Versuchsbericht

über die Anwendung der elektroakustischen Klopfmessmethode an Ein-und Mehrzylindermotoren, auf dem Prüfstand und im Fahrbetrieb.

von Dipl. Ing. H. Funck.

10159

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Versuchsapparaturen	
1. Am Einzylinder	88
2. Am Mehrzylinder.	89
3. Im Fahrzeug	89
4. Motoren	91
II. Versuche	
1. Am Einzylinderprüfstand.	92
a) Klopfkurven	92
b) Mikrophone am Einzylinder	95
c) Mikrophon am I.G.Prüfmotor.	98
2. Versuche an Mehrzylindermotoren. . . .	99
a) Am Mercedes 1,7 Ltr..	99
b) Am Peugeot 2,1 Ltr.	103
c) Versuche im fahrenden Wagen	106
d) Bau eines Kristallmikrophons. . . .	108
e) Bau eines Zündzeitpunktmessgerätes.	108
f) Klopfgeräuschfrequenzen	109

10160

Versuchsbericht über die Anwendung der elektroakustischen Klopfmessmethode an Ein-und Mehrzylindermotoren, auf dem Prüfstand und im Fahrbetrieb.

I. Versuchsapparaturen:

1. Am Einzylinder:

Zu den Versuchen wurde die im Institut entwickelte elektroakustische Klopfmessmethode verwendet.[1] Die Apparatur hat folgenden grundsätzlichen Aufbau: Die von einem elektromagnetischen Membranmikrophon, das in einem sehr kleinen Abstand von Motorgehäuse aufgehangen ist, durch Luftschall aufgenommenen Geräuschströme werden in einem Verstärker mit eingebauten Siebkreisen derartig gesiebt, dass nur die sich von den Frequenzen der normalen Motorgeräusche am stärksten unterscheidenden Frequenzen der Klopfgeräusche, verstärkt auf die Ablenkplatten einer Braun'schen Röhre gelangen, wo sie als Ausschläge des Kathodenstrahles sichtbar werden. Parallel zur Braun'schen Röhre gelangen die Klopfströme über einen Leistungsverstärker und einen als Dämpfungsglied wirkenden Thermoumformer auf ein Millivoltmeter, wo der jeweilige Mittelwert der Klopfausschläge an einem ruhig stehenden Zeiger abgelesen werden kann.[2] Zur Ausschaltung der störenden Motorengeräusche werden die verstärkten Mikrophonströme über einen, an der Nockenwelle des Motors angebrachten Unterbrecher geleitet, der nur für den kurzen Augenblick des Klopfschlages den Stromkreis schliesst.

---

1) A.W.Schmidt, Öl und Kohle 1940 S. 350.

2) A.W.Schmidt und F. Kneule, Forschungsbericht 1 über "Entwicklung neuerPrüfmethoden für Leichtkraftstoffe" v.26.3.40.

2. Am Mehrzylinder:

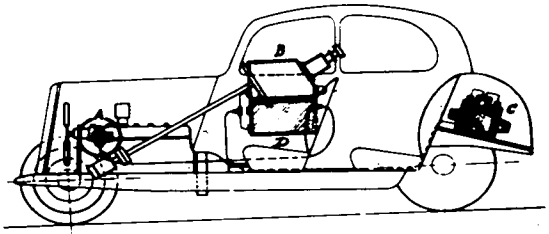
Am Mehrzylinder wird ein sehr empfindliches Kristallmikrophon mit Körperschallübertragung benutzt. Die Klopfströme gelangen wiederum über ein entsprechend abgeschirmtes Siebgerät verstärkt auf die Ablenkplatten der Braun'schen Röhre. Auf dem Schirm der Braun'schen Röhre werden die Klopfausschläge aller Zylinder und der Zündfunke einer nicht abgeschirmten Kerze entsprechend dem Arbeitsspiel und der Zündfolge des Motors sichtbar.

Durch einen mit halber Motordrehzahl umlaufenden drehbaren Unterbrecher ist es möglich, den Klopfausschlag jedes einzelnen Zylinders allein sichtbar zu machen und seinen mittleren Klopfausschlag auf dem oben erwähnten Messinstrument abzulesen.

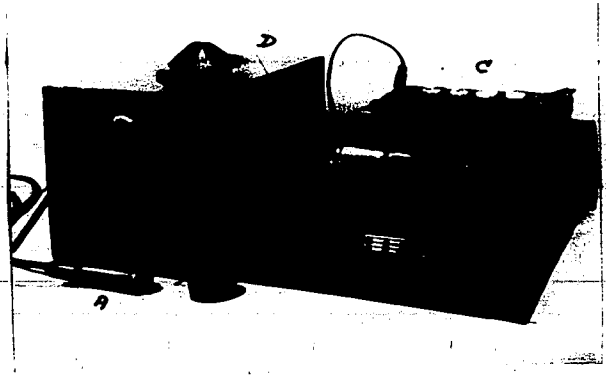
3. Im Fahrzeug:

Im fahrenden Wagen wird die im hiesigen Institut entwickelte Wagenapparatur mit Kristallmikrophon, Siebgerät, Verstärker und Oszillograph mit Photoaufsatz verwendet. Die zum Betrieb der einzelnen Instrumente notwendigen Ströme und Spannungen liefern zwei 12 V. Batterien und ein Einankerumformer 12 V. = auf 220 V. .

Wagenapparatur



Kloppmeßgerät im Fahrzeug



A = Mikrophon
B = Oszillograph mit Photoaufsatz
C = Stromquelle
D = Siebgerät

4. Motoren:

Die Prüfstandversuche wurden ausgeführt an folgenden Motoren:

An einem Einzylinder-Kraftstoffprüfmotor nach Bauart A.W. Schmidt mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis. Der Motor hat folgende Abmessungen und Daten:

Zylinderzahl		1
Bohrung	mm	78,6
Hub	mm	104
Hubraum	cm^3	500
Verdichtungsverhältnis veränderlich von		4:1 - 10:1

Am Mehrzylinderprüfstand stand ein seitengesteuerter Mercedes 4-Zylindermotor mit stehenden Ventilen zur Verfügung. Der Motor hat folgende Abmessungen und Daten:

Zylinderzahl		4
Bohrung	mm	73,5
Hub	mm	100
Hubraum/Zylinder	cm^3	425
Gesamthubraum	cm^3	1700
Verdichtungsverhältnis		1:6
Leistung	PS	38
Hubraumleistung	PS/l	22,5

Weiterhin wurden Versuche an einem französischen oben gesteuerten 4-Zylindermotor mit hängenden Ventilen und Stoßstangensteuerung gemacht. Der Motor hat folgende Abmessungen und Daten:

Zylinderzahl		4
Bohrung	mm	83
Hub	mm	99
Hubraum/Zylinder	cm^3	534
Verdichtungsverhältnis		1:6,7
Leistung	PS	62
Hubraumleistung	PS/l	29

II. Versuche:

1. Am Einzylinderprüfstand:

a) Klopfkurven. Am Einzylinderprüfmotor mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis ist es durch die elektroakustische Klopfmessmethode möglich, durch laufende Veränderung der Verdichtung, die mittlere Stärke des Klopfausschlages für jede Zylinderkopfstellung zu ermitteln. Man bekommt auf diese Weise für jeden Kraftstoff eine Kurve, deren Lage und Gestalt ausschlaggebend zur Beurteilung des Kraftstoffes ist. Setzt man diese Kraftstoffklopfkurve in Beziehung zu den Klopfkurven zweier Testkraftstoffe, so ist es möglich die Oktanzahl des Versuchskraftstoffes einwandfrei zu bestimmen. S.Abb.1. Diese Abbildung zeigt die Klopfkurve eines rumänischen Erdölbenzins eingegrenzt durch die Klopfkurven zweier Eichkraftstoffe

