Mitteilungen des Technischen Prüfstandes Oppau

1943 Heft 3

Bericht

über die

Fünfte Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung

am 16. und 17. Februar 1943 in Oppau

9962

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rh.

Vertraulich!

Mitteilungen des Technischen Prüfstandes Oppau

1943 Heft 3

5

Bericht

über die

Fünfte Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung

am 16. und 17. Februar 1943 in Oppau

9963

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rh.

Teilnehmerverzeichnis

Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. W. Wilke

A.-G. der Kohlenwertstoff-Verbände, Gruppe BV	Dipl.-Ing. Waldmann, Ing. Möllnitz
A.-G. der Shell-Floridsdorfer Mineralölfabrik	Ing. Hahn
Ammoniakwerk Merseburg GmbH	Dipl.-Ing. Rueß, Honecker
Braunkohle-Benzin A.-G., Werk B	Dipl.-Ing. Stärk
Braunkohle-Benzin A.-G., Werk M	Dipl.-Ing. Meyer
Braunkohle-Benzin A.-G., Werk S	Dr. Kothe
Chem.-Technische Reichsanstalt, Berlin	Dipl.-Ing. Lehmann
Chem. Werke Essener Steinkohle	Dr. Thies
Daimler-Benz-Motoren GmbH	Chemiker Schmidt
Daimler-Benz A.-G., Werk G	Dipl.-Ing. Bokemüller, Ing. Hohensee
Daimler-Benz A.-G., Werk M	Ober-Ing. Eltze
Daimler-Benz A.-G., Werk U-T	Ing. Armbruster
Deutsch-Amerikanische Petroleum-Gesellschaft, Hamburg	Ing. Rexhäuser
Deutsche Erdöl A.-G., B	Ing. Weyh
Deutsche Erdöl A.-G., P	Dr. Spack
Deutsche Erdöl A.-G., R	Ing. Peterlowitz
Deutsche Gesellschaft für Mineralolforschung, Berlin	Dr. Lauffs
Deutsche Reichsbahn, Versuchsamt Berlin	Ing. Schweinoch
Deutsche Reichsbahn, Zentralamt Berlin	Oberreichsbahnrat Keßler, Techn. Oberinspektor Bauer
Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, Berlin	Dr.-v.-Philippovich, Dr. Seeber
Ethyl GmbH, Berlin	Ing. Morgenthaler
Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen, Stuttgart	Dr. Widmaier
Gelsenberg Benzin A.-G.	Dr. Rudolph
Gewerkschaft Deutsche Erdöl Raffinerie	Ing. Klingenberg
Gewerkschaft Mathias Stinnes	Dr. Koch
Hydrierwerke Pölitz A.-G.	Dr. Stümbke
Hydrierwerk Scholven A.-G.	Dr. Salzer, Ing. Specka
I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rh.	Dr. Dehn, Ing. Bauch
I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Techn. Prüfstand Oppau	Prof. Dr. Wilke, Dr. Schuch, Ing. Singer, Horrein
Intava Arbeitsgemeinschaft, Hamburg	Ing. Rexhäuser
Junkers Flugzeug- und Motorenwerke	Ing. Oertel, Dr. Müller
Kraftfahrtechn. Lehranstalt der SS.	Prof. Dipl.-Ing. Feifel
Krupp Treibstoffwerke	Dr. Stock
Oberkommando des Heeres HWA, Berlin	Dipl.-Ing. Weber, Ch. techn. Meyer
„Olex" Deutsche Benzin- und Petroleum GmbH, Berlin	Dipl.-Ing. Knaffl, Ing. Weise
Reichskraftsprit-GmbH, Berlin	Dipl.-Ing. Unverhau
Rhenania-Ossag Mineralölwerke A.-G., Hamburg	Dr. Neumann
Ruhrbenzin A.-G.	Dr. Schaub
RLM Berlin	Fl.-Hpt. Ing. Adam, Fl.-St. Ing. Dietrichs
RLM E'stelle R	Dipl.-Ing. Lange, Ing. Starke
T	Dr. Kübler, Dr. Wagemann, Dipl.-Ing. Bormann
U'stelle D	Dr. Schultze
LTL Dr	Dr. Rothkegel
LTL N—U	Fl.-St. Ing. Spörk, Deckwirth
LTL N—Sw	Dr. Ochmann
LTL U—Pf	Dr. Hartmann
LTL O—B	Fl.-St. Ing. Wildt, Fl.-Ing. Brandt
LTL 1/VI	Chem. techn. Nippelt
LTL 1/VII	Dipl.-Ing. Faubel
LTL 1/XVII	Dipl.-Chem. Flachsbart
LTL 2/III	Dipl.-Chem. Böttcher
Ruf Hermann, Mannheim	Ing. Olm
Steinkohlenbergwerk Rheinpreußen	Dr. Dannefelser, Ing. Kuhlmann
Techn. Hochschule Berlin V. f. K.	Dipl.-Ing. Mündler
Techn. Hochschule München, Inst. f. chem. Techn.	Dr. Kneule
Techn. Hochschule Wien, Inst. f. Phys. Chemie	Dr. Proisl
Vacuum Oil Co., Prag	Dr. Mayer
Wintershall A.-G., Werk S	Dr. Becker
Wirtschaftliche Forschungsgesellschaft Berlin	Dr. Rohrmann, Chem. techn. Roloff

9964

Inhaltsübersicht

Begrüßung: Prof. Dr.-Ing. W. Wilke 4

Vorträge

Ing. E. Singer: Bericht über die abgeschlossenen Vergleichsversuche der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung 5

Dr. W. Dannefelser: Beobachtungen beim Untersuchen von Synthesebenzin 11

Dipl.-Ing. F. Rueß: Versuche zur Octanzahlbestimmung von Flüssiggasen 19

Ing. E. Singer: Über den Einfluß von Betriebsbedingungen auf das Klopfverhalten von Kraftstoffen 24

Dipl.-Ing. H. Unverhau: Prüfstandversuche über die Brauchbarkeit der Research- und Motor-Octanzahl im praktischen Betrieb 28

Dipl.-Ing. H. Waldmann: Motor- oder Research-Methode für Erdkraftstoffe ? 33

Dipl.-Ing. F. Rueß: Ansetzen von Bleitetraäthyl-Lösungen zum Verbleien von Benzinen im Labor 35

Ergebnis der 5. Klopftagung 38

9965

Prof. Dr.-Ing. W. Wilke

Begrüßungsansprache

Ich eroffne hiermit die funfte Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung und freue mich, feststellen zu können, daß diese so überaus gut besucht ist. Ich begrüße alle Anwesenden, insbesondere die Herren von der Arbeitsgemeinschaft für das Kraftfahrwesen, des RLM, des HWA sowie des Zentralburos fur Mineralöl GmbH, Berlin.

Die Vertretung dieser Stellen gibt mir die Überzeugung, daß an der Lösung der Aufgaben, die der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung ständig aus der Praxis heraus

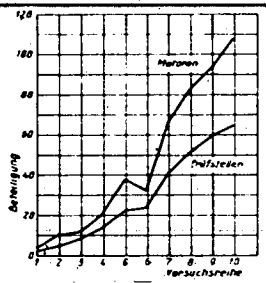


Abb. 1. Beteiligung an den Vergleichsversuchen

erwachsen, auch die zuständigen Behörden in hohem Maße interessiert sind. Waren die ersten Bemühungen dieser Arbeitsgemeinschaft vorwiegend darauf abgestellt, durch Vereinheitlichung von noch unklar gefaßten Betriebsbedingungen, von Bezugskraftstoffen und Umrechnungskurven sowie durch Schaffung von Einstellbenzinen und durch einen Erfahrungsaustausch die Meßgenauigkeit bei der Octanzahlbestimmung zu steigern, so verfolgten die Behandlungen der Fragen wie Bleiempfindlichkeit, Mischwert, OZ-Messungen über 100 u. a. das Ziel, bei den deutschen Prüfstellen zu einer einheitlichen Benennung und Bewertung dieser zusätzlichen Klopfeigenschaften der Kraftstoffe zu gelangen.

Seither sind weitere Untersuchungen über das Klopfverhalten der Synthesebenzine in Angriff genommen worden. Über das Klopfverhalten von gasförmigen Kraftstoffen herrscht vielfach Unklarheit, und die Zweckmäßigkeit von Octanzahlbestimmungen nach der Research- und Motor-Methode ist vielfach umstritten. Auch diese neuen Aufgaben werden einer Lösung zugeführt werden müssen, wozu die heutigen Ausführungen, denen sämtlich Meßergebnisse zugrunde liegen, einen wertvollen Beitrag geben dürften.

Wenn es bisher möglich gewesen ist, die angedeuteten Probleme bei der Octanzahlbestimmung zu lösen oder der Lösung nahe zu bringen, so nur, weil sich nahezu alle deutschen Prüfstellen der Industrie, der Forschung und der Überwachung zu einer freiwilligen Gemeinschaftsarbeit zusammengefunden haben, deren Rückhalt die halbjährlichen Vergleichsversuche zusammen mit den jetzt ganzjährlichen Besprechungen bilden. Die nunmehr abgeschlossene 10. Versuchsreihe gibt mir Gelegenheit, auf die Entwicklung des Teilnehmerkreises hinzuweisen *(Abb. 1)*.

Bei der 1. Versuchsreihe im August 1936 waren es drei Teilnehmer mit vier Motoren, die gemeinsam sechs Proben untersuchten. Bei der jetzigen 10. Versuchsreihe sind es 65 Teilnehmer mit 107 Motoren, die acht verschiedene Kraftstoffe bewerten. Es hatte sich im Laufe der Messungen trotz der uns dadurch erwachsenen Mehrbelastung als am zweckmäßigsten erwiesen, den einzelnen Teilnehmern nicht nur die Benzinproben, sondern auch die zugehörige Verpackung, also Kannen und Kartons zu stellen.

Manche Fragen lassen sich rascher klären, wenn in einem kleinen Kreise durch entsprechende Untersuchungen eine vorläufige Lösung gefunden worden ist, deren Richtigkeit dann im Rahmen der großen halbjährlichen Vergleichsversuche nachgeprüft wird. Aus dieser Erwägung heraus haben sich die Prüfstellen, die gleichzeitig Abnahmestellen für das Zentralbüro sind, zu einer Untergruppe zusammengeschlossen. Im Rahmen der heutigen Vorträge wird auch über das Ergebnis einer dort durchgeführten Sondermessung berichtet werden.

Ich hoffe, daß die nunmehr beginnenden Vorträge und Aussprachen für alle Teilnehmer nutzbringend sein werden und wünsche der Tagung einen guten Verlauf.

9966

Ing. E. Singer

Bericht über die abgeschlossenen Vergleichsversuche der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung

Als Ergebnis der Vergleichsversuche vom Oktober 1941 wurde festgestellt, daß die damals erreichte Meßgenauigkeit bei der Octanzahlbestimmung es gestattet, auch die Frage der Zuverlässigkeit der Klopfwertbestimmung von weniger lagerfesten Benzinen zu klären, die bei den bisherigen Versuchen noch nicht vertreten waren. In das Untersuchungsprogramm vom April 1942 und dann auch in die Versuchsreihe vom Oktober 1942 wurden deshalb erstmals Synthesebenzine aufgenommen. Weiter führte die Untergruppe „Prüfstellen des Zentral-Büros (ZB)" eine Meßreihe durch, bei welcher festgestellt werden sollte, ob die Art des Bezugskraftstoffes einen Einfluß auf die Höhe der Octanzahl ausübt. Da das erhaltene Meßergebnis allgemein interessieren dürfte, wird im folgenden außer über die beiden halbjährlichen Vergleichsversuche auch über die Versuchsreihe mit Bezugskraftstoffen berichtet.

I. Messen von Benzolgemischen mit verschiedenen Bezugskraftstoffen

Bei der Klopfmeßtagung im Juli 1941 hatten die damaligen Teilnehmer allen Abnahmestellen von Leichtkraftstoffen u. a. empfohlen, bei der Octanzahlbestimmung die einheitliche Anwendung der beiden Unterbezugskraftstoffe IG-Eichbenzin und Eichstoff Z vorzuschreiben. Während zu diesem Zeitpunkt die klopfschwache Komponente in der Bezugsmischung, nämlich das IG-Eichbenzin, bereits allgemein eingeführt war, bedeutete die einheitliche Anwendung des Eichstoffes Z für manche Prüfstellen eine Umstellung. Um sich Gewißheit darüber zu verschaffen, daß durch diese Umstellung die seitherige Meßhöhe der Kraftstoffe nicht beeinflußt wird, wurden auf Anregung der Zentralbüro für Mineralöl GmbH und im Auftrag des Heereswaffenamtes von drei Kraftstoffen die Octanzahl, der Z-Wert und der Benzolwert gemessen. Z-Wert und Benzolwert wurden über eine Umrechnungskurve in Octanzahlen ausgedrückt und mit den unmittelbar gemessenen Werten verglichen.

Da angenommen wurde, daß etwaige Unterschiede in der Bewertung der drei Kraftstoffproben besonders dann auftreten würden, wenn sich Probe und Bezugsmischung im chemischen Aufbau weitgehend unterscheiden, wurden drei Benzolgemische untersucht. Diese drei Proben waren bei verschiedenem Benzolgehalt nahezu klopfgleich, wie aus *Zahlentafel 1* hervorgeht.

Zahlentafel 1. Octanzahlen der Benzolgemische (Mittelwert)

Bezeichnung	Benzolgehalt	ROZ
DD	35 Vol.-%	75,1
DU	39 Vol.-%	75,7
M	25 Vol.-%	74,1

Von diesen drei Benzolgemischen sind durch 10 Prüfstellen mit insgesamt 19 Klopfmotoren die unmittelbare Octanzahl, der Z-Wert und der Benzolwert bestimmt worden. Der Z-Wert wurde von allen Prüfstellen über die einheitliche Umrechnungstafel in Octanzahlen ausgedrückt, hingegen erfolgte die Umrechnung des Benzolwertes über werkseigene Kurven, die im entsprechenden Kurvenausschnitt bis zu 2 ROZ auseinanderlagen. *Zahlentafel 2* vermittelt ein Bild von den erhaltenen Mittelwerten.

Das Ergebnis zeigt, daß im Mittel mit Benzol um 0,3 ROZ kleinere, mit Eichstoff Z um 0,2 ROZ größere Werte erhalten worden sind als bei der unmittelbaren Messung mit Octan. Dieser geringe Unterschied ist praktisch ohne jede Bedeutung und könnte durch ein besseres Angleichen der Eichkurven untereinander beseitigt werden.

Zahlentafel 2. Octanzahlen nach der Research-Methode beim Messen mit verschiedenen Bezugskraftstoffen

Probe	Benzol	Octan	Z
DD	74,8	75,1	75,3
DU	75,4	75,7	75,9
M	73,7	74,1	74,3

Wie aus *Zahlentafel 3* hervorgeht, sind auch die mittleren Streuungen bei den verwendeten drei Bezugskraftstoffen von ähnlicher Großenordnung.

Zahlentafel 3. Mittlere Streuung beim Messen mit verschiedenen Bezugskraftstoffen

Probe	Benzol	Octan	Z
DD	± 0,5 ROZ	± 0,4 ROZ	± 0,4 ROZ
DU	± 0,5 ROZ	± 0,4 ROZ	± 0,4 ROZ
M	± 0,7 ROZ	± 0,5 ROZ	± 0,4 ROZ

Nach diesem Ergebnis, das für die drei Stoffe Benzol, Octan und Z die völlige Gleichwertigkeit hinsichtlich ihrer meßtechnischen Eignung als Bezugskraftstoff beweist, verfügte das Heereswaffenamt die einheitliche Anwendung des Eichstoffes Z in seinem Dienstbereich, da handhabungsmäßig der Eichstoff Z Vorteile gegenüber Benzol aufweist (bessere Frostfestigkeit, Bleiempfindlichkeit, Extrapolationsfähigkeit — Eichkurve wird zur Geraden). Durch diese Versuche sind die früher durchgeführten Vergleichsmessungen der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung sowie die daraus abgeleiteten Folgerungen bestätigt worden. Nach dem Entschluß des HWA werden heute in Deutschland alle Octanzahlbestimmungen einheitlich mit den gleichen Unterbezugskraftstoffen durchgeführt, wodurch manche Fehlerquellen beseitigt und dadurch die Meßgenauigkeit gesteigert wird.

II. Messen von Benzolgemischen nach verschiedener Laufzeit

Beim Erfahrungsaustausch der Klopfprüfstände anläßlich der Klopftagung im November 1941 war angeregt worden, die Entkohlungszeiträume der Motoren zu erhöhen. Die ZB-Gruppe benutzte nun die vorbeschriebenen Versuche mit den drei Benzolgemischen noch dazu, diese Messungen dreimal durchzuführen, und zwar etwa 20, 75 und 120 Betriebsstunden nach der vorangegangenen Entkohlung des Klopfmotors. Auch hier wurde erwartet, daß bei den temperaturempfindlichen Benzolgemischen eine Änderung im Wärmeverhalten des Motors (z. B. durch Ölkohlebelag) am ehesten beobachtet werden könnte.

Mit Octan-Heptan als Bezugskraftstoff wurden bei der dreimaligen Klopfwertbestimmung nach rd. 20, 75 und 120 Betriebsstunden die erhaltenen Octanzahlen der

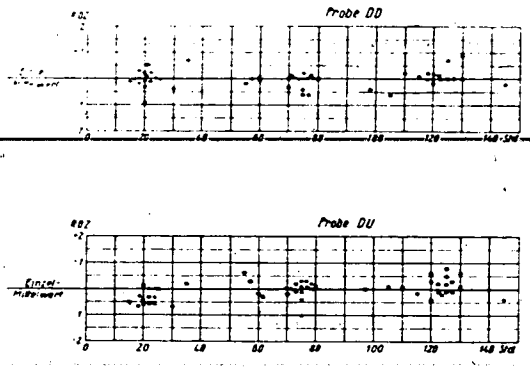
9967

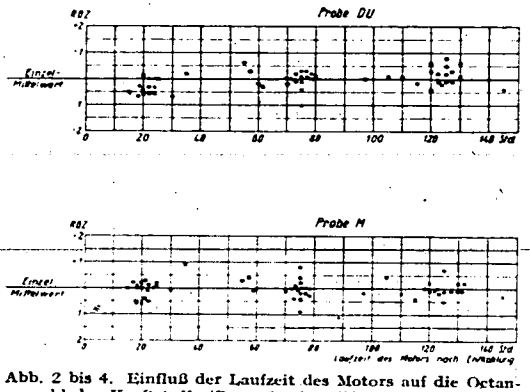
einzelnen Benzolgemische für jede einzelne Prüfstelle gemittelt und hiervon die drei Streuungen errechnet. Die Zusammenfassung dieser Abweichungen aller Prüfstellen von ihrem Einzelmittelwert zeigen *Abb. 2* bis *4* für die drei Proben DD, DU und M. Man erkennt, daß bei diesen Versuchen ein Einfluß der Laufzeit des Motors seit der Entkohlung auf die Octanzahl der Kraftstoffe nicht festzustellen ist. Damit sind die auf der obenerwähnten Klopftagung mitgeteilten Beobachtungen, wonach Entkohlungszeiträume von über 100 h in vielen Fällen die Meßgenauigkeit nicht beeinträchtigen, bestätigt worden. Es bestehen also keine Bedenken, die Entkohlungszeiträume beim Untersuchen von handelsüblichen Benzinen auf etwa 150 h statt 50 h, wie vorgeschrieben, zu erhöhen.

III. Ergebnis der beiden halbjährlichen Vergleichsversuche 1942

Versuchsprogramm

Nach der Auswertung der Versuche vom April 1942 wurden die nächsten Versuche im Oktober in der gleichen





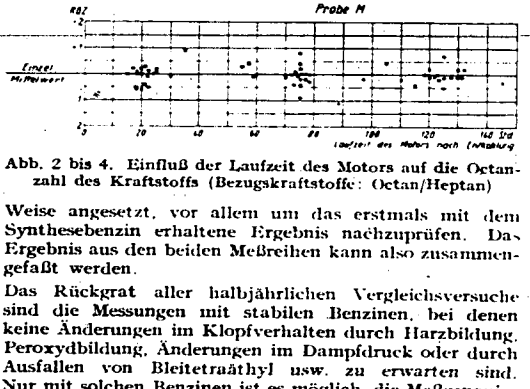


Abb. 2 bis 4. Einfluß der Laufzeit des Motors auf die Octanzahl des Kraftstoffs (Bezugskraftstoffe: Octan/Heptan)

Weise angesetzt, vor allem um das erstmals mit dem Synthesebenzin erhaltene Ergebnis nachzuprüfen. Das Ergebnis aus den beiden Meßreihen kann also zusammengefaßt werden.

Das Rückgrat aller halbjährlichen Vergleichsversuche sind die Messungen mit stabilen Benzinen, bei denen keine Änderungen im Klopfverhalten durch Harzbildung, Peroxydbildung, Änderungen im Dampfdruck oder durch Ausfallen von Bleitetraäthyl usw. zu erwarten sind. Nur mit solchen Benzinen ist es möglich, die Meßgenauigkeit bei der Octanzahlbestimmung anzugeben und die einzelnen Klopfmotoren aufeinander abzustimmen. Um den Anschluß an frühere Messungen zu sichern, wurden deshalb wieder ähnliche Benzine wie dort verwendet, zu denen erstmals ein mit Kresol als Hemmstoff versetztes Synthesebenzin kam. Da von vornherein erwartet wurde, daß dieses Benzin wesentlich ungenauer zu bestimmen sei als die stabilen Benzine, wurde bei den Versuchen im April das Synthesebenzin außer im Anlieferungszustand noch in Mischungen mit 40 Vol.-% Reinbenzol bzw. mit 50 Vol.-% Z untersucht. Von diesen beiden Mischungen hatte sich die mit Z-Zusatz als die geeignetere erwiesen, so daß dann bei den Versuchen im Oktober nur noch die Mischung mit 50 Vol.-% Z durchgeprüft wurde. Um den Prüfstellen die Möglichkeit zu geben, selbst ein benzolreiches Einstellbenzin ansetzen zu können, wurde im Oktober 1942 noch eine Mischung 50 Vol.-% Eichbenzin mit 50 Vol.-% Reinbenzol untersucht.

Demgemäß umfaßten die beiden Versuchsreihen die in *Zahlentafel 4* angeführten Proben

Zahlentafel 4. Kraftstoffproben und mittlere Streuungen bei den halbjährlichen Vergleichsversuchen

Bezeichnung April	Bezeichnung Oktober	Probe	Mittlere Streuung ROZ April	Mittlere Streuung ROZ Okt.	Prüfweise
9a	10a	Hydrierbenzin	0,5	0,5	Research-Methode
9c	10c	Benzolgemisch	0,5	0,5	
9d	10d	Bleibenzin	0,6	0,6	
9f	10f	Synthesebenz.	1,2	1,4	
50 % 9f 50 % Z	50 % 10f 50 % Z	Paraffin-gemisch	0,6	0,8	
60 % 9f 40 % Bo		Benzolgemisch	0,9		
	50 % Eichbi- 50 % Bo	Benzolgemisch		0,7	
91	101	Hydrierbenzin	0,5	0,5	Motor-Methode
92	102	Aromatenbenz.	0,7	0,7	
93	103	Hydr., gebleit	0,7	0,5	
94	104	Arom., gebleit	0,8	0,7	
Mittlere Streuung aus den Proben a—c—d			0,5	0,6	Res.-Methode
Mittlere Streuung aus den Proben 1—2—3—4			0,7	0,6	Motor-Methode

An den Versuchen beteiligten sich 65 Prüfstellen mit zusammen 72 IG- und 36 CFR-Motoren.

Meßgenauigkeit

Beim Untersuchen der stabilen Proben a, c und d sind in Einzelfällen Unterschiede bis zu 3,6 ROZ und bei den Proben 1, 2, 3 und 4 Unterschiede bis zu 4,6 MOZ aufgetreten. Die mittleren Streuungen sind, wie *Zahlentafel 4* zeigt, weit kleiner.

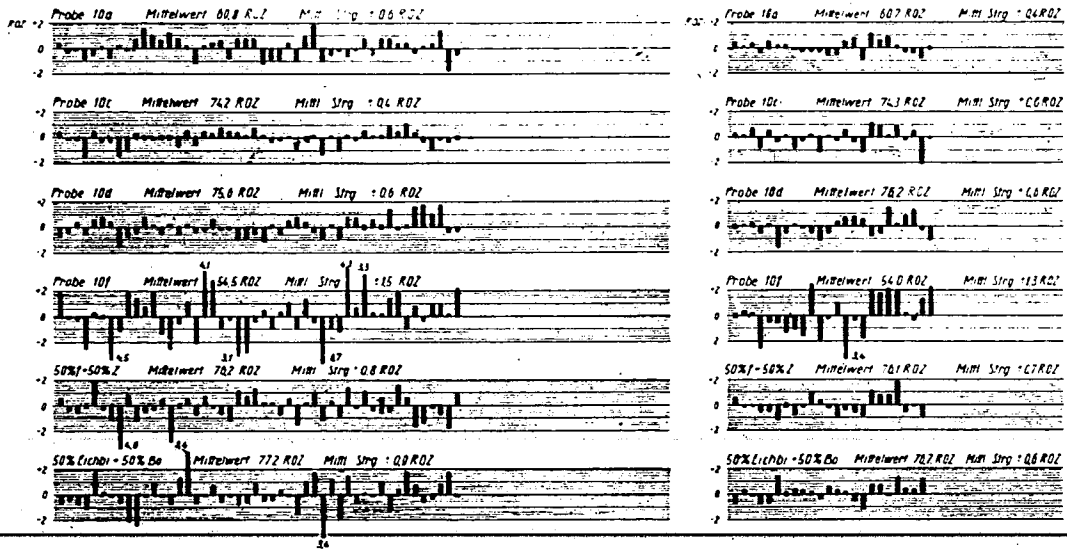
Bei der schwer meßbaren Probe f sind die Meßunterschiede beträchtlich größer als bei den vorgenannten stabilen Proben. Mischungen von Benzol und Z mit f verbessern erwartungsgemäß die Meßgenauigkeit, ohne jedoch diejenige der stabilen Proben erreichen zu können. Verlauf und Größe der Streuungen um den Mittelwert sind für die Versuchsreihe 10 nach den beiden Prüfmethoden (Research- und Motor-Methode) in *Abb. 5* dargestellt.

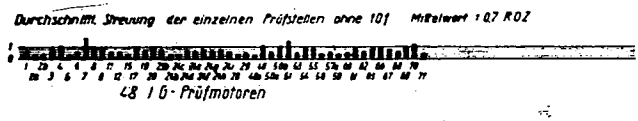
Wie *Zahlentafel 4* weiter zeigt, wurden bei den Messungen nach der Motor-Methode ähnlich große Streuungen erhalten wie bei den Messungen nach der Research-Methode, wenn hier die Ergebnisse der Probe f nicht berücksichtigt werden. Nach den letzten Messungen vom Oktober 1942 ist die Meßgenauigkeit bei der Research-Methode mit 0,6 OZ ebenso groß wie bei der Motor-Methode.

