Wasserdampfzusatz

dem Dampfzusatz nahezu geradlinig ansteigt, nimmt der CO_2 -Gehalt der Frischgase bis etwa 3,0 kg/h Dampf nur wenig zu. Der verdünnende Einfluß der Kohlensäure macht sich erst bei höherem Dampfzusatz geltend (siehe Heizwertkurven).

Aus Abb. 74 ist die geringe Temperaturabnahme des abziehenden Gases zu ersehen. Man kann also die fühlbare Wärme des Gases zur Verdampfung der günstigsten Wassermenge benutzen.

Die Ergebnisse der mit dem Versuchsmotor (Kämper-Motor $\epsilon = 6,89:1$) angestellten Versuche sind in Abb. 75 enthalten. Der Bestwert der Leistung wurde nahezu entsprechend dem Verlauf des unteren Heizwertes bei einem Dampfzusatz von etwa 3,6 kg/h ($\sim 0,3$ kg Dampf/kg Kohle) erhalten. Gegenüber dem Betrieb ohne Dampfzusatz wurde eine Leistungszunahme von rd. 2,8 % bei gleichzeitiger Abnahme des stündlichen Brennstoffverbrauches um rd. 25 % beobachtet.

Die beim Motorbetrieb im Frischgas festgestellten CO_2 -Anteile sind ebenfalls in Abb. 73 eingetragen. Aus dem schwachen Anstieg der CO_2 -Kurve kann man erkennen, daß der Gaserzeuger durch den Motor günstiger belastet wurde als durch das Gebläse.

Ferner ist die Temperaturabnahme in Abb. 74 enthalten. Die Temperaturen liegen etwa $50^\circ C$ über den mit dem Gebläse erzielten, die Abnahme ist nicht wesentlich.

Das Verhalten des Motors im Drehzahlbereich bei günstigstem Dampfzusatz (im Mittel 3,5 kg/h) läßt die Abb. 76 erkennen. Der spezifische Holzkohlenverbrauch erreicht zwischen den Drehzahlen $n = 950$

U/min und $n = 1100$ U/min die günstigsten Werte. Die CO_2 -Anteile im Frischgas steigen mit fallender Drehzahl. Druck und Temperaturverhältnisse sind nahezu unverändert gegenüber den Versuchen ohne Dampfzusatz.

Der mittlere Barometerstand war bei dieser Versuchsreihe 702 mm Hg bei $t = 18^\circ C$; die Lufttemperatur am Motor war etwa $23^\circ C$. Das Reinigerfilter

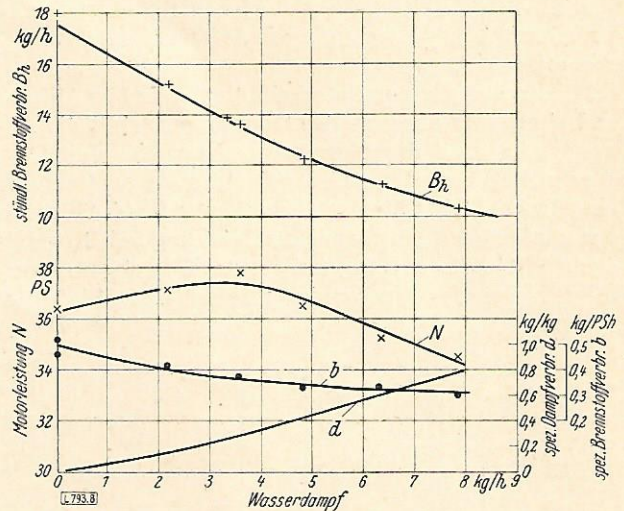


Abb. 75 Motorleistung und Brennstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Wasserdampfzusatz

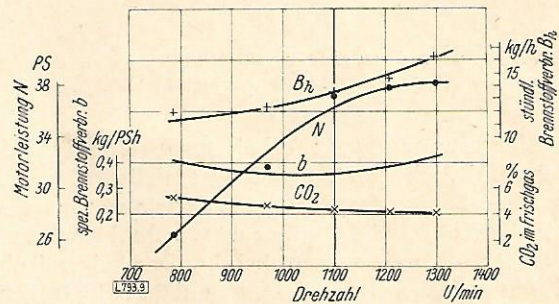


Abb. 76 Motorleistung, Brennstoffverbrauch und CO_2 -Gehalt in Abhängigkeit von der Motordrehzahl

arbeitete in allen Fällen bei sorgfältiger Wartung zufriedenstellend. Durch den Einbau der Verdampfungsanlage in die Frischgasleitung nahe am Gaserzeuger kann aber der vor dem eigentlichen Motorkühler angebrachte Gaskühler weggelassen werden. Der Hauptvorteil der Zugabe von Wasserdampf liegt in der Verhinderung der frühzeitigen Zerstörung der Ausmauerung des Gaserzeugers, in der geringeren Schlackenbildung, in der Vergrößerung des Fahrbereiches des Fahrzeuges durch die erzielte Brennstoffersparnis und in der besseren Gasqualität.

Regenerierung von Motorabgasen

Diese Versuche sollten die Möglichkeit erweisen, durch Wiedereinführung von Teilmengen der Motorabgase in den Generatorprozeß und Reduktion der so zugeführten Mengen an CO_2 , den Brennstoffverbrauch zu senken und den Generator zu kühlen.

Die Versuchseinrichtung glich bei diesen Versuchen im wesentlichen der bei den vorausgegan-

nen Arbeiten mit Wasserdampf benutzen. Die Abgase wurden entsprechend Abb. 77 der Auspuffleitung *a* des Motors entnommen und durch ein Rohr mit Drosselklappe in den Ansaugestutzen des Gaserzeugers *b* geleitet. Durch eine weitere Drosselklappe, die in den ins Freie führenden Zweig der Auspuffleitung eingebaut war, konnte die dem Generator zugesetzte Abgasmenge beliebig geregelt werden; eine Drosselung des Motors von der Auspuffseite her trat hierbei nicht ein. Die jeweils sich einstellende Frischluft-Abgas-Mischung wurde durch Analyse bestimmt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abb. 78 enthalten. Als Abszisse des Diagrammes sind die Abgasmengen und die denselben entsprechenden CO₂-Werte in Prozenten vom Frischluft-Abgas-Gemisch eingetragen. Die Güte des gewonnenen Gases läßt sich am einfachsten an der Motorleistung bei Normaldrehzahl sowie am CO₂-Gehalt des Frischgases verfolgen. Bei der Verwendung reiner Frischluft für

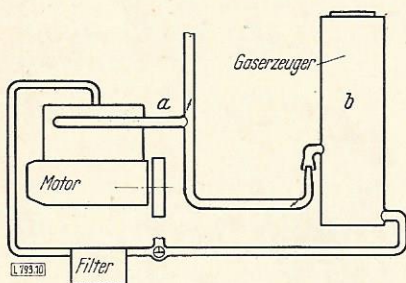


Abb. 77. Schema der Versuchsanordnung bei Regenerierung der Abgase

den Vergasungsvorgang erhält man ein Gas, das durchschnittlich rd. 2,6 % CO₂ enthält. Die CO₂-Kurve erhebt sich erst bei einem Zusatz von mehr als 18 % Abgas = 3,4 % CO₂ über diesen Punkt, während sie vorher sogar ein wenig absinkt. Das beigemischte CO₂ wurde also bis zu diesem Punkt restlos regeneriert, wodurch selbstverständlich der spez. Brennstoffverbrauch sinken muß. Dieser Zusammenhang wird durch die Brennstoffkurven veranschaulicht. Die Motorleistung sinkt in dem betrachteten Bereich um noch nicht 5 %.

Bei der normalen Vergasung entsteht ein Überschuß an Reaktionswärme. Diese überschüssige Wärme kann durch den Abgaszusatz zurückgewonnen werden, indem sie bei der Reduktion des CO₂ zu CO chemisch gebunden wird. Dies äußert sich auch in einem geringen Absinken der Frischgastemperaturen. Es ist jedoch wichtig, darauf hinzuweisen, daß die Regenerierung des CO₂-Anteiles im Abgas nur dann erfolgreich angewendet werden kann, wenn der CO₂-Anteil im Abgas genügend groß ist. Wenn die Verbrennung im Motor schlecht ist bzw. das Verhältnis zwischen Frischgas und zugeführter Verbrennungsluft ungünstig ist (falsche Lufteinstellung!), so trifft auf jedes regenerierbare Prozent CO₂ zuviel Ballast. Da dieser Ballast an den Umsetzungen im Gaserzeuger nicht teilnimmt, sondern das entstehende Frischgas verdünnt, also verschlechtert, kann trotz höheren Brennstoffverbrauches nur eine geringe Motorleistung erzielt werden.

Bei den Laboratoriumsversuchen war der mittlere CO₂-Anteil im Abgas etwa 19 %. Aus Abb. 78 ist für die vorliegenden Verhältnisse zu erkennen, daß bei mehr als 3,4 % CO₂ im Luft-Abgas-Gemisch der CO₂-Anteil im Frischgas mit der beigemischten Abgasmenge steigt. Das nicht mehr umsetzbare Abgas geht als Ballast durch den Generator und muß von einer Eintrittstemperatur von 100 bis 150 °C auf die im Gaserzeuger herrschende Temperatur von etwa 1600 °C erwärmt werden.

Weiterhin hat es sich gezeigt, daß es bei Ausbildung der Abgaszuführung als Injektor möglich ist, Luft in den Generator zu drücken. Läßt man nun den Motor mit Benzol leer laufen, so kann der Generator auf diese Weise angeblasen werden.

Ferner ergibt sich, daß der durch die Abgaszufuhr im Generator entstehende geringe Überdruck bei

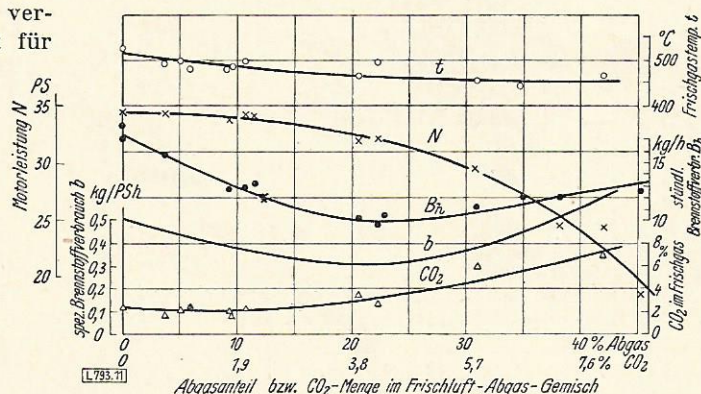


Abb. 78 Ergebnisse von Versuchen zur Regenerierung der Motorabgase

Brennstoffen mit unerwünschten Schwelprodukten oder bei feucht gelagerter Holzkohle zur Entfernung der störenden Dämpfe (insbesondere beim Heißfahren des Gaserzeugers) benutzt werden kann.

8. Versuche mit einem DKW-Zweitaktmotor

Im Rahmen der Untersuchungen an Holzgas-erzeugern haben wir auf Wunsch der Auto-Union A.-G., Werk DKW, Zschopau, einen schnelllaufenden DKW-Kraftwagenmotor kleinerer Leistung, Type KB 1000, auf seine Eignung für Holzgasbetrieb untersucht. Der Motor ist durch folgende Daten gekennzeichnet:

Zylinderanordnung	V-förmig, unter 90° geneigt
Zahl der Arbeitszylinder . . .	4
Hub der Arbeitszylinder . . .	68,5 mm
Bohrung der Arbeitszylinder . .	68 mm
Gesamtes Hubvolumen	988 cm ³
Inhalt des Verbrennungs- raumes	51 cm ³
Gesamtes Verdichtungsver- hältnis	$\epsilon = 5,88:1$
Verdichtungsverhältnis nach Abschluß des Auspuff- schlitzes	$\epsilon' = 4,77:1$
Hub der Ladepumpe	50 mm
Bohrung der Ladepumpe	80 mm.

Der Aufbau und die Wirkungsweise des nach dem Zweitaktverfahren arbeitenden Motors ist in Abb. 79 für eine Zylindergruppe vereinfacht dargestellt. Die Arbeitszylinder sind in der bei kleinen Vergasermotoren üblichen Art ausgebildet. Spül- und Auspuffschlitze liegen einander gegenüber, der Kolbenboden ist so geformt, daß das einströmende Gemisch in das Zylinderinnere geführt wird. Das Aufladen der 4 Zylinder wird von 2 doppelt wirkenden Pumpen besorgt. Die Ansaugeschlitze dieser Pumpen werden vom Kolben gesteuert.

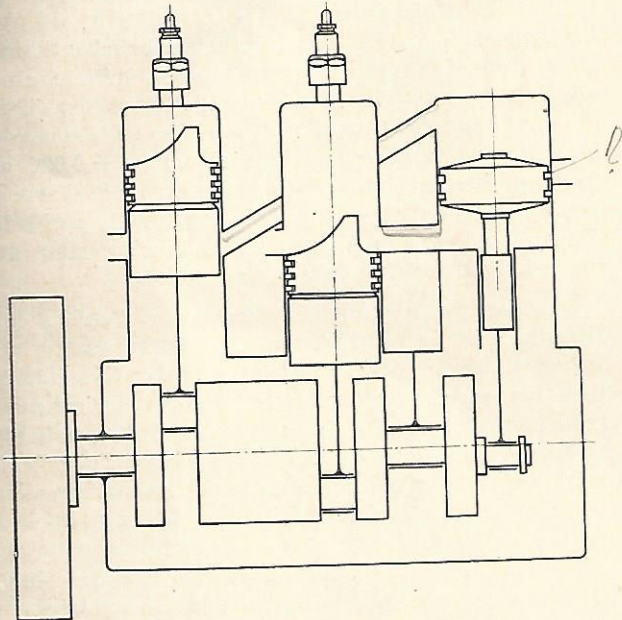


Abb. 79. Schema einer Zylindergruppe des DKW-Motors, Type KB 1000

Aus dem Steuerdiagramm (Abb. 80) geht hervor, daß der Ladekolben dem Arbeitskolben um 45° voreilt. Die Pumpe erreicht ihren unteren Totpunkt erst kurz bevor die Spülschlitze geschlossen werden. Der Ladevorgang wird also bis zu diesem Zeitpunkt fortgesetzt. Die Füllung der Zylinder und damit die Leistung des Motors sind in diesem Falle besser als bei der gewöhnlichen Kurbelkastenspülung, bei der die Pumpe während der halben Öffnungszeit der Überströmschlitze eine Saugwirkung auf den Verbrennungsraum ausübt.

Der Lieferungsgrad wird also im vorliegenden Falle von den Strömungsverhältnissen, denen das Frischgas kurz nach dem Öffnen des Ansaugeschlitzes an der Ladepumpe unterworfen ist, wesentlich beeinflusst. Die infolge des pulsierenden Ansaugens entstehenden Brennstoffverluste sollen durch ein dem Vergaser vorgeschaltetes Ausgleichgefäß vermieden werden. Diese Vorrichtung wird erforderlich, weil der Motor in stärkerem Maße von den Druckverhältnissen in der Ansaugleitung abhängig ist als eine Viertaktmaschine gleicher Leistung.

Die Eigenschaften des Motors wurden mit der bereits früher beschriebenen Versuchseinrichtung bestimmt; für die Leistungsmessung stand eine der Leistung und verhältnismäßig hohen Betriebsdrehzahl des Motors angepaßte Wasserbremse zur Verfügung. Der Motor war mit Kupplung und Getriebe ausgerüstet, so daß er ohne Last angelassen und die

Wasserbremse mittels des Schaltgetriebes allmählich beschleunigt werden konnte.

Benzinversuche

Nach genügender Einlaufzeit wurden die Leistungskurven des Motors bei Vollast-Benzinbetrieb mit 2 verschiedenen Vergasereinstellungen aufgenommen. Als Brennstoff wurde „BP“-Olex verwendet. Der Zündzeitpunkt war vorschriftsgemäß eingestellt. Die Ergebnisse sind für die Vergasereinstellung mit den Hauptdüsen 100 und 105 in der Abb. 81 dargestellt.

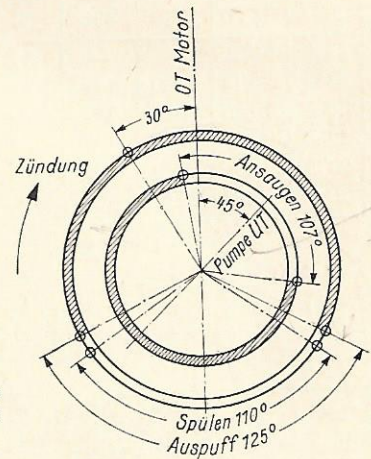


Abb. 80. Steuerdiagramm des DKW-Motors, Type KB 1000

Abb. 81. Leistung und spez. Brennstoffverbrauch des DKW-Motors, Type KB 1000, bei Benzinbetrieb

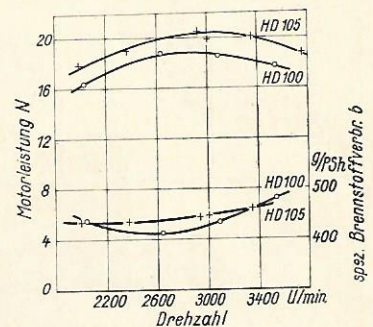
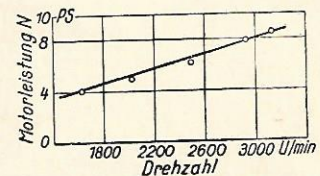


Abb. 82. Leistung des DKW-Motors, Type KB 1000, bei Holzgasbetrieb



In der Zahlentafel 38 sind außer der Leistung und dem Brennstoffverbrauch noch die Kühlwassertemperaturen t_K und die Auspufftemperaturen t_A aufgeführt. Die Höchstleistung liegt bei etwa $n = 3000$ U/min und beträgt 20,5 PS.