Abb. 1

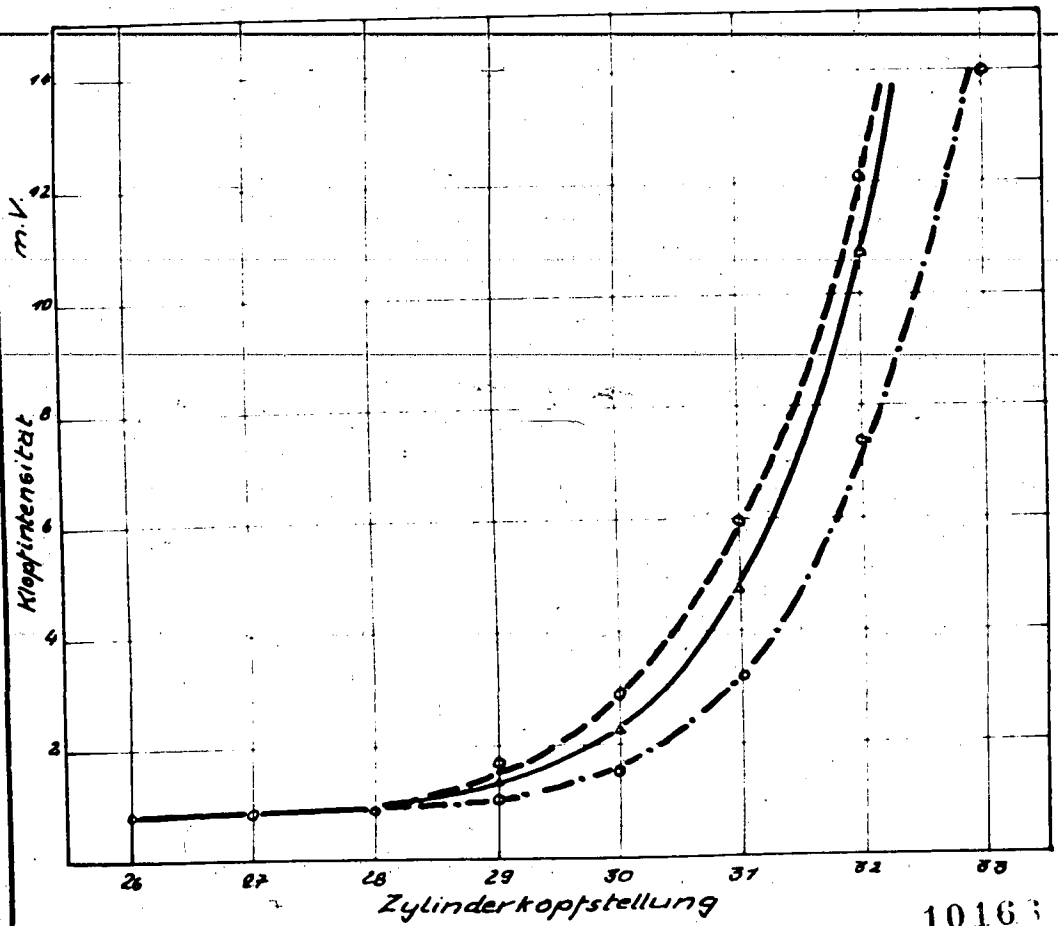
Klopfkurven am Einzylinder

---- O.Z. 60

-.-.- O.Z. 70

—— Rumän. Erdöl Benzin

bei zunehmender Verdichtung



1016

mit einer Oktanzahl von 50 und 80. Es galt nun die günstigste Methode zur Aufstellung dieser Klopfkurven zu ermitteln. Zu diesem Zweck wurden dieselben einmal bei ansteigender und einmal bei fallender Verdichtung (Abb.2) aufgenommen. Es zeigte sich, dass die Kurven ähnliche Lage aufweisen, dass aber die bei fallender Verdichtung aufgenommenen Kurven erwartungsgemäss einen etwas flacheren Verlauf haben. Es zeigte sich weiter, dass die bei fallender Verdichtung aufgenommenen Kurven in ihren Werten eine etwas grössere Streuung aufweisen. Dieser Unterschied, ist aus der Trägheit des Klopfmessinstrumentes, und aus dem sich nur langsam verändernden Wärmezustand des Motors zu erklären. Nun wurde die zur Aufstellung der Klopfkurven günstigste Methode aufgesucht. Es wurden die Zeitabstände der Ablesungen und die der Verdichtungsverstellung geändert. Als günstigste Lösung fand sich folgende: Das Verdichtungsverhältnis des Motors wird von Minute zu Minute um ein gewisses kleines Mass, und zwar in steigendem Sinne, geändert. Da der Zeiger des Mittelwertinstrumentes während einer Minute nicht Zeit hat auf den jeweiligen Klopfwert einzuspielen, wird die Ablesung jeweils kurz vor Änderung des Verdichtungsverhältnisses, also auch genau im Zeitabstand von einer Minute, vorgenommen. Die erhaltenen Klopfwerte werden dann über der Zylinderkopfstellung, welche eine Funktion des Verdichtungsverhältnisses ist, zu Klopfkurven aufgetragen. In Abb. 3 sind Oszillographenbilder des Klopfausschlages, die während der Aufstellung einer Klopfkurve aufgenommen wurden, im Sinne des steigenden Verdichtungsverhältnisses zusammengestellt.

Abb. 2

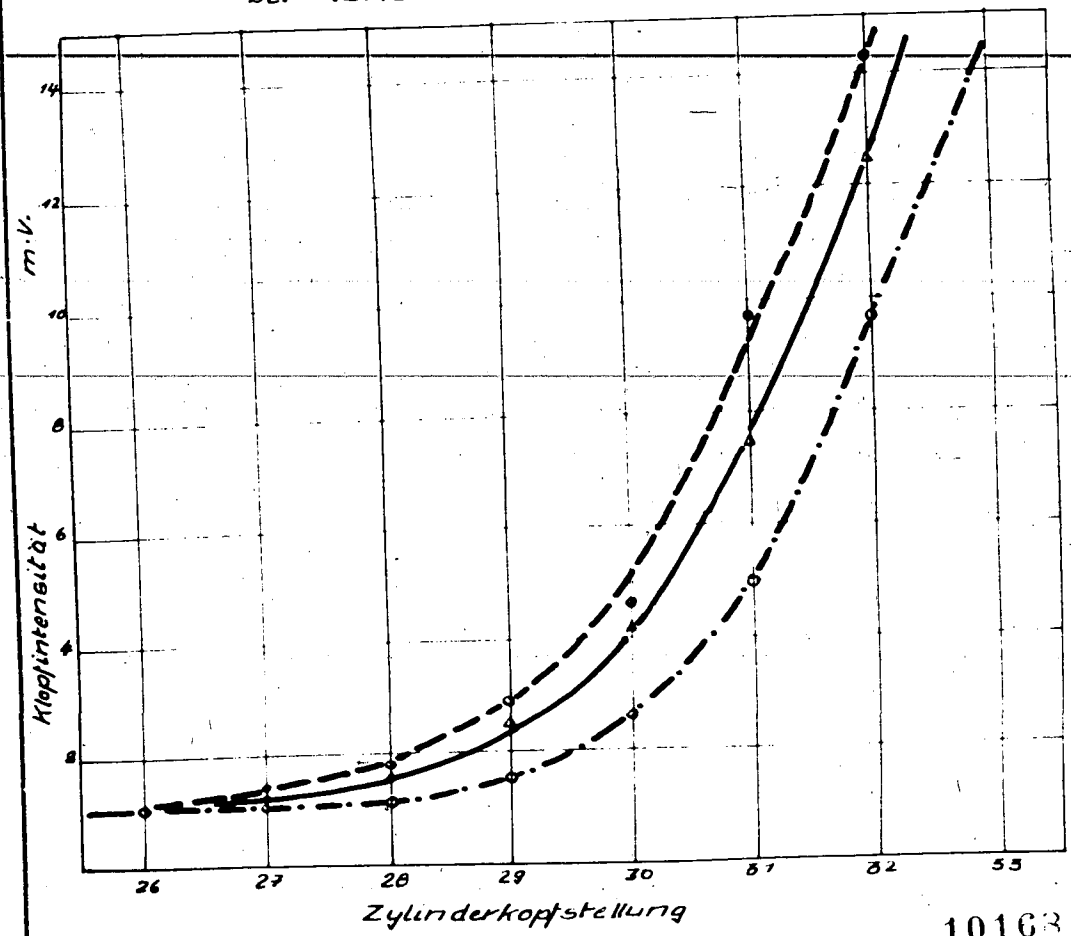
Klopfkurven am Einzylinder

--- O.Z. 60

-.-.- O.Z. 70

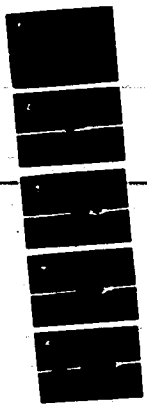
——— Rumän. Erdöl Benzin

bei abnehmender Verdichtung



10163

Abb 3



In Abb. 4 ist nun der Vorteil der kurvenmässigen Beurteilung von Kraftstoffen gegenüber der nach der Einpunktoktanzahlbestimmung der C.F.R.-Methode klar ersichtlich. In diesem Bilde sind Klopfkurven zweier Eichkraftstoffe und die eines Ruhrgrundbenzins aufgetragen. Die Kurve des Grundbenzins zeigt im unteren Teil einen flacheren und im oberen Teil einen steileren Verlauf als die der Eichkraftstoffe. Bei der Auswertung des Bildes ergibt sich folgendes. Würde die Oktanzahlbestimmung, nach den üblichen Methoden C.F.R. und I.G. bei einer bestimmten mittleren Klopfintensität von etwa 4 m.V., was einem normalen Oktanzahlklopfen entsprechen würde, vorgenommen, so würde dem

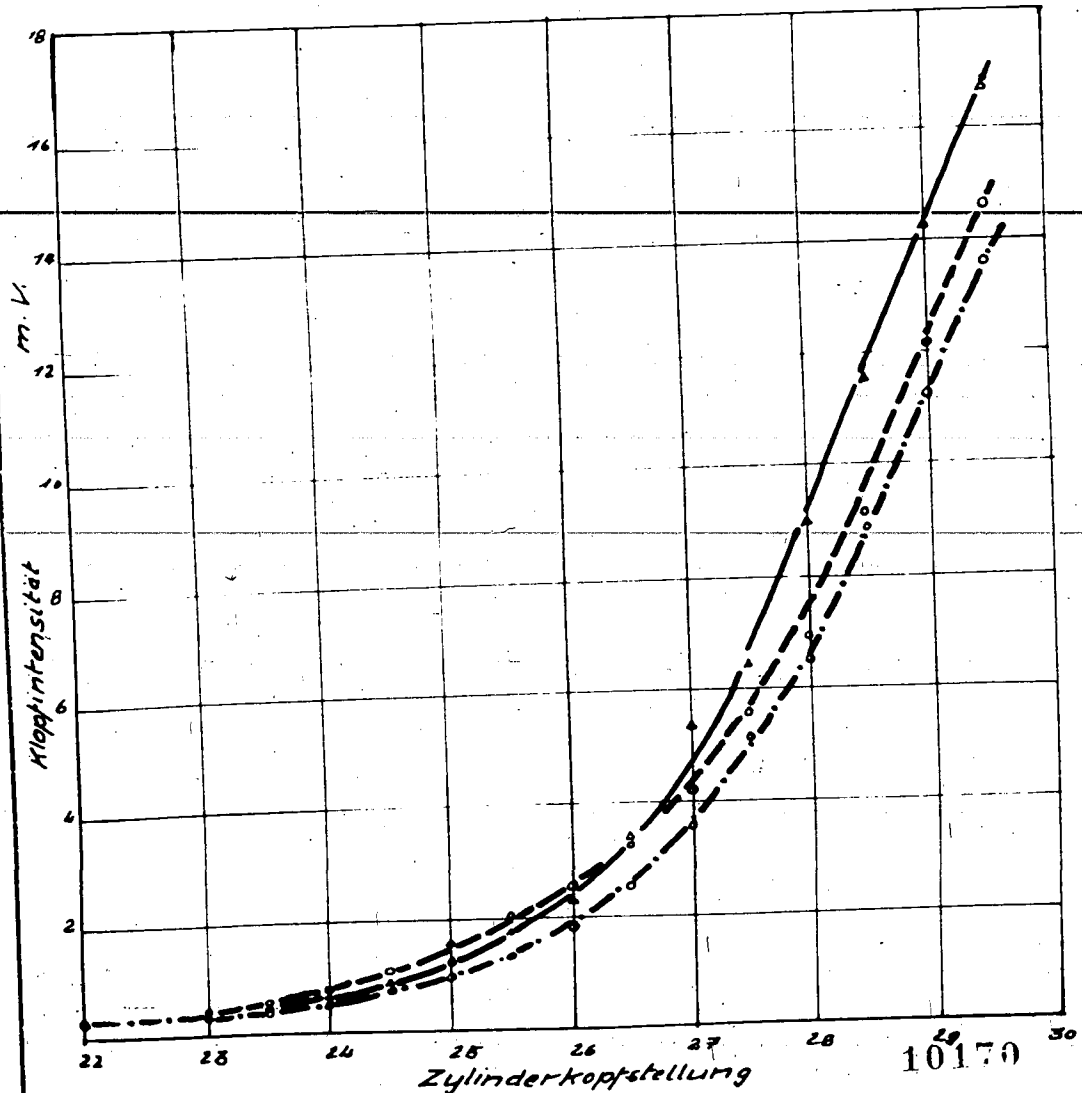
Abb. 4

Klopfkurven am Einzylinder

---- O.Z. 46

-.-.- O.Z. 50

——— Ruhr Benzin



10170

Kraftstoff eine Oktanzahl von 46 gegeben werden müssen. Aus dem Bild der Kurven ergibt sich aber, dass diese Bewertung für starkes Klopfen, also für hohe Verdichtungsverhältnisse zu günstig ist, dass die Oktanzahl bei einem Klopfwert von 8 m.V. nur annähernd 39 beträgt und weiterhin, dass der Kraftstoff bei sehr geringem, kaum hörbarem Klopfen von etwa 1 m.V., also in dem Gebiete, das für die Praxis am wichtigsten ist, unterbewertet wird. Man müsste ihm für dieses Gebiet eine Oktanzahl von ungefähr 48 zubilligen.

