

Archiv
11.11.12

HEFT 104 DER **RKTL** SCHRIFTEN

**Untersuchung
von Gas-Reinigungsanlagen für
Fahrzeug-Holzgaserezeuger**

Von

Dr.-Ing. H. Lutz und Dr.-Ing. E. Kühl

1942

VERLAG VON PAUL PAREY IN BERLIN SW 11

RKTL

SCHRIFTEN DES REICHSKURATORIUMS
FÜR TECHNIK IN DER LANDWIRTSCHAFT

HEFT 104

Untersuchung
von Gas-Reinigungsanlagen für
Fahrzeug-Holzgaserezeuger

Von

Dr.-Ing. H. Lutz und Dr.-Ing. E. Kühl

Aus den Arbeiten der RKTL-Forschungsstelle „Gasschlepper-Entwicklung“

1942

Verlag von Paul Parey, Berlin SW 11, Hedemannstr. 28-29

Inhalt.

	Seite
I. Allgemeine Fragen der Reinigung des Holzgases	4
1. Bisherige Untersuchungen	4
2. Einfluß des im Gas enthaltenen Staubes auf den Motor Schmierölveränderung und Motorabnutzung	8
Verschmutzung der Gemischleitungen	12
3. Die Beschaffenheit und Zusammensetzung des Holzgasstaubes	13
Physikalische Eigenschaften	14
Spezifisches Gewicht und Schüttgewicht	14
Korngröße	15
Fallgeschwindigkeit	19
Chemische Beschaffenheit	24
II. Die Untersuchungsmethode	29
1. Versuchseinrichtung und Meßverfahren	29
2. Das Vergasungsholz	34
3. Generatorbetriebszustand	35
III. Die Untersuchungsergebnisse	37
1. Der Rohgasstaubgehalt	37
2. Fliehkraftabscheider	39
3. Die Imbert-Kühlerreinigung	48
4. Ölreiniger	52
5. Die Gustloff-Reinigung	58
IV. Folgerungen und Weiterentwicklung	65

Untersuchung von Gas-Reinigungsanlagen für Fahrzeug-Holzgasereuger*).

Die Entwicklung der Gasreiniger für Fahrzeug-Gaserzeuger hat verschiedene Wege beschritten, die stark voneinander abweichen. Zur Zeit wird in der Praxis am häufigsten die sogenannte Kühlerreinigung angewandt, daneben findet man in verschiedensten Ausführungsformen und Zusammenstellungen Staubkammern, Zyklone, Naß- und Tröckenreiniger.

Nicht alle diese Reinigersysteme erscheinen zweckmäßig; die einen erfordern einen zu großen Wartungsaufwand, die anderen sind zu umfangreich, ohne daß gleichzeitig die Gewähr einer genügenden Reinigung vorhanden ist. Viele dieser Apparate unterscheiden sich nicht grundsätzlich, sondern nur durch unbedeutende Variationen der Größenverhältnisse, der Form und der Reiniger-elemente. In den seltensten Fällen sind solche Reiniger auf Grund systematischer Forschungsarbeiten entstanden, sondern meist auf empirischem Wege, vorwiegend beeinflusst durch die Platzverhältnisse des Fahrzeugs.

Im Rahmen der Entwicklung des landwirtschaftlichen Gasschleppers ergab sich daher die Notwendigkeit, die wichtigsten Reinigungssysteme für Holzgasereuger einer exakten Prüfung zu unterziehen. Durch Schaffung einer Übersicht über den erreichbaren Reinigungsgrad und die sonstigen Eigenschaften der einzelnen Systeme sollte die Zusammenstellung einer nach Umfang, Wartung und Wirkung optimalen Gasreinigungsanlage für den Gasschlepper ermöglicht werden.

*) An der Durchführung der Untersuchung waren Dipl.-Ing. Friedrich Pahl und Ing. Hans Rentsch maßgeblich beteiligt. Die Apparate für die Staubbemessung waren von der Wisco-Fahrzeug-Gasgeneratoren Kom.-Ges. zur Verfügung gestellt worden.

I. Allgemeine Fragen der Reinigung des Holzgases.

1. Bisherige Untersuchungen.

Die meisten Untersuchungen über die Staubabscheidung bei Holzgasanlagen hat List (1) durchgeführt. So hat er bei der Vergleichsprüfung für ortsfeste Holzgasgeneratoren eine Reihe von Kleingaserzeugerreinigern überprüft. Diese Anlagen waren zwar für stationären Betrieb bestimmt, doch waren sie ihrer Belastung und Bauart nach zumeist mit Fahrzeuggaserzeugern nahe verwandt. Nicht nur die Gaserzeuger wiesen einen ähnlich hohen Durchsatz auf, bezogen auf Schacht-Querschnitt und Stunde, sondern auch bei den Reinigern waren vielfach vom Fahrzeuggaserzeuger her bekannte Elemente verwendet worden. So befanden sich darunter Stoßreiniger mit Prallblechen oder Raschig-Ringen, Vorreiniger mit Schleudwirkung und im Gegensatz hierzu in einem Falle auch ein typisch stationärer Gasreiniger mit berieselter Koksfüllung. Man kann daher aus dem Verhalten der Gaserzeuger und Reiniger bezüglich des Staubanfalls und der Staubabscheidung Schlüsse auf normale Fahrzeuganlagen ziehen. Besonders wertvoll ist, daß List in diese Untersuchung schon Weichholz (Fichte) miteinbezogen hatte.

Um einen Überblick über den bei derartigen Gaserzeugern zu erwartenden Staubanfall bei verschiedenen Holzarten und

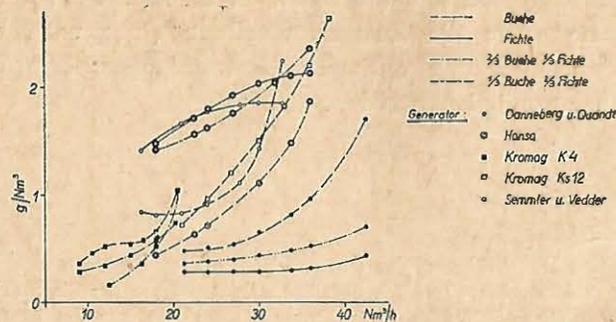


Abb. 1. Rohstaubgehalt in Abhängigkeit von der Generatorbelastung.

Mischungen derselben zu gewinnen, wurden sämtliche Werte des Rohgasstaubgehaltes der List'schen Untersuchungen in Abb. 1 abhängig von der Belastung zusammengefaßt.

Man sieht, daß je nach Bauart und Holzart sehr verschiedene Werte des Rohgasstaubgehaltes festgestellt worden sind. Bei Vollast liegen die Werte zwischen 0,4 und 2,6 g/Nm³ und stimmen damit mit den bei den vorliegenden Untersuchungen festgestellten Werten weitgehend überein, wie später gezeigt wird. Die vom Generatorgas mitgeführte Staubmenge ist also teilweise erheblich und erfordert eine entsprechende Aufnahmefähigkeit der Reinigungsapparatur.

Die für den Reingasstaubgehalt festgestellten Ergebnisse sind in Abb. 2 zusammengestellt.

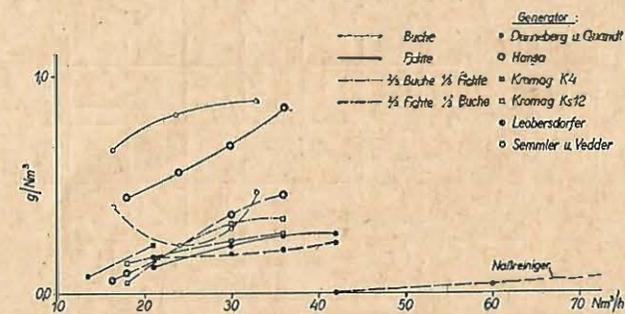


Abb. 2. Reingasstaubgehalt abhängig von der Generatorbelastung.

Mit Ausnahme zweier Fichtenholzversuche, die untragbar hohe Werte von über 0,5 g/Nm³ über den ganzen Lastbereich ergeben, liegen die Vollastwerte etwa zwischen 0,2 und 0,5 g/Nm³. Nur der Naßreiniger mit berieselter Koksfüllung ergibt einen besonders günstigen Reingasstaubgehalt von 0,05 g/Nm³. Man sieht also, daß die vorerwähnten, bei Fahrzeuggaserzeugern oft üblichen Reingerelemente den Reingasstaubgehalt eines normalen stationären Skrubbers bei weitem nicht erreichen. Wie schon erwähnt, stimmen die von List bei dieser Prüfung festgestellten Werte weitgehend mit den vorliegenden Untersuchungen überein.

Bei der Untersuchung von Fahrzeuggaserzeugern im Weichholz- und Hartholzbetrieb hat List (2) ebenfalls sich mit der Frage der Staubabscheidung befaßt. Er hat zunächst Prallblechreiniger üblicher Bauart bei seinen Versuchen benutzt. Der Reingasstaubgehalt war jedoch so hoch, insbesondere bei Fichtenholz, daß Motorversuche nicht damit vorgenommen werden konnten. Durch Einbringen von ölgetränkter Holzwolle konnte von List für Buchenholz ein Reingasstaubgehalt unter $0,5 \text{ g/Nm}^3$ erzielt werden (s. Abb. 3). Bei Fichtenholz (s. Abb. 4) ergab sich dagegen ein erheblich höherer Reingasstaubgehalt von $0,4$ bis $1,0 \text{ g/Nm}^3$. Es geht aus dieser Untersuchung klar hervor, daß der Prallblechreiniger für Buchenholz wenig und für Weichholzvergasung überhaupt nicht geeignet ist.

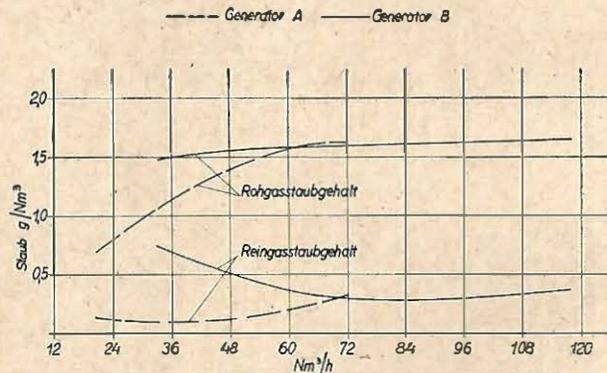


Abb. 3.

Staubabscheidung bei Prallblechreinigern unter Verwendung von Buchenholz.

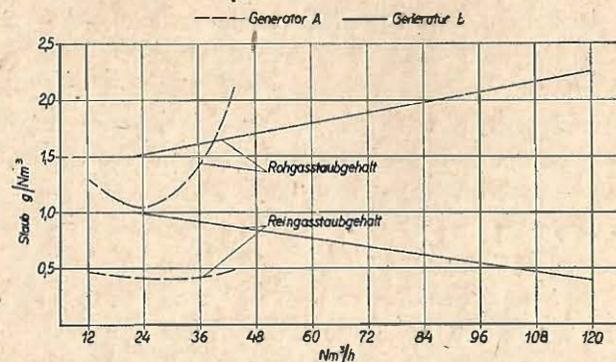


Abb. 4.

Staubabscheidung bei Prallblechreinigern unter Verwendung von Fichtenholz.

Bessere Ergebnisse erbrachte ein Reinigungssystem, das mit dem Prinzip der Imbert-Kühlerreinigung weitgehend übereinstimmt. Die Ergebnisse der List'schen Messungen mit diesem Reinigungsapparat bei Motorbetrieb sind in Abb. 5 wiedergegeben. Es ergab sich dabei mit Buchenholz ein Reingasstaubgehalt bei Vollast von $0,120 \text{ g/Nm}^3$, und bei Fichtenholz ein solcher von $0,22 \text{ g/Nm}^3$. Während dieses Ergebnis richtig erscheint, reißen sich die bei Mischungen von Buchen- und Fichtenholz festgestellten Kurven nicht in gleicher Weise ein. Es ist nicht wahrscheinlich, daß in diesem Falle ein geringerer Reingasstaubgehalt als bei Buchenholz erzielt werden soll; außerdem ist der starke Anstieg der einen Kurve bei Halblast nicht zu erklären. Auch List ist der Ansicht, daß der Verlauf der Kurven keine Regel erkennen läßt. Vielleicht liegen verschiedene Betriebszustände der Vergasungsherdfüllung vor, die einen entsprechenden Einfluß auf die absolute Höhe des Roh- und Reingasstaubgehaltes ausüben.

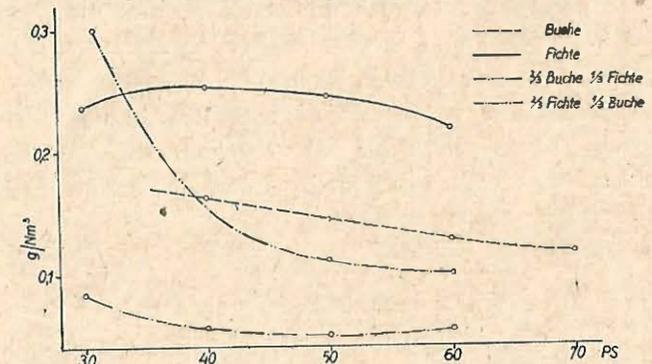


Abb. 5. Generator B mit Kondensationsreinigung.
Reingasstaubgehalt in Abhängigkeit von der Motorbelastung.

Finkbeiner (3) (4) gibt den Reingasstaubgehalt hinter Prallblechreinigern mit $0,2$ bis $0,5 \text{ g/Nm}^3$ an. Außerdem hat er Versuche mit Buchenholz und einem eigenen Reinigungssystem, bestehend aus 2 hintereinandergeschalteten Fliehkraftreinigern, einem mit Öl gefüllten Naßreiniger und anschließendem Gaskühler durchgeführt, wobei es nach seiner Angabe gelungen ist, den Reststaubgehalt auf $0,01$ bis $0,055 \text{ g/Nm}^3$ herabzudrücken. Einzelheiten über diese Versuche sind nicht bekanntgegeben, so daß man keinen unmittelbaren Vergleich mit anderen Arbeiten durchführen kann.

Vermutlich haben jedoch besonders günstige Bedingungen bezüglich des Rohgasstaubgehaltes, der Staubbesechaffenheit und des Betriebszustandes der Reiniger vorgelegen, da an anderer Stelle so niedrige Werte des Reingasstaubgehaltes nicht mehr festgestellt worden sind.

Versuche mit Weichholzstaub hat Finkbeiner nicht veröffentlicht. Eine Überprüfung verschiedener Zyklonbauarten und Zusammenstellungen (4) wurde mit Luft und künstlich zugegebenem Holzkohlenstaub vorgenommen, sie läßt sich daher nicht mit den vorliegenden Versuchen, die mit Originalstaub aus den Gaserzeugern durchgeführt worden sind, vergleichen.

Aufschlußreiche Versuche an Kleingaserzeugern hat Leßnig (5) durchgeführt. Allerdings nicht mit Holzgas, sondern mit Gas aus fossilen Kraftstoffen. Am Fahrzeug wurde bei einer Reinigungsanlage, bestehend aus Fliehkraftabscheider und nachgeschaltetem Wasserreiniger bei Anthrazit ein Reingasstaubgehalt von 0,063 bis 0,099 g/Nm³ entsprechend einem Wirkungsgrad von 98,75 bis 99,4% bei Vollast und Wechsellastbetrieb festgestellt.

Mit einem Staub aus einem Elektrofilter wurden Versuche mit Fliehkraftabscheidern vorgenommen, die den hohen Abscheidegrad einiger Zyklone von 90 bis 96% ergaben. Auf diese Versuche wird bei der Besprechung der vorliegenden Zyklonuntersuchungen noch zurückgekommen werden.

2. Einfluß des im Gas enthaltenen Staubes auf den Motor.

Der hinter den Reinigern im Gas enthaltene Reststaubgehalt führt zur Verschmutzung und Veränderung des Schmieröles und gegebenenfalls zur Erhöhung der Motorabnutzung, außerdem zu Schmutzrückständen in den Ansaugleitungen, wie Mischer, Ansaugrohr und Ansaugkanälen.

Schmierölveränderung und Motorabnutzung.

Eine wesentliche Veränderung des Schmieröles bei Holzgasbetrieb ist erwiesen. Der Einfluß dieser Schmierölveränderung bzw. des Reststaubgehaltes auf die Abnutzung des Motors ist umstritten. Betrachten wir die Untersuchungsergebnisse der Versuchsfahrt mit heimischen Treibstoffen 1935:

Der größte Teil der damals benutzten Reinigerapparate hat sich bezüglich der Schmierölveränderung und Motorabnutzung als unbrauchbar erwiesen und ist inzwischen bis auf wenige Reste von der Bildfläche verschwunden. Eine befriedigende Lösung stellte bei Holzgasgeneratoren nur die Kühlerreinigung dar, die in ihrer Klasse damals die günstigsten Ergebnisse erbrachte und in nahezu unveränderter Form noch heute bei den Imbert-Generatoren benutzt wird. Die Motorabnutzung der mit dieser Reinigung ausgerüsteten Fahrzeuge war nicht höher als bei den mit flüssigen Treibstoffen oder Flaschengas betriebenen. Man könnte versucht sein, daraus den Schluß zu ziehen, daß mit diesem Reinigungssystem das Optimum erreicht ist und eine weitere Verfeinerung der Reinigungsanlagen für Holzgas keinen praktischen Nutzeffekt mehr bringen könnte.

Zunächst sei darauf hingewiesen, daß bei der Versuchsfahrt 1935 eine Mischung von drei Viertel Buche und ein Viertel Kiefer, teilweise vier Fünftel Buche und ein Fünftel Kiefer und während eines Drittels der Fahrt nur Buchenholz vergast worden ist. Wie in folgenden noch klargelegt werden wird, tritt in diesem Fall ein erheblich geringerer Staubgehalt im Gas auf, der ein günstigeres Verhalten der Reiniger zur Folge hat als bei Weichholzvergasung. Außerdem ist die Abnutzung des Motors bekanntlich nicht allein von der im Gas enthaltenen Reststaubmenge, sondern von zahlreichen anderen Faktoren wie Motorbauart, Drehzahl, Material, Schmiersystem, Belastung und Bedienung abhängig, und es ist denkbar, daß Motoren anderer Bauart und solche mit anderen Betriebsbedingungen andere und vielleicht auch ungünstigere Abnutzungserscheinungen zeigen würden. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß während der Versuchsfahrt das Öl innerhalb der zulässigen Betriebszeiten gewechselt wurde, womit in der Praxis nicht in allen Fällen, insbesondere nicht beim landwirtschaftlichen Schlepper gerechnet werden kann.

Die Betrachtung der Schmierölveränderung bei diesen Fahrzeugen bestätigt dies und läßt den erreichten Wirkungsgrad der Reinigungsanlage nicht mehr bedingungslos im günstigen Licht erscheinen. In Abb. 6 ist die Schmieröluntersuchung der günstigsten Holzgaswagen mit Kühlerreinigung Nr. 66 und 67, entnommen dem Gesamtbericht über die Versuchsfahrt, enthalten, in Abb. 7

dagegen die entsprechenden Werte der Schmieröluntersuchung der Fahrzeuge Nr. 74 bis 76. Letztere waren mit Holzkohlengaserzeuger absteigender Vergasung ausgerüstet, deren Feinreiniger wegen des sehr geringen Wasserdampfgehaltes des Gases als Tuchfilter ausgebildet waren. Der Abscheidungsgrad solcher Tuchfilter ist nahezu 100prozentig und erheblich größer als der von Filtermassen, wie z. B. Korkschat, Holzwolle usw., sowie der einer Kühlerreinigung.