Bei diesen Versuchen nach der Research-Methode vom Oktober 1942 wurde im Mittel aus beiden Motorenarten die in der *Zahlentafel 5* angegebene Meßgenauigkeit erreicht. Hiernach wurde für die Probe 10a der größte Bewertungsunterschied mit 3,6 ROZ gegenüber der mittleren Streuung von nur ±0,5 ROZ festgestellt. Bei der Probe 10c sind die entsprechenden Werte 3,3 OZ gegen-

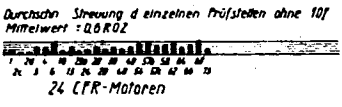
9968

Research-Methode



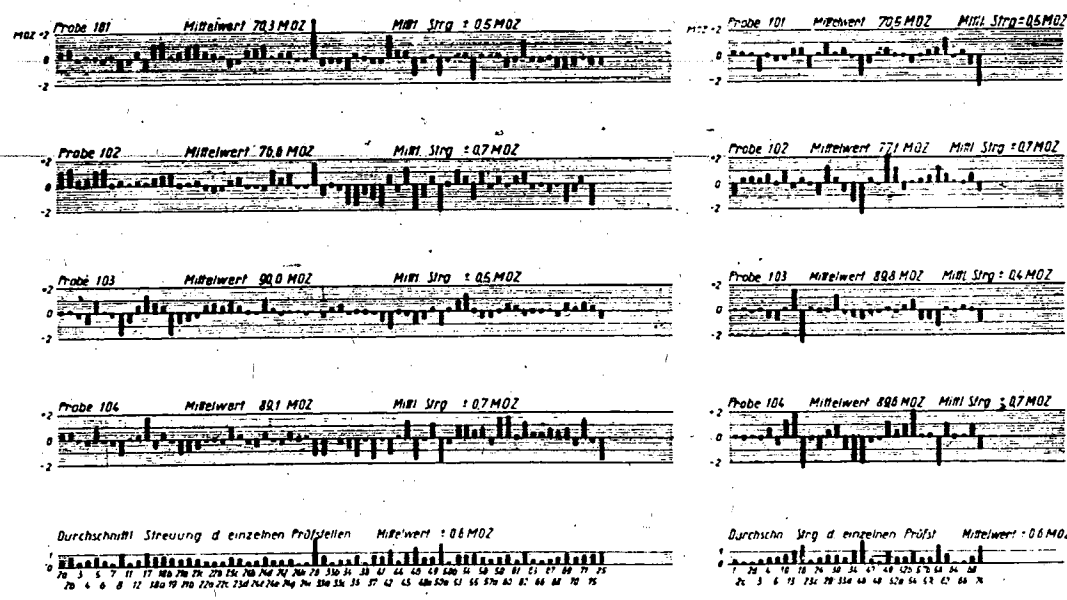


48 16-Prüfmotoren



24 CFR-Motoren

Motor-Methode



65 16-Prüfmotoren

30 CFR-Motoren

Abb. 5. Streugrenzen

9969

über ±0,5 OZ und bei der Probe 10d wurden 3,3 OZ bzw. ±0,6 OZ gemessen. Die in *Abb. 5* aufgetragenen Streuungen um den Mittelwert der Probe 10f zeigen in der Häufigkeit der großen Abweichungen, daß von dieser Probe die Octanzahl verhältnismäßig unsicher bestimmt worden ist. Dies wird durch *Zahlentafel 5* bestätigt. Hier beträgt der größte Meßunterschied 11 ROZ bei einer mittleren Streuung von ±1,4 ROZ, also etwa das Dreifache wie bei den stabilen Proben 10a, 10c und 10d. Eine Mischung dieser Probe mit dem Eichstoff Z zu gleichen Teilen vermindert die größten Unterschiede auf 6,6 ROZ und die mittlere Streuung auf ±0,8 ROZ.

Zahlentafel 5. Meßgenauigkeit

Probe	Größt. Meß-unterschied	Mittlere Streuung
10a	3,6 ROZ	±0,5 ROZ
10c	3,3 ROZ	±0,5 ROZ
10d	3,3 ROZ	±0,6 ROZ
10f	11,0 ROZ	±1,4 ROZ
50f/50Z	6,6 ROZ	±0,8 ROZ
50f/50Bo	6,8 ROZ	±0,8 ROZ
101	4,6 MOZ	±0,5 MOZ
102	4,6 MOZ	±0,7 MOZ
103	4,1 MOZ	±0,5 MOZ
104	4,6 MOZ	±0,7 MOZ

also auf rund die Hälfte der Werte für die unvermischte Probe. Auch für die als ersatzweises Einstellbenzin gedachte Benzin/Benzolmischung wurden schwankende Octanzahlen gefunden; bei einem größten Unterschied von 6,8 OZ liegt die mittlere Streuung bei ±0,8 OZ, also schlechter als dem Durchschnitt entspricht. Möglicherweise hat hier der Umstand, daß diese Probe von allen Prüfstellen selbst angesetzt werden mußte und daß hierbei verschiedene Lieferungen von Eichbenzin und Z verwendet worden sind, einen Einfluß ausgeübt. Bei den Messungen nach der Motor-Methode liegen die Verhältnisse ähnlich wie bei der Research-Methode; die Probe 10f wurde hier nicht untersucht.

Obwohl in vielen Fällen die größten Meßunterschiede von Zufälligkeiten abhängen und deshalb selten ein wahres Bild von der tatsächlich vorhandenen Meßgenauigkeit geben, so zeigen diese Werte doch, bis zu welchen äußersten Grenzen unter ungünstigen Verhältnissen die für ein Benzin erhaltenen Octanzahlen

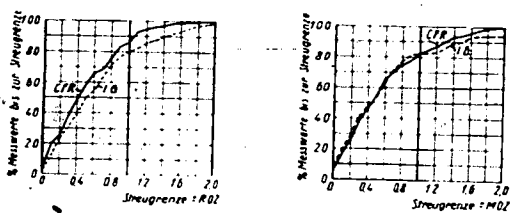


Abb. 6. Verteilung der Streugrenzen nach der Research-Methode (links) und nach der Motor-Methode (rechts) ohne Probe 10f

schwanken können. Nach den bisherigen Erfahrungen scheinen die größten Meßunterschiede etwa das Sechsfache der mittleren Streuung zu betragen; doch ist dieser Zusammenhang natürlich nur ganz lose. Zur Beurteilung der erreichten Meßgenauigkeit eignet sich besser die erzielte mittlere Streuung und die Verteilung der Streugrenzen.

Die erzielte Meßgenauigkeit ist sowohl für die einzelnen Proben als auch im Mittel für die stabilen Kraftstoffe in *Zahlentafel 4* unten angegeben. Sie beträgt jetzt rund ±0,6 OZ nach beiden Methoden und ist damit gegenüber den Versuchen vom April 1942 etwas verbessert. Die Verteilung der Streugrenzen zeigt *Abb. 6*. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der Motor- und der Research-Methode besteht nicht mehr. Nach diesen Ergebnissen wird jetzt eine Streugrenze von ±1 OZ von 82% der Klopfmotoren eingehalten und ist damit praktisch seit der letzten Tagung unverändert geblieben; hier wurde sie von 81% der Teilnehmer erreicht.

Zahlentafel 6 Mittlere Octanzahlen und Streuungen einer Benzolgemischen

Versuchsreihe	Bezeichnung	Octanzahl ROZ	Streuung ROZ
98	M	74,1	±0,5
100	9c	74,1	±0,5
101	10c	74,2	±0,5

Wiederholbarkeit

Ein Rückschluß auf die Zuverlässigkeit der Messungen eines jeden Prüfstandes ist dadurch möglich geworden, daß das Benzolgemisch „M" aus den Versuchen der ZB-Stellen bei den halbjährlichen Versuchen vom April unter der Bezeichnung „9c" und bei den Messungen im Oktober unter der Bezeichnung „10c" untersucht worden ist. Bei diesen dreimaligen, unabhängig voneinander durchgeführten Messungen sind die in *Zahlentafel 6* angeführten Mittelwerte erhalten worden.

Man sieht, daß mit Hilfe der Mittelwertbildung die Meßwerte und auch die Streugrenzen bei allen drei Versuchen praktisch unverändert geblieben sind. Demgegenüber streuten die Ergebnisse der einzelnen Prüfstellen z. T. recht merkbar, wie aus *Abb. 7* hervorgeht.

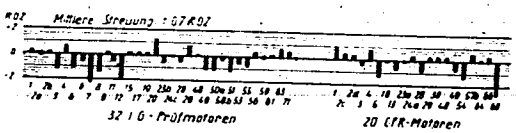


Abb. 7. Unterschied für 10c minus 9c der einzelnen Prüfstellen

Von 72 Klopfmotoren haben 52 Motoren zweimal das Benzolgemisch unter der Bezeichnung 9c und 10c untersucht. Der größte hierbei beobachtete Unterschied beträgt 2,7 ROZ und die mittlere Streuung ±0,7 ROZ. Die Wiederholung der Meßwerte an ein und demselben Motor ist also weniger genau durchgeführt worden als die OZ-Bestimmung der gleichen Probe an verschiedenen Motoren, wie ein Vergleich der entsprechenden Streugrenzen nach *Abb. 5* und *7* zeigt.

Bewertung des Synthesebenzins

Bei den Versuchen vom April und Oktober 1942 ist die Octanzahl des Synthesebenzins sehr unsicher bestimmt worden, was auch erwartet wurde. Der Ausweg, eine bessere Übereinstimmung der Meßwerte dadurch zu erzielen, daß an Stelle von Octanzahlen jetzt der Mischwert bestimmt wird, brachte keine klare Verbesserung. Nach den April-Versuchen stieg durch diese Maßnahme die Meßgenauigkeit, aber die Oktober-Versuche bestätigten dies nicht. Nach den Versuchen vom April hat sich zur Bestimmung des Mischwertes der Eichstoff Z als eine geeignetere Mischkomponente gezeigt als Benzol. Demgemäß enthielt die Mischung f/Z das Synthesebenzin f und den Eichstoff Z zu gleichen Teilen.

Es ist anzunehmen, daß die Mehrzahl der Versuchsteilnehmer die Proben unmittelbar hintereinander unter-

sucht hat. Es ist nun auffällig, daß weitaus die meisten Prüfstellen mit besonders großen Streuungen beim Untersuchen der Probe f die vorangegangenen Proben a, c und d innerhalb der üblichen Streugrenzen bewertet haben (vgl. IG-Prüfstelle 6 in *Abb. 5*). Dies beweist, daß diese Streuungen vorwiegend auf die Art des Benzins zurückzuführen sind und nicht auf die Handhabung bei der K'opfwertbestimmung. Bei solchen Kraftstoffen wie die Probe 10f sichert der richtig gefundene Kontrollwert der andersartigen Einstellbenzine 10a und 10c nicht unbedingt gegen gelegentliche stärkere Streuungen. Mit dieser Einschränkung soll selbstverständlich die Brauchbarkeit der Einstellbenzine nicht angezweifelt, sondern nur auf die Anwendungsgrenze hingewiesen werden.

Zahlentafel 7. Meßunterschiede zwischen dem IG- und dem CFR-Motor

Probe	IG	CFR	IG minus CFR
10a	60,8 ROZ	60,7 ROZ	- 0,1 ROZ
10c	74,2 ROZ	74,3 ROZ	+ 0,1 ROZ
10d	75,6 ROZ	76,2 ROZ	+ 0,6 ROZ
10f	54,5 ROZ	54,0 ROZ	- 0,5 ROZ
50f/50Z	76,2 ROZ	76,1 ROZ	- 0,1 ROZ
50f/50Bo	77,2 ROZ	76,7 ROZ	- 0,5 ROZ
101	70,3 MOZ	70,5 MOZ	+ 0,2 MOZ
102	76,6 MOZ	77,1 MOZ	+ 0,5 MOZ
103	90,0 MOZ	89,8 MOZ	- 0,2 MOZ
104	89,1 MOZ	89,6 MOZ	+ 0,5 MOZ
Mittl. Streuung ROZ	± 0,8	± 0,7	— 0,1
Mittl. Streuung MOZ	± 0,6	± 0,6	± 0,0

Vergleich der beiden Motorenarten

Bei den Messungen im April und Oktober waren rund doppelt soviel IG-Motoren wie CFR-Motoren eingesetzt. In Übereinstimmung mit den früheren halbjährlichen Vergleichsversuchen bestätigen auch diese Messungen, daß nur ein unwesentlicher Unterschied zwischen den Ergebnissen dieser beiden Bauarten besteht. Die entsprechenden Zahlenwerte für die Versuche vom Oktober enthält *Zahlentafel 7*.

IV. Rückblick über die bisher durchgeführten halbjährlichen Vergleichsversuche

Es sind bis jetzt 10 halbjährliche Vergleichsversuche durchgeführt worden, wobei von Versuch zu Versuch die Teilnehmerzahl und damit die eingesetzten Motoren zugenommen haben. In der *Zahlentafel 8* sind die Entwicklung und das hauptsächlichste Ergebnis der nunmehr abgeschlossenen 10 Vergleichsmessungen im Zeitraum zwischen 1936 und 1942 angegeben. Aus der 3. bis 5. Spalte

Zahlentafel 9. Meßgenauigkeit und Benzinsorte

Methode	Probe	Gegenüber dem Mittelwert ist die Streuung größer	gleich	kleiner	Beurteilung gegenüber dem Mittelwert
Res.-Methode	a	3 ×	2 ×	5 ×	ähnlich
	b	1 ×	2 ×	5 ×	besser
	c	2 ×	2 ×	7 ×	besser
	d	2 ×	3 ×	2 ×	ähnlich
	f	2 ×	0 ×	0 ×	schlechter
Motor-Methode	1	1 ×	1 ×	8 ×	besser
	2	4 ×	4 ×	1 ×	schlechter
	3	4 ×	2 ×	4 ×	ähnlich
	4	4 ×	0 ×	0 ×	schlechter

erkennt man die Entwicklung und den Umfang dieser Versuchsreihen. Vom 5. Arbeitsgemeinschafts-Versuch an ist der Mitarbeiterkreis möglichst umfassend gewählt worden, so daß erst von hier an von einer allgemeinen Teilnahme gesprochen werden kann. Seither ist die Teilnehmerzahl durch neu eingerichtete Prüfstellen wie auch durch Teilnahme des Auslandes weiter angestiegen. Dies äußerte sich zunächst in einem Absinken der Meßgenauigkeit, die natürlich bei den früheren Vergleichsversuchen mit wenigen, gut eingearbeiteten Prüfstellen recht hoch lag. Diese Änderung der Meßgenauigkeit kommt in den Spalten 6 und 7 zum Ausdruck.

Von den bisher untersuchten neun verschiedenen Benzinmustern a, b, c, d, f, 1, 2, 3 und 4 sind die fünf Proben a, c, 1, 2 und 3 bei allen zehn Arbeitsgemeinschafts-Versuchen eingesetzt gewesen. Sie ermöglichen deshalb einen guten Vergleich. Die Proben mit gleicher Bezeichnung, z. B. „a", sind verschiedene Lieferungen der

Zahlentafel 8. Gesamtergebnis der halbjährlichen Vergleichsversuche an Klopfmotoren

Bezeichnung Agm Vers.-reihe	Bezeichnung VV Nr.	Zeitpunkt	Anzahl der Teilnehmer	Anzahl der Motoren	Anzahl der Einzelmessung.	± 1,0 OZ eingehalt. durch %	Mittlere Streuung aller Prob. OZ	der einzelnen Proben a ROZ	b ROZ	c ROZ	d ROZ	f ROZ	1 MOZ	2 MOZ	3 MOZ	4 MOZ
1	36	Aug. 36	3	4	44	85	0,7	0,5	0,5	0,3	—	—	0,5	1,0	2,0	—
2	50	Nov. 37	5	10	118	80	0,7	0,6	0,4	0,9	—	—	0,5	0,7	0,8	—
3	59	Sept. 38	8	11	126	85	0,8	0,9	0,5	0,5	—	—	0,5	0,7	0,7	—
4	65	April 39	14	21	246	70	0,9	1,0	0,7	0,7	0,9	—	1,0	—	1,1	—
5	75	Febr. 40	23	38	458	55	1,0	0,9	1,0	1,0	1,1	—	0,9	1,0	1,4	—
6	82	Okt. 40	24	32	539	70	0,9	1,0	1,4	0,8	0,7	—	0,7	0,9	0,8	—
7	92	April 41	42	66	504	78	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	—	0,6	0,9	0,6	0,9
8	95	Okt. 41	52	84	634	81	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	—	0,6	0,9	0,6	0,8
9	100	April 42	60	94	670	82	0,7	0,5	—	0,5	0,6	1,2	0,5	0,7	0,7	0,8
10	101	Okt. 42	65	107	728	82	0,6	0,5	—	0,5	0,6	1,4	0,5	0,7	0,5	0,7

Probe a = Hydrierbenzin, rein, b = Hydrierbenzin + Alkohol, c = Hydrierbenzin + Motorenbenzol, d = Hydrierbenzin + Bleitetraäthyl, f = Synthesebenzin mit Inhibitor. Probe 1 = Paraffinbenzin, 2 = Aromatenbenzin, 3 = Paraffinbenzin, gebleit, 4 = Aromatenbenzin, gebleit.

Die Ergebnisse der beiden Motorenarten stimmen gut miteinander überein, denn der größte Unterschied beträgt 0,6 ROZ bei der Probe 10d. Alle anderen Werte sind kleiner und liegen damit innerhalb der üblichen Meßgenauigkeit. Die mittlere Streuung ist an beiden Motorenarten praktisch gleich groß, d. h. ihr Unterschied ist Null.

gleichen Erzeugerstellen. Die 7. Spalte gibt die mittlere Streuung an für die einzelnen Streuungen, die in den Spalten 8 bis 16 angeführt sind. Naturgemäß liegen diese einzelnen Streuungen teils über, teils unter diesem Mittelwert. Proben, deren mittlere Streuungen vorwiegend kleiner sind als der Mittelwert, z. B. Probe 1, können

9971

deshalb hinsichtlich der Bestimmung des Klopfverhaltens als leicht bestimmbar angesehen werden und geben deshalb eine gute Meßgenauigkeit.

Um festzustellen, in welcher Weise die Meßgenauigkeit von der Benzinsorte abhängig ist, ist in *Zahlentafel 9* für jede der neun Proben angeführt, wie oft ihre in *Zahlentafel 8* angegebenen Streuungen größer, gleich oder kleiner als die mittlere Streuung aller Proben sind.

Zahlentafel 9 zeigt, daß gegenüber dem Mittelwert bei der Research Methode das Alkoholbenzin (b) und das Benzol-Gemisch besser, das Synthesebenzin f schlechter gemessen wird, als dem Mittelwert entspricht.

Bei der Motor Methode wird besonders das ungebleite Paraffinbenzin (1) besser und das gebleite Aromatenbenzin (4) schlechter als der entsprechende Mittelwert gemessen. *Zahlentafel 8* zeigt weiter, daß die Meßgenauigkeit, wie sie in den Spalten 6 und 7 zum Ausdruck kommt, etwa auf der gleichen Höhe gehalten werden konnte, obwohl seither die Zahl der Prüfstellen und Motoren um mehr als die Hälfte zugenommen hat. Wie früher ausgeführt wurde, dürfte jetzt eine wesentliche Steigerung der Meßgenauigkeit erst dann zu erwarten sein, wenn zuvor die Wiederholbarkeit der Untersuchungsergebnisse bei den einzelnen Prüfstellen merkbar verbessert worden ist.

V. Folgerungen

1. Wiederholte Messungen am gleichen Motor haben im Mittel keine kleinere Streuung gezeigt, als bei den Messungen an verschiedenen Motoren erhalten worden ist. Deshalb kann eine bessere Übereinstimmung der Werte aller Prüfstellen zur Zeit nur auf dem Wege einer Steigerung der Meßsicherheit eines jeden einzelnen Prüfstandes erreicht werden.

2. Wenn man als Meßgenauigkeit die Streugrenze bezeichnet, die im Mittel von allen Teilnehmern eingehalten werden kann, so schwankt diese je nach Art des untersuchten Benzins zwischen ± 0,5 und ± 1,4 OZ. Diese Streugrenze wird jedoch nur von rund 60% aller Teilnehmer eingehalten.

3. Die Ergebnisse zeigen, daß die übliche Angabe der Meßgenauigkeit mit ± 1 OZ für Messungen an verschiedenen Prüfstellen und mit ± 0,5 OZ für Wiederholungen durch die gleiche Prüfstelle von der Praxis besonders dann nicht eingehalten werden kann, wenn die Benzine ganz oder teilweise Kraftstoffe enthalten, die als unsicher meßbar bekannt sind. Je nach der Art des Benzins liegen 50 bis 90% aller Meßwerte im Streubereich von ± 1 OZ.

4. Da im Gegensatz zu den vorangegangenen Versuchen im Mittel der Mischwert der Probe 10f nicht genauer bestimmt werden konnte als die unmittelbar gemessene Oktanzahl, dürfte der Mischwert als vorübergehender Ersatz der Oktanzahl allgemein noch nicht in Frage kommen. In manchen Einzelfällen ist jedoch eine bessere Angleichung beobachtet worden, weshalb weitere Untersuchungen in dieser Richtung zweckmäßig sein dürften.

5. Es ist noch nichts bekannt über die Meßgenauigkeit von Synthesebenzinen verschiedener Herkunft, über den Einfluß des Inhibitors und der Prüfmethode auf die Meßgenauigkeit. Es wird deshalb vorgeschlagen, die Untersuchungen auszudehnen und dafür die Messungen der leicht bestimmbaren Benzinproben etwas einzuschränken.

9972

Dr. W. Dannefelser

Beobachtungen beim Untersuchen von Synthesebenzin

Nachdem bei der letzten Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung in bezug auf die allgemeine Meßgenauigkeit die Voraussetzungen dazu gegeben waren, in die Ringversuche Benzine mit einzubeziehen, welche über das allgemeine Maß an Meßgenauigkeit hinaus ungewöhnliche Streuungen verursachen, stellte ich damals als besonders vordringlich und interessant das Problem der Klopfmessung von Synthesebenzin heraus. Bei der Kennzeichnung der Art und der Beschaffenheit des Synthesebenzins wies ich auf die rein aliphatische Natur und auf den Gehalt an ungesättigten Kohlenwasserstoffen hin, welche — abgesehen von den niedrigen Gliedern der n-Paraffinreihe — Hauptträger seiner Klopffestigkeit sind *(Abb. 8)*. Die ungesättigten Kohlenwasserstoffe führen erwiesenermaßen bei der Lagerung nicht zu Harzbildungen durch Polymerisation, weil es sich hier ausschließlich um Mono-Olefine und nicht, wie z. B. bei Spaltbenzinen, teilweise um Diolefine handelt.

Diese klopffesten Bestandteile des Synthesebenzins bleiben also bei der Lagerung erhalten. Gegen die für die Klopffestigkeit so gefährliche Bildung von Peroxyden sind jedoch auch die einfachen Olefine nicht ganz gefeit. Wir wissen, wie ich seinerzeit ausführte, daß sich auch im Synthesebenzin unter gewissen Bedingungen Peroxyde bilden können, welche bekanntlich die Octanzahl herabsetzen und als „Klopfpeitschen" wirken. Es lagen auch schon Erfahrungen darüber vor, daß bei der Lagerung großer Mengen eine wesentliche Peroxydbildung nicht zu befürchten ist, da offenbar die Bereitschaft zur Autoxydation bei den Mono-Olefinen viel geringer ist als z. B. bei den Dienen. Ich konnte jedoch Beobachtungen und Ergebnisse bekanntgeben, wonach Untersuchungsproben, d. h. also Benzinproben in kleineren Gebinden, unter gewissen Bedingungen dem Einfluß einer Peroxydbildung verfallen können. Ich wies ferner darauf hin, daß durch Verdampfung der leichter siedenden Anteile eine Änderung der Klopffestigkeit zu befürchten sei. Während aber Verdampfung und Peroxydbildung zu einem ausgesprochenen Octanzahl-Rückgang führen, konnte ich darauf hinweisen, daß außerdem bei der Klopfmessung von Synthesebenzin außerordentliche Streuungen auftreten können, und zwar vor allem zwischen verschiedenen Prüfmotoren, gelegentlich aber auch bei in verschiedenen Zeitabständen wiederholten Messungen an ein und derselben Maschine. Auch diese Beobachtungen wurden in der damaligen Aussprache von verschiedenen Seiten bestätigt. Nachweislich beruht diese Erscheinung nicht auf zuvor im Benzin gebildeten Peroxyden, was schon daraus hervorging, daß bei Klopfmessungen mit ein und demselben Benzin nicht nur niedrigere, sondern auch wieder höhere Octanzahlen gefunden wurden.

Wenn dieses damals aufgezeigte Problem von den Teilnehmern der Tagung nicht unterschätzt worden ist, so kann nicht erwartet werden, daß ich heute schon eine vollständige Lösung vortragen kann. Die beiden letzten Ringversuche gaben lediglich ein Bild über die auftretenden Streuungen. Es liegen aber auch inzwischen außer eigenen Versuchen weitere Beobachtungen und Versuchsergebnisse verschiedener Prüfstellen des Zentralbüros vor, welche mir zwecks einheitlicher Auswertung zugestellt worden sind. Es erscheint daher als eine nützliche Aufgabe, alles uns bisher auf diesem Gebiet Bekannte zu einem klaren Bild zusammenzufassen, welches gestattet, daraus Schlüsse für die weitere Behandlung des Problems zu ziehen.

Bevor ich auf die neueren Erfahrungen und Versuchsergebnisse eingehe, erscheint es zweckmäßig, noch einmal ganz klar herauszustellen, daß wir bei unseren Untersuchungen über das Synthesebenzin grundsätzlich drei verschiedene Punkte zu unterscheiden und zu behandeln haben:

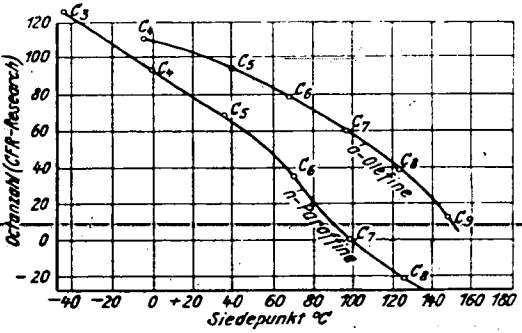


Abb. 8. Klopffestigkeit der im Benzinbereich siedenden n-Paraffine und α-Olefine

1. Auswirkung einer (physikalischen) Änderung in der Zusammensetzung des Benzins auf die Klopffestigkeit (Verdampfung).
2. Octanzahländerung durch chemische Einwirkungen auf das Benzin (Peroxydbildung).
3. Streuung der motorischen Klopfmessungen, bewirkt durch Eigenheiten der einzelnen Prüfmotoren oder gewisse Umstände bei der Klopfmessung selbst, auf welche das Synthesebenzin in besonderem Maße reagiert.

Jeder dieser drei Punkte muß für sich geprüft werden, wobei jeweils die beiden anderen — und das ist besonders zu betonen — nicht außer acht zu lassen sind. So muß man bei Untersuchungen über die beiden ersten Punkte berücksichtigen, daß Streuungen der Klopfmessung das Ergebnis beeinträchtigen können. Da die Streuungen am stärksten unter verschiedenen Motoren auftreten, muß man Versuchsreihen auf ein und denselben Prüfmotor beschränken. Aber auch dann ist bei der Beurteilung der Ergebnisse auf Streumöglichkeit von in verschiedenen Zeitabständen ausgeführten Klopfmessungen Rücksicht zu nehmen. Am sichersten ist es, wenn man den Versuch so durchführt, daß mehrere in verschiedener Weise behandelte Proben zu gleicher Zeit am gleichen Prüfmotor geklopft werden. Muß man allerdings Lagerversuche in längerem Zeitraum durchführen, so ist der Einfluß einer Klopfmeßstreuung in Kauf zu nehmen, und die Versuche sind entsprechend auszuwerten. Die laufenden Kontrollmessungen mit Einstellkraftstoffen besagen dabei so gut wie nichts, da die Streuungen, wie später gezeigt wird, auch dann auftreten, wenn der Prüfmotor die Einstellkraftstoffe richtig bewertet.

9973

Von dem Einfluß einer teilweisen Verdampfung kann man sich in jedem Fall dadurch freimachen, daß man streng auf guten Verschluß der Probe- und Standgefäße achtet.