Holzgasversuche

Vorversuche mit einem Gaserzeuger der Imbert-Gas-Generatoren-G. m. b. H., Berlin, Type 150/550, zeigten, daß bei den zu erzielenden Motorleistungen dieser Generator zu groß ist. Mit einem für kleine Gasmengen gebauten Gaserzeuger (Nr. 43) der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft m. b. H., Oberbexbach, konnten die Versuche störungsfrei durchgeführt werden. Zu den Versuchen wurde ein Gemisch lufttrockenen Fichten- und Buchenholzes, das auf Stückgrößen von $8 \times 25 \text{ cm}^2$ zerkleinert war, ver-

Zahlentafel 38

Leistung, Brennstoffverbrauch und Temperaturen bei Benzinbetrieb (DKW-Motor)

Drehzahl	Leistung	Stündl. spez. Verbrauch		Temperaturen °C		Bemerkungen
		g/h	g/PSh	t_K	t_A	
3544	17,72	8470	478	82	695	Hauptdüse 100 $b_t = 708 \text{ mm Hg}$ $t = 14^\circ \text{C}$
3091	18,55	8170	430	76	660	
2637	18,66	7700	412	95	630	
2037	16,30	7110	436	66	566	
3750	18,75	—	—	84	749	Hauptdüse 105 $b_t = 707 \text{ mm Hg}$ $t = 13,5^\circ \text{C}$
3355	20,13	9250	459	75	715	
3005	19,83	8820	444	79	668	
2933	20,53	9090	443	70	682	
2375	19,0	8270	435	67	613	
1987	17,88	7770	435	68	561	

Zahlentafel 39

Leistung, Brennstoffverbrauch, Temperaturen und Unterdruck bei Holzgasbetrieb (DKW-Motor)

Drehzahl	Leistung	Stündl. Verbrauch	Spez. Verbrauch	Temperaturen °C				Unterdruck
				t_1	t_2	t_A	t_K	
3130	8,5	28,1	3,35	437	31	500	68	330
2930	7,9	28,5	3,61	485	32	479	64	375
2490	6,2	23,4	3,76	499	31	440	59	330
2010	4,8	20,0	4,17	492	36	402	67	180
1618	3,97	10,2	2,58	438	37	404	67	85

wendet. Die erzielten Leistungen sind in Abb. 82 über der Drehzahl aufgetragen. Die Kurve zeigt den schon früher wiederholt festgestellten geradlinigen Anstieg. In Zahlentafel 39 sind außerdem die Verbrauchsziffern, die Gastemperaturen (t_1) beim Verlassen des Generators, (t_2) vor der Mischung mit der zur Verbrennung nötigen Luft, die Kühlwasser (t_K)- und Auspuff (t_A)-Temperaturen und der Unterdruck am Generator aufgeführt.

Der unverhältnismäßig große stündliche und spez. Holzverbrauch läßt im Zusammenhang mit den in Zahlentafel 40 aufgeführten Gasanalysen und den erreichten Gemischheizwerten erkennen, daß der Gang des Generators ungünstig war. Inwiefern die Betriebsverhältnisse eines Zweitaktmotors die Wechselbeziehung zwischen Motor und Generator beein-

flussen, konnte bei der verhältnismäßig geringen Anzahl der Versuche noch nicht eindeutig festgestellt werden. Mit dem in Frage stehenden Generator wurden früher Versuche an einem Hanomag-Schleppermotor, Bauart R 28, durchgeführt, die gegenüber Benzinbetrieb einen Leistungsabfall von etwa 40% bei einem spez. Holzverbrauch von etwa 1 kg/PSh ergeben haben. Da die Leistung dieses Viertaktmotors mit der listenmäßigen Leistung des DKW-Motors fast übereinstimmt, ist ein Vergleich der Rückwirkungen beider Maschinen auf denselben Generator angängig. Der etwa 60% betragende Leistungsabfall beim DKW-Holzgasbetrieb ist z. T. auch auf den Liefergrad η_L der Ladepumpen zurückzuführen. Dieser wurde durch Mengemessung mittels eines mit einer selbstschreibenden Ringwaage der Hartmann & Braun A.-G. verbundenen Normal-Staurandes im untersuchten Drehzahlbereich zu $\eta_L = 0,626$ gefunden. Berücksichtigt man ferner noch Verluste zwischen Ladepumpe und Arbeitszylinder, so ist im Verein mit den niedrigen Gemischheizwerten der hohe Leistungsabfall genügend erklärt.

Schwierigkeiten ergaben sich beim Betrieb mit Holzgas bei der Zuführung der Verbrennungsluft. Infolge auftretender Schwingungen der Gassäule in der Ansaugleitung traten trotz eines zwischengeschalteten Ausgleichgefäßes an den Luft Eintrittsöffnungen der Mischdüse Gase aus. Eine Zurückverlegung der Mischdüse um etwa 3 m in die Gasleitung brachte keine merkliche Besserung. Erst nachdem der Querschnitt der Gaszuführung in der Mischdüse auf etwa den halben Wert des Querschnittes der Gemischleitung durch einen trichterförmigen Einsatz verringert worden war, war im untersuchten Drehzahlbereich ein Dauerbetrieb mit Holzgas möglich. Das Pulsieren des Gases konnte bis zum Generator zurückverfolgt werden, obwohl zwischen Generator und Motor eine Reinigungsanlage mit zusammen 180 dm³ angeordnet ist. Die Möglichkeit, daß diese Schwingungen den Gang des Generators, insbesondere den Verlauf der Reduktion, ungünstig beeinflussen, ist nicht von der Hand zu weisen.

Die Untersuchungen an dem im vorigen beschriebenen DKW-Zweitaktmotor haben eine Reihe von Fragen gezeitigt, deren restlose Klärung nur durch eine große Anzahl von Versuchen und mit Hilfe von Spezial-Meßeinrichtungen möglich ist. Erst hierdurch wird man vielleicht Unterlagen für eine etwaige Behebung der beim Holzgasbetrieb des Zweitaktmotors dieser Bauart aufgezeigten Mängel gewinnen.

Zahlentafel 40 Gas- und Abgasanalysen und Heizwerte (DKW-Motor)

Drehzahl	Gasanalysen							Abgasanalysen			Heizwerte kcal/m ³	
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	O ₂	CO	H _u	H _{Gem}
3130	20,9	14,7	2,2	—	10,4	—	51,8	15,0	3,4	0,5	1202	532
2930	15,9	14,0	2,0	0,1	12,3	—	55,7	15,2	4,0	0,3	1032	484
2490	14,5	13,1	3,3	—	11,8	—	57,3	14,6	4,5	0,6	1061	474
2010	15,4	13,2	2,0	0,4	14,5	—	54,5	13,4	6,2	0,3	1036	485
1618	17,1	13,8	1,5	—	12,5	—	55,1	15,0	4,3	0,2	1006	480

III. Fahrversuche

A. Der Versuchs-Lastkraftwagen und seine Meßeinrichtungen

Das Versuchsfahrzeug ist ein „Vomag“-Lastkraftwagen aus dem Baujahr 1925, dessen zulässige Nutzlast 3000 kg bei einem Eigengewicht von 5100 kg beträgt. Ausgerüstet ist der Wagen mit einem 4 Zylinder-55-PS-Motor, der durch folgende Angaben gekennzeichnet ist:

- Bohrung $d = 115$ mm
- Hub $s = 160$ „
- Verdichtungsverhältnis . . $\varepsilon = 4,3:1$
- Normaldrehzahl $n = 1000$ bis 1100 U/min

Die Getriebe- und Differential-Untersetzung und die unter Zugrundelegung eines Hinterraddurchmessers von 1045 mm mit der Normaldrehzahl des Motors erzielbaren Fahrgeschwindigkeiten v_F [km/h] sind für die einzelnen Schaltgänge in Zahlentafel 41 aufgeführt.

Zahlentafel 41

Getriebeuntersetzungen und Fahrgeschwindigkeiten

Gang	Untersetzung		Fahrgeschwindigkeit v_F [km/h] bei $n =$	
	des Getriebes	des Differentials	1000 U/min	1100 U/min
I.	$17/33 \cdot 15/35 = 0,2205$	0,154	6,7	7,4
II.	$17/33 \cdot 22/28 = 0,4045$	0,154	12,3	13,5
III.	$17/33 \cdot 27/23 = 0,6045$	0,154	18,3	20,2
IV.	$1/1 = 1,0$	0,154	30,3	33,4

In den Abb. 83 bis 85 ist der vorgenommene Einbau einer Holzgas-Generatoranlage nebst Reinigern in vereinfachter Darstellung veranschaulicht. Der Gaserzeuger a hängt in einem am rückwärtigen Ende der Plattform angeschraubten Hilfsrahmen b aus U-Profilstahl (siehe auch Abb. 86). Diese Anordnung

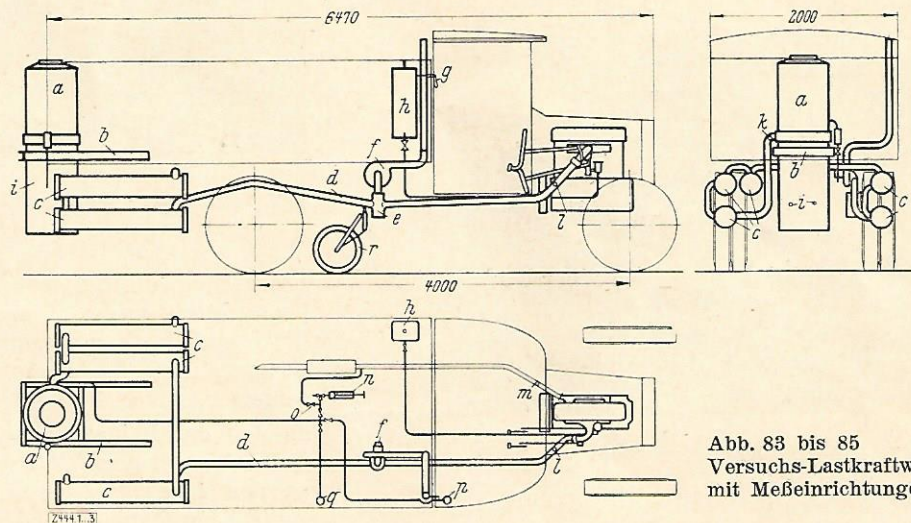


Abb. 83 bis 85
Versuchs-Lastkraftwagen
mit Meßeinrichtungen

- a Gaserzeuger
- b Hilfsrahmen aus U-Profilstahl
- c Reiniger
- d Rohrleitung zum Motor
- e Kondenswassertopf
- f Ventilator
- g Verschlussklappe im Anblaserohr
- h Meßgefäß zum Messen flüssigen Brennstoffs
- i, k, l, m Temperatur-Meßstellen
- n Handpumpe zur Entnahme v. Gasproben
- o Hahn
- p, q Unterdruckmesser
- r Hilfsrad zum Antrieb des Beschleunigungsmessers

Die Bereifung des Wagens besteht aus Hochelastikreifen.

Nach vollständiger Überholung des Fahrzeuges wurden zunächst Versuchsfahrten mit Benzin als Betriebsstoff unternommen. Bei diesen wie allen folgenden Versuchsfahrten diente eine eiserne Platte entsprechenden Gewichtes als Belastung. Nach der Feststellung der Fahreigenschaften des Lastwagens mit flüssigem Brennstoff wurde er auf Holzgas umgestellt.

wurde getroffen, um ein schnelles Auswechseln verschiedener Generatorbauarten und -größen zu ermöglichen, wie es bei der Durchführung von Versuchen des öfteren notwendig ist. Weiter wurde mit dieser Aufhängung erreicht, daß nur geringe bauliche Änderungen am Versuchswagen erforderlich waren. Für den Gebrauch im praktischen Betrieb wird der Generator zweckmäßig dicht hinter oder neben dem Führerhaus eingebaut, so daß eine Behinderung beim Laden oder Entladen des Fahrzeuges nicht eintritt.

Das Gas wird vom Motor durch fünf Reiniger *c* gesogen, die in ihrer Längsachse parallel zur Fahrtrichtung, je zwei bzw. drei in einem Rahmen vereinigt, angebracht sind. Das sich in der zum Motor führenden Rohrleitung *d* etwa noch niederschlagende Kondensat sammelt sich in einem mit einem Abflaßhahn versehenen Topf *e*. Dieser ist auch gleich-

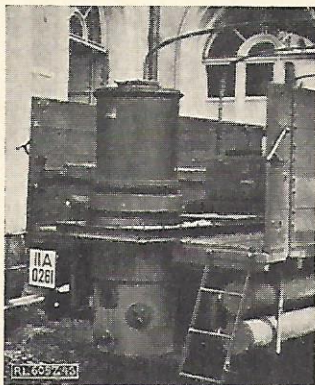


Abb. 86
Aufhängung des Generators am Versuchswagen

zeitig die Abzweigstelle zum Ventilator *f*, der im vorliegenden Falle ein aus der Batterie des Lastwagens gespeister Elektroventilator ist. Die Anordnung des Anblaserohres geht ebenfalls aus den Abb. 83 bis 85 hervor. Die im Anblaserohr befindliche Verschlussklappe *g* ist vom Führerhaus aus zu betätigen.

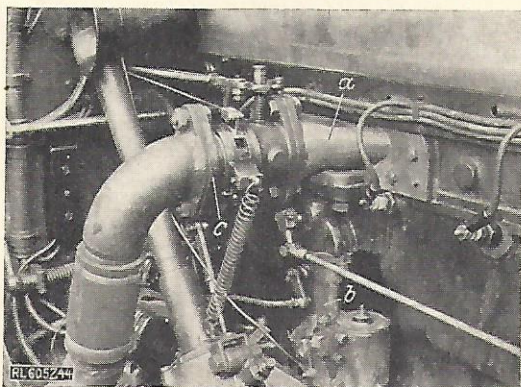


Abb. 87 Holzgaszuleitung am Motor
a Neuer Ansaugestutzen *c* Holzgaszuleitung mit Drosselklappe und Luftschieber
b alter Vergaser

Einer baulichen Eigenart des Motors zufolge mußte für die Zuführung des Gasluftgemisches zum Motor ein besonderes, trompetenförmiges Gußstück angefertigt werden, das nach Abfräsen des ursprünglich mit dem Motorblock zusammengewachsenen Vergaseranschlußstückes gestattet, außer der Holzgaszuleitung auch den Vergaser für flüssige Brennstoffe beizubehalten, Abb. 87 und 88. Die Mischung des Holzgases mit der zur Verbrennung nötigen Luft sowie die Regelung des Gas-Luftstromes erfolgt durch einen Ringschieber und eine Drosselklappe, die in einem Gußstück vereinigt sind. Die Drosselklappe kann durch Fuß oder Hand betätigt werden; im ersteren Falle wird die Bewegung durch ein Gestänge, im

letzteren durch einen Bowdenzug übertragen. Der Ring-Luftschieber ist mittels Bowdenzuges verstellbar. Der Holzgas-Fußhebel ist neben dem Fußhebel zur Betätigung der Benzindrosselklappe angeordnet, die beiden von Hand zu betätigenden Hebel sind so an der Lenkradsäule befestigt, daß sie der Fahrer bequem handhaben kann.

Das Verdichtungsverhältnis des Motors ist nach Durchführung einer Reihe von Versuchsfahrten mit Benzin und Holzgas durch Einbau neuer erhöhter Kolben auf $\epsilon =$ etwa 9:1 erhöht worden. Die günstigste Stellung der Zündung wurde ermittelt zu 17 mm vor dem oberen Totpunkt, entsprechend einem Kurbelwinkel von 38°. Mit einem Regler wurde der Motor nicht ausgerüstet.

Zur Messung des Verbrauches von flüssigen Brennstoffen wurde ein besonderes Gefäß *h* angeordnet, vgl. Abb. 83, das gestattet, den Benzinstand rasch und genau abzulesen.

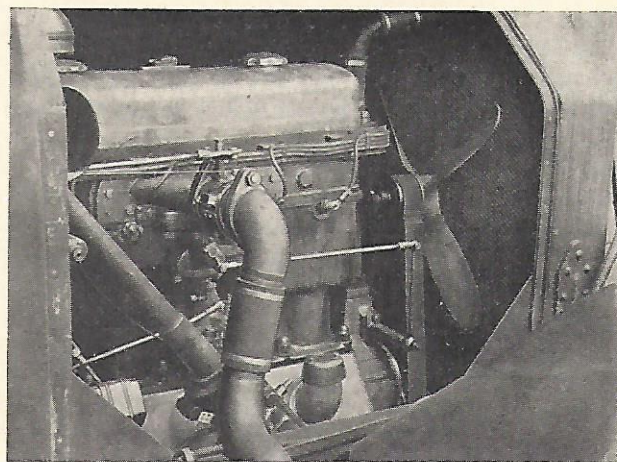


Abb. 88 Holzgaszuleitung am Motor

Zur Kontrolle des Ganges des Generators und zur Beobachtung seines Verhaltens im Verkehr und im Gelände bei wechselnden Belastungen wurden die Temperaturen des Gases an verschiedenen Stellen gemessen, so

an den durch *i* gekennzeichneten Stellen, Abb. 84, die Temperatur t_1 °C des Gases im Absaugeraum, an der durch *k* gekennzeichneten Stelle, Abb. 84, die Temperatur t_2 °C des Gases beim Verlassen des Generators, an der durch *l* gekennzeichneten Stelle, Abb. 85, die Temperatur t_3 °C des Gases vor der Mischung mit Luft, an der durch *m* gekennzeichneten Stelle, Abb. 85, die Temperatur t_4 °C der Auspuffgase.

Die Handpumpe *n* gestattet nach entsprechender Einstellung der Hähne *o* sowohl eine Entnahme von Frischgasen aus dem Generator als auch eine solche von Abgasen aus der Auspuffleitung während der Fahrt. Die Gase werden mit der Pumpe angesogen und durch einen Dreiweghahn unter Verdrängung einer Sperrflüssigkeit in Flaschen gedrückt (siehe Abb. 89), aus denen das Gas nach Beendigung der Fahrt zur technischen Gasanalyse entnommen wird.

Zwei Unterdruckmesser p und q zeigen dem Führer des Lastwagens und dem Beobachter die Belastung des Generators in mm WS an.