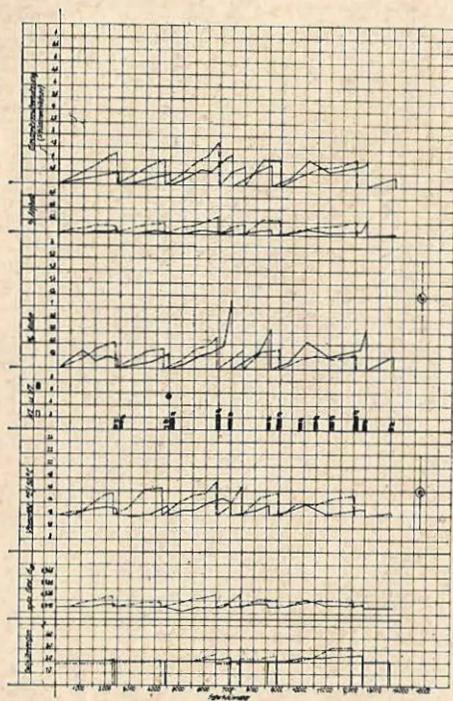


Abb. 6. Motor-Schmierölveränderung an 2 Lastwagen mit Kühlerreinigung bei der Versuchsfahrt für heimische Treibstoffe 1935.

Ein Vergleich der Abb. 6 und 7 ergibt offensichtlich eine weit- aus geringere Veränderung bzw. Verschmutzung des Schmieröles bei der Tuchfilterreinigung. Der Originalbericht sagt darüber folgendes:

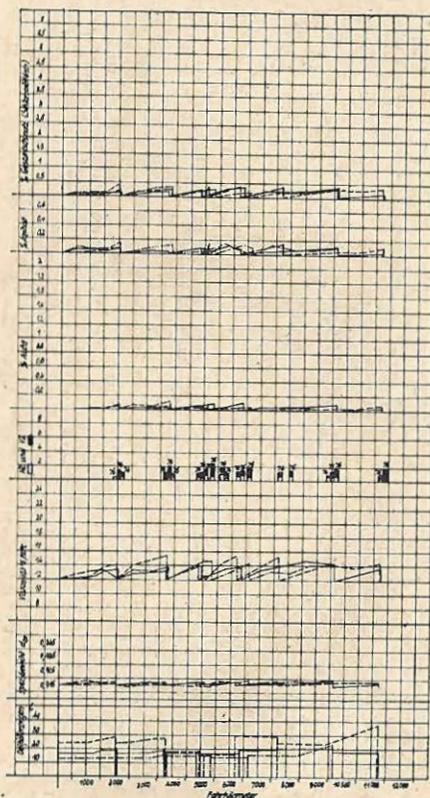


Abb. 7. Motor-Schmierölveränderung an 3 Lastwagen mit Tuchfilterreinigung bei der Versuchsfahrt für heimische Treibstoffe 1935.

„Die Merkmale dieser Versuchsgruppe sind, bezüglich des Schmieröles geringe Verseifungszahlen (VZ. nicht über 2), geringe Dichte und Zähigkeitssteigerungen, geringe Verschmutzung, geringe Asche, kurz durchaus günstige Zahlen, die darstellen, daß das Öl weder innerlich nennenswert verändert wird noch äußerlich verschmutzt. Das gibt sich nun auch in der Farbe der Altöle deutlich zu erkennen, die verhältnismäßig lange die grüne Fluoreszenz behalten, wenn sie in der Farbe natürlich auch zusehends stumpfer und dunkler werden. Im allgemeinen aber kann man sagen, daß die Verschmutzung des Öles hier so gering ist, daß man sie bei sauberstem Benzinbetrieb kaum in so geringem Ausmaße erreichen kann.“

Aus den bis zum jeweiligen Ölwechsel stark ansteigenden Kurven der Abb. 6 läßt sich der Schluß ziehen, daß bei nicht rechtzeitigem Ölwechsel zweifellos sehr rasch unzulässig starke Veränderungen des Öles erreicht worden wären, die dann ebenfalls zu anormaler Abnutzung des Motors geführt hätten, wie sie teilweise bei anderen Fahrzeugen festgestellt worden sind. Ein Öl nach Abb. 7 könnte dagegen noch erheblich länger im Motor belassen werden, ohne zu anormalen Abnutzungserscheinungen Anlaß zu geben. Im übrigen haben die Wagen Nr. 74 bis 76 nahezu die gleiche und nicht eine geringere Abnutzung des Motors ergeben, wie die Wagen 66 und 67. Auch hier wäre es zumindest verfrüht, daraus den Schluß zu ziehen, daß ein Ölzustand nach Abb. 6 keine frühere Abnutzung ergibt, als ein solcher nach Abb. 7. So besaßen z. B. die Motoren der Fahrzeuge Nr. 66 und 67 eine geringere Drehzahl, außerdem können die sonst noch für die Abnutzung maßgebenden, bereits vorher erwähnten Einflüsse auch hier das Bild verschoben haben.

Da es sehr schwer und nur durch jahrelange Versuche auf breiter Basis möglich sein dürfte, eine Unempfindlichkeit des Motors gegen einen noch verhältnismäßig hohen Staubgehalt des Gases, wie er bei den bisherigen Reinigungssystemen meist vorhanden ist, nachzuweisen, dürfte der technisch richtigere und einfachere Weg darin bestehen, mit allen Mitteln den Staubgehalt des gereinigten Gases durch Weiterentwicklung der Reinigung so weit als möglich zu ermäßigen.

Auch ist zu erwarten, daß (s. Abb. 7) bei vollkommener Reinigung eine längere Gebrauchsfähigkeit des Motorschmieröles herbeigeführt wird, als bei flüssigem Kraftstoff (6). Leider läßt sich ein Tuchfilter, welches, wie erwähnt, eine ideale Staubabscheidung ergibt, nicht bei dem hohen Wasserdampfgehalt des Holzgases anwenden, da nach den bisherigen Erfahrungen Schwierigkeiten durch Verschmieren der Tücher eintreten.

Verschmutzung der Gemischleitungen.

Nicht nur aus den vorher angeführten Gründen, sondern auch wegen der bei Holzgas stets vorhandenen unangenehmen Verschmutzung der Gemischleitungen zwischen Mischer und Ansaugventil ist ein möglichst geringer Staubgehalt des Gases anzustreben. In der Gemischleitung scheidet sich (s. auch Bericht der Versuchsfahrt) ein Schmutzbelag ab, der teils trockenen, teils pastenartigen Charakter hat. Bei oberflächlicher Betrachtung ist man geneigt, diese Schmutzrückstände allein auf das Konto der Gasreinigung zu schieben. Dies ist nur zum Teil richtig, denn auch bei einer 100prozentigen Staubentfernung würden sich Rückstände in der Gemischleitung zeigen, weil sie nicht nur aus Asche und Staub, die vom Gasstrom mitgeführt werden, sondern zusätzlich noch aus Kondensaten, die aus dem Gas anfallen und die durch eine mechanische Reinigung nicht beseitigt werden können, bestehen.

Holzgas besitzt trotz der absteigenden Vergasung einen Restteergehalt, der etwa $0,2 \text{ g/Nm}^3$ beträgt. Bei Verwendung von nassem Holz, bei längeren Leerlaufperioden des Gasrzeugers, oder bei Hohlbränden kann sich dieser Teergehalt zeitweilig erhöhen. Damit ist nicht gesagt, daß der Motor „verteert“, denn diese geringen Teerspuren geben an den Ventilen oder Kolben noch zu keinen Störungen Anlaß.

Die Abscheidung eines Teils dieses Restteergehaltes in der Gemischleitung erfolgt durch Abkühlung infolge der im Mischer hinzutretenden Frischluft, sowie von Expansionserscheinungen hinter der Mischerdrosselklappe.

Dieser Niederschlag im Ansaugrohr ist meist trocken und von dunkelgrauer Färbung, oft auch in Form einer fettigen Paste, die verhältnismäßig wenig klebrig ist. Der nach der Luftbeimischung

sich ausscheidende, schon in der Vergasungszone angekrackte Teer wird mit der Zeit durch den Sauerstoff der Luft einer Art Alterung unterworfen, die je nach den Verhältnissen die verschiedenen Erscheinungsformen des Niederschlages ergibt.

Eine Untersuchung der Rückstände im Ansaugrohr eines mit Holzgas betriebenen Motors ergab bei Kühlerreinigung folgende Analyse:

% Lösliches	29,4	
% Kohlenstoff (Holzkohle + Ruß)	56,9	} 70,6%
% Asche	17,3	

Wie man ersieht, bestanden 70,6% des Rückstandes aus festen Teilen, die vom Gas an diese Stelle mitgeführt worden sind. Eine Verringerung des Staubgehaltes würde diese Rückstände verringern, und das bei Holzgasmotoren von Zeit zu Zeit erforderliche Säubern der Gemischleitungen könnte dementsprechend hinausgezogen werden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß trotz des umstrittenen Einflusses des Reststaubgehaltes auf die Abnutzung des Motors eine Verbesserung der Reinigerwirkung im Interesse einer längeren Betriebsfähigkeit des Schmieröles und zur Verringerung der Rückstände in der Gemischleitung anzustreben ist. Erreicht müßte ein Reingasstaubgehalt von $0,02 \text{ g/Nm}^3$ werden, wie er durch eine gute stationäre Gasreinigung bei größeren Anlagen erzielt wird.

3. Die Beschaffenheit und Zusammensetzung des Holzgasstaubes.

Da bei der Prüfung der einzelnen Reinigersysteme eine Erfassung des Rohgasstaubes, d. h. des Gesamtstaubes, von den größten bis zu den feinsten Staubteilchen aus apparativen Gründen nicht möglich war, wurden eigens einige Versuche zum Zwecke der Staubgewinnung durchgeführt. Die Staubgewinnungsanlage bestand aus einem Hansa-Holzgasrzeuger, einem Walther-Zyklon mit Vor- und Nachreiniger (s. Abb. 25) sowie einem nachgeschalteten Staub-sack (Absolutfilter). Die Austrittstemperatur des Gases am Staub-sack war um 200° , so daß der Staub trocken und weitestgehend teerfrei anfiel. Der mengenmäßige Anfall des Staubes in den einzelnen Teilen der Anlage war folgender:

	Vorreiniger (Zyklon)	Nachreiniger	Staubsack
Versuch I	55,7%	20,3%	24,0 %
Versuch II	52,5%	19,5%	27,02%

Dabei ist ein gewisser Verlust nicht berücksichtigt, der dadurch eintritt, daß ein Teil des Feinstaubes in dem weichen Gewebe des Tuchfilters haften bleibt und beim Entleeren nicht erfaßt wird. Aus den so erhaltenen Fraktionen wurden durch anteilmäßiges Mischen Gesamtstaubproben erhalten, die zu den folgenden Untersuchungen herangezogen wurden.

Physikalische Eigenschaften.

Bei allen Staubuntersuchungen interessieren zunächst die Korngrößenverhältnisse, das spez. Gewicht und einige andere physikalische Eigenschaften des Staubes, die für seine „Eignung“ zur Reinigung, also für seine Entfernung aus dem Gas von Bedeutung sind. Von vornherein sei gesagt, daß es sich bei dem Holzgasstaub um einen in vieler Beziehung abnormen Staub handelt, besonders deswegen, weil die Korngröße nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Die Korngrößenbestimmung stößt auf erhebliche Schwierigkeiten. Genau genommen kann von Korngrößen, wie überhaupt von Körnung nicht gesprochen werden, da der Staub sich aus mehr oder weniger langen Holzkohlesplintern, aus Flocken und Flittern zusammensetzt, wie das mikroskopische Bild zeigt. Der Staub ist entstehungsmaßig aus drei Bestandteilen zusammengesetzt. Der Hauptteil ist feiner und feinstes Holzkohlengrus. Als zweiter Bestandteil tritt die Holzasche auf. Der dritte, mengenmäßig kleinste Anteil ist offenbar ein bei der Vergasung bzw. Zersetzung von Teer, Harz- und Kienöl entstehendes Gemisch von ruß- bzw. koksartigen Stoffen. Alle drei Bestandteile liegen gut durchgemischt vor. Selbst die mikroskopische Untersuchung läßt z. B. kaum freie Asche erkennen.

Spez. Gewicht und Schüttgewicht.

Die hervorstechendsten Eigenschaften des untersuchten Staubes sind das niedrige Schüttgewicht und die erwähnte Vielgestaltigkeit der Staubteilchen. Aufschlußreich ist eine Betrachtung der

Gewichte der an der Staubbildung beteiligten Stoffe im Vergleich mit dem Gesamtrohgasstaub. Wir unterscheiden bei unseren Untersuchungen zwischen dem spez. Gewicht des Staubes in unzerkleinertem und in zerkleinertem Zustand. Das scheinbare spez. Gewicht des unzerkleinerten Staubes ist selbstverständlich niedriger als das wahre spez. Gewicht der Staubschubstanz. Für das Verhalten des Staubes ist es jedoch allein maßgeblich und wirksam. Für das spez. Gewicht der Holzkohle werden im Schrifttum sehr schwankende Werte angegeben (7, 8, 9, 10). Es steigt mit der Zerklönerung bis auf 2,0. In der folgenden Tabelle ist für Holzkohle aus der Vergasungszone das in den verschiedenen Teilchengrößenbereichen des Staubes ermittelte spez. Gewicht*) angegeben:

	Teilchengröße	Schüttgewicht	Spez. Gewicht
Holzkohle aus	120—400 μ		1,14
Vergasungszone	75—120 μ	0,1 — 0,15	1,41
	0— 75 μ		1,51
Holz asche aus obiger Holzkohle hergestellt		0,13—0,42	2,60
Teer ruß durch Verbrennen v. Teer		0,4	1,66
Teer koks		0,60	1,96
Gesamtrohgasstaub I		0,16	1,71 unzerkl. (2,03 zerkl.)
Gesamtrohgasstaub II		0,18	1,75 unzerkl. (1,97 zerkl.)

Korngröße.

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß die Korngrößenbestimmung infolge der besonderen Beschaffenheit des Holzgasstaubes erheblichen Schwierigkeiten begegnet. Die ausgesprochene, in jeder Beziehung vorhandene Inhomogenität des Staubes, die sich in dem stark unterschiedlichen spez. Gewicht der Staubbestandteile

*) Das spez. Gewicht wurde in alkoholischer Suspension im Pyknometer bestimmt.

ausdrückt, ebenso wie die teils splittrige, teils flockige, blättrige Beschaffenheit des Staubes machen eine Korngrößenbestimmung nach den üblichen Verfahren nahezu unmöglich.

Im Verlauf der vorliegenden Untersuchungen wurden Windsichtungen nach dem Gonellschen Verfahren (11) vorgenommen. Die dabei aus der Fallgeschwindigkeit nach der Stokeschen Formel (Fallgeschw. $v = \frac{1}{18} \cdot a^2 \cdot \frac{\rho^1 - \rho^2}{n} \cdot g$ *) für ein mittleres spez. Gewicht von 1,75 errechneten Korngrößen sind jedoch unwahrscheinlich niedrig, wie aus Abb. 8 Kurve b hervorgeht. Ein Holzgasstaubteilchen fällt also auf Grund seiner unkörnigen Gestalt trotz seiner Größe so langsam wie ein viel kleineres, jedoch kugelförmiges Teilchen**). Auch Gonell (11) hat schon auf die Unmöglichkeit der Korngrößenbestimmung derart unkörnigen Staubes durch Windsichtung hingewiesen.

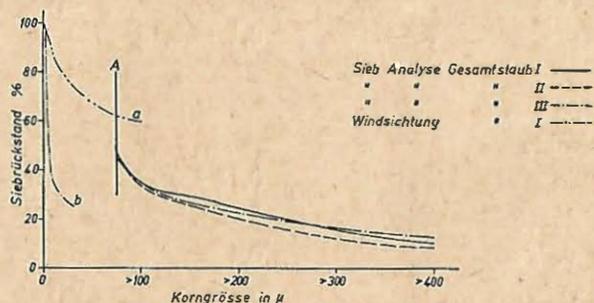


Abb. 8. Körnungskennlinie von Holzgasstaub.

Um nun der wirklichen Teilchengröße näher zu kommen, wurden die erhaltenen Fallgeschwindigkeitsfraktionen einer optischen Teilchengrößenbestimmung mit dem Mikroskop unterzogen

*) v = Fallgeschwindigkeit (cm/s),
 a = Durchmesser des kugelförmig angenommenen Staubteilchens (cm)
 ρ_1 = Spezifische Masse (Dichte) des Staubes (g/cm³),
 ρ_2 = Spezifische Masse (Dichte) des tragenden Mittels (g/cm³),
 n = Zähigkeit des tragenden Mittels (g/cm · s),
 g = Erdbeschleunigung = 981 cm/s².

***) Die Beziehung zwischen Durchmesser des Teilchens und seiner Fallgeschwindigkeit nach der Stokeschen Gleichung gilt streng genommen nur für den Fall, daß das Teilchen kugelförmige Gestalt hat.

(Abb. 8, Kurventeil a). Ein derartiges Verfahren kann selbstverständlich auch keinen Anspruch auf große Genauigkeit erheben. Die nach beiden Verfahren erhaltenen Körnungskennlinien a und b (in Abb. 8) liegen weit auseinander.

Die Siebanalyse als letzter Weg zur Korngrößenbestimmung — wenigstens im Bereich höherer Korngrößen — ist hier auch nur mit einem gewissen Vorbehalt anwendbar. Die in Abb. 8 wiedergegebenen Körnungskennlinien zwischen 75 und 400 µ wurden für die drei Gesamtstaubproben durch Siebanalyse (12) ermittelt. Die senkrechte Linie A zeigt die Grenze der Siebanalyse. Bei mehrfacher Wiederholung der Siebanalyse wurde festgestellt, daß leicht eine beträchtliche Streuung der Ergebnisse eintritt. Diese Streuung wird erklärlich, wenn man die folgenden mikroskopischen Bilder der einzelnen Siebfractionen betrachtet (Abb. 9 bis 14). In allen Fraktionen findet sich der Feinststaub, der bei der üblichen Prüfsiebung (Schlagen des Siebes) gar nicht zum Absinken kommt, weil er zu leicht ist. Ferner kommt es bei den deutlich erkennbaren Holzkohlesplittern ganz darauf an, ob sie im Verlauf der Siebung in waagerechter oder senkrechter Lage auf das Siebgewebe fallen und infolge des geringen Querschnittes dasselbe Sieb noch passieren, auf dem sie in waagerechter Stellung liegen bleiben (Abb. 13). Als dritte Fehlerquelle kommt der merklich werdende Abrich bei steigender Siebdauer hinzu.



Abb. 9. Korngrößenbereich 300 — 400.



Abb. 10. Korngrößenbereich 200 — 300.



Abb. 11. Korngrößenbereich
120 — 200.



Abb. 12. Korngrößenbereich
68 — 120.



Abb. 13. Korngrößenbereich
75 — 86.

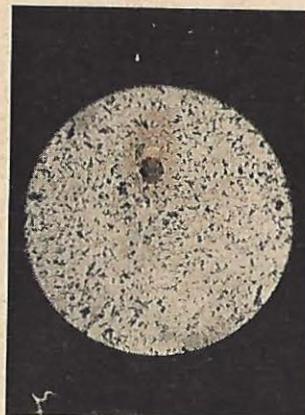


Abb. 14. Korngrößenbereich
0 — 75.

Es ist ersichtlich, daß einerseits die Korngrößenbestimmung nicht einwandfrei durchführbar ist, und andererseits die Korngröße, sofern überhaupt von Körnung gesprochen werden kann, für die Abscheidungsmöglichkeit des Staubes durch Fliehkraft oder Schwerkraft nicht allein von ausschlaggebender Bedeutung ist, da die Fallgeschwindigkeit feiner Teilchen weitgehend von ihrer Gestalt abhängig ist.

Diese Tatsache erhellt auch bei der Betrachtung der ebenfalls durch Siebanalyse gewonnenen Körnungskennlinien der bei der Staubgewinnung Versuch I angefallenen 3 Staubfraktionen (Abb. 15). Man erkennt, daß der im vorliegenden Versuch im Tuchfilter (nach dem Zyklon) aufgefangene Reststaub in seiner durchschnittlichen Korngröße innerhalb des Meßbereiches der Siebanalyse über dem Staub des Nachreinigers liegt.

