

+)

Versuche mit flüssigkeitsgekühlten Zylindern.

Von Dipl.-Ing. Penzig, Techn. Prüfst. Oppau,
I.G. Farbenindustrie A.-G., Ludwigshafen/Rh.

Die Vorträge der Herren Dr. Seeber und Witschakowski haben wohl mit aller Deutlichkeit erkennen lassen, daß sowohl die Wiederholbarkeit von Klopfversuchen als auch die Möglichkeit, verschiedene Prüfstände zu einer gleichmäßigen Beurteilung von Kraftstoffen zu bringen, noch sehr im Rückstande sind. Es ist uns wohl durch mühevollen Arbeit, bei der uns zeitweise auch Herr Dr. Seeber in dankenswerter Weise behilflich war, gelungen, eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung mit der DVL zu erreichen. Andere Stellen aber, die zudem noch mit der Abnahme von Hochleistungskraftstoffen betraut sind, messen Werte, die ständig erheblich von denen der DVL und uns abweichen.

Die Ursache kann man zunächst auf den starken Einfluß selbst scheinbar unerheblicher Abweichungen im Prüfstandsaufbau suchen. Wir empfinden dies gerade jetzt besonders deutlich, da wir unsere alten Prüfstände verlassen und die Motoren in schalldichten Räumen aufstellen.

Wir haben den Eindruck, daß die bis jetzt bestehenden Vorschriften noch unzureichend sind und der Gesamtaufbau des Prüfstandes noch sehr viel genauer festgelegt werden müßte. Trotzdem wird wegen der Anpassung an die jeweils gegebenen Verhältnisse nicht immer die genaue Einhaltung aller Maße möglich sein und die dann erforderliche mühsame Abstimmung durch Umbau der Rohrleitungen macht außerordentlich große Kosten.

Als weiterer Grund für die Abweichung der Motoren und die Erscheinung, daß sie oft von Tag zu Tag stark voneinander abweichende Werte ergeben, ist sicher die hohe Wärmebelastung des verwendeten Zylinders anzusehen.

Bereits an kleinen Motoren zeigt es sich, daß der Wärmezustand des Zylinders von großer Bedeutung für das Klopfverhalten ist. Bei größeren Zylindern, bei denen die Wärmebelastung sehr viel höher ist, können sich bereits kleine Unre-

+) s. a. Bericht Nr. 565 des Techn. Prüfstandes Oppau. I.G. L'hafen

gelmäßigkeiten, etwa in der Abdichtung des Auslaßventils, sehr stark auf das Klopfen auswirken.

Es wurde deshalb im Technischen Prüfstand Oppau damit begonnen, mit flüssigkeitsgekühlten Motoren zu arbeiten, da diese Bauart gegen Überlastung der Kühlung weniger empfindlich ist. Zugleich aber sollte festgestellt werden, wie sich die in Frage stehenden Kraftstoffe in den Motoren verhalten, in denen sie gebraucht werden. Es kam daher in erster Linie der DB 601 in Frage, dessen Einzylinder als DB 6001 bezeichnet wird. In Bild 12 ist der I.G.-Versuchsmotor, ausgerüstet mit diesem Zylinder, zu sehen. Als Nockenwelle wurde diejenige der Baureihe E mit etwa 40° Ventilüberschneidung verwendet. Als weiterer flüssigkeitsgekühlter Motor wurde aus Teilen des Vollmotors ein Einzylinder-Jumo 211 zusammengebaut (Bild 13). Der Aufbau des Zylinderkopfes ist aus Bild 14 zu ersehen. Der Betrieb der flüssigkeitsgekühlten Motoren ist viel einfacher als der mit luftgekühltem Zylinder. Es fällt nicht nur das Kühlgebläse fort, sondern auch die Absaugung, sofern man hierzu nicht das Absauggebläse für die Abgase verwendet; ferner die für genauere Versuche erforderliche Regelung der Kühllufttemperatur.

Es wurden nun alle drei Baumuster, also BMW 132, DB 6001 und Jumo 211 unter möglichst gleichen Bedingungen mit verschiedenen Kraftstoffen untersucht.

Die Versuchsbedingungen waren:

Verdichtungsverhältnis	1: 8
Ladelufttemperatur	130°C
Motordrehzahl	$n = 2000/\text{min.}$
Schmierstoffaustritt	70°C
Kühlstoffaustritt	80°C
Abgas-Absaugung, Gegendruck	3 - 400 mm WS bei Betrieb mit 1500 mm Hg Ladedruck

Als Kraftstoffe wurden B 4, CV 2b - RLM und ET 100 benutzt.