Die aus dem Stillstand oder aus stark verminderter Geschwindigkeit erzielbaren Beschleunigungen auf

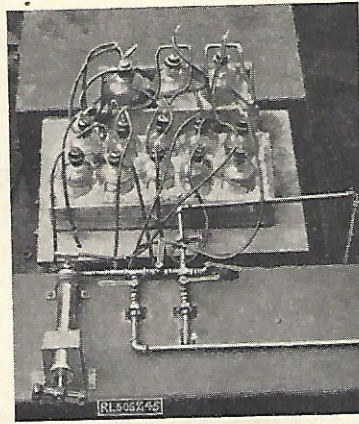


Abb. 89
Vorrichtung zur Entnahme von Gas während der Fahrt

Außerdem wurden zur Feststellung der Fahreigenschaften des Lastwagens bei den Probefahrten jeweils die Schaltgänge und die in dem betreffenden Gang zurückgelegten Wegstrecken aufgezeichnet, die mittlere Geschwindigkeit und der Brennstoffverbrauch bestimmt. Außer über diese Beobachtungen wird im folgenden auch über Betriebsbereitschaft, Verkehrssicherheit, Wartung und andere allgemeine Fragen berichtet werden.

B. Die Versuchsstrecken

Die Versuchsstrecken wurden in der Umgebung Münchens so ausgewählt, daß die Fahreigenschaften des Lastwagens unter den verschiedensten Verhältnissen festgestellt werden konnten. Eine Versuchsstrecke führt von München—Wolfratshausen—Kochel über den Kesselberg zum Walchensee (Urfeld) und zurück (~ 150 km). Insgesamt ist auf dieser Strecke eine Höhe von 345 m zu überwinden. Die Kesselbergstraße, deren kartographische Skizze in Abb. 90

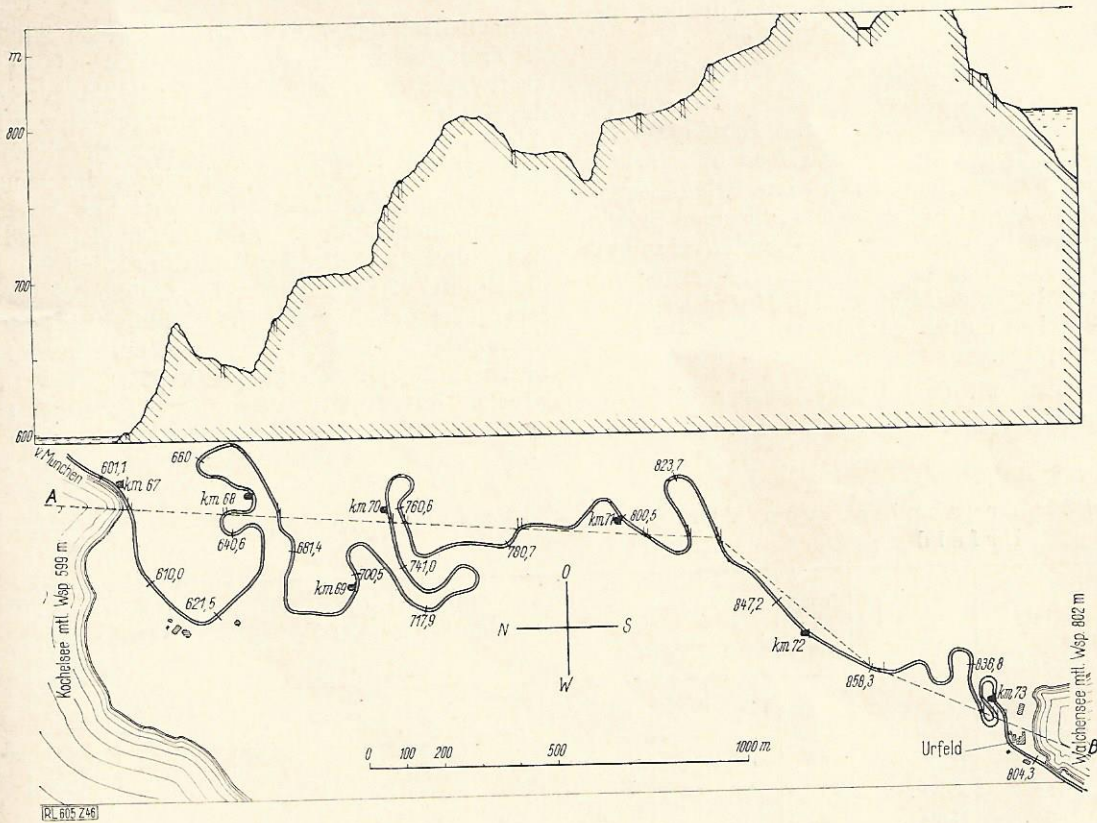


Abb. 90 Kartographische Skizze der Kesselbergstraße mit Höhenmarken (m über NN) sowie Schnitt AB durch den Kesselberg in Richtung des Hauptzuges der Straße in vierfacher Überhöhung

ebener Strecke wie am Berg wurden mit einem Beschleunigungsmesser, System Bruhn, festgestellt¹⁾. Der Antrieb des Instrumentes erfolgt von einem am Rahmen des Fahrzeuges befestigten Hilfsrade r aus, das durch eine Feder auf die Straßendecke gepreßt wird und so praktisch schlupffreien Antrieb gewährleistet. Bei Nichtgebrauch der Einrichtung kann das Rad hochgeschraubt werden.

¹⁾ Dieses Meßgerät ist vom Allgemeinen Deutschen Automobil-Club, Hauptverwaltung München, in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt worden.

dargestellt ist, überwindet bei einer Länge von 5 km einen Höhenunterschied von 257 m. Die kurvenreiche Straße ist besonders geeignet, einerseits das Verhalten eines Generators bei längerer Höchstbeanspruchung erkennen zu lassen, andererseits die Betriebsbereitschaft des Gaserzeugers nach einer langen Talfahrt festzustellen.

Die Strecke München—Weilheim und zurück (~ 120 km) mit dem Hirschberg, dessen gerade Steigung etwa 5 % beträgt, eignet sich besonders zur

Messung des Beschleunigungsvermögens in der Steigung (Hirschberg) und in der Ebene (Forstenriederstraße).

Die Straße nach Pfaffenhofen—Ingolstadt und zurück (~ 160 km) führt durch besonders welliges Gelände und zeigt infolge der zahlreichen kurzen, aber steilen Steigungen das Verhalten und den Holzverbrauch des Generators bei stark wechselnder Beanspruchung. Die Strecke München—Landshut und zurück (~ 140 km) gibt Unterlagen für die in der Ebene erzielbaren Durchschnittsgeschwindigkeiten und den Holzverbrauch.

C. Die Versuche

1. Versuche mit Imbert- und D.H.G.-Gaserzeugern Der Wagen im Gelände

Die Anzahl der durch das Gelände bedingten Schaltungen auf den nächstniedrigen Gang und die in den einzelnen Gängen zurückgelegten Wegstrecken geben auf gleicher Versuchsstrecke Anhaltspunkte für das Verhalten des Fahrzeuges bei Verwendung verschiedener Brennstoffe (Benzin — Holzgas). Die jeweils erzielte mittlere Geschwindigkeit und der Brennstoffverbrauch runden das Bild ab.

In Zahlentafel 42 sind die auf der Versuchsstrecke München — Wolfratshausen — Kochel — Kesselberg — Urfeld und zurück gewonnenen Ergebnisse für jede Fahrtrichtung getrennt angegeben und für die ganze Strecke zusammengestellt. Zur Erleichterung des Vergleiches wurden die in den einzelnen Schaltungen zurückgelegten Wegstrecken auch in Hundertteilen der Gesamtstrecke angegeben; ferner ist die Gesamtlänge der in den Gängen III, II und I zurückgelegten Strecken und die erzielte mittlere Geschwindigkeit aufgeführt.

Die zunächst mit dem Lastkraftwagen durchgeführte Probefahrt (Versuch 1) mit Dapolin-Benzin

ergab, daß bei den in beiden Fahrtrichtungen zu überwindenden Steigungen ein Zurückschalten auf den I. Gang nicht erforderlich war. In den Angaben über die Hinfahrt ist die Bergfahrt zum Kesselberg-sattel mit enthalten, wodurch sich auch erklärt, daß in dieser Fahrtrichtung die Gänge III und II häufiger und über eine längere Strecke gebraucht wurden. Von der 70,9 km langen Strecke konnten 63,6 km = 89,7 % im direkten Gang zurückgelegt werden, im III. Gang mußten 7,6 % und im II. Gang 2,7 % gefahren werden. Die mittlere Geschwindigkeit betrug 26 km/h. Auf der Rückfahrt konnten infolge des Wegfalles der 5 km langen Bergstrecke 95,4 % im direkten Gange gefahren werden. Insgesamt mußte 32 mal zurückgeschaltet werden, und zwar in 22 Fällen auf den III. und in 10 Fällen auf den II. Gang. Die mittlere Geschwindigkeit wurde zu 24,7 km/h ermittelt, wozu bemerkt werden muß, daß die Motordrehzahl durch einen eingebauten Regler so begrenzt wurde, daß auch auf einer in der Versuchsstrecke liegenden 10 km langen ebenen Straße keine höhere Geschwindigkeit als 32 km/h erreicht werden konnte.

Nach Beendigung der Versuchsfahrten mit Benzin als Treibstoff wurde ein Holzgaserzeuger in den Lastkraftwagen eingebaut, das Verdichtungsverhältnis des Motors aber unverändert gelassen. Kürzere Probefahrten ergaben, daß auch mit dem niedrig verdichteten Motor ($\epsilon = 4,3:1$) bei einem der langsamen Verbrennung des Holzgas-Luftgemisches angepaßten frühen Zündzeitpunkt (s. o.) ein für viele praktische Fälle zufriedenstellender Betrieb möglich ist. Die in Zahlentafel 42 aufgeführten Ergebnisse der Versuchsfahrt (Versuch 2) nach Urfeld unter Einschluß des Kesselberges lassen erkennen, daß bei einer mittleren Geschwindigkeit von 20 km/h 88,3 % der Gesamtstrecke im direkten Gang zurückgelegt werden konnten. Dem Leistungsabfall des Motors ent-

Zahlentafel 42 Ergebnisse von Versuchsfahrten auf der Strecke München—Urfeld

Versuch	Betriebsstoff und Verdichtungsverhältnis	Strecke	Länge der Strecke km	Durchfahrene Strecke (in km und % der Gesamtstrecke) in den Schaltgängen										In den Gängen III, II u. I zurückgelegte Strecke km	Mittlere Geschwindigkeit km/h	
				IV		III		II		I		Anzahl d. Schaltungen	Anzahl d. Schaltungen			Anzahl d. Schaltungen
				km	%	km	%	km	%	km	%					
1	Benzin $\epsilon = 4,3:1$	Hinfahrt	70,9	63,6	89,7	5,4	7,6	13	1,9	2,7	6	—	—	—	7,3	26,0
		Rückfahrt	70,9	67,6	95,4	2,7	3,8	9	0,6	0,8	4	—	—	—	3,3	23,4
		Gesamtstr.	141,8	131,2	92,6	8,1	5,7	22	2,5	1,7	10	—	—	—	10,6	24,7
2	Holzgas $\epsilon = 4,3:1$	Hinfahrt	70,9	59,7	84,2	2,8	3,9	18	3,6	5,1	12	4,8	6,8	7	11,2	18,75
		Rückfahrt	70,9	65,5	92,4	1,2	1,7	6	3,1	4,4	14	1,1	1,5	7	5,4	21,4
		Gesamtstr.	141,8	125,2	88,3	4,0	2,8	24	6,7	4,8	26	5,9	4,1	14	16,6	20,0
3	Holzgas $\epsilon = 9:1$ (Imbert)	Hinfahrt	70,9	62,6	88,3	2,4	3,4	16	5,2	7,3	15	0,7	1,0	1	8,3	22,0
		Rückfahrt	70,9	66,5	93,7	1,9	2,7	16	1,8	2,6	6	0,7	1,0	5	4,4	24,8
		Gesamtstr.	141,8	129,1	91,0	4,3	3,1	32	7,0	4,9	21	1,4	1,0	6	12,7	23,4
4	Holzgas $\epsilon = 9:1$ (Imbert)	Hinfahrt	70,9	61,9	87,3	3,3	4,6	18	5,5	7,8	12	0,2	0,3	2	9,0	24,1
		Rückfahrt	70,9	64,6	91,1	1,6	2,3	9	3,7	5,2	8	1,0	1,4	5	6,3	23,5
		Gesamtstr.	141,8	126,5	89,2	4,9	3,5	27	9,2	6,5	20	1,2	0,8	7	15,3	23,8
5	Holzgas $\epsilon = 9:1$ (Dtsch. Holzv.-Ges.)	Hinfahrt	70,9	60,3	85,1	3,7	5,2	21	6,6	9,3	17	0,3	0,4	4	10,6	21,6
		Rückfahrt	70,9	62,5	88,2	4,2	5,9	14	3,2	4,5	11	1,0	1,4	9	8,4	22,2
		Gesamtstr.	141,8	122,8	86,6	7,9	5,6	35	9,8	6,9	28	1,3	0,9	13	19,0	21,9

sprechend mußte oft (insgesamt 64 mal) zurückgeschaltet werden. Der I. Gang, in dem 5,9 km = 4,1 % überwunden wurden, mußte 14 mal eingerückt werden. Der Anteil der im III. Gang gefahrenen Strecke war gering (2,8 %), woraus geschlossen werden kann, daß das in diesem Gang erzielbare Drehmoment zur Überwindung schon verhältnismäßig geringer Steigungen nicht ausreicht.

Der im Vergleich zur Nennleistung des Motors geringe Kraftaufwand zur Fortbewegung des Fahrzeuges auf ebener Straße gegenüber der erforderlichen Leistung zur Überwindung von Steigungen tritt hier deutlich zutage.

Nachdem das Verdichtungsverhältnis des Motors durch Einsetzen höherer Kolben auf $\epsilon = 9:1$ erhöht worden war, ergaben Meßfahrten (Versuche 3 und 4) auf der gleichen Strecke, bei denen ein Gaserzeuger 150/550 der Imbert-Gas-Generatoren G. m. b. H. verwendet wurde, daß die Fahreigenschaften des Wagens sich von den bei Benzinbetrieb beobachteten nicht mehr stark unterschieden. Etwa 90 % (Mittelwert aus den Versuchsfahrten 3 und 4) der Gesamtstrecke konnten im direkten Gang zurückgelegt werden. Der Anteil der im I. Gang gefahrenen Strecke sank von 4,1 % auf etwa 0,9 %, die Anteile der Gänge III und II erhöhten sich dementsprechend. Die Anzahl der notwendigen Zurückschaltungen ist zwar von 64 bei $\epsilon = 4,3:1$ auf 56 bei $\epsilon = 9:1$ gesunken, doch ist sie wegen des zwar verringerten, jedoch noch vorhandenen Leistungsabfalles höher als beim Benzinversuch. Die mittlere Geschwindigkeit betrug 23,6 km/h. Da die Gaszufuhr nicht durch einen selbsttätigen Regler beeinflußt wurde, konnte der Fahrer durch zeitweilige Steigerung der Motordrehzahl kurze Steigungen mit Anlauf nehmen.

Eine weitere Versuchsfahrt (Versuch 5), bei der ein Gaserzeuger der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft m. b. H., Oberhexbach, eingebaut war, bestätigte die obigen Erfahrungen. Die größere, in den Gängen III, II und I zurückgelegte Strecke und die etwas geringere mittlere Geschwindigkeit von 21,9 km/h sind zum großen Teil darauf zurückzuführen, daß das Fahrzeug mit einem neuen Führer besetzt war, der die Normaldrehzahl des Motors in jedem Gang genau einhielt, also Berge nicht mit Anlauf nahm.

Greift man aus der Versuchsstrecke München—Urfeld den Abschnitt „Kesselberg“ heraus, so treten die Gegensätze zwischen Benzin- und Holzgasbetrieb noch klarer hervor. In Zahlentafel 43 sind die Er-

Zahlentafel 43

Schaltstrecken und Geschwindigkeiten am Kesselberg

Betriebsstoff und Verdichtungsverhältnis	Durchfahrene Strecke (in km und % der Gesamtstrecke) in den Schaltgängen								Mittlere Geschwindigkeit km/h
	IV		III		II		I		
	km	%	km	%	km	%	km	%	
Benzin $\epsilon = 4,3:1$	—	—	3,5	70	1,5	30	—	—	14,3
Holzgas $\epsilon = 4,3:1$	—	—	0,1	2	0,7	14	4,2	84	6,5
Holzgas $\epsilon = 9:1$	—	—	1,4	28	2,9	58	0,7	14	11,1
	—	—	0,6	12	4,4	88	—	—	14,7
Holzgas $\epsilon = 9:1$	—	—	0,7	14	4,3	86	—	—	12,8

gebnisse dieser Bergstrecke gesondert aufgeführt, in den Abb. 91 und 92 bildlich dargestellt. In Abb. 91 sind die in den einzelnen Gängen zurückgelegten Teilstrecken durch verschiedene Schraffuren gekennzeichnet. Bei der Benzinfahrt wurden 3,5 km = 70 % im III. und 1,5 km = 30 % im II. Gang gefahren. Zur Überwindung der Strecke bei Holzgasgespeistem Motor und $\epsilon = 4,3:1$ konnten nur 100 m = 2 % im III. Gang gefahren werden; der weitaus größte Teil der Strecke (84 %) mußte im I. Gang zurückgelegt

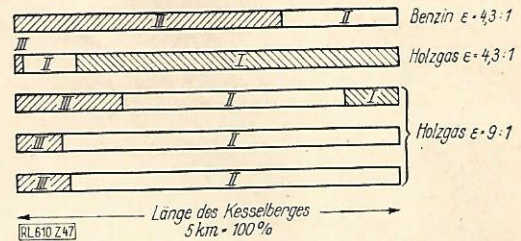


Abb. 91
Verteilung der in den einzelnen Schaltgängen zurückgelegten Wegstrecken am Kesselberg

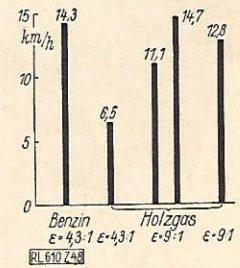


Abb. 92
Die am Kesselberg erreichten mittleren Geschwindigkeiten

werden. Die nach Erhöhung der Verdichtung mit den beiden verwendeten Gaserzeugern gewonnenen Zahlen weichen wenig voneinander ab. Der größte Teil der Strecke, nämlich 86 % bzw. 88 %, konnte jetzt im II. Gang gefahren werden, ein Zurückschalten in den I. Gang war nicht mehr erforderlich.