Körnungskennlinie von Holzgasstaub

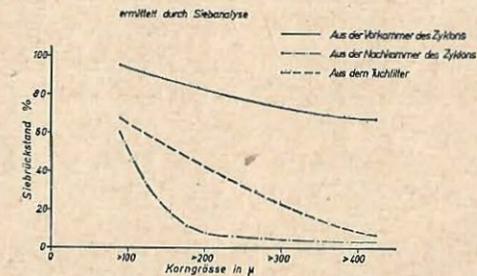


Abb. 15. Körnungskennlinie von Holzgasstaub.

Fallgeschwindigkeit.

Mehrfach ist vorgeschlagen worden (13), zur Beurteilung eines Staubes in erster Linie seine Fallgeschwindigkeit heranzuziehen. Um die für die Abscheidung durch Fliehkraft oder Schwerkraft charakteristische Fallgeschwindigkeit kennenzulernen, wurden für den Gesamtstaub I und II mit dem Gonellsehen Windsichter mehrere Fallgeschwindigkeitsfraktionen im Luftstrom hergestellt und daraus analog den Körnungskennlinien die Fallgeschwindigkeitskennlinien aufgestellt (Abb. 16). Der Gesamtstaub wurde vor der Windsichtung durch das 90-Maschensieb von den größten An-

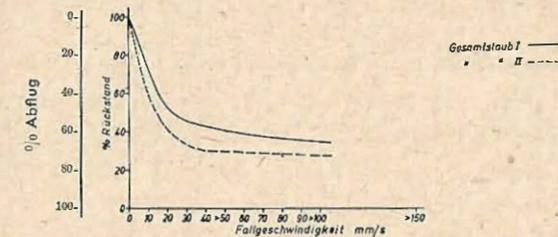


Abb. 16. Fallgeschwindigkeitskennlinie von Holzgasstaub.

teilen befreit. Man erkennt, daß rund die Hälfte des Staubes in Luft eine Fallgeschwindigkeit unter 20 mm/sec hat.

Die einzelnen Sieb- und Windsichtfraktionen von Gesamtstaub I wurden auf Aschegehalt und spez. Gewicht untersucht, um festzustellen, ob etwa durch Siebung bzw. Windsichtung eine Aufteilung in die Staubbestandteile, wie Holzkohle und Asche, eintritt. Die in der folgenden Zahlentafel angegebenen spez. Gewichte wurden ohne Zerkleinerung bestimmt. Es handelt sich also nicht um das wahre spez. Gewicht der Staubschubstanz, sondern um das für die Fallgeschwindigkeit wirksame spez. Gewicht. Das wahre spez. Gewicht des weitgehendst pulverisierten Staubes wurde zu 2,03 bzw. 1,97 bestimmt (s.o.). Wie aus nachstehender Zahlentafel hervorgeht, steigt das wirksame spez. Gewicht der Siebfraktionen mit fallender Teilchengröße ständig an. Ähnlich verhalten sich die spez. Gewichte der Fallgeschwindigkeitsfraktionen.

Gesamtstaub I.

Siebfraktion Korngröße	Kornanteil	spez. Gewicht (unzerkleinert)	Aschegehalt
1. über 400 μ	10,6%	1,18	20,7%
2. 300—400 μ	5,6%	1,20	30,0%
3. 200—300 μ	9,0%	1,32	34,4%
4. 120—200 μ	6,8%	1,42	34,6%
5. 86—120 μ	9,0%	1,58	33,5%
6. 75—86 μ	6,6%	1,69	—
7. unter 75 μ	52,4%	2,04	36,4%
Gesamtstaub I		1,71	32,2%

Windsichtfraktion Fallgeschwindigkeit	Kornanteil	spez. Gewicht (unzerkleinert)	Aschegehalt
1. 37,2—72,6 mm/sec	6,4%	1,17	36,2 %
2. 15,0—37,2 mm/sec	16,1%	1,33	29,57 %
3. 13,0—15,0 mm/sec	5,8%	1,38	35,6 %
4. 10,4—13,0 mm/sec	6,0%	—	31,1 %
5. 7,8—10,4 mm/sec	7,4%	1,90	28,0 %
6. unter 7,8 mm/sec	21,3%	—	35,9 %

Man könnte daraus den Schluß ziehen, daß sich die Asche als spez. schwerster Bestandteil des Staubes im Bereich kleiner Teilchengrößen und niedriger Fallgeschwindigkeiten anreichert. Die Bestimmung des Aschegehaltes der einzelnen Fraktionen zeigt jedoch

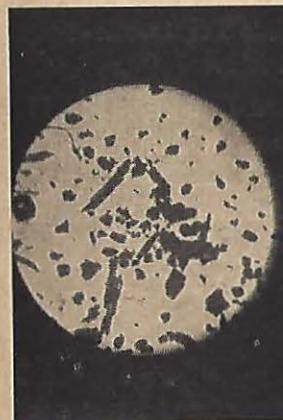


Abb. 17.
Fallgeschwindigkeitsbereich
36,4 — 62,4 mm/sek.



Abb. 18.
Fallgeschwindigkeitsbereich
15,8 — 36,4 mm/sek.



Abb. 19.
Fallgeschwindigkeitsbereich
7,8 — 15,8 mm/sek.

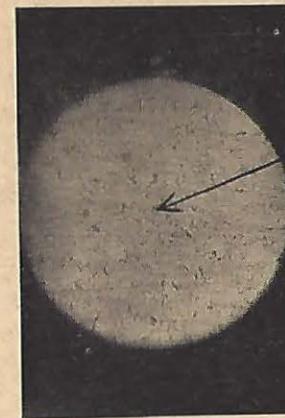


Abb. 20.
Fallgeschwindigkeitsbereich
0 — 7,8 mm/sek.

(s. vorstehende Zahlentafel) eine ziemlich gleichmäßige Verteilung der Asche über den gesamten Bereich, mit Ausnahme der beiden ersten Fraktionen. Sehr wahrscheinlich ist das höhere spez. Gewicht der kleinen Teilchen sowie der Teilchen geringerer Fallgeschwindigkeit auf die Teilchengröße als solche und auf eine Anreicherung der Teer- und Harzzersetzungsprodukte in diesen Fraktionen zurückzuführen. Wie schon erwähnt, haben diese Teerzersetzungsprodukte nächst der Asche das höchste spez. Gewicht.

Aus den folgenden mikroskopischen Bildern (Abb. 17 bis 20) von vier Windsichtfraktionen kann man das Vorherrschen der Holzkohlenstruktur des Staubes höherer Fallgeschwindigkeit erkennen, wobei in der Fraktion kleinster Fallgeschwindigkeit (Abb. 20) die Holzkohlenbruchstücke recht selten sind. Daß sie jedoch auch hier vorhanden sind, zeigt ein vergrößerter Ausschnitt der Abb. 20 in Abb. 21.



Abb. 21. Holzkohleteilchen des Bereiches unter 7,8 mm/sek (Abb. 20), Vergrößerung 300fach.

Die Zusammensetzung des Staubes stellt sich demnach schematisch ganz grob, etwa wie in Abb. 22 gezeigt, dar, wobei die mengenmäßige Verteilung auf die einzelnen Teilchengrößen- bzw. Fallgeschwindigkeitsbereiche nur andeutungsweise berücksichtigt ist.

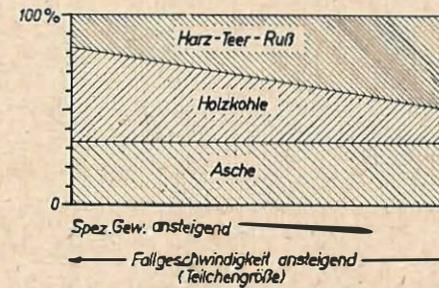


Abb. 22. Schematische Darstellung der Staubzusammensetzung.

Es erscheint auf den ersten Blick widerspruchsvoll, daß die Fallgeschwindigkeit trotz des Ansteigens des spezifischen Gewichtes mit sinkender Teilchengröße für die feinen Teilchenbereiche nicht größer ist, als gemessen, d. h. umgekehrt, daß sie in so starkem Maße in entgegengesetzter Richtung zum spezifischen Gewicht ansteigt. Betrachtet man nur die Holzkohle, so ist das schon erwähnte Steigen des spezifischen Gewichtes mit fallender Teilchengröße verständlich. Je weitgehender die Holzkohle zerkleinert wird, desto geringer wird die Anzahl der Poren und mikroskopischen Hohlräume des einzelnen Teilchens. Treibt man die Zerkleinerung bis in den Bereich der Poren bzw. Zellgrößen vor, so entfällt jede Porosität, und man kann das wahre spezifische Gewicht der verkohlten Zellwandsubstanz ermitteln, welches seinerseits wieder mit der Entgasungstemperatur, d. h. mit dem Grade der Zersetzung und Abscheidung des entbundenen Teeres ansteigt. Daß jedoch trotz des Ansteigens des spezifischen Gewichtes mit sinkender Teilchengröße die Fallgeschwindigkeit in dieser Richtung unverhältnismäßig stark abnimmt, läßt den Schluß zu, daß die nicht im entferntesten kugelige bzw. körnige Gestalt der Staubteilchen dafür verantwortlich ist.

Selbstverständlich lassen sich für das in Abb. 22 angegebene Schema der Staubzusammensetzung keine genauen Grenzen angeben, wie überhaupt die Zusammensetzung des Staubes im Betrieb sehr schwankt. Das geht auch daraus hervor, daß bei weiteren Staubgewinnungsversuchen der angefallene Staub sich jeweils anders auf die drei Teile der Staubgewinnungsanlage verteilte. Die am weitesten voneinander abweichenden Werte waren:

Staubmenge in:	Vorreiniger	Nachreiniger	Tuchfilter
Versuch I	55,7%	20,3%	24,0%
Versuch III	45,6%	10,7%	43,7%

Die Frage der Zusammensetzung des Staubes soll nach der Erörterung der chemischen Beschaffenheit nochmals aufgegriffen werden.

Chemische Beschaffenheit.

Von den drei Entstehungsbestandteilen des Holzgasstaubes ist die Holzkohle in Aufbau und Zusammensetzung hinlänglich bekannt. Der Aschegehalt der im Gaserzeuger oberhalb der Düsen erhaltenen Kiefernholzkohle ist normal. Die Kohle enthält geringe Mengen benzollöslichen Restteeres. Bei dem Durchgang durch die Vergasungszone unterliegt die Holzkohle starken Veränderungen. Neben der Vergasung läuft die Teerspaltung und damit eine Aufladung der nicht vergasten Holzkohle mit Teerspaltkoks und Ruß, welche sich in einer beträchtlichen Erhöhung des spezifischen Gewichtes ausdrückt. Gleichzeitig steigt der Aschegehalt sowie der Anteil an Benzollöslichem, wie aus der folgenden Zahlentafel hervorgeht.

Holzkohle (Teilchengröße unter 75 μ)	spez. Gew.	Aschegehalt	Lösliches
Aus Fischer-Retorte			
Endtemperatur 500° C	1,51	1,48%	0,19%
aus Gaserzeuger			
a) vor Düsenzone	1,51	1,78%	0,088%
b) nach Düsenzone	1,84	5—7%	2,40%

Die Holzkohle wird beim Durchgang durch die Düsenzone augenscheinlich härter, jedoch ist die Härte der Holzkohle damit

immer noch unverhältnismäßig klein gegenüber z. B. der Härte von Aluminium-Oxyd und Eisen-Oxyd, die als Schleifmittel wirken. Es ist also nicht gesagt, daß diese veränderte Holzkohle durch Schleifwirkung zur Erhöhung des Verschleißes der Motoren beitragen muß.

Von Interesse ist ferner die Kenntnis der Beschaffenheit der vom Gas mitgerissenen Teer-Zersetzungsprodukte. Hier ist die Tatsache erschwerend, daß es nicht möglich ist, den Staub in seine Bestandteile zu zerlegen. Versuche in dieser Richtung wurden unternommen, verliefen jedoch ohne das erwartete Ergebnis, wie aus dem Folgenden ersichtlich.

Davon ausgehend, daß das spezifische Gewicht der Staubbestandteile verschieden ist, wurde der Versuch gemacht, durch Schwimm- und Sink-Analyse die „reine“ Holzkohle von den schwereren Bestandteilen, soweit diese nicht den Holzkohleteilchen anhaften, zu trennen. Als Scheidelflüssigkeit wurde Tetrachlorkohlenstoff (spezifisches Gewicht = 1,59) verwendet. In einigen Versuchen wurde zuvor die Asche durch Behandlung mit 10prozentiger kalter Salzsäure bis auf etwa 1,5% entfernt. In jedem Fall sank der Staub jedoch zum weitaus größten Teil in Tetrachlorkohlenstoff ab, so daß sich im Mittel folgendes Bild ergab:

Sinkgut	93%	
Schwimmgut	7%	(Holzkohle vom spezifischem Gewicht < 1,59)
	<hr/>	100%

Es ist nun die Frage, ob, wie erwartet wurde, überhaupt die Möglichkeit besteht, den Holzkohleanteil durch Tetrachlorkohlenstoff von den übrigen Staubbestandteilen zu trennen. Das spezifische Gewicht von Holzkohle aus der Vergasungszone wurde für die angegebene Teilchengröße zu 1,51 bestimmt und ist etwa ebenso groß wie dasjenige einer in der Fischer-Retorte hergestellten Holzkohle (s. vorstehende Tabelle). Im Verlauf der absteigenden Vergasung wird nun die Holzkohle nach Durchwandern der Brennzone mit Teerspaltprodukten aufgeladen. Gleichzeitig wird sie infolge teilweiser Vergasung aschereicher. Mit diesem Steigen des Teerkoks- und Aschegehaltes in der Holzkohle erhöht sich das spezifische Gewicht für die angegebene Teilchengröße auf etwa 1,8, wie aus vorstehender Tabelle ebenfalls ersichtlich ist. Aus diesem Anstieg

des spezifischen Gewichts ergibt sich schon, daß der Prozentsatz an „reiner“ Holzkohle, etwa von der Beschaffenheit der Retortenkohle, nur dann größeres Ausmaß annimmt, wenn ein genügend großer Teil der Holzkohle unmittelbar aus der Düsenzone durch den Gasstrom fortgerissen wird. Das Ergebnis der Schwimm- und Sinkanalyse zeigt, daß dies nicht der Fall ist und daß die Staubkohle weitgehend mit Teerkoks beladen ist, von dem sie nicht wieder getrennt werden kann.

Es ist naheliegend anzunehmen, daß der aschefreie Staub sich zum größten Teil aus dieser durch die Vergasung veränderten Holzkohle zusammensetzt. Die mikroskopische Untersuchung entaschten Staubes zeigte jedoch immer eine beträchtliche Anzahl von Teilchen, die keine Holzkohlestruktur erkennen lassen.

Es muß also mit dem Vorhandensein von freien Teerzeretzungsprodukten gerechnet werden. Der höhere Anteil an Benzollöslichem des Staubes gegenüber der reinen Holzkohle deutet ebenfalls darauf hin.

	Benzollösliches
Holzkohle vor Düsenzone	0,09%
nach Düsenzone	1,14%
Gesamtstaub I	2,13%
Gesamtstaub II	2,40%

Die Elementar-Analyse des Staubes weicht von der einer Holzkohle hoher Entgasungstemperatur ab, wie aus den folgenden Zahlenangaben hervorgeht:

Elementar-Analysen von Holzkohle (14)

Temperatur	Kohlenstoff	Wasserstoff	Rest
400°	82,7%	3,8%	13,5%
800°	95,8%	1,0%	3,2%
1000°	96,6%	0,5%	2,9%

Elementar-Analysen von Holzgasstaub (aschefrei berechnet)

Staub I	83,2%	2,03%	14,77%
Staub II	84,0%	2,14%	13,86%

Als letzter Bestandteil des Holzgasstaubes ist die Holzgasohle zu besprechen. Der Aschegehalt des Staubes war folgender:

Versuch I	32,85%
Versuch II	26,73%

Alle Untersuchungen beziehen sich, wie erwähnt, auf Kiefernastholz. Die Zusammensetzung der Kiefernholz-asche ist nach K o l l m a n n (15)

Aschegehalt	K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	SiO ₂	Na ₂ O	
Splint	0,19%	18,4	7,2	27,6	11,0	6,3	5,2	2,1	4,0%
Kern	0,15%	10,3	0,9	41,8	16,1	5,5	4,5	3,5	3,1%

Aus der Aschezusammensetzung ist zu erschen, daß die für den Verschleiß im Motor in Frage kommenden Bestandteile wie Fe₂O₃ und SiO₂ in sehr geringem Ausmaße vorhanden sind. Bei dem an sich geringen Aschegehalt des Holzes erscheint die Möglichkeit einer Schädigung des Motors durch die Asche unwahrscheinlich, sofern nicht eine unzulässige Anreicherung im Schmieröl infolge ungenügender Gasreinigung oder Nichteinhaltung des Ölwechsels stattfindet. Es muß berücksichtigt werden, daß nur ein Teil des Reingasstaubes und seiner Verbrennungsprodukte in das Schmieröl gelangt, während der andere Teil vom Abgas mitgerissen wird. Nimmt man eine Ölwechselperiode von 100 Std., eine Ölfüllung von 5 l, eine stündliche Gasleistung von 50 Nm³, einen Reingasstaubgehalt von 150 mg/Nm³ an, so hätte man, wenn der gesamte Reingasstaub sich im Schmieröl ansammelt, 750 g Staub/5 l Öl. Bei einer Öldichte von D₂₀ = 0,940 entsprechen 750 g Staub in 5 l Öl = 16% festen Fremdstoffen. Derartig hohe Werte werden natürlich wegen der teilweisen Verbrennung und Austragung des Staubes mit den Auspuffgasen nicht erreicht. Dagegen haben wir in einem 120-Std.-Versuch bei Weichholzbetrieb mit einem Ford-BB-Motor beispielsweise 7% feste Fremdstoffe im Öl gefunden, ein Wert, der zweifelsohne noch zu hoch ist. Die verwendete Reinigungsanlage (Zyklon-Ölreinigung) hat etwa eine Staubdurchlässigkeit von 150 bis 200 mg/Nm³. Bei einem Reingasstaubgehalt von nur 15 bis 20 mg/Nm³, wie eingangs gefordert, wäre die Verschmutzung entsprechend nur etwa 0,7% und hätte auf die Ölveränderung keinen merklichen Einfluß mehr.

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden:

Trotz des recht hohen spezifischen Gewichtes der Staubsubstanz ist die Fallgeschwindigkeit, also die Fliehkraft- und Schwerkraft-Abscheidemöglichkeit, gering. Als Ursache ist die äußere Gestalt der Staubteilchen, sowie das durch Porosität der größeren Teilchen herabgesetzte wirksame spezifische Gewicht anzusehen. Eine Trennung in die Staubbestandteile, wie Asche und Holzkohle, findet durch teilweise Fliehkraftabscheidung nicht statt. Der Staub selbst erscheint auf Grund seiner Zusammensetzung nicht verschleißgefährlich, solange die Schmier-eigenschaften des Schmieröles nicht beeinträchtigt werden, d. h. solange ein niedriger Reingasstaubgehalt des Gases gewährleistet ist und eine Anreicherung des Staubes im Motoröl verhindert wird.

II. Die Untersuchungsmethode.

1. Versuchseinrichtung und Meßverfahren.

Die aus dem vorhergehenden Abschnitt ersichtlichen besonderen Eigenschaften des Holzgasstaubes machten es notwendig, die zu untersuchenden Reiniger während der Prüfung möglichst genau den gleichen Bedingungen zu unterwerfen, wie sie in der Praxis vorliegen. Das sonst bei Untersuchung von Staubabscheidern übliche Verfahren, einem strömenden Medium, z. B. Luft, bestimmte Mengen eines bekannten Staubes künstlich zuzugeben, konnte aus verschiedenen Gründen nicht angewandt werden. Wie bereits erwähnt, ist es schwierig, Holzgasstaub einschl. des Feinststaubes, wie er während des Betriebes anfällt, in genügenden Mengen und, was besonders wichtig ist, in genau derselben Form, wie er im Gasstrom auftritt, zu erhalten. Der große Anteil feinen Staubes und sein veränderlicher physikalischer Zustand lassen annehmen, daß es praktisch nicht möglich sein dürfte, einen etwa im Absolutfilter gewonnenen Staub für Vergleichsversuche verschiedener Reiniger stets in derselben Form und Korngrößenverteilung zu erhalten (s. auch Abschnitt I, 3). Das System Staub — Teer — Gas stellt in den feinen Anteilen ein kompliziertes Aerosol dar, dessen Verhalten mit dem eines künstlichen Gemisches von Luft und teerfreiem Staub nicht ohne weiteres verglichen werden kann. Bei Verwendung von Luft als Prüfgas ist es auch nicht möglich, die besonderen physikalischen Verhältnisse des in den Reinigern meist höhere Temperaturen einnehmenden Generatorgases, insbesondere die Zähigkeit des Gases, zu rekonstruieren.