Um das Verhalten der drei Motoren-Muster bei gleicher Überladung festzustellen, wurden die sogenannten Maschinenzustandskurven bei 760 mm Hg Ladedruck und 80°C Ladelufttemperatur aufgenommen (Bild 15). Die geringere Leistung des BMW ist of-

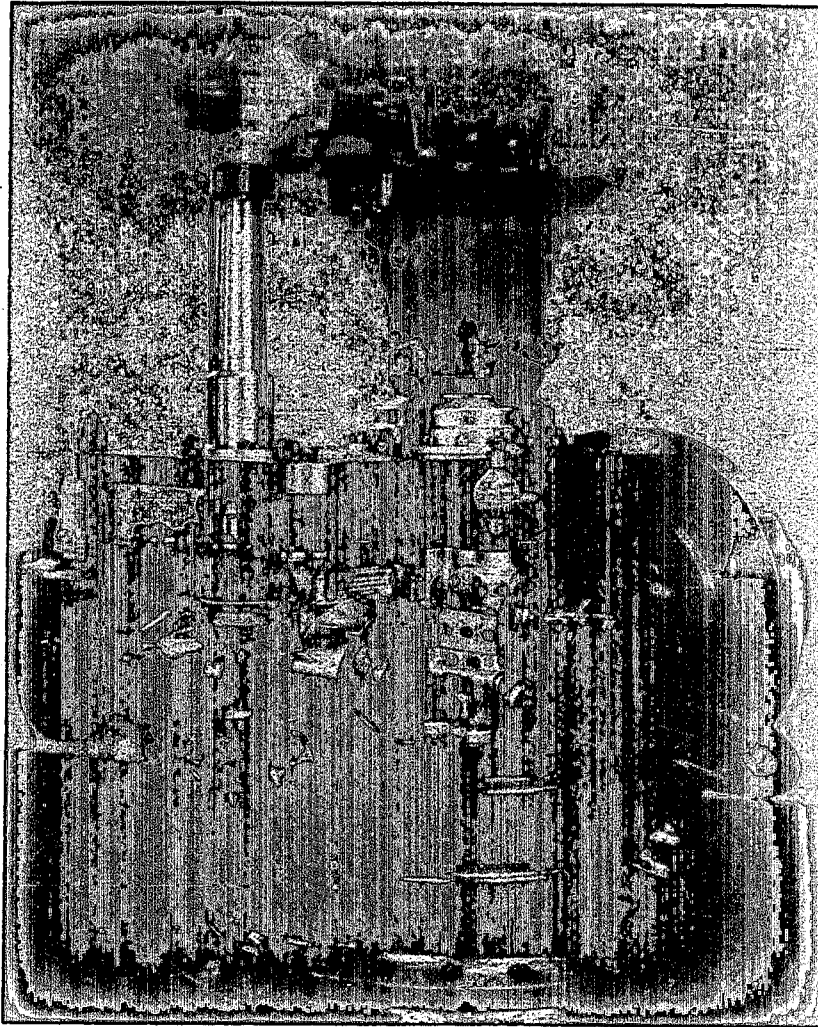


Abb. 12: I.G.-Versuchsmotor mit Daimler-Benz 6001-Zylinder