Es ist somit gezeigt worden, dass Gestalt und Lage der Klopfkurven aufschlussreiche und vielseitige Beurteilungsmöglichkeiten für Kraftstoffe bieten. Es ist aber erforderlich, dass auf diesem Gebiete noch grundlegende und eingehende Versuche gemacht werden.

b) Mikrophone am Einzylinder. Im hiesigen Institut wurden zur Aufnahme der Klopfgeräusche zwei Verfahren entwickelt.

1. Die Motorgeräusche werden mittels Luftschall auf ein in sehr geringem Abstand vom Motorgehäuse aufgehangenes elektromagnetisches Membranmikrophon[1]) übertragen und von diesem als Geräuschströme der Sieb- und Verstärkereinrichtung zugeführt.

2. Die Motorengeräusche werden über einen fest mit dem Motorgehäuse verbundenen Stahldraht auf ein Kristallmikrophon durch Körperschall übertragen. Die hier erzeugten Geräuschströme werden derselben Apparatur wie im ersten Falle zugeführt.

---

1) A.W.Schmidt, Z.V.DI 1940 S. 435.

Abb. 5

Empfindlichkeit der Mikrophone

— — Kristall Mikrophon

— . — Membran Mikrophon

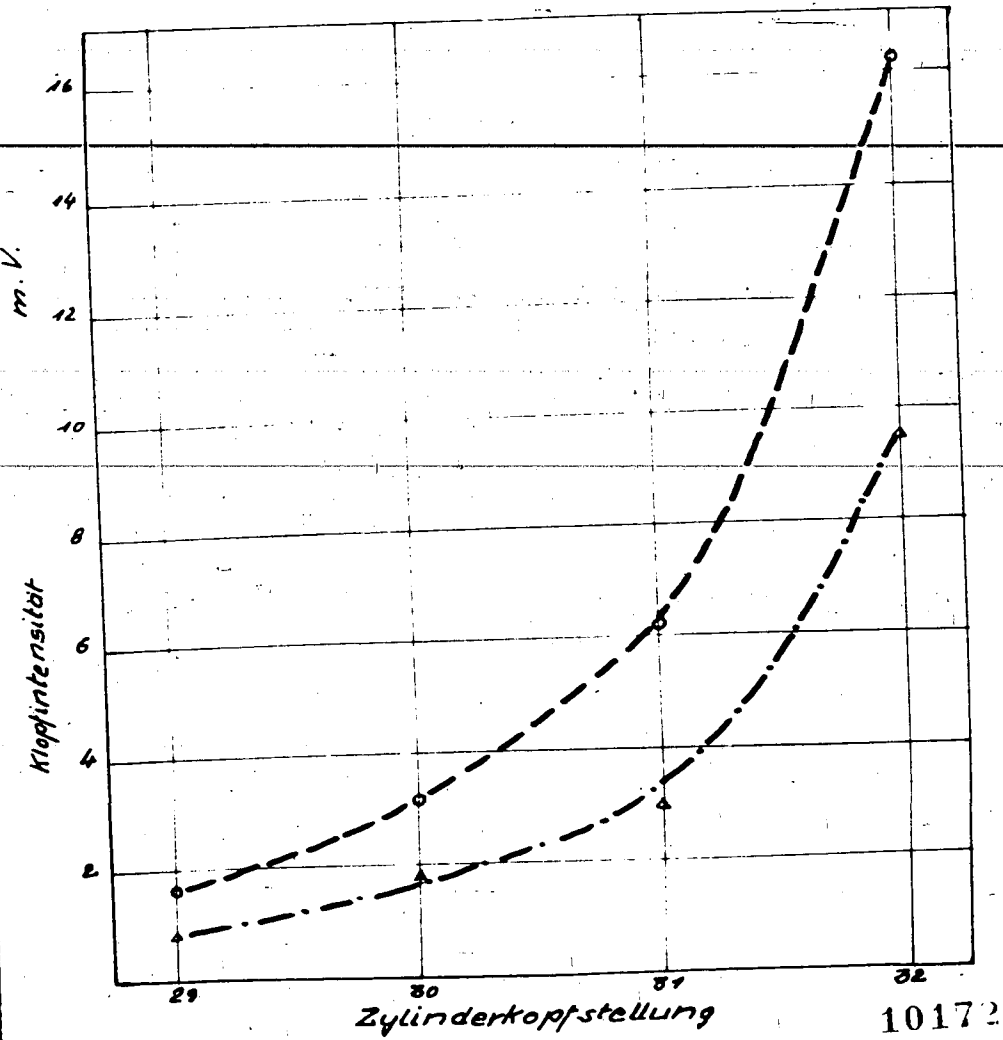
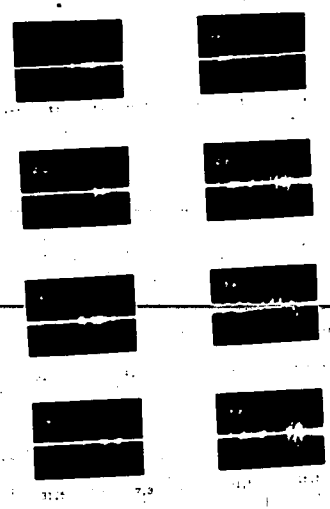


Abb. 6



In Auswertung der gewonnenen Ergebnisse kann man feststellen, dass das Kristallmikrophon etwa durchschnittlich die doppelte Empfindlichkeit des Membranmikrophons aufweist. Bei Betrachtung der aufgenommenen Bilder (Abb.6) zeigt sich, dass beim Kristallmikrophon erstens die Amplituden und zweitens auch die aufgenommenen Frequenzen des Klopfausschlages höher als beim Membranmikrophon erscheinen. Die beim Membranmikrophon besonders gut sichtbare, nicht proportional mit der Verdichtung und mit dem mittleren Klopfwert wachsende Amplitudenhöhe des Klopfausschlages, rührt von der bei der gleichen mittleren Klopfstärke sehr stark unterschiedlichen Lautstärke des einzelnen Klopfschlages her. Allgemein ist zu sagen, dass sich das Kristallmikrophon

wegen seiner hohen Empfindlichkeit besonders gut für sehr geringes Klopfen, also für das gegenwärtig wichtige Gebiet des kaum hörbaren Klopfens, verwenden lassen muss.

Es wurde gefunden, dass die Lage der Klopfkurven mit verschiedenen Mikrophonen sich entsprechend der Empfindlichkeit des Mikrophons ändert. Es ist nun wichtig zu erfahren, ob die Gestalt der Kurven von der Art des Mikrophons abhängig ist, oder ob sie wie oben erwähnt nur eine Funktion des Klopfverhaltens eines Kraftstoffes ist. Zu diesem Zweck wurde die Empfindlichkeit des Kristallmikrophons durch anderen Einbau der des Membranmikrophons angeglichen, und dann bei gleicher Verstärkereinstellung und bei gleichen Motorbedingungen (siehe oben) die Klopfkurven, die in Abb. 7 aufgetragen sind, in folgender zeitlicher Folge aufgenommen: Kristallmikrophon 1. Messung, Membranmikrophon, Kristallmikrophon 2. Messung. Die eingezeichnete Klopfkurve zeigt eine vollkommen gleichmässig gekrümmte Gestalt und sieht für alle Messungen gleichmässig aus. Die einzelnen Messpunkte für die beiden Mikrophone zeigen nur eine geringfügige durchaus zulässige Streuung.

c) Mikrophon am I.G. Prüfmotor. Da sich die elektrodynamische Klopfanzeige an Einzylindermotor nach A.W. Schmidt besonders bewährt hat, wurde versucht auch am I.G.-Kraftstoffprüfmotor ein Mikrophon[1] zum Klopfanzeige anzubringen. Es wurde hierzu das Kristallmikrophon verwendet. Der Schallübertragungsdraht wurde unter einer Zylinderkopfschraube fest eingespannt. Nach Anschluss an Verstärker und Braun'sches Rohr

1) Siehe hiezu: F. Kneule, Habilitationsschrift T.H. München 1938 und A. Schmid Dissertation T.H. München 1938.

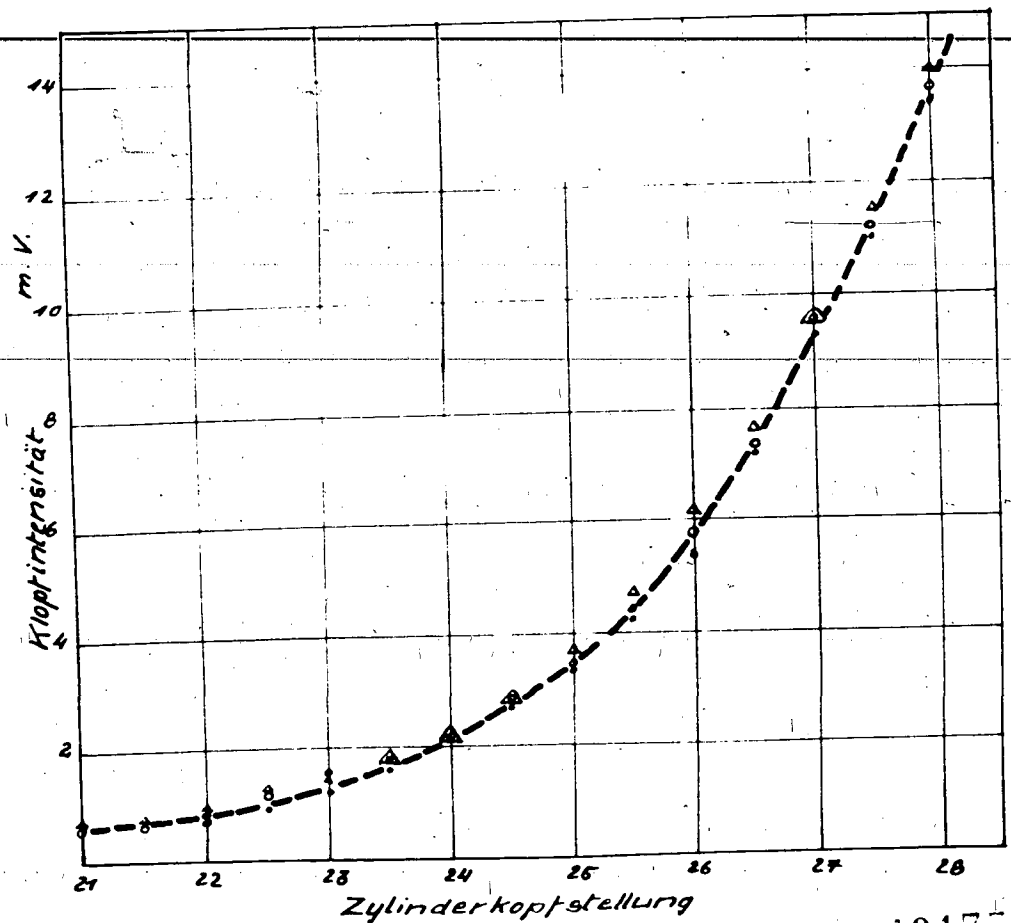
Abb. 7

Klopfkurve am Einzylinder

△ Membran Mikrophon

○ Kristall Mikrophon 1. Mess.