Es erschien daher unbedingt notwendig, den Staub nicht künstlich einem Gasstrom zuzuführen, sondern ihn während der Versuche unmittelbar dem Generator zu entnehmen. Auf diese Weise wird der Originalstaub gewissermaßen im „status nascendi“ den Reinigern zugeführt.

Auch sollten durch die Untersuchungen nicht nur Einzelreiniger, sondern auch bestimmte Reinigersysteme insgesamt geprüft werden. Es war denkbar, daß der eine oder andere Generator vielleicht durch die Art seiner Gasabsaugung oder durch sonstige konstruktive Einflüsse einen geringeren Staubgehalt im Rohgas ergeben könnte, welcher natürlich die Belastung der Reiniger und den Reinigungsgrad wesentlich hätte beeinflussen können. Schließlich sind die meisten Reiniger im Zusammenhang mit dem Gaserzeuger selbst entstanden. Es wurde daher bei diesen Untersuchungen zunächst grundsätzlich das komplette Reinigungssystem mit dem jeweils dazugehörigen Generator untersucht.

Diese Art der Versuchsdurchführung ergab allerdings den Nachteil, daß der Rohgasstaubgehalt vor den Reinigern nicht konstant gehalten werden konnte. Es war daher nötig, eine größere Anzahl von Parallelversuchen durchzuführen, zumindest die Versuche so oft zu wiederholen, bis einige extreme Werte des Rohstaubgehaltes vorhanden waren, aus denen ein zuverlässiger Mittelwert gebildet werden konnte. Auf diese Weise ist es dann auch gelungen, Ergebnisse zu erhalten, die in dem erforderlichen Maße miteinander verglichen werden können. Außerdem war nicht Zweck dieser Prüfung, besondere Feinheiten der einzelnen Apparate festzustellen und womöglich denjenigen, der einen um wenige mg geringeren Reinstaubgehalt ergab, auszuwählen, sondern in großen Zügen aus den in der Praxis angewandten Systemen das Geeignete herauszufinden. Grobe Unterschiede des Reingasstaubgehaltes bei annähernd gleichem Rohstaubgehalt ermöglichen jedenfalls Vergleiche.

Für die Meßmethode wurden weitestgehend die vom Fachausschuß für Staubtechnik im VDI. (16) herausgegebenen Richtlinien zugrunde gelegt. Außerdem wurden zum Teil Erfahrungen von Rosin und Rammler (17) mit herangezogen.

Um den Reinigungsgrad eines Gasreinigers festzustellen, muß der Staubgehalt des Gases vor und hinter dem Reiniger gemessen werden. Entsprechend den vom VDI. herausgegebenen Richtlinien kam als Meßverfahren die Teilstrommessung in An-

wendung. Die Entnahme der Teilströme erfolgte mittels Düsen jeweils vor und hinter dem zu untersuchenden Filter bzw. der Gesamtreinigungsanlage. Bei der Entnahme wurden die vom VDI. gegebenen Richtlinien genau eingehalten. Die Teilstrommenge wurde so abgezweigt, daß an der Düsenmündung die gleiche Geschwindigkeit vorhanden war wie im Hauptstrom. In dem zu untersuchenden Reiniger wurden Temperaturabfall und Strömungswiderstände gemessen. Gegebenenfalls wurde das Temperaturgefälle durch künstliche Kühlung an die in der Praxis vorhandenen Verhältnisse angepaßt. Gleichzeitig wurde bei allen Versuchen der Strömungswiderstand des Generators und die Austrittstemperatur des Gases fortlaufend gemessen, um eine Kontrolle des Generatorganges zu erhalten. Während der Messung wurden laufend Gasanalysen durchgeführt, um Undichtigkeiten der Versuchsanlage (Sauerstoffgehalt) und den Betriebszustand des Gaserzeugers festzustellen. Das Ergebnis der Gasanalysen wurde außerdem für die Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Gases, welches für die Mengenbestimmung der Blendenmessung benötigt war, benutzt.

Der Aufbau der Versuchseinrichtung ist aus der Abb. 23 ersichtlich. Der Gaserzeuger war auf einer Rüttelvorrichtung aufgebaut, die durch einen Elektromotor laufend in Schwingung versetzt wurde. Eine Erschütterung des Fahrzeuggaserzeugers empfiehlt sich stets bei derartigen Versuchen, um ein einwandfreies Nachrutschen des Holzes in die Vergasungszone sicherzustellen. Die Belastung des Gaserzeugers erfolgte durch ein Sauggebläse, die Absaugung der Meßteilströme durch eine Wasserringpumpe.

Hinter dem Generator bzw. vor dem zu messenden Reiniger war zur Geradföhrung ein langes senkrechtes Rohrstück eingebaut, aus dem der Teilstrom für die Rohgasstaubbestimmung abgesaugt wurde. Um Kondensatbildung im Teilstrom sicher zu vermeiden, wurde er durch eine Warmluftvorrichtung beheizt. Das Rohgas gelangte zunächst in einen Bewag-Meßzyklon, wo der Staub teilweise durch Zyklonwirkung und der Rest durch ein eingespanntes Filterpapier abgeschieden wurde. Auch der Meßzyklon war elektrisch beheizt, um die Bildung von Kondensaten zu vermeiden. Das zur Verwendung gekommene Filterpapier hatte eine Porenweite von 5 μ (Schleicher und Schüll Nr. 589²). Es erwies sich als zweckmäßig, für jeden Versuch jeweils zwei Filterpapiere einzuspannen.

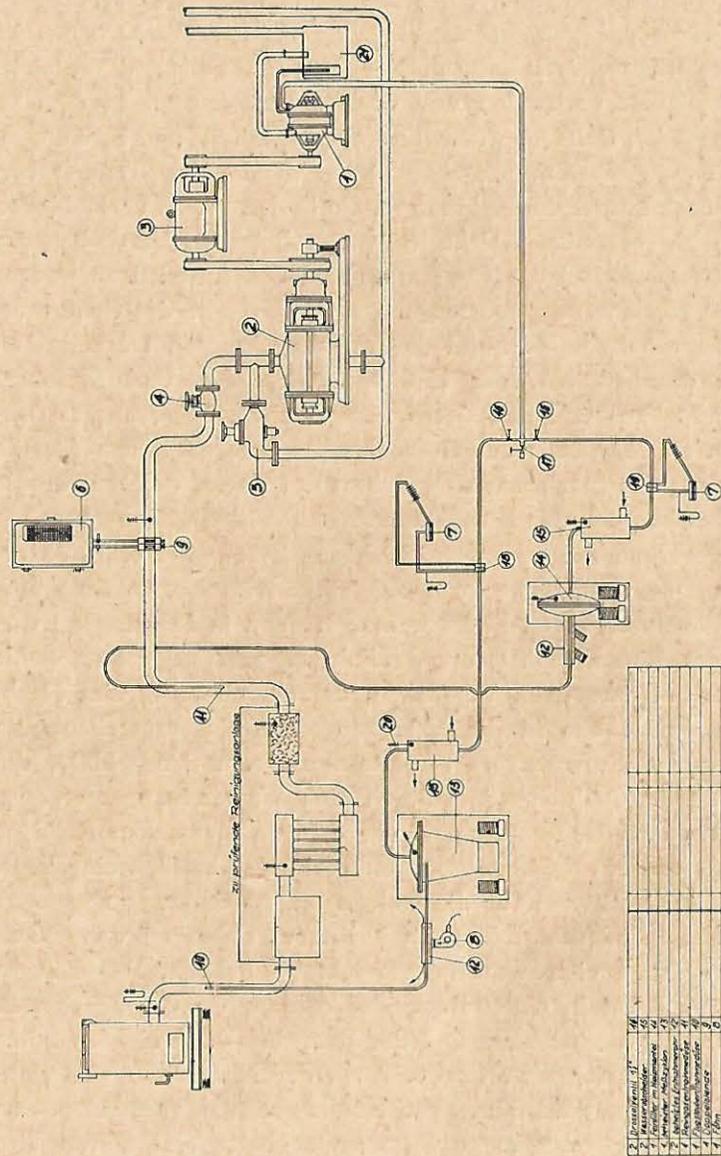


Abb. 23. Schema der Prüfungsanlage.

1	Wasserringpumpe	11	Filterpapier
2	Meßblende	12	Wassersäule
3	Ringwaage	13	U-Rohr
4	Wassersäule	14	Meßblende
5	Ringwaage		
6	Wassersäule		
7	Ringwaage		
8	Wassersäule		
9	Ringwaage		
10	Wassersäule		
11	Ringwaage		
12	Wassersäule		
13	Ringwaage		
14	Wassersäule		

Hinter dem Meßzyklon wurde der Teilstrom gekühlt, um den Taupunkt des Gases zu erreichen. Anschließend durchströmte das Gas die Meßblende zur Mengenbestimmung und gelangte über ein Regelventil in die Saugleitung der Wasserringpumpe.

Der Reingasteilstrom wurde in ähnlicher Weise hinter dem zur Untersuchung dienenden Filter durch eine Düse entnommen und über eine geheizte Rohrleitung unmittelbar zum Filterpapier geführt, welches ebenfalls auf 120° elektrisch aufgeheizt wurde, um Verstopfungen der Poren durch Teerabscheidungen zu vermeiden. Es folgten wieder der Wasserabscheider und die Meßblende. Anschließend gelangte der Teilstrom ebenfalls über ein Regelventil in die Ansaugleitung der Wasserringpumpe.

Wichtig ist die genaue Feststellung der Hauptstromgasmenge. Dieselbe erfolgte durch eine Meßblende. Die Anzeige der Meßblende wurde laufend durch eine Braunsche Ringwaage registriert. Zur Kontrolle der Ringwaagenanzeige diente ein parallel geschaltetes U-Rohr mit Wassersäule. Diese Kontrolle erwies sich als notwendig, weil sich besonders im Teillastgebiet in der Leitung zur Ringwaage hin und wieder Wassertröpfchen bildeten, die die Anzeige der Waage fälschten. Während des Betriebes war es daher erforderlich, laufend einen Vergleich zwischen der Anzeige des U-Rohres und der Ringwaage zu ziehen. Diese Kondensaterscheinungen traten naturgemäß auch an der Blende auf, und es war notwendig, dieselbe bzw. ihren Ringraum zu entwässern.

Die Anzeigen der Teilstrommeßblenden wurden an Mikromanometern abgelesen, zugleich Absolutdruck und Temperatur.

Mit besonderer Sorgfalt wurden die Filterpapiere behandelt. Vor Gebrauch wurden sie 3 Stunden in einer Glashülse in einem Trockenschrank getrocknet, anschließend ½ Stunde im Exsikkator abgekühlt. Sodann wurden sie luftdicht verschlossen und einschl. der Hülse gewogen.

Nach dem Versuch wurden die Papiere in derselben Glashülse wieder 3 Stunden im Trockenschrank und ½ Stunde im Exsikkator behandelt und anschließend gewogen. Da das Gewicht der Glashülse bekannt war, konnte aus den Wägungen vor und nach dem Versuch das Staub- und Teergewicht ermittelt werden.

Hierauf wurden die Papiere in einem Soxhlet-Apparat mit einem Benzol-Alkoholgemisch extrahiert. Durch Wägung der extrahierten Teermenge und Abzug von der vorhergehenden Wägung wurde das Staubgewicht bestimmt.

Aus den beim Versuch gemessenen Zustandsgrößen des Haupt- und Teilstromes, der Gasanalyse und der Aufschreibung der Ringwaage wurden die Haupt- und Teilstromgasmengen, bezogen auf Normalzustand (0°C — 760 mm Hg), bestimmt und mit den festgestellten Staubgewichten in Beziehung gesetzt.

Bei den Versuchen wurde mit den Messungen erst begonnen, wenn der Beharrungszustand des Generators, gekennzeichnet durch eine konstante Gastemperatur am Generatorausstritt, erreicht war.

Die Versuchsdauer wurde so gewählt, daß bei den einzelnen Belastungsstufen angenähert die gleiche Staubmenge am Filterpapier anfiel. Es sollten dadurch Ungenauigkeiten bei der Weiterbehandlung der Filterpapiere bzw. der gewichtsmäßigen Feststellung der Staubmengen ausgeschaltet werden. Die erforderlichen Versuchszeiten wurden durch Vorversuche ermittelt und betragen bei Vollast 60 Minuten, bei geringeren Laststufen 90 und 120 Minuten.

2. Das Vergasungsholz.

Bei einem größeren Einsatz von Gasfahrzeugen, insbesondere Gasschleppern, in Deutschland muß damit gerechnet werden, daß im geringeren Umfange Buchenholz, meist dagegen Weichholz (Nadelholz), vorzugsweise Kiefern- und Fichtenreiserknüppel, als Vergasungsholz zur Verfügung stehen wird. Es ist durch die Arbeiten von Kühne (18) und List (2) zunächst prüfstandmäßig und durch die Forschungsstelle (19) auf breiter Erprobungsbasis in der Praxis nachgewiesen worden, daß die Benutzung dieser Holzsorten ohne weiteres auch im Dauerbetrieb und ohne störende Einflüsse auf die Vergasung möglich ist.

Andererseits war durch die Versuche von List bekannt, daß bei Vergasung von Weichholz mit einem größeren Anfall von Staub im Generatorgas zu rechnen ist. Es schien daher unbedingt notwendig, die vorliegenden Untersuchungen nicht mit Buchenholz, sondern mit minderwertigem Weichholz durchzuführen, um die am

stärksten eintretende Beanspruchung der Reiniger herbeizuführen und gleichzeitig diejenigen Bedingungen bezüglich der Holzqualität zugrunde zu legen, mit denen in der Praxis am häufigsten zu rechnen sein wird.

Dementsprechend wurden die Versuche ausschließlich mit Kiefernholz, sogenannten Reiserknüppeln, deren Stärke sich zwischen 30 und 100 mm bewegte, durchgeführt. Das Holz wurde auf eine Länge von 70 mm bei einem Querschnitt von etwa 20 cm^2 zerkleinert. Es war stark rindenhaltig und zu etwa 30% in rotfaulem Zustand.

Als Feuchtigkeit wurde 12 bis 15% gewählt. Dieser Feuchtigkeitsbereich wurde während der Versuche stets konstant gehalten und fortlaufend durch Trocknungsproben überwacht.

3. Generatorbetriebszustand.

Über den bei den Untersuchungen vorhandenen Generatorbetriebszustand ist folgendes zu sagen:

Die Dauerbetriebsfähigkeit des Gaserzeugers ist, wie die Arbeiten der Forschungsstelle ergeben haben (19), heute schon sehr groß, und man kann mit einer Gesamtbetriebszeit von über 500 Std. rechnen, bis eine Erneuerung oder Reinigung der Holzkohlegrundfüllung des Vergasungsherdos erforderlich ist. Nun ist es im allgemeinen üblich, für die Grundfüllung des Herdes Buchenholzkohle zu verwenden, weil in Deutschland nur diese Holzkohlenart in kleinstückiger Form und absolut teerfrei geliefert wird. Diese Buchenholzkohle verbraucht sich innerhalb einer gewissen Betriebszeit, die nach Feststellung der Forschungsstelle bei etwa 20 bis 30 Stunden liegt, und an ihre Stelle tritt die im Generator selbst nachgebildete Weichholzkohle. Letztere ergibt infolge ihrer geringen Festigkeit einen größeren Staubanfall. Es wurde daher jeder Generator, der an der Untersuchung teilnahm, grundsätzlich erst einer Betriebszeit von 50 Std. unterworfen, um auf alle Fälle den Betriebszustand der Vergasungsherdfüllung, wie er im Dauerbetrieb normal bei Weichholz-Vergasung vorhanden ist, herzustellen. Die verwendeten Gaserzeuger, Bauart Gustloff, Hansa und Imbert, waren für den 25-PS-Gasschlepper dimensioniert. Dieser Motor-

leistung entspricht ein stündlicher Gasverbrauch von etwa 50 bis 60 Nm³. Der Generator wurde dementsprechend bei den Vollastversuchen belastet.

Um das Verhalten der Reiniger über einen möglichst weiten Belastungsbereich festzustellen, wurden Messungen auch bei etwa 25 und 13 Nm³/h Generatorbelastung durchgeführt. Es war denkbar, daß bestimmte Reinigersysteme, z. B. solche, die mit Fliehkraft oder Waschung arbeiten, bei geringer Belastung ungünstigere und andere, z. B. Staubkammern, günstigere Abscheidegrade erbringen würden. Die durch den Reiniger gelangende Gasmenge war im übrigen stets um den Rohgasteilstrom von etwa 3 bis 4 Nm³ geringer als die Generatorbelastung.

Da für die Beanspruchung der Reiniger nicht nur die Gasmenge allein, sondern auch der im Gas enthaltene Wasserdampf, der sich oberhalb des Taupunktes gasähnlich verhält, mitzurechnen war, wurden bei der folgenden Darstellung die Meßergebnisse stets auf den Normalkubikmeter f e u c h t bezogen.

III. Die Untersuchungsergebnisse.

1. Der Rohgasstaubgehalt.

Vor der Besprechung der einzelnen Untersuchungsergebnisse lohnt es sich, einige Betrachtungen über die Staubmenge, die bei den verschiedenen Belastungsstufen und Betriebsbedingungen im Gas unmittelbar nach dem Verlassen des einzelnen Gaserzeugers enthalten ist, anzustellen.

In Abbildung 24 sind die bei der vorliegenden Untersuchung festgestellten Werte des Rohgasstaubgehaltes abhängig von der Belastung aufgetragen. Man sieht, daß bei keinem der verwendeten Gaserzeuger der Rohgasstaubgehalt sich innerhalb enger Grenzen, die etwa für den einzelnen Gaserzeuger typisch wären, bewegt, sondern stets hohe und niedrige Werte vorhanden sind. Dies ist zunächst verwunderlich, denn man hätte eigentlich eine Abhängigkeit des Rohgasstaubgehaltes von einzelnen konstruktiven Merkmalen des Gaserzeugers erwarten können. So hätte man z. B. beim Imbert-Generator, in dem das Gas aus einem breiten Ringraum um den Vergasungsherd abgesaugt wird und sich zunächst mit geringer Geschwindigkeit durch den Doppelmantel nach oben bewegt, auf einen geringen Rohgasstaubgehalt schließen können. Aber gerade dieser Generator ergab den höchsten Wert (s. Abb. 24).

Der feine Holzgasstaub wird also durch solche Konstruktionsmaßnahmen nicht in größerem Maße im Generator zurückgehalten als bei den anderen Bauarten, bei denen, insbesondere beim Hansa-Generator, mit erheblich höherer Geschwindigkeit und ohne Zwischenschaltung eines wirksamen Beruhigungsraumes, abgesaugt wird.

Viel maßgebender dagegen dürfte die Art des Vergasungsholzes bzw. der Holzkohlefüllung für die Größe des Rohgasstaubgehaltes sein. Mit dem Imbert-Gaserzeuger wurde ein Vollastversuch durchgeführt, bei dem der Vergasungsherd mit einer

frischen Buchenholzkohlefüllung versehen worden war. Wie aus nachstehender Zahlentafel zu erschen ist, ergab sich sofort ein wesentlich geringerer Rohgasstaubgehalt, der weit unter den bei Weichholzkohle festgestellten Werten lag, obwohl die Belastung sogar um einige Prozent höher war.