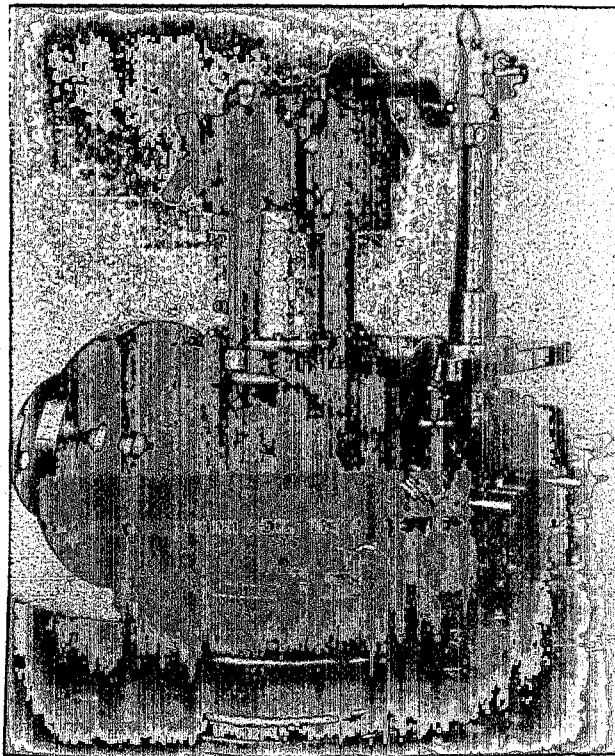


Abb.13: I.G.-Versuchsmotor mit Jumo-211 A-Zylinder

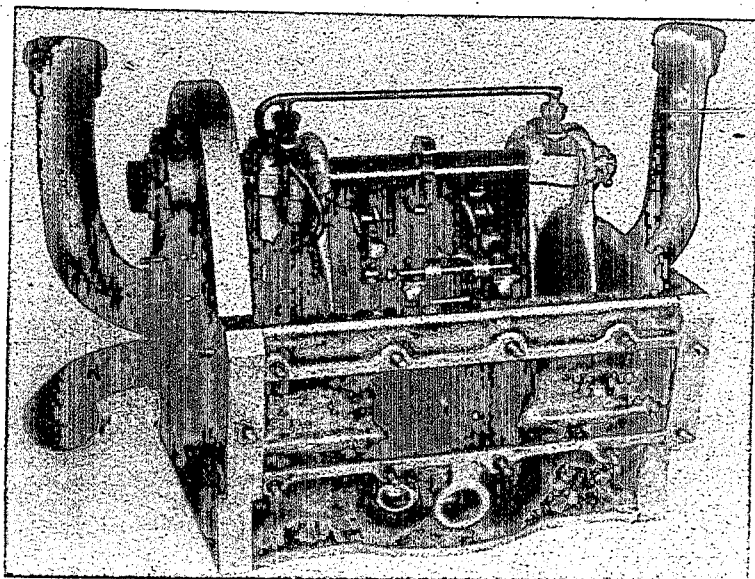


Abb.14: Zylinderkopf des I.G.-Versuchsmotors mit
Jumo-211 A-Zylinder

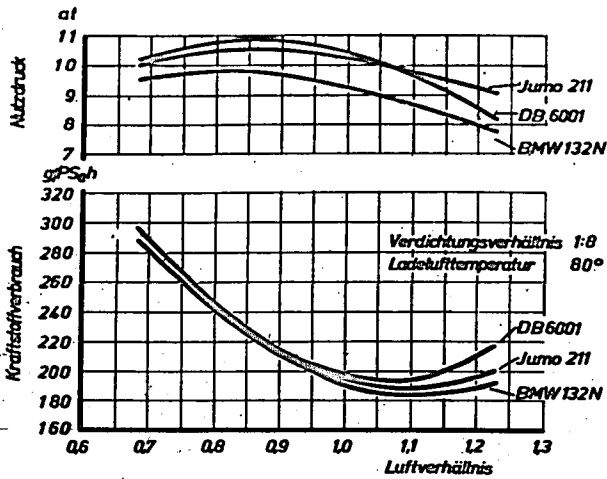


Abb.15: Vergleich von Nutzdruck u. Kraftstoffverbrauch des BMW 132 N, DB 6001 u. Jumo 211 Überlademotors

