

Forschungsbericht über die Weiterentwicklung
des Klopfmessgerätes.

von Dipl.-Ing. P. Funck.

Forschungsbericht über die Weiterentwicklung des Klopf-
messgerätes.

Der vorliegende Bericht knüpft an die Arbeiten an, die im Institut für Chemische Technologie auf dem Gebiet der Untersuchung des Klopfverhaltens von Leichtkraftstoffen durchgeführt und in dem von Prof. A. W. Schmidt verfassten Aufsatz über "Untersuchungen über das Klopfverhalten von Kraftstoffen auf dem Prüfstand und im Fahrbetrieb" Oel und Kohle 1940 S. 350 veröffentlicht wurden.

Die Entwicklungsstufen, die zur Schaffung eines für den fahrenden Wagen geeigneten Klopfmessgerätes führten und in dem genannten Aufsatz eingehend erläutert sind, können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Ersatz der anfangs verwendeten Kondensatormikrophone durch elektromagnetische Membranmikrophone oder auch Kristallmikrophone. Wegen der stärkeren Mikrofonspannung konnte dadurch auf die unmittelbar am Mikrophon befindliche Verstärkerstufe verzichtet werden, wodurch sich neben der geringeren Empfindlichkeit gegen Erschütterungen der weitere Vorteil ergab, dass diese Mikrophone auch bei beschränkten Platzverhältnissen noch leicht untergebracht werden konnten.
2. Anwendung des Körperschalles für die Übertragung der Klopfgeräusche, die über einen Stahldraht dem Mikrophon zugeleitet werden.
3. Anwendung elektrischer Siebkreise zwecks Heraushebung der für das Klopfen charakteristischen Frequenzen und Beseitigung unerwünschter störender Nebengeräusche des

Motors.

4. Ersatz der im Laboratorium verwendeten Filmkamera durch ein normales Photogerät, das mittels eines lichtdichten Tubus mit seitlichen Beobachtungsstutzen über dem Leuchtschirm der Braun'schen Röhre aufgesetzt wird.

Bild 1 zeigt die nach diesen Gesichtspunkten entwickelte Apparatur, mittels der die im Bild 2 dargestellten Geräuschbilder von Mehrzylindermotoren im fahrenden Wagen erhalten wurden.

Es sei noch bemerkt, dass in der Zwischenzeit auch ein Flugversuch durchgeführt werden konnte, dessen Ergebnisse die grundsätzliche Eignung des Klopfmessgerätes auch für den Flugmotor zeigten.

Nachdem die genannten Versuche die Brauchbarkeit des Gerätes erwiesen haben und eine Fülle von weiteren Anwendungsmöglichkeiten ersehen liessen, eröffnete sich die Aufgabe zu prüfen, inwieweit das vorhandene Gerät, insbesondere das Verstärker- und Siebgerät, allen Anforderungen gerecht werden kann, und in welcher Weise Abänderungen bezw. Vereinfachungen vorgenommen werden sollten. Diese letztere Massnahme schien besonders deshalb notwendig, weil auf Grund der oben genannten Veröffentlichung von Prof. A. W. Schmidt verschiedene militärische und industrielle Kreise an das Institut mit dem Wunsch herangetreten sind, ein derartiges Gerät zu erwerben.

Die in dieser Richtung vom Verfasser vorgenommenen Arbeiten gliedern sich in folgende Teile:

1. Verbesserung des vorhandenen Gerätes zwecks Vornahme von Untersuchungen an Motoren verschiedenster Art unter besonderer Berücksichtigung von Flugmotoren und



Bild 1

Vorzündung
50 km/h
1/2 Gas



| 2 | 4 | 1 | 5 | 3 | 6 |

70 km/h



| 4 | 5 | 1 | 3 | 5 | 1 |

Bild 2

Klopfgeräuschbilder eines Sechszylinder-
motors (aus Öl und Kohle 1940, S. 361).

Dieselmotoren.

2. Neuentwicklung eines vereinfachten Verstärker- und Siebgerätes.
3. Vorbereitende Arbeiten zur Schaffung eines Zeigerinstrumentes, das unter Mitbenützung oder auch unter Wegfall der Braun'schen Röhre einen der mittleren Klopfstärke proportionalen elektrischen Strom- oder Spannungswert unmittelbar auf einer Skala abzulesen gestattet.