• Kristall Mikrophon 2. Mess.



ergaben sich deutlich sichtbare Klopfausschläge.

Weitere eingehende Versuche müssen zeigen, inwieweit die elektronautische Klopfanzeige mit der an sich sehr empfindlichen und auch sicheren Klopfanzeige des Springstiftapparates (bouncing-pin) der I.G. und C.F.R.-Kraftstoffprüfmethoden übereinstimmt.

2. Versuche an Mehrzylindermotoren.

a) Am Mercedes-1,7 Ltr. Für die Mehrzylinderversuche wurde aus den am Einzylinder gewonnenen oben erwähnten Erfahrungen das Kristallmikrophon[1] als besonders günstig befunden. Diese Erfahrungen bestätigten sich bei den Versuchen sehr bald. Die besonderen Vorzüge des Mikrophons sind:
Starre Befestigung am Motor selbst, Körperschall-Übertragung durch Stahldraht, hohe Empfindlichkeit und Nichtaufnahme störender Geräusche von ausserhalb.

Für die Versuche auf dem Prüfstand stand ein Mercedes 4-Zylinder 1,7 Ltr. Motor zur Verfügung. Er wird durch eine elektrische Strombremse abgebremst. Da klopfender Betrieb nicht durch Veränderung des Verdichtungsverhältnisses hervorgerufen werden konnte, musste dieses durch zeitgerechte Verstellung der Zündung erfolgen. Aus diesem Grunde wurde der Verteiler auf Handverstellung in weiten Grenzen umgebaut. Das Mikrophon wurde am Motor befestigt und die erhaltenen Geräuschströme über einen Siebverstärker dem

---

[1] A.W.Schmidt, Öl und Kohle 1940 S. 350.

Kathodenstrahloszillographen, zugeleitet. Zur Entfernung der störenden Einflüsse der Zündfunken wurden die Zündkerzen abgeschirmt. Zur Kenntlichmachung des Beginns des Arbeitsspiels wurde die erste Zündkerze ohne Abschirmung gelassen. Nach diesen Massnahmen erscheint auf dem Schirm der Braun'schen Röhre nach Abb. 13 bei klopfendem Betrieb ein feiner Ausschlag des Kathodenstrahles herrührend vom Zündfunken der unabgeschirmten ersten Zündkerze und anschliessend die Klopfausschläge der einzelnen Zylinder geordnet nach der Zündfolge des Motors. Auf dem Messinstrument stellt sich dann der Mittelwert der Klopfausschläge aller 4-Zylinder ein.[1] Um den Mittelwert des Klopfausschlages jedes einzelnen Zylinders zu erhalten, werden die verstärkten Klopfströme über einen mit halber Motordrehzahl laufenden drehbaren Unterbrecher geleitet, der den Stromkreis zum Oszillographen und zum Messinstrument nur während der kurzen Zeit des Klopfstosses eines Zylinders schliesst. Durch Drehung des Unterbrechers kann man den Klopfausschlag jedes einzelnen Zylinders getrennt auf dem Schirm der Braun'schen Röhre sichtbar machen und den Mittelwert seiner Klopfstärke am Messinstrument ablesen.[2]

In einem Versuch, dessen Ergebnis in Abb. 8 aufgetragen ist, wurde die Vorzündung des Motors laufend vergrössert und die mittlere Klopfstärke jedes einzelnen Zylinders abgelesen. Die Motorenbetriebsbedingungen waren folgende:

Kühlwassertemperatur	70°C
Belastung const.	40 Ampere
Drosselklappenstellung const.	1/4 Gas
Drehzahl ungefähr =	1200 U/Min.

1) Vgl. Forschungsbericht über die "Weiterentwicklung des Klopfmessgerätes", Bearbeiter: Paul Funck.

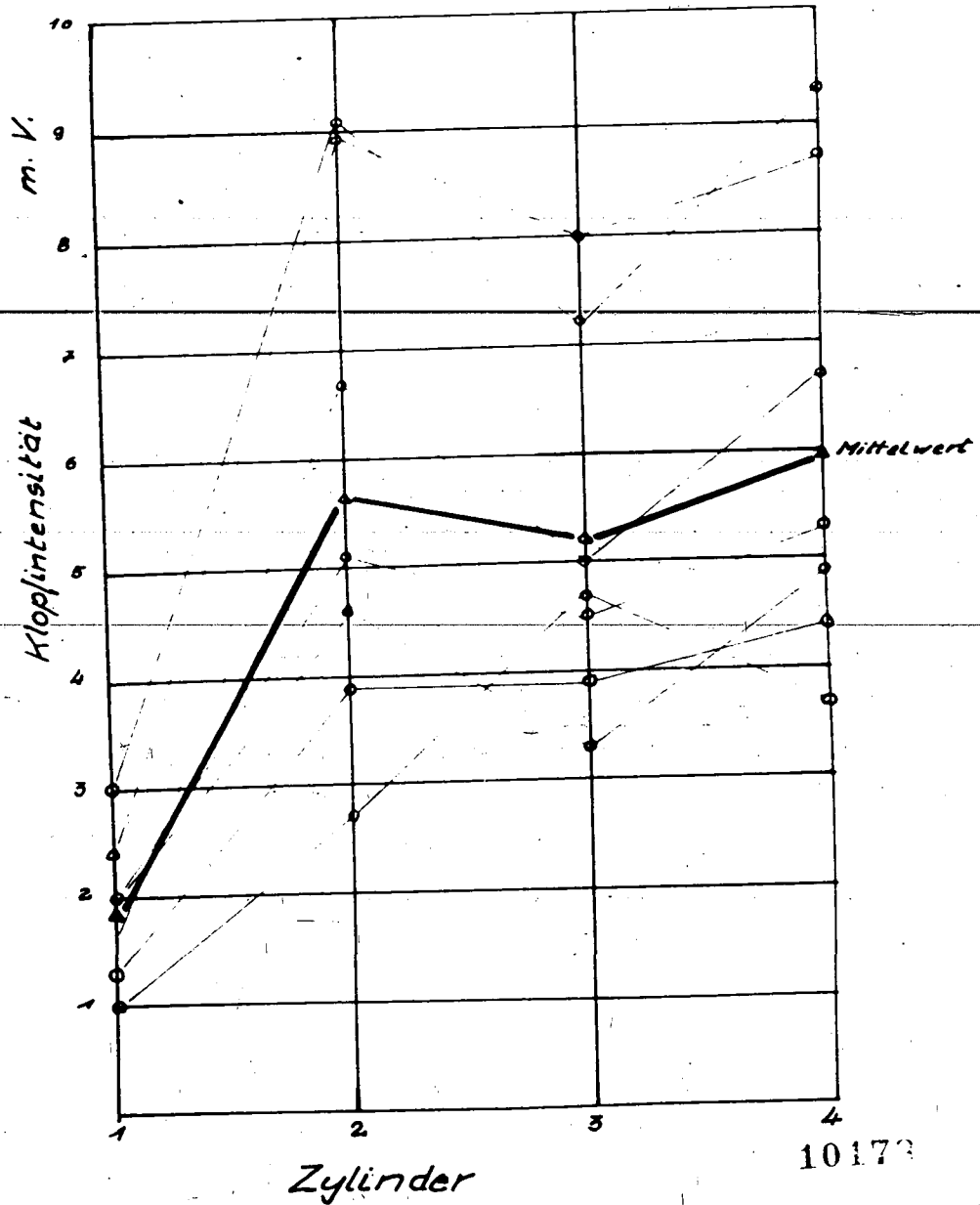
2) K. Regel, Dissertation T.H. München 1939.

Abb. 8

Klopfversuch am Mehrzylinder.

Kraftstoff: O.Z. 66

Vorzündung geändert



10173

Es zeigt sich, dass die einzelnen Zylinder des Motors ganz verschiedene Klopfstärken aufweisen. So neigt z.B. der Zylinder 4 am stärksten zum Klopfen, während Zylinder 1 nur eine schwache Klopfneigung zeigt.

Im ersten Hauptversuch (Abb.9) wurde dann das Klopfverhalten der einzelnen Zylinder über der Vorzündung aufgenommen. Die Versuchsbedingungen waren wie folgt:

Kühlwassertemperatur	70°C
Belastung const.	40 Ampere
Drehzahl const.	1200 U/Min.
Vorzündung von	4 bis 2°
Kurbelwinkel vor O.T. geändert.	

Die Auswertung des Versuches zeigt nun folgendes:

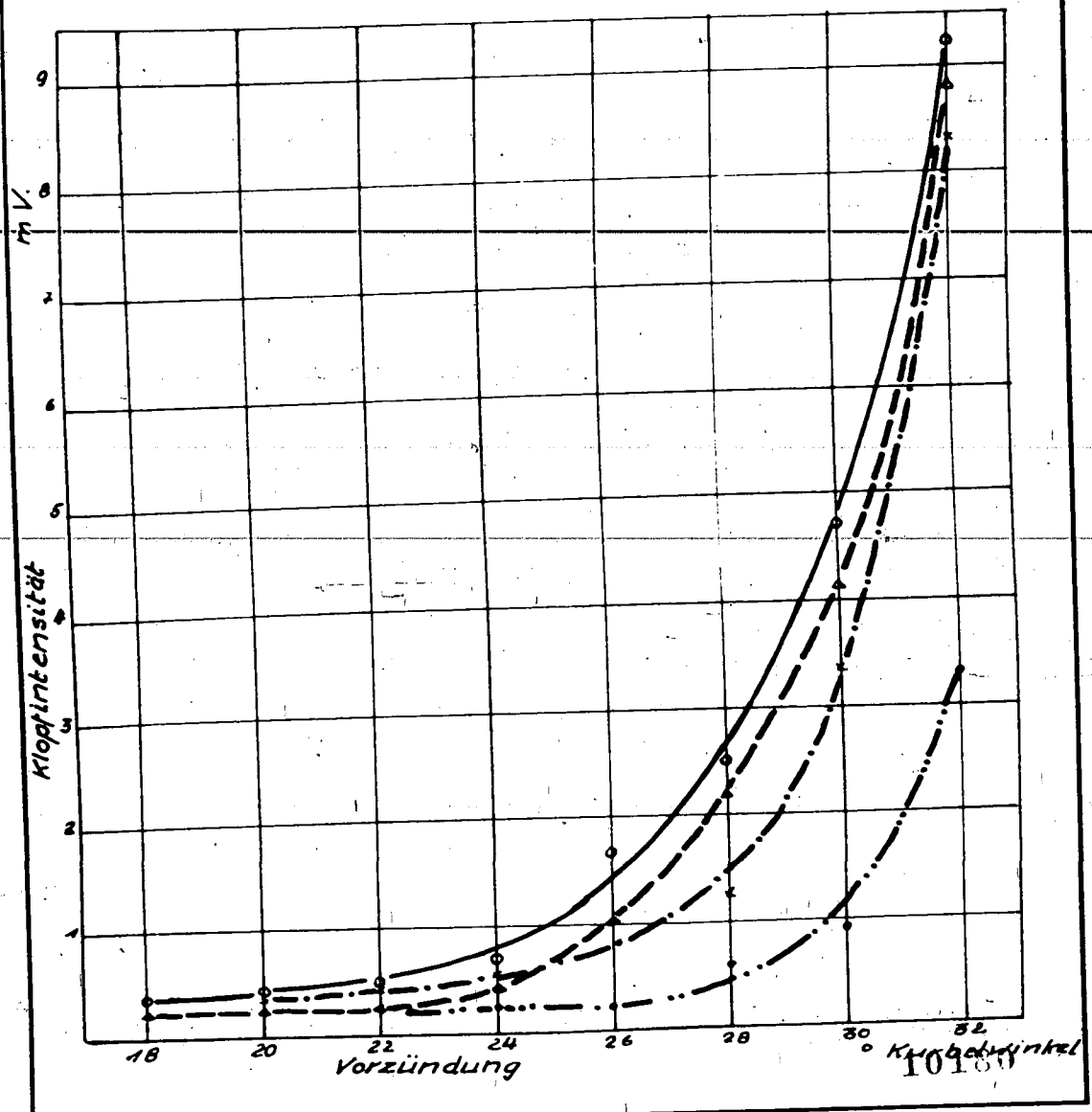
Das stark unterschiedliche Klopfverhalten der einzelnen Zylinder tritt wie im Vorversuch klar hervor. Wieder zeigen Zylinder 4, 3 und 2 starkes Klopfen, während der Zylinder 1 nur geringe Klopfneigung zeigt. Da nun diese Klopfkurven ähnliche Kurven darstellen wie die am Einzylinder aufgenommenen Klopfkurven, so wird man die am Einzylinder gewonnenen Erkenntnisse in gewissem Sinne auch auf den Mehrzylinder übertragen können. Man wird also die Klopfkurven nach Lage und Gestalt, d.h. nach Klopfstärke und Klopfverhalten des in den Zylindern vorhandenen Kraftstoffes beurteilen können. Die Beurteilung der Kurven nach ihrer Lage ist hinsichtlich der verschiedenen Bewertung der einzelnen Zylinder in Bezug auf Klopfintensität schon erfolgt. Bei Beurteilung der Gestalt der Kurven ist es durchaus augenfällig, dass die Krümmung der Kurven der Zylinder 1 und 2 durchaus ähnlich, aber vollkommen verschieden von der der Zylinder 3 und 4 ist, die unter sich wieder eine sehr ähnliche Krümmung der Klopfkurven

Abb. 9

Klopfkurven am Mehrzylindermotor

—·—· Zylinder 1
—·— Zylinder 2
— — Zylinder 3
——— Zylinder 4

Kraftstoff: O.Z. 74



aufweisen. Wenn wir den Schluss von der Gestalt der Kurven auf das Klopfverhalten und somit auf die Zusammensetzung des jeweiligen Kraftstoffes zulassen, so würde das bedeuten, dass die beiden Zylinder 1 und 2 ein ähnlich zusammengesetztes Brennstoffgemisch erhalten, was aber in seiner Zusammensetzung durchaus verschieden ist von dem, welches Zylinder 3 und 4 bekommen, das wieder unter sich sehr ähnlich zu sein scheint. Der Gedankengang scheint sehr gewagt zu sein, er findet aber eine gewisse Bestätigung, wenn man bedenkt, dass der Motor von einem Vergaser, dass aber Zylinder 1 und 2 von einem gemeinsamen und, dass Zylinder 3 und 4 von einem weiteren gemeinsamen Ansaugrohrstutzen gespeist werden. Jedenfalls müssten weitere eingehende Versuche am Ein-und Mehrzylindermotor diese Theorie bestätigen.

In einem weiteren Versuch wurde die Klopfstärke der einzelnen Zylinder in Abhängigkeit von der Motorbelastung aufgenommen. Die Versuchsbedingungen waren wie folgt:

Kühlwassertemperatur	70°C
Vorzündung const.	30°K.W.v.O.T.
Drehzahl const.	1200 U/Min.

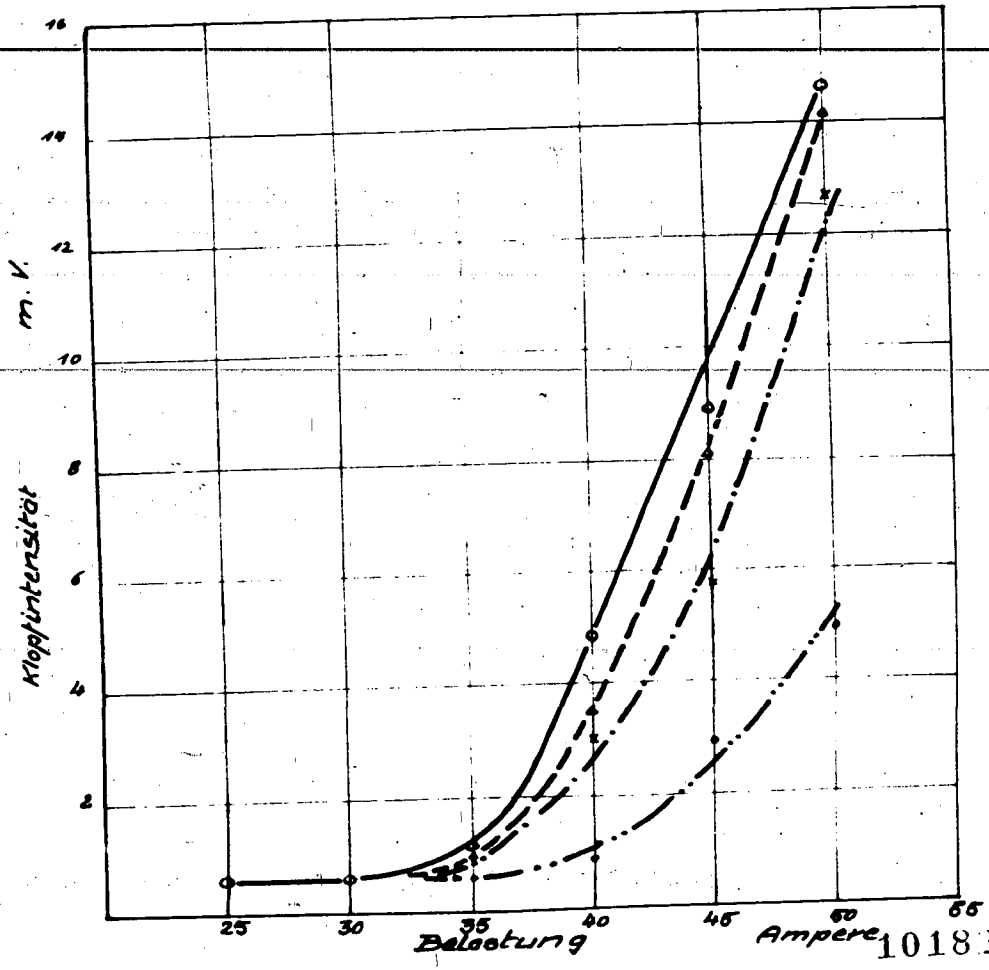
Die Belastung wurde von 5 zu 5 Ampère geändert und die Drosselklappenstellung so nachreguliert, dass die Drehzahl konstant blieb. Somit wuchs die Motorleistung direkt proportional mit der Belastung. Die Ergebnisse des Versuchs sind in Abb. 10 aufgetragen. Das Bild zeigt wieder das übliche Verhalten der Klopfstärken der einzelnen Zylinder . Weiterhin kann man ersehen, dass bei einer angenommenen gleichmässigen Klopfstärke aller Zylinder von etwa 5 m.V. der Zylinder 4 um ein beträchtliches Mass weniger belastet werden würde als Zylinder 1, also auch entsprechend weniger leisten würde. Oder anders ausgedrückt, falls die Leistungsfähigkeit des Motors begrenzt wäre durch den am

Abb. 10

Klopfen am Mehrzylindermotor

—·—·— Zylinder 1
—·— Zylinder 2
— — — Zylinder 3
——— Zylinder 4

n - const. = 1200 $\frac{U}{min}$
Kraftstoff: O.Z. 74



stärksten klopfenden Zylinder 4 bei einer Belastung von etwa 45 Ampère, so würde der Zylinder 1 sozusagen überhaupt kein Klopfen aufweisen und so wäre die Leistungsausbeute des Kraftstoffes in diesem Zylinder nur sehr gering.

In Abb. 11 ist die Belastung des Motors über der Vorzündung aufgetragen. Die Versuchsbedingungen waren folgende:

Kühlwassertemperatur	70°C
Drehzahl const.	1200 U/Min.
Klopfstärke const.	1,2 n.V.

Es soll gezeigt werden, dass die Belastungsfähigkeit, und da die Motordrehzahl konstant gehalten wurde, auch die Leistungsfähigkeit des Motors durch Auftreten des nicht sehr grossen Klopfens, mit zunehmender Verstellung sehr stark absinkt. Die Vorzündungsänderung wurde bei diesem Versuch in den normalen Grenzen der im Fahrbetrieb üblichen Vorzündungen geändert.

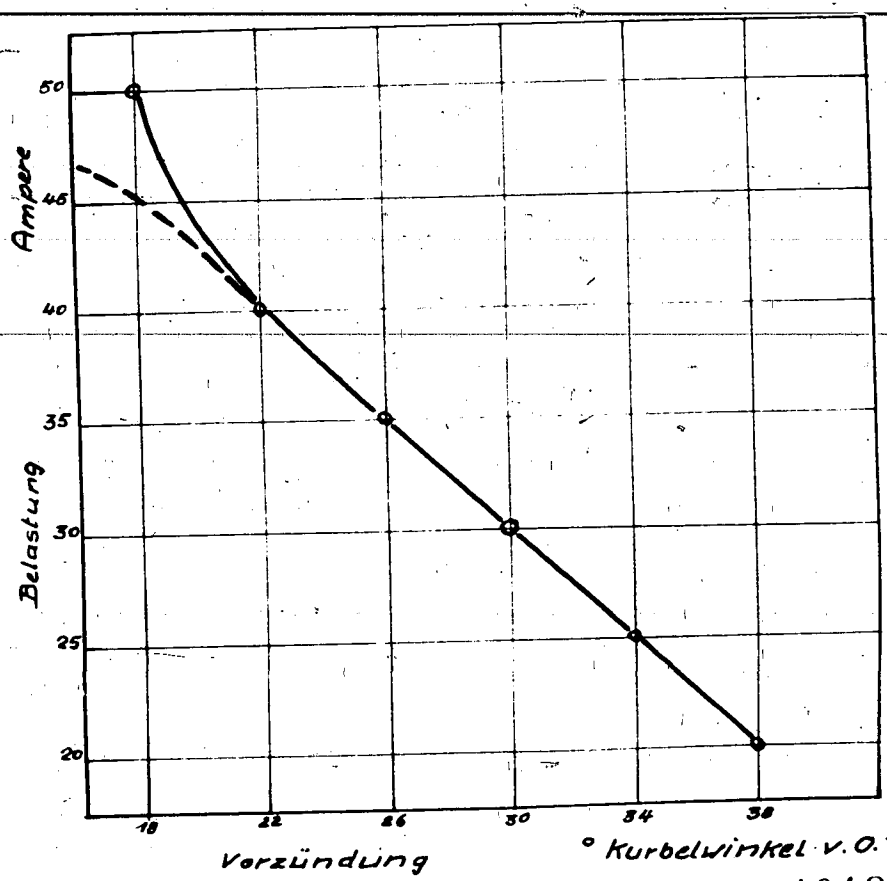
b) Am Peugeot 2,1 Ltr. Der zweite zur Verfügung stehende Prüfstandmotor war ein französischer 4-Zylinder Peugeot-Motor. An ihm sollten ähnliche Versuche wie am Mercedes Motor zu Vergleichszwecken vorgenommen werden. Zunächst wurde der Zylinderkopf des Motors abgenommen, um die angegebenen Daten zu prüfen. Weiterhin wurden die Verbrennungsräume ausgeliitert, um etwaige Unterschiede im Verdichtungsverhältnis der einzelnen Zylinder, welches unterschiedliches Klopfen hervorrufen könnte, festzustellen. Bei diesen Messungen ergaben sich folgende Werte:

Abb. 11

Klopfen am Mehrzylindermotor

Klopfintensität = const. = 1,2 m.V

n = const. = 1200 $\frac{U}{min}$



		Angabe des Werkes	Tatsächliche Daten
Zylinderzahl		4	
Bohrung		mm 83	83,5
Hub		mm 99	99
Kolbenfläche		cm^2 54	54,8
Hubraum/Zylinder		cm^3 534	542,5
Gesamthubraum		cm^3 2140	2145
Kompressionsraum	I	cm^3	95,7
"	II	cm^3	94,3
"	III	cm^3	94,3
"	IV	cm^3	95,4
Verdichtung	I		6,67
"	II		6,78
"	III		6,78
"	IV		6,7
Gesamtverdichtung		6,7	6,74
Leistung		PS 62	

Nach betriebsfertiger Aufstellung des Motors musste der Mikrophonanbau vorgenommen werden, der sich insofern als schwierig erwies, als der Motor ein kopfgesteuertes Modell mit hängenden Ventilen war und einen sehr harten Gang auf-

wies. Hierdurch gelangten viele störende Nebengeräusche auf den Schirm der Braun'schen Röhre. Durch Abtasten mit uneingespanntem Mikrophon musste die Stelle der günstigsten Klopfgeräuschaufnahme ermittelt werden, an der dann das Mikrophon fest angebracht werden konnte. Nach Anschaltung an den Verstärker und nach einer entsprechenden günstigen Siebung, die wesentlich anders als beim Mercedesmotor war, konnten die Klopfausschläge auf dem Schirm des Braun'schen Rohres gut sichtbar gemacht werden. Auch hier zeigte sich wieder eine sehr starke Verschiedenheit der Klopfstärke der einzelnen Zylinder. Die sehr geringen Unterschiede im Verdichtungsverhältnis können hierfür nicht verantwortlich gemacht werden. Die Ermittlung der Gründe des unterschiedlichen Klopfverhaltens der Zylinder wird der Zweck einer längeren eingehenden Versuchsreihe sein.

Die aufgenommenen Oszillogramme der Klopfbilder von Mercedes und Peugeot sind in Bild 12 und 13 zusammengestellt.

Abb. 12

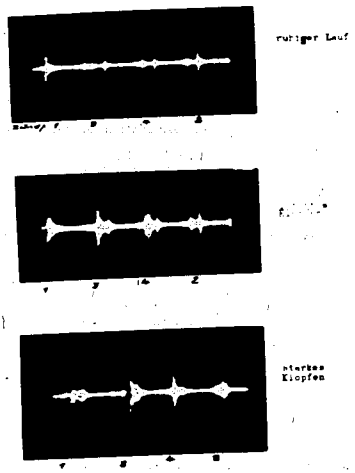
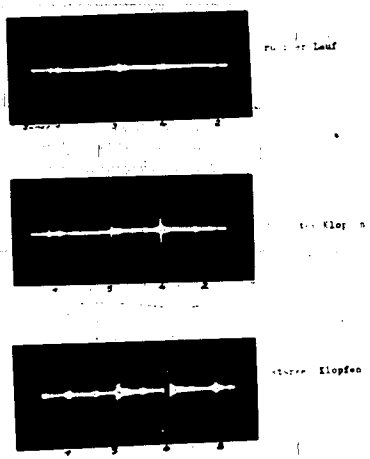


Abb. 13

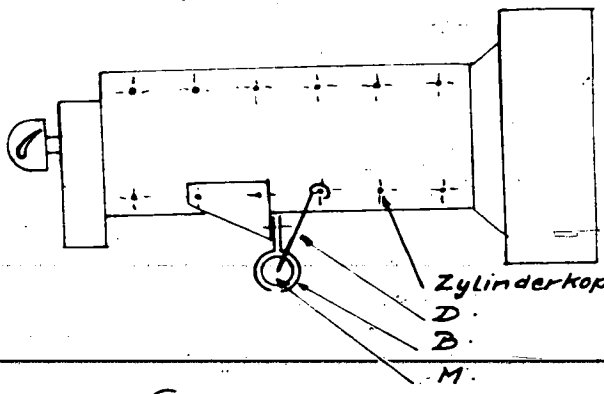


c) Versuche im fahrenden Wagen. Für die Fahrversuche standen folgende Fahrzeuge zur Verfügung: 3 französische Beute-Personenkraftwagen, ein Peugeot 2,1 Ltr., ein Renault 2,4 Ltr., ein Citroen 2,9 Ltr. und ein deutscher Adler 2,5 Ltr.
Durch die schon erwähnten Eigenschaften der Mikrophone zeigte sich wieder das Kristallmikrophon als für die Wagenversuche am besten geeignet. Beim Einbau des Mikrophons machten sich folgende Schwierigkeiten besonders bemerkbar. Erstens der notwendige überaus starre Einbau des Mikrophonbefestigungsbügels, zweitens der kleine vorhandene Einbauraum unter der Motorhaube und drittens die grosse Verschiedenartigkeit der Motorentypen. Die Einbauarten an den 3 französischen Beutemotoren sind in Abb.14 aufgezeichnet. Hierbei wurden folgende Erfahrungen, die auch schon die Prüfstandversuche gelehrt hatten, bestätigt. Bei den ruhig laufenden seitengesteuerten Maschinen, Adler 2,5 Ltr., Renault 2,4 Ltr., war der Einbau des Mikrophons sehr einfach, weil die Zylinderkopfschrauben sämtlich oben aus dem Zylinderkopfdeckel herausragen. Die Arbeitsweise des Mikrophons war deshalb besonders zufriedenstellend, weil die störende Ventil- und Motorgeräusche durch die Zylinderkopfdichtung nur stark gedämpft auf den Zylinderkopfdeckel selber, an dem der Klopfschall abgenommen wird, übertragen werden. Bei den oben gesteuerten Motoren hingegen, wo die Zylinderkopfschrauben ganz oder zum Teil vom Zylinderkopfdeckel verdeckt sind, ist erstens der Anbau des Mikrophons sehr schwierig und zweitens die Arbeitsbedingung des Mikrophons sehr un-

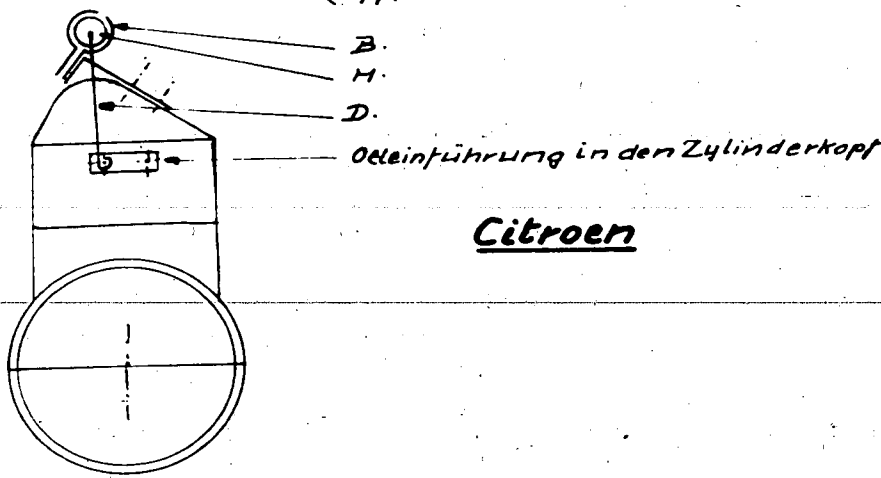
Abb. 14

Mikrophonbefestigungen an Motoren

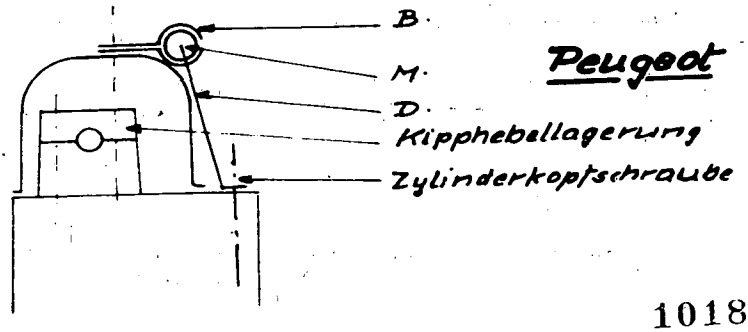
M = Mikrophon
D = Schallübertragungs Draht
B = Befestigungsbügel



Renault



Citroen



Peugeot

günstig, da die starke Geräuschstörungen hervorgerufenden Ventile im Zylinderkopf selbst angeordnet sind. Um klopfenden Betrieb leicht hervorrufen zu können, wurde in jedem Wagen der Zündverteiler auf in weiten Grenzen regelbare Handzündverstellung umgebaut. Nach Einbau der Klopfmessapparatur mit Siebverstärker und Oszillograph mit Photoaufsatz und nach einigen Vorversuchen wurde mit dem Renault 2,4 Ltr. und dem Adler 2, 5 Ltr. auf der Autobahn München-Augsburg auf einem geraden ebenen Stück von 10 km Länge auf Hin-und Herweg ein Fahrversuch gemacht. Es handelte sich darum, die Klopfneigung der einzelnen Motore festzustellen. Es wurden bei zwei Vorzündungseinstellungen I und II jeweils bei zwei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten 80 und 100 km/h, also auch bei zwei verschiedenen Motorbelastungen, Aufnahmen der Geräuschbilder gemacht. Die Zündeinstellung I entspricht der des normalen Fahrbetriebes. Die Zündeinstellung II liegt um 10° KW früher. Die Ergebnisse der Versuche sind in Abb. 15,16 und 17 zusammengestellt. Es zeigt sich, dass der französische Renault bei einem Benzin von der OZ 60, bei sämtlichen Motorzuständen ruhigen Lauf aufweist (Abb.15). Bei demselben Kraftstoff hingegen und denselben Motorzuständen zeigt der untersuchte Adlerwagen bei Zündeinstellung I und 100 km Geschwindigkeit schon leichtes Klopfen. Bei Zündeinstellung II wird dieses Klopfen sehr stark und für den Motor unzuträglich.(Abb.16) In Abb.16 zeigt sich dieses Klopfen als kräftige Ausschläge zwischen den schmalen Ausschlägen der Zündpunkte. Zum Vergleich wurde noch eine Versuchsreihe im Adler 2,5 Ltr. mit einem deutschen handelsüblichen Benzin von der OZ 74 gefahren. (Abb.17) Hierbei zeigt es sich, dass bei diesem besseren Benzin erst bei Zündeinstellung II und höchster Geschwindigkeit mittleres Klopfen auftritt.