Eine Peroxydbildung wird man bei Untersuchungen über die beiden übrigen Punkte durch entsprechende Versuchsanordnung und Beschränkung auf möglichst kurze Versuchsdauer ausschalten können, vor allem aber

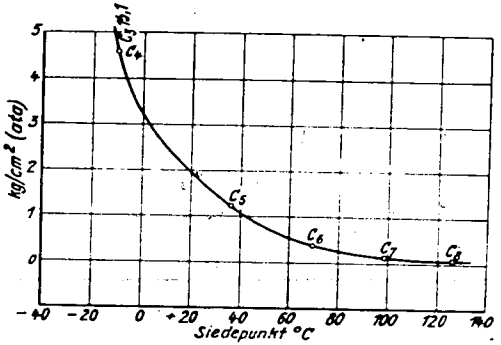


Abb. 9. Dampfdruck der n-Paraffine bei 40° C

dadurch, daß man das zu den Versuchen heranzuziehende Benzin zuvor inhibiert, was wir ja auch bei den zwei letzten Vergleichsversuchen getan haben. Daß der Inhibitor nicht auch die Streuungen unterbindet, war auf Grund von Feststellungen in der Aussprache nach meinem damaligen Vortrag zu erwarten und hat sich durch die inzwischen stattgefundenen Vergleichsversuche bestätigt. Unter diesen Gesichtspunkten möchte ich, wenn ich nun auf die genannten drei Punkte eingehe, die mir vorliegenden Versuchsergebnisse besprechen und auswerten.

I. Über den Einfluß einer Veränderung in der Zusammensetzung von Synthesebenzin durch teilweise Verdampfung

Im Zusammenhang mit den mir vorliegenden Versuchen wurde besonders in einem Fall (Versuche des BV-Labors) bei längerer Lagerung auf Veränderungen in der Zusammensetzung der Versuchsbenzine besonders geachtet. Diese Versuche wurden in 2-Liter-Kanistern mit sechs verschiedenen Synthesebenzinen durchgeführt und erstreckten sich auf einen Zeitraum von acht Wochen. In Abständen von je 14 Tagen wurden die Benzine auf Veränderung von Klopffestigkeit, Peroxydzahl und C_4-Gehalt untersucht. Die Kanister waren stets gut verschlossen, und es hat sich gezeigt, daß der C_4-Gehalt in keinem Fall merklich zurückgegangen war *(Zahlentafel 14)*, obwohl die Probekanister zu jeder Untersuchung geöffnet werden mußten.

Bei Beurteilung dieser Versuchsergebnisse hinsichtlich Peroxydbildung, worauf ich später eingehe, braucht also ein evtl. Einfluß durch Verdampfungsverluste nicht berücksichtigt zu werden. Das Ergebnis selbst bestätigt, daß bei sachgemäßer Lagerung und Behandlung von Proben ein wesentlicher Verdampfungsverlust nicht zu befürchten ist. Auch aus Lagerversuchen in größeren gut verschlossenen Fässern ist diese Tatsache bekannt. Eine gewisse, wenn auch noch so geringe Verdampfung muß aber stattfinden, wenn Proben mehrmals geöffnet, und noch vielmehr, wenn sie abgefüllt oder umgeschüttet werden. Schließlich muß sich eine damit verbundene Änderung der Zusammensetzung des Benzins doch bemerkbar machen.

Machen wir uns zunächst einmal die Verhältnisse von der theoretischen Seite her klar und betrachten wir *Abb. 8* und *9*. *Abb. 8*[1]) zeigt uns den Abfall der Klopffestigkeit mit steigendem Siedepunkt für die n-Paraffine und die einfachen Olefine. Wir sehen, daß von den n-Paraffinen C_4 und C_5, also Butan und Pentan (C_3 kommt im stabilisierten Synthesebenzin praktisch nicht vor), von den Olefinen sogar C_4 bis C_7 oberhalb einer mittleren OZ des Synthesebenzins von 50 bis 60 liegen. *Abb 9* zeigt die Abhängigkeit des Dampfdrucks vom Siedepunkt der n-Paraffine (die entsprechende Kurve für die Olefine deckt sich etwa mit derjenigen der n-Paraffine). Da die Kohlenwasserstoffe oberhalb C_5 bei 40° keinen Überdruck mehr aufweisen, ist in *Abb. 9* der absolute Dampfdruck (ata) aufgetragen. Wir sehen daß hier zum Unterschied von *Abb. 8* nur C_4, und zwar mit 2,55 atü ganz erheblich über einem mittleren Dampfdruck des Synthesebenzins von etwa 0,7 atü liegt.

Den Einfluß von C_4-Verlust auf Octanzahl und Dampfdruck zeigt *Abb. 10*. Bei einem Dampfdruck um 0,7 und einer OZ um 58 bewirkt 1% C_4-Verlust rechnerisch eine Dampfdruckerniedrigung um 0,055 und einen OZ-Abfall um 0,4 (dabei ist für C_4 eine mittlere OZ von 100 angenommen). 2% C_4-Verlust machen beim Dampfdruck 0,11 kg/cm² und bei der OZ etwa 0,9 aus. Bei reinem C_4-Verlust würde sich also bei dieser Betrachtung die Dampfdruckänderung viel deutlicher bemerkbar machen als die Änderung der OZ. Bei der tatsächlichen Verdampfung des Benzins wird aber dieser stark unterschiedliche Einfluß etwas herabgemindert. Bekanntlich setzt sich der Dampfdruck eines Flüssigkeitsgemisches nach Maßgabe der Mol-Brüche aus den Teildrücken der Mischungskomponenten zusammen, so daß anteilig alle Mischungskomponenten verdampfen. Den verschiedenartigen Dampfdrücken entsprechend enthält aber das Dampfgemisch jeweils mehr Anteile der Komponenten mit höherem Dampfdruck, so daß im Laufe der fortschreitenden Verdampfung die Flüssigkeit und damit

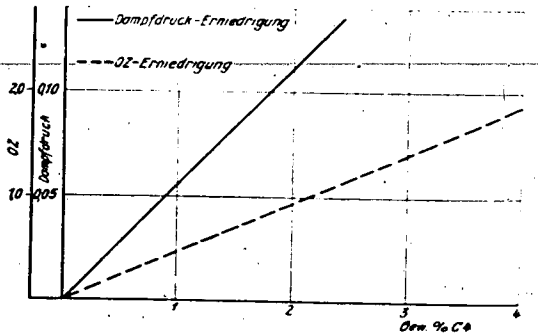


Abb. 10. Erniedrigung von Dampfdruck und Octanzahl durch C_4-Entzug bei einem Benzin mit einem Dampfdruck um 0,7 und einer Octanzahl um 58

das jeweils folgende Dampfgemisch an der leichter siedenden Komponente bzw. derjenigen mit höherem Dampfdruck immer weiter verarmt. Letzteres ist in unserem Beispiel bei Butan der Fall, welches im allgemeinen in der Größenordnung von 3 bis 5% im Synthesebenzin vorliegt. Durch seinen gegenüber dem Gesamtbenzin

[1]) Einem Schaubild nach *M. Pier* in dem „Vorbericht der Dtsch. Akad. Luftfahrtforschung", Mai 1939, entnommen.

9974

extrem hohen Dampfdruck wirkt sich auch ein geringer Verlust schon merklich aus, obwohl die Dampfdruckabnahme durch Verdampfen des reinen C_4 durch die gleichzeitige Verdampfung höherer Glieder der Paraffinreihe mit deutlich geringerem Dampfdruck als das Gesamtbenzin stark eingeschränkt wird. Anders bei der Octanzahl. Hier wirken auch die mitverdampfenden nächst höheren Glieder mit noch immer höherer Octanzahl als das Gesamtbenzin ebenfalls erniedrigend auf die Klopffestigkeit.

Ein praktisches Beispiel mag diese Überlegungen erhärten. Wir haben durch übertriebene Versuchsbedingungen die Veränderungen einiger physikalischer Konstanten sowie der Klopffestigkeit erfaßt. Es wurden aus einem Tank mit Synthesebenzin gleichzeitig drei Kanister durch Eintauchen unter die Oberfläche gefüllt und sofort gut verschlossen. Eine der Proben (I) wurde einmal in ein zweites Gefäß umgefüllt und wieder zurückgeschüttet. Bei einer weiteren Probe (II) wurde der gleiche Vorgang außerdem noch viermal wiederholt. Die Proben wurden vor und nach Behandlung genau verwogen und ebenso das Gefäß, in welches die Proben umgeschüttet wurden, um den evtl. verbleibenden Rückstand mitzuerfassen. Die Ergebnisse zeigt *Zahlentafel 10*. Man sieht, daß sich das zweimalige Umfüllen vor allem beim Dampfdruck bemerkbar gemacht hat, der um 0,02 kg/cm² deutlich gefallen ist. Die Wichte hat nicht viel zugenommen, obwohl der Gewichtsverlust 0,8% beträgt. Die Octanzahl weist keinen meßbaren Unterschied gegenüber der unbehandelten Probe auf. Bei der in fünffacher Weise so behandelten Probe (III) ist der Dampfdruck um 0,07 gefallen. Auch der Gewichtsverlust ist mit 4,1% beachtlich groß. Nun ist auch die Octanzahl deutlich abgefallen und die Wichte merklich angestiegen. In bezug auf die OZ-Messungen ist zu bemerken, daß sie an allen drei Proben gleichzeitig durchgeführt wurden, so daß mit ungewöhnlicher Streuung nicht zu rechnen ist.

Man sieht, daß bei solcher Behandlungsweise schon eine Veränderung des Benzins eintritt, die sich auch auf die Klopffestigkeit auswirkt. Praktisch bedeutsam ist die übertriebene Behandlung der dritten Probe nicht, aber ein zweimaliges Umschütten von Proben kommt gelegentlich schon vor, und man darf aus diesem Versuch den Schluß ziehen, daß die dabei auftretenden Veränderungen in der Zusammensetzung eines solchen Synthesebenzins die Octanzahl noch nicht wesentlich beeinflussen, obwohl die Verdampfungsverluste in der Hauptsache durch die leichtest flüchtigen Kohlenwasserstoffe bedingt sind, welche zugleich besonders hohe Klopffestigkeit besitzen.

Zahlentafel 10. Veränderung einiger physikalischer Konstanten und der Klopffestigkeit durch Verdampfung bei übertriebenen Versuchsbedingungen

Nr. und Gewicht der Probe	Behandlung	Wichte bei 15°	*Reid*-Dampfdruck bei 40°	ROZ	Gew.-Verlust g	Gew.-Verlust %
I	gut verschloss. kühl aufbewahrt	0,6795	0,77	60,9	—	—
II (1410,8 g)	2mal umgeschüttet	0,680	0,75	60,9	12,0	0,85
III (1392,3 g)	nach 2maligem Umschütten zwischendurch verwogen	—	—	—	11,0	0,79
	10mal umgeschüttet	0,681	0,70	58,6	57,3	4,1

Ich habe auf Grund der obigen Überlegungen das Beispiel rechnerisch überprüft. Da der Dampfdruck von Pentan nur etwa 0,2 atü beträgt, so muß ein wesentlicher Teil der Verdampfungsverluste aus Butan bestehen, um eine solche Dampfdruckerniedrigung um 0,07 bzw. 0,02 atü zu bewirken. Die Berechnung ergab, daß die Verluste zumindest zur Hälfte aus C_4, zum übrigen Teil aus höheren Kohlenwasserstoffen bestehen müssen. Das Ergebnis der weiteren Berechnungen zeigt *Zahlentafel 11*.

Zahlentafel 11. Berechnung der Verdampfungsverluste und Eigenschaften für 0,07 bzw. 0,02 at Dampfdruckabnahme

Verluste in % gesamt	Verluste in % davon für C_4 ber.	Eigenschaft	Änderung ber.	Änderung gef.
4,0	2 bis 2,5	Dampfdruck	—0,07	—0,07
	2 bis 2,5	Wichte	+ 0,0015	+ 0,0015
		ROZ	- 1,2	- 2,3
0,8	0,4 bis 0,5	Dampfdruck	—0,02	—0,02
		Wichte	+ 0,0003	+ 0,0015
		ROZ	—0,2	±0

Man sieht, daß die Veränderungen der Wichte den Berechnungen für die Dampfdruckabnahme durchaus entsprechen. Die OZ-Abnahme ist bei 0,8% Verlust mit 0,2 berechnet, also innerhalb der Fehlergrenze. Bei 4% Verlust beträgt die errechnete OZ-Abnahme 1,2. Wenn sie mit 2,3 gefunden wurde, so mag dieser Unterschied für Synthesebenzin noch im Rahmen einer recht günstigen Streuung liegen.

Zahlentafel 12. Verschiedene Art der Vermischaufstellung mit einem Synthesebenzin

B.-Nr.	Gebinde	Leerraum d. Flasche
23 839	Weiße 2-l-Flasche	Luft
23 842	Weiße 2-l-Flasche	Luft
23 843	Weiße 2-l-Flasche	N_2
23 844	Braune 2-l-Flasche	Luft
23 845	Braune 2-l-Flasche	N_2
23 840	Weiße 2-l-Flasche	Luft
23 841	Weiße 2-l-Flasche	Luft
23 859	Weiße 2-l-Flasche	Luft
25 027	200-l-Faß	Luft
25 028	200-l-Faß	Luft

Wir sehen somit, daß eine teilweise Verdampfung, soweit sie durch eine merkliche Dampfdruckerniedrigung von mehr als 0,03 kg/cm²-erkennbar ist, durchaus auf die OZ einwirkt, daß aber diese Wirkung kaum merkbar zu sein braucht, wenn Proben nicht mehr als unbedingt erforderlich umgefüllt oder sonstwie behandelt und vor allem, wenn sie verschlossen und kühl aufbewahrt werden.

Zusammenfassend kann zu Punkt I gesagt werden:

1. Wenn bei gutem Verschluß des Probegefäßes nur gelegentlich Probe entnommen wird, hat die Verdampfung des Benzins keinen praktisch bedeutenden Einfluß auf die OZ.
2. Bei mehrmaligem Ab- und Umfüllen können solche Verdampfungsverluste auftreten, daß auch die OZ merklich abfällt.
3. Erst bei 2%igem Gewichtsverlust, wenn eine Dampfdruckerniedrigung um 0,04 auftritt, zeigt sich ein über die normale Streugrenze hinausgehender OZ-Abfall.

II. Versuche über die Bildung von Peroxyden im Synthesebenzin und deren Einfluß auf die Klopffestigkeit

Hierüber wurden von verschiedenen Prüfstellen eine Reihe von Beobachtungen und Versuchen gemacht. Im allgemeinen wurden Benzinproben nach mehr oder weniger langer Standzeit in verschiedenen Gefäßen, und zwar in hellen und braunen Glasflaschen, in Blechkannen und in Fässern wiederholt geklopft

9973

Zahlentafel 12 und *13* zeigen Versuchsanordnungen und Ergebnisse des Nitag-Labors. Nach einer Standzeit von 17 Tagen fand — und zwar unter allen Bedingungen — kein wesentlicher OZ-Abfall statt, der über die beim Synthesebenzin übliche Streugrenze hinausgeht. Nach

Zahlentafel 13. Klopfmessungen zu Zahlentafel 12 nach der Research-Methode mit einem CFR-Motor

B.-Nr.	ROZ am 1. 9.	Aufbewahrung	ROZ am 7. 9.	ROZ am 18. 9.	ROZ am 2. 12.	Gebinde
23 839	61.1	i. Dunkeln		60.2		weiße Fl.
23 842	61.7	i. Licht	60.8	59.4	53.8	weiße Fl.
23 843	61.7	i. Licht		59.7	54.7	w. Fl. m. N_2
23 844		i. Licht		61.1	57.5	braune Fl.
23 845	—	i. Licht		60.8	57.5	br. Fl. m. N_2
23 840	61.5	i. Dunkeln	61.5	—	55.3	weiße Fl.
23 841	61.5	i. Licht	60.6		53.5	weiße Fl.
23 859		i. Licht		61.4	46.2	weiße Fl.
25 027	-				59.4	Faß
25 028			-	-	59.5	Faß

einem Monat jedoch waren offenbar alle Proben abgefallen. Das Benzin in den Fässern wurde um 2 OZ-Einheiten niedriger bewertet, was jedoch ebenfalls noch innerhalb der Streugrenze liegt. Diese Faßlagerung hätte unter den jetzigen Gesichtspunkten und den eingangs gegebenen Voraussetzungen über einen wesentlich längeren Zeitraum beobachtet werden müssen. Die Abnahme in den braunen Glasflaschen um 4 OZ-Einheiten ist schon deutlicher und wahrscheinlicher. In anderen Fällen wurde, allerdings mit anderem Synthesebenzin in solch kurzer Zeit praktisch kein Abfall beobachtet. Wenn auch das braune Glas weniger Licht durchläßt, so werden UV-Strahlen zweifellos die wirksameren Bestandteile des die Peroxydbildung katalysierenden Lichts, von braunem Glas auch nicht viel stärker absorbiert als von hellem Glas. Das vom Nitag-Labor untersuchte Synthesebenzin dürfte also besonders stark zur Peroxydbildung neigen. Dies wird dadurch noch unterstrichen, daß das in heller Flasche aber im Dunkeln aufbewahrte Benzin auch ohne den beschleunigenden Einfluß des Lichts schon nach einem Monat deutlichen OZ-Abfall aufweist. Am stärksten war der Rückgang unter Einwirkung des Lichts um etwa 15 Einheiten. Bei Anwesenheit von Stickstoff nach vorheriger Verdrängung der Luft, scheinen sich ebenfalls Peroxyde gebildet zu haben, vielleicht durch im Benzin gelöste geringe Sauerstoffmenge (Luft), worauf ich anschließend bei den BV-Versuchen noch zu sprechen komme.

Das BV-Laboratorium führte die bereits erwähnten Standversuche in Kanistern mit verschiedenen Synthesebenzinen durch, welche zum Teil mit Benzyl-p-aminophenol inhibiert waren. Das Ergebnis einer der Versuchsreihen ist in *Zahlentafel 14* wiedergegeben. Der bei der Lagerung ebenfalls verfolgte C_4-Gehalt ist, wie schon erwähnt, über die Zeit von 8 Wochen konstant geblieben. Bei den meisten Benzinen hat auch eine wesentliche Peroxydbildung nicht stattgefunden, nur bei den zwei ersten Benzinen, bei denen sie aber so gering ist, daß kein wesentlich über die Streugrenze für Synthesebenzin hinausgehender OZ-Abfall auftrat. Bei einer POZ-Zunahme um 5 bzw. 4 Einheiten (mg-Äquivalente aktiven Sauerstoffs je l Benzin) scheint die OZ um 3 gefallen zu sein. Andererseits zeigt das Beispiel Krupp-Benzin ohne POZ-Zunahme, daß Streuungen um fast 2 OZ in den verschiedenen Zeitabständen auftraten. Immerhin muß man befürchten, daß zumindest eine deutliche Peroxydbildung bei manchen Synthesebenzinen auch in Kanistern nach längerer Standzeit zu erwarten ist.

In einer anderen Versuchsreihe des BV-Labors wurde die Peroxydbildung durch UV-Strahlen beschleunigt. Dabei zeigte sich, daß für eine stärkere Peroxydbildung auch eine entsprechende Luft- bzw. Sauerstoffmenge vorhanden sein muß. Ist Sauerstoff in nicht genügendem Maße anwesend, so stockt die weitere Peroxydbildung. Unter anderem wurde auch bestätigt, daß sich Peroxyde bis zu einem gewissen Grad wieder entfernen lassen, und zwar durch Auswaschen mit Ferrosulfat und Ammoniumoxalat, wobei die Octanzahl wieder einen höheren Wert annimmt.

Bei den Versuchen mit der UV-Bestrahlung wurde vom BV-Labor versucht, eine zahlenmäßige Abhängigkeit zwischen POZ und OZ zu finden. Nach den vorliegenden Ergebnissen war eine solche Ableitung nicht möglich, vielleicht in der Hauptsache deshalb, weil die Streuungen bei der Klopfmessung kein klares Bild aufkommen lassen.

Inhibierte Proben zeigten sich bei normaler Lagerung unverändert. Bei UV-Bestrahlung jedoch ist je nach Stärke der Bestrahlung und Bestrahlungsdauer eine entsprechende größere Inhibitormenge erforderlich. Inhibitoren — Benzyl-p-aminophenol ist bekanntlich einer der besten — hemmen zwar, scheinen aber die Peroxydbildung nicht immer völlig zu unterbinden.

Interessant hierzu ist die Beobachtung des Technischen Prüfstandes der I. G. bei Standversuchen mit dem Synthesebenzin 10f in hellen und braunen Glasflaschen und in Blechkannen. Das Ergebnis zeigt *Zahlentafel 15*. In braunen Flaschen und in den Blechkannen war bis

Zahlentafel 14. Standversuche in Kanistern — Änderung der Research-Octanzahl, der Peroxydzahl und des C_4-Gehalts

Benzinart	Datum	ROZ	POZ	% C_4
Ruhrbenzin	2. 9. 40	47,8	1,5	4,3
	16. 9. 40	45,7	2,6	4,1
	30. 9. 40	44,7	4,5	4,0
	14. 10. 40	44,7	6,5	4,0
Veränderung vom 2. 9. bis 14. 10.		—3,0	+5,0	0,0
Bergkamen	2. 9. 40	50,6	2,1	2,4
	16. 9. 40	48,2	3,4	2,4
	30. 9. 40	48,0	6,5	2,5
	14. 10. 40	47,4	5,9	2,4
Veränderung vom 2. 9. bis 14. 10.		—3,0	+4,1	0,0
Hoesch-Benzin	2. 9. 40	51,1	0,1	4,0
	16. 9. 40	50,0	0,1	3,8
	30. 9. 40	49,8	0,1	3,5
	14. 10. 40	48,8	0,0	3,4
Veränderung vom 2. 9. bis 14. 10.		—2,0	—0,1	—1,0
Krupp-Benzin	2. 9. 40	51,4	0,1	4,7
	16. 9. 40	52,5	0,2	4,7
	30. 9. 40	53,0	0,2	4,5
	14. 10. 40	52,0	0,3	4,5
Veränderung vom 2. 9. bis 14. 10.		+1,0	+0,2	0,0
Rheinpreußen	2. 9. 40	52,0	0,1	3,5
	16. 9. 40	52,5	0,6	3,5
	30. 9. 40	52,5	0,4	3,5
	14. 10. 40	49,5	1,6	3,5
Veränderung vom 2. 9. bis 14. 10.		—2,0	+1,5	0,0
Viktor	2. 9. 40	56,6	0,0	2,2
	16. 9. 40	57,0		2,2
	30. 9. 40	57,2		2,3
	14. 10. 40	56,8	0,0	2,3
Veränderung vom 2. 9. bis 14. 10.		0,0	0,0	0,0

zum Februar 1943, also nach fünf Monaten, kein über die Streugrenze des Synthesebenzins hinausgehender Abfall zu verzeichnen, unabhängig davon, ob die Probegefäße gänzlich oder nur zur Hälfte gefüllt waren. Dasselbe trifft offenbar bis nach drei Monaten für die helle und volle Glasflasche zu.

Wenn gegenüber den früheren Messungen mit dem gleichen Prüfmotor, P 36, welche gemäß *Zahlentafel 18* zwischen 56 und 58 OZ streuten, jetzt nur 54 bis 55 OZ gefunden wurden, so ist das m. E. darauf zurückzuführen, daß die Prüfmaschine das Synthesebenzin zu dieser späteren Zeit niedriger bewertete als vorher, daß es sich also um die ungewöhnliche Streuung handelt, auf die ich noch im besonderen zu sprechen komme. Zu dieser Folgerung berechtigen außerdem die recht unterschiedlichen Bewertungen nach Motor- und Research-Methode. Immerhin ist das Synthesebenzin 10f inhibiert und dürfte ohne Einfluß von Licht, besonders in Blechkannen, weitestgehend beständig sein, wie sich das auch bei den anderen Versuchen gezeigt hat. In der hellen und halbvollen Glasflasche ist nach drei Monaten und in der vollen nach fünf Monaten eine OZ-Verminderung allerdings unverkennbar. Hier mag trotz Inhibitor eine Peroxydbildung stattgefunden haben, weil im Verhältnis zur Benzinmenge eine große Luftmenge vorhanden war. (Die anfangs volle Glasflasche nahm nach den ersten Untersuchungen ebenfalls Luft auf.)

Eine Beurteilung der Werte nach der Motor-Methode ist deshalb besonders schwierig, weil wir nicht wissen, ob hierbei ebenfalls Klopfmeßstreuungen in solchem Umfange auftreten wie bei der Research-Methode. Es wäre daher auch aus diesem Grunde zweckmäßig, bei einem der nächsten Vergleichsversuche das einzuschaltende Synthesebenzin zugleich nach der Motor-Methode zu untersuchen.

Zu der Frage, nach welcher Zeit unter Einwirkung von gewöhnlichem Tageslicht bereits mit einem merklichen OZ-Abfall gerechnet werden muß, kann ich kurz über eine neuerliche Beobachtung bei uns berichten. Zwei Synthesebenzine unserer laufenden Betriebsuntersuchung wurden je zur Hälfte in Blechkannen und in helle Glasflaschen gefüllt. Bereits nach drei Tagen wurden beide Benzine aus den dem Tageslicht ausgesetzt gewesenen Glasflaschen um rund 1 OZ niedriger bewertet als aus den Blechkannen. Dabei haben wir uns von dem Einfluß einer evtl. Klopfmeßstreuung dadurch freigemacht, daß wir alle Proben zur gleichen Zeit klopften, und zwar sowohl unvermischt als auch in Mischung mit Z. Bei Beurteilung dieser Zeitspanne für einen merklichen OZ-Abfall ist zu berücksichtigen, daß es sich erfahrungsgemäß bei unserem Synthesebenzin um ein weniger stark zur Peroxydbildung neigendes Benzin handelt. Bei empfindlicheren Benzinen muß also mit einer kürzeren Zeitspanne gerechnet werden.

Zusammenfassend lassen sich folgende Ergebnisse über die Frage der Peroxydbildung im Synthesebenzin aufstellen:

1. Peroxyde werden in Anwesenheit von Luft bzw. von Sauerstoff gebildet. Wirksam ist offenbar vor allem die im Benzin gelöste Luft, so daß eine Aufbewahrung unter indifferentem Gas, z. B. Stickstoff, nur bis zu einem gewissen Grad schützt.
2. Die Peroxydbildung schreitet im Maße des zur Verfügung stehenden Sauerstoffs fort und erreicht im allgemeinen nur in kleinen Gebinden mit einem ungünstigen Verhältnis zwischen Oberfläche bzw. Luftraum und Benzinmenge einen die Octanzahl wesentlich beeinflussenden Grad.
3. Tageslicht, insbesondere UV-Strahlen, beschleunigen die Peroxydbildung erheblich.
4. Geeignete Inhibitoren verzögern die Peroxydbildung unter normalen Bedingungen weitestgehend, wenn sie dieselbe auch, wenigstens unter dem Einfluß wirksamer Strahlen — und vielleicht auch von ungewöhnlich langer Lagerung —, nicht ganz zu verhindern vermögen.
5. Bei der Peroxydbildung im Synthesebenzin bleibt der die Klopffestigkeit im wesentlichen bedingende Olefingehalt praktisch erhalten. Daher kann
6. die Klopffestigkeit nach Auswaschen der Peroxyde wieder erhöht werden; ob restlos, ist noch fraglich.