1. Verbesserungen des vorhandenen Gerätes.

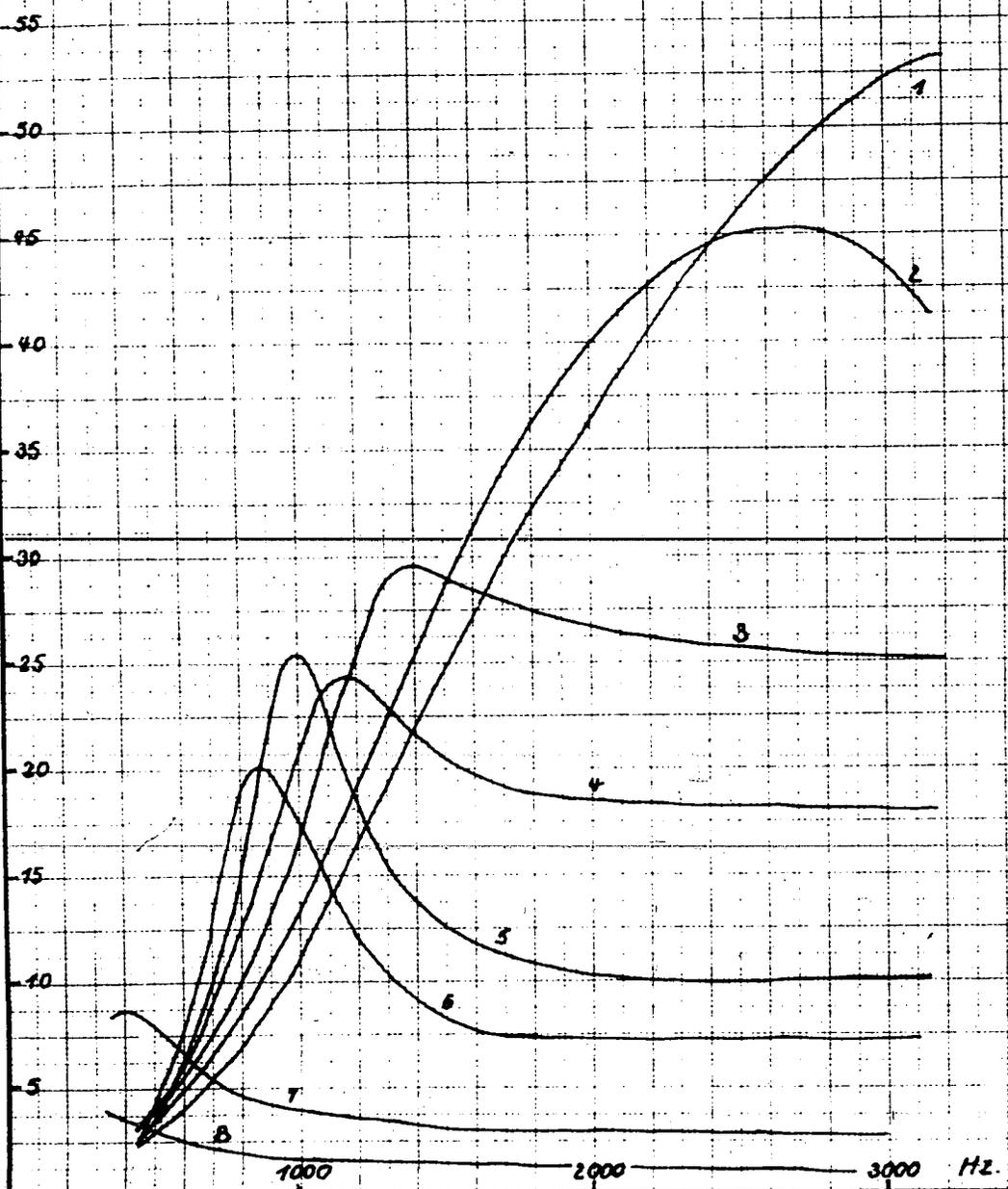
Bei den elektroakustischen Klopfuntersuchungen, die im Versuchslaboratorium für Mineralöle gemacht werden, ist den Verstärkern eine wichtige Aufgabe gestellt. Die Klopf-schwingungen, welche unmittelbar vom Motorblock von einem Kristallmikrophon aufgenommen werden, müssen in einem Röhrenvorverstärker verstärkt werden, ehe sie auf einen Kathodenstrahloszillographen zur Sichtbarmachung geleitet werden. Gleichzeitig sollen sie so verstärkt werden, dass auf dem Röhrenschirm ein Bild entsteht, in welchem sich die Klopfstöße deutlich von dem Geräuschband abheben. Das bedeutet, dass insbesondere die Schwingungen aus dem Frequenzband der Klopföne verstärkt werden, deren Amplituden beim Klopfen am stärksten anwachsen. Verstärker, die diesen Anforderungen genügen, sind selektive Verstärker, im folgenden kurz Siebgeräte genannt.