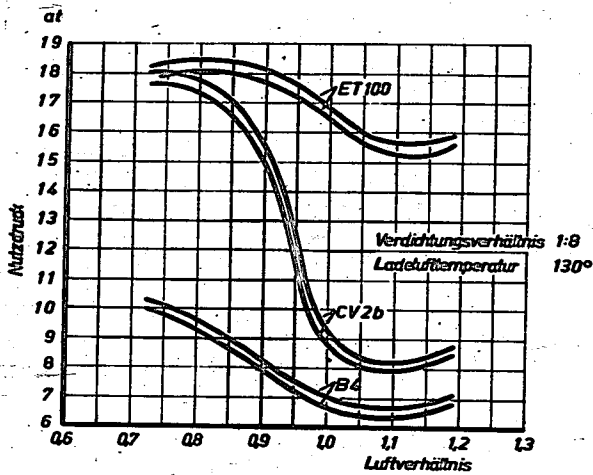


Abb.16: Bandbreite eines B4, CV 2b und ET 100 Kraftstoffes am DB 6001

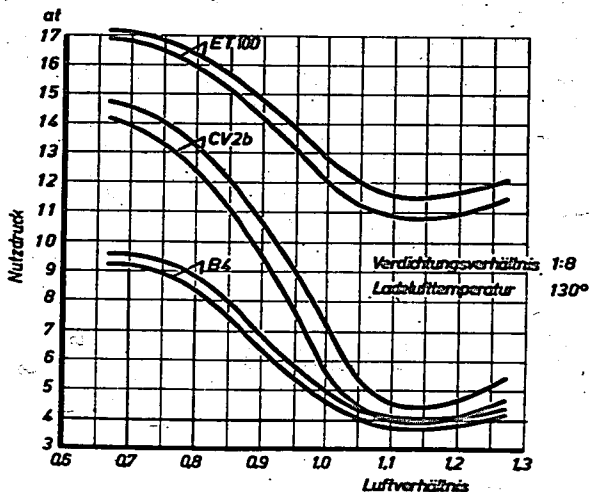


Abb.17: Bandbreite eines B4, CV 2b und ET 100 Kraftstoffes am BMW 132 N

fensichtlich auf geringeren Füllungsgrad zurückzuführen. Der Verbrauch ist dagegen sehr gut. Bild 16 zeigt die Wiederholbarkeit der drei Kraftstoffe im DB 6001. Zum Vergleich dienen die entsprechenden Kurven im BMW 132 N (Bild 17), bei denen die Fehlergrenze von $\pm 2\%$ überschritten wurde. Es ist also hieraus zu sehen, daß bei Verwendung flüssigkeitsgekühlter Zylinder mit geringeren Streuungen gerechnet werden kann.

Es wurden nun die Klopfgrenzkurven nach den Kraftstoffen geordnet (Bild 18 u.19). Es geht daraus hervor, daß die verschiedenen Baumuster die Kraftstoffe recht verschieden bewerten. Um dies deutlich zu machen, ist in Bild 20 die Mehr- bzw. Minderleistung des DB und des Jumo gegenüber dem BMW-Zylinder dargestellt. Der DB läßt sehr viel höhere Leistungen zu als der BMW 132 und zwar bewertet er besonders günstig die aromatischen Kraftstoffe. Umgekehrt hat der Jumo überraschenderweise eine geringere Überladbarkeit gezeigt und zwar zeigt die umgekehrte Reihenfolge der Kraftstoffe, daß die Ursache in höheren Temperaturen im Zylinder liegen muß⁺). Dieses Beispiel zeigt also, daß motorseitig viel getan werden kann, um die Klopfneigung herunter zu drücken, und es ist selbstverständlich zweckmäßiger, zunächst alle motorischen Möglichkeiten zu erschöpfen, bevor man daran geht, erhöhte Anforderungen an den Kraftstoff zu stellen. Das hier gewählte Beispiel zeigt überdies, wie aufschlußreich Versuche mit verschiedenen Kraftstoffen sein können, da hierdurch Mängel aufgedeckt werden können, die man selbst durch langwierige Temperaturmessungen kaum wird feststellen können.

Hatte Bild 20 gezeigt, daß günstige Kühlung des Zylinders sich gerade bei aromatischen Kraftstoffen sehr vorteilhaft auswirkt, so zeigten einige tastende Versuche mit größerer Ventilüberschneidung (Bild 21), daß auch auf die-

+) Es sei nochmals ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß das anfangs beobachtete ungünstige Abschneiden des Jumo-Zylinders keinesfalls zu einem Werturteil über dieses Baumuster benutzt werden darf, da die Wasserzuführung zum Zylinderkopf bei dem vom Techn.Prüfstd. hergestellten Einzylinder vom Vollmotor erheblich abwich. Die Versuche wurden später mit einer verbesserten Zylinderkopfkühlung wiederholt mit dem Ergebnis, daß die Klopfgrenzkurven für B 4- und CV 2b-Kraftstoff sich erheblich nach oben verlagerten und sich damit nur noch wenig von denen des DB600 unterscheiden. Man ersieht daraus, wie stark das Klopfverhalten eines wassergekühlten Zylinders durch unzureichende Kühlung verfälscht werden kann. (s. Abb. 20)