Zahlentafel 15. Lagerung von 10f seit dem 11. 9. 1942. Änderung der Klopffestigkeit

Untersuchung im P 36	Helle Flasche		Braune Flasche		Blechkanne	
	voll	½-voll	voll	½-voll	voll	½-voll
25. 9. 1942 bis 2. 11. 1942 . . .	OZ zwischen 56 und 58 streuend (dem Licht nicht ausgesetzt)					
ROZ 16. 12. 42 .	54,8	50,3	54,8	54,8	54,8	54,8
MOZ 18. 12. 42 .	50,8	49,2	53,4	51,5	53,1	52,1
ROZ 11. 2. 43 . .	50,6	48,0	54,8	53,2	53,9	53,1
MOZ 14. 2. 43 . .	48,8	47,8	53,9	53,5	54,0	52,5

7. Eine zahlenmäßige Abhängigkeit der OZ von der POZ ist für Synthesebenzin nach den mir vorliegenden Ergebnissen bisher nicht gefunden. Ihre Ermittlung ist erschwert durch die außergewöhnlichen Streuungen, welche bei der Klopfmessung des Synthesebenzins auftreten.
8. Verschiedene Synthesebenzine neigen offenbar nicht gleichermaßen zur Peroxydbildung.

Damit ist auch über diesen Punkt eigentlich schon ein recht klares Bild gegeben, soweit wir ihn bei der Klopfmessung von Synthesebenzin zu berücksichtigen haben:

1. Proben dürfen in Glasflaschen auch nicht einen Tag lang dem Tageslicht ausgesetzt werden. Am besten vermeidet man Glasflaschen ganz. Auch braune Flaschen sind u. U. bedenklich, besonders auf längere Dauer, zumal sie meist nicht voll gefüllt sind. Wenn man schon Glasflaschen verwendet, dann sind sie unter allen Umständen vor Lichteinwirkung zu schützen. Am sichersten sind in jedem Fall Blechkanister.
2. Die Probegefäße müssen gut verschlossen sein, nicht nur im Hinblick auf eine Verdampfungsgefahr, sondern auch, um bei längerer Standzeit einer Auffrischung der in der Probe vorhandenen Luft keinen Vorschub zu leisten.
3. Für längere Zeit aufzubewahrende Proben von besonders empfindlichen Synthesebenzinen sollten zweckmäßig inhibiert werden, besonders wenn sie anderen Untersuchungen als über den Peroxydgehalt dienen sollen, wie z. B. in unserem Fall für die Untersuchung der Klopfmeßstreuungen. Für normalen Zeitraum aufzubewahrende Proben brauchen bei Beachtung der beiden ersteren Punkte nicht inhibiert zu werden.

Es erscheint zweckmäßig, über diese Ergebnisse hinaus zwei Fragen zu Punkt II noch zu klären:

a) Besteht eine zahlenmäßige Abhängigkeit der OZ von der POZ, wenigstens jeweils für Synthesebenzine gleicher OZ, und welche?

b) Bis zu welchem Grad lassen sich gebildete Peroxyde auswaschen und die ursprünglichen Octanzahlen regenerieren?

Bei Untersuchungen über Frage a) ist, worauf ich eingangs schon hinwies, die Streumöglichkeit bei den Klopfmessungen zu beachten. Man wird daher am zweckmäßigsten die Peroxydbildung nicht fortschreitend in ein und derselben Probe verfolgen, sondern sie in mehreren gleichartigen Proben zugleich in verschiedenem Maße bewirken, und zwar beschleunigt durch UV-Bestrahlung, so daß alle Proben mit nunmehr verschiedenem Peroxydgehalt am gleichen Tage geklopft und mit der unbehan-

delten Probe verglichen werden können. Frage b) ist besonders dafür interessant, daß man gelegentlich imstande sein muß, an Hand einer peroxydhaltig gewordenen Probe auf die ursprüngliche Beschaffenheit des betreffenden Kraftstoffes zu schließen.

III. Streuungen bei der Klopfmessung von Synthesebenzin

Dieser Punkt ist wohl der schwierigste, über den noch die wenigsten positiven Ergebnisse vorliegen. Wir können uns nach den inzwischen stattgefundenen zwei Vergleichsversuchen lediglich ein umfassenderes Bild über die Klopfmeßstreuungen machen, nachdem ich solche Streumöglichkeiten vor Jahresfrist nur aus einzelnen Fällen hatte aufzeigen können. Es liegen ferner weitere Einzelbeobachtungen verschiedener ZB-Prüfstellen vor.

Zunächst zu den Vergleichsversuchen, über deren Ergebnisse mit den Proben 9f und 10f wir durch die Oppauer Berichte Nr. 507 und 530 unterrichtet sind. Folgendes möchte ich davon herausstellen:

1. Die außerordentlichen Streuungen bei der Klopfmessung des Synthesebenzins bestätigen sich auf breitester Basis, und zwar auch bei Anwesenheit eines Inhibitors. Während die übrigen Versuchskraftstoffe in beiden Fällen mit einer mittleren Streuung von $\pm 0{,}5$ bis $\pm 0{,}6$ gefunden wurden, betrug die mittlere Streuung bei 9f $\pm 1{,}2$ und bei 10f $\pm 1{,}4$.
2. Die größten Bewertungsunterschiede für 9f und 10f betragen 7 bis 11 Octanzahlen, während sie für die Proben a bis d um 3 bis 3,5 OZ ausmachen.
3. Beim CFR-Motor sind auch die Streuungen für Synthesebenzin im Mittel fast ebenso groß wie beim IG-Prüfmotor.
4. Die Klopfmeßstreuungen treten auch unabhängig von Verdampfungsverlusten und Peroxydbildung auf.

Durch Messung in Mischung mit Z (1:1) scheint entgegen den damaligen Erwartungen eine tatsächliche Verringerung der Streuung nicht erreicht zu werden. Die Verringerung der Streuung bei VV (Vergleichsversuch) 100 und VV 101 ist nur eine scheinbare (vgl. die Anlagen 1 in den beiden Oppauer Berichten). Bei 9f/Z betrug die mittlere Streuung $\pm 0{,}5$ und $\pm 0{,}6$ für beide Motorarten, bei 10f/Z war sie mit $\pm 0{,}8$ und $\pm 0{,}7$ deutlich ungünstiger. Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich diese mittleren Streuungen beim Zurückrechnen auf reines Synthesebenzin verdoppeln. Sie betragen dann im Mittel für beide Motorarten $\pm 1{,}1$ bei 9f und $\pm 1{,}5$ bei 10f. Ebenso verdoppeln sich natürlich auf diese Weise die maximalen Bewertungsunterschiede. So gesehen bedeutet also der Notbehelf Synthesebenzin in Mischung mit Z zu klopfen, keine eigentliche Verbesserung. Die streuende Wirkung des Synthesebenzins wird entsprechend der zugesetzten Menge des andersartigen Kraftstoffes herabgemindert. An sich bleibt sie aber vorhanden.

Zahlentafel 16. Von einer Prüfstelle bei Vergl.-Vers. 101 gefundene OZ (Research-Methode)

Prüfmotor	10a	10c	10d	50/50 Bi/Bo
IGP Nr. 26	61,2	74,3	76,1	77,1
CFR Nr. 102	61,3	74,9	76,6	76,8
Differenz	+0,1	+0,6	+0,5	−0,3

Sehr instruktiv hierzu ist das Schaubild der Anlage 3 im Oppauer Bericht Nr. 530, wo die Streugrenzen für 10a, 10f und 10f/Z für die einzelnen Prüfstellen dargestellt sind. Den nach VV 100 und einer Reihe von Einzelerfahrungen zu erwartenden Verhältnissen entsprechen typisch z. B. die Abweichungen der Prüfstellen 6, 24b, 51 und 55. Am geringsten ist die Abweichung vom Mittelwert bei 10a; ungewöhnlich groß bei 10f (rein); in noch tragbarer Grenze dagegen bei 10f aus Mischung mit Z. Insbesondere bei den Prüfstellen 4, 7, 17 und 62 ist aber im krassen Gegensatz dazu die Abweichung vom Mittelwert bei 10f aus der Mischung mit Z erheblich größer als beim reinen 10f. Diese offenbar ganz ausgefallenen Werte bedingen wohl auch die gegenüber VV 100 bei VV 101 schlechtere mittlere Streuung mit 10f/Z.

Zahlentafel 17. Von der gleichen Prüfstelle bei Vergl.-Vers. 101 gefundene OZ (Research-Methode) für 10f

Prüfmotor	10f	10f/Z 50/50	10f rechnerisch
IGP Nr. 26	55,6	76,7	55,4
CFR Nr. 102	50,6	75,8	53,6
Differenz	5,0	0,9	1,8

Nicht zu Unrecht ist man aber versucht, an dieses Ergebnis nicht zu glauben, wenn man aus einer Reihe von Einzelbeobachtungen weiß, daß das Gegenteil der Fall ist, d. h., daß in Mischung mit Z die Streuungen tatsächlich vermindert werden. Ein typisches Beispiel liefert die Prüfstelle Rhenania Ossag. Dort ergaben

Zahlentafel 18. ROZ-Bestimmung der Probe 10f — Einfluß der Motoren

Untersuch.-Zeitpunkt 1942	ROZ, erhalten an den Prüfmotoren CFR	36	37	156*)	157*)	158*)	159*)	Bemerkungen
22. 9.				53,6				
25. 9.		58,3	57,4					
26. 9.	57,5							
29. 9.				55,2				
7. 10.					54,2	51,5		
8. 10.						51,3		
14. 10.		58,1						
16. 10.		58,1	57,8					
17. 10.							51,6	
17. 10.							51,5	Zylinderkopf und Vergaser von 36
17. 10.			57,5	55,2			51,3	
19. 10.		56,1						
19. 10.		56,7						Zylinderkopf und Vergaser von 159
19. 10.		56,8						
19. 10.			57,0					Zylinderkopf von 159, Vergaser von 36
19. 10.			55,1					Trichter 15 statt 16
20. 10.			57,5					Trichter 17 statt 16
21. 10.		58,1						Trichter 16-norm.
2. 11.	56,8		56,5					

*) Fabrikneue Motoren

9978

die Klopfmessungen zum VV 101 am IG- und am CFR-Motor gute Übereinstimmung sowohl untereinander als auch mit den Oppauer Mittelwerten innerhalb von ±0,5 (vergl. *Zahlentafel 16*). 10f jedoch wurde, wie aus *Zahlentafel 17* hervorgeht, durch den CFR-Motor um 5 Einheiten niedriger bewertet als im IGP. Für die Mischung mit Z ergab sich aber ein Unterschied von nur 0,9, der sich

Zahlentafel 19. ROZ-Bestimmung verschiedenartiger Benzinproben — Einfluß der Motoren

Probe	ROZ, erhalten an den Prüfmotoren							ROZ max. Diff.	ROZ 36-159
	CFR	36	37	156	157	158	159		
10a	60,4	60,9	61,2	61,3	60,0	61,5	61,5	1,5	—0,6
10c	74,5	74,6	74,5	75,0	74,7	74,6	74,3	0,7	+ 0,3
10d	75,6	75,3	76,2	75,4	75,4	74,6	74,7	1,6	+ 0,6
10f	57,5	58,1	57,6	54,7	54,2	51,4	51,6	6,7	+6,5
50f/50Z	77,2	76,9	76,1	76,9	77,2	77,3	76,9	1,2	±0
50 Bi/50 Bo	76,8	77,1	77,9	76,6	77,0	76,4	76,5	1,5	+0,6

zwar bei der Rückrechnung auf reines Synthesebenzin auf 1,8 erhöht, aber auch dann noch eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen den beiden Motoren ergibt als bei reinem Synthesebenzin.

Ein weiteres, besonders typisches Beispiel liefert der Technische Prüfstand der I. G. *Zahlentafel 18* zeigt, daß die einzelnen Motore bei in verschiedenen Zeitabständen wiederholten Messungen Streuungen bis zu 2 OZ ergaben. Die verschiedenen Motoren untereinander zeigen jedoch Bewertungsunterschiede bis zu 7 Einheiten. Durch die verschiedensten Maßnahmen, wie Austausch von Zylinderkopf, Vergaser, Lufttrichter usw., wurde darin keine Änderung erzielt. Aus *Zahlentafel 19* ergibt sich, daß die Octanzahlen aus den in Mischung mit Z an den verschiedenen Motoren gefundenen Werten nur noch — man kann schon sagen — unwesentlich streuen. Das ist ebenfalls ein ganz treffender Beweis für die „adstringierende" Wirkung von Z. Wie schon gesagt, sprechen andere, besonders die vorgenannten Einzelbeispiele aus den Vergleichsversuchen der I. G. wieder dagegen, und im Mittel aller ist die Wirkung von Z offenbar nur eine „verdünnende".

Eine Gegenüberstellung möchte ich in diesem Zusammengang noch bringen; ein Vergleich der von zwei Prüfstellen aus gemeinsam gezogenen Kesselwagenproben ermittelten Octanzahlen. Dabei handelt es sich um die ständige Kontrolle unserer Ablieferungen von Synthesebenzin durch eine zweite Prüfstelle, so daß eine außerordentlich große Anzahl von vergleichbaren Werten vorliegt. Ich habe die jeweiligen Abweichungen für bestimmte Zeiträume gemittelt und dabei folgendes festgestellt:

1942	Mittlere Abweichung	Größte Abweichung
1. Drittel	±2,9	6,5
2. Drittel	±1,5	3,6
3. Drittel	±1,1	3,5
Januar 1943	±0,7	2,0

Über die genannten Zeiträume hat sich also die Übereinstimmung zwischen den beiden Prüfstellen ganz erheblich gebessert. Das mag natürlich verschiedene Gründe haben. Es kann aber durchaus, zumindest zu einem wesentlichen Teil, darauf zurückzuführen sein, daß inzwischen beide Prüfstellen dazu übergegangen sind, das Synthesebenzin in Mischung mit Z zu untersuchen. Die eine Stelle untersuchte zu Anfang 1942 in Mischung mit Benzol und ging im Laufe des Jahres dazu über, in Mischung mit Z zu klopfen. Wir selbst gingen bei den Untersuchungen unserer Ablieferungen erst im letzten Drittel 1942 hierzu über, während wir vorher noch unvermischt geklopft hatten.

Zahlentafel 20 zeigt wiederholte Klopfmessungen mit dem Synthesebenzin 9f an unseren beiden Motoren in einem Zeitraum von 1½ Monaten. Dabei wurden die Proben ab 5. Februar 1942 jedesmal aus zwei mit dem gleichen Benzin gefüllten Fässern entnommen, wobei das eine Benzin inhibiert war. Wir sehen, daß sowohl mit dem reinen als auch mit dem inhibierten Benzin im IGP 12 zwischen 58 und 61 OZ und im IGP 84 zwischen 59 und 61 streuende Werte gefunden wurden. Der Inhibitor hatte also weder Einfluß auf die Streuungen noch auf die Höhe der Octanzahlen.

Über den heikelsten, nämlich den dritten Punkt, die Ursache der außerordentlichen Klopfmeßstreuungen bei Synthesebenzin, herrscht also noch immer völlige Unklarheit. Wir wissen lediglich

1. daß die Streuungen auch ohne Verdampfungsverluste und Peroxydbildung auftreten,
2. daß sie auch bei Anwesenheit eines Inhibitors auftreten und haben
3. ein klares Bild über den Umfang der auftretenden Streuungen.

Zahlentafel 20. Wiederholte Klopfmessungen mit Synthesebenzin 9f

Untersuchungs-Tag	IGP 12		IGP 84	
	rein	inhibiert	rein	inhibiert
30. 1. 1942	57,6			
30. 1. 1942	57,6			
1. 2. 1942			59,0	
1. 2. 1942			59,5	
2. 2. 1942			60,2	
3. 2. 1942			60,0	
3. 2. 1942	58,0			
4. 2. 1942	59,5			
5. 2. 1942			61,6	
5. 2. 1942				61,3
6. 2. 1942	59,8	58,9		
7. 2. 1942			61,4	
14. 2. 1942	60,5	59,5		61,4
24. 2. 1942	61,1			
25. 2. 1942			60,3	60,3
26. 2. 1942	58,1	58,1		
5. 3. 1942	60,3	58,1		
16. 3. 1942			60,3	60,3
19. 3. 1942	59,7			
19. 3. 1942	61,0	61,1		
10. 4. 1942				58,2
14. 4. 1942		58,7		

Es müssen also eingehende Versuche über die Ursache der Klopfmeßstreuungen angestellt und jede auch nur annähernd verdächtige Beobachtung verfolgt werden. Gemäß meiner eingangs gegebenen Definition über die Klopfmeßstreuungen (Punkt III) sind m. E. die Untersuchungen in folgenden drei Richtungen zu führen:

1. Welche Eigenheit der Prüfmotore ist es, auf die das Synthesebenzin besonders reagiert?
2. Gibt es gewisse Umstände bei der Klopfmessung, auf die das Synthesebenzin besonders reagiert und welche?
3. Welche Inhaltstoffe des Synthesebenzins bewirken diese besondere Empfindlichkeit?

Zu 1 ist zu bemerken, daß es nicht etwa Eigenheiten z. B. des IG-Prüfmotors im besonderen sind, denn auch der CFR-Motor ist nicht frei von Klopfmeßstreuungen.

Ungewohnliche Streuungen treten ebenso zwischen den verschiedenartigen Motoren als auch zwischen mehreren gleichartigen Motoren auf.

Zu *2* ist zu bemerken, daß ungewohnliche Streuungen bei ein und demselben Prüfmotor in verschiedenen Zeitabständen auftreten. Um nur ein Beispiel zu nennen, sei an die bekannte Erscheinung erinnert, daß Luftzug zu Streuungen führt (Änderung des Wärmezustandes). Vielleicht ist Synthesebenzin hierauf besonders empfindlich. Auf solche und ähnliche Einflusse ist zu achten.

Zu *3* sei an Versuchsergebnisse erinnert, uber welche *O. Widmaier* unter anderem berichtet hat. Dabei hatte ein Synthesebenzin in kurzer Zeitfolge wechselnde Peroxydzahlen aufzuweisen und dementsprechend höhere und niedrigere Octanzahlen. Möglicherweise handelt es sich hier um ein labiles Gleichgewicht bei der Bildung von sauerstoffreicheren Verbindungen, die keineswegs Peroxyde zu sein brauchen, aber als Peroxydzahlen ansprechen. In dieser und in ähnlicher Richtung muß versucht werden, in geringer Menge vorhandene Inhaltstoffe zu erfassen, welche die besondere Empfindlichkeit bewirken.

Nach diesen Gesichtspunkten sind in E die weiteren Untersuchungen durchzuführen, wobei die zu verwendenden Synthesebenzine im allgemeinen inhibiert werden müssen, abgesehen von solchen Untersuchungen, wie sie von *O. Widmaier* geschildert wurden. Es müssen ferner diese Versuche von einzelnen Prüfstellen durchgeführt werden, insbesondere von solchen, die in der Hauptsache mit Synthesebenzin zu tun haben. Im Interesse des Zentralbüros haben sich bereits einige seiner Prüfstellen hierzu bereiterklärt. Es wäre aber bei der Schwierigkeit des Problems zu wünschen, daß sich auch weitere Prüfstellen hierzu bereit fänden. Erst wenn auf diese Weise kritische Momente und — wenn auch nur vermeintliche — Ursachen gefunden werden, können diese auf der breiteren Basis unserer Arbeitsgemeinschaft erprobt oder bestätigt werden.

Einstweilen mussen wir uns bei der Untersuchung von Synthesebenzin in der Praxis mit der Notbrücke helfen, in Mischung mit Z zu klopfen, wenn es auch heute wieder unklar ist, ob dieser Notbehelf eine allgemeine Verbesserung bedeutet. Vielleicht wird man auch in dieser Hinsicht weitere Beobachtungen anstellen müssen und ein bei den nachsten Vergleichsversuchen einzubeziehendes Synthesebenzin wiederum zugleich in Mischung mit Z klopfen. Einstweilen wurde ich es für richtig halten, wenn — trotz der offenbaren Zweifel — Synthesebenzin im allgemeinen in Mischung mit Z untersucht wird. Für die ZB-Prüfstellen liegt eine dahingehende Übereinkunft seit einiger Zeit bereits vor, weshalb es für Synthesewerke ohnehin zweckmäßig ist, in gleicher Weise zu verfahren, um die „gleiche Sprache zu reden" wie die Abnahmekontrolle. Was wir im Hinblick auf die Klopfmessung des reinen Synthesebenzins auf der breiten Basis der Arbeitsgemeinschaft bzw. ihrer Vergleichsversuche tun können, ist zunächst lediglich eine Überprüfung des jeweils noch auftretenden Streubildes, und zwar vorschlagsgemäß auch nach der Motor-Methode.

9980

Dipl.-Ing. F. Rueß

Versuche zur Octanzahlbestimmung von Flüssiggasen

Durchführung der Versuche: Werkmeister H. Honecker

I. Einleitung

Unter Flüssiggasen versteht man unter Atmosphärendruck gasförmige Kohlenwasserstoffgemische aus anteilmäßig am stärksten vertretenen Paraffinen (Äthan, Propan Butan), Olefinen (Äthylen, Propylen, Butylen) und ihren Isomeren. Gemische, die bei Zimmertemperatur nur unter Druck verflüssigt werden können. Von diesen beiden Aggregatzuständen leitet sich die Sammelbezeichnung „Flüssiggas" ab. Auch der Name „Treibgas" hat sich eingeführt. Die Verwendung als Kraftstoff für Verbrennungsmotoren ist von Jahr zu Jahr gestiegen. Trotzdem sind die Angaben über eines der wichtigsten Kennzeichen für diese seine Verwendbarkeit, nämlich des Klopfwertes, im Fachschrifttum sehr schwankend. Das dürfte davon herrühren, daß noch keine Bedingungen für seine Bestimmung festgelegt sind, im Gegensatz zur Octanzahlbestimmung von Benzinen. Und es wird auch, besonders bei den in der amerikanischen Literatur aufgeführten, in weiten Grenzen schwankenden Octanzahlen von Flüssiggasen oft nicht angegeben, ob sie nach Motor- oder Research-Methode gefunden worden sind, unter welchen Bedingungen die Gasbeigabe stattgefunden hat usw.

In *Zahlentafel 2*[1]) sind aus einigen Schrifttumsstellen Octanzahlen von Flüssiggasen und einigen anderen Gasen zusammengestellt. Sie sollen zeigen, wie gerade bei den Flüssiggasen die Angaben auseinandergehen. Nebenbei bemerkt, kann man aus der Zusammenstellung auch die naheliegende Tatsache folgern, daß die Werte verschiedener Literaturstellen aus ein und derselben Quelle, nicht aber aus eigenen Versuchen stammen, d. h. daß sie einfach übernommen worden sind. Auf die Werte im einzelnen soll später noch eingegangen werden.

II. Zweck der Versuche

Durch die Versuche war beabsichtigt,

1. festzustellen, ob und in welchen Grenzen sich bei der Klopfwertbestimmung von Flüssiggasen die erzielten Werte bei (absichtlicher) Veränderung der Fahrbedingungen ändern und ob sich die schwankenden Angaben über Flüssiggas-Klopfwerte dadurch versuchsmäßig verwirklichen lassen, daß die Gase unter ganz verschiedenen Betriebsbedingungen geklopft werden,

2. bei Bedingungen, die mit den für die Untersuchung von Benzinen vorgeschriebenen Bedingungen möglichst vollständig übereinstimmen, jederzeit reproduzierbare Klopfwerte der Flüssiggase nach Motor- und Research-Methode zu bestimmen und einheitliche Versuchsbedingungen festzulegen, um sie zur allgemeinen Einführung vorzuschlagen.

III. Versuchsanordnung

Maßgebend für die Zusammenstellung der Versuchsanordnung war das Bestreben, möglichst nur in der Praxis übliche Geräte zu verwenden. *Abb. 11* zeigt schematisch die Versuchsanordnung, deren einzelne Teile der Reihe nach beschrieben und näher erläutert seien:

1. Gasflasche. Die Eigenschaften der Flüssiggase werden als bekannt vorausgesetzt, ebenso die Sicherheitsvorschriften über Füllung, Druckbehälter usw.[1]). Einige Einzelheiten seien jedoch besonders hervorgehoben:

Das Flüssiggas wird den Flaschen nur in flüssigem Zustand entnommen. Dadurch wird vermieden, a) daß sich die Flasche allmählich abkühlt und die Gasabgabe allmählich aufhört, b) daß zuerst die Anteile mit hohem Dampfdruck und dann erst die mit niederem verdampfen, so daß z. B. bei einem Propan-Butan-Gemisch zuerst ein propanreiches, dann ein butanreiches Gas dem Motor geliefert wird, was die Klopfwertbestimmung wegen des Unterschieds im Luftbedarf und wegen der Verschiedenheit des Klopfwerts der beiden Bestandteile fälschen würde. Der Druck in der Flüssiggasflasche ist abhängig von der Temperatur und Zusammensetzung des Gases; bei konstanter Temperatur und bei Entnahme des Flüssiggases in flüssigem Zustand bleibt der Druck in der Flasche beim Entleeren bis zuletzt konstant, im Gegensatz zu den permanenten Gasen, bei denen der Druck auch von der in der Flasche befindlichen Menge abhängt. Als Betriebsüberdruck gilt bei verflüssigten Gasen der Dampf- bzw. Gasdruck bei einer Temperatur von 40°, wobei bei verflüssigten Gasen, deren kritische Temperatur unter 40° liegt, eine Überfüllung von 5 % gegenüber der zulässigen Höchstfüllung zu berücksichtigen ist.

Die Flaschen, von deren Inhalt jeweils der Klopfwert bestimmt werden soll, liegen am besten außerhalb des Prüfraumes im Freien, jedoch vor Temperaturschwankungen möglichst geschützt.

2. Rohr- und Schlauchverbindungen. Für die Rohrleitungen im Hochdruckteil, also zwischen Flasche und Regler, werden am besten nahtlose Stahlrohre verwendet. Vor Inbetriebnahme muß der ganze Weg von der Flasche bis zum Motor auf Undichtigkeiten geprüft, am besten mit schaumbildenden Mitteln, wie Nekallösung, abgepinselt werden. Nähere Einzelheiten über die Ausführung der Leitungen sind jedem Treibgashandbuch zu entnehmen.

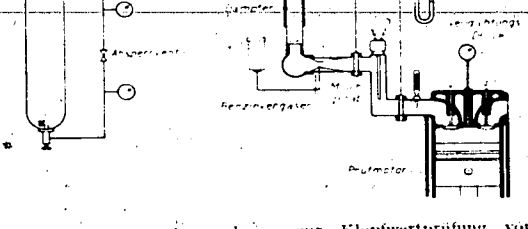


Abb. 11. Versuchsanordnung zur Klopfwertprüfung von Flüssiggasen.

3. Manometer im Prüfraum zur Anzeige des Flaschendruckes.

4. Absperrventil. Bedienbar unmittelbar vom Prüfmotor aus.

5. Manometer zur Anzeige des Vordruckes zum Regler (nicht unbedingt erforderlich).

6. Vorwärmer und Regler. Der Zweck und die Arbeitsweise der Flüssiggas-Regler seien als bekannt vorausgesetzt. Das von der Flasche unter dem Flaschendruck

[1]) Genaue Angaben vgl. bei *E. Mikocki*, Druckgasverordnung. Berlin 1942.

9981

gelieferte verflüssigte Gas muß dem Motor gasförmig und drucklos zugeführt werden. Das ist die Aufgabe des Reglers und des ihm vorgeschalteten Vorwärmers.

Bei den Versuchen wurde der sehr gebräuchliche zweistufige Solex-Unterdruck-Regler LR 3 mit Vorwärmung durch warmes Wasser verwendet. Die Vorwärmung soll etwa so sein, daß der Regler im Gaseintritt handwarm ist.

7. Regelventil. Dieses wird benötigt zum Einstellen des maximalen Klopfens, d. h. der Luftüberschußzahl/λ, bei der das stärkste Klopfen auftritt, durch Dosierung des vom Regler gelieferten gasförmigen Flüssiggases. Es wurde ein Nadelventil mit sehr schlankem Kegel und einer Bohrung von etwa 5 mm verwendet, mit dem sich die Veränderung der Gasmenge und damit der Klopfstärke beim Übergang vom fetten zum mageren Gebiet und umgekehrt sehr empfindlich einstellen läßt.