Um über die auftretenden Schwingungen Klarheit zu erhalten und für die Weiterentwicklung Grundlagen zu bekommen, wurde von dem vorhandenen Siebgerät, im folgenden als L-Gerät

bezeichnet, ein Frequenzbild über den Bereich von 500 bis 3000 Hz aufgenommen, s. Anlage 2. Hierzu sei bemerkt, dass die Frequenzgrenze von 3000 Hz seinerzeit deshalb gewählt worden war, weil die damaligen im Institut vorhandenen Motoren charakteristische Klopf Frequenzen von maximal 3000 Hz aufwiesen, wie aus dem Aufsatz von Prof. A. W. Schmidt "Untersuchungen über den Klopfvorgang in Mehrzylindermotoren", VDI-Zeitschrift 1940 S. 435 zu entnehmen ist. In Anlage 2 ist die Amplitude der Schwingungen in Abhängigkeit von der Frequenz aufgetragen und zwar für die auf der Frontplatte des L-Gerätes befindlichen Schalterstellungen 1 - 8 der Abstimmkreise. Das Bild zeigt ein starkes Abfallen der Amplituden zu den niedrigen Frequenzen hin. Motorische Versuche zeigten brauchbare Ergebnisse bei dem "klingelnden" Klopfen eines Vierzylinder-Ottomotors, wie auch aus dem Frequenzbild zu erwarten war. Bei einem langsam laufenden Einzylinder-Prüfmotor war jedoch das Ergebnis mit diesem Gerät negativ. Da das Gerät auch zu Klopfversuchen an einem dumpfer klopfenden Dieselmotor Verwendung finden sollte, war es wichtig, zu untersuchen, warum die tiefen Frequenzen nicht genügend verstärkt wurden.

Nachdem das Siebgerät auseinander genommen war, wurde ein Schaltbild aufgenommen. Dann wurde der dreistufige Aufbau nachgeprüft und festgestellt, dass einer der zwei getrennt regulierbaren Siebkreise nicht in Ordnung war. Nach Beseitigung schlechter Kontakte wurde erneut ein Frequenzbild aufgenommen, welches dann alle Merkmale eines guten selektiven Verstärkers zeigte, s. Anlage 3. Leider machte sich bei diesen Versuchen eine unerwünschte Eigenschwingung bemerkbar, welche durch wilde Rückkoppelung hervorgerufen war. Erklärlich durch die nun erfolgte Abstimmung des zweiten Kreises, war die Rückkoppelung noch durch den schlecht geschirmten Aufbau des Gerätes begünstigt. Es wurden daher