Ein Vergleich der Ergebnisse dieser beiden Fahrten mit der Benzinfahrt läßt den Leistungsabfall bei Holzgasbetrieb erkennen. Bei Benzinbetrieb verfügt der Motor auch bei geringem Unterschreiten der Drehzahl über eine genügend große Kraftreserve, um den Lastkraftwagen im III. Gang durchzuziehen, wogegen die Motorleistung bei Holzgasbetrieb auch bei Vollgas dazu nicht mehr ausreicht. Bei der durch Zurückschalten wieder erreichten Normaldrehzahl ist die Leistung des Motors schon bei etwa halb geöffneter Drosselklappe groß genug, um die gleiche Geschwindigkeit zu erzielen.

Abb. 92 zeigt eine Gegenüberstellung der am Kesselberg erzielten Durchschnittsgeschwindigkeiten. Es entspricht durchaus den Erwartungen, daß die Geschwindigkeit bei Holzgasbetrieb (6,5 km/h) ohne Erhöhung der Verdichtung gegenüber der bei Benzinbetrieb (14,3 km/h) weit zurückbleibt. Die mit dem auf $\epsilon = 9:1$ verdichteten Motor erzielten Geschwindigkeiten liegen im Durchschnitt bei etwa 12,9 km/h. Eine Fahrt, bei der $v_m = 14,7$ km/h betrug, läßt erkennen, daß es ohne Schwierigkeiten

möglich ist, durch eine verhältnismäßig geringe Drehzahlerhöhung im II. Gang die bei Benzinbetrieb erzielte mittlere Geschwindigkeit zu erreichen. Weiterhin kann aus den mit dem Imbert-Gaserzeuger durchgeführten Versuchsfahrten entnommen werden, welchen Einfluß der Fahrer auf das Ergebnis hat. Bei der ersten Versuchsfahrt, bei der $v_m = 11,1$ km/h festgestellt wurde, versuchte der Fahrer immer wieder, den Berg im III. Gang zu bewältigen (vgl.

Berge, wie den Kesselberg und den Wolfratshausener Berg (Abb. 93) aufweist, hat die Straße München—Pfaffenhofen—Ingolstadt einen sehr welligen Zug. Die auf dieser Strecke zu überwindenden Steigungen sind zwar nicht so lang anhaltend wie auf der Strecke nach Urfeld, dafür aber steiler, nämlich bis zu etwa 10%. Die auf der Strecke bis Pfaffenhofen a. Ilm gewonnenen Ergebnisse sind in Zahlentafel 44 enthalten.



Abb. 93
Teilansicht der Wolfratshausener Bergstraße

Abb. 91). Infolge Sinkens der Motordrehzahl in diesem Gang und des dadurch bedingten immer wieder notwendigen Zurückschaltens (bis auf den I. Gang) konnte insgesamt nur die geringe mittlere Geschwindigkeit von 11,1 km/h erzielt werden. Zur Erreichung einer guten mittleren Geschwindigkeit im bergigen Gelände ist es also zweckmäßig, den Motor durch rechtzeitiges Schalten nach Möglichkeit auf der Normaldrehzahl zu halten.

Während die Strecke München—Urfeld und zurück neben längeren ebenen Strecken lange kurvenreiche

Durchschnittsgeschwindigkeit und Brennstoffverbrauch

Zahlentafel 45 bringt eine Zusammenstellung der auf verschiedenen Versuchsstrecken erzielten Durchschnittsgeschwindigkeiten und des Verbrauches an Benzin und Holz. Die Straße München—Weilheim führt durch ebenes und mäßig welliges Gelände zum Hirschberg, die Strecke München—Freising—Landschut ist, abgesehen von geringfügigen Steigungen, nahezu eben. Bei dem Vergleich der Durchschnittsgeschwindigkeiten muß berücksichtigt werden, daß

Zahlentafel 44 Ergebnisse von Versuchsfahrten auf der Strecke München—Pfaffenhofen a. Ilm

Versuch	Betriebsstoff und Verdichtungsverhältnis	Strecke	Länge der Strecke km	Durchfahrene Strecke (in km und % der Gesamtstrecke) in den Schaltgängen										In den Gängen III, II u. I zurückgelegte Strecke km	Mittlere Geschwindigkeit km/h	
				IV		III			II		I					
				km	%	km	%	Anzahl d. Schaltungen	km	%	Anzahl d. Schaltungen	km	%			Anzahl d. Schaltungen
1	Holzgas $\epsilon = 4,3 : 1$	Hinfahrt	46	42,5	92,4	1,05	2,3	7	1,2	2,6	9	1,25	2,7	9	3,5	22,4
		Rückfahrt	46	41,05	89,2	1,8	3,9	12	1,7	3,7	12	1,45	3,2	11	4,95	21,8
		Gesamtstr.	92	83,55	90,8	2,85	3,1	19	2,9	3,2	21	2,7	2,9	20	8,45	22,1
2	Holzgas $\epsilon = 9 : 1$ (Imbert)	Hinfahrt	46	42,9	93,4	1,2	2,6	11	1,25	2,7	8	0,65	1,3	6	3,1	24,3
		Rückfahrt	46	42,4	92,3	1,8	3,9	8	1,05	2,3	9	0,75	1,5	6	3,6	24,6
		Gesamtstr.	92	85,3	92,8	3,0	3,3	19	2,3	2,5	17	1,4	1,4	12	6,7	24,45
3	Holzgas $\epsilon = 9 : 1$ (Imbert)	Hinfahrt	46	43,15	93,8	1,3	2,8	12	1,0	2,2	11	0,55	1,2	7	2,85	26,9
		Rückfahrt	46	41,75	90,7	1,65	3,6	8	1,45	3,2	10	1,15	2,5	7	4,25	25,6
		Gesamtstr.	92	84,90	92,2	2,95	3,2	20	2,45	2,7	21	1,7	1,9	14	7,1	26,25
4	Holzgas $\epsilon = 9 : 1$ (Dtsch. Holz v.-Ges.)	Hinfahrt	46	43,15	93,8	0,9	2,0	8	1,4	3,0	11	0,55	1,2	5	2,85	26,4
		Rückfahrt	46	42,1	91,4	1,8	3,9	9	1,4	3,0	7	0,7	1,7	6	3,9	26,0
		Gesamtstr.	92	85,25	92,6	2,7	3,0	17	2,8	3,0	18	1,25	1,4	11	6,75	26,2

Betriebsstoff und Verdichtungsverhältnis	Strecke	Länge der Strecke km	Mittlere Geschwindigkeit km/h	Verbrauch l bzw. kg	Verbrauch je 100 km 1/100 km kg/100 km	Holzart und Größe
Benzin $\epsilon = 4,3 : 1$	Weilheim	108,5	22,0	37,1	34,2	—
	Urfeld	141,8	24,7	53,4	37,6	
Holzgas $\epsilon = 4,3 : 1$	Weilheim	88,3	21,2	88,5	100	} $8 \times 30 \text{ cm}^2$
	Urfeld	136,4	19,6	140,5	103	
	Freising	61,1	—	52	85	
	Pfaffenhofen	91,9	22,0	80,5	87,5	
	Wolfratshausen	57,3	—	57,2	100	
	Landshut	135,9	27,8	110,5	81	
Holzgas $\epsilon = 9 : 1$ (Imbert)	Weilheim	86,0	21,1	91	106	} $8 \times 30 \text{ cm}^2$
	Urfeld	141,8	24,2	126	89	
	Urfeld	141,8	23,8	132	93	
	Pfaffenhofen	92,0	25,0	66,5	72	
Holzgas $\epsilon = 9 : 1$ (Dtsch. Holzv.-Ges.)	Ingolstadt	160,8	26,0	121,5	75,5	} Buche-Fichte-Gemisch
	Weilheim	114,0	—	101	89	
	Urfeld	141,8	22,2	130	92	
	Freising	61,5	—	49	80	
	Unterbruck	56,0	—	48	86	
	Landshut	141,8	29,9	119	84	
	Ingolstadt	155,0	28,8	143	93	

bei Holzgasbetrieb in allen Fällen ohne Drehzahl-Regler gefahren wurde. Die bei hoher Verdichtung erzielten Geschwindigkeiten lassen weiterhin die sich bessernde Fahrtechnik des Führers erkennen.

Der angegebene Benzinverbrauch wurde mit einer von einem Sachverständigen der Dapolin-Gesellschaft vorgenommenen Vergasereinstellung erreicht. Die Holzverbrauchsziffern bestätigen die bei den Prüfstandversuchen gemachte Erfahrung, daß mit steigendem Verdichtungsverhältnis der Verbrauch infolge besserer Gasausnutzung günstiger wird. In den unter der Strecke Weilheim angeführten Verbrauchszahlen ist der erhöhte Holzverbrauch enthalten, der durch die auf der Hirschbergstraße vorgenommenen Beschleunigungsmessungen, insbesondere durch mehrfache Wiederholung der Bergfahrt, verursacht wurde. Die mit einem Gaserzeuger der Imbert-Gas-Generatoren-G. m. b. H. unternommenen Versuchsfahrten zeigen, daß der Holzverbrauch bei dieser Bauart dem Gelände entsprechend gestaffelt ist, während die mit einem Gaserzeuger der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft m. b. H., Oberhexbach, gefundenen Verbrauchsziffern nur geringe Schwankungen aufweisen. Als mittlerer Verbrauch (bezogen auf 100 km) eines lufttrockenen Buche-Fichte-Gemisches $8 \times 30 \text{ cm}^2$ ergeben sich für beide Generatorarten etwa $87 \text{ kg}/100 \text{ km}$.

Beschleunigungsmessungen

Die mit dem Beschleunigungsmesser, System Bruhn, bei voller Belastung auf ebener Straße erhaltenen Anfahrkurven sind in Abb. 95 bei Benzinbetrieb und Holzgasbetrieb bei verschiedener Verdichtung des Motors dargestellt. Die 30 km/h -Grenze wurde bei Benzinbetrieb nach etwa 140 m erreicht. Die bei Holzgasbetrieb und einem Verdichtungsverhältnis $\epsilon = 4,3 : 1$ gewonnene Kurve zeigt einen

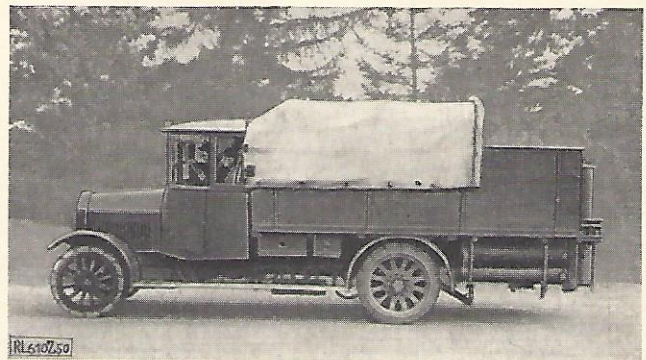


Abb. 94 Der Versuchswagen

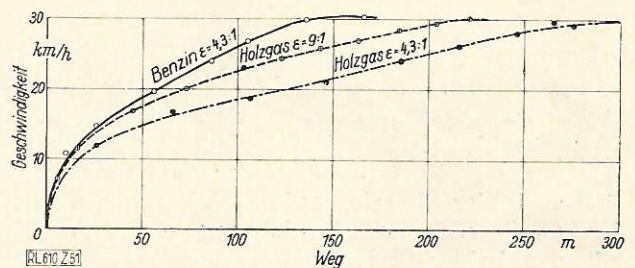


Abb. 95 Anfahren und Beschleunigen auf etwa 30 km/h Geschwindigkeit in der Ebene

wesentlich geringeren Steigungsgrad; infolge der stark verminderten Motorleistung werden etwa 300 m Weg benötigt, um die Geschwindigkeit von 30 km/h zu erzielen. Durch die Erhöhung der Verdichtung auf $\epsilon = 9 : 1$ wird das Anzugsvermögen des holzgasbetriebenen Motors besser, und der Lastkraftwagen hat bereits nach etwa 220 m die erforderliche Geschwindigkeit.

Um den Einfluß der zeitlichen Aufeinanderfolge der einzelnen Schaltgänge zu erkennen, wurden Versuche angestellt, bei denen der IV. Gang bei einer Geschwindigkeit von etwa 12 km/h, dann bei etwa 15 km/h und bei etwa 20 km/h eingeschaltet wurde. Die sich dabei ergebenden Kurvenzüge decken sich so genau, daß beim Anfahren auf ebener Straße von einem Einfluß der Schaltgeschwindigkeit nicht gesprochen werden kann.

Die Abb. 96 bis 99 zeigen die Zunahme der Geschwindigkeit bei der Wiederbeschleunigung des vollbelasteten Fahrzeuges auf ebener Straße im direk-

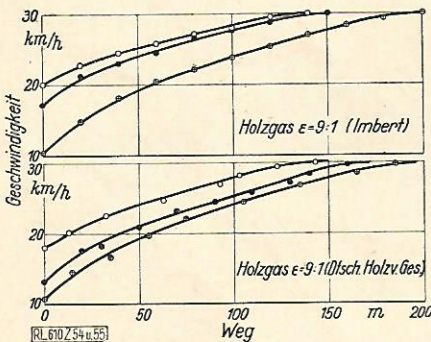
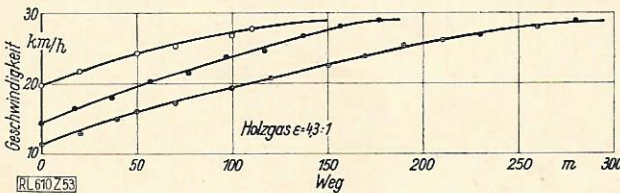
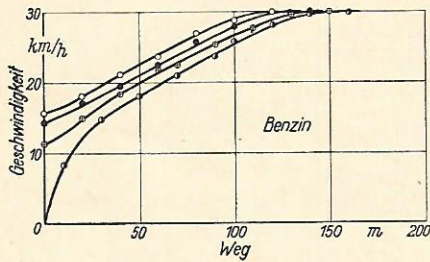


Abb. 96 bis 99 Beschleunigungen im IV. Gang nach vorausgegangenem Abbremsen

ten (IV.) Gang nach vorherigem Abbremsen auf etwa 10 bis 20 km/h. Je größer der Geschwindigkeitsverlust war, desto länger mußte der zurückzulegende Weg sein, bis die Normalgeschwindigkeit wieder erreicht wurde. Ebenso wie bei den Anfahrversuchen sind auch hier die erforderlichen Wegstrecken nach der jeweils erzielten Motorleistung gestaffelt. Die mit den beiden Holzvergaser-Systemen und hoher Verdichtung gewonnenen Kurvenzüge weisen, wie Abb. 98 und 99 veranschaulichen, weitgehende Übereinstimmung auf.

In Abb. 100 ist der Höhenplan der Hirschbergstraße (Strecke Weilheim) in fünffacher Überhöhung gezeichnet. Die Beschleunigungsmessungen (Abb. 101 bis 104) wurden, an zwei verschiedenen Stellen beginnend, aus dem Stillstand heraus vorgenommen. Die ersten Kurven jeder Abbildung zeigen deutlich den günstigen Einfluß einer erst schwach ansetzenden Steigung, die am Kilometer 43,5 begonnenen Messungen dagegen das etwas geringere Anzugsver-

mögen des Motors, wenn der Wagen schon auf der Steigung steht. Die Unterschiede der bei Benzinbetrieb und Holzgasbetrieb bei $\epsilon = 4,3:1$ und $\epsilon = 9:1$ gewonnenen Kurven gehen aus den Abb. 101 bis 104 hervor. Bei dem in Abb. 104 dargestellten Versuch hat der Fahrer die einmal erreichte Normaldrehzahl genau eingehalten.

Gas- und Abgasanalysen, Temperatur und Unterdruck

Einzelergebnisse der Messungen, die mit den früher beschriebenen Einrichtungen während der Fahrt durchgeführt wurden, sind in Zahlentafel 46 auf-

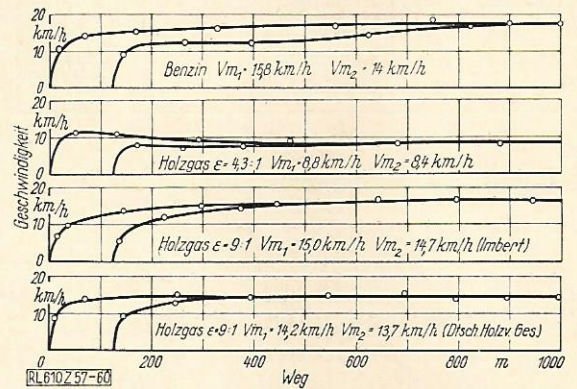
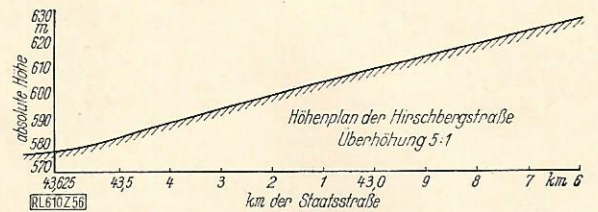


Abb. 100 bis 104 Ergebnisse von Beschleunigungsmessungen auf der Hirschbergstraße

geführt. Die Größenordnung der Heizwerte läßt nennenswerte Unterschiede gegen die bei den Prüfstandversuchen erhaltenen Werte nicht erkennen. Der Einfluß der Generatorbauart auf die Gaszusammensetzung zeigt sich in ähnlicher Weise wie früher. Die Bauart der Imbert-Gas-Generatoren-Gesellschaft liefert Gas mit verhältnismäßig hohem H_2 -Gehalt, während der Gaserzeuger der Deutschen Holzvergaser-Gesellschaft m. b. H. mehr Methan (CH_4) bildet. Ein besonderes Merkmal der Analysen des Frischgases während der Fahrt ist der geringe CO_2 -Gehalt. Bei den Standversuchen waren durchschnittlich 10 bis 13 % CO_2 festgestellt worden¹⁾, während bei den Fahrversuchen der Anteil der Kohlensäure 8,5 % nicht überschritt. Diese Tatsache ist auf die geringere Durchschnittsbelastung des Generators im Fahrbetrieb zurückzuführen und äußert sich auch in den gemessenen Temperaturen, die — an derselben Stelle gemessen — im Fahrbetrieb bei beiden untersuchten Gaserzeugertypen um etwa 100°C geringer sind als bei den Prüfstandversuchen. Außerordentliche Schwankungen der Gaszusammensetzung und Gasqualität bei längerer Bergfahrt (Kesselberg) konnten nicht festgestellt werden.