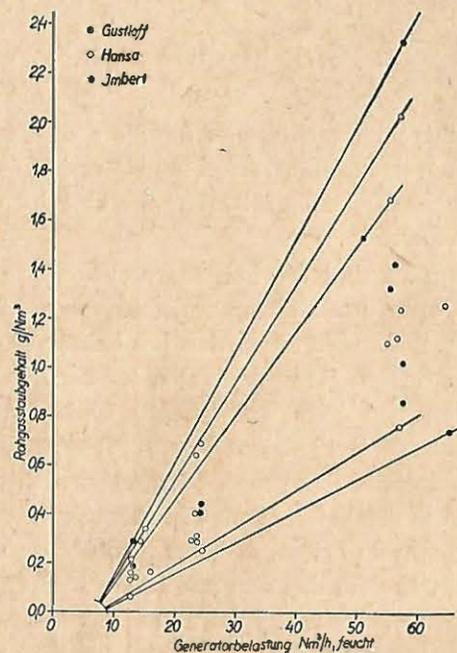


Abb. 24. Der Rohgasstaubgehalt bei sämtlichen Meßversuchen (Kiefern-Reiserknüppel).

Unterschied des Rohgasstaubgehaltes bei Herdfüllung mit Buchenholzkohle und Weichholzkohle

Versuchsbezeichnung	Herdfüllung	Belastung Nm³/h	Rohgasstaubgehalt g/Nm³
RI V ₁	Kiefernholzkohle	57,87	1,036
RI V ₂	Kiefernholzkohle	57,37	2,330
RI V ₃	Buchenholzkohle	61,06	0,473

Verbindet man die jeweils höchsten und niedrigsten Werte des Rohgasstaubgehaltes bei verschiedener Belastung in Abb. 24, so treffen sich die Verbindungslinien auf der Abszisse nahezu im gleichen Punkt. Dieser Punkt gibt die Belastung an, bei der ein Mitführen von Staub durch das Generatorgas überhaupt erst beginnt.

Die Streuung des Rohgasstaubgehaltes ist also im Bereich kleiner Belastung gering, während sie bei Vollast einen erheblichen Umfang zeigt.

Die bei den vorliegenden Generatorbauarten bei Vollast gemessenen Werte des Rohgasstaubgehaltes von 0,7 und 2,5 g/Nm³ stimmen gut mit den von List (1 u. 2) festgestellten überein (s. auch Abb. 1, 3 und 4).

2. Fliehkraftabscheider (Zyklon).

Es wurden folgende Fliehkraftabscheider untersucht:
Walther-Fliehkraftabscheider, System ter Linden.
Hersteller: Walther & Cie., Köln-Dellbrück.

Wie aus Abb. 25 ersichtlich, bestand der Abscheider aus einem größeren, vertikalen Zyklon und zwei kleinen, parallel geschalteten

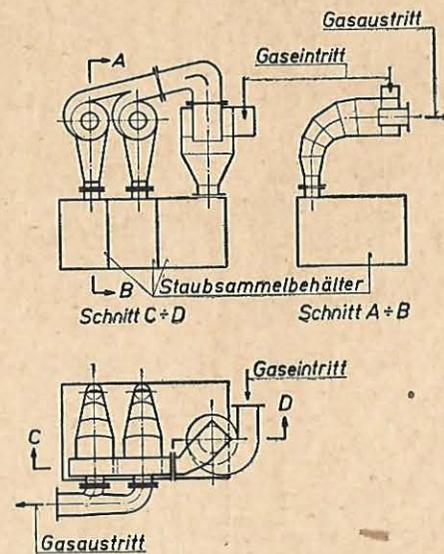


Abb. 25. Walther-Fliehkraftabscheider.

Horizontalzyklonen. Der erstere diente der Vorabscheidung und hatte vor allem die Aufgabe, einen stoßweisen, größeren Staubanfall, wie er bei Holzgaserzeugern von Zeit zu Zeit vorkommt, aufzunehmen. Die beiden parallel geschalteten kleineren Zyklone mit horizontaler Achse und gekrümmtem Auslaufkegel sollten der Nachreinigung dienen. Der aus Vor- und Nachreinigern ausgeschiedene Staub wurde in getrennten Kammern des Staubsammelbehälters aufgefangen.

Das Gas tritt beim Walther-Zyklon durch einen sich über 180° des Umfanges erstreckenden tangentialen Einlauf in den Zyklon ein. Das Innere des Abscheiders ist frei von Einbauten, und eine Verstopfung durch Staub oder Kohlestückchen kann nicht erfolgen. Die Formgebung des Zyklons ist so erfolgt, daß ein störungsfreier Abscheidewirbel sich bilden kann.

Wisco-Fliehkraftabscheider, System Prof. Dr.-Ing. Feifel.

Hersteller: Wisco-Fahrzeug-Gasgeneratoren Kom.-Ges., Berlin-Halensee.

Der Entstauber (s. Abb. 26 und 27) besteht aus 6 einzelnen parallel geschalteten Abscheidzellen, die in einem Gehäuse zu-

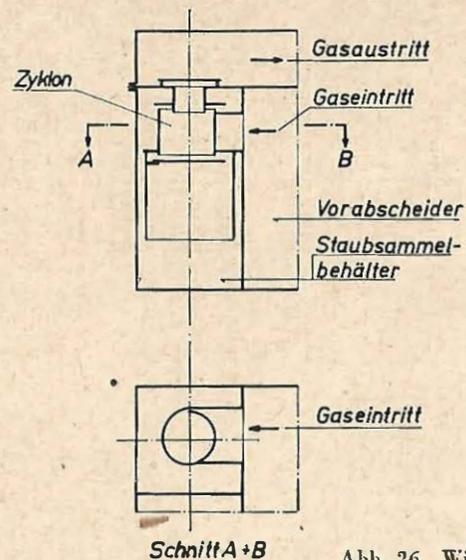


Abb. 26. Wisco-Fliehkraftabscheider.

ammengefaßt sind. Durch eine entsprechende Gasführung sollen alle 6 Zellen gleichmäßig belastet werden.

Bevor das zu reinigende Gas in die Zellen strömt, gelangt es durch einen als Vorabscheider dienenden Raum, in dem sich alle größeren Staubteile absetzen sollen. Die Staubsammelbehälter der einzelnen Zellen sind unten durch Schieber S abgeschlossen. Der oberhalb der Schieber S angesammelte Staub wird nach Herausziehen derselben (s. Abb. 27) bei geöffneter Tür entfernt.

Die Stauhabscheidung erfolgt in den einzelnen Zellen nach dem Fliehkraftprinzip in einer sog. Wirbelsenke, die durch Rotation der Gasströmung entsteht.

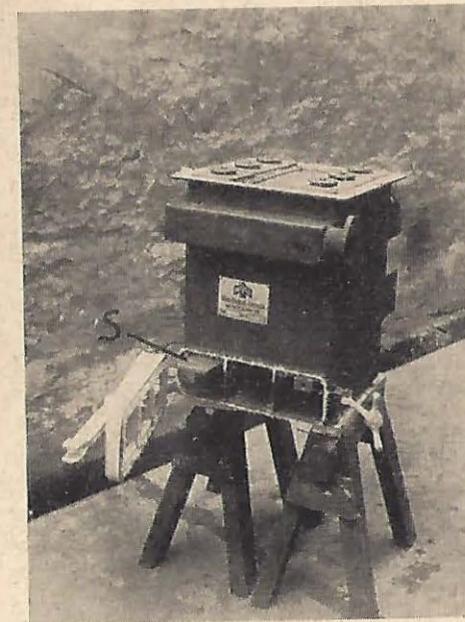


Abb. 27. Wisco-Fliehkraftabscheider mit abgenommener Gasabzugskammer.

Neumann-Fliehkraftabscheider.

Zur Verfügung gestellt vom Techn. Labor Neumann, Rollberg-Bernau b. Berlin.

Dieser Abscheider (s. Abb. 28) besteht nur aus einer Zelle. Sein besonderes Kennzeichen ist der bogenförmige Einlauf, der

sich im Innern des Zyklongehäuses über einen Winkel von 180° erstreckt. In diesem bogenförmigen Einlauf wird der Gasstrom allmählich breitgezogen, wodurch ein kurzer Staubabscheidungsweg zur Gehäusewand erzielt werden soll.

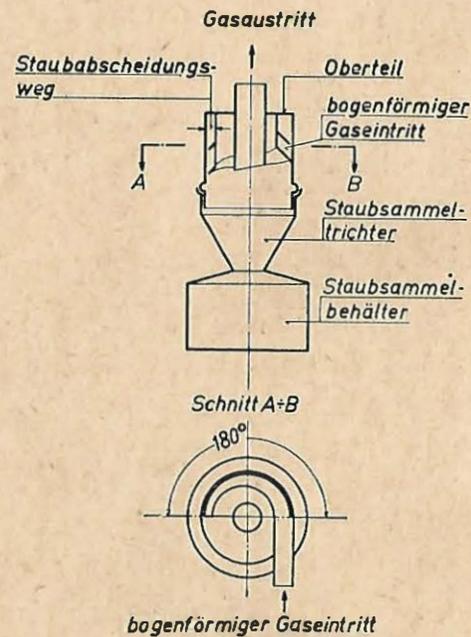


Abb. 28. Neumann-Fliehkraftabscheider.

Nach Lösen einiger Schnellverschlüsse kann der Staubsaammelbehälter vom Zyklongehäuse getrennt werden. Die inneren Entstauberwandungen werden dadurch zugänglich und können leicht gereinigt werden.

Ergebnis:

Bei der Prüfung der Fliehkraftabscheider wurde der Hansa-Schlepper-Generator als Staubgeber verwendet. Es handelt sich dabei um eine Gaserzeugerbauart, die sich bei Verwendung von Weichholz im Dauerbetrieb gut bewährt hat und die eine hohe Dauerbetriebfähigkeit aufweist. Das Gas wurde den einzelnen Zyklonen mit der von den Herstellern bei der Konstruktion zugrunde gelegten Temperatur bei Vollast zugeführt. Bei geringerer

Belastung ermäßigen sich dementsprechend die Temperaturen, wie es auch in der Praxis der Fall ist.

Abbildung 29 zeigt den bei der Untersuchung des Walther-Reinigers festgestellten Abscheidegrad in Abhängigkeit von der Belastung. Da der Rohgasstaubgehalt bei Benutzung des Generators als Staubgeber keine Gesetzmäßigkeit aufweist, geben die Kurven nur den ungefähren Streubereich des Abscheidegrades bei hohem und niedrigem Rohgasstaubgehalt an. Der jeweils festgestellte Rohgasstaubgehalt ist bei den einzelnen Meßpunkten in das Kurvenblatt eingetragen.

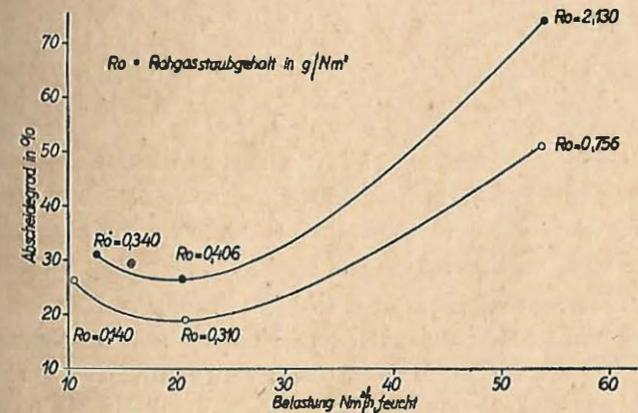


Abb. 29. Abscheidegrad des Walther-Zyklons bei Weichholzbetrieb.

Man sieht, daß bei einem geringen Rohgasstaubgehalt, der nahezu dem geringsten während der Versuche mit Weichholz festgestellten Wert entspricht, ein Abscheidegrad von rund 50% und einem hohen Rohgasstaubgehalt ein solcher von 70% bei Vollast erreicht wird. Im unteren Lastbereich geht der Wirkungsgrad infolge des geringen Rohgasstaubgehaltes und des voraussichtlich verringerten Anteiles an groben Bestandteilen im Staub erheblich, teilweise auf Werte unter 20% zurück.

Die von Leßnig (5) durchgeführten Untersuchungen von Fliehkraftabscheidern hatten bei Verwendung von fossilen Kraftstoffen erheblich bessere Abscheidegrade erbracht, wie z. B. aus der folgenden Zahlentafel, die dem Bericht von Leßnig entnommen ist, zu ersehen ist:

Vergasung von Anthrazit:

Versuchs- Nummer	Belastung des Motors	Rohgas- Staubgehalt g/Nm ³	Reingas- Staubgehalt g/Nm ³	Wirkungsgrad des Zyklons %
3	Vollast	7,270	0,3800	94,82
6	Vollast	7,084	0,3041	95,70
4	¾-Last	10,010	0,3554	96,44
5	½-Last	6,432	0,3276	94,90
1	Wechselnde Last (Voll-, ½-, ¾-Last)	10,352	0,4453	91,39
2	Wechselnde Last (¾- und Vollast)	13,858	0,9602	93,07
7	Wechselnde Last	13,648	0,6798	95,02

Auch die andere von Lessnig durchgeführte Untersuchung verschiedener Zyklone mit künstlich zugeführtem Braunkohlstaub aus einem Elektrofilter hatte bei z. T. gleichen Abscheidesystemen, wie in der vorliegenden Untersuchung, Abscheidegrade von über 90% ergeben.

Die Betrachtung des Abscheidegrades allein läßt im übrigen nicht den tatsächlichen praktischen Erfolg einer Reinigungsanlage in bezug auf die Säuberung des Gases von Staub bei verschiedenen Belastungsstufen erkennen. Allein maßgebend ist schließlich die Frage, welche Staubmengen bei verschiedenen Betriebsverhältnissen und Belastungsstufen mit einem Kubikmeter Gas in die nachgeschalteten Feinreiniger oder in den Motor gelangen.

Abbildung 30 gibt über diese Frage Auskunft. Hier wurde der Reingasstaubgehalt beim Neumann-, Walther- und Wisco-Zyklon in Abhängigkeit von der Belastung aufgetragen.

Um den Vergleich der einzelnen Systeme zu ermöglichen, wurden Mittelwerte aus den Untersuchungsergebnissen gebildet. Beim Walther-Reiniger stand je eine Meßreihe mit einem extrem niedrigen und einem extrem hohen Rohgasstaubgehalt zur Verfügung. Beim Wisco-Reiniger konnte der mittlere Reingasstaubgehalt aus 5 verschiedenen Versuchsreihen gebildet werden. Der dazugehörige Rohgasstaubgehalt ist bei diesem Reiniger nicht gemessen worden, da die erwähnten 5 Versuchsreihen zur Untersuchung verschiedener Öleiniger gedient hatten, wobei der Rein-

gasstaubgehalt des Zyklons als Rohgasstaubgehalt für den zu untersuchenden Öleiniger diente. Da nur gleichzeitig an 2 Stellen Teilströme entnommen werden konnten, war es nicht möglich, gleichzeitig den Rohgasstaubgehalt vor dem Zyklon festzustellen. Die Tatsache, daß der Rohgasstaubgehalt des Generators dauernden Schwankungen unterliegt und gleichzeitig 5 verschiedene Versuche zur Mittelwertbildung herangezogen worden sind, läßt jedoch die Berechtigung eines Vergleiches der beim Wisco-Reiniger gemessenen Reingasstaubgehalte mit den anderen Ergebnissen erkennen.

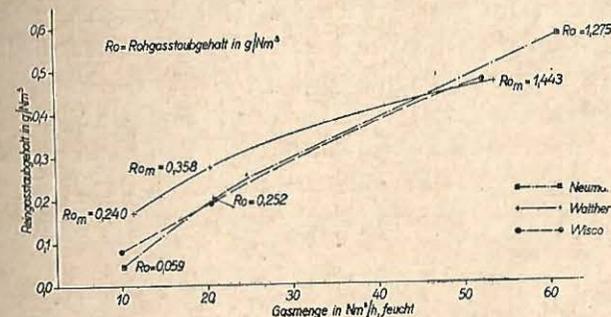


Abb. 30.

Vergleich der Fliehkraftabscheider; Reingasstaub abhängig von der Belastung.

Mit dem Neumann-Zyklon, der erst gegen Ende der Prüfung zur Verfügung gestellt worden war, konnte wegen der Kürze der Zeit nur eine Versuchsreihe durchgeführt werden. Da dieselbe bei Vollast einen angenähert mittleren Rohgasstaubgehalt ergab, ist es auch hier berechtigt, das Ergebnis mit dem der anderen Zyklone im Vergleich zu setzen.

Eine Betrachtung der Abbildung 30 ergibt, daß ein grundlegender Unterschied des Abscheideergebnisses zwischen den 3 Zyklonen nicht vorhanden ist. Die Kurven laufen angenähert gleich, und die vorhandenen Abweichungen können nicht durch Unterschiede des Abscheidegrades, sondern durch die Grenzen der Meßgenauigkeit und die verschiedene Größe des Rohgasstaubgehalts erklärt werden.

Auffallend ist, daß der Neumann-Einkammer-Zyklon nahezu das gleiche Ergebnis erbringt, wie die beiden Mehrfach-Zyklone. Man kann daraus den Schluß ziehen, daß der Abscheidungs-

keit von Holzgasstaub durch Zyclone gewisse Grenzen gesetzt sind, die auch nicht durch Unterteilung der Zyclone überbrückt werden können. Die Ursache hierfür dürfte in der Beschaffenheit des Holzgasstaubes selbst (s. Abschnitt I, 3) zu suchen sein.

In Abbildung 31 ist zum Vergleich eine Paralleldarstellung der Untersuchungsergebnisse von Leßnig mit dem Zyclon M bei Verwendung von Staub aus einem Elektrofilter gebracht. Diese Untersuchung unterscheidet sich zunächst von der vorliegenden dadurch, daß der Rohgasstaubgehalt infolge der künstlichen Zugabe für alle Laststufen konstant gehalten wurde. Wird dagegen der Generator als Staubgeber benutzt, so wird stets bei Vollast der größere Rohstaubgehalt auftreten, da die größere Gasmenge infolge höherer Strömungsgeschwindigkeit im Generator ein Mitreißen größerer Staubmengen verursacht. Schließlich ergibt sich im Generator selbst bei Vollast infolge des Zerfalls der Holzkohle durch die höheren Temperaturen eine größere Staubmenge als bei geringerer Belastung.

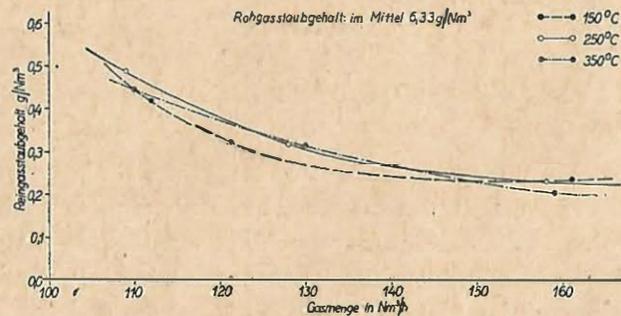


Abb. 31. Leßnig: Reingasstaubgehalt bei dem Flichkraftabscheider M (Staub aus Elektrofilter; künstliche Zugabe in erhitzter Luft).

Vergleicht man die Versuche von Leßnig bei Vollast mit den vorliegenden, so zeigt sich beim Reiniger M ein Reingasstaubgehalt von rund $0,2 \text{ g/Nm}^3$, gegenüber einem solchen von rund $0,475 \text{ g/Nm}^3$ bei Weichholzbetrieb. Der Zyclon verhält sich also bei Staub von fossilen Kraftstoffen selbst bei feinsten Körnung günstiger als bei Weichholzbetrieb. Die Ursache liegt in der für eine Flichkraftabscheidung voraussichtlich günstigeren Struktur des Staubes von fossilen Kraftstoffen, die auch aus einem Vergleich der Schüttgewichte entnommen werden kann. Der von Leßnig verwendete

Staub hatte ein Schüttgewicht von $0,56 \text{ g/cm}^3$, während das des vorliegenden Holzgasstaubes, wie in I, 3 erwähnt, zu $0,16$ bis $0,18 \text{ g/cm}^3$, also weniger als einem Drittel, festgestellt wurde.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Zyclone verschiedener Bauart bei der vorliegenden Untersuchung ähnliche Abscheidergebnisse erbracht haben. Der erzielte Reingasstaubgehalt bei Vollast von rund $0,475 \text{ g/Nm}^3$ erfordert unbedingt die Nachschaltung eines geeigneten Feinreinigers. Vielleicht ist es möglich, durch spezielles Studium der Ausscheidebedingungen für Holzgasstaub und durch noch bessere strömungstechnische Durchbildung im Rahmen der weiteren Entwicklung den Abscheidegrad der Zyclone zu steigern.