Amplitude



Siebwirkung.
Siebgerät Firma L.
Benennung

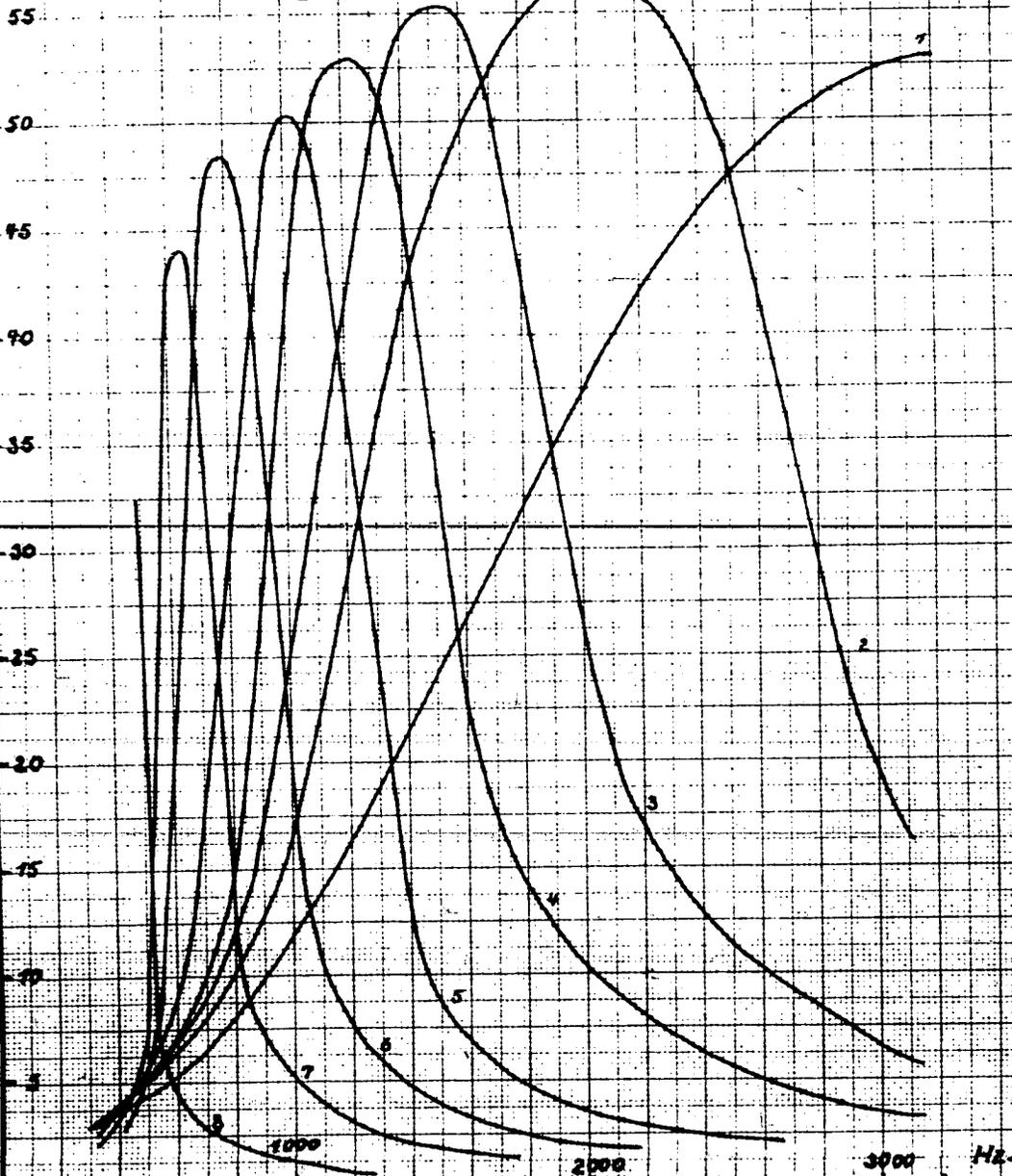
Zu Nr. 1014
20. 11. 40.
Datum

Inst. für chemische Technologie.
Institut

Freilassen

Unterschrift

Amplitude.



Siebwirkung nach Umbau.
Siebgerät Firma L.
Benennung

Inst. für chemische Technologie.
Institut

Zu Nr. 10137
20. 11. 40.
Datum

[Signature]
Unterschrift

Freilassen

alle Wechselspannung führenden Leitungen und Widerstände sorgfältig abgeschirmt, was zum Teil in dem fertigen Gerät grosse Schwierigkeiten bereitete. Jedoch gelang es hierdurch die Schwingneigung fast vollständig zu beseitigen, so dass Schwingungen bei den Versuchen nicht mehr störend in Erscheinung traten.

Zunächst wurden mit dem Siebgerät Versuche an einem Vierzylindermotor vorgenommen, deren Ergebnisse wie vordem gut waren, s. Anlage 4. Es gelang jetzt aber auch an dummer klopfenden Motoren gute Klopfbilder zu erhalten.

Versuche an einem Prüfdiesel-Motor.