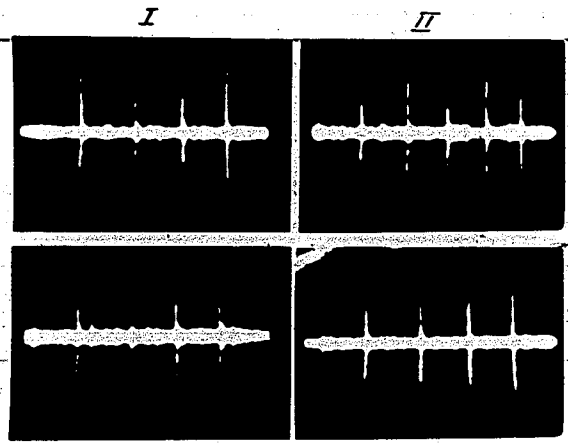
Aufnahmen der Strassenversuche.

Renault 2,4 Ltr.

Zündeinstellung I = normaler Fahrbetrieb
Zündeinstellung II = 10°KW früher

Abb. 15

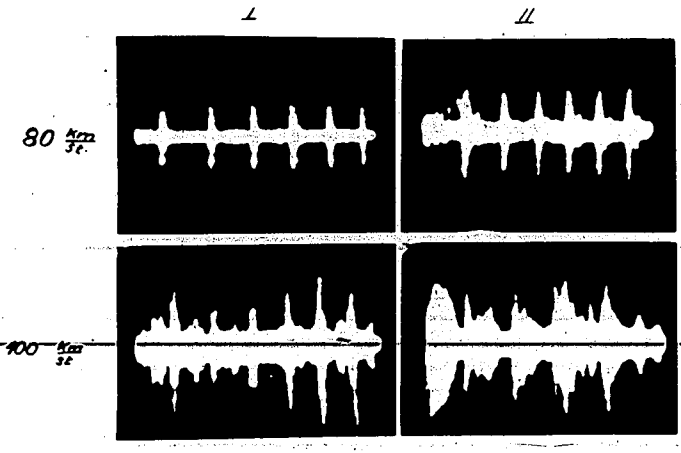
Kraftstoff CZ 65



Aufnahmen der Strassenversuche.

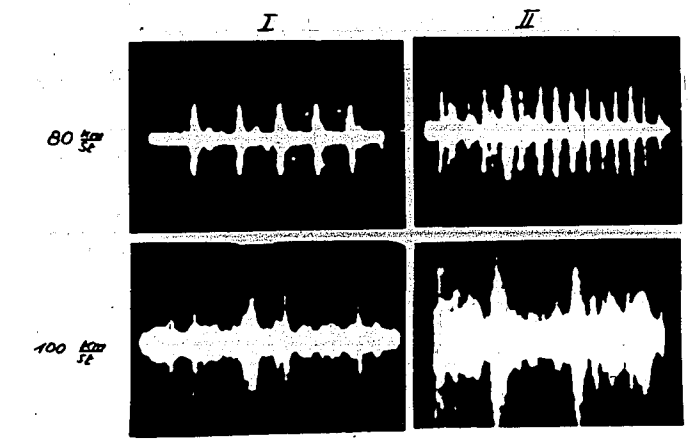
Adler 2,5 Ltr.

Abb. 16



Kraftstoff OZ 65

Abb. 17



Kraftstoff OZ 74

Es ist also einstweilen zusammenfassend zu sagen, dass der französische Renault 2,4 Ltr. eine robustere, auch einem schlechteren Benzin gewachsene. . Konstruktion darstellt als der Adler 2,5 Ltr. Motor, der für das in Deutschland übliche gute Benzin mit einer OZ 74 gebaut ist. Weitere Versuche an anderen französischen Wagen werden einen weitgehenden Einblick in dieses Problem zulassen.

Es sei noch erwähnt, dass auch an diesen Bildern die verschiedene Klopfstärke der einzelnen Zylinder eines Motors deutlich zu erkennen ist.

d) Bau eines Kristallmikrophons. Angeregt von den Fahrversuchen wurde die dort gemachten Erfahrungen berücksichtigend, ein Kristallmikrophon gebaut, das gegenüber der bisherigen Ausführungsform abgeändert und folgenden Anforderungen genügen sollte: Kleinere Abmessungen, geringeres Gewicht, weiche Aufhängung des Kristallkörpers und leichtere Einführungsmöglichkeit des Schallübertragungsdrahtes in die Klemmschraube des Mikrophons. Die Ausführung des Mikrophons ist in Abb. 20 wiedergegeben.

e) Bau eines Zündzeitpunktmessgerätes. Zur genauen Ermittlung des Zündzeitpunktes von Motoren auf dem Prüfstand und im Fahrzeug wurde ein Zündzeitpunktmessgerät nach Angaben der A.T.Z. (Jahrgang 44, Heft 3 Seite 65) gebaut. Das Gerät beruht auf der

Abb. 20

Kristallmikrophon.

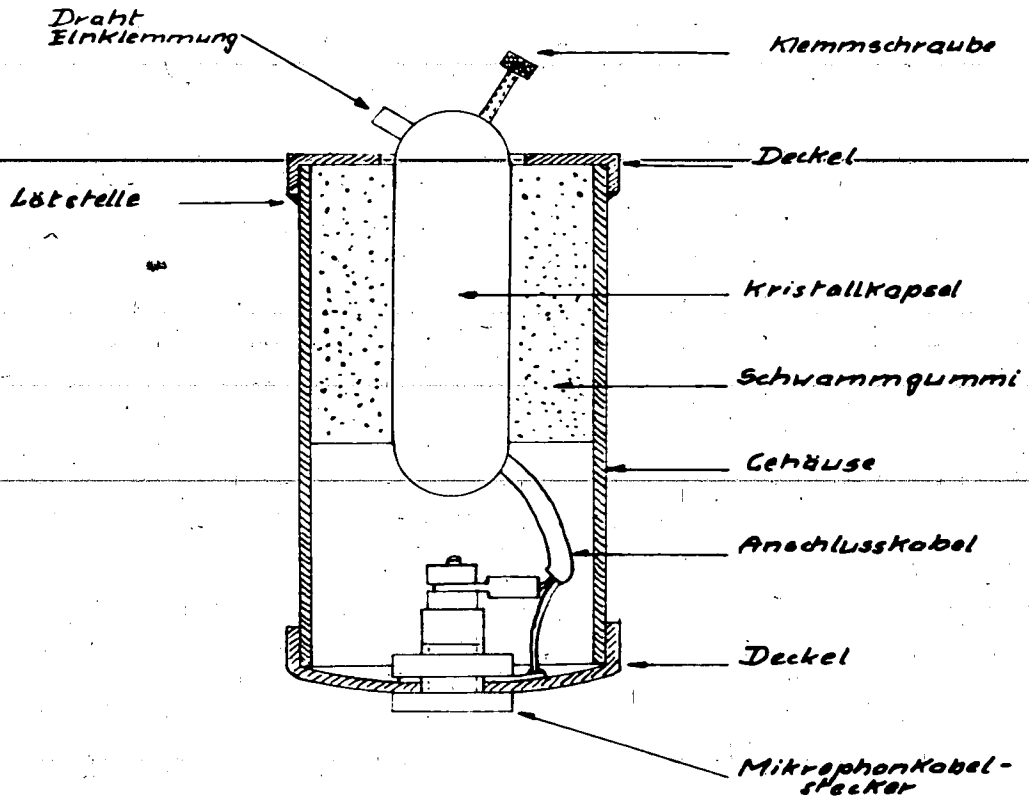
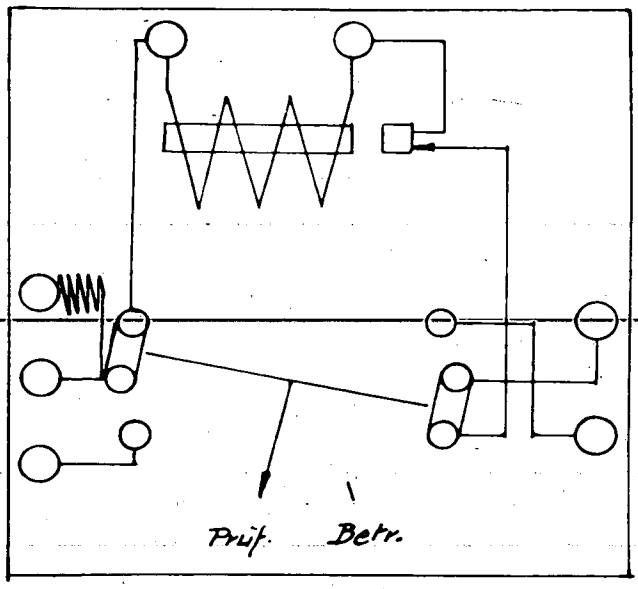
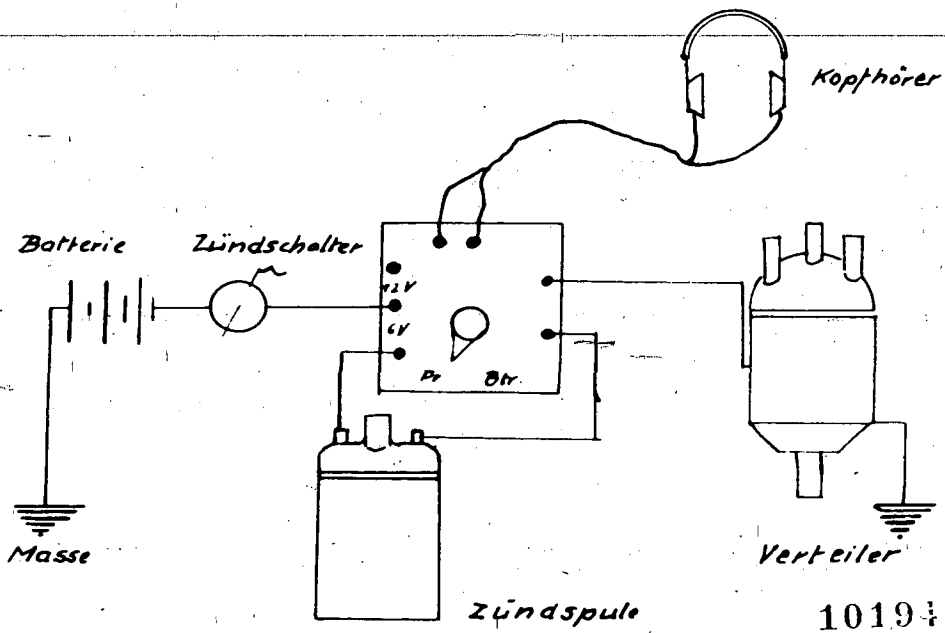


Abb. 21

Zündzeitpunktmessgerät





10194

Feststellung, dass das menschliche Ohr im Gegensatz zum Auge in der Lage ist kleinste Zeitunterschiede in der Grössenordnung von 1/50000 Sec festzustellen. Aus diesem Grunde wird ein elektrischer Summer unter gleichzeitiger Ausschaltung der Zündspulenwicklung in den Batteriekreis eingeschaltet, dessen Summton mit einem Kopfhörer abgehört werden kann, und der im Augenblick des Zündzeitpunktes, also der Unterbrecheröffnung abreisst. Der Augenblick des Abreissens des Summtones kann durch Hin-und Herdrehen des Schwungrades genau ermittelt werden. Das Schaltschema der Anlage ist in Abb. 2 wiedergegeben.

f) Klopfgeräuschfrequenzen an verschiedenen Motoren.