¹⁾ Vgl. Zahlentafel 15 und 16.

Zahlentafel 46 Gas- und Abgasanalysen und Temperaturen im Fahrbetrieb

Nr.	Verdichtungs- verhältnis	Ver- suchs- strecke	Gasanalysen							Unterer Heiz- wert kcal/m ³	Abgas- analysen			Ge- misch- Heiz- wert kcal/m ³	Temperaturen °C					Unter- druck mmWS	Bemer- kungen			
			CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂		CO ₂	O ₂	CO		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅					
1	ε = 4,3 : 1	Urfeld	26,1	17,8	2,4	—	5,0	—	48,7	1460	8,8	2,8	4,0	597									bergauf	
2			17,1	19,0	3,0	0,3	7,2	—	53,4	1306	8,0	4,0	0,8	530	540	115	20	490	15	160	bergauf			
3			20,6	17,2	3,1	—	5,4	—	53,7	1336	8,4	3,8	—	543									Ebene	
4		Pfaffen- hofen	22,6	16,6	1,5	—	7,3	—	52,0	1243	9,3	1,4	2,0	580	600	160	30	490	22	140				
5			Landshut	20,8	20,5	2,0	—	8,4	—	48,3	1332	10,8	1,1	2,1	595	550	175	25	470	20	110			Ebene
6				21,0	16,9	2,3	—	7,6	—	52,2	1270	10,0	2,6	—	557									
7	ε = 9 : 1 (Imbert)	Pfaffen- hofen	19,1	15,7	3,1	0,4	6,6	—	55,1	1333	7,8	3,8	0,2	548	460	163	25	490	22	160				
8		Urfeld	17,9	21,1	2,9	—	8,3	—	49,8	1341	9,8	1,2	1,4	588	440	145	25	510	20	150				
9			19,2	20,2	2,9	—	7,9	—	49,8	1353	10,1	2,7	0,6	565										
10	ε = 9 : 1 (Dtsch. Holz- verg.-Ges.)	Urfeld	18,1	16,2	3,3	0,2	6,3	—	55,9	1261	7,9	3,5	—	526	350	35	500	15	110					
11		Pfaffen- hofen	14,3	12,3	3,7	0,1	8,5	—	61,1	1088	10,6	2,2	4,5	515	360	30	510	18	180				Ebene	
12			20,0	9,4	4,7	—	5,5	—	60,4	1251	9,7	2,9	2,1	540										bergauf

Die Abgasanalysen zeigen fast durchweg ein ungünstiges Bild der Verbrennung. Trotz der hohen Luftüberschubzahl ($\lambda =$ etwa 1,2) wurde in den Abgasen oft ein großer CO-Gehalt gefunden. Die Ergebnisse lassen erkennen, daß bei den dauernd wechselnden Belastungsverhältnissen des praktischen Fahrbetriebes das Mischungsverhältnis des Gases mit der Verbrennungsluft nicht annähernd so sicher beherrscht werden kann wie bei den Versuchen am Stand. Durch den großen Luftüberschub wird der Gemischheizwert erheblich verschlechtert, daneben wird die Leistung des Motors noch durch die hohen Abgasverluste beeinträchtigt.

Aus der Beobachtung der Temperaturen konnte auf den Beharrungszustand des Gaserzeugers geschlossen werden. Dieser wurde erst nach geraumer Zeit — etwa 30 bis 45 Minuten nach Beginn der Fahrt — erreicht, bei kurzen Über- oder Entlastungen zeigten sich keine wesentlichen Schwankungen. Bei längerer Bergfahrt erhöhten sich die Temperaturen nur um wenige Grade. Bei Talfahrt ist es durch Wahl einer geeigneten Drosselklappenstellung möglich, die Temperaturen im Gaserzeuger zu halten, somit den Beharrungszustand und die Betriebsbereitschaft des Gaserzeugers zu sichern. Die Temperatur des Gases vor der Mischung mit der Verbrennungsluft schwankt mit der Temperatur der Außenluft. Die Anordnung der Reiniger gewährleistete jedoch in allen Fällen eine genügende Abkühlung des Gases.

Der am Generator gemessene Unterdruck schwankt im Fahrbetrieb infolge seiner Abhängigkeit von der Luftschieber- und Drosselklappenstellung bei jeder Fahrgeschwindigkeit (Motordrehzahl, Gang!) außerordentlich. Die ebenfalls in Zahlentafel 46 aufgeführten Werte des Unterdruckes stellen Mittelwerte bei etwa Normaldrehzahl des Motors dar, entsprechend der in dem betreffenden Gang gefahrenen Geschwindigkeit.

Allgemeines

Die Versuchsfahrten haben den Beweis erbracht, daß ein holzgasbetriebenes Fahrzeug bei richtiger und sorgfältiger Wartung des Gaserzeugers und der sonstigen Zusatzeinrichtungen durchaus verkehrs- und betriebssicher ist. Der Inhalt des Generators

muß täglich vor Inbetriebnahme durch die Einfüllöffnung, also von oben, zwecks Lockerung durchstoßen werden, wobei darauf geachtet werden muß, daß die Holzkohle nicht festgestampft wird. Das Durchstoßen soll nicht nach Beendigung einer Fahrt vorgenommen werden, weil bis zum vollständigen Erkalten auch im Stillstand ein Nachbrennen stattfindet und eine Hohlräumbildung unvermeidlich wird. Sodann ist durch die unteren Füllöffnungen die beim Erkalten zusammenbackende Holzkohle aufzulockern, womit gleichzeitig auch ein Abschütteln von anhaftender Asche erreicht wird. Dabei hat sich ein am Entschungsloch angeordnetes, durch einen Gewindestopfen verschließbares Stochloch (s. Abb. 86) von etwa 1½" Durchmesser als besonders zweckmäßig erwiesen. Dasselbe ermöglicht, den Generator von unten gründlich durchzuräumen. Auch bei Störungen während des Betriebes, also bei heißem Generator, hat sich diese Vorrichtung bewährt. Es genügt, bei der nach einer Fahrstrecke von etwa 800 bis 1000 km vorzunehmenden Hauptreinigung des Generators die Holzkohle im äußeren Mantelraum zu ergänzen. Holzkohle aus Hartholz ist der aus Weichholz unbedingt vorzuziehen, weil letztere in Stückchen so geringer Größe zerbröckelt, daß sie vom Gasstrom mitgerissen werden. Eine übermäßige Abnahme dieser Holzkohle im angegebenen Fahrabschnitt war nicht festzustellen. Die Reiniger, besonders die wasserführenden, sind nach etwa 150 km zu entleeren bzw. zu säubern. Der Wasserablaßhahn an dem kurz vor der Mischung des Gases mit Luft angeordneten Kondensstopf bleibt zweckmäßig immer offen, bei Unterschreitung eines gewissen Unterdruckes in der Rohrleitung fließt dann das sich bildende Kondenswasser selbsttätig ab.

Das Anfachen eines Generators aus kaltem Zustand bis zur Gewinnung brennbaren Gases mittels des eingebauten Elektroventilators nahm etwa 4 bis 5 Minuten in Anspruch. Bei kurzen Betriebspausen, bis etwa 7 Minuten Dauer, kann der Motor sogleich wieder mit Gas angelassen werden, jedoch ist vor einer sofortigen Belastung ein kurzer Leerlauf einzuschalten. Bei längerem Stillstand, bis zu etwa 1½ Stunden, genügen etwa 2 Minuten Ventilatorbetrieb, um brennbares Gas zu erhalten. Bei Be-

triebsunterbrechungen von mehr als 2 Stunden Dauer ist der Gaserzeuger von neuem mit der Lunte anzuzünden.

Das Nachfüllen des Holzes, das „Tanken“, hat stets rechtzeitig zu erfolgen, d. h. bevor der Abbrand soweit fortgeschritten ist, daß das frische Holz sogleich in die Vergasungs-(Brand-)Zone gelangt. Andernfalls wird nur eine ungenügende Menge von Holzkohle nachgebildet, und infolgedessen würde ein übermäßiger Verbrauch der vorhandenen Holzkohle und die Gefahr der Verteuerung eintreten.

Da wegen der wechselnden Gaszusammensetzung ein festes Mischungsverhältnis zwischen Gas und Verbrennungsluft nicht besteht, ist es vorteilhaft, beim Anlassen des Motors mit Holzgas die Drosselklappe etwa einhalb bis dreiviertel zu öffnen und nach Betätigung des Anlagers den Ringschieber der Luftzufuhr langsam zu öffnen, bis die Zündung des Gas-Luftgemisches erfolgt und der Motor anspringt. Dann stellt man den Gashebel auf Leerlauf — ebenfalls von Fall zu Fall einzustellen — worauf man den Bereich des günstigsten Gas-Luftgemisches leicht finden kann, der während der Fahrt selbstverständlich von Zeit zu Zeit nachzuprüfen ist.

Besondere Anlaßschwierigkeiten haben sich nicht ergeben, jedoch war festzustellen, daß bei niedrig verdichtendem Motor ($\epsilon=4,3:1$) das Starten glatter vonstatten ging als bei einem Verdichtungsverhältnis von $\epsilon=9:1$. Da der vorhandene Anlasser nicht gegen einen solchen mit stärkerer Durchzugskraft ausgetauscht worden war, wurden nach Erhöhung der Verdichtung nur geringe Drehzahlen der Kurbelwelle je Zeiteinheit erzielt. Infolgedessen war auch der Zündfunke während des Anlassens ziemlich schwach. Deshalb war besonders darauf zu achten, daß die Elektrodenabstände der Zündkerzen das vorschriftsmäßige Maß nicht überschritten.

Zu Beginn der Fahrt machten sich Schwankungen in der Gasqualität bemerkbar, die — wie auch die Anlaufversuche auf dem Prüfstand ergeben haben — darauf zurückzuführen sind, daß der Beharrungszustand des Gaserzeugers noch nicht erreicht war.

Über die Einstellung des Zündzeitpunktes wurde bereits berichtet. Der in das Fahrzeug eingebaute Zündapparat ist mit einem selbsttätigen Regler ausgerüstet, der, den Verhältnissen bei Betrieb mit flüssigen Brennstoffen Rechnung tragend, bei fallender Motordrehzahl auf Spätzündung regelt. Bei den Fahrten mit Holzgas erwies es sich in manchen Fällen als vorteilhaft, mit einer vom Fahrersitz aus zu betätigenden Stellvorrichtung diese Reglerwirkung aufheben zu können. Ein mit Holzgas betriebener Motor zeichnet sich nämlich dadurch aus, daß er bei kurzer, starker Beanspruchung (z. B. Fahrzeug auf kurzen Steigungen) kein so stark wechselndes Drehmoment (die dem Autofahrer bekannten „Ruckerscheinungen“) zeigt und bei sinkender Drehzahl nicht so leicht zum Stillstand kommt wie ein mit flüssigen Brennstoffen betriebener, sofern der Zündzeitpunkt nicht gleichzeitig auf Spätzündung verlegt wird. Tritt letzteres bei Holzgasbetrieb ein, so sinkt die Leistung schnell ab; sie wird ferner in solchem Falle noch dadurch ungünstig beeinflusst, daß Verpuffungen im Ansaugerohr eintreten, die durch Nachbrennen infolge der zu spät erfolgenden Zündung

verursacht werden. Verpuffungen infolge Glühzündung traten bei Verwendung von Zündkerzen entsprechenden Glühwertes — Bosch MD 225 — nicht auf. Bei Fahrten mit dem Gaserzeuger der Imbert-Gas-Generatoren-Gesellschaft m. b. H. waren vereinzelt Verpuffungen in der Gasansaugleitung festzustellen, deren Ursache in der Gaszusammensetzung zu suchen ist (vgl. die Prüfstandversuche).

Bei einem mit Holzgas betriebenen Lastkraftwagen ist die gesamte Fahrleistung in besonderem Maße vom Fahrzeugführer abhängig. Flottes Fahren im Berggelände setzt rechtzeitiges Schalten voraus. Beim Herunterschalten ist zu beachten, insbesondere bei Getriebekonstruktionen älterer Bauart, die sich schwer schalten lassen, daß das Holzgas auch im Leerlauf träger beschleunigt als Benzin. Zur Erreichung der zum geräuschlosen Schalten notwendigen hohen Drehzahl ist verhältnismäßig viel Zeit erforderlich. Man ist daher gezwungen, so früh zu schalten, daß der Wagen während des Schaltvorganges nicht allzuviel Geschwindigkeit verliert. Dazu kommt noch, daß infolge der Überdrehzahl des Motors der Generator für kurze Zeit überlastet ist, im Augenblick der Beanspruchung des Motors diesem also nur Gas schlechterer Qualität zur Verfügung steht. Dadurch erklärt sich auch, daß an kurzen steilen Bergen meist gleich in den II. Gang zurückgeschaltet werden muß (vgl. Drehzahlcharakteristik und die Beziehung zwischen Motorgröße, Normaldrehzahl und Generatorgröße!).

Um nach längerer Talfahrt die Betriebsbereitschaft sicherzustellen, ist es notwendig, während der Talfahrt den Generator etwa der normalen Beanspruchung entsprechend zu belasten. Praktisch wurde dies dadurch erreicht, daß gegen Ende der Talstrecke die zuvor geschlossene Drosselklappe bei vollständig geschlossenem Luft-Ringschieber etwas geöffnet wurde, so daß der Motor reines Gas ansog und der Generator warm blieb. Im Tal angekommen, wurde durch Öffnen des Luft-Ringschiebers das zündfähige Gas-Luftgemisch wieder hergestellt.

Der Einfluß der Holzart, der Stückgröße und des Wassergehaltes auf den Gang des Generators im praktischen Fahrbetrieb äußerte sich wie bei den Prüfstandversuchen. Als zweckmäßig stellte sich ein Gemisch aus lufttrockenem Hart- und Weichholz heraus, der Querschnitt der verwendeten Holzstücke soll etwa 30 (bis 50) cm² nicht überschreiten.

Zur Vermeidung störender Rauchentwicklung bei innerem Überdruck der Anlage, wenn z. B. der Motor abgestellt wird, ist es nötig, daß alle Verschlüsse, Deckel, Nähte am Generator und an den Rohrverbindungen dicht sind. Insbesondere soll ein Hängenbleiben der Rückschlagklappen an den Luft-eintrittsöffnungen unmöglich sein. Auch die beim Tanken — selbst bei laufendem Motor bzw. Ventilator — an den untersuchten Generatoren beobachtete starke Rauchentwicklung muß künftig durch eine einfache bauliche Maßnahme verhindert werden, um Belästigungen des Fahrers und der Umwelt auszuschließen. Bei den untersuchten Ausführungen war ein Nachfüllen von Holz innerhalb der Stadt unmöglich. Sonstige gesundheitsschädigende Wirkungen oder Belästigungen durch die Auspuffgase wurden nicht festgestellt.

Im Stadtverkehr drückt sich bei einem Holzgas-Lastkraftwagen die geringere Motorleistung durch das schlechtere Beschleunigungsvermögen aus, ebenso macht sich die durch häufiges Halten und Wiederanfahren verursachte stoßweise Belastung im Gang des Generators bemerkbar.

2. Versuche mit einem „Kromag“-Gaserzeuger

Der in den Vomag-Lastkraftwagen eingebaute Gaserzeuger Kromag Type III Nr. 100 hat während der sich über etwa 325 km erstreckenden Fahrversuche bei sorgfältiger Wartung einwandfrei gearbeitet. Die täglich — zweckmäßig vor Fahrbeginn — vorzunehmende Entaschung der Holzkohle im Reduktionsraum konnte durch kräftiges Rütteln des Rostes erreicht werden. Dabei ist besonders hervorzuheben, daß dies ohne zeitraubendes Auf- und Zuschrauben von Deckeln geschehen kann und jede Belästigung durch Schmutz und Staub ausgeschlossen ist.

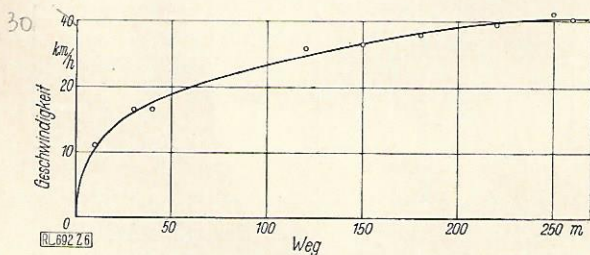


Abb. 105. Anfahren und Beschleunigen auf etwa 30 km/h Geschwindigkeit in der Ebene (Kromag)

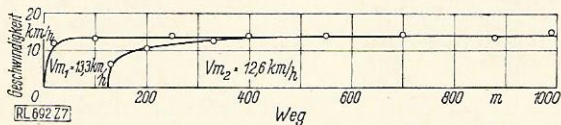


Abb. 106. Anfahren und Beschleunigen auf der Hirschbergstraße (Kromag)

Das Beschleunigungsvermögen in der Ebene gibt die Abb. 105 wieder. Nach einer Wegstrecke von etwa 230 m war die Geschwindigkeit von 30 km/h erreicht. Die jeweilige Fahrgeschwindigkeit des Wagens beim Durchschalten durch die Gänge war ohne Einfluß auf das Ergebnis.

Die Ergebnisse der aus dem Stillstand heraus vorgenommenen Beschleunigungsversuche an der Hirschbergstraße sind für die beiden Ausgangspunkte in Abb. 106 dargestellt. Der günstige Einfluß einer zunächst schwach ansetzenden Steigung zeigt sich deutlich in der ersten Kurve der Abb. 106; die erzielte mittlere Fahrgeschwindigkeit war 13,3 km/h gegenüber 12,6 km/h im zweiten Falle.

Bei der Fahrt nach Urfeld (Kesselberg) konnte eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von 25,6 km/h erzielt werden. Die 5 km lange Kesselbergstraße wurde bei Regenwetter mit einer Geschwindigkeit von 12,8 km/h im II. Gang bewältigt. Die Geschwindigkeit war wegen des Schlupfes der Räder auf der nassen Straßendecke geringer als die vom Tachometer angezeigte. Auf der ebenen Strecke nach Landshut wurde eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von 27,4 km/h erreicht.