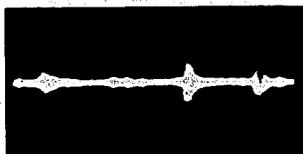
Nachdem der Frequenzbereich von 500 bis 3000 Hz infolge der Instandsetzung in Ordnung war, konnten auch Versuche an dem I.G.-Prüfdieselmotor gemacht werden. A. Schmid hatte in seiner Dissertationsarbeit "Motorische Bewertung von Dieselkraftstoffen" T.H. München 1940 gezeigt, dass an diesem Motor bei der Tonaufnahme durch Luftschall die wirklichen Klopf frequenzen in der Nähe von 1300 Hz liegen. Bei den vorliegenden Versuchen diente zur Aufnahme der Klopf schwingungen ein elektromagnetisches Mikrophon, dessen Membran über einen kurzen Draht an einer günstigen Stelle des Motorblocks befestigt war und den Körperschall aufnahm. Das so erhaltene Klopfbild, Anlage 5, zeigt, wie sich der Klopfstoss deutlich aus dem allgemeinen Motorgeräusch heraushebt, Jedoch waren die Motorgeräusche in dem Bild sehr störend, was bei der niedrigen Frequenz des Klopfens, die in das Band der Geräuschfrequenzen fällt, erklärlich ist. Es wurde nämlich an Hand der Siebbereichkurve und der Einstellung der Abstimmkreise festgestellt, dass die Frequenzen, die ihre Amplitude beim Klopfen am meisten ändern, um 700 bis 800 Hz liegen. Da es hier nicht gelang, die Klopfstösse ähnlich wie beim Ottomotor aus dem Geräuschband her-

Klopfbilder an Vierzylinder Ottomotor.

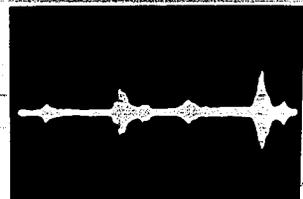
Verbessertes L-Gerät.



1. Ruhiger Lauf

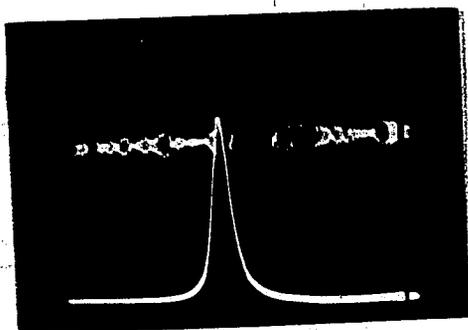


2. Leichtes Klopfen

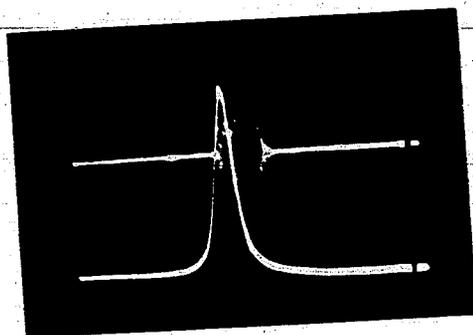


3. Starkes Klopfen

Klopfbilder vom Einzylinder Prüfdiesel.
Gerät der Firma L.



a. Gesamtes Geräuschbild.



b. Verstärkereingang nur während
des Klopfens geöffnet.

10150

aus zu sieben, wurde der Verstärkereingang durch einen vom Motor betriebenen Kontakt nur während des Klopfstosses geöffnet und während der übrigen Zeit kurzgeschlossen, s. Anlage 5 unten. Diese Massnahme war bereits am Klopfprüfmotor des Institutes mit Erfolg eingeführt und ist in dem Forschungsbericht Nr. 1 vom 26.3.40 "Entwicklung neuer Prüfmethoden für Leichtkraftstoffe" von A.W.Schmidt und F.Kneule beschrieben worden.

Das auf diese Weise erhaltene Klopfbild gibt zwar keine Aufschlüsse über die Dauer des Klopfens, zeigt jedoch genau die Lautstärke d.h. die Amplitude der Schwingung, die für die Beurteilung des Kraftstoffes das wesentlichste Merkmal darstellt. Mit dieser Anordnung wurden verschiedene Reihenversuche durchgeführt, deren Ergebnisse recht anschaulich waren und sehr interessante und neuartige Erkenntnisse brachten, vergleiche Bericht über die motorische Bewertung von Dieselkraftstoff vom 1.4.41, Bearbeiter: F.Kneule.

Die benötigten Reihenaufnahmen wurden mit einer Kleinkamera gemacht und zwar 2 Aufnahmen von jedem Zustand. Trotzdem wiesen die Werte zum Teil ziemliche Streuung auf. Bei der Verschiedenartigkeit der einzelnen Klopfstösse ist diese Feststellung ohne weiteres erklärlich. Es erweist sich daher als wichtig, auch hier eine elektrische Mittelwertanzeige anzuwenden, wie sie beim Einzylinder-Ottoprüfmotor bereits mit gutem Erfolg benützt wurde.