Bei den Versuchen auf dem Prüfstand an den 2 verschiedenen 4-Zylindermotoren Mercedes 1.7 Ltr. und Peugeot 2.1 Ltr. wurde festgestellt, dass an beiden Motoren mit verschiedenen Oszillographen verschiedene Klopfausschläge erhalten wurden. Z.B. brachten die beiden Oszillographen Bauart Martin Nier und Bauart Leybold an Mercedes 1.7 Ltr. die Klopfgeräusche gleichmässig gut, während am Peugeot 2,1 Ltr. nur mit dem Oszillographen Bauart Leybold gute Ergebnisse erhalten werden konnten. Da nun bei Aufnahme der Klopfgeräusche durch günstige Siebung nur die Frequenzen des Klopfens, die sich am meisten in ihrer Amplitude von denen der normalen Motorgeräusche abheben, dem Oszillographen zugeführt werden, so lässt die oben gefundene Tatsache folgende Schlüsse zu:

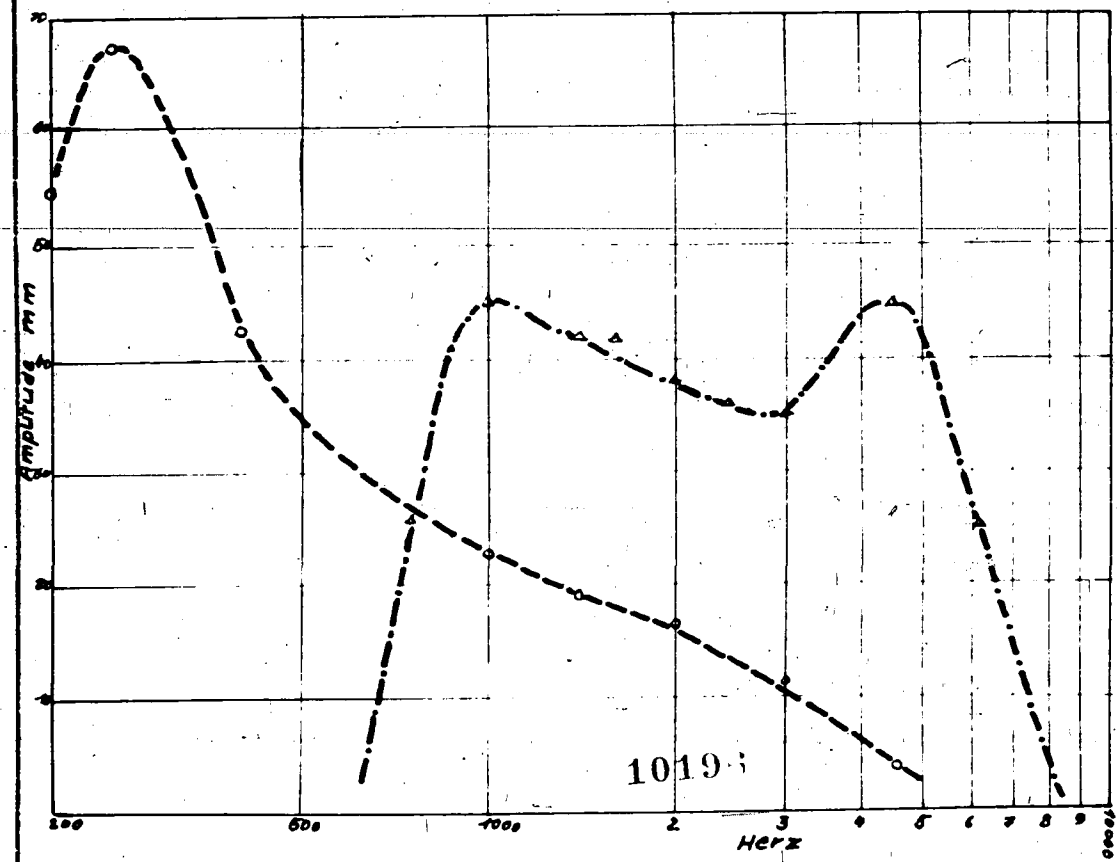
1. Die eingebauten Verstärker der Oszillographen haben eine verschiedene, teilweise nicht erwünschte Siebwirkung.
2. Die Frequenzen der Klopfgeräusche der beiden Motoren sind verschieden.

Abb. 22

Siebkurven :

---- Verstärker des Nier-Oszillogr.

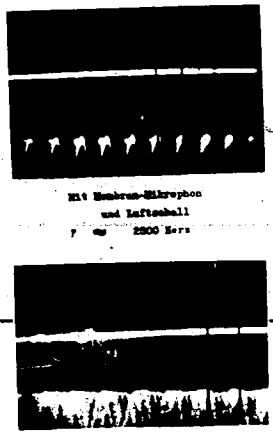
-.-.- Verstärker des alten-Oszillogr.



10193

Zur Aufklärung der Verhältnisse wurden die Siebkurven der beiden Oszillographen aufgenommen, die sich tatsächlich als sehr verschieden erwiesen und in Abb. 22 wiedergegeben sind. Die an den beiden Motoren auftretende Erscheinung liesse sich also an Abb. 22 erklären, wenn die Klopffrequenzen des Mercedesmotor zwischen 200 und 6000 Hz., und die des Peugeotmotors zwischen 6000 und 9000 Hz. lägen. Angeregt aus diesen Betrachtungen wurden ausgedehnte Klopfgeräuschfrequenz Untersuchungen an verschiedenen Motoren und auf verschiedene Schallübertragungsarten vorgenommen. Zur Bestimmung der Frequenzen wurde folgender Versuchsaufbau benutzt. Auf den unteren Strahl eines Kathodendoppelstrahlesziollographen wurde mit Hilfe eines gleichmässig mit 78 U/Min. laufenden Sprechapparates und mit Hilfe von im Handel erhältlichen Frequenzplatten eine konstante Frequenz von 1000 Hz. aufgebracht. Auf den oberen Strahl wurde wie üblich der Klopfgeräuschstrom aufgebracht. Dann wurde durch Vergrösserung der gleichmässigen Kippgeschwindigkeit der beiden Kathodenstrahlen, der Klopfgeräuschausschlag so weit auseinander gezogen, dass seine Perioden abzählbar waren. Die Aufnahmen dieses Bildes liessen sich dann leicht durch Abzählung der zwischen einer Ganzschwingung der 1000 Herz-Frequenz liegenden Schwingungen des Klopfausschlages auswerten. Klopfgeräuschfrequenzen wurden gemessen am 1-Zylinder Prüfmotor mit Luft -und Körperschallübertragung und an den Mercedes 1,7 Ltr. und Peugeot 2,1 Ltr. 4-Zylindermotoren. Die Ergebnisse sind in Abb. 23 - 25 aufgezeigt.

Abb. 28



Es fand sich, dass die am Einzylinder mit Luftschall aufgenommenen Frequenzen, wie schon frühere Untersuchungen gezeigt hatten, zwischen 2000 und 3000 Hz. liegen. Die mit Körperschall aufgenommenen Frequenzen liegen wesentlich höher bei etwa 6 – 7000Hz. Dieses lässt sich dadurch erklären, dass beim Durchtritt der Geräusche durch Luft die hohen Frequenzen sehr rasch absorbiert werden und dass der Schalldruck, der zur Anregung der Schwingungen einer Membran in Luft notwendig ist, bei hohen Frequenzen wesentlich geringer ist als bei tiefen.

Abb. 24

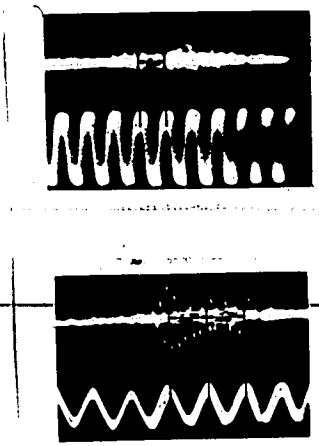
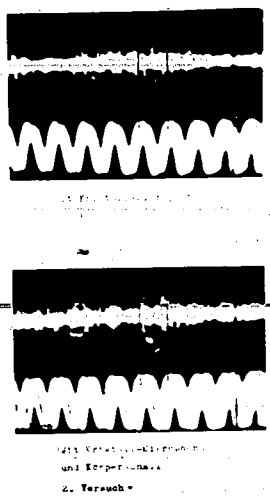


Abb. 25



An den beiden 4-Zylinder Motoren zeigten die Klopffrequenzen wie erwartet war, einen sehr grossen Unterschied und zwar liegen die Frequenzen des Mercedes 1,7 Ltr. Motors bei 5500 Hz., während die des Peugeot 2,1 Ltr. Motors die Grössenordnung von 9500 Hz. erreichen. Die Erklärung dieses Unterschiedes ist vielleicht darin zu finden, dass der Mercedes-Motor aus einem Graugussblock besteht, der eine wesentlich grössere Masse darstellt als der sehr leichte Leichtmetallzylinderkopf des Peugeotmotors. Man kann sich also vorstellen, dass der Zylinderkopf des Peugeotmotors leichter zu hohen Schwingungen angeregt werden kann als der Zylinderblock des Mercedesmotors.

Diese Erkenntnisse über die Frequenzen der Klopfgeräusche waren insofern sehr aufschlussreich als sie grundlegende Erfahrungen zum Neubau einiger Klopfmessgereäte gewinnen liessen. [1)]

Auch auf diesem Gebiete sollen noch vielseitige Versuche über das Klopfgeräusch selbst als Anreger der Klopffrequenzen Aufklärung bringen.

---

1) Vergl. Forschungsbericht "Weiterentwicklung des Klopfmessgerätes", Bearbeiter: P. Funck.