Der Holzverbrauch (Buche-Fichte-Gemisch 8 cm \times 25 cm²; F ~ 12 %) betrug 100 kg/100 km.

3. Versuche mit einem Humboldt-Deutz-Gaserzeuger

Der Gaserzeuger wurde in den Vomag-Versuchslastkraftwagen eingebaut. Die Versuchsstrecken führten durch wechselndes Gelände, insgesamt wurden etwa 750 km zurückgelegt.

Das Anfachen des Gaserzeugers aus kaltem Zustand bis zur Gewinnung brennbaren Gases mittels des eingebauten Elektroventilators nahm etwa 10 bis 15 Minuten in Anspruch. Dabei mußte besonders darauf geachtet werden, daß die Lunte mit kräftiger Flamme brannte.

Das Beschleunigungsvermögen in der Ebene gibt die Abb. 107 wieder. Aus dem Stillstand heraus war nach einer Wegstrecke von 230 m die Geschwindigkeit von 30 km/h erreicht, beim Abbremsen auf etwa 15 bzw. 21 km/h ermäßigte sich die Strecke auf ungefähr 170 bzw. 130 m.

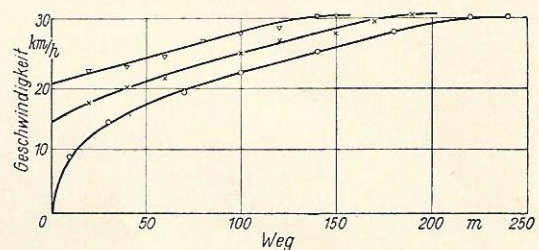


Abb. 107. Anfahren und Beschleunigen auf etwa 30 km/h Geschwindigkeit in der Ebene (Deutz)

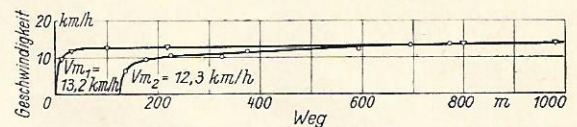


Abb. 108. Anfahren und Beschleunigen auf der Hirschbergstraße (Deutz)

Die Ergebnisse der aus dem Stillstand heraus vorgenommenen Beschleunigungsversuche an der Hirschbergstraße sind für die beiden Ausgangspunkte in Abb. 108 dargestellt. Die erzielte mittlere Fahrgeschwindigkeit war unter Ausnutzung der zunächst schwach ansetzenden Steigung 13,2 km/h. Beim Anfahren auf der Steigung wurde eine mittlere Geschwindigkeit von 12,3 km/h erreicht.

Die Feststellungen bei den Versuchsfahrten nach Urfeld (Kesselberg) und nach Ingolstadt sind in Zahlentafel 47 zusammengefaßt. Es geht daraus hervor, daß sehr häufig bis auf den I. Gang zurückgeschaltet werden mußte. Die erreichte mittlere Geschwindigkeit wurde durch die in den Gängen III, II und I zurückgelegten Strecken erheblich vermindert. Die Kesselbergstrecke mußte zur Hälfte im I. Gang zurückgelegt werden, infolgedessen konnte nur eine mittlere Geschwindigkeit von etwa 10 km/h erreicht werden. Bei beiden Versuchsstrecken mußte an verschiedenen kurzen, steilen Erhebungen Benzolzusatz gegeben werden.

Über die während der Fahrt bei gutem Zustand des Generators genommenen Gas- und Abgasanalysen sowie die Temperaturen des Gases beim Verlassen des Gaserzeugers gibt Zahlentafel 48 Aufschluß. Diese Werte lassen bessere Fahrleistungen er-

Zahlentafel 47. Ergebnisse von Versuchsfahrten mit einem Gaserzeuger Deutz KU.

Strecke		Länge der Strecke	Durchfahrene Strecke (in km und % der Gesamtstrecke) in den Schaltgängen											In den Gängen III, II u. I zurückgelegte Strecke	mittlere Geschwindigkeit	Verbrauch je 100 km
			IV		III			II			I					
			km	%	km	%	Zahl d. Schaltungen	km	%	Zahl d. Schaltungen	km	%	Zahl d. Schaltungen			
Urfeld	Hinfahrt	70,9	59,4	83,8	2,8	4,0	14	4,5	6,3	17	4,2	5,9	15	11,5	20,4	109
	Rückfahrt	70,9	64,7	91,2	2,2	3,1	11	1,2	1,7	8	2,8	4,0	8	6,2	20,4	
	Gesamtstr.	141,8	124,1	87,6	5,0	3,5	25	5,7	4,0	25	7,0	4,9	23	17,7	20,4	
Ingolstadt	Hinfahrt	78,7	72,9	92,6	1,4	1,8	12	1,6	2,0	11	2,8	3,6	14	5,8	21,3	105
	Rückfahrt	78,7	71,7	91,1	2,5	3,2	10	2,5	3,2	17	2,0	2,5	16	7,0	20,7	
	Gesamtstr.	157,4	144,6	91,9	3,9	2,5	22	4,1	2,6	28	4,8	3,0	30	12,8	21,0	

Zahlentafel 48. Bei Versuchsfahrten mit einem Gaserzeuger Deutz KU bestimmte Gasanalysen und Temperaturen

Versuchsstrecke	Gasanalysen							Abgasanalysen		Luftüberschußzahl	Unterer Heizwert	Gemisch-Heizwert	Temperatur
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	O ₂	λ	kcal/m ³	kcal/m ³	°C
Urfeld	20,5	14,1	3,6	—	10,7	—	50,4	13,5	1,2	1,05	1296	582	296
Ingolstadt	17,4	12,3	4,0	0,2	12,9	—	53,2	12,5	1,5	1,08	1218	554	300

warten, als aus den vorausgegangenen Darlegungen hervorgeht. Dieser scheinbare Widerspruch ist jedoch auf die mangelhafte Anpassungsfähigkeit des Gaserzeugers an kurze Belastungswechsel, wie sie im Fahrbetrieb ständig auftreten, zurückzuführen. Das Geben von Vollgas zur Überwindung kurzer Steigungen und von Zwischengas beim Zurückschalten hatte des öfteren wegen der schon früher (vgl. Seite 36) erwähnten großen Strömungswiderstände im unteren Teil des Reduktionsraumes ein völliges Abreißen des Gasstromes zur Folge, so daß dadurch die Fahrleistung gemindert wurde.

4. Versuche mit einem schnellfahrenden Lastkraftwagen

Im Anschluß hieran soll über praktische Vergleichsversuche mit einem Lastkraftwagen für höhere Fahrgeschwindigkeiten berichtet werden, der dem Wildbräu in Grafing bei München gehört (Abb. 109). Das Fahrzeug, ein M. A. N.-Lastkraftwagen, das ursprünglich für 2,5 t Nutzlast gebaut und zur Erhöhung der Tragfähigkeit bis auf etwa 3,5 t mit stärkeren Tragfedern ausgerüstet worden war, wird von einem Motor von 55/65 PS angetrieben. Die Vorderräder

haben Luftreifen, die Hinterräder Hochelastikreifen. Die Probefahrten wurden auf der Strecke München—Wolfratshausen—Kesselberg—Urfeld und zurück durchgeführt.

Die erste Fahrt diente zur Feststellung der Fahreigenschaften des Wagens bei Betrieb des Motors mit flüssigem Brennstoff. Das Eigengewicht des Fahrzeuges betrug 3370 kg, die Nutzlast 3420 kg. Die befahrene Strecke war am Versuchstage von München bis zum Kesselberg trocken, am Kesselberg selbst lag etwas Schnee, jedoch war die Strecke griffig. Das Wetter war sonnig und nahezu windstill.

An Betriebsstoff, Aral, wurden 33 l/100 km verbraucht. Mit dem mit einem Regler ausgerüsteten Motor konnte der Lastkraftwagen auf einer ebenen, 10 km langen Versuchsstrecke eine mittlere Geschwindigkeit von 40 km/h erzielen, die Durchschnittsgeschwindigkeit über die ganze Versuchsstrecke war 31 km/h. Die Anzahl der durch das Gelände bedingten Schaltungen auf den nächstniedrigen Gang geben Anhaltspunkte für Vergleiche verschiedener Fahrten untereinander. Außer bei einer rasch behobenen Kerzenstörung lief der Motor störungsfrei.

Nachdem der Lastkraftwagen mit einem Gaserzeuger 150/550 der Imbert-Gas-Generatoren-Gesellschaft ausgerüstet und der Motor durch Einsetzen neuer Kolben auf ein Verdichtungsverhältnis von etwa $\epsilon = 9:1$ verdichtet worden war, wurde eine weitere Probefahrt unternommen. Der Regler war auf eine höhere Drehzahl eingestellt. Das Eigengewicht des Fahrzeuges betrug 4100 kg, die Nutzlast 3200 kg. Vergast wurde Buchenholz, dessen Wassergehalt etwa 20 % betrug, außerdem ein kleiner Rest eines Fichte-Kiefer-Eiche-Birke-Holzgemisches. Die Länge des Holzes war etwa 6 cm, der Querschnitt 15 bis 20 cm². Der Brennstoffverbrauch lag mit 118 kg/100 km verhältnismäßig hoch, er ist z. T. auf das spez. Gewicht und den verhältnismäßig hohen Wassergehalt des



Abb. 109 Schnellfahrender Holzgas-Lastkraftwagen

Buchenholzes, z. T. auf die Fahrtechnik zurückzuführen. Der Fahrer regelte meist nur die Zufuhr der Verbrennungsluft, d. h. er drosselte den Gasstrom nicht ab, sondern änderte die Qualität des Gas-Luftgemisches und verursachte damit einen erhöhten Verbrauch. Die mittlere Geschwindigkeit war, entsprechend dem auf höhere Drehzahl eingestellten Regler, 42,4 km/h. Die Durchschnittsgeschwindigkeit über die ganze Strecke blieb mit 29,4 km/h etwas hinter der bei Aralbetrieb erzielten zurück. Bei Pausen von mehr als acht Minuten mußte der Generator mit dem Handventilator kurze Zeit angeblasen werden, nach Betriebspausen von etwa zwei Stunden und länger wurde brennbares Gas nach sechs Minuten erhalten. Die Gastemperaturen im Gasabsaugeraum des Generators lagen zwischen 350° und 450°C.

Abgesehen von einigen Verpuffungen in der Gasansaugeleitung lief der Motor störungsfrei. In den III. bzw. II. Gang mußte häufiger als bei Aralbetrieb geschaltet werden; von Kochel aus wurde der Kesselberg im III. und II. Gang gefahren, von Urfeld zum Kesselbergsattel mußte im II. Gang gefahren werden. Das Wetter war am Versuchstage heiter.

Bei einer weiteren Probefahrt betrug das Wagen-gewicht 4100 kg, die Nutzlast 3200 kg. Der Regler des Motors war ausgebaut. Vergast wurde Holz in einer Mischung von 60 % Birke, 20 % Fichte und 20 % Kiefer (Gewichts-%), der Wassergehalt betrug 14 bis 16 %. Das Holz war bis auf etwa Streichholzschachtelgröße zerkleinert, der Anteil an Birkenholz bestand aus Abfällen aus einer Spundfabrik. Es wurden auf 100 km Fahrstrecke 64,5 kg Holz verbraucht. Die mittlere Geschwindigkeit auf der Ebene war 42,6 km/h, die Durchschnittsgeschwindigkeit 29,3 km/h. Die geringe Anzahl der notwendigen Schaltungen zeigt, daß beim Fahren mit einem Motor ohne Regler die Möglichkeit besteht, Berge mit Schwung anzufahren. Nach einer Pause von 76 Minuten war nach zwei Minuten Ventilatorbetrieb brennbares Gas vorhanden. Der Motor arbeitete

störungsfrei, der Kesselberg konnte von beiden Seiten im III. Gang gefahren werden. Am Versuchstage war schönes Wetter ohne nennenswerten Wind.

Die wichtigsten Ergebnisse sind in Zahlentafel 49 zusammengestellt.

5. Versuche mit zwei parallel geschalteten Gas-erzeugern

In einen luftbereiften Vomag-Lastkraftwagen, der für diese Versuche zur Verfügung stand, waren zwei Holzgaserzeuger eingebaut. Jeder Generator war mit einer aus je vier Prallblechreinigern bestehenden Reinigungsanlage ausgerüstet. Die Gasleitungen liefen unmittelbar hinter den Reinigern zu einem Rohr, durch welches das Gas dem Motor zugeführt wurde, zusammen. Der Motor, dessen Normalleistung bei Benzinbetrieb zu 80 PS angegeben war, war für den Holzgasbetrieb durch Einsetzen neuer Kolben auf $\epsilon = 8:1$ verdichtet worden.

Die Versuchsfahrt diente zur Feststellung der Fahreigenschaften des Fahrzeuges und führte von München nach Ingolstadt und zurück (etwa 175 km). Der Wagen war, abgesehen vom mitgeführten Brennstoffvorrat (rd. 300 kg) unbelastet; der Drehzahlregler des Motors war außer Betrieb gesetzt. Auf ebener Strecke lief der Wagen störungsfrei, kleine Anhöhen, die der Fahrer mit Schwung anfahren konnte, wurden verhältnismäßig leicht überwunden. Beim Befahren längerer bzw. steilerer Berge — die Strecke weist Steigungen bis zu 10 % auf — zeigte sich eine mangelhafte Anpassungsfähigkeit der Gasanlage an Belastungswechsel. Das Geben von Vollgas und von Zwischengas beim Zurückschalten hatte des öfteren ein völliges Abreißen des Gasstromes zur Folge, so daß der Fahrer gezwungen war, bis auf den I. Gang zurückzuschalten. In 5 Fällen mußte sogar angehalten werden, wodurch die Fahrleistung erheblich gemindert wurde. Die mittlere Fahrgeschwindigkeit betrug auf der Hinfahrt 32,5 km/h, auf der Rückfahrt 35,5 km/h, Werte, die nur dadurch er-

Zahlentafel 49 Versuchsergebnisse mit einem schnellfahrenden Lastkraftwagen

Versuch Nr.	1	2	3
Brennstoff	Aral	80 % Buchenholz 20 % Mischholz	60 % Birkenholz 20 % Fichtenholz 20 % Kiefernholz
Gesamt-Wagengewicht kg	6790	7300	7300
Nutzlast "	3420	3200	3200
Länge der Fahrstrecke km	156	156	149
Brennstoffverbrauch:			
a) insgesamt l; kg	51,5	184,5	96
b) je 100 km "	33	118	64,5
Fahrzeit min	302	318	305
Mittlere Fahrgeschwindigkeit:			
a) auf der ganzen Strecke km/h	31	29,4	29,3
b) auf einer ebenen 10 km-Strecke "	40	42,4	42,6
Anzahl der Schaltungen	ganze Strecke	ohne Kesselberg	ganze Strecke
a) von IV auf III	18	23	16
b) von III auf II	2	6	1
Bemerkungen: Versuch 1 mit Regler, Kesselberg von beiden Seiten im III. Gang gefahren. Versuch 2 Regler auf höhere Drehzahl eingestellt, von Kochel zum Bergsattel im III. und II. Gang, von Urfeld zum Sattel im II. Gang. Versuch 3 ohne Regler, Kesselberg von beiden Seiten im III. Gang			

reicht werden konnten, daß der Fahrer den Motor bei geringer Belastung sehr häufig auf einer höheren Drehzahl, als normal vorgesehen ist, laufen ließ.

Der Holzverbrauch wurde zu 115 kg/100 km festgestellt. Die Untersuchung ergab, daß von den beiden parallel geschalteten Gaserzeugern nur einer (der linke) arbeitete, während der zweite Gaserzeuger zwar warm war, jedoch keinen merklichen Holzverbrauch aufwies. Die Inbrandsetzung beider Gaserzeuger war gleichzeitig und gleichmäßig erfolgt. Die während der Fahrt bei beiden Gaserzeugern genommenen Gasanalysen — siehe Zahlentafel — lassen einen wesentlichen Unterschied nicht erkennen. Es ist anzunehmen, daß das Gas des arbeitenden Gaserzeugers bei plötzlichen Druckänderungen in die Reinigungsanlage und in die Rohrleitungen des zweiten Gaserzeugers zurückgedrängt wurde.

Zahlentafel 50

Gaseigenschaften bei zwei parallel geschalteten Generatoren

Generator	Gasanalysen (Mittelwerte aus 10 Analysen)						Unterer Heizwert kcal/m ³
	CO	H ₂	CH ₄	C _n H _{2n}	CO ₂	O ₂	H _u
links	20,1	12,1	3,9	0,1	9,0	—	1268
rechts	26,1	9,9	2,2	0,1	7,3	—	1263

Die Strömungswiderstände in Gaserzeugern sind wegen der Ungleichmäßigkeit des Brennstoffes dauernden Schwankungen unterworfen. Infolge einer bestehenden Druckdifferenz wurden also durch den rechten Gaserzeuger geringere Luftmengen gesogen als durch den linken. Damit vergrößerte sich die Belastung des linken Gaserzeugers immer mehr, während sich im rechten Gaserzeuger infolge mangelhaften Arbeitens der Ringdüse am Umfang des Feuerkorbes eine kalte, zusammenbackende Schicht bildet. Diese am Generatorprozeß nicht mehr teilnehmende Ringschicht vergrößerte sich langsam, so daß zur Zeit der Beobachtung nur noch ein Teil des Gaserzeugers gearbeitet hat.

Ob bei den wechselnden Strömungswiderständen in den Gasleitungen bzw. in den Gaserzeugern ein Parallelbetrieb zweier Generatoren ohne selbsttätigen Druckausgleich praktisch durchführbar ist, scheint nach diesen Betrachtungen zweifelhaft zu sein.

Die Anfeuerzeit bis zur Gewinnung brennbaren Gases betrug 10 bis 15 Minuten. Im ersten Reiner des arbeitenden Gaserzeugers fanden sich erhebliche Mengen von etwa haselnußgroßer Holzkohle, die auf einen zu hohen Unterdruck im Gaserzeuger schließen läßt. Die Luftklappe an der Ringdüse arbeitete infolge Verteerung nur mangelhaft. Das Gasansaugerohr am Motor zeigte einen ziemlich starken Rußbelag.

IV. Betrachtungen zur Frage der Wirtschaftlichkeit des Holzgasbetriebes

Die folgenden Ausführungen gründen sich auf die in den früheren Abschnitten mitgeteilten Versuchsergebnisse und auf Angaben von unparteiischen Stellen.