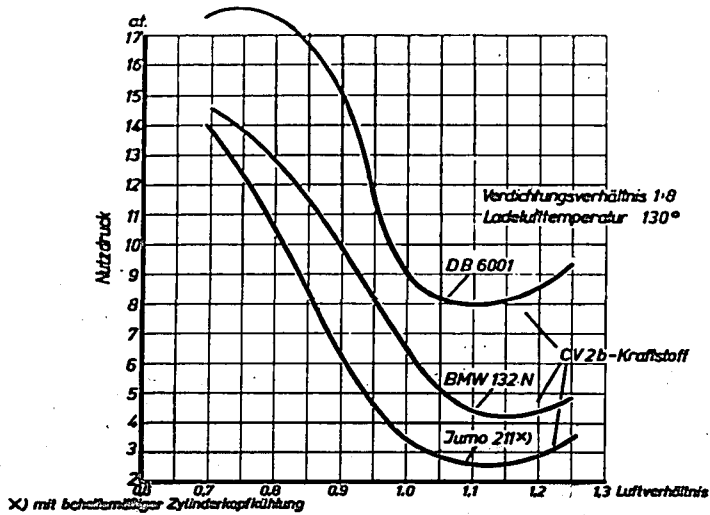


Abb.18: Vergleich der Klopfgrenzkurven des BMW 132 N, DB 6001 u. Jumo 211 Überlademotors

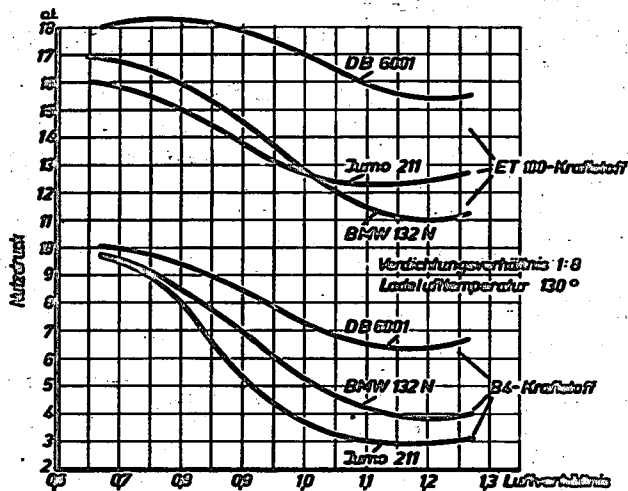


Abb.19: Vergleich der Klopfgrenzkurven des BMW 132 N, DB 6001 und Jumo 211 Überlademotors

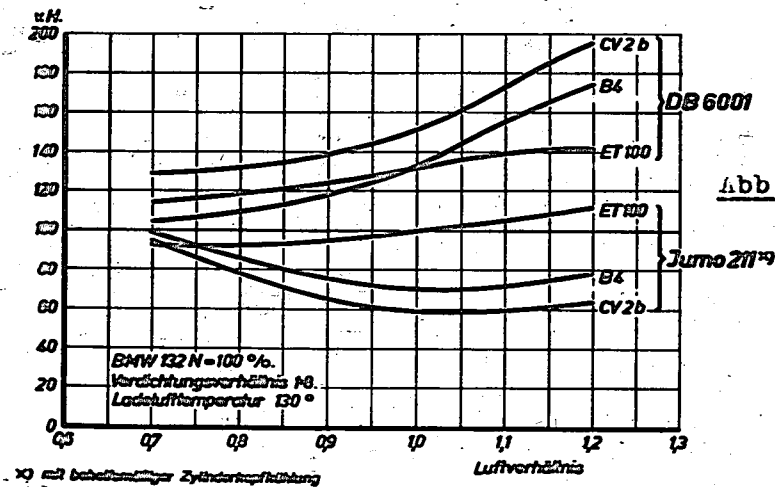


Abb.20: Bewertung von Kraftstoffen am DB 6001 u. Jumo 211 im Vergleich zu BMW 132 N