8. Gas-Luft-Mischung. Im Gegensatz zum Benzinvergaser wird bei Flüssiggas-Motoren der Kraftstoff gasförmig zugesetzt; vom Motor werden also Gas und Luft, d. h. zwei Gase mit gleichen physikalischen Gesetzen angesaugt. Um über den ganzen Arbeitsbereich des Motors selbsttätig ein ausreichend konstantes Mischungsverhältnis herzustellen, genügt es also, wenn das Gas durch eine Dosierblende dem Motor zugeführt wird. Um dasselbe Ziel der Dosierung von flüssigem Kraftstoff im Benzinvergaser zu erreichen, sind bekanntlich Korrektur- und Kompensatordüsen usw. notwendig.

Bei Flüssiggasbetrieb muß in der Praxis der Motor jederzeit sofort für Benzinbetrieb umschaltbar sein; der Benzinvergaser muß daher beibehalten werden. Daher wird das Gas entweder in den Lufttrichter des Benzinvergasers eingeführt oder durch ein Vorschaltgerät der Ansaugleitung zugeführt. Das Vorschaltgerät ist ein Mischgerät, das einen Lufttrichter enthält, dem am inneren Umfang der engsten Stelle das Gas zugeführt wird. Das Gerät wird vor den Benzinvergaser geschaltet. Das Gas-Luft-Gemisch wird wie bei Benzinbetrieb durch eine Drosselklappe geregelt.

Durch beide Arten der Einführung des Gases würden aber beim genormten Klopfmotor Änderungen und zusätzliche Widerstände in der Ansaugleitung gegenüber den Verhältnissen beim Benzinbetrieb geschaffen werden. Außerdem hat der Klopfmotor keinen Arbeitsbereich in dem Sinn, daß Übergänge gefahren werden müssen, sondern er fährt praktisch mit derselben Drehzahl und Belastung, abgesehen von der Veränderung des Brennstoff-Luft-Verhältnisses durch das Regelventil beim Aufsuchen des maximalen Klopfens.

Für die vorliegenden Zwecke erwies sich daher ein einfacher in die Ansaugleitung geschalteter Flansch, aus dessen innerem Umfang das Gas dem Luftstrom in der Ansaugleitung zuströmt, als geeignetste Lösung.

IV. Versuche

A. Wie oben (II.) erwähnt, war beabsichtigt, zunächst einmal festzustellen, in welchen Grenzen sich die Klopfwerte ändern, wenn absichtlich unter verschiedenen Bedingungen gefahren wird. Als Kennzeichen, wieweit

Zahlentafel 21. Klopfwerte von Flüssiggasen und einigen anderen Gasen

Prüfmethode	Research-Methode						Motor-Methode(?)		Motor-Methode				
Literaturstelle ...	Kraftstoff-handbuch[1]	*Westerkamp* [2]	Treibgas-Tasch.-buch[3]	*Rixmann* [4]	1. Techn. Prüfst. der I.G.	2. Techn. Prüfst. der I.G.	*Nash* u. *Howes* [5]	*Francis* [6]	*Egloff* [7]	*Rixmann* [4]	*Ferretti* [8]	Techn. Prüfst.	Benzin-prüfungs-betrieb
Methan					>108			125	125		103	>115	
Äthan					>108			125	125			102,5	
Propan	~125	~125	~125		109	108[18])		125	125	125[16])	95[18])	96,5	98[18])
Butan	~ 95		~ 95		95					90[17])	92[18])	90,5	
n-Butan		~ 91				95[18])	96	94	91				90,5[15])
i-Butan		~ 99				102[18])	99	100	99				97,5[15])
n-Pentan							60.	63	64		76		
i-Pentan								90	90				
Propylen			~115			105							84,5
Butylen			~105		99,5[12])							83 [12])	
Isobutylen					104,5							87	
Treibgas[21])		95 bis 100		105 bis 110[9])	100 [12])	105[18])						83,5[12])	95 [15])
Propan/Butan = 50/50	>100		105 bis 110										
Propan-Propylen (Gemisch)					108,5							93	
PropanIsobutylen (Gemisch)					101,5							89	
70 % Isobutylen, Rest hauptsächl. Propylen					103,5							85,5	
Motorenmethan	>100		~122	122[10])									
Ruhrgasol		<100											
CO													
H_2											100	62,5[14])	
Diisopropyläther									101		66[19])		
Dimethyläther					<0	—40						<0	—40
Generatorgas											105[20])		
Kokereigas											95[20])		
Stadtgas											89[20])		
Leuchtgas			100										
Klärgas (gereinigt)	>100												
Stadtgas (Berlin)	~ 90			100[11])									
NH_3					klopft nicht[14])							klopft nicht[14])	

9982

Zahlentafel 22 Klopfwerte von Flüssiggasen und einigen anderen Gasen

Prufstelle	Benzinprufungsbetrieb						Techn. Prufstand		
Prüfmethode	ROZ		MOZ		Unterschied		ROZ	MOZ	Untersch.
Prüfmotör	CFR	IG	CFR	IG	CFR	IG	IG	IG	IG
Propan	110[13])	108	98	98	12	10	109	96,5	12,5
n-Butan	95[13])	94,5	90,5	90,5	4,5	4	95	90,5	4,5
i-Butan	103[13])	102	98	97	5	5			
Propylen	105		84	85	21				
Butylen							99,5	83	16,5
Isobutylen							104,5	87	17,5
Treibgas[21])	104[13])	105	95	95	9	10			
Treibgas[21])							100[13])	83,5[13])	16,5
Propan-Propylen							108,5	93	15,5
Propan-Isobutylen							101,5	89	12,5
70 % Isobutylen, Rest Propylen							103,5	85,5	18
Dimethyläther	~ 40						<0	<0	
Wasserstoff								62,5[14])	
Ammoniak								klopft nicht[14])	

die jeweils eingestellten Bedingungen von denen für die Bestimmung von Benzin vorgeschriebenen abweichen, wurden benutzt: a) der Unterdruck, gemessen an ein und derselben Stelle der Ansaugleitung des Motors mit einem flachen Flansch mit seitlicher Bohrung, der in die Leitung eingebaut werden konnte, ohne daß die Schrauben oder die Leitung verändert werden mußten, b) der Verdichtungsdruck im Zylinder bei den jeweiligen Versuchsbedingungen, jedoch bei abgestellter Zündung und einem Verdichtungsverhältnis 1:7.

Die Versuche wurden nach Motor- und Research-Methode an zwei IG- und zwei CFR-Motoren durchgeführt. Der Verdichtungsdruck wurde mit dem sehr gut arbeitenden amerikanischen Verdichtungsmesser des CFR-Motors gemessen, die Temperatur mit dem am CFR-Motor im Vorheizer, am IG-Motor im Zylinderkopf eingebauten Thermometer.

Die Fahrbedingungen wurden durch Änderung der Gaseinführung geändert, indem gefahren wurde

1. mit Vorschaltgerät ohne Vergaser und ohne Geräuschdämpfer,
2. mit Vorschaltgerät vor dem Vergaser mit und ohne Geräuschdämpfer,
3. mit direkter Einführung an der engsten Stelle des Vergaser-Lufttrichters,
4. mit Einführung hinter dem Vergaser an einer eingebauten Mischvorrichtung in Form eines Flansches.

Bei der Fahrweise 2 bis 4 konnte zur Feststellung der Octanzahl unmittelbar auf das Vergleichsbenzin-Gemisch umgeschaltet werden, bei der Fahrweise 1, ebenso bei OZ über 100, wurde der Klopfwert des Gases über die bei jeder Versuchsreihe vorher und nachher neu geeichte

[1]) *F. Jantsch*, Kraftstoff-Handbuch. Stuttgart 1941.
[2]) *L. Westerkamp*, Der Flüssiggasbetrieb bei Kraftfahrzeugen. Berlin 1942.
[3]) *H. G. Bock*, Treibgas-Taschenbuch. Berlin 1940.
[4]) *W. Rizmann*, Leistung und Wirtschaftlichkeit gasbetriebener Fahrzeugmotoren. Deutsche Kraftfahrtforschung, Heft 3, 1938.
[5]) *A. E. Nash* u. *R. T. Howes*, Brennstoff- u. Wärmewirtsch. **22**, [1941].
[6]) *A. W. Francis*, Relations between Physical Properties of Paraffin Hydrocarbons, Ind. Engng. Chem. **33**, Nr. 4, S. 554 [1941].
[7]) *G. Egloff*, J. Instn. Petrol. Technologists **23**, 645 [1937]; *G. Egloff*, Moderne Kohlenwasserstoffsynthesen. Brennstoff-Chem. **18**, 115 [1937].
[8]) *P. Ferretti*, Die Klopffestigkeit einiger Gase. Kraftstoff **17**, 71, 107 [1941].
[9]) Treibgas: Propan 47 bis 55 %, Butan 42 bis 36 %, Rest 11 bis 9 %.
[10]) Motorenmethan: Methan rd. 64 %, Äthylen rd. 16 %, Äthan rd. 14 %, Rest 6 %.
[11]) Leuchtgas: H_2 49,8 %, CO 14,8 %, CH_4 17,9 %, C_nH_m 2,1 %.
[12]) Butylen 70 bis 90 %.
[13]) Enthält verhältnismäßig viele Ungesättigte.
[14]) Infolge des geringen Gemischheizwertes ist bei den Versuchen mit Wasserstoff und Ammoniak die Motorenleistung zurückgegangen. Probe und Vergleichsmischung sind deshalb bei verschiedener Belastung gefahren worden.
[15])

Bezeichnung	Zusammensetzung in Vol.-%			Rest
	C_3H_8	i-C_4H_{10}	n-C_4H_{10}	
Propan	86,6	5,2	—	C_2H_6, i-C_4H_{10}
i-Butan	—	93,5	3,1	i-C_4H_8, n-C_4H_8
n-Butan	—	8,4	86,3	i-C_4H_8, n-C_4H_8
Treibgas	45,7	12,2	30,0	C_2H_6, C_2H_4, C_3H_6, C_4H_8

[16]) Propan: C_3H_8 100 %.
[17]) Butan: C_4H_{10} 100 % (?).
[18]) Propan: Äthan-Äthylen 13 %, Propan-Propylen 86 %, Butan 1 %.
Butan: Propan-Propylen 17 %, i-Butan 31,5 %, n-Butan 41,8 %, Rest 9,7 %.
[19]) Ohne die vorgeschriebene Vorwärmung des Gemisches von 149°, wegen der großen Neigung des Gemisches zur vorzeitigen Entflammung.
[20]) Generatorgas (Holzkohle): H_2 8 %, CO 28 %, CO_2 3 %, N_2 61 %.
Kokereigas: H_2 56,8 %, CO 5,5 %, CH_4 26,35 %, C_nH_m 2 %, N_2 7,4 %, CO_2 1,8 %, O_2 2 %.
Stadtgas: H_2 54 %, CO 16 %, CH_4 18 %, C_nH_m 1,8 %, N_2 6,2 %, CO_2 4 %.
[21]) Unter „Treibgas" im engeren Sinn versteht man Gemische von Flüssiggasen, der Hauptsache nach Propan und Butan, deren Zusammensetzung sehr verschieden sein kann je nach dem Hersteller und nach dem gewünschten Dampfdruck, abhängig davon, ob das Treibgas zur Sommer- oder Winterzeit verwendet werden soll. Da von den meisten in *Zahlentafel 21* angegebenen Treibgasen die Zusammensetzung nicht bekannt ist, ist auch ein unmittelbarer Vergleich der Klopfwerte nicht ohne weiteres möglich, und es können beachtliche Verschiedenheiten im Klopfwert der Treibgase auftreten (vgl. auch 13).

Kurve: Octanzahl Verdichtungsverhältnis, also über das Verdichtungsverhältnis bei gleichem Klopfmesser-Ausschlag bei maximalem Klopfen des Gases und des Vergleichsbenzin-Gemisches gemessen, wobei die Kurve über OZ 100 extrapoliert wurde.

Im Vorschaltgerät wurden verschiedene Lufttrichter eingesetzt; dadurch wurden sehr verschiedene Ansaug-Unterdrücke und Verdichtungsdrücke und damit verschiedene Füllungen im Zylinder erhalten.

Abb. 12 zeigt für CFR-Motor-Methode und für i-Butan, n-Butan, Propan und Propylen die so gemessenen Octanzahlen aufgetragen, geordnet einmal nach dem jeweils gemessenen Unterdruck und einmal nach dem Verdichtungsdruck, unabhängig von der Art, wie diese Änderungen des Unter- und Verdichtungsdruckes erzielt worden sind. Dabei kommt man mit zunehmendem Unterdruck und dementsprechend abnehmendem Verdichtungsdruck durch den (in der Abbildung schraffierten) Bereich der beim normalen Benzinbetrieb auftretenden Werte hindurch. In diesem Bereich, in dem die Bedingungen für die Bestimmung des Klopfwertes der Flüssiggase mit denen für das Vergleichsbenzin übereinstimmen, müssen die wahren Klopfwerte der Flüssiggase liegen. Es zeigt sich nun, daß die Veränderung des Trichter-Durchmessers im Vorschaltgerät von 18 auf 9 mm eine Octanzahländerung von 20 OZ (von OZ 80 bis OZ 100) an ein und demselben Flüssiggas bewirkt, wonach also verständlich ist, daß die Schwankungen der Werte in den Schrifttumsangaben von verschiedenen Fahrbedingungen herrühren dürften. Vor allem dürften die hohen amerikanischen Werte bei niederem Verdichtungsdruck und hohem Unterdruck, also mit geringer Zylinderfüllung, bestimmt worden sein.

Die bei ein und demselben Verdichtungsverhältnis 1:7 bei abgestellter Zündung und fremd angetriebenem Motor gefundenen Grenzwerte betragen am CFR-Motor

bei der geringsten Füllung (also kleinstem Trichter) bei n = 900 U/min:

Verdichtungsdruck 8,4 kg/cm², Unterdruck 380 mm WS,

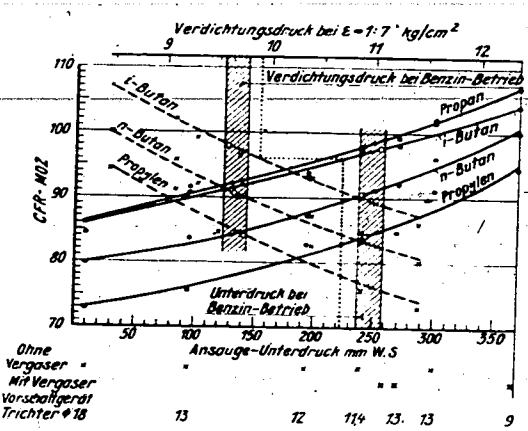


Abb. 12. Octanzahlen von Flüssiggasen in Abhängigkeit:
———— vom Ansaug-Unterdruck
— — — vom Verdichtungsdruck

bei der größten Füllung (also größtem Trichter) bei n = 600 U/min:

Verdichtungsdruck 11,4 kg/cm², Unterdruck 12 mm WS.

Am IG-Motor nach Motor-Methode und bei beiden Motoren nach Research-Methode sind diese Unterschiede bedeutend geringer.

B. Der letzte Zweck der Versuche war, geeignete Bedingungen festzulegen, die es erlauben, jederzeit reproduzierbare Klopfwerte der Flüssiggase nach Research-

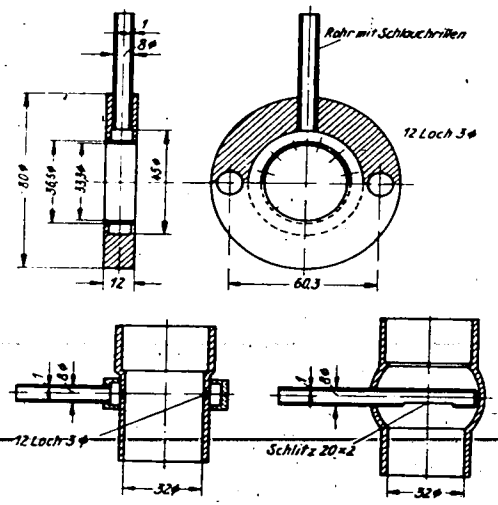


Abb. 13. Mischgerate für Gas und Luft

und Motor-Methode zu bestimmen. Die Voraussetzungen hierfür müssen sein:

1. Betriebsbedingungen des Motors beim Fahren mit Gas genau so wie beim Fahren mit Vergleichsbenzin, letzten Endes mit Octan-Heptan-Gemisch (Vorwärmung, Drehzahl, Ansaugdruck, maximales Klopfen, Kühlung usw.).

2. Keine apparativen Änderungen am Motor und an seinem Zubehör für das Zubringen des Gases.

3. Umschaltbarkeit auf Vergleichsbenzin, ohne daß irgendeine sonstige Änderung notwendig ist.

Als einfachste und praktisch keine Änderung an der äußeren Motor-Apparatur bewirkende Gaszugabe ergab sich ein in der Ansaugleitung eingebauter einfacher flacher Flansch *(Abb. 13)*, der innen eine Kreisnut besitzt, von dem aus das Gas durch am Umfang verteilte Löcher von dem Unterdruck der durch die Ansaugleitung strömenden Luft angesaugt wird. Das Gas wird dieser Kreisnut von oben durch ein eingelötetes Rohr zugeführt. Eine dünnwandige, mit am Umfang gleichmäßig verteilten Löchern versehene Büchse vom selben lichten Durchmesser wie die Ansaugleitung war im Außendurchmesser so gedreht, daß sie nach Abkühlung in einem Kältemittel gerade in den lichten Durchmesser des mit der Nut versehenen Flansches hineinpaßte, so daß dieser nach dem Temperaturausgleich fest auf die Büchse aufgeschrumpft war.

Bei den Versuchen war daher bei Motor-Methode das Mischgerät (Flansch) zwischen Vergaser und Vorheizer unmittelbar am Vorheizereingang, bei Research-Methode zwischen Vergaser und Zylinder unmittelbar am Zylinder eingebaut. Die naheliegende Befürchtung, daß das Gas sich auf dem nur kurzen gemeinsamen Weg mit der Luft nicht vollkommen mischt, wenn es zu nahe am

9984

Zylinder eingeführt wird, hat sich bei den Versuchen nicht bestätigt. *Abb. 13* zeigt noch zwei Ausführungsformen von Mischgeräten, die bei den Versuchen zwischen Dämpfer und Vergaser eingeschaltet worden waren. Wesentliche Unterschiede waren nicht festzustellen, so daß letzten Endes die einfache Ausführung des Mischflansches verwendet wurde.

V. Versuchsergebnisse

Mit diesen beschriebenen Bedingungen wurden Octanzahlen von Flüssiggasen gemäß *Zahlentafel 22* bestimmt. Zum Vergleich sind die vom Technischen Prüfstand der I. G. gefundenen Werte danebengestellt, ebenso die auf beiden Prüfständen festgestellten jeweiligen Unterschiede zwischen ROZ und MOZ.

Dazu ist folgendes zu sagen:

Die OZ der Flüssiggase sind etwas niedriger als, besonders in der amerikanischen Literatur, ursprünglich zum Teil angegeben war; sie liegen aber über denen der handelsüblichen Benzine.

Die Flüssiggase sind zum Teil verhältnismäßig temperaturempfindlich, wie die Unterschiede zwischen MOZ und ROZ zeigen.

Die Übereinstimmung zwischen IG- und CFR-Motor und zwischen den völlig unabhängig voneinander gewonnenen Werten von zwei I. G.-Prüfständen ist als sehr gut zu bezeichnen.

Was die Reproduzierbarkeit anbelangt, so hatten praktisch die gleichen Proben bereits 1939 auf unserem Prüfstand mit den jetzigen überraschend gut übereinstimmende Werte ergeben.

Eine ganz interessante Gegenüberstellung und eine Bestätigung der gefundenen Octanzahlen zeigen die nach dem DVL-Verfahren am BMW-Motor aufgenommenen Überladekurven der *Abb. 14*, die uns zur Verfügung gestellt worden sind. Sowohl die Reihenfolge des untersuchten Propans, n-Butans und i-Butans als auch die absoluten Vergleichswerte beim theoretischen Luftverhältnis mit einem verbleiten Flugbenzin, einem technischen Octan und einem gebleiten technischen Octan stellen eine recht befriedigende Bestätigung der gefundenen Octanzahlen dar.

Neben der Weiterführung der Untersuchungen von Flüssiggasen und anderen Gasen am Klopfmotor und der Bestimmung von Octanzahlen sollen auch Überladekurven nach dem I. G.-Verfahren am I. G.-Prüfmotor aufgenommen werden.

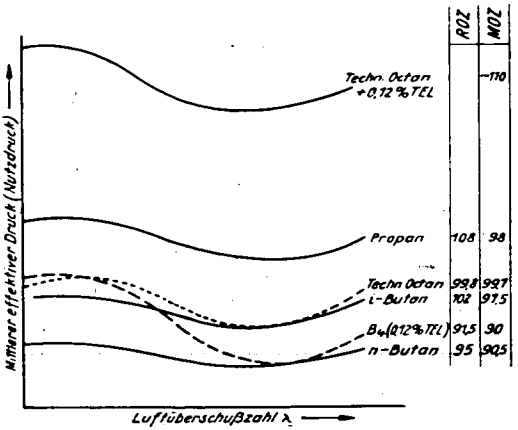


Abb. 14. Klopfgrenzkurven nach dem DVL-Überladeverfahren (Vereinfachte Bedingungen, BMW 132 N, 1500 U/min, Zündung 30° konstant, Ladelufttemperatur 130°)

Es wäre nun wünschenswert, daß auch andere Prüfstände Klopfwerte von Flüssiggasen mitteilten, entweder aus Versuchen, die wohl an manchen Stellen auch schon angestellt worden sind, oder aber daß die Prüfstände, angeregt durch die vorhergehenden Ausführungen, die Bestimmung von Flüssiggasklopfwerten in ihr Versuchsprogramm aufnähmen. Dadurch ergäbe sich eine Ansammlung von Erfahrungswerten sowohl in bezug auf die zahlenmäßige Höhe der Klopfwerte und ihre Genauigkeit als auch in bezug auf die Einheitlichkeit und Geeignetheit der geschilderten Versuchsanordnung.

Ing. E. Singer

Über den Einfluß von Betriebsbedingungen auf das Klopfverhalten von Kraftstoffen

Es ist bekannt, daß das Klopfverhalten der Kraftstoffe von den Betriebsbedingungen des Motors abhängig ist. Am Klopfmotor können daher verschiedenartige Kraftstoffe durch entsprechende Wahl der Betriebsbedingungen in der Bewertungsfolge beeinflußt werden. So sind verschiedene Prüfmethoden entstanden, von denen sich vor allem die Motor- und die Research-Methode durchgesetzt haben. Hier soll nicht auf den besonderen Vorzug der einen oder anderen Prüfweise oder auf ihre Kopplung untereinander eingegangen werden. Es ist jedoch festzustellen, daß ein Bestehen von mehreren Prüfmethoden nebeneinander immer eine gewisse Unsicherheit in die Bewertung der Kraftstoffe hineinträgt.

Im Zuge von Untersuchungen, bei denen ein Klopfmotor auf einen großen Motor abgestimmt werden sollte, sind auf dem Technischen Prüfstand die Betriebsbedingungen des Klopfmotors noch weitgehender geändert worden, als dies zwischen der Motor- und Research-Methode üblich ist. Die Auswirkung dieser Änderungen wurde an Benzinen mit hohem Paraffin-, Benzol- und Alkoholgehalt, und zwar gebleit und ungebleit, beobachtet. Die erhaltenen Ergebnisse können als Richtlinien bei etwaigen künftigen Abstimmversuchen dienen.

I. Versuchsdurchführung

Die Zusammensetzung der verwendeten sechs Grundbenzine ist in der *Zahlentafel 23* angegeben. Durch Bleien der Proben 2 bis 5 kommen weitere vier Benzine hinzu.

Zahlentafel 23. Zusammensetzung und Octanzahlen der Proben

	Tel-Gehalt cm³/l	Zusammensetzung in Vol.-%	MOZ	ROZ	Temp. Empf. ΔOZ	Bleiwirkzahl
1a	1,2	Benzin	89,1	91,5	2,4	12,2
2a	0	75 % Octan	88,1	91,3	3,2	10,6
b	1,2	25 % Benzin	101,0	102,1	1,1	
3a	0	75 % Benzol	88,6	102,7	14,1	4,4
b	1,2	25 % Benzin	93,9	>105	>11	
4a	0	47 % Alkohol ...	87,4	105,8	17,7	2,3
b	1,2	53 % Benzin	90,2	>105	>13	
5a	0	Octan	96,7	98,0	1,2	13,5
b	1,2		111,6	>105	—	
6a	1,2	Bi. m. 35 % Octan	95,0	103,5	8,5	—

Von diesen zehn Proben sind nur die Benzine 1 und 6 handelsübliche Kraftstoffe. Die Proben 2, 3 und 4 enthalten außerordentlich hohe Zusätze an Octan, Benzol und Alkohol, damit der unterschiedliche Einfluß der Betriebsbedingungen klar ersichtlich wird. Die Probe 5 ist techn. Octan. Da es als Unterbezugskraftstoff Z bei der Octanzahlbestimmung weitgehend verwendet wird, ist auch sein Verhalten von großem Interesse. In *Zahlentafel 23* sind weiterhin die Motor- und Research-Octanzahlen dieser zehn Benzine angegeben.

Die Messungen wurden an einem IG-Prüfmotor durchgeführt, der mit einer Zusatzanlage für Überladeversuche, mit einem Heizeinsatz zum Vorwärmen der Ansaugeluft sowie mit einer Riemenscheibe für n = 1200/min zusätzlich ausgerüstet ist. Folgende Betriebsbedingungen wurden geändert:

1. Temperatur des Kühlmittels t_K von 100 auf 150°.
2. Temperatur des Kraftstoff-Luft-Gemisches t_x von 125 auf 150°.
3. Temperatur der Ansaugeluft t_A von 20 auf 125°.
4. Art der Vorheizung (von Gemisch auf Luft).
5. Luftverhältnis λ von 0,8 auf 1,0.
6. Vorzündung Z von 15 auf 30°.
7. Drehzahl n von 600 auf 1200 min⁻¹.
8. Einlaßdruck p von 1000 auf 1400 mm QS abs.
9. Verdichtungsverhältnis ε von 6,0 auf 6,8.
10. Einstellen der Klopfstärke (statt Verdichten durch Laden).

Unverändert bei diesen Versuchen blieb lediglich die Klopfstärke. Sie wurde, wie üblich, so gewählt, daß bei allen Einzelmessungen der Zeiger des Klopfmessers den Ausschlag A = 50 Teilstriche an der Klopfskala erreichte. Die anderen Betriebsgrößen, die in der *Zahlentafel 24* aufgeführt sind, wechselten von Versuchsreihe zu Versuchsreihe. So wurde z. B. die Reihe 2 nach *Abb. 16* mit 600 U/min, die Reihe 3 nach *Abb. 17* mit 1200 U/min gefahren. Bei beiden Versuchsreihen zeigte der Klopfmesser den Ausschlag A = 50 an. Bei der Reihe 2 wurde diese Anzeige durch Ändern des Verdichtungsverhältnisses ε, bei der Reihe 3 durch Ändern des Ladedruckes p eingestellt. Entsprechend sind in der letzten Spalte der *Zahlentafel 24* für die Reihen 2 und 3 diese Größen ε bzw. p als Klopfveränderliche angegeben. Da die Betriebsbedingungen von Versuchsreihe zu Versuchsreihe gewechselt haben, sind die erhaltenen Klopfwerte nur innerhalb der einzelnen Reihe in ihrem absoluten Wert vergleichbar. Deshalb ist auch der Klopfmaßstab der *Abb. 15* bis *27*, die das Ergebnis enthalten, nicht einheitlich. Je nach den gewählten Betriebsbedingungen wurde bald das erreichte Verdichtungsverhältnis (z. B. bei Reihe 2), bald der erreichte Ladedruck (z. B. bei Reihe 3) als Maßstab gewählt, da es ja bei diesen Versuchen nicht auf einen absoluten Vergleich der einzelnen Meßreihen untereinander, sondern nur auf eine Bewertung innerhalb der gleichen Meßreihe ankam. Auf diese Weise konnte auf das zeitraubende Eichen des Klopfmotors bei jeder neuen Prüfbedingung verzichtet werden.