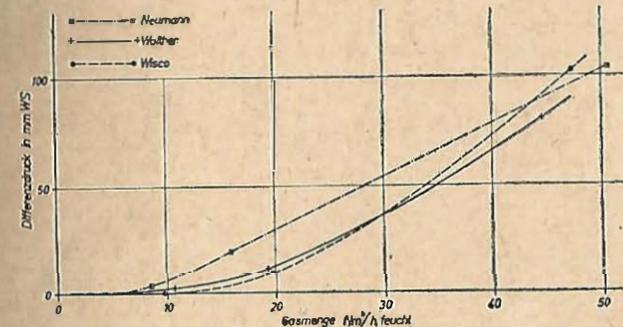


Abb. 32. Druckverlust der geprüften Flichkraftabscheider abhängig von der Belastung.

Von Interesse ist noch der Strömungswiderstand, den die einzelnen Flichkraftabscheider ergeben (s. Abb. 32). Der Vollast-Druckverlust der einzelnen Reiniger zeigt keine erheblichen Unterschiede. Er liegt jedoch teilweise höher als bei den Versuchen von Leßnig. Ein Zeichen dafür, daß bei der Dimensionierung der Zyclone in Anbetracht des geringen scheinbaren spezifischen Gewichtes des Holzgasstaubes schon von vornherein höhere Strömungsgeschwindigkeiten zugrunde gelegt worden sind. Immerhin kann ein Widerstand bis zu 100 mm WS noch als erträglich bezeichnet werden, mit Rücksicht auf die wichtige Aufgabe, die der Flichkraftabscheider durch Ausscheidung des größten Teiles des im Gas enthaltenen Staubes erfüllen muß. Es dürfte besser sein, an anderen weniger wichtigen Stellen der Gas erzeugeranlage durch richtige strömungstechnische Ausbildung Widerstand zu sparen.

3. Die Imbert-Kühlerreinigung.

Hersteller: Imbert-Generatoren-Ges., Köln.

Der Aufbau der Reinigungsanlage ist aus Abb. 33 zu ersehen. Die Staubabscheidung soll folgendermaßen vor sich gehen: Das Gas gelangt zunächst in den Absitzbehälter a, in welchem es durch Blecheinsätze b dreimal umgelenkt wird. Da dieser Absitzbehälter bis etwa zu einem Drittel seiner Höhe während des Betriebes mit Wasser gefüllt sein soll, wird das Gas durch die Umlenkleche b gezwungen, mit dem Wasser in Berührung zu treten. Hierdurch wird ein Teil des Staubes abgeschieden.

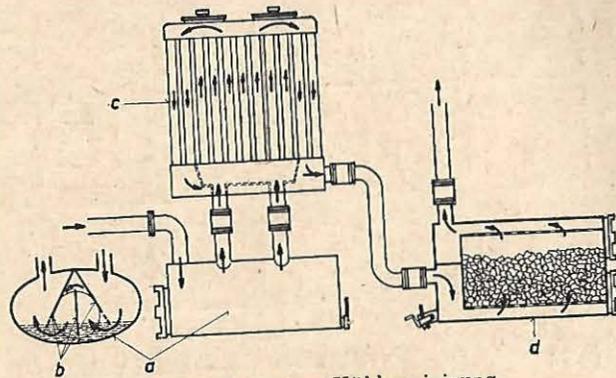


Abb. 33. Imbert-Kühlerreinigung.

Das in dem großräumigen Absitzbehälter vorgekühlte Gas gelangt dann in den darüberliegenden Kühler c, der vom Motor-kühlwind bestrichen wird, und wird dort bis unter den Taupunkt abgekühlt. Das während der Kondensation im Gas feinverteilte Wasser soll den Staub binden und ihn beim Herabfließen mit in den Absitzbehälter führen.

Da das Gas in den Absitzbehälter mit hoher Temperatur eintritt, wird fortlaufend ein Teil des darin befindlichen Wassers verdampft, mitgeführt und im Kühler wieder ausgeschieden. Dieser Kondensatkreislauf soll insbesondere die erwähnte Auswaschung des Staubes aus dem Gas bewirken.

Nach dem Gaskühler durchströmt das Gas den Behälter d, in dem sich eine Filterschicht aus Korksrot befindet. Hier wird

weiteres Kondenswasser im Rahmen der fortschreitenden Kühlung ausgeschieden, das den Kork benetzt und eine zusätzliche Reinigungswirkung herbeiführen soll.

In Abbildung 34 ist das Ergebnis der Untersuchung dieser Reinigungsanlage enthalten. In der Darstellung sind Mittelwerte verschiedener Untersuchungen angegeben. Wie ersichtlich, scheidet die Reinigungsanlage bei Vollast 82% des Staubes ab, während mit abnehmender Belastung der Wirkungsgrad sehr stark abfällt, um bei rund 20 Nm³/h nur noch 12% zu betragen.

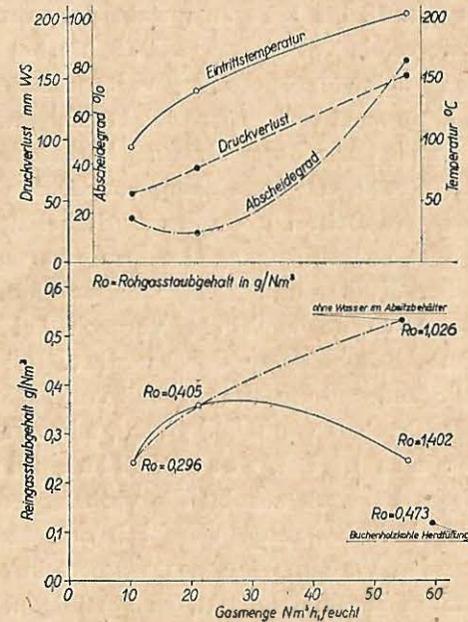


Abb. 34. Imbert-Kühlerreinigung; Reingasstaubgehalt, Abscheidegrad, Druckverlust, Gaseintrittstemperatur abhängig von der Belastung.

Bei Schwachlast verbleiben noch rund 0,240 g Staub im Nm³ Gas. Anschließend steigt der Reingasstaubgehalt mit zunehmender Belastung, um auffälligerweise bei voller Belastung wieder auf den bei Schwachlast vorhandenen Staubgehalt zurückzugehen. Dieser Verlauf der Abscheidung kann durch die Wirkungsweise der Kühlerreinigung erklärt werden. Bei geringerer Belastung sind die Gasaustrittstemperaturen am Generator und damit die Eintritts-

temperaturen am Reiniger niedriger (s. Abb. 34), und das im Absitzbehälter befindliche Wasser wird nicht mehr in solchem Maße verdampft, daß der Reinigungskreislauf zwischen Kühler und Absitzbehälter aufrechterhalten wird.

Im übrigen zeigte es sich bei diesen Versuchen, daß bei einem Holz von 12 bis 15% Feuchtigkeit der Wasserdampfgehalt des Gases zu gering ist, um einen genügenden Wasservorrat im Absitzbehälter zu bewirken. Obwohl das Kühlgefälle am Prüfstand dem der Praxis angepaßt war, konnten bei dieser Holzfeuchtigkeit erst im Nachreiniger geringe Kondensatmengen festgestellt werden. Die Holzfeuchtigkeit von 12 bis 15% entspricht der normalerweise im Sommer bei Kiefernholz vorhandenen. Daß hierbei bei normalen Kühlverhältnissen keine größeren Kondensatmengen erwartet werden können, kann auch rechnerisch leicht nachgewiesen werden. Um jedoch den Effekt der Kühlerreinigung herbeizuführen, wurde, wie auch vom Hersteller vorgeschrieben, vor Beginn des Versuchs Wasser bis etwa in ein Drittel Höhe des Absitzbehälters cingefüllt. Dieses Wasser sollte zur Erzeugung des Dampfes und Kondensatkreislaufes zwischen Kühler und Absitzbehälter dienen.

Zum Vergleich wurde auch ein Versuch bei Vollast ohne Wasserfüllung im Absitzbehälter durchgeführt. Bei einem unter dem Mittelwert liegenden Rohgasstaubgehalt von $1,026 \text{ g/Nm}^3$ ergab sich ein Reingasstaubgehalt von $0,535 \text{ g/Nm}^3$, also ein erheblich höherer als bei Wasserfüllung im Absitzbehälter. Dieses Ergebnis scheint die vorherige Annahme, daß das Absinken des Reingasstaubgehaltes mit steigender Belastung mit der zunehmenden Verdampfung des Wassers infolge der höheren Gastemperaturen zusammenhängt, zu bestätigen. Wie aus Abbildung 34 ersichtlich, läßt sich der zunächst ansteigende Ast der Reingasstaubgehaltskurve erwartungsgemäß bis zu dem hochliegenden Vollastpunkt (ohne Wasser im Absitzbehälter) fortsetzen.

Es konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht geklärt werden, ob das bei Wasserfüllung im Absitzbehälter festgestellte bessere Abscheideergebnis bei Vollast allein auf den Kondensatkreislauf oder zum Teil auch auf die bei größerer Gasmenge sicherlich vorhandene bessere Durchmischung des Gases mit dem Wasser, infolge der durch die Bleche b (Abb. 33) erzwungenen Gasströmung, zurückzuführen ist.

Tatsache bleibt, daß zur Erzielung eines geringen Reingasstaubgehaltes Wasser im Absitzbehälter vorhanden sein muß. Es ist allerdings darin eine gewisse Schwäche dieses Reinigungssystems im Hinblick auf den praktischen Betrieb zu erblicken, denn die Wassermenge, die aus dem Gas sich abscheidet, ist je nach Feuchtigkeitsgehalt des Holzes, je nach Außentemperatur und je nach Belastung verschieden. Solange genügend Wasser aus dem Gas anfällt, geht die Funktion des Reinigers in Ordnung. Bei trockenem Holz und höherer Außentemperatur ist jedoch eine entsprechende Aufmerksamkeit des Fahrers erforderlich, um den benötigten Wasservorrat stets sicherzustellen. Dies hat z. B. schon dazu geführt, daß von Praktikern der Standpunkt vertreten worden ist, bei Verwendung des Imbert-Generators würde eine Holzfeuchtigkeit von über 25% eine bessere Leistung ergeben als trockenes Holz (20). Dies ist natürlich ein Irrtum, denn die Leistung eines mit Holzgas betriebenen Motors nimmt, wie längst nachgewiesen (21), vom Gemischheizwert aus gesehen, mit abnehmender Holzfeuchtigkeit zu. Da jedoch bei trockenem Holz der Wasseranfall im Absitzbehälter der Imbert-Anlage zurückgeht, kann, falls nicht rechtzeitig von außen Wasser zugegeben worden ist, infolge der mangelhaften Stauhabscheidung ein Zusetzen des Gaskühlers und besonders auch der Korksicht des Nachreinigers mit Staub erfolgen. Dies führt zu einer erheblichen Erhöhung des Strömungswiderstandes in diesen Teilen und damit zu einer geringeren Motorleistung (abgesehen von der Gefährdung des Motors durch zu hohen Staubgehalt).

Im übrigen zeigt die Reingasstaubgehaltskurve der Abb. 34 mit der von List für Fichtenholz festgestellten (s. Abb. 5) eine gewisse Ähnlichkeit, wenn auch die absoluten Werte höher liegen. List hält den von ihm gemessenen Staubgehalt zwar für hoch, jedoch noch für den praktischen Betrieb erträglich.

Die in Abschnitt I, 2 erwähnten günstigen Ergebnisse der „Versuchsfahrt für heimische Treibstoffe 1935“ mit diesem Reinigungssystem scheinen zunächst in keinem Zusammenhang mit dem hier festgestellten verhältnismäßig hohen Reingasstaubgehalt zu stehen. Es wurde dort jedoch erwähnt, daß nur Buchenholz bzw. solches mit geringer Weichholzbeimischung verwendet worden ist und daher ein erheblich geringerer Reingasstaubgehalt wegen des

überwiegenden Buchenholzanteiles angenommen werden kann. Dies ist ebenfalls aus den Versuchen von List (s. Abb. 5) zu entnehmen, bei dem sich bei Buchenholz ein Reingasstaubgehalt von rund $0,120 \text{ g/Nm}^3$ bei Vollast ergab. Auch bei der vorliegenden Untersuchung wurde, wie schon erwähnt, eine Messung durchgeführt, bei der zwar kein Buchenholz, aber eine neue Vergasungsherdfüllung aus Buchen-Retorten-Holzkohle verwendet wurde, während das zur Vergasung benutzte Holz wieder aus Kiefernreischnüppeln bestand. Bei diesem Versuch ergab sich sofort ein erheblich geringerer Rohgasstaubgehalt von $0,473 \text{ g/Nm}^3$ und ein Reingasstaubgehalt von $0,120 \text{ g/Nm}^3$ (s. Abb. 34). Letzterer deckt sich unmittelbar mit dem von List bei Buchenholz gemessenen Reingasstaubgehalt bei Vollast.

Man kann also den Schluß ziehen, daß die Imbert-Kühlerreinigung für Buchenholz durchaus brauchbar ist, während sie bei Kiefernholz bzw. bei Weichholz allgemein einen höheren Reingasstaubgehalt, insbesondere bei mittlerer Belastung, aufweist.

Im oberen Teil der Abbildung 34 sind die bei den Versuchen vorhandenen mittleren Gastemperaturen am Eintritt des Absitzbehälters sowie der Druckverlust der gesamten Reinigungsanlage abhängig von der Belastung aufgetragen. Der Druckverlust ist als sehr niedrig zu bezeichnen, zweifellos ein Vorteil dieses Reinigungssystems.

Wenn die Staubabscheidung im wesentlichen vom Kondensatorkreislauf, also von der Menge des im Absitzbehälter dauernd verdampfenden Wassers, abhängt, so kann man annehmen, daß im Winter eine geringere Reinigungswirkung eintreten wird, weil sich infolge der niedrigen Außentemperaturen das Gas bereits auf dem Wege vom Generator zum Absitzbehälter abkühlt. Es wäre vielleicht zweckmäßig, im Winter die Gasleitung zwischen Generator und Absitzbehälter zu isolieren, um auf alle Fälle zu jeder Jahreszeit und auch bei jeder Belastung die für die Wasserverdampfung im Absitzbehälter notwendige Gastemperatur zu sichern.

4. Öltreiniger.

In dem Bestreben, einen möglichst hohen Reinigungsgrad des Gases zu erhalten, hat man verschiedentlich auch Öltreiniger bei

Fahrzeuggaserzeugern zur Feinreinigung verwendet. Man ging dabei von der Tatsache aus, daß man staubhaltige Luft, z. B. die Verbrennungsluft von Fahrzeugmotoren oder die von Kompressoren angesaugte Luft, mit Erfolg mittels Ölbadfilter reinigt. Ein bekanntes Anwendungsbeispiel sind die landwirtschaftlichen Gasölschlepper, die fast ausnahmslos mit Ölfiltern ausgerüstet sind. Der Entstaubungsgrad solcher Filter ist hoch und beträgt in den meisten Fällen über 90%. Da dem Schlepperfahrer die Bedienung solcher Filter bekannt ist, lag es nahe, Öltreiniger auch zur Feinreinigung des Gases beim landwirtschaftlichen Gasschlepper zu benutzen.

Man hat dabei frühere Wasserreiniger in Öltreiniger umgewandelt, teilweise auch neue Apparate entwickelt, oder auf handelsübliche Ansaugluftfilter der Kraftfahrzeug-Zubehör-Industrie zurückgegriffen. Solche Reiniger bieten den Vorteil, daß sie selbst und außerdem die noch nachgeschalteten Teile bzw. Leitungen der Gasanlage bis zum Motor gegen Korrosion durch den sich bildenden Ölfilm weitgehend geschützt sind. Der Nachteil, daß durch Emulsion von Kondenswasser aus dem Gas eine Ölverdickung eintritt, kann durch richtige Wahl des Temperaturgefälles praktisch genügend beseitigt werden.

Die Öltreiniger werden im übrigen nicht mit Frischöl, sondern mit dem beim Ölwechsel aus dem Motor abgelassenen Altöl beschickt. Es hat sich in der Praxis gezeigt, daß der Altölanfall des Motors ausreicht, um den Ölbedarf eines Gasreinigers zu decken.

Es wurden folgende Öltreiniger geprüft:

Hansa-Düsen-Gaswäscher. — 1 — (Hersteller: Hansa-Gas-Generatoren-Ges., Berlin-Charlottenburg.) (Abb. 35.)

Der Reiniger ist mit zwei Düseneinsätzen, die im rechten Winkel zueinander stehen, ausgerüstet. Das Gas gelangt zunächst in den Verteilungsraum a und von hier in unterteilten Mengen in die schlitzartigen Längsdüsen b. Die Längsdüsen tauchen etwa 10 mm tief in das Waschöl ein. Die mittels der Düsen in einzelne sehr flache Längsschichten aufgeteilte Gasmenge gelangt mit erhöhter Strömungsgeschwindigkeit in das Öl, vermischt sich intensiv mit demselben, kehrt in der Flüssigkeit um 180° um und strömt durch das als ölbenetzte Prallfläche wirkende gelochte Blech c in die Kammern d, aus denen sie abgesaugt wird. Der zuerst durch-

strömte Düsenkasten besitzt größere Düsen und wirkt als Vorreiniger, der zweite Düsenkasten durch seine engen Düsen als Feinreiniger. Die Düsenkästen stehen zueinander im rechten Winkel, um bei Schräglage des Fahrzeugs stets das Eintauchen eines der Düsenkästen in das Waschöl zu gewährleisten. Der Öl-inhalt beträgt 15 l.

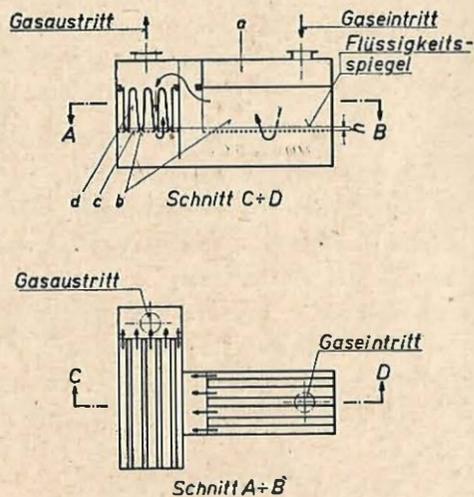


Abb. 35. Hansa-Düsenwascher.

Hansa-Ölreiniger, vereinfachte Bauart. — 2 —
(Hersteller: Hansa-Gas-Generatoren-Ges., Berlin-Charlottenburg.)
(Abb. 36.)

Da der Düsenreiniger nach Abbildung 35 sich wegen seiner sperrigen Form nicht ohne weiteres in Fahrzeuge mit beschränktem Raum unterbringen läßt, wurde von der Hansa noch ein zweiter Ölreiniger einfacherer Bauart entwickelt. Das Gas gelangt von unten in einen Verteiler a und wird durch eine Anzahl radial an das Verteilerrohr angesetzter Kammern b unter wesentlicher Verringerung seiner Geschwindigkeit den Siebblech-Segmenten c gleichmäßig von allen Seiten zugeführt. Diese Siebblech-Segmente tauchen knapp in das Waschöl ein. Beim Durchtritt des Gases, welcher infolge der Verteilerkammern b gleichmäßig über die gesamte Siebfläche erfolgt, wird Öl mitgerissen. Das Gas- und

Ölgemisch gelangt dann in eine Schicht weiterer Bleche d, die teils mit Schlitzen und teils mit runden Lochungen versehen und auf das Verteilerrohr aufgesteckt sind. Hier wird das mitgerissene Öl wieder abgeschieden und fließt am Rande des Behälters in den Vorrat zurück.