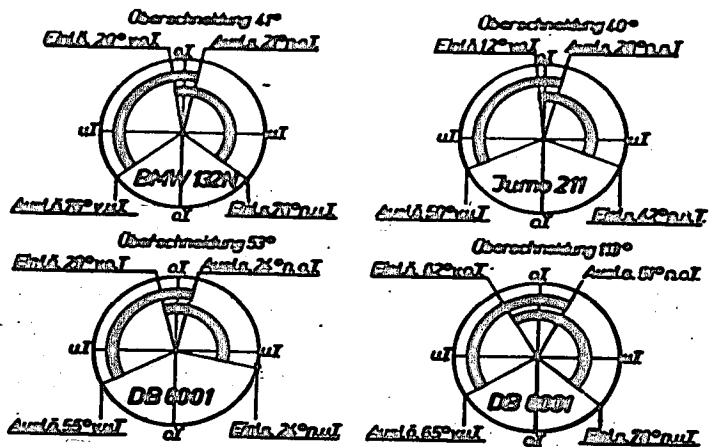


Abb.21: Steuerzeiten beim BMW 132 N, Jumo 211 u. DB 6001 Überlademotor

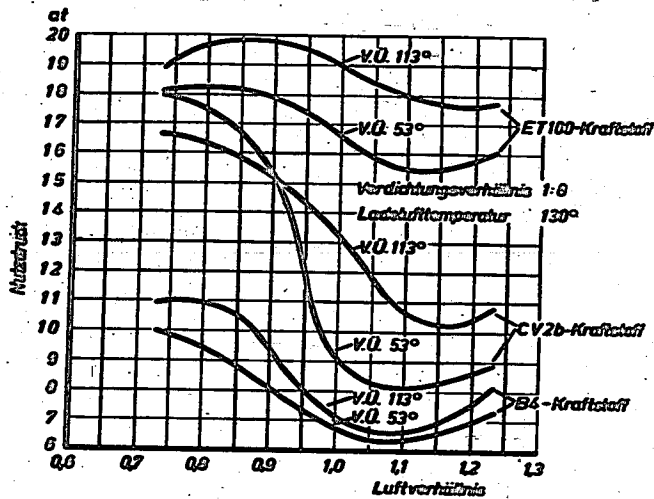


Abb.22: Vergleich der Klopfgrenzkurven des DB 6001 Überlademotors bei verschiedener Ventilüberschneidung

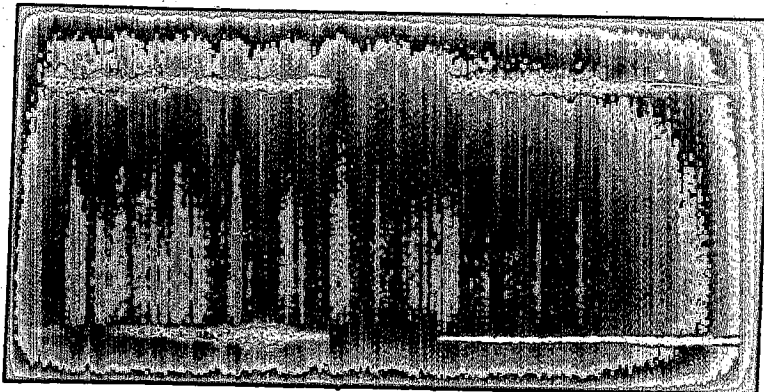


Abb.23: Verschiedene Klopfstärken aufgenommen mit magnetischem Geber

sem Wege offensichtlich beträchtliche Verschiebungen in der Bewertung der Kraftstoffe möglich sind. Aus Bild 22 ist zu ersehen, daß beim DB 6001 durch steigende Ventilüberschneidung die Klopfgrenzkurven grundsätzlich höher gelegt werden und daß dies besonders auffällig bei den Aromaten hervortritt. Die Ursache ist in besserer Kühlung des Zylinders durch erhöhte Ausspülung zu suchen. Die von anderer Stelle beobachtete Senkung der Klopfgrenzkurven im fetten Gebiet als Folge der großen Ventilzeitenüberschneidung wurde von uns nicht in gleichem Ausmaß beobachtet. Weitere Untersuchungen müßten auch den Grund einer solchen überraschenden Erscheinung klären. Es müßte dem richtigen Motorenbau überlassen werden, festzustellen, ob es grundsätzlich richtig ist, Motoren mit derartigen Steuerzeiten auszuführen.