Bei einem Vergleich der Betriebskosten, die bei Verwendung von Benzin oder Holzgas im gleichen Fahrzeug entstehen, kann der Anschaffungspreis des letzteren unberücksichtigt bleiben, sofern — wie hier beabsichtigt — nur nach dem Kostenunterschied gefragt wird. Dagegen müssen selbstverständlich neben den Brennstoffkosten auch die zusätzlichen mittelbaren Kosten, die aus der Beschaffung und dem Einbau einer Holzgasanlage in den Lastwagen entstehen, in Rechnung gestellt werden. Diese Kosten betragen für die betriebsfertig eingebaute Anlage einschließlich Änderung der Verdichtung am Motor etwa RM 2500,—. Bei einer Benutzung des Kraftwagens von etwa 30 000 km im Jahr und Annahme einer Lebensdauer der Anlage von drei Jahren wird das Betriebskostenkonto jährlich mit 33 % der Anlagekosten für Abschreibung, 5 % für Verzinsung und 12 % für Reparaturen, zusammen mit 50 % = RM 1250,— belastet. Für 100 km Transportweg beträgt demnach die Belastung RM 4,17.

In der weiteren Rechnung sollen die Kosten auf 1 t Nutzlast und 100 km Transportweg bezogen werden. Die Nutzlast des Versuchswagens betrug 3 t beim Betrieb mit Benzin, beim Holzgasbetrieb nur etwa 2,7 t, weil der Wagen durch die Generatoranlage mit etwa 0,3 t zusätzlich belastet worden ist.

Wie aus Zahlentafel 45 ersichtlich ist, hat der Verbrauch an Benzin i. M. rd. 36 l/100 km betragen, somit ist der Verbrauch für 1 t Nutzlast und 100 km = 12 l. Bei den Versuchen mit hochverdichtetem Motor hat sich nach der gleichen Zahlentafel ein mittlerer Verbrauch an Holz von rd. 87 kg/100 km oder rd. 32 kg für 1 t und 100 km ergeben.

Bei einem mittleren Benzinpreis von RM 38,50/100 l hat der Transport von 1 t auf 100 km RM 4,62 Brennstoffkosten verursacht. Dieser Betrag ist in Abb. 110 als Parallele zur Abszissenachse eingetragen. Die Kosten für das beim Gasbetrieb verbrauchte Holz sind für alle zwischen den Grenzwerten 0,5 Pfg./kg und 5 Pfg./kg generatorfertig zerkleinertes Holz liegenden Preise ¹⁾ aus dem Schaubild zu entnehmen, sie werden durch eine Gerade veranschaulicht, die durch den Nullpunkt geht und mit der Abszissenachse einen Winkel einschließt. Die Ordinatenab-

schnitte zwischen den beiden Geraden liefern die bei verschiedenen Holzpreisen erzielten Ersparnisse an Brennstoffkosten für 1 t und 100 km.

Parallel zur Schaulinie der Holzkosten verläuft im Ordinatenabschnitt von 4,17 [RM/100 km]:2,7 [t] = 1,54 [RM/100 km und t] die Gerade, welche die aus den Anlagekosten herrührenden „mittelbaren“ Betriebskosten berücksichtigt.

Der Aufwand an Holzkohle, der von Zeit zu Zeit eintritt, ist nicht in Betracht gezogen worden, weil er sehr gering ist und deshalb bei dieser Rechnung ver-

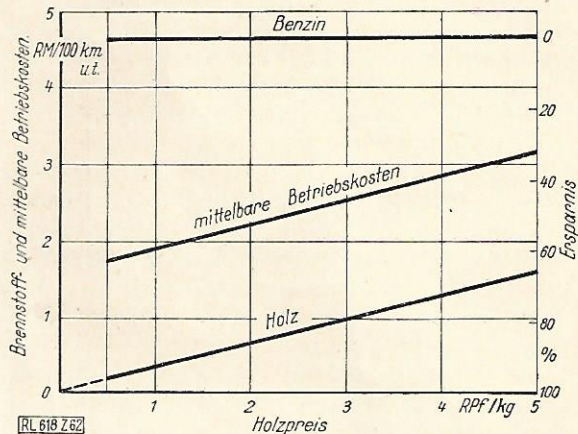


Abb. 110 Brennstoff- und mittelbare Betriebskosten bei Benzin- und Holzgasbetrieb

nachlässigt werden kann. Auch ist angenommen worden, daß der Ölverbrauch bei beiden Betriebsarten gleich ist, also bei dem Vergleich beider Betriebsarten nicht in die Erscheinung tritt. Hierzu ist zu bemerken, daß beim Holzgasbetrieb eine Ölverdünnung durch Brennstoffdurchschlag selbstverständlich nicht eintreten kann.

In einem weiteren Beispiel soll ermittelt werden, welche Ersparnisse gemacht werden können, wenn ein Leichtölmotor von etwa 13 PS Benzinleistung auf Holzgasbetrieb umgestellt wird. Es sei angenommen, daß der Motor nach der Umstellung durch Erhöhung der Verdichtung noch 10 PS leistet.

Die Anschaffungskosten für eine ortsfeste Kleingeneratoranlage, deren Größe für einen Motor von 10 bis 15 PS ausreicht, betragen heute, einschließlich der sich aus der Umstellung ergebenden Sonderkosten etwa RM 1000,—. Nimmt man eine Lebensdauer von nur 4 Jahren an, so werden die Betriebskosten mit 25 % der Anlagekosten belastet. Rechnet man außerdem 5 % für Verzinsung des Anlagekapitals und 10 % für Reparaturen der Anlage, so sind insgesamt 40 % = RM 400,— als mittelbare oder feste

¹⁾ Da das für den Generatorbetrieb geeignete Holz häufig nach Raummetern oder Steren gehandelt wird, sollen hier Vergleichszahlen für einige Holzarten mittleren Wassergehaltes (etwa 17 %) und in Stückgrößen von etwa 8 × 30 cm² gegeben werden: 1 Ster (= 1 Raummeter) Buchenholz wiegt etwa 430 kg, 1 Ster Fichtenholz etwa 290 kg und 1 Ster Kiefernholz etwa 250 kg.

Kosten aufzubringen. Bei einer Benutzungsdauer von 800 Stunden im Jahr wird jede Betriebsstunde mit 50 Pf. vorbelastet.

Der Motor braucht bei Abgabe von 10 PS Leistung etwa 325 g Benzin je PS und Stunde, also 3,25 kg oder 4,4 l in einer Stunde. Bei einem Brennstoffpreis von RM 38,50/100 l betragen die reinen Brennstoffkosten RM 1,70/Stunde.

Bei Verwendung von Holzgas beträgt der Verbrauch an Holz im Mittel 1 kg je PS und Stunde, also 10 kg in einer Stunde. Das Rechnungsbeispiel soll mit vier verschiedenen Holzpreisen weitergeführt werden, nämlich:

Holzpreis für 1 kg Pfg.	1	2	3	4
Brennstoffkosten in 1 Std. RM	0,10	0,20	0,30	0,40
Feste Kosten „ 1 „ „	0,50	0,50	0,50	0,50
Sonderkosten „ 1 „ „	0,10	0,10	0,10	0,10
Kosten bei Holzgas in 1 Std. RM	0,70	0,80	0,90	1,00
„ „ Benzin „ 1 „ „	1,70	1,70	1,70	1,70
Ersparnis in 1 Std. RM	1,00	0,90	0,80	0,70
„ im Jahr „	800,00	720,00	640,00	560,00

Der Holzpreis von 2 Rpf. entspricht durchschnittlichen Marktverhältnissen für generatorfertig zerkleinertes Abfallholz aus Sägewerken, Faß-, Spund- und Stuhlfabriken und ähnlichen Betrieben. Nimmt man diesen Holzpreis als gegeben an und löst sich von der vorher durchgeführten kaufmännischen Rechnung los, so kann man auch zu folgendem Schluß kommen: Brennstoffkosten und Sonderkosten betragen bei Holzgasbetrieb bei einem Holzpreis von 2 Pf./kg 30 Pf. je Stunde, sind also um RM 1,40 geringer als die Benzinkosten je Stunde. Aus dieser Ersparnis kann die Generatoranlage bereits nach $1000:1,4 = 715$ Betriebsstunden bezahlt werden.

Die obige Berechnungsweise ist auch anwendbar auf die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit des Holzkohlegasbetriebes. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß der Verbrauch an Holzkohle etwa die Hälfte des Holzverbrauches beträgt. Gute Retortenholzkohle kostet zur Zeit 8 Rpf./kg, so daß für diesen Brennstoffpreis die Betriebskosten auf der über „4 Rpf.“ stehenden Ordinate abgelesen werden müssen. Holzkohle, die im eigenen Meilerbetrieb gewonnen wird, kann mit etwa 4 bis 6 Rpf./kg eingesetzt werden.

Zusammenfassung

Die vorstehenden Prüfstand- und Fahrversuche haben den Beweis erbracht, daß es unter der Voraussetzung verständnisvoller Rücksichtnahme auf die Besonderheiten des Gasbetriebes durch den Kraftwagenführer und bei pfleglicher Wartung der Gesamtanlage möglich ist, Verbrennungsmotoren betriebssicher und wirtschaftlich mit Holz- und Holzkohlegas zu betreiben.

Die Ergebnisse der dreijährigen Versuche können in folgenden Feststellungen zusammengefaßt werden:

Zur Vergasung geeignet ist lufttrockenes Holz in Scheiten von etwa 8 cm Länge und etwa 20 bis 25 cm² Querschnitt. Als zweckmäßig hat sich eine Mischung aus gleichen Raumteilen Hart- und Weichholz erwiesen. Auch maschinell zerkleinertes Holz, sog. Schnitzelholz, ist vergasbar, unbrauchbar jedoch ist Sägemehl, Reisig usw., da die Voraussetzung für eine Reduktion die stete Neubildung von stückiger Holzkohle ist.

Bei der Vergasung von Holzkohle ist die kleinstückige Buchenholzkohle anderen Sorten vorzuziehen.

Daß außer Holz und Holzkohle für den Sauggasbetrieb in Kraftfahrzeugen auch andere Brennstoffe, wie Anthrazit, Schwelkoks usw., sofern sie stückig oder brikkettiert sind, in Frage kommen können, sei auch hier erwähnt.

Bei der Wahl des Brennstoffes ist neben den Fragen der Wirtschaftlichkeit auch die Eigenart des umzustellenden Betriebes zu berücksichtigen. Bei Fahrzeugen mit häufig wiederkehrenden Betriebspausen, z. B. beim Fuhrpark einer städtischen Müllabfuhr oder bei Verschiebelokomotiven, sind bitumenfreie Brennstoffe wegen ihrer guten Reaktionsfähigkeit vorzuziehen. Fahrzeuge, die im Fernverkehr eingesetzt sind, oder Motore, die gleichmäßig belastet sind, beispielsweise die Straßenreinigungskraftwagen, können auch mit Holzgas betriebssicher gespeist werden. Um Betriebsstörungen durch Verschmutzen des Motors sicher zu vermeiden, ist bei Vergasung bituminöser Brennstoffe, z. B. Holz, stets die absteigende oder umgekehrte Vergasung anzuwenden. Die Abmessungen des Gaserzeugers sind so auf den Motor abzustimmen, daß in allen Belastungsfällen teerfreies Gas erzeugt wird. Dabei ist zu beachten, daß bei Kraftfahrzeugen nicht die Nennstärke des Motors, sondern dessen mittlere Belastung für die Wahl der Abmessungen ausschlaggebend ist.

Der Verbrauch beträgt bei ortsfestem Betrieb und bei Vergasung von lufttrockenem Holz rd. 0,8 bis 1 kg PS_h und bei Vergasung von Holzkohle rd. 0,4 bis 0,5 kg PS_h.

Im Fahrbetrieb kann man mit der Beziehung rechnen: rd. 2,5 kg Holz bzw. 1,2 bis 1,5 kg Holzkohle entsprechen 1 l Benzin.

Die ohne Auffüllen des Betriebsstoffes mögliche Fahrstrecke eines Kraftfahrzeuges ergibt sich aus dem Rauminhalt des Gaserzeugers und dem Schüttgewicht des Brennstoffes, welches für lufttrockenes Holz in generatorfertigem Zustand rd. 300 kg/m³ und für Holzkohle etwa 210 kg/m³ beträgt. Die Gaserzeuger sind meist so bemessen, daß eine Fahrstrecke von 70 bis 100 km ohne Nachfüllen durchfahren werden kann.

Die Gesamtanlage, bestehend aus Gaserzeuger, Reiniger und Zubehörteilen, soll bei Kraftfahrzeugen möglichst geringes Gewicht aufweisen, sich durch Haltbarkeit und leichte Zugänglichkeit auszeichnen und einfache saubere Wartung ermöglichen. Diese Forderungen sind heute zum Teil erfüllt, jedoch ist der Werkstofffrage und der Durchbildung der Reinigerelemente noch große Aufmerksamkeit zu widmen. Das Gewicht einer vollständigen Anlage für einen Lastkraftwagen mit einem Motor von rd. 60 PS beträgt bei heutiger Ausführung rd. 300 kg. Für die Wartung des Gaserzeugers und der Reinigungsanlage sind rd. 10 bis 15 % der Benutzungsdauer aufzuwenden, die Anheizzeit beträgt etwa 8 bis 10 Minuten. Das Nachfüllen des Brennstoffes und das Entfernen des anfallenden Staubes sind naturgemäß schmutzige Arbeiten.

Der bei Gasbetrieb gegenüber Benzinbetrieb auftretende Leistungsabfall kann durch Erhöhung der Verdichtung des Motors und durch Vorverlegen des Zündzeitpunktes auf ein erträgliches Maß herabgemindert werden. Die Grenzen der Verdichtungssteigerung sind einerseits durch die Abmessungen des umzustellenden Motors und die Klopfestigkeit des Brenngases gegeben, andererseits dürfen die Beanspruchungen des Triebwerkes nicht zu hoch getrieben werden. Nach den bisherigen Ergebnissen ist ein Verdichtungsgrad $\epsilon = 8:1$ bis $9:1$ vorteilhaft. Beim Umbau hochverdichteter Gleichdruckmotoren (Dieselmotoren) ist zu beachten, daß die für das Gleichdruckverfahren maßgebenden Höchstdrücke bei der als Zündermotor arbeitenden Maschine erheblich überschritten werden. Bei nachträglichem Einbau von Gaserzeugungsanlagen in Kraftfahrzeuge müssen auch die Zubehörteile, wie Anlasser, Zündanlage, den veränderten Verhältnissen angepaßt werden.

Die Wirtschaftlichkeit muß unter Berücksichtigung der durch die Anlage, den Einbau und durch die Wartung der Anlage hervorgerufenen Nebenkosten von Fall zu Fall bestimmt werden. Gegenüber

Benzinbetrieb dürfte eine Ersparnis von 50 bis 60 % zu erreichen sein. Allein die Brennstoffkosten zu vergleichen, ist irreführend.

Auf Grund der bisherigen Erkenntnisse ergeben sich allgemein folgende Richtlinien für die Weiterentwicklung:

Die Gaserzeugungs- und Reinigungsanlagen sind zu vervollkommen, die Beschickung und Reinigungsarbeiten sind zur Erhöhung der Sauberkeit durch geeignete Konstruktionen zu erleichtern. Beim Neubau von Motoren und deren Zubehörteilen sind die Bedürfnisse des Gasbetriebes von vornherein zu berücksichtigen; hierher gehört z. B. die Vergrößerung des Hubraumes und der Verdichtung. Motoren mit kleinen Ansaugquerschnitten und hohen Nenndrehzahlen (> 1800 U/min) sowie Motoren mit mangelhafter Spülung sind für den Gasbetrieb nicht gut geeignet. Ferner ist zu berücksichtigen, daß für die Einheit der motorisch verwertbaren Energiemenge die erforderlichen Volumina bzw. Gewichte sich für verschiedene Brennstoffe wie folgt verhalten:

Holz	Holzkohle	Benzin	Gasöl
10	7	1	0,75 (Vol.)
4	2	1	0,9 (Gew.)

Daraus geht klar hervor, daß nur solche Kraftfahrzeuge für den Gasbetrieb in Frage kommen, bei denen das Gewicht der Anlage und der Platzbedarf des Brennstoffvorrates keine allzu große Rolle spielen, denn aus der obenstehenden Gegenüberstellung ist ersichtlich, daß für die gleiche Fahrstrecke bei Holzgasbetrieb gegenüber dem Benzinbetrieb voluminmäßig rd. das Zehnfache, gewichtsmäßig das Vierfache an Brennstoff mitgeführt werden muß.

Aus allem kann man erkennen, daß der Gasbetrieb für Kraftfahrzeuge nur bedingt anwendbar ist und daß das Schwergewicht der Entwicklung von Vergasungsanlagen folglich auf die Entwicklung geeigneter Kleingaserzeuger für stationäre oder ortsbewegliche (lokomobile) Kraftanlagen zu legen ist. Für die Umstellung auf Gasbetrieb kommen insonderheit alle die Kraftverbraucher in Frage, bei denen die Bedingungen für Gasbetrieb an sich günstig sind und bei denen kein Wert auf Gewicht und auf besondere Reinlichkeit gelegt werden muß, z. B. Straßenbaumaschinen, Motorlokomotiven.

Durch Weiterentwicklung und Vervollkommnung der Gaserzeugungsanlagen wird es möglich sein, dem Sauggasbetrieb sowohl in Kraftfahrzeugbetrieben als auch in den vielgestaltigen ortsfesten Kraftanlagen noch ausgedehntere Anwendungsgebiete zu erschließen, als dies derzeit der Fall ist.

Neben der Eigenerzeugung von flüssigen Treibstoffen ist die Vergasung fester einheimischer Brennstoffe mit dazu

berufen, eine weitgehende Entlastung des vom Ausland abhängigen Brennstoffmarktes herbeizuführen und gleichzeitig durch Bereitstellung generatorfertigen Brennstoffes einer dauernden Arbeitsbeschaffung in allen Teilen Deutschlands zu dienen.