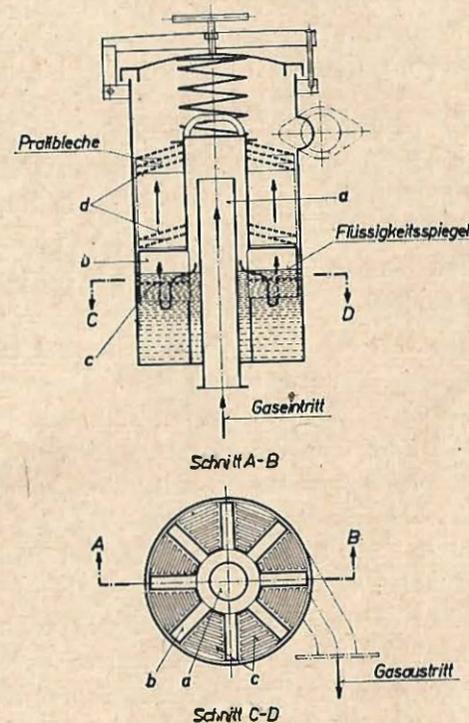


Abb. 36. Hansa-Ölreiniger.

Die Reinigungswirkung beruht darauf, daß das Gas durch die Siebblechlochung in einzelne Gasfäden aufgeteilt wird, die sich zum Teil beim Durchgang durch die Lochungen der Siebblechsegmente und teilweise beim Aufprallen auf die oberen Siebbleche mit dem Waschöl vermengen.

Mahle-Wirbel-Ölfilter, Type LO 24 S/20. (Hersteller: Mahle Kom.-Ges., Stuttgart.)

Es handelt sich dabei um ein normales Mahle-Wirbel-Ölfilter bekannter Ausführung, so daß sich eine Beschreibung desselben

an dieser Stelle erübrigt. Lediglich der Filtereinsatz war besonders behandelt worden, um Korrosionseinflüsse durch das Generatorgas auszuschalten.

Delbag-Ölfilter G-VB. (Hersteller: Deutsche Luftfilter-Baugesellschaft, Berlin-Halensee.)

Auch hier handelt es sich um ein Ölfilter, welches in ähnlicher Bauart als Ansaugluftfilter bei Kraftfahrzeugen bekannt ist.

Bei der Überprüfung dieser Reiniger wurde der Hansa-Schlepper-Holzgaszerzeuger als Staubgeber benutzt und der Wisco-Zyklon, Bauart Feifel, als Vorreiniger vorgeschaltet. Der für den Ölreiniger vorhandene Rohgasstaubgehalt ist also identisch mit dem Reingasstaubgehalt des Wisco-Zyklons. Die Ergebnisse sind in Abbildung 37 enthalten.

Durch die bereits erfolgte Vorreinigung zeigte der Rohgasstaubgehalt bei den Ölfiltern nur geringe Unterschiede. Daher können die einzelnen Ergebnisse gut miteinander verglichen werden. Bei Vollast ergeben die Reiniger einen deutlich voneinander verschiedenen Reingasstaubgehalt. Den günstigsten Wert erreicht der Hansa-Düsen-Gaswäscher 1 mit $0,182 \text{ g/Nm}^3$. Es folgt der Hansa-Ölreiniger 2 mit $0,248 \text{ g/Nm}^3$, während die beiden serienmäßigen Ansaugluftfilter ein ungünstiges Ergebnis erbrachten. Hieraus lassen sich selbstverständlich keinerlei Schlüsse hinsichtlich der Brauchbarkeit dieser Ansaugluftfilter für andere Zwecke, insbesondere für die ihrer eigentlichen Bestimmung, ziehen. Es sollte durch diese Prüfung nur einmal festgestellt werden, ob solche serienmäßigen Filter unverändert für Holzgas benutzt werden können. Es zeigte sich, daß die für Generatorgas speziell entwickelten Ölreiniger eine erheblich stärkere Staubbindung bewirken, insbesondere der Düsenreiniger scheint eine innige Berührung der einzelnen Teilchen mit dem Waschöl, besonders bei großem Gasdurchgang, herbeizuführen, und der Reingasstaubgehalt bleibt auch mit zunehmender Gasmenge nahezu konstant. Im niedrigen Lastbereich zeigen alle Reiniger annähernd gleiche Ergebnisse.

Vergleicht man den Abscheidegrad mit dem bei der Reinigung von staubhaltiger Luft bekannten, so ist das Ergebnis bei Holzgasstaub sehr mäßig. Wenn auch ein Staubgehalt im Reingas von

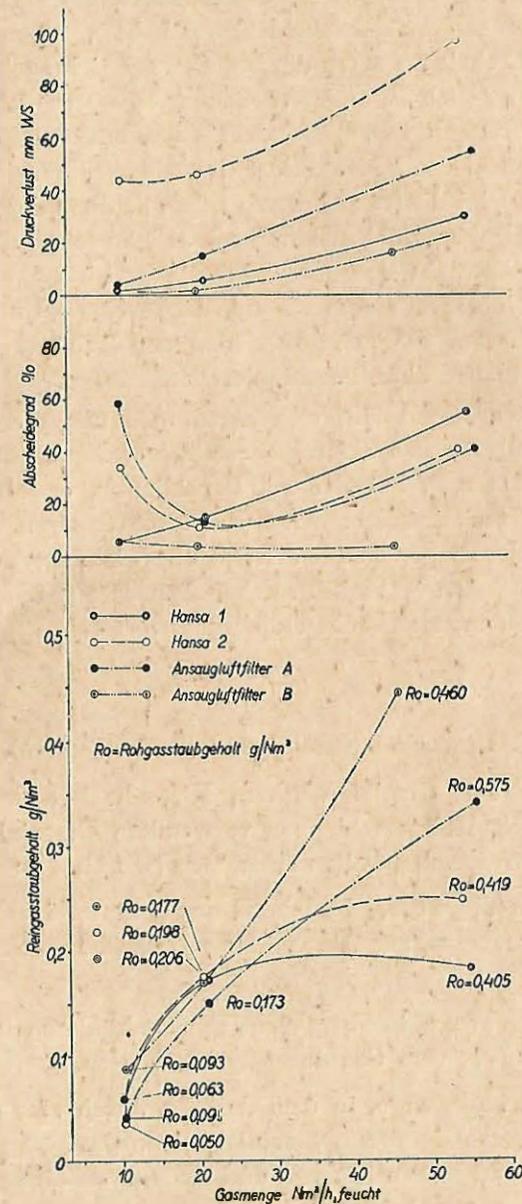


Abb. 37. Untersuchungsergebnisse bei den Ölreinigern.

0,2 g/Nm³ nach dem jetzigen Stand der Technik noch tragbar ist, so hätte man in Anbetracht des Aufwandes bei einem Ölreiniger doch einen besseren Abscheidungsgrad bzw. einen niedrigeren Reingasstaubgehalt erwarten dürfen. Es zeigt sich auch hier wieder, daß es im Vergleich zu anderen Staubarten wesentlich schwieriger ist, Weichholzstaub in genügender Weise aus dem Generatorgas auszuschcheiden. Der Druckverlust ist am größten beim Hansa-Ölreiniger 2. Dies dürfte auf die zu engen Schlitze der verwendeten Ölabscheidebleche zurückzuführen sein. Einen sehr geringen Unterdruck in Anbetracht der guten Abscheidewirkung weist dagegen der Düsenreiniger 1 auf, während der geringe Unterdruck des Ölfilters B darauf schließen läßt, daß der Reiniger für die vorliegende Gasmenge überdimensioniert ist.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß mit speziellen Generatorgasölreinigern sich ein tragbarer Reingasstaubgehalt, der günstiger liegt als z. B. bei der Kühlerreinigung, erzielen läßt. Die Verwendung serienmäßiger Ansaugluftfilter dagegen dürfte nicht nur wegen der ungenügenden Reinigungswirkung, sondern auch wegen der geringen Kapazität solcher Apparate gegenüber den anfallenden Staubmengen nicht empfehlenswert sein.

5. Die Gustloff-Reinigung (Bauart Zeuch).

Die von den Gustloff-Werken, Hirtenberg-Niederdonau, bei einem Versuchs-Holzgasschlepper verwendete Gasreinigungsanlage setzt sich aus folgenden Teilen zusammen (s. Abb. 38):

Vorreiniger a, bestehend aus 2 hintereinander geschalteten Staubkammern, zur Abscheidung des gröbereren Staubes durch Beruhigung.

Gaskühler b, in Form eines Taschenkühlers mit 5 Taschen, die hintereinander vom Gas durchströmt werden.

Feinreiniger c, in dem das Gas durch eine großflächige Filterpackung aus Glaswolle gereinigt wird. Das Gas gelangt vom Kühler kommend in den Raum d und strömt von hier mit geringer Geschwindigkeit durch die den Sammelraum e umgebende Glaswolle f. Im Reinigerbehälter ist beiderseits der Filterpackung je

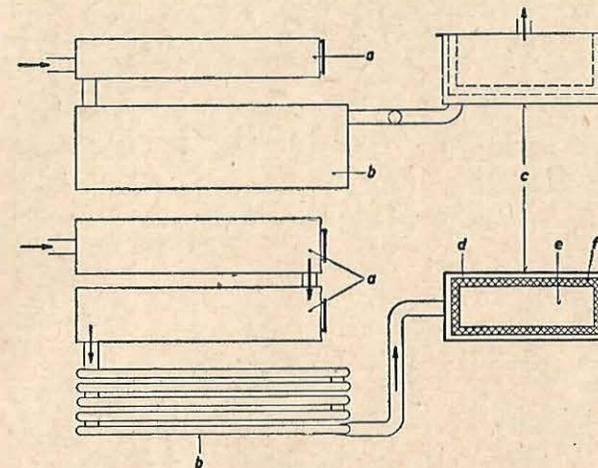


Abb. 38. Gustloff-Generator, Reinigungsanlage.

ein Siebrohr angeordnet, welches von außen nach bestimmten Betriebsperioden mit Druckwasser beschickt werden kann. Wie aus der Abbildung 39 ersichtlich, wird die Filterpackung durch die aus den Siebrohren tretenden Wasserstrahlen abgespült. Das im Feinreiniger anfallende Kondenswasser läuft durch Gefälle in den Gaskühler zurück, aus dem es von Zeit zu Zeit abgelassen wird. Im



Abb. 39. Gustloff-Glaswollefilter, Waschorrichtung für Filterpackung.

Gegensatz zur Imbert-Kühlerreinigung findet beim vorliegenden System kein Kondensatkreislauf zwischen Gaskühler und Vorreiniger statt.

Die Prüfung der gesamten Anlage führte nach einer vorhergehenden Betriebszeit des Generators ohne Erneuerung der Herdfüllung von 52 Stunden zu dem in Kurve I der Abb. 40 dargestellten Ergebnis. Vorreiniger, Gaskühler sowie die Glaswollepackung

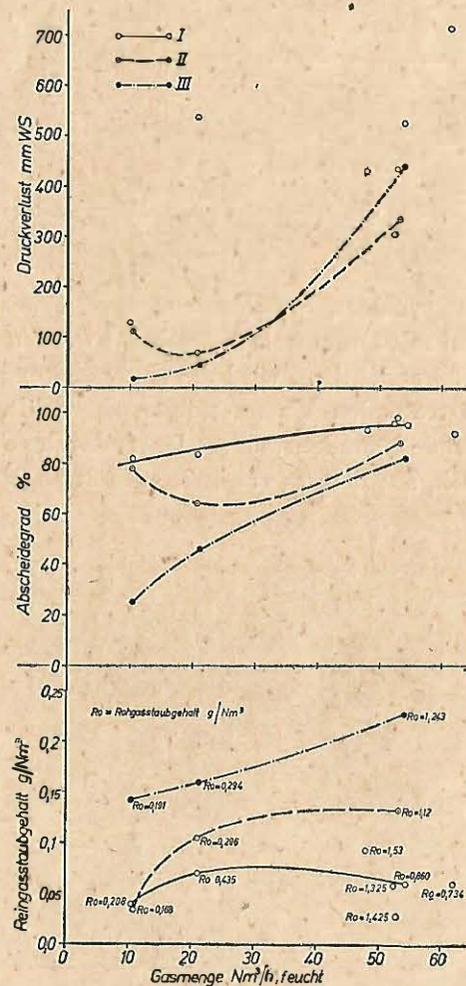


Abb. 40. Untersuchungsergebnisse bei der Gaskühler-Reinigung.

des Feinreinigers hatten dabei ebenfalls eine Betriebszeit von 52 Stunden ohne Säuberung hinter sich. Die Abscheidewirkung ist sehr gut, und der Reingasstaubgehalt beträgt im Mittel bei Vollast nur $0,061 \text{ g}/\text{Nm}^3$. Der Abscheidegrad erreicht den hohen Wert von 94% im Mittel bei Vollast und geht mit sinkender Belastung auf rund 80% zurück. Eine Reihe von Vollastmessungen bei verschiedenem Rohgasstaubgehalt erhärten dieses Ergebnis. Wie aus Abb. 40 hervorgeht, zeigt sich auch bei hohem Rohgasstaubgehalt ein sehr günstiger Reingasstaubgehalt, und man kann sagen, daß im Gegensatz zu anderen Systemen hier der Reingasstaubgehalt unabhängig von der Höhe des Rohgasstaubgehaltes bleibt.

Es trat nun die Frage auf, auf welche Reinigerteile dieses günstige Ergebnis zurückzuführen ist. Zu diesem Zwecke wurde eine Messung der Reinigungswirkung des Vorreinigers einschließlich Gaskühler durchgeführt. Das Ergebnis ist in Abbildung 41 enthalten. Es zeigt sich, daß die Reinigungswirkung dieser beiden Apparate nicht besonders gut ist. Denn es wird bei Vollast nur ein Reingasstaubgehalt von rund $0,8 \text{ g}/\text{Nm}^3$ erreicht, bei einem Rohgasstaubgehalt, der nur wenig höher ist als einzelne Werte der Kurve I in Abbildung 40. Man kann daraus schließen, daß die gute Staubabscheidung des gesamten Systems im wesentlichen dem Feinreiniger mit Glaswollepackung zu verdanken ist. Das dichte Gefüge der Glaswolle verhält sich ähnlich wie ein Tuchfilter und ergibt nur sehr feinporige Durchlässe für den Gasstrom.

Um das Verhalten des Reinigers mit Glaswollepackung nach längerer Betriebszeit festzustellen, wurde die Gesamtanlage auf dem Schlepper während 327 Stunden nach der ersten Messung in Betrieb genommen und dann wieder überprüft. Bemerkenswert sei, daß während dieser Betriebsperiode nach 92 Stunden und 120 Stunden mittels der Waschvorrichtung (Abb. 39) die Glaswolle abgespült wurde. Die letzte Abspülung war also 115 Betr.-Std. vor der Messung erfolgt. Das Ergebnis geht aus Kurve II der Abb. 40 hervor. Trotz der verhältnismäßig langen Betriebszeit der Glaswollepackung und in Anbetracht des geringen Bedienungsaufwandes während dieser

Zeit ist die Reinigungswirkung noch recht gut. Der Reingasstaubgehalt beträgt bei Vollast 0,130 g/Nm³ und fällt mit kleiner werdender Belastung.

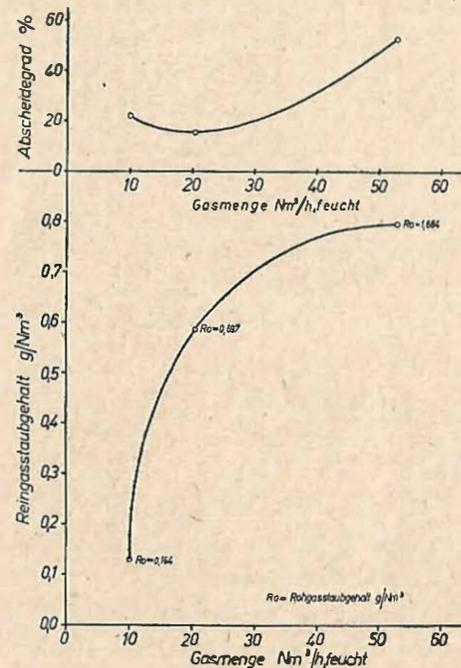


Abb. 41. Untersuchung der Gustloff-Staubkammer einschl. Taschenkühler.

Von Interesse war weiter die Reinigungswirkung unmittelbar nach Abspülung der Glaswollepackung mittels der eingebauten Vorrichtung. Das Ergebnis ist aus Kurve III der Abbildung 40 zu entnehmen und ist überraschenderweise ungünstiger als das bei ungereinigter Anlage. Der Reingasstaubgehalt betrug bei Vollast 0,228 g/Nm³, also nicht unerheblich mehr als vor der Säuberung. Man kann annehmen, daß die Spülwirkung der beiden Sprengrohre zu gering ist und nur eine äußerliche Entfernung des Staubes aus der Glaswolle herbeigeführt und, wie auch aus späteren Beobachtungen geschlossen werden kann, die weiter innen liegenden Schichten durch das Wasser zugeschlammmt werden. Es bilden sich infolge dieser Verschlammung örtliche Strömungskanäle, die eine verminderte Reinigungswirkung zur Folge haben. Es war im

Rahmen dieser Untersuchungen nicht möglich, diese Erscheinungen restlos zu klären, doch ist anzunehmen, daß das Glaswollefilter im trockenen Zustand einen besseren Reinigungsgrad aufweist als im feuchten.

Als nachteilig hat sich bei diesem Reinigungssystem nur der verhältnismäßig hohe und ungleichmäßige Druckverlust gezeigt. Wie aus der Abbildung 40 ersichtlich ist, lassen die Werte keine Gesetzmäßigkeit erkennen. Während des Versuches zeigte sich jeweils ein stetiger Anstieg des Differenzdruckes. Wurde die Anlage für kurze Zeit abgeschaltet, so zeigte sich bei Wiederinbetriebnahme ohne eine äußere Beeinflussung wieder der Anfangswert des Widerstandes. Anschließend stieg er dann im Laufe der weiteren Belastungszeit stetig an.

Es wird vermutet, daß durch die gleichmäßige Dauerbelastung während des Versuches die in sich elastische Glaswolle gegen den inneren Korb h (s. Abb. 38) gesaugt wird, sich auf diese Weise verdichtet und zusammen mit dem abgeschiedenen Staub ein dichtes Polster mit zunehmendem Strömungswiderstand bildet. Bei Entlastung geht die elastische Glaswollepackung dann wieder in ihre alte Lage zurück, wodurch der Strömungswiderstand zunächst wieder auf den alten Wert sich einstellt. Das am Filter sich niederschlagende Kondenswasser wird dieses Verdichten der Filterpackung noch begünstigen. Bei späteren Versuchen mit Glaswollefiltern ähnlicher Bauart, die im heißen Gas, also im Temperaturgebiet oberhalb des Taupunktes angeordnet werden, konnte diese Erscheinung nicht mehr beobachtet werden.

Auch im praktischen Fahrbetrieb trat sie nicht auf, was darauf zurückzuführen sein dürfte, daß durch den öfteren Wechsel der Belastung, z. B. beim Pflügen am Vorgewende des Ackers, sich der Widerstand jeweils wieder auf den Ausgangswert einstellt.

Bei der Forschungsstelle war ein Versuchsgasschlepper mit Fordmotor und diesem Reinigungssystem über 1000 Betriebsstunden im landwirtschaftlichen Betrieb eingesetzt. Die bei den Prüfstandsversuchen festgestellte gute Reinigungswirkung des Glaswollefilters hat sich auch im praktischen Betrieb bestätigt, und der zur Verwendung gekommene Fordmotor zeigte nach einer Betriebszeit von 1089 Stunden geringere Abnutzungserscheinungen als die gleiche

Motorbauart bei Versuchsschleppern mit anderen Reinigungssystemen, die unter gleichen Bedingungen eingesetzt waren. Auch hat sich gezeigt, daß der Bedienungsaufwand dieser Reinigungsanlage, bezogen auf die Betriebsstunde, in der Praxis einen sehr geringen Wert ergab.