Ein weiteres Beispiel dafür, wie das Klopfverhalten durch motorische Maßnahmen, wenn auch in diesem Falle indirekt, beeinflußt werden kann, ist folgendes: Es konnte nachgewiesen werden, daß durch Auswechseln einer bisher verwendeten Einspritzdüse gegen eine mit anderer Strahlform die Neigung zur Schmierölverdünnung bei einem Vollmotor wesentlich vermindert werden konnte. Hierdurch wurde eine größere Freiheit in der Lage des oberen Endes der Siedekurve gewonnen, sodaß es möglich wurde, die Klopfestigkeit des Kraftstoffes durch Beimischen von besonders klopfesten Stoffen zu verbessern. Da die durch Änderung der Einspritzdüse erreichte Verbesserung der Einspritzung sich auf das gesamte Verhalten des Motors günstig auswirken wird, so ist auch durch dieses Beispiel gezeigt, daß bei derartigen Untersuchungen Fortschritte sowohl für den Motor als auch für den Kraftstoff gewonnen werden können.

Durch einen weiteren Vortrag wird gezeigt werden, daß es möglich ist, laufende Untersuchungen von Kraftstoffen auf ihr Überladeverhalten auch im I.G.-Prüfmotor durchzuführen. Die hierfür notwendigen Betriebsbedingungen sind auf die Ergebnisse des jetzt üblichen BMW 132 N abgestimmt. Es wird aber stets notwendig sein, die Konstanten

dieser Gleichung zu überwachen und von Zeit zu Zeit abzuwandeln, wenn dies Fortschritte auf motorischem Gebiet erforderlich machen. Es wird auch notwendig sein, in besonders wichtigen Fällen Kraftstoff-Vergleichsversuche im großen Zylinder durchzuführen. Die besprochenen Untersuchungen haben gezeigt, daß motorische Maßnahmen sehr großen Einfluß auf das Klopfverhalten haben können. Eine eingehende Beschäftigung mit diesen Fragen im Einzylinderversuchsmotor ist unbedingt erforderlich, um die für die Entwicklung der Kraftstoffe notwendigen Richtlinien erkennen zu können.

Unsere Prüfstände werden jetzt in schalldichten Räumen aufgestellt und von einem Schaltpult aus gesteuert. Es hat sich dies als notwendig erwiesen, da die starke Lärm-entwicklung des Motors bei ständigem Betrieb zweifellos gesundheitsschädlich wirkt. Hierdurch ergibt sich aber die Frage, wie man das Klopfen erfassen soll. Der einfachste Weg besteht darin, am Zylinder einen etwa 3mm starken Draht zu befestigen und ihn durch die Wand nach außen zu leiten, wo er in einem kleinen Blechteller endet. Dieses Verfahren genügt beim Einzylinder durchaus, um das Klopfen hören zu können.

Da Klopfversuche an Vollmotoren noch fehlen, haben wir uns auch mit anderen Verfahren befaßt, das Klopfen unter Ausschaltung des übrigen Maschinenlärms beobachten zu können. Hierbei war Bedingung, daß keine Indikatorbohrung am Zylinder vorhanden sein darf. Diese Frage wurde mit Hilfe eines magnetischen Gebers, der auf den Körperschall anspricht, in recht befriedigender Weise gelöst. Unsere Versuche haben zu etwa denselben Anordnungen geführt, wie sie von Prof. A.W.Schmidt ¹⁾ benutzt werden. Eine Besonderheit unserer Anordnung besteht vielleicht darin, daß der Geber nur durch einen längeren dünnen Stahldraht mit dem Motor verbunden ist.

1) Vgl. A.W.Schmidt, Untersuchungen über das Klopfverhalten von Kraftstoffen mit dem Prüfstand und im Fahrbetrieb, Öl und Kohle 34 (1940) Nr.37, S.350.

Es hat sich nicht als zweckmäßig erwiesen, lediglich das Bild auf der Braun'schen Röhre zu betrachten, auf der die Klopfstöße so sichtbar werden, wie dies Bild 23 zeigt. Wesentlich zweckmäßiger ist es, das Klopfgeräusch mit einem kleinen Lautsprecher oder mit Kopfhörer abzuhören. Der Beobachter ist dadurch, ohne besonders auf die Beobachtung eines Instrumentes angewiesen zu sein, ständig über den Betriebszustand des Motors unterrichtet. Der mit diesem Gerät herausgesiebte Klopfton hebt sich recht klar und deutlich von den übrigen geringeren Geräuschen ab und ermöglicht auch am Einzylinderprüfstand eine bessere Erfassung des Klopfens als dies mit dem erwähnten Drahttelefon möglich ist. Es ist zu erwarten, daß das Gerät auch zum Abhören des Klopfens am Vollmotor brauchbar ist.