II. Versuchsergebnisse

Die Meßwerte, die in *Abb. 15* bis *27* dargestellt sind, stellen nur einen kleinen Teil des erhaltenen Gesamtergebnisses dar. Bei diesem interessierte vor allem die Bewertungsreihenfolge und die Bleiempfindlichkeit. Als Maßstab für die Bleiempfindlichkeit der Kraftstoffe 2 bis 5 wird der senkrechte Abstand in den Darstellungen zwischen den gebleiten und ungebleiten Stoffen genommen.

Abb. 15: Beim Übergang von der Research- auf die Motor-Methode werden das Benzol- und Alkoholgemisch, gebleit und ungebleit, in der Bewertung sehr stark zurückgesetzt. Die Bleiempfindlichkeit ist nach beiden Methoden schlecht.

Abb. 16: Die Steigerung der Kühltemperatur von 100° auf 150° setzt das Klopfverhalten der Benzol- und Alkoholmischungen stark herab. Die Bleiempfindlichkeit bleibt unverändert schlecht.

Abb. 17: Die Steigerung der Gemischtemperatur von 125° auf 150° vermindert den Klopfwert von Benzol und Alkohol gleichmäßig stark. Die Bleiempfindlichkeit bleibt unverändert.

9985

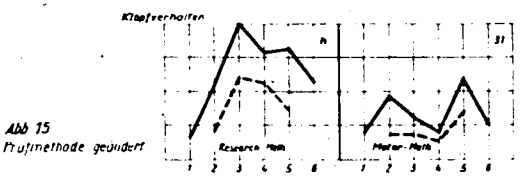


Abb. 15
Prüfmethode geändert

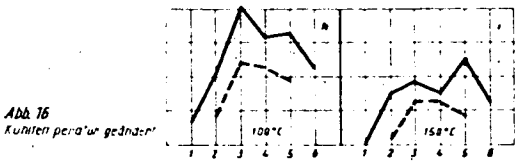


Abb. 16
Kühlwassertemperatur geändert

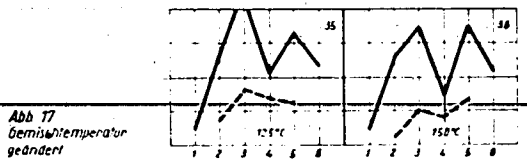


Abb. 17
Gemischtemperatur geändert

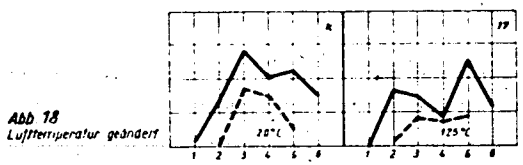


Abb. 18
Lufttemperatur geändert

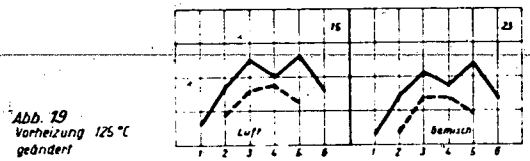


Abb. 19
Vorheizung 125 °C
geändert

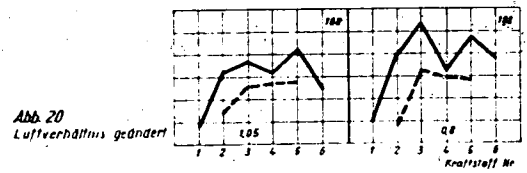


Abb. 20
Luftverhältnis geändert

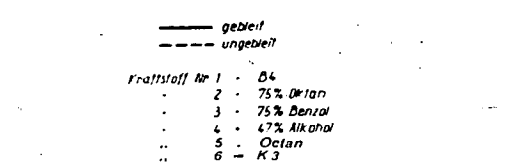


Abb. 21
Vorzündung geändert

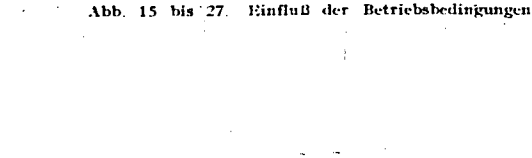


Abb. 22
Drehzahl geändert

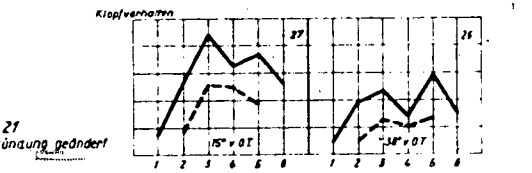


Abb. 23
Einlaßdruck geändert

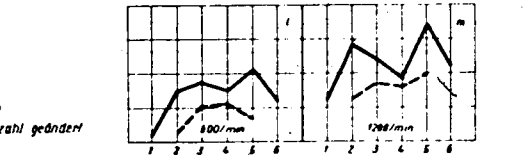


Abb. 24
Verdichtung geändert

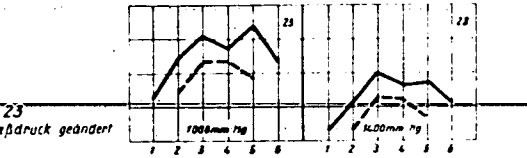


Abb. 25
Klopfveränderliche

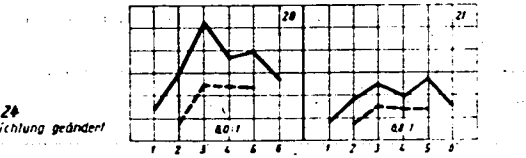


Abb. 26
Klopfveränderliche
Gemischtemperatur geringer als bei Bild 25

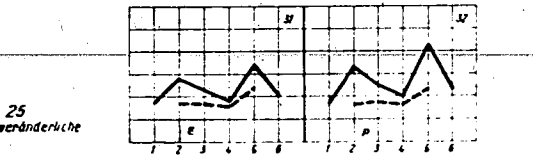


Abb. 27
Klopfveränderliche
Drehzahl geringer als bei Bild 25

geblei
ungeblei

Kraftstoff Nr 1 · 84
2 · 75% Oktan
3 · 75% Benzol
4 · 47% Alkohol
5 · Octan
6 — K3

Abb. 15 bis 27. Einfluß der Betriebsbedingungen auf die Bewertungsreihenfolge verschiedener Benzine

9987

Abb. 18: Die Erhöhung der Lufttemperatur von 20° auf 125° mindert das Klopfverhalten der Benzol- und Alkoholmischung sehr stark. Die Bleiempfindlichkeit besonders des Alkoholgemisches wird schlechter.

Abb. 19: Der Übergang von der Luft- auf die Gemischvorheizung ist bei gleichbleibender Gemischtemperatur ohne Einfluß auf die Bewertung.

Abb. 20: Eine Minderung des Luftverhaltnisses erhöht die Klopffestigkeit, vor allem des gebleiten Benzolgemisches. Das ungebleite Benzolgemisch wird nur wenig geandert. Damit wird die Bleiempfindlichkeit gebessert.

Abb. 21: Die Klopffestigkeit beider Benzol- und Alkoholgemische wird durch die Erhöhung der Vorzündung von 15° auf 30° Kurbelwinkel stark vermindert. Auch die Bleiempfindlichkeit wird zurückgesetzt.

Abb. 22: Die Drehzahlsteigerung mindert stark das Klopfverhalten der beiden Benzol- und Alkoholgemische, besonders des gebleiten Alkoholgemisches. Dadurch wird die Bleiempfindlichkeit des Alkoholgemisches vermindert. Die Bleiempfindlichkeit der Paraffinmischungen wird erhöht.

Abb. 23: Die Erhöhung des Einlaßdrucks von 1000 auf 1400 mmQS absol. mindert in erster Linie das Klopfverhalten der Paraffingemische. Deren Bleiempfindlichkeit wird dadurch etwas geringer.

Abb. 24: Ein niederes Verdichtungsverhältnis beurteilt besonders das gebleite Benzolgemisch weitaus besser als ein hohes Verdichtungsverhältnis. Eine Steigerung des Verdichtungsverhältnisses bedeutet fur Benzolmischungen eine Herabsetzung der Bleiempfindlichkeit.

Abb. 25: Regelt man die Klopfstärke statt durch das Verdichtungsverhältnis durch den Einlaßdruck, so zeigt sich bei den hier gewählten Betriebsbedingungen keinerlei Umbewertung.

Wie vorsichtig man beim Ziehen von Schlußfolgerungen aus diesen Versuchen sein muß und wie irreführend eine kritiklose Anwendung der vorgenannten Teilergebnisse sein kann, zeigt ein Vergleich der Meßwerte nach *Abb. 25, 26* und *27*. Wohl wurde in diesen drei Beispielen, die Verdichtungsmethode einheitlich durch die Überlademethode ersetzt, aber unter verschiedenen Betriebsbedingungen. Durch Überlagerung der verschiedenartigen Einflüsse der Betriebsbedingungen sind ganz unterschiedliche Ergebnisse erhalten worden.

Abb. 26, deren Ergebnisse bei geringerer Kühl- und Gemischtemperatur als bei Abb. 25 erhalten worden sind, zeigt gegenüber dieser eine nur untergeordnete Bewertungsänderung durch Laden anstatt Verdichten.

Abb. 27, deren Ergebnisse bei den gleichen Temperaturen, aber bei geringerer Drehzahl erhalten worden sind als bei Abb. 26 zeigt eine erhebliche Umbewertung, vor allem des gebleiten Benzol- und Alkoholgemisches und in Verbindung damit eine gebesserte Bleiempfindlichkeit dieser Kraftstoffe.

III. Zusammenfassung

An Hand von *Zahlentafel 25* kann zusammenfassend festgestellt werden:

Gegenüber den gebleiten Paraffingemischen 2 und 5 wird das gebleite Benzolgemisch 3 mit sinkender Kühl-, Gemisch- bzw. Lufttemperatur, mit Vergasereinstellung

Zahlentafel 24. Betriebsdaten des I. G.-Prüfmotors

Abbildung Nr.	t_K °C	t_G °C	t_L °C	Heizung °C	λ	Zdg °KW	n min	p mmQS	ε	Klopfverand.
15	Research-Methode gegen Motor-Methode									
16	100 150	15	30	G	max	22	600	748	A = 50	ε
17	100	125 150	28	G	max	15	1200	A = 50	7,0	p
18	100	20 125	"	L	max	22	900	1000	A = 50	ε
19	100	125	"	L G	max	22	600	1000	A = 50	ε
20	100	125	30	G	~1,05 ~0,80	22	600	1000	A = 50	ε
21	100	125	28	G	max	15 30	900	A = 50	6,5	p
22	100	125	29	G	max	22	600 1200	1000	A = 50	ε
23	100	125	31	G	max	22	600	1000 1400	A = 50	ε
24	100	125	29	G	max	22	600	A = 50	6,0 6,8	p
25	150	150	32	G	max	22	900	800 A = 50	A = 50 8,0	ε p
26	100	125	28	L	max	22	900	100 A = 50	A = 50 7,0	ε p
27	100	125	30	L	max	22	600	1000 A = 50	A = 50 6,0	ε p

Zahlentafel 25. Klopfwertänderung von Benzol- und Alkoholgemisch gegenüber Oktangemisch bei Erhöhung der Werte der nachstehend angeführten Bedingungen

	t_K	t_G	t_L	Gem. statt Luft	λ	Z	n	p	ε	p statt ε
75 % Benzol	—	- -	—	≙	- -	— —	- -	-	-	
47 % Alkohol	—	—	- -	=	-	- - -				
75 % Bleibenzol	- - -	- - -	- - -	≠	-	- -				— ≙
47 % Bleialkohol	— —	-	- - -			- - -				

Es bedeuten: unverändert; geringe Verschlechterung; — — starke Verschlechterung; - - geringe Verbesserung; — starke Verbesserung; gegenüber Oktan/Heptan

9988

auf Luftmangel, mit großer Vorzündung, mit geringem Einlaßdruck und damit hohem Verdichtungsverhältnis sowie durch die Verdichtungsmethode bevorzugt bewertet. Geringen Einfluß haben die Art der Vorwärmung und die Art der Klopfstärkeregelung (p statt ε).

Bei dem gebleiten Alkoholgemisch 4 sind, im Vergleich zu den gebleiten Benzolgemischen, die Vergasereinstellung, die Höhe des Verdichtungsverhältnisses und des Lade- druckes sowie die Art der Klopfstärkeregelung von geringerem Einfluß auf die relative Bewertung.

Für das gebleite Aromatenbenzin 6 gilt das gleiche wie für das gebleite Benzolgemisch, jedoch wegen des geringeren Aromatengehaltes in wesentlich geringerem Umfange.

Die an sich geringe Bleiempfindlichkeit des Benzolgemisches wird bei geringem Luftverhältnis, geringer Vorzündung und geringem Verdichtungsverhältnis sowie beim Laden statt Verdichten, verbessert. Besonders stark ist der Einfluß der Vergasereinstellung.

Bis auf den Einfluß des Luftverhältnisses gilt das gleiche auch für das Alkoholgemisch.

Bei der endgültigen Auswahl der Betriebsbedingungen ist man natürlich gebunden an das Klopfvermögen des Motors, an den möglichen Verstellbereich hinsichtlich des Verdichtungsverhältnisses und des Ladedruckes, an die Aussonderung des Klopfgeräusches durch Gehör oder Instrument sowie an die mechanische Festigkeit des Motors überhaupt. In manchen Fällen werden es diese Einschränkungen sein, die das Abstimmen des Klopfmotors besonders schwierig machen. Um jeder möglichen Entwicklung im Klopfmeßwesen weitgehend Rechnung tragen zu können, ist beim IG-Prüfmotor, Baumuster 1944, auf diese Umstände Rücksicht genommen worden.

Dipl.-Ing. H. Unverhau

Prüfstandversuche über die Brauchbarkeit der Research- und Motor-Octanzahl im praktischen Betrieb

Vom Heereswaffenamt wurde die Aufgabe gestellt, zunächst auf Grund von Prüfstandversuchen die für verschiedene Motoren notwendige Research-Octanzahl bei normalen und tropischen Betriebsbedingungen zu ermitteln.

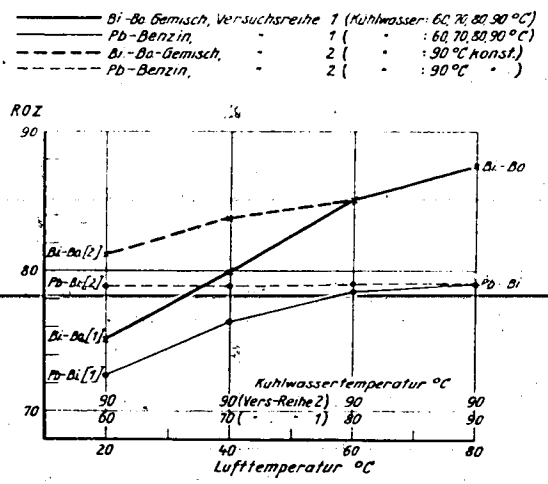


Abb. 28. Für klopffreien Betrieb mit Grundbenzin 1 bei einem 2,5-l-Motor (1) erforderliche Research-Octanzahl

I. Versuchsmethode

Für die Versuche fanden zehn verschiedene Motoren von 1,0 bis 12,0 l Gesamthubraum Verwendung.

Für die Kraftstoffmischungen stand zunächst ein Braunkohlenbenzin zur Verfügung, das besonders zur Verwendung in tropischen Gebieten vorgesehen war. Dieses Benzin sollte einmal mit Bleitetraäthyl und zum anderen mit Motorenbenzol auf die für klopffreien Betrieb notwendige Octanzahl gebracht werden.

Die Motoren wurden in üblicher Weise auf einem Prüfstand aufgebaut und mit einer Wasserbremse gekuppelt. Zur Überwachung der Betriebsbedingungen wurden die notwendigen Meßinstrumente angebaut.

Die Ansaugluft wurde durch elektrische Heizkörper in Verbindung mit Kontaktthermometer und Relais auf der gewünschten Höhe gehalten.

Jeder Motor wurde nach dem Aufbau und gründlicher Säuberung, sofern er nicht fabrikneu war, einer 24stündigen Einlaufzeit unterzogen, um einen Ölkohleansatz zu bekommen.

Nach diesen Vorbereitungen begannen die eigentlichen Versuche. Der Motor wurde bei einer Drehzahl von 3000 bis 3200 je Minute unter Vollast 2 min lang warm gefahren, nachdem vorher die festgelegten Luft- und Kühlwassertemperaturen erreicht waren, und anschließend bis auf 800 U/min innerhalb etwa 2 min abgebremst. Hierbei durfte nur leichtes Klopfen auftreten. Die Klopfstärke wurde in 4 Graden durch das Gehör beurteilt.

Für die Versuche waren Kraftstoffmischungen aus dem Grundbenzin mit Zusatz von 4, 8, 12, 16 usw. Gew.-% Motorenbenzol bzw. mit 0,2, 0,4, 0,6 usw. cm³ Ethylfluid je Liter Benzin angefertigt. Für jeden Motor wurden außerdem zwei Versuchsreihen durchgeführt, und zwar

1. Ansaugluft 20, 40, 60 und 80° und Kühlwasseraustrittstemperatur 60, 70, 80 und 90° veränderlich.
2. Ansaugluft 20, 40, 60 und 80° veränderlich, Kühlwasseraustrittstemperatur 90° konstant.

Auf diese Weise konnte sowohl der Einfluß der Kühlmitteltemperatur als auch der Ansaugluftemperatur festgestellt werden.

Wurde nun bei den beschriebenen Klopfprüfungen z. B. mit 40° Luft- und 70° Kühlwassertemperatur festgestellt, daß eine Mischung mit 20 Gew.-% Benzol zu stark klopfte, dann wurde die Mischung mit 24 Gew.-% Benzol versucht usw., bis die Mischung gefunden wurde, die in dem jeweiligen Motor gerade noch einwandfrei arbeitete. Hierbei wurde, wie schon gesagt, leichtes Klopfen über einem kleinen Drehzahlbereich zugelassen.

Entsprechend wurden die Versuche mit Zusatz von Ethylfluid durchgeführt.

Um die Witterungseinflüsse soweit wie möglich auszuschalten, wurden die Messungen für einen Motor mit Zusatz von Benzol und Ethylfluid zu einem Grundbenzin und für beide Versuchsreihen, veränderliche und konstante Kühlwasseraustrittstemperatur, jeweils an einem Tage durchgeführt. Sämtliche Versuche wurden außerdem von dem gleichen Personal gefahren, um eine möglichst gleichmäßige Beurteilung der Klopfstärke zu bekommen.

II. Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse, die auf diese Weise z. B. in einem 2,5-l-Motor mit Benzin 1 gefunden wurden, sind in Abb. 28 aufgetragen worden. Man erkennt, daß der Motor z. B. bei 20° Luft- und 60° Kühlwasseraustrittstemperatur für Benzolgemisch eine Research-Octanzahl von 75 benötigt, während bei Bleibenzin eine Octanzahl von 72,5 genügt. Je höher nun die Betriebstemperaturen wurden, je größer

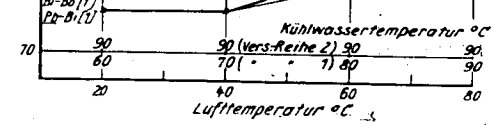


Abb. 29. Für klopffreien Betrieb mit Grundbenzin 1 bei einem 1,7-l-Motor (4) erforderliche Research-Octanzahl

wurde der Unterschied zwischen Benzolgemisch und Bleibenzin, so daß für 80° Luft- und 90° Kühlwasseraustrittstemperatur für Benzolgemisch eine Octanzahl von 87,5 und bei Bleibenzin von 79 benötigt wurde. Entsprechend liegen die Werte für die Versuchsreihe 2, mit konstanter Kühlwasseraustrittstemperatur von 90°

9990

Der etwas eckige, z. T. auch unregelmäßige Verlauf der Kurven ist auf die verhältnismäßig grobe Meßmethode durch Abhören wie auch auf die Abstufung der Kraftstoffmischungen von 4 zu 4 % Motorenbenzol bzw. von 0,2 zu 0,2 cm³ Ethylfluid zurückzuführen.

Auch *Abb. 29* mit den Werten für einen 1,7-l-Motor zeigt ähnliche Ergebnisse. Die Unterschiede zwischen Benzolgemisch und Bleibenzin waren jedoch nicht ganz so groß. Bei niedriger Temperatur liegen beide Kurven zusammen.

Auch für alle übrigen Motoren wurden auf diese Weise ähnliche Ergebnisse gefunden. Die Unterschiede zwischen der notwendigen Octanzahl bei Benzolgemisch und Bleibenzin waren teils größer, teils geringer.

Eine Zusammenstellung dieser Werte für die Versuchsreihe 1 mit veränderlicher Luft- und Kühlwasseraustrittstemperatur zeigt *Abb. 30*. Die starken Kurven gelten jeweils für Benzolgemische und die dünnen für Bleibenzin, während die verschiedenen Nummern jeweils einen Motor bezeichnen.

Abb. 31 gibt die Ergebnisse für konstante Kühlwasseraustrittstemperatur von 90° wieder. Man sieht, daß für die gleiche Nummer, d. h. für einen bestimmten Motor im allgemeinen die dünne Kurve für Bleibenzin niedriger liegt.

Nach diesen Ergebnissen *(Abb. 30* und *31)* war es natürlich unmöglich, eine für alle Motoren gültige Mindestoctanzahl anzugeben, ohne in den Anforderungen zu hoch zu gehen.

Die einzelnen Motoren stellten schon ganz verschiedene Ansprüche, die bis zu 15 und mehr Octanzahleinheiten auseinanderlagen, und außerdem bestanden zwischen Benzolgemischen und Bleibenzin ebenfalls beträchtliche Unterschiede.

Auf Grund dieser Ergebnisse sollte nun festgestellt werden, ob der gleiche Motor bei Verwendung verschiedener

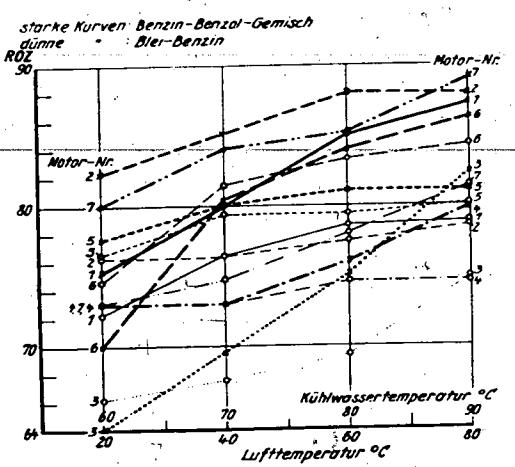


Abb. 30. Für klopffreien Betrieb mit Grundbenzin 1 bei verschiedenen Motoren erforderliche Research-Octanzahl. — Versuchsreihe 1: Kühlwassertemp. veränderlich 60°, 70°, 80°, 90°

Benzine ebenfalls noch andere Octanzahlansprüche stellen würde. Es wurden daher in einem 2,5- und einem 4,2-l-Motor noch weitere 6 Benzine mit Zusatz von Benzol und Ethylfluid in der gleichen Weise untersucht.

Die Ergebnisse für den 2,5-l-Motor mit 7 verschiedenen Benzinen sind in *Abb. 32* und *33* aufgetragen worden.

Abb. 32 zeigt die Kurven für veränderliche Kühlwasseraustrittstemperatur. Die Nummern an den Kurven bezeichnen hier die verschiedenen Benzine. Man sieht,

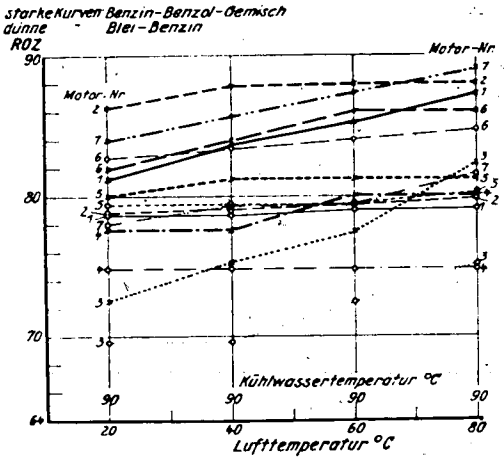


Abb. 31. Für klopffreien Betrieb mit Grundbenzin 1 bei verschiedenen Motoren erforderliche Research-Octanzahl. — Versuchsreihe 2: Kühlwassertemp. 90°

daß für den gleichen Motor bei Verwendung verschiedener Grundbenzine Unterschiede von 10 und mehr Octaneinheiten festgestellt wurden. Auch hier zeigt sich wieder,

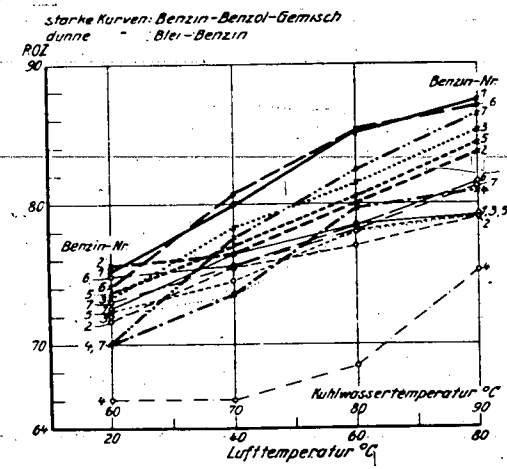


Abb. 32. Für klopffreien Betrieb mit Motor Nr. 1 (2,5 l) bei verschiedenen Grundbenzinen erforderliche Research-Octanzahl. — Versuchsreihe 1: Kühlwassertemp. 60°, 70°, 80°, 90°

daß die Benzolgemische allgemein eine höhere Research-Octanzahl aufweisen müssen als Bleibenzine. Wenn auch jedes Benzin an einem anderen Tag gefahren werden mußte, so können die Witterungseinflüsse doch nicht so groß sein, daß dadurch die Unterschiede zu erklären wären.

9991

Die gleichen Ergebnisse zeigt *Abb. 33* für die Versuchsreihe 2 mit konstanter Kühlwasseraustrittstemperatur, wobei die Kurven allgemein flacher verlaufen. Hieraus geht hervor, daß die Kuhlwassertemperatur einen stärkeren Einfluß auf das Klopfen des Motors ausübt als die Erhöhung der Lufttemperatur, denn mit Erhöhung der Lufttemperatur sinkt gleichzeitig die angesaugte Luftmenge.

Abb. 34 zeigt die Kurven für einen 4,2-l-Motor mit veränderlicher Kühlwassertemperatur für 6 verschiedene Benzine. Die Ergebnisse sind grundsätzlich wieder dieselben.

Abb. 35 gilt für den gleichen Motor und die gleichen Benzine bei konstanter Kühlwassertemperatur von 90°.

Nach diesen Ergebnissen war es, wie schon gesagt, unmöglich, eine bestimmte notwendige Octanzahl für alle Motoren anzugeben. Es wurde daher nun versucht, ob die Motor-Methode eine bessere Übereinstimmung der Klopfansprüche lieferte. Sämtliche Mischungen, die für einen Motor bei bestimmten Betriebsbedingungen gerade noch einwandfrei arbeiteten, wurden nach der Motor-Methode geklopft. Die gefundenen Werte wurden wieder in der gleichen Weise aufgetragen.