Es war im übrigen im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich festzustellen, in welchem Umfang kleine Glasfäden durch den Gasstrom aus der Filterpackung mit in den Motor gerissen werden. Bei Schmieröluntersuchungen konnten Spuren von Glaswolle nicht festgestellt werden. Andererseits zeigte es sich, daß in der Rohrleitung zum Glaswollereiniger und Motor sich Spuren solcher Teilchen in den dort noch vorhandenen Schmutzniederschlägen befanden. Es werden also zweifellos Glasfäden mitgerissen, doch ist eine quantitative Beurteilung nicht ohne die Vornahme weiterer Versuche möglich. Es wäre natürlich verfehlt, wenn durch eine solche Reinigung wohl der Reingasstaubgehalt und damit der Kieselsäureanteil des Reststaubes herabgesetzt, durch mitgerissene Glaswolleleichen jedoch letzterer wieder erhöht werden würde.

Diese Frage, für die auch die Wahl der Glaswollequalität entscheidend sein wird, soll bei weiteren Entwicklungsarbeiten einer Klärung zugeführt werden. Zunächst berechtigt allerdings das günstige Verhalten des vorher erwähnten Fordmotors zu der Annahme, daß die in den Motor gelangenden Glaswolleleichen im Vergleich zu der Menge des Reststaubgehaltes quantitativ zu gering sind, um eine zusätzliche, wesentliche Verschleißwirkung auszuüben.

Inzwischen sind durch die Forschungsstelle Glaswollefilter ähnlicher Bauart, die im heißen Gasstrom angeordnet sind, in einer Reihe von Versuchsschleppern in vielen 1000 Betriebsstunden erprobt worden. Es zeigte sich in keinem Falle eine Schädigung des Motors durch mitgerissene Glaswollefäden. Im Gegenteil, es wurden bei Weichholzvergasung Motorbetriebszeiten bis 1800 Stunden ohne Generalüberholung desselben erzielt. Auch ist einer der Schlepperhersteller dazu übergegangen, die bisherige Ölwechselzeit bei flüssigem Kraftstoff um 50% zu verlängern, da die Motoröluntersuchung ergeben hatte, daß die bei Verwendung des Glaswollefilters vorhandene geringe Verschmutzung dies ermöglicht.

IV. Folgerungen und Weiterentwicklung.

In Abbildung 42 ist das Untersuchungsergebnis bei den drei Hauptreinigungssystemen, ausgedrückt durch den Reingasstaubgehalt und bezogen auf die Belastung, dargestellt. Wie bereits erwähnt, stellt die Imbert-Kurve Mittelwerte aus Messungen bei verschiedenem Rohgasstaubgehalt dar. Die Kurve „Zyklon- und Ölreinigung“ ist das Ergebnis der Messung des Wisco-Zyklons mit dem Hansa-Düsen-Ölreiniger. Die Kurve der Gustloff-Reinigung ist gebildet aus den Kurven I und II der Abbildung 40, wobei der Reingasstaubgehalt beim Anfangs- und Endzustand der Glaswolle während einer Betriebszeit von 327 Betriebsstunden zur Mittelwertbildung herangezogen wurde.



Abb. 42. Vergleich der einzelnen Hauptreinigungssysteme.

Selbst unter Berücksichtigung der möglichen Meßfehler und der Beeinflussung der Abscheidewirkung durch den stets etwas verschiedenen mittleren Rohgasstaubgehalt zeichnet sich die Reihung der einzelnen Systeme und die Größenordnung des damit erzielbaren Reingasstaubgehaltes bei Weichholzbetrieb klar ab. Das günstigste Ergebnis erbrachte zweifellos die Gustloff-Reinigung, deren gute Wirkung ausschließlich auf dem Glaswollefilter beruht. Es folgt in sichtbarem Abstand die Zyklon-Ölreinigung, doch

immerhin mit Werten, die noch unter $0,2 \text{ g/Nm}^3$ liegen, während die Imbert-Reinigung gegenüber der Glaswollereinigung einen nahezu dreifachen Staubgehalt im Reingas ergibt.

Es ist noch die Frage zu entscheiden, ob bei den Reinigungssystemen, die mit getrennter Vor- und Nachreinigung arbeiten, ein Zyklon oder eine Staubkammer als Vorreiniger vorzuziehen ist. Abbildung 43 gibt darüber Auskunft. Bei angenähert gleichem Rohgasstaubgehalt zeigt sich bei Vollast eindeutig eine Überlegenheit des Zyklons gegenüber der Staubkammer.

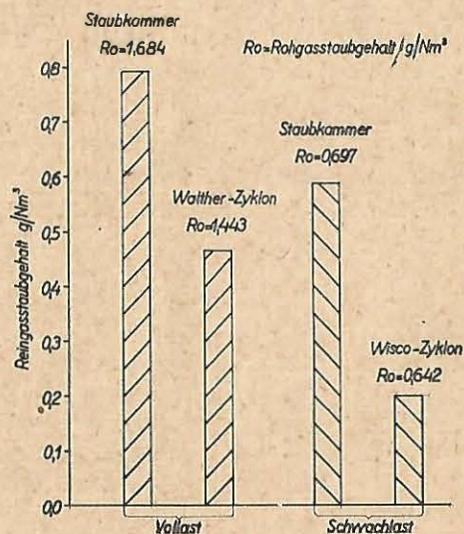


Abb. 43. Vergleich: Staubkammer — Fliehkraftabscheider.

Noch deutlicher wird diese Überlegenheit bei Schwachlast. Man sollte annehmen, daß in letzterem Falle die Staubkammer durch die geringe Strömungsgeschwindigkeit gegenüber dem Zyklon im Vorteil wäre. Die Abbildung 43 zeigt jedoch, daß der Reingasstaubgehalt bei geringer Belastung bei der Staubkammer nahezu dreimal so groß ist als beim Zyklon, ein Zeichen dafür, daß die bei geringer Belastung wohl überwiegend im Gas vorhandenen Staubteile von geringer Fallgeschwindigkeit sich im Zyklon besser abscheiden lassen.

Berücksichtigt man, daß Staub- bzw. Beruhigungskammern geeigneter Größe einen erheblichen Platz am Fahrzeug beanspruchen, während der Zyklon sich leichter unterbringen läßt, so fällt die Entscheidung unbedingt zugunsten des Zyklons aus. Der Zyklon wird stets eine wesentliche Entlastung des Feinreinigers ergeben.

Auf Grund der Ergebnisse dieser Untersuchung läßt sich ein Reinigungssystem mit optimalem Wirkungsgrad, das insbesondere auch bei Weichholzbetrieb brauchbar ist, wie folgt angeben*):

1. Vorreinigung durch Zyklon.
2. Feinreinigung mittels Glaswollefilterpackung.
3. Gaskühler.

Es wird zweckmäßig sein, daß die Weiterentwicklung sich zunächst mit dieser Zusammenstellung von Reinigungsapparaten befaßt, wobei versucht werden muß, sowohl den Reinigungsgrad der Zyklo- als auch der Feinreinigung noch zu verbessern, unter gleichzeitiger Berücksichtigung einer möglichst einfachen Bedienung und eines geringen Zeitaufwandes für die Wartung.

Die vorliegende Untersuchung hat die Staubabscheidewirkung der hauptsächlichsten Reinigungssysteme bei Verwendung von Nadelholz aufgezeigt. Es sind damit Grundlagen für den richtigen Einsatz der Weiterentwicklung und eine endgültige Vervollkommnung der Staubabscheidung beim Fahrzeug-Holzgaserzeuger gegeben.

*) Dieses Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen hat inzwischen zu einer praktischen Anwendung bei der Reinigungsanlage des von der Forschungsstelle im Auftrag des Reichsamts für Wirtschaftsausbau und des RKTL entwickelten Einheits-Holzgaserzeugers für Ackerschlepper geführt (22).

Literaturverzeichnis.

1. List: Holzgas-Generatoren, Prüfungsbericht, Österreichisches Kuratorium für Wirtschaftlichkeit, ÖKW-Veröffentlichungen 20, 1937.
2. List: Untersuchung von Fahrzeug-Generatoren bei Weich- und Hartholzbetrieb, 1940. RKW-Veröffentlichung Nr. 131.
3. Finkheiner: Hochleistungs-Gaserzeuger, Verlag Springer 1937.
4. Finkheiner: Kraftfahrtechnische Forschungsarbeiten, Heft 9, VDI Verlag.
5. Lessnig: Untersuchungen an Kleingasreinigern für Fahrzeuggaserzeuger, Feuerungstechnik, 28. Jahrgang, 1940, Heft 4.
6. Kühl: Über die Schmierölalterung im Holzgas-Fahrzeugmotor. ATZ 44 (1941), Heft 16.
7. Bunbury-Elsner: Die trockene Destillation des Holzes, 1925, S. 113.
8. Juon, E.: Stahl und Eisen, 21 (1904), S. 1230.
9. Hulett u. Cude, J.: Am Chem. Soc. 42 (1940), S. 300.
10. Harkins u. Ewing: Am Chem. Soc. 43 (1921), S. 1747.
11. Gonell, H. W.: VDI-Zeitschrift 72 (1928), S. 945.
12. Handsiebung, Siebsatz nach DIN 1171, Ausführung nach Merkblatt des Reichskohlenrates.
13. Nagel, R.: Arch. Wärm. u. Wirtschaft, 17 (1936), Nr. 8, S. 203.
14. Ullmann: Enzyklopaedie der techn. Chemie, Band 6, S. 174.
15. Kollmann: Die Technologie des Holzes, 1936, S. 263.
16. Richtlinien für Leistungsversuche an Entstaubern, Fachausschuß für Stanntechnik im VDI, 1936.
17. Rosin u. Rammeler: Die Praxis der Flugstaubmessung, VDI-Verlag. Berichte des Reichskohlenrates D 68/69, September 1935.
18. Kühne u. Koch: Holz- und Holzkohlengaserzeuger für Kraftfahrzeuge. Heft 60 der RKTL-Schriften, Beuth-Verlag.
19. Lutz: „Die Entwicklung des landwirtschaftlichen Gasschleppers“, Die Technik in der Landwirtschaft, 21. Jahrg. (1940), Heft 6, S. 107—112.
20. ATZ: Jahrgang 43 (1940), Heft 18, S. 453.
21. Lutz: „Die Verbesserung des Fahrzeug-Holzgaserezeugers durch wärmetechnische Maßnahmen“, ATZ, Stuttgart 1940, Heft 23.
22. Lutz: „Die Entwicklung eines Spezial-Holzgaserezeugers für den landwirtschaftlichen Gasschlepper“, Die Technik in der Landwirtschaft, 22 (1941), Nr. 8.

RKTL-Schriften

		Preis RM
Heft 1	*Untersuchungen an Gehläseförderanlagen für Heu und Stroh	2,25
„ 2	*Beiträge zur Kenntnis des Sortier-Vorganges bei der Sichtung von Saatgetreide durch Windströme	2,70
„ 7	*Untersuchungen an Breiddreschrömmeln	2,30
„ 8	†Obstsortiermaschinen und ihre Verwendbarkeit in Deutschland	0,65
„ 10	*Maschinelle Grabenreinigung	2,60
„ 11	*Hackgeräte und ihre Verwendung im Gartenbau	1,35
„ 15	*Beiträge zur Kenntnis der Wirkungsweise und des arbeitstechnischen Wirkungsgrades von Saatgut-Trockenheizmaschinen	2,60
„ 16	*Bevölkerungsstillstand als Wirtschaftsproblem unter besonderer Berücksichtigung der Landwirtschaft	5,49
„ 17	*Die Motorisierung der Zugkraft in der deutschen Landwirtschaft	1,55
„ 18	*Aufstellung von Prüfungsregeln für die Prüfung von Schrotmühlen und Entwicklung eines wirtschaftlichen Schrotverfahrens	2,—
„ 19	†Melkmaschinen im Ausland	1,25
„ 20	†Ernte, Lagerung und Trocknung von Getreide im Jahre 1930	1,25
„ 21	*Vergleichende Versuche mit neuen Getreidekulturverfahren	3,15
„ 22	*Erfahrungen und Erfolge mit technischen Hilfsmitteln im Betriebe des Herrn v. Kleist-Kamissow	1,80
„ 23	†Handgeräte zur Bodenbearbeitung und ihre wirtschaftlichsten Formen	0,90
„ 24	*Der Gesundheitszustand der Kühe beim Maschinenmelken	4,50
„ 26	*Die Versuchssiedlung Krzanowitz	4,50
„ 27	†Grundlagen und Wirtschaftlichkeit eines Maschinenringes in Ostpreußen	2,—
„ 28	†Die Bodenfräse in der Landwirtschaft	1,80
„ 32	†Motormäher	1,—
„ 35	*Erfahrungen und Erfolge mit technischen Hilfsmitteln in einem bäuerlichen Betrieb	2,50
„ 41	*Über Wasserbewegung und Porosität des Bodens und ihre Beziehungen zur Bodenbearbeitung	3,50
„ 45	†Zäune, Hecken, Tore, Schutzhütten und Tränkeanlagen auf Dauerweiden	2,50
„ 46	*Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Betrachtungen über die Verwendung des Schleppers in der Landwirtschaft	1,—
„ 47	*Erfahrungen und Erfolge mit technischen Hilfsmitteln in häuerlichen Betrieben des Kreises Creifenhagen	1,90

	Preis RM
Heft 52 †Elektrowärme im Gartenbau	1,50
„ 54 *Bäuerliche Maschinengenossenschaft Häusern	4,50
„ 56 *1. Konstrukteur-Kursus	3,50
„ 61 *2. Konstrukteur-Kursus	3,50
„ 62 †Kritische Betrachtungen über die Preisindizes für landwirtschaftliche Maschinen und Geräte	1,50
„ 64 †Erfahrungen und Erfolge mit technischen Hilfsmitteln im Betrieb des Herrn Burgwedel, Hof Malchow	2,50
„ 66 *Untersuchungen über das Sprengkulturverfahren	1,—
„ 67 *Vielfachgeräte für die häuerliche Kartoffelbestellung und Pflegearbeit	1,50
„ 68 *Prüfung von Saatreinigungsmaschinen	3,—
„ 71 *3. Konstrukteur-Kursus	4,—
„ 72 †Die Trocknung von Rübenblättern, Zuckerrüben und Grünfütterpflanzen	2,50
„ 75 *Die Elektrowärme im Bauernhaushalt	5,—
„ 76 *Die Erhaltung von Grünfüttereiweiß mit Hilfe künstlicher Trocknung	1,60
„ 77 *Die Aufgaben der Kältetechnik in der Bewirtschaftung Deutschlands mit Lebensmitteln Bd. A. Die Kühlkette — Das Gefrieren von Lebensmitteln	2,50
Bd. B. Frischhaltung von Fleisch, Frischhaltung von Fischen	2,50
Bd. D. Frischhaltung von Obst und Gemüse	3,—
„ 78 †Die arbeitswirtschaftlichen Verhältnisse im Landhaushalt auf Grund von Erhebungen in der Praxis	1,90
„ 79 †Untersuchungen über den Einsatz des Einscharseleppers im häuerlichen Betrieb	2,—
„ 80 *Gras- und Grünfütteretrocknung in England	2,50
„ 81 *Zugkraft- und Gewichtserabsetzungen an Drillmaschinen	2,25
„ 82 *Bedeutung und zweckvolle Gestaltung der Landmaschinen-Druckschriften	2,—
„ 83 †Untersuchung über die Spannwichthaltung in häuerlichen Betrieben	2,50
„ 84 †Die Wirtschaftlichkeit der Milchanfuhr zur Molckerei mit Lastkraftwagen	3,50
„ 85 †Porengrößen im Boden, ihre Beziehungen zur Bodenbearbeitung und zum Wasserhaushalt	3,50
„ 86 *Erfahrungen bei der Trocknung eiweißreichen Grünfutters in Deutschland	16,50
„ 87 †Untersuchungen über die Arbeitswirtschaft häuerlicher Betriebe	3,—
„ 88 *4. Konstrukteur-Kursus	4,—
„ 89 *Zeitwerte für die Instandsetzung von Dreschmaschinen	4,95
„ 90 †Wirtschaftsaufbau häuerlicher Betriebe	2,25
„ 91 *5. Konstrukteur-Kursus	7,50
„ 92 †Beiträge zum Nachweis der Milcherhitzung	4,20
„ 93 †Ergebnisse der wärmetechnischen Untersuchungen der RKTL im Landhaushalt erscheint demnächst	

	Preis RM
Heft 94 †Die Mechanisierung der Kartoffelernte Bd. A. Möglichkeiten und Aussichten des Sammelrodens	2,10
Bd. B. Die Krautentfernung in der Kartoffelernte	3,20
Bd. C. Gemeinschaftlicher Einsatz von Vorratsrodern in häuerlichen Betrieben	3,—
„ 95 †Arbeitsbedarf und Maschineneinsatz in der neuzeitlichen Zuckerrübenerte	1,40
„ 96 †Ausbesserungskosten verschiedener Landmaschinenarten	3,10
„ 97 †Die Technik der Maistrocknung	1,80
„ 98 *6. Konstrukteur-Kursus erscheint demnächst	
„ 99 †Die Schlagleistendreschtrammel bei verschiedenartiger Beschickung	2,75
„ 100 †Ergebnisse systematischer Wirtschaftsberatung in 6 RKTL-Beispielwirtschaften Niedersachsens	2,75
„ 101 †Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Streubarkeit der Düngemittel	1,75
„ 102 †Das Körnerbrechen beim Dreschen	3,20
„ 103 †Ein Beitrag zur Mährescherfrage	2,80

Die mit einem * bezeichneten RKTL-Schriften sind vom Benth-Vertrieb GmbH., Berlin SW 68, Dresdener Straße 97, und die mit einem † bezeichneten vom Verlag Paul Parey, Berlin SW 11, Hedemannstraße 28/29, zu beziehen.

Sonderdrucke

21. Theoretische Untersuchungen über die Möglichkeit, durch Einsatz von Absorptionskältemaschinen in dampfmaschinenangetriebenen Molckereien deren Wirtschaftlichkeit zu steigern	0,50
23. Dauerbutter aus Süßrahm oder Sauerrahm	1,—
24. Der Landmaschinen-Leichtbau	0,40
26. Die Entstehungsursachen und die Höhe des Schwundes bei der Getreidelagerung	0,75
27. Die Beregnung als Frostschutz	0,75
29. Die Weiterentwicklung des Holzgaserzeugers	0,50

Flugschriften

Die Feldberegnung	0,10
Wascht das Zuckerrübenblatt!	0,15
Die Dreschmaschine und ihr Betrieb	0,15
Die Bedeutung der Elektrowärme im Landhaushalt für die ländliche Stromversorgung und die häuerliche Wirtschaft	0,20
Richtlinien zum Bau von Stalllüftungsanlagen	0,50

	Preis <i>RM</i>
Mehr Hackfrüchte mit weniger Arbeit durch Vielfachgeräte:	
Fassung A (betrifft alle Gebiete mit den üblichen Kartoffelreihenabständen von 55 bis 70 cm)	0,10
Fassung B (betrifft die süddeutschen Gebiete, die Kartoffeln mit „Bifängen“ von etwa 100 bis 120 cm Breite haben)	0,10
Die Melkmaschine und ihr Einsatz	0,20
Drei wichtige Fragen der Landtechnik (Schlepper, Landhaushalt, Melkmaschine)	0,20
Futterkartoffeln dämpfen und einsäuern!	0,20
Eiweißreiches Gärfutter im eisensparenden Betonbehälter	0,20
Geestbetriebe im Aufbau	0,50
Zur Erleichterung der Landarbeit!	0,30
Das Maschinenmelken. — Ein Melkmaschinenlehrbuch	0,30
Getreide sorgfältig lagern und pflegen	0,20

|| Die Sonderdrucke und Flugschriften sind vom Reichskuratorium für Technik in der Landwirtschaft (RKTL), Berlin W 9, Hermann-Cöring-Straße 2/3, zu beziehen. ||