2. Neuentwicklung eines vereinfachten Verstärker- und Siebgerätes.

Nach der Instandsetzung des L-Gerätes wurden auch die Versuche im fahrenden Wagen wieder fortgesetzt. Die erhaltenen Klopfbilder waren befriedigend, vergleiche den Bericht des Bearbeiters: Herbert Funck. Das Gewicht des Gerätes und

Klopfbilder am Vierzylinder Ottomotor.

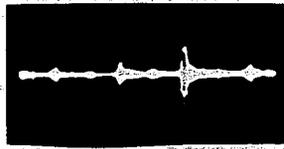
Kleines Siebgerät.



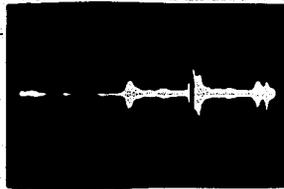
1. Ruhiger Lauf.



2. Beginnendes Klopfen (nicht hörbar)



3. Schwaches Klopfen



4. Starkes Klopfen

seiner Zubehörteile (24 Volt-Batterien und ein Umformer 24 Volt = / 220 Volt-) erwies sich jedoch bei dem wiederholten Ein- und Ausbau in verschiedenen Wagen sehr störend, s. Anlage 6. Diese Verhältnisse liessen schon bald den Wunsch nach einem kleineren Gerät aufkommen.

Dieses neue Gerät sollte folgende Anforderungen erfüllen:

Geringeres Gewicht und kleinere Ausmasse gegenüber dem L-Gerät.

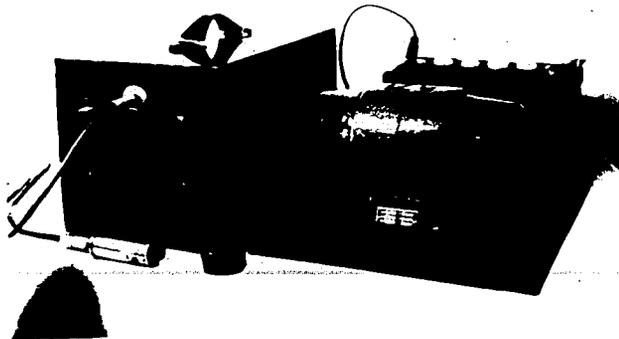
Eingebaute Stromversorgung.

Erhöhter Frequenzbereich, da in der Zwischenzeit auch Motoren untersucht wurden, deren Klopf Frequenzen über 3000 Hz lagen.

Einfache Bedienung.

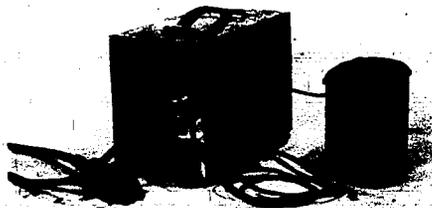
Nach diesen Anforderungen wurde ein kleines Sieb- und Verstärkergerät, im folgenden mit F-Gerät bezeichnet, entworfen und gebaut. Seine Ausmasse betragen in Übereinstimmung mit dem kleinen AEG-Oszillographen 27 x 20 x 15 cm, sein betriebsbereites Gewicht beträgt einschliesslich eines Akkus für den Heizstrom 10,7 kg, s. Anlage 6 unten. Das F-Gerät besitzt 2 Röhren und ist als zweistufiger Spannungsverstärker ausgeführt. Im Gegensatz zu dem grossen L-Gerät werden die beiden Abstimmkreise parallel geregelt, womit 2 Bedienungsknöpfe fortfallen. Der gesamte Siebbereich ist 4-fach unterteilt, s. Anlage 7. Die vier Stufen können mit einem Drehknopf wahlweise eingeschaltet und mit einem zweiten Knopf fein abgestimmt werden. Ein dritter Drehknopf dient zum Einschalten der Heizung und zur Regelung der Verstärkung. Das Gerät ist vorerst nur im Zusammenwirken mit einem Oszillographen zu benutzen. Zunächst wurden mit diesem neuen F.-Gerät Untersuchungen an einem Vierzylinder-

Siebgerät der Firma L.