Abb. 36 zeigt die Ergebnisse für den 2,5-l-Motor für beide Versuchsreihen mit veränderlicher und konstanter Kühl-

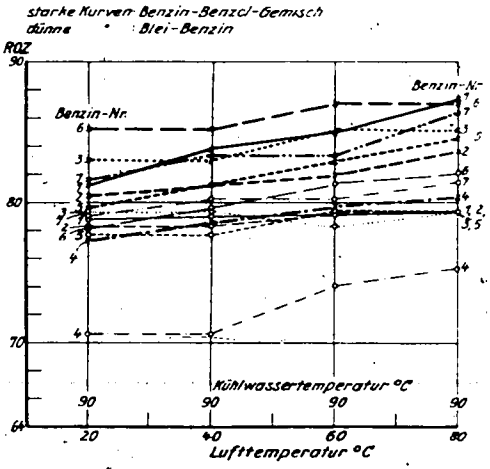


Abb. 33. Für klopffreien Betrieb mit Motor Nr. 1 (2,5 l) bei verschiedenen Grundbenzinen erforderliche Research-Octanzahl. — Versuchreihe 2: Kuhlwassertemp. 90°

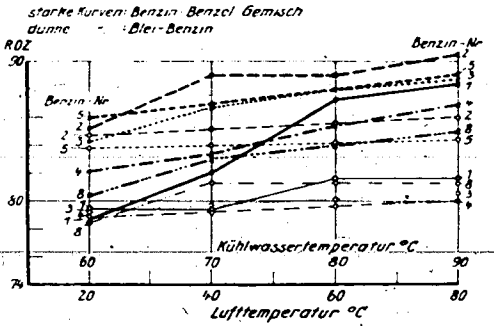


Abb. 34. Für klopffreien Betrieb mit Motor Nr. 8 (4,2 l) bei verschiedenen Grundbenzinen erforderliche Research-Octanzahl. — Versuchreihe 1: Kühlwassertemp. 60°, 70°, 80°, 90°

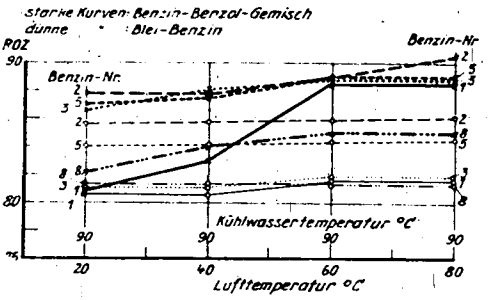


Abb. 35. Für klopffreien Betrieb mit Motor Nr. 8 (4,2 l) bei verschiedenen Grundbenzinen erforderliche Research-Octanzahl. — Versuchreihe 2: Kühlwassertemp. 90°

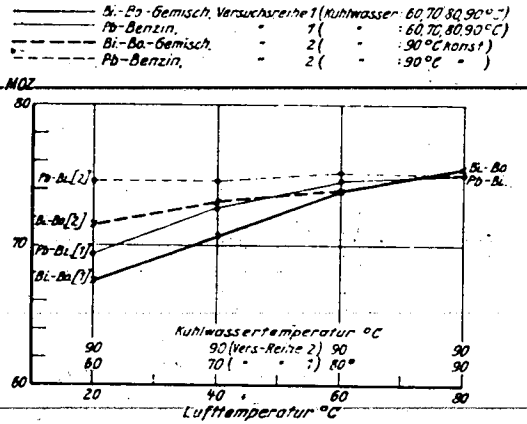


Abb. 36. Erforderliche Motor-Octanzahl entspr. Abb. 28

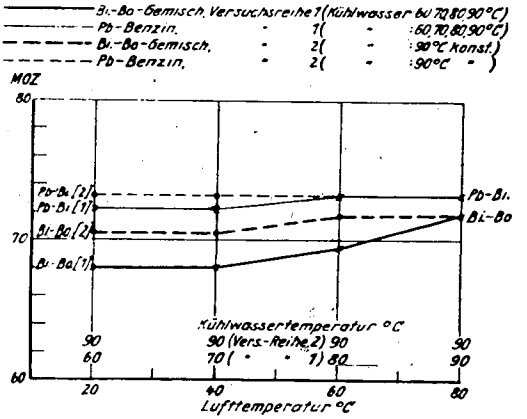


Abb. 37. Erforderliche Motor-Octanzahl entspr. Abb. 29

wassertemperatur. Die ausgezogenen und gestrichelten Kurven gehören jeweils zusammen. Zunächst sieht man, daß die Kurven wesentlich näher beieinanderliegen. Andererseits ist zu bemerken, daß jetzt die Kurven für Benzolgemisch etwas niedriger liegen, und zwar in diesem Fall bis zu etwa 2 Octanzahleinheiten. Das heißt, bei der Research-Methode fand für Benzolgemische eine Überbewertung, bei der Motor-Methode eine geringere Unterbewertung statt. Bei höheren Betriebstemperaturen fallen die Kurven praktisch zusammen, was sich auch bei den anderen Motoren fast immer bestätigte.

Abb. 37 zeigt die Ergebnisse für den 1,7-l-Motor nach der Motor-Methode. Auch hier sind die Unterschiede zwischen Benzolgemisch und Bleibenzin geringer als bei Bewertung nach der Research-Methode.

Abb. 38 zeigt nun wieder die Zusammenstellung für die Motoren bei Betrieb mit Benzin 1 und Bewertung nach der Motor-Methode und veränderlicher Kühlwassertemperatur. Man sieht, daß die Kurven für die einzelnen Motore im allgemeinen wesentlich näher beieinanderliegen. Das Kurvenband, das von den verschiedenen Motoren gebildet wird, ist jedoch noch ziemlich breit. Bei der Research-Methode betrug die Breite 15 bis 17, bei der Motor-Methode 16 bis 8 Octanzahleinheiten.

Abb. 39 gibt die Werte für verschiedene Motoren bei konstanter Kühlwassertemperatur mit Benzin 1. Das Gesamtbild der Ergebnisse ist das gleiche wie das der *Abb. 38*.

Abb. 40 gilt für den 2,5-l-Motor mit 7 verschiedenen Benzinen bei Bewertung nach der Motor-Methode. Hier ist das Kurvenband nur etwa 7 Octanzahleinheiten breit, während es bei der Research-Methode zwischen 10 und 12 Octanzahleinheiten lag.

Abb. 41 zeigt die Ergebnisse für den gleichen Motor und die gleichen Benzine bei konstanter Kühlwassertemperatur von 90°. Die Kurven für jedes einzelne Grundbenzin liegen auch hier sehr nahe zusammen, wie das durch die Kurven gleicher Nummern gekennzeichnet ist.

Abb. 42 gilt mit 6 verschiedenen Benzinen für den 4,2-l-Motor bei veränderlicher Kühlwassertemperatur.

Abb. 43 zeigt die Werte für den gleichen Motor und die gleichen Benzine bei konstanter Kühlwassertemperatur.

Bei allen Kurven, die nach der Motor-Methode ausgewertet wurden, konnte also eine wesentlich bessere Übereinstimmung sowohl zwischen Benzolgemisch und Bleibenzin als auch zwischen den verschiedenen Benzinen und Motoren erreicht werden.

Um die gefundenen Werte zahlenmäßig übersehen zu können, wurden sämtliche Ergebnisse für die Research- und Motor-Methode in *Zahlentafel 26* und *27* zusammengestellt.

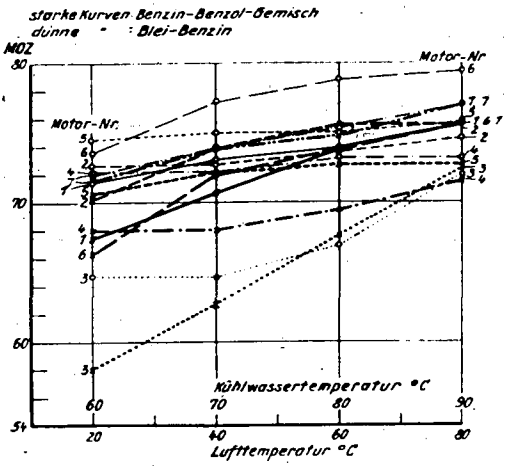


Abb. 38. Erforderliche Motor-Octanzahl entspr. Abb. 30

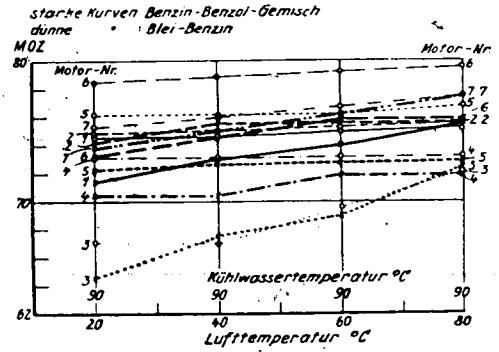


Abb. 39. Erforderliche Motor-Octanzahl entspr. Abb. 31

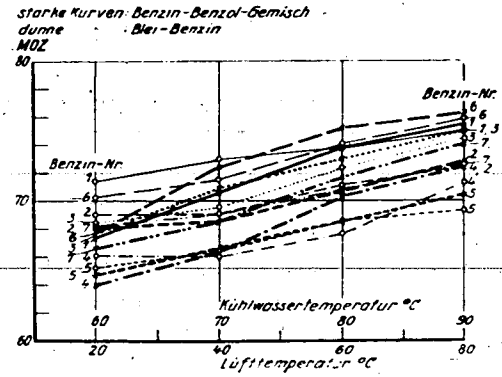


Abb. 40. Erforderliche Motor-Octanzahl entspr. Abb. 32

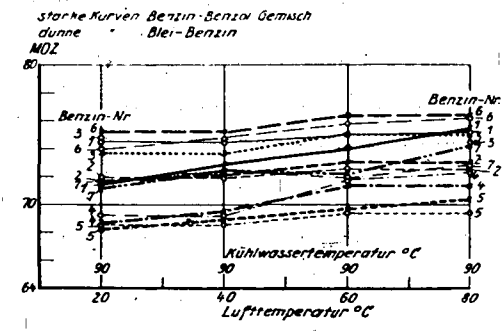


Abb. 41. Erforderliche Motor-Octanzahl entspr. Abb. 33

Zahlentafel 26 gibt die Zahlwerte für die Research-Methode wieder. + bedeutet notwendige Mehr-Octaneinheiten von Benzolgemisch gegenüber Bleibenzin, — gleich notwendige Minder-Octaneinheiten.
Man sieht, daß fast nur +-Werte bei der Research-Methode zu finden sind. Die Mittelwerte zeigen mit zunehmenden Betriebstemperaturen größere Plus-Werte. D. h., je höher die Betriebstemperaturen des Motors sind, desto größer ist die Überbewertung von Benzolgemisch gegenüber Bleibenzin bei der Research-Methode.

Zahlentafel 26. Abweichungen der benötigten Octanzahl zwischen Blei-Benzin und Benzol-Gemischen bei verschiedenen Motoren und Benzinen bei Bewertung der Kraftstoffe nach der Research-Methode

+ = notwendige Mehr-, — = notwendige Minder-Octaneinheiten von Bo-Gem. gegenüber Pb-Benzin

Motor Nr.	Benzin Nr.	Temperatur der Luft und des austretenden Kühlwassers 20° 60°	20° 90°	40° 70°	40° 90°	60° 80°	60° 90°	80° 90°
2	1	+ 6,0	+ 7,0	+ 8,7	+ 8,8	+ 10,2	+ 8,5	+ 8,5
3	1	— 2,0	+ 2,0	+ 2,0	+ 5,5	+ 5,7	+ 5,0	+ 8,6
4	1	± 0,0	+ 2,7	± 0,0	+ 2,7	+ 1,2	+ 5,0	+ 5,0
5	1	+ 1,2	+ 0,6	+ 0,7	+ 1,7	+ 1,7	+ 1,7	+ 0,8
6	1	— 4,8	— 1,0	— 1,0	+ 0,6	+ 0,8	+ 2,0	+ 1,6
7	1	+ 7,0	+ 6,0	+ 9,2	+ 6,2	+ 7,0	+ 8,0	+ 7,6
9	8	— 5,8	—	+ 4,2	—	+ 2,5	—	— 1,0
10	8	+ 7,5	+ 4,7	+ 1,8	+ 1,8	+ 4,0	+ 5,5	+ 2,0
8	1	+ 0,7	+ 0,3	+ 2,6	+ 2,4	+ 5,8	+ 6,9	+ 6,9
8	2	+ 0,4	+ 2,2	+ 3,8	+ 2,1	+ 3,4	+ 3,0	+ 4,6
8	3	+ 4,9	+ 5,5	+ 7,2	+ 6,9	+ 8,0	+ 6,9	+ 6,9
8	4	+ 3,4	+ 4,5	+ 4,3	+ 5,0	+ 6,0	+ 5,5	+ 6,0
8	5	+ 2,0	+ 3,0	+ 3,0	+ 3,3	+ 3,8	+ 4,6	+ 4,5
8	8	+ 1,8	+ 0,8	+ 1,8	+ 2,8	+ 2,7	+ 3,7	+ 3,7
1	1	+ 2,7	+ 2,5	+ 3,6	+ 5,0	+ 6,5	+ 6,0	+ 8,5
1	2	+ 3,8	+ 3,4	+ 1,0	+ 3,1	+ 2,8	+ 2,8	+ 4,7
1	3	+ 1,4	+ 3,7	+ 4,8	+ 3,7	+ 3,8	+ 6,9	+ 6,0
1	4	+ 4,0	+ 6,6	+ 7,5	+ 8,0	+ 11,5	+ 5,8	+ 5,1
1	5	+ 0,5	+ 1,8	+ 2,3	+ 3,4	+ 2,7	+ 3,6	+ 5,2
1	6	— 0,6	+ 7,0	+ 5,0	+ 5,6	+ 7,0	+ 5,8	+ 5,0
1	7	— 3,0	+ 2,5	+ 1,8	+ 3,1	+ 4,5	+ 3,1	+ 5,0
Mittelwerte:		+ 1,25	+ 3,30	+ 3,54	+ 4,08	+ 4,83	+ 5,00	+ 5,11

Bei *Zahlentafel 27*, welche die Werte für die Motor-Methode wiedergibt, liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Wir finden fast nur Minus-Werte, d. h. eine Unterbewertung der Benzolgemische. Die gefundenen Mittelwerte liegen hier zwischen 2,56 und 0,37 Octanzahleinheiten, im Vergleich zu 1,25 bis 5,11 bei der Research-Methode.

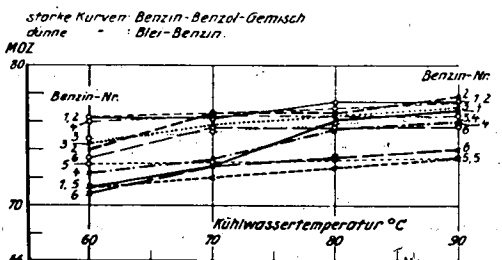


Abb. 42. Erforderliche Motor-Octanzahl entspr. Abb. 34

III. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der vorliegenden Versuche zeigen, daß die Bewertung der Klopffestigkeit unserer Kraftstoffe im Klopfmotor noch sehr stark vom praktischen Betrieb abweicht. Das Abbremsen des Motors in der kurzen Zeit von 2 min ändert an der unterschiedlichen Bewertung der Benzolgemische und der Bleibenzine nichts, sondern verschiebt nur die Höhenlage der einzelnen Kurven.

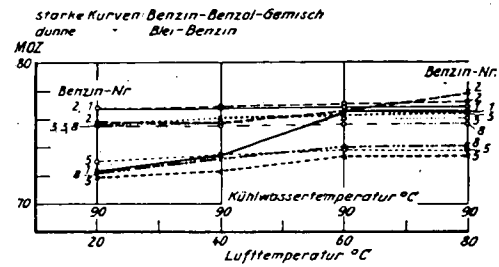


Abb. 43. Erforderliche Motor-Octanzahl entspr. Abb. 35

Auch die gewählten Betriebsbedingungen von 60° Luft- und 80° Kühlwassertemperatur sind z. B. Werte, wie sie in der Praxis während der warmen Jahreszeit und besonders bei stark beanspruchten Motoren nicht selten sind, während so niedrige Temperaturen von 20° Luft- und 60° Wassertemperatur nur bei kälterem Wetter auftreten, wo sowieso seltener Klopfen der Motore beobachtet wird. Aber gerade bei den hohen Bedingungen scheint die Motor-Methode die besseren Werte zu liefern, denn die Unterbewertung der Benzolgemische liegt hier im Mittel bei nur etwa 0,5 Octaneinheiten, während die Überbewertung nach der Research-Methode hierfür etwa 5 Octaneinheiten beträgt.
Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit den Erfahrungen, die man in den Vereinigten Staaten von Nordamerika gemacht hat.

Zahlentafel 27. Abweichungen der notwendigen Octanzahl zwischen Blei-Benzin und Benzol-Gemischen bei verschiedenen Motoren und Benzinen bei Bewertung der Kraftstoffe nach der Motor-Methode

+ = notwendige Mehr-, — = notwendige Minder-Octaneinheiten von Bo-Gem. gegenüber Pb-Benzin

Motor Nr.	Benzin Nr.	Temperatur der Luft und des austretenden Kühlwassers 20° 60°	20° 90°	40° 70°	40° 90°	60° 80°	60° 90°	80° 90°
2	1	— 0,5	— 0,2	— 1,2	— 0,7	+ 1,8	+ 0,4	+ 0,8
3	1	— 6,0	— 2,3	— 1,0	+ 0,6	+ 0,8	— 0,5	+ 0,6
4	1	— 4,2	— 2,7	— 4,2	— 2,7	— 3,8	— 1,4	— 1,4
5	1	— 4,0	— 4,0	— 4,0	— 3,4	— 3,4	— 3,4	— 4,0
6	1	— 7,0	— 5,4	— 5,2	— 4,6	— 4,8	— 3,6	— 3,9
7	1	— 0,5	— 1,4	+ 0,4	— 1,0	— 1,0	— 0,6	— 0,3
9	8	+ 3,2	—	+ 2,4	—	+ 1,2	—	+ 0,3
10	8	— 7,4	— 1,0	— 1,9	— 3,0	— 1,4	± 0,0	— 2,2
8	1	— 5,2	— 4,5	— 3,4	— 3,2	— 1,3	— 0,4	— 0,7
8	2	— 2,2	— 1,0	± 0,0	— 1,0	— 0,4	— 0,6	+ 0,4
8	3	— 0,2	± 0,0	— 0,5	+ 0,2	+ 0,6	+ 0,3	+ 0,6
8	4	— 3,7	—	— 3,0	—	— 0,8	—	— 0,3
8	5	— 1,6	— 1,1	— 1,0	— 1,2	— 0,5	— 0,5	± 0,0
8	8	— 2,4	— 3,4	— 2,8	— 2,2	— 2,2	— 1,6	— 1,6
1	1	— 4,0	— 3,0	— 2,4	— 1,5	± 0,0	— 1,3	+ 0,5
1	2	— 0,8	— 0,3	+ 0,4	+ 0,2	— 0,3	+ 0,6	+ 0,6
1	3	+ 0,8	+ 0,9	+ 1,4	+ 0,9	+ 0,7	+ 1,0	+ 0,5
1	4	— 2,0	— 0,5	+ 0,2	+ 0,3	+ 2,7	— 0,3	— 1,1
1	5	+ 0,4	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,5	± 0,0	+ 0,3	+ 1,0
1	6	— 2,5	— 1,3	— 0,9	— 0,3	— 1,2	— 0,6	+ 0,2
1	7	+ 1,5	+ 0,4	+ 0,5	± 0,0	+ 0,9	+ 0,2	+ 1,7
Mittelwerte:		— 2,56	— 1,55	— 1,07	— 1,10	— 0,48	— 0,54	— 0,37

9994

Dipl.-Ing. H. Waldmann

Motor- oder Research-Methode für Erdkraftstoffe?

Daß im Prüfmotor infolge seiner besonderen Bauart niemals die Betriebsbedingungen der Praxis, unter denen der Gebrauchsmotor arbeiten muß, getreu wiederholt werden können, ist allerseits anerkannt. Nach dem heutigen Stand der Prüfverfahren muß man sich unter diesen Umständen damit begnügen, zwischen den im Prüfmotor erhaltenen Klopfwerten und dem Durchschnittsverhalten der Kraftstoffe im praktischen Fahrbetrieb unter Inkaufnahme erheblicher Streuwerte eine annähernde Übereinstimmung zu erzielen. Daß auch im Ausland, und gerade in den USA, dem Mutterland der international eingeführten Klopfmethoden, diese Grenzen der bisherigen Entwicklung klar erkannt werden, zeigt eine Reihe von Veröffentlichungen der letzten Jahre. Sie sind charakteristisch für das Bemühen, falsche Messungen des Prüfmotors durch Bildung von Mittelwerten aus verschiedenen Prüfmethoden, durch Einsatz von regional und klimatisch bedingten Konstanten oder durch Einführung von Berichtigungswerten oder durch Zusatz-Octanziffern im Interesse einer gerechten Kraftstoffbewertung auszugleichen.

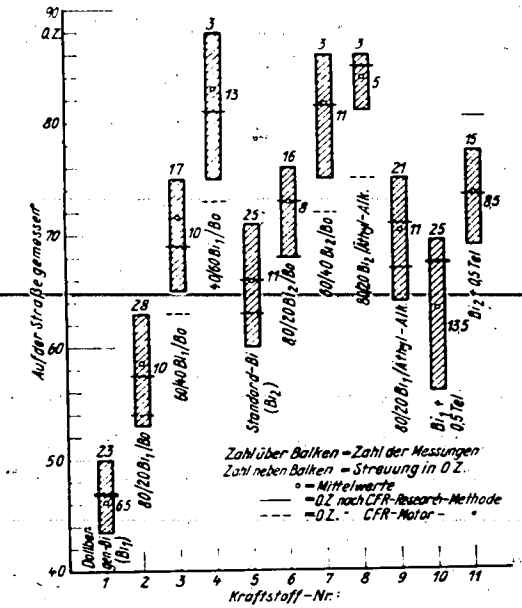


Abb. 44. Straßenklopfwerte 1935

Anders als in den USA oder anderen Ländern bedeutenderen Kraftstoffverbrauches ist ein sehr großer Teil der deutschen Kraftstoffe benzol- oder aromatenhaltig. Diese erleiden unter den Bedingungen der Motor-Methode (150° Temperatur des angesaugten Kraftstoff-Luftgemisches) einen scharfen Abfall ihrer Bewertung in Octanzahlen im Gegensatz zu der Bewertung aromatenfreier oder gebleiter Benzine.

Die A.-G. der Kohlenwertstoff-Verbände — Benzol-Verband — hat in den letzten Jahren verschiedene umfangreiche Versuchsreihen zur Überprüfung des Klopfverhaltens von Benzol-Gemischen in normalen Kraftfahrzeugen der Wirtschaft durchgeführt.

1935 wurden 38 Fahrzeuge mit je elf verschiedenen Kraftstoffen auf ihr Straßenklopfverhalten hin untersucht. Die Octanzahlen der Kraftstoffe im Fahrzeug auf der Straße wurden in Anlehnung an die Union-Town-Methode so bestimmt, daß bei vollkommen durchwärmter Maschine unter Gleichhaltung der normalen Betriebs-Temperaturen von Kühlwasser, Öl und Ansaugluft, ferner bei normaler bzw. der größten Klopfstärke entsprechender Düse sowie normaler Zündeinstellung der Wagen mit Vollgas beschleunigt und die Klopfneigung des Versuchs- mit der Klopfneigung des Bezugs-Kraftstoffes bei den verschiedenen, während der Beschleunigung durchfahrenen Geschwindigkeiten gehörmäßig verglichen wurde. So ergeben sich dann Klopfstärkegrade, von denen jedoch nur die größten Werte, unabhängig von der Geschwindigkeit, bei der sie auftraten, für den Vergleich von Versuchs- und Bezugs-Kraftstoffen herangezogen wurden. Die Octanzahl des Fahrzeugmotors war dann der Isooctangehalt derjenigen n-Heptan-Isooctan-Mischung, welche den gleichen Kurvenhöchstwert wie der Versuchskraftstoff aufwies.

Das in jedem Balken (Abb. 44) befindliche Zeichen ○ bedeutet — als Mittelwert gebildet — die Heptan-Octan-Mischung (Ordinate), die sich im Fahrzeug klopfgleich verhält wie der dem jeweiligen Balken zugeordnete Kraftstoff. In jedem Balken sind dann noch die Octanzahlen nach der Research- und der Motor-Methode eingetragen, die der betreffende Kraftstoff im CFR-Prüfmotor zeigt. Man sieht, daß die Octanzahlen nach der Motor-Methode bei den Alkohol- und besonders bei den Benzol-Gemischen vielfach noch unter dem niedrigsten gemessenen Wagenwert und bis zu 10 Octanzahlen unter dem Wagenmittelwert liegen. Die Octanzahlen nach der Research-Methode liegen durchweg günstiger, und zwar bis auf das eine Bleibenzin sämtlich innerhalb des Streubereiches, meist in unmittelbarer Nähe des Mittelwertes.

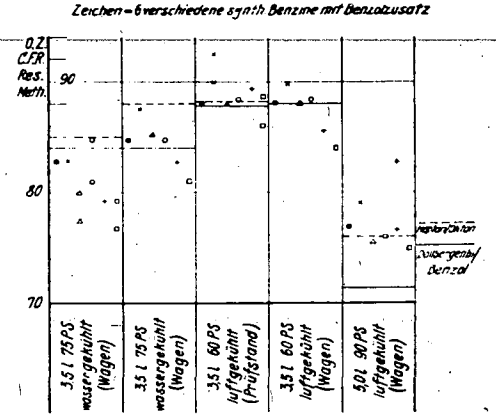


Abb. 45. Ermittlung von Klopfgrenzmischungen heimischer Kraftstoffe

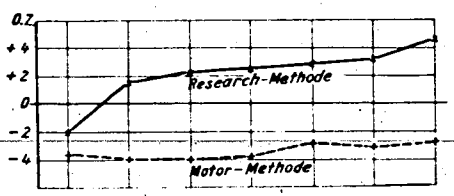
1937 wurden einige Fahrzeugtypen zwischen 3,5 und 5 Liter Hubvolumen, wasser- und luftgekühlt, mit 6 verschiedenen Benzinen deutscher Erzeugung, denen jeweils Benzol, Monopol-Sprit oder Blei zugegeben wurde, auf dem Prüfstand sowie auf der Straße auf ihr Klopfverhalten

9995

untersucht (*Abb. 45*). Die Ansaugluft temperatur betrug bei den Versuchen 45° bis 55°, die Kühlmitteltemperatur 90°, die Öltemperatur 90° bis 95°. Auch bei diesen Fahrzeugen wurde die Klopfgrenze des betreffenden Fahrzeuges unmittelbar mit Heptan und Octan gemessen. Darüber hinaus wurde aber auch die Klopfgrenze mit Dollbergen-Benzin/Reinbenzol, also mit den im Klopfprüfmotor seinerzeit verwendeten Substandards, festgestellt. Auch diese beiden Klopfgrenzpunkte sind auf *Abb. 45* vermerkt. Dabei entspricht die für die Substandards abzulesende Octanzahl der Research-Octanzahl, die im Klopfprüfmotor gemessen wurde, also der Eichkurve. Wenn sich die Substandards im jeweiligen Fahrzeugmotor gegenüber Heptan/Octan genau so verhalten würden wie im Prüfmotor, so müßten bei jedem Fahrzeug die waagerechten Linien für Heptan-Octan und Dollbergen-Benzin/Reinbenzol aufeinanderliegen. Es treten aber Abweichungen bis zu 4 Octanzahlen auf, und zwar im Sinne eines besseren Verhaltens des aromatenreichen Substandardgemisches im Fahrzeugmotor als im CFR-Prüfmotor.