Zusammenstellung der bisherigen Veröffentlichungen über Holz- und Holzkohlenvergasung aus dem Institut für Landmaschinen an der Technischen Hochschule München

In letzter Zeit sind über die in dieser Schrift behandelten Probleme zahlreiche Aufsätze veröffentlicht worden, die sich bisweilen eng an die bisherigen Veröffentlichungen des Institutes für Landmaschinen an der Technischen Hochschule München anlehnen und sich sogar der gleichen Darstellungsweise wie diese bedienen, ohne daß die Quelle angegeben wäre. Deshalb sei hier eine Zusammenstellung der Münchener Originalarbeiten gegeben.

- E. Fischer: „Holzvergasung“. TidL 1932, Heft 3.
- G. Kühne und E. Fischer: „Verwendung des Holzgases zum Antrieb von Kraftfahrzeugen“. TidL 1932, Heft 4.
- G. Kühne, E. Fischer und F. Koch: „Untersuchungen an Holzgaserzeugern“. TidL 1932, Heft 5, 6, 7, 10, 11, 12, und 1933, Heft 1.
- G. Kühne: „Holzgaserzeuger für Kraftfahrzeuge“. Neue Kraftfahrzeitung 1933, Ausgabe B, Nr. 10 und 11.
- G. Kühne und F. Koch: „Holzgas und Motorschmierung“. TidL 1933, Heft 4.
- G. Kühne und F. Koch: „Betrachtungen über die Holzgaserzeuger auf der Berliner Automobilausstellung“. TidL 1933, Heft 4.
- G. Kühne und F. Koch: „Welche Zündkerzen sind für Holzgasbetrieb geeignet?“. TidL 1933, Heft 5.
- G. Kühne und F. Koch: „Untersuchungen an zwei Holzgaserzeugern und einem Kompressor der Kromag A.-G.“. TidL 1933, Heft 7 und 8.
- G. Kühne und F. Koch: „Vergasungsversuche mit maschinell zerkleinertem Holz (Schnitzelholz)“. TidL 1934, Heft 1.
- G. Kühne: „Die heutige Bedeutung von Holzgas für Land- und Forstwirtschaft“. Landw. Jahrbuch für Bayern 1933, Heft 6 und 7.
- G. Kühne: „Möglichkeiten der Verwendung von Holzgas in der Landwirtschaft“. Mitteilungen der DLG 1933, Stück 17 und 18.
- G. Kühne: „Holzgas als Treibmittel für Leichtölmotoren“. Z. d. V. d. I. 1933, Nr. 48.
- G. Kühne: „Holzgas als Treibmittel für Lastkraftfahrzeuge“. Z. d. V. d. I. 1934, Nr. 10.
- G. Kühne und F. Koch: „Holzgas, ein nationaler Treibstoff für Motoren“. Völkischer Beobachter, 17. Jan. 1934.
- G. Kühne, F. Koch und G. Rammler: „Untersuchungen an Holzkohlengaserzeugern“. TidL 1934, Heft 7 und 8.
- G. Kühne: „Holzkohlengas als Treibmittel für Kraftfahrzeuge“. Z. d. V. d. I. 1934, Nr. 43.

Bezugsfertige RKTL-Hefte

RKTL- Schriften		Preis <i>RM</i>
Heft 1	Untersuchungen an Gebläseförderanlagen für Heu und Stroh. Von Dr.-Ing. C. H. Dencker, Kiel, 1. Teil, 78 Seiten A 5	2.50
„ 2	Beiträge zur Kenntnis des Sortier-Vorganges bei der Sichtung von Saatgetreide durch Windströme. Von Dr.-Ing. W. G. Brenner, 80 Seiten A 5	3.—
„ 3	Kannenwaschmaschinen. Von Dipl.-Ing. Schulz, 92 Seiten A 5	1.50
„ 4	Energiewirtschaftliche Untersuchungen in 15 Molkereibetrieben	vergriffen
„ 5 a	Die Planung städtischer Milchversorgungsbetriebe. Von Prof. Dr. B. Lichtenberger, 64 Seiten A 4	2.50
„ 5 b	Der Bau städtischer Milchversorgungsbetriebe. Von Reg.-Baum. Dyrenfurth, 48 Seiten A 4	2.—
„ 5 d	Die Energiewirtschaft städtischer Milchversorgungsbetriebe. Von Prof. Dr. B. Lichtenberger und Dipl.-Ing. W. Schott, 112 Seiten A 4	3.—
„ 6	Milchkammern. Von Prof. Dr. B. Lichtenberger, Dipl.-Ing. Schäffer und Reg.-Baum. Dyrenfurth, 44 Seiten A 5	0.80
„ 7	Untersuchungen an Brei Dreschtrömmeln. Von Dr.-Ing. Wilhelm Knolle, 56 Seiten A 5	2.60
„ 8	Obstsortiermaschinen und ihre Verwendbarkeit in Deutschland. 24 Seiten A 4 . .	0.75
„ 9	Vergleichende Untersuchungen verschiedener Ernteverfahren. 42 Seiten A 4	vergriffen
„ 10	Maschinelle Grabenreinigung. Von Dipl.-Landwirt Hans Wriede. 112 Seiten A 5	2.90
„ 11	Hackgeräte und ihre Verwendung im Gartenbau. 32 Seiten A 4	1.50
„ 12	Die Bodenfräse in der Gartenwirtschaft. Von Prof. Dr. B. Martiny, Halle/Saale, 62 Seiten A 5	4.50
„ 13	Die Feldberegnung und ihre Bedeutung für Landwirtschaft und Gartenbau. 177 Seiten A 5	4.50
„ 14	Untersuchungen über die wirtschaftlich zweckmäßigste Gestaltung beschränkter Molkereibetriebe. Von Dr.-Ing. Kuhlig, 100 Seiten A 4	3.50
„ 15	Beiträge zur Kenntnis der Wirkungsweise und des arbeitstechnischen Wirkungsgrades von Saatgut-Trockenheizmaschinen. Von Dr.-Ing. Otto Wansart, 80 Seiten A 5	2.90
„ 16	Bevölkerungsstillstand als Wirtschaftsproblem unter besonderer Berücksichtigung der Landwirtschaft. Von Dr. Curt Nawratzki, 152 Seiten A 5	6.—
„ 17	Die Motorisierung der Zugkraft in der deutschen Landwirtschaft. Von Ernst Zander, Zivilingenieur, 40 Seiten A 5	1.75
„ 18	Aufstellung von Prüfungsregeln für die Prüfung von Schrotmühlen und Entwicklung eines wirtschaftlichen Schrotverfahrens. Von Dr.-Ing. Karl Stöckmann, 48 Seiten A 5	2.25
„ 19	Melkmaschinen im Ausland. Von Dipl.-Ing. Willi Fritz, 88 Seiten A 5	1.40
„ 20	Ernte, Lagerung und Trocknung von Getreide im Jahre 1930. 42 Seiten A 4 . . .	1.40
„ 21	Vergleichende Versuche mit neuen Getreidekulturverfahren. Von Priv.-Doz. Dr. E. Tamm und Dipl.-Landwirt W. Weiß, 52 Seiten A 4	3.50
„ 22	Erfahrungen und Erfolge mit technischen Hilfsmitteln im Betriebe des Herrn v. Kleist-Kamissow. Von Dr. Werner Leppin, 72 Seiten A 5	2.—
„ 23	Handgeräte zur Bodenbearbeitung und ihre wirtschaftlichsten Formen. Bericht des Reichsverbandes des deutschen Gartenbaues e. V., 30 Seiten A 4	1.—
„ 24	Der Gesundheitszustand der Kühe beim Maschinenmelken. Von Prof. Dr. W. Ernst, München, Dr. Fr. Schmidt, Hoensdorf, Dr. W. Schmidt, Halle a. S. und Dr. M. Seelemann, Kiel. Mit einem Vorwort von Prof. Dr. Martiny, Halle a. S. 62 Seiten A 4 mit einer besonderen Tafel	5.—

Heft 25	Die künstliche Grünfütterttrocknung. Von Prof. Dr.-Ing. Koeniger und Dr. Hammer. Mit einem Vorwort von Güterdirektor Dr. Ruths, 196 Seiten A 5 mit 6 besonderen Zahlentafeln	5.—
„ 26	Versuchssiedlung Krzanowitz. Von Dipl.-Ing. Otto Bardubitzki. Mit Beiträgen von Prof. Dr. Derlitzki und Dipl.-Landwirt E. Otto, 140 Seiten A 4	5.—
„ 27	Grundlagen und Wirtschaftlichkeit eines Maschinenringes in Ostpreußen	2.25
„ 28	Die Bodenfräse in der Landwirtschaft. Von Prof. Dr. B. Martiny, 52 Seiten A 5	2.—
„ 29	Die menschliche Arbeitskraft in Molkereibetrieben. Von Dipl.-Ing. W. Dietzmann, 64 Seiten A 4	2.50
„ 30	Die Feldberechnung. Erste Folge. Studiengesellschaft für Feldberechnung, 176 Seiten A 5	4.50
„ 31 a	Die technischen Hilfsmittel des Milchtransportes. Von Dr.-Ing. O. Schäffer, 64 Seiten A 4	2.50
„ 31 b	Organisation und Kosten des Milchtransportes. Von Dr. W. Borchard, 72 Seiten A 4	2.50
„ 32	Motormäher. 24 Seiten A 4	1.—
„ 33	Beitrag zur Klärung von Grundfragen für die Beurteilung und Weiterentwicklung von Melkmaschinen und Zweiraum-Melkbechern. Von Dipl.-Ing. Dr. Willi Fritz, 46 Seiten A 4	3.—
„ 34	Über Konstruktion, Berechnung und Prüfung von Milchentrahmungs-Schleudern. Von Dipl.-Ing. Dr. W. Fritz und Dr. Ulrichfritz Mennicke, 54 Seiten A 4	4.60
„ 35	Erfahrungen und Erfolge mit technischen Hilfsmitteln in einem bäuerlichen Betrieb. Von Dr. T. Tröscher und Dr. H. Köhler in Zusammenarbeit mit Prof. Th. Römer, 76 Seiten A 5	2.50
„ 36	Untersuchungen über die bakteriologische Wirkung einiger neuzeitlicher Milch- erhitzungsapparate. Von Dr. Karl J. Demeter und Dr. Hans Mossel, 88 Seiten A 4	4.50
„ 37	Energiewirtschaft und Maschinenverwendung im Siedlerbetrieb. Von Dr.-Ing. A. Gorsler und Dr. T. Tröscher, mit einem Vorwort von Prof. Dr. L. W. Ries, 48 Seiten A 5	1.80
„ 38	Die Feldberechnung. Zweite Folge. Studiengesellschaft für Feldberechnung, 177 Seiten A 5	3.90
„ 39	Gemeinnützige Maschinenverwendung in bäuerlichen Betrieben. Von Dr. Tröscher, 20 Seiten A 4	0.60
„ 40	Einbaumotoren in Mähmaschinen bäuerlicher Betriebe. Von Dr. Kerrmann, Dipl.-Ing. Abel, Ing. Koswig, Dipl.-Ing. Dietrich, 114 Seiten A 5	3.—
„ 41	Über Wasserbewegung und Porosität des Bodens und ihre Beziehungen zur Boden- bearbeitung. Von Dr. W. von Nitzsch, 94 Seiten A 5	3.50
„ 42	Bedeutung und Aussichten des Kleinschleppers in der bäuerlichen Familienwirt- schaft. Von Prof. Dr. Ries und Prof. Dr.-Ing. Dencker, 46 Seiten A 5	1.—
„ 43	Untersuchungen über die Verwendung der Elektrowärme in landwirtschaftlichen Kleinbetrieben. Von Prof. Dr. Derlitzki und Assistent Dr. Dorn, Pommritz/Sa. 54 Seiten A 5	1.50
„ 44	Das Mähen von Lagergetreide, seine Hilfsmittel und ihre Anwendung in der Praxis. Von Dr.-Ing. Mertens, 48 Seiten A 5	0.75
„ 45	Zäune, Hecken, Tore, Schutzhütten und Tränkanlagen auf Dauerweiden. Nach einem Entwurf und Zeichnungen von Kulturbautechniker A. Limper, dargestellt von Diplomlandwirt Dr. R. Limbach, 108 Seiten	2.50
„ 46	Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Betrachtungen über die Verwendung des Schleppers in der Landwirtschaft. Von Prof. Dr. Derlitzki und Dr. Nauck, Pommritz/Sa.	1.—
„ 47	Erfahrungen und Erfolge mit technischen Hilfsmitteln in bäuerlichen Betrieben des Kreises Greifenhagen. Von Dr. H. Köhler und Dr. T. Tröscher unter Mitwirkung von Diplomlandwirt L. Waslé, Stettin, 90 Seiten A 5	1.90
„ 48	Zur Wirtschaftlichkeit der Lagerungstechnik von Laubholzsamen. Von Prof. Dr. Werner Schmidt und Forstverwalter Otto Janß, Staatliche Waldsamen- prüfungsanstalt Eberswalde, 22 Seiten A 5	0.50
„ 49	Die Feldberechnung. Dritte Folge. Berechnungszeitpunkt und Berechnungserfolg (Studiengesellschaft für Feldberechnung). Von Privatdozent Dr. Walter Brouwer, Berlin	1.80

Heft 50	Bauer, Maschine und Arbeitslosigkeit. Ansprachen und Vorträge auf der gemeinsamen Tagung des Rheinischen Bauernstandes und des Reichskuratoriums für Technik in der Landwirtschaft in Essen am 11. 9. 33, 28 Seiten A 5	0.40
„ 51	Untersuchungen an Dreschtrommeln unter besonderer Berücksichtigung der Entwicklung von Kleinmähdrechern. Von Priv.-Doz. Dr.-Ing. W. G. Brenner, Landmaschinen-Institut Bonn-Poppelsdorf	2.—
„ 52	Elektrowärme im Gartenbau. 92 Seiten A 5	1.50
„ 53	Die Arbeitslehre im bäuerlichen Haushalt in Bildern. Von Professor Dr. G. Derlitzki und Frau Dr. v. Stranz, A 4	im Druck
„ 54	Bäuerliche Maschinengenossenschaft Häusern. Ein Versuch genossenschaftlicher Dorfwirtschaft von Prof. Dr. A. Münzinger, 88 Seiten A 4	4.50
„ 55	Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung. Von Dr.-Ing. G. Segler	5.—
„ 56	1. Konstrukteur-Kursus. Vorträge auf dem ersten Kursus für Landmaschinen-Konstrukteure. Herausgegeben von Dr.-Ing. Kloth, Berlin	3.50
„ 57	Untersuchungen über Körnergebläse. (Fortsetzung von RKTL-Heft 55: Untersuchungen an Körnergebläsen und Grundlagen für ihre Berechnung. Von Dr.-Ing. G. Segler.) Von Prof. Dr.-Ing. Dencker unter Mitarbeit von Dr.-Ing. G. Segler und Ing. H. Schmidt	3.—
„ 58	Getreidelagerung unter besonderer Berücksichtigung der bäuerlichen und landwirtschaftlichen Verhältnisse. Von Dr. Kurt Seidel. 115 Seiten A 5	3.—
„ 59	Verbilligung der Maschinenverwendung in Siedlerbetrieben. Von Dr. H. Kogelschatz unter Mitwirkung von Dr. H. Buchholz	3.—
„ 60	Holz- und Holzkohlengaserzeuger für Kraftfahrzeuge. Von Prof. Dr. Kühne und Dr.-Ing. Franz Koch	4.—
„ 61	2. Konstrukteur-Kursus. Vorträge auf dem 2. Kursus für Landmaschinen-Konstrukteure. Herausgegeben von Dr.-Ing. Kloth, Berlin	im Druck
Das DIN-Taschenbuch 15 „Landwirtschaft“ des Deutschen Normenausschusses enthält die für die Landwirtschaft in Betracht kommenden Normblätter. 192 Seiten		4.50

Sonderdrucke

1.	Untersuchungen über das Verhalten der Metalle gegen Desinfektions- und Reinigungsmittel. Von der Pr. Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft in Kiel und dem Laboratorium für Metallkunde an der Technischen Hochschule, Charlottenburg	1.40
2.	Korrosion verzinneter Apparate, Ursachen und Verhütung. Von Prof. W. Mohr und Dr.-Ing. Max Schulz, Kiel	1.10
3.	Vorträge vor der Mitgliederversammlung des Reichskuratoriums für Technik in der Landwirtschaft am 28. Juni 1930	kostenlos
4.	Die Metalle in der Milchwirtschaft, Teil II: Einwirkung der Vollmilch auf die Metalle und der Metalle auf die Vollmilch (Molkerei-Zeitung, Hildesheim)	0.50
5.	Milchschaum. Aus dem Physikalischen Institut der Pr. Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Kiel, Direktor Prof. Dr. W. Mohr (Milchwirtschaftl. Zeitung, Stendal, und Julius Springer, Berlin)	0.50
6.	Die Metalle in der Milchwirtschaft, Teil III: Die korrodierende Einwirkung von Leb- und Sauermolke auf milchwirtschaftlich wichtige Metalle und Metallegierungen. Von Prof. Dr. W. Mohr und Dr.-Ing. W. Müller, Kiel. 1931	0.50
7.	Einwirkung von Kühlsolen auf Metalle. Von Th. Liepus und Dr. H. Osterburg. Aus dem Chemischen Institut der Pr. Versuchs- und Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, Kiel. Direktor Prof. Dr. Burr und dem Laboratorium für Metallkunde an der Technischen Hochschule, Charlottenburg, Prof. Dr. W. Guertler	0.40
8.	Vergleichende Versuche mit neuen Getreidekulturverfahren. Nachtrag der Versuchsergebnisse des Jahres 1931. Von Privatdozent Dr. E. Tamm und Diplom-Landwirt W. Weiß. 16 Seiten (Fortschritte der Landwirtschaft 1931)	0.30
9.	Vorbedingungen des Maschineneinsatzes auf amerikanischen und deutschen Betrieben. Von Prof. Dr. Dencker, Landsberg a. d. Warthe (Landwirtschaftliche Jahrbücher, herausgegeben vom Pr. Ministerium für Landwirtschaft, Domänen und Forsten. 1932)	1.00

Preise verstehen sich ohne Versandkosten. Versand gegen Vorkasse oder Nachnahme.

Zuschriften sind zu richten an die

Geschäftsstelle des Reichskuratoriums für Technik in der Landwirtschaft,
Berlin SW 11, Bernburger Straße 14