Gewicht: 89,2 Kg

Kleines Siebgerät



Gewicht: 10,7 Kg

10154

KHz.

5

4

3

2

Bereich I

II

III

IV

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Kleines Siebgerät.
Siebbereiche.
Benennung

Zu Nr. 1015

10. 3. 41.
Datum

Inst. für chemische Technologie.

Institut

Frottieren

Unterschrift

motor vorgenommen, da ja das Gerät für den besonderen Fall der Fahrzeugmotore gebaut wurde. Die hierbei erhaltenen Aufnahmen, s. Anlage 8, zeigen sehr schöne Klopfstöße über einem ganz schmalen Geräuschband. Das erste Bild zeigt einen ruhigen normalen Lauf. Der schmale Strich auf der linken Seite ist der Zündpunkt des Zylinders Nr. 1, von der Anwerfseite aus gesehen. Die kleinen Erhebungen im Geräuschband sind als Ventilgeräusche zudeuten. Durch langsames Vorstellen der Zündung wurde der Motor zum Klopfen gebracht. Bild 2 zeigt den Beginn des Klopfens, der infolge des Motorengeräusches gehörmässig nicht festzustellen war. Die Bilder 3 und 4 zeigen mittleres bzw. starkes Klopfen. Bei allen Bildern war die Drehzahl des Motors und der Verstärkungsgrad des Gerätes gleich.

3. Vorbereitende Arbeiten zur Schaffung eines Zeigerinstrumentes.

Im Anschluss an die vorgenannten Arbeiten wurden noch Versuche mit einem Zeigerinstrument gemacht, wobei vorläufig mit einem sog. Millivoltmeter gearbeitet wurde. Die Ergebnisse waren bereits erfolgversprechend; es konnte lediglich noch kein genügender Zeigerstillstand erreicht werden. Jedenfalls zeigte dieser Versuch, dass auch im Falle von Mehrzylindermotoren die elektrische Anzeige der mittleren Klopfstärke auf einer Skala erstrebenswert und erreichbar ist.

Plan für eine Weiterentwicklung der Klopfmessgeräte.

Auf Grund der im Institut bisher durchgeführten Arbeiten erweist es sich als zweckmässig, zwei Arten von Klopfmessgeräten beizubehalten, von denen das eine für die Prüfstände, das andere für den Fahr- bzw. Flugbetrieb besonders geeignet ist.

A Prüfstandsgerät.

Das L-Gerät wäre für den Betrieb mit einem Anzeigeelement umzubauen, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die Leistung der bereits eingebauten Endstufe zur Aussteuerung des Klopfstromumformers möglicherweise nicht ausreicht. Ausserdem ist beim L-Gerät die Leistungsverstärkung nicht regelbar und somit der Ausschlag des Zeigerinstrumentes von der Gesamtverstärkung abhängig. Trotzdem wäre es vorerst erwünscht, einen entsprechenden Umbau des L-Gerätes vorzunehmen, da hieraus Erfahrungen für den Neubau eines Prüfstandsgerätes gewonnen werden könnten, das dann allen Anforderungen gerecht werden kann. Da bei diesem neuen Gerät das Anzeigeelement mit eingebaut wäre, würde somit eine geschlossene Einheit entstehen, die sowohl für den Einzylinder- als auch Mehrzylinder-Motor zu verwenden wäre. Die Motorenart (Otto- bzw. Dieselmotor) könnte ebenfalls bei diesem Gerät berücksichtigt werden.

B Betriebsgerät.

Die Entwicklung der Geräte für Versuche im fahrenden Wagen zielt auf eine weitere Verkleinerung der Einheiten hin. Die Anforderungen an ein neues Gerät wären etwa folgende:

Geringes Gewicht und kleine Ausmasse.
Einbau der Spannungs- und Heizstromquelle und
damit vollkommene Unabhängigkeit von Strom-
quellen ausserhalb.

Einknopfabstimmung.

Eingebautes Zeigerinstrument.

Mit einem solchen Gerät wären Klopfuntersuchungen im Fahr-
zeug einfach und sicher durchzuführen.

Um für Versuche im Flugzeug genügende Unterlagen zu erhal-
ten, wäre es wünschenswert, dass noch mehr Untersuchungen
an Flugmotorprüfständen gemacht werden könnten. Diese Un-
tersuchungen müssten Näheres über die Art und die Frequenz
des Klopfens der Flugmotoren geben.