Abb. 45, welche die Ergebnisse für die Gemische mit Benzol enthält, zeigt, daß ebenfalls die Research-Werte der in den verwendeten Motoren ermittelten Klopfgrenzmischungen eine befriedigende Übereinstimmung mit ihrem tatsächlichen Verhalten im Motor haben, wenn man die unvermeidlichen Streuungen bei derartigen Versuchen in Rechnung setzt. Die Werte nach der CFR-Motor-Methode sind nicht bestimmt, aber es ist bei der bekannten Octanzahl-Absenkung, die für Benzolgemische nach der Motor-Methode eintritt, ohne weiteres abzulesen, daß diese Octanwerte nach der Motor-Methode unterhalb der mit Heptan-Octan oder der mit den Substandards festgestellten Klopfgrenze des betreffenden Fahrzeuges liegen würden, daß diese Motor-Octanwerte also eine Unterbewertung darstellen würden.

Während die bisher geschilderten Ergebnisse der Arbeiten des Benzol-Verbandes sich bis auf eine Ausnahme auf Landstraßenversuche bezogen, wurden etwa gleichzeitig



+ = benötigte Mehr-Octanzahlen bei Benzolgemisch gegenüber Bleibenzin
— " Minder- " " " " " "

Abb. 46. Prüfstandswerte 1942 Herunterbremsen von 3000 auf ca. 1000 U/min in 2 min.

mit den Versuchen, die Dipl.-Ing. *Unverhau* an anderer Stelle dieses Berichts schildert, Prüfstandsversuche mit variiertem Wärmezustand der untersuchten Motoren durchgeführt. Nach der Untersuchungsmethode, die bereits Dipl.-Ing. *Unverhau* ausführlich darstellt, ergab sich als Mittel aller untersuchten Kraftstoffe und Motoren *Abb. 46*. Es sind hier über den jeweiligen Temperaturbedingungen von Kühlwasser und Ansaugluft die bei Anwendung der Research-Methode erforderlichen Mehr-Octanzahlen von Benzolgemisch gegenüber Bleibenzin und die bei Anwendung der Motor-Methode erforderlichen Minder-Octanzahlen von Benzolgemisch gegenüber Bleibenzin aufgetragen. Der Kurvenzug über der waagerechten Null-Linie bedeutet also eine Überbewertung des Benzol-Gemisches gegenüber Bleibenzin nach der Research Methode, der Kurvenzug unter der Null-Linie zeigt die Unterbewertung nach der Motor Methode

Um nachzuprüfen, in welcher Weise durch Abänderung der Prüfstandsbedingungen andere Werte entstehen,

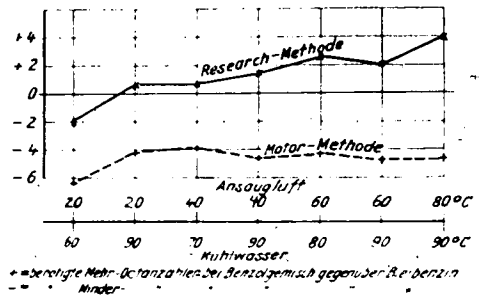


Abb. 47 Prüfstandswerte 1942 Drehzahl im Klopfg biet konstant

wurde neben der Methode des Herunterbremsens noch so gefahren, daß der jeweilige Motor bei seiner klopffreudigsten Drehzahl konstant mit Vollast gefahren und dabei auf die gewünschten Temperatur-Bedingungen eingestellt wurde. Das Ergebnis, in gleichem Sinne wie *Abb. 46* aufgetragen, zeigt *Abb. 47*.

Inwieweit die geschilderten Versuchsbedingungen und Versuchsergebnisse, die auf dem Prüfstande erhalten wurden, auf die Fahrpraxis übertragbar sind und dam t A' weichungen gegenü'er den früheren Straßenklopfwerten zu erklären sind, wurde nicht festgestellt, wie dies auch bei den von Dipl.-Ing. *Unverhau* berichteten Versuchen nicht erfolgte.

Die Frage Motor- oder Research-Methode — wenn man überhaupt bei einer Einpunkt-Methode bleibt — ist gleichbedeutend mit der Frage nach der Wärmebelastung der Motoren, die bei Kriegsfahrzeugen wesentlich höhere Werte als bei Fahrzeugen der Wirtschaft annehmen kann. Für die weitere Zukunft wäre eine Klopfmessung anzustreben, die den mittleren klimatischen Verhältnissen und später den vermutlich einheitlich ausgerichteten Motorenkonstruktionen in dem neuen europäischen Raum entspricht. Die hierzu erforderlichen Arbeiten können aber erst nach dem Kriege begonnen werden. Erst dann kommt die Zeit, wo wesentliche Änderungen in der Bauart der Motoren und eine Stabilität in der Kraftstoffverteilung eintreten und damit die Frage, ob die Methodik der Bewertung der Kraftstoff-Klopffestigkeit beibehalten oder geändert werden muß, neu aufgeworfen und behandelt werden kann. Es sind Anzeichen dafür vorhanden, daß in der Zwischenzeit motorische Untersuchungsmethoden gefunden werden, welche einmal eine Beurteilung des Klopfverhaltens eindeutiger als bisher in Richtung größerer Genauigkeit gestatten und andererseits dazu beitragen können, daß bei der Entwicklung der Motorenkonstruktionen Wege beschritten werden, welche die Klopfstreuungen, die heute die Messungen so wesentlich stören, in geringerem Umfange auftreten lassen als heute.

9996

Dipl.-Ing. F. Rueß

Ansetzen von Bleitetraäthyl-Lösungen zum Verbleien von Benzinen im Labor

Das Bleitetraäthyl ist bekanntlich handelsmäßig nicht in reiner, sondern nur in verdünnter Form unter der Bezeichnung „Ethyl-Fluid" erhältlich, das etwa 62 Gewichtsprozent reines Bleitetraäthyl $Pb(C_2H_5)_4$ enthält. Zur Handhabung auf dem Klopfprüfstand wird das Fluid weiter mit Benzin verdünnt und dadurch eine „Bleilösung" hergestellt. Diese Bleilösung dient dann zum Vermischen mit dem zu verbleienden Benzin, wobei 1 cm³ „Bleilösung", auf eine bestimmte Menge Benzin (z. B. 200 cm³) gegeben, einem ganz bestimmten Volumprozentsatz Bleitetraäthyl in der fertigen Mischung der 200 cm³ entspricht.

Vergleichsversuche zwischen einigen Prüfständen über Klopfwerte aufgebleiter Benzine und ihrer Grundbenzine haben gezeigt, daß die zunächst mangelhafte Übereinstimmung der Ergebnisse dieser Bestimmungen zufriedenstellend geworden ist, nachdem folgende drei Punkte geregelt waren, die bis jetzt noch nicht so in den Betriebsvorschriften für die Klopfwertbestimmung festgelegt sind, daß alle Prüfstände eindeutig und einheitlich die „Bleilösung" und damit dann das gebleite Benzin-Endgemisch herstellen können:

I. Konzentration der „Bleilösung";
II. Octanzahl des zur Herstellung der „Bleilösung" verwendeten Verdünnungsbenzins;
III. Anwendung der „Bleilösung".

Die Notwendigkeit, für diese gesamte Handhabung eine einheitliche Regelung für alle Prüfstände durchzuführen, ist damit begründet, daß durch die Vorschriften für die Klopfwertbestimmung alle, auch die unscheinbarsten Fehlermöglichkeiten ausgeschaltet werden sollen.

I. Konzentration der „Bleilösung"

Das „Ethyl-Fluid" wird als
blaugefärbtes 1-T-Fluid für Fliegerkraftstoffe
und
rotgefärbtes Q-Fluid für Autokraftstoffe
geliefert.

Bei dem hier in Frage kommenden 1-T-Fluid ist das Volumenverhältnis Fluid : Bleitetraäthyl = 1,53 : 1; d. h. z. B. die im Originalgefäß gelieferten 918 cm³ Ethyl-Fluid enthalten 600 cm³ Bleitetraäthyl.

Die „Bleilösung" aus diesem Ethyl-Fluid stellen nun beispielsweise drei Prüfstellen in ganz verschiedenen Konzentrationen her, wie *Zahlentafel 28* zeigt.

Zu *Zahlentafel 28* ist folgendes zu bemerken:
Die Angaben der Mischvorschrift des Prüfstandes I rühren davon her, daß bei Zugabe von 1 cm³ „Bleilösung" auf 200 cm³ Benzin diese Mischung 1 cm³ Bleitetraäthyl je USA-Gallone Gemisch enthält. Die Konzentration ist verhältnismäßig gering, die Berechnung der Lösung und des Gemisches umständlich; die Vorschrift dürfte heute überholt sein.

Prüfstand II arbeitet nach der Mischvorschrift der Ethyl-GmbH vom Dezember 1936: „Herstellung von verdünntem Ethyl-Fluid 1-T-Blau und Beschreibung einer Meßapparatur zum Vermischen von kleinen Benzinproben mit Ethyl-Fluid". Es heißt darin: „Die Verdünnung erfolgt am günstigsten so, daß in dem verdünnten Ethyl-Fluid das Verhältnis

verdünntes Fluid : Bleitetraäthyl = 10 : 1

beträgt.

Hierdurch ergibt sich eine einfache Rechnung, und man kann leicht das für die betreffende Benzinprobe notwendige verdünnte Fluid, welches die gewünschte Menge cm³ Bleitetraäthyl enthält, bestimmen und abmessen."

Prüfstand III arbeitet nach der in der „Anleitung und Betriebsvorschrift für die Klopfwertbestimmung am I. G.-Prüfmotor" vom Technischen Prüfstand der I. G., Ausgabe C, angegebenen Vorschrift, die auf eine Konzentration von 5 : 1 hinausläuft.

Die Arbeitsweisen der Prüfstände II und III haben den Vorteil, daß die Lösungen einfach zu berechnen und anzusetzen sind; die Konzentration der „Bleilösung" nach der I. G.-Vorschrift ist doppelt so hoch wie nach der Ethyl-Vorschrift.

Es ist anzunehmen, daß andere Prüfstände vielleicht wieder nach anderen Vorschriften ihre „Bleilösungen" herstellen.

Fehlermöglichkeiten sind beim Ansetzen der „Bleilösung" gegeben: 1. bei der Herstellung aus dem Ethyl-Fluid; 2. beim Abmessen der zur Verbleiung notwendigen cm³ „Bleilösung" je nach der Konzentration.

Vorschlag: „Die Vorschrift für das Ansetzen der ‚Bleilösung' aus dem Ethyl-Fluid soll in bezug auf Konzentration nach den in der ‚Anleitung und Betriebsvorschrift für die Klopfwertbestimmung am I. G.-Prüfmotor', Ausgabe C, vom Technischen Prüfstand der I. G., S. 39 und 56 enthaltenen Angaben festgelegt werden (vgl. *Zahlentafel 28*, Prüfstand III)."

Begründung: 1. Die Bleilösung ist hiernach besonders einfach anzusetzen und zu berechnen; Beispiel: für 0,1 Vol.-% Verbleiung 1 cm³ Lösung in 200 cm³ Gemisch.

2. Von den bestehenden Anwendungsvorschriften dürfte die I. G.-Vorschrift die größte Verbreitung besitzen; es ist deshalb wahrscheinlich, daß sie jetzt schon am meisten angewendet wird.

3. Zur Unterstützung für diese Vorschrift sind Hilfsmittel entwickelt worden. So sind die Meßbüretten und Meßkugeln nach Bild 17 und 18 der „Anleitung und Betriebsvorschrift" an rund 20 Stellen ausgeliefert worden. Inzwischen sind diese Meßgeräte auch in einem Laborschrank zusammengefaßt worden *(Abb. 48)*.

Zahlentafel 28. Vorschrift dreier Prüfstände zur Herstellung der Bleilösung

Prüfstand	I	II	III
Vorschrift	Amerikanische	Ethyl-GmbH	Techn. Prüfstand der I. G. I.G.-Prüfmotor
Ethyl-Fluid, cm³	81,276	153	92
Benzin, cm³	918,724	847	208
Bleilösung, cm³	1000,000	1000	300
Die beigegebene Menge Fluid enthält Bleitetraäthyl, cm³	53,087	100	60
In der Bleilösung beträgt das Verhältnis verdünnt. Fluid : Bleitetraäthyl	18,8 : 1	10 : 1	5 : 1
Zu einer Verbleiung von 0,1 Vol.-% werden benötigt	3,785 cm³ Bleilösung auf 200 cm³ Gemisch	2 cm³ Bleilösung	1 cm³ Bleilösung

9997

II. Octanzahl des zur Herstellung der „Bleilösung" verwendeten Verdünnungsbenzins

Zur Herstellung der „Bleilösung" aus dem Ethyl-Fluid soll nach der „Betriebsvorschrift" des Technischen Prüfstandes der I. G. für den I. G.-Prüfmotor I. G.-Eichbenzin verwendet werden. Die obenerwähnte Vorschrift der Ethyl-GmbH verlangt: „Zum Verdünnen von Ethyl-Fluid verwende man wegen der Beständigkeit der Lösung nur Benzin mit Jodzahl 0 (straight-run-Benzin) oder chemisch reines Benzol. Motoren- oder Handelsbenzol und Crackbenzin dürfen für diesen Zweck nicht verwendet werden."

Es ist also den einzelnen Prüfständen in gewissen Grenzen freigestellt, mit welchem Benzin in bezug auf die Octanzahl sie ihre „Bleilösung" herstellen wollen. Es zeigt sich nun und soll auch an einem kleinen Beispiel nachgerechnet werden, daß der Klopfwert des hierzu verwendeten Benzins, obwohl es sich nur um verhältnismäßig geringe Beimengungen handelt, den Klopfwert des herzustellenden Benzingemisches beeinflußt, zwar sehr wenig, aber immerhin in einer Größenordnung, wie sie bei Vergleichsversuchen von Klopfwertbestimmungen wohl zu beachten ist:

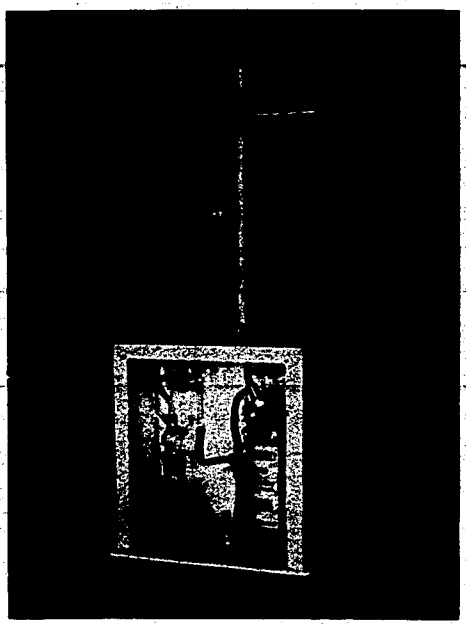


Abb. 48. TP-Laborgerät zum Abmessen von Bleilösungen

Es soll ein Benzin vom Klopfwert A mit 0,1 Vol.-% verbleit werden. Die „Bleilösung" soll mit einem Benzin vom Klopfwert B hergestellt werden in einer Konzentration 10:1, wie sie der Ethyl-Vorschrift entspricht. Die Verbleiung findet so statt, daß 2 cm³ „Bleilösung" (Ethyl-Fluid + Benzin B) auf 200 cm³ zu verbleiendes Benzin A aufgemischt werden; in diesen 2 cm³ „Bleilösung" sind etwa 0,3 cm³ Ethyl-Fluid und 1,7 cm³ Benzin B enthalten. Die Frage ist nun, wie diese 1,7 cm³ Benzin B allein, ohne Blei, den Klopfwert des Benzins A, das durch die 2 cm³ „Bleilösung" auf 0,1 % verbleit werden soll, beeinflussen. Unter der Annahme der Gültigkeit der linearen Mischungsregel ergibt sich als Klopfwert x des Benzins A nach Zusatz des Benzins B (ohne Blei)

$$x = \frac{198{,}3 \cdot A + 1{,}7 \cdot B}{200}$$

Wenn Benzin A beispielsweise die OZ 70 hat, so wird

x = 69,7 OZ bei B = 40 OZ (I.G.-Eichbenzin)
x = 70,0 OZ bei B = 70 OZ
x = 70,3 OZ bei B = 110 OZ (Benzol).

Das heißt also: wenn zwei Prüfstände Vergleichsversuche über Aufbleiung von Grundbenzinen machen und der eine Prüfstand verwendet ein OZ 40-Benzin, der andere Benzol (mit 110 OZ angenommen) zum Herstellen der „Bleilösung", was ja nach den Vorschriften gestattet ist, so kommt dadurch allein schon ein Fehler von 0,6 OZ herein.

Noch größer wird der Unterschied, wenn die Prüfstände noch eine geringere Konzentration der „Bleilösung" verwenden, z. B. die in *Zahlentafel 28* angeführte Konzentration 18,8:1; wenn also für eine 0,1%ige Verbleiung auf 200 cm³ Benzin 3,785 cm³ „Bleilösung", die demnach etwa 3,5 cm³ Benzin B enthalten, gegeben werden müssen, dann lauten die entsprechenden Werte (wieder ohne Blei)

x = 69,5 OZ bei B = 40 OZ
x = 70,0 OZ bei B = 70 OZ
x = 70,7 OZ bei B = 110 OZ

Das heißt also bei diesen beiden Prüfständen kann der Unterschied im ungünstigsten Fall sogar 1,2 OZ betragen, nur dadurch hervorgerufen, daß der eine Prüfstand seine „Bleilösung" mit anderem Benzin und in etwas anderer Konzentration ansetzt als der andere Prüfstand.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen müßte man im Idealfall fordern: „Es soll zum Ansetzen der ‚Bleilösung' ein Benzin vom selben Klopfwert wie dem des zu verbleienden Grundbenzins verwendet werden." Andernfalls bedingt dieses Verdünnungsbenzin eine Veränderung des durch den Bleizusatz gewünschten Klopfwertes des zu verbleienden Benzins.

Ein Anwendungsbeispiel für die geschilderten Verhältnisse tritt beim Arbeiten mit verbleiten Unterbezugskraftstoffen Z und I. G.-Benzin auf.

Diesen Unterbezugskraftstoffen wird bekanntlich von vornherein ein Bleizusatz von je 0,1 Vol.-% zugegeben, wenn gebleite Benzine untersucht werden sollen. 0,1 Vol.-% mögen wieder 2 cm³ „Bleilösung" (mit 1,7 cm³ Verdünnungsbenzin) auf 200 cm³ zu verbleiendes Benzin, in dem Fall Z oder I. G.-Benzin, entsprechen. Man kann nun auch hier wieder verschiedene Verdünnungsbenzine zur Herstellung der „Bleilösung" verwenden und unter Vernachlässigung des Bleigehaltes und Annahme der Gültigkeit der linearen Mischungsregel berechnen, wie sich die Klopfwerte x der Gemischkomponenten Z und I. G.-Benzin durch Zugabe von 1,7 cm³ Benzin (ohne Blei) ändern. Und zwar soll als Verdünnungsbenzin einmal I. G.-Benzin, zum anderen Z und drittens Benzol genommen werden, deren Grund-OZ mit 40 bzw. 100 bzw. 110 angenommen seien. Dann erhält man die Ziffern der *Zahlentafel 29*.

Auch hier wäre das Folgerichtigste, wenn dem I. G.-Benzin eine „Bleilösung" mit I. G.-Benzin, dem Z eine solche mit Z zugesetzt würde.

Die Notwendigkeit, mehrere „Bleilösungen" aus Benzinen verschiedenen Klopfwertes ansetzen zu müssen, ist natürlich ein Nachteil, der wohl nicht gern in Kauf genommen werden dürfte.

Vorschlag: „Zur Herstellung der ‚Bleilösung' wird einheitlich ein Gemisch aus 50 Vol.-% I. G.-Benzin und 50 Vol.-% Eichstoff Z verwendet, das dann ungefähr eine MOZ 70 hat."

9998

Begründung: 1. Die beiden Benzine sind auf jedem Prüfstand vorhanden.

2. Beide Benzine genügen den Anforderungen in bezug auf die Jodzahl.

3. OZ 70 liegt im mittleren Bereich der unverbleiten Grundbenzine, die die Ausgangsbenzine für die verbleiten Flugbenzine darstellen, und verändert so durch seinen Zusatz den Klopfwert des Endgemisches im Durchschnitt nur sehr wenig.

Zahlentafel 29. Klopfveränderung der Eichkraftstoffe durch den Kraftstoffzusatz beim Verbleien auf 0,1 Vol.-% TEL mit Bleilösungen in Eichbenzin, Z oder Benzol, berechnet ohne Berücksichtigung der Bleiwirkung

	Es wird zugesetzt dem		dann wird der Klopfwert von	
	Z	I.G.-Benzin	Z	I.G.-Benzin
1.	–	–	100	40
2.	I.G.-Benzin	I.G.-Benzin	99,5	40
3.	Z	Z	100	40,5
4.	Z	I.G.-Benzin	100	40
5.	Benzol	Benzol	100,1	40,6

III. Anwendung der „Bleilösung"

Um bei dem Beispiel des Prüfstandes I *(Zahlentafel 28)* zu bleiben.

sollen 3,78 cm³ Bleilösung auf 200 cm³ aufgemischt werden, so daß nach der Mischung 200 cm³ verbleites Gemisch vorhanden sind,

oder sollen, wie es manche Prüfstände machen, die 3,78 cm³ Bleilösung zu 200 cm³ Benzin zugegeben werden, so daß nach der Mischung 203,78 cm³ verbleites Gemisch vorhanden sind?

Es sind hier zu unterscheiden.

a) Der Einfluß des Klopfwertes des zur „Bleilösung" verwendeten Verdünnungsbenzins auf den endgültigen Klopfwert des Gemisches, in dem Sinn, wie in dem Vorhergehenden untersucht. Die Durchrechnung eines Beispiels, wieder unter der Annahme der Gültigkeit der linearen Mischungsregel, wenn 3,5 cm³ Benzin OZ 40 mit 200 cm³ Benzin OZ 70 auf beide Arten gemischt werden:

$$196{,}5 \cdot 70 + 3{,}5 \cdot 40 = 200 \cdot x \qquad x = 69{,}475$$

$$200 \cdot 70 + 3{,}5 \cdot 40 = 203{,}5 \cdot x \qquad x = 69{,}484$$

zeigt, daß der Einfluß weit innerhalb der Grenzen der Genauigkeit liegt und die Art der Mischung in bezug auf den Klopfwert des verwendeten Verdünnungsbenzins unter diesen Umständen gleichgültig ist.

b) Die veränderte Bleikonzentration:

Die beigegebenen 3,785 cm³ „Bleilösung" enthalten etwa 0,2 cm³ Bleitetraäthyl. Das verbleite Endgemisch enthält nach der ersten Art

$$\frac{0{,}2 \cdot 100}{200} = 0{,}1\ \%\ \text{Blei}$$

nach der zweiten Art

$$\frac{0{,}2 \cdot 100}{203{,}785} = 0{,}098\ \%\ \text{Blei},$$

was einem Unterschied von

$$\frac{(0{,}1 - 0{,}098) \cdot 100}{0{,}1} = 2\ \%$$

der gewünschten Verbleiung entspricht!

Oder wenn man über die Octanzahl rechnet, wieder unter der Annahme der Gültigkeit der linearen Mischungsregel und unter der Annahme, daß die Octanzahl des Benzins durch 0,1 Vol.-% Blei bei einem Endgemisch von 200 cm³ beispielsweise um 20 erhöht wird:

im ersten Fall erhöhen die 0,2 cm³ Blei die Octanzahl von (200 - 0,2) = 199,8 cm³ Benzin laut Annahme um 20 Einheiten,

im zweiten Fall müssen die 0,2 cm³ Blei die Octanzahl von (203,785 - 0,2) = 203,585 cm³ Benzin erhöhen, die demnach rechnungsmäßig nur um

$$20 \cdot \frac{199{,}8}{203{,}585} = 19{,}62\ \text{Einheiten}$$

gesteigert wird.

Das heißt also: ein Benzin mit OZ 70 zum Beispiel erhält in einem Fall OZ 90, im anderen OZ 89,6, ein in der Praxis bei den gestellten Anforderungen durchaus zu beachtender Unterschied.

Vorschlag: „Anwendung der Bleilösung zum Verbleien des Grundbenzins:

a cm³ Bleilösung + (200 - a) cm³ zu verbleiendes Benzin = 200 cm³ verbleites Benzin."

Die Ausführung kann z. B. so stattfinden, daß eine 200 cm³-Meßbürette etwa halb voll mit dem zu verbleienden Benzin gefüllt wird, dann die a cm³ Bleilösung beigegeben werden und dann die Bürette mit dem zu verbleienden Benzin auf 200 cm³ vollgefüllt wird.

Die Verwirklichung und Durchführung der drei genannten Vorschläge, durch die die Verbleiung von Benzinproben auf dem Klopfprüfstand einheitlich geregelt wird, soll einen weiteren Schritt zur Steigerung der Meßgenauigkeit der Octanzahlbestimmung bedeuten.

Ergebnis der 5. Klopfmeßtagung

1. Die Arbeitsgemeinschaft kam überein, die halbjährlichen Vergleichsversuche fortzusetzen. Bei den nächsten Versuchen im April 1943 soll wieder ein Synthesebenzin, aber von anderer Herkunft, in die Versuchsreihe einbezogen werden.

2. Nach einem Vorschlag des Zentral-Büros, Berlin, soll bis auf weiteres von den Synthesebenzinen der Mischwert an Stelle der Octanzahl angegeben werden. Der Mischwert errechnet sich aus dem Klopfverhalten der Mischung von Synthesebenzin und Eichstoff Z zu gleichen Raumteilen. In einem kleinen Kreis werden weitere Untersuchungen mit Synthesebenzinen durchgeführt, über das Ergebnis dürfte bei der nächsten Tagung berichtet werden.

3. Ein Heraufsetzen der Entkohlungszeiträume auf etwa 150 Betriebsstunden wird beim Untersuchen von üblichen Kraftstoffproben empfohlen.

4. Die Mehrzahl der Teilnehmer ist der Ansicht, daß bei den Fahrbenzinen die Motor-Methode geeigneter zur OZ-Angabe sei als die jetzt gebräuchliche Research-Methode. Über die zahlenmäßige Auswirkung einer etwaigen Umstellung von der Research-Methode auf die Motor-Methode gibt *Zahlentafel 30* Auskunft.[1])

5. Die Vorrichtung zur Klopfwertbestimmung von Gasen gemäß *Abb. 13* oben soll als Normanlage gelten.

6. Zum labormäßigen Bleien von Benzinproben sollen
   a) als Verdünnungsmittel eine Mischung von IG-Eichbenzin mit Eichstoff Z zu gleichen Raumteilen verwendet werden,
   b) in 100 cm³ Bleilösung 20 cm³ reines Bleitetraäthyl enthalten sein,
   c) die angegebenen Prozentsätze Bleitetraäthyl sich auf eine Mischung in 100 Raumteilen Bleibenzin beziehen.

7. Zur Schmierung der Klopfmotoren soll einheitlich das von der Intava, Hamburg, herausgebrachte „Intava-Klopfmotorenöl" verwendet werden.

8. Zur Prüfung der Klopfmotoren hat das Zentralbüro, Berlin, für seine Abnahmestellen, der Technische Prüfstand der I. G. für die anderen Stellen einen Überwachungsdienst eingerichtet.

Zahlentafel 30. Bewertungsunterschied in OZ (ROZ minus MOZ)

Vergleichsvers. Reihe	Zeitpkt.		Benzinprobe a	b	c	d	1	3
1	36	Aug. 36	1,7	3,2	10,7	—	4,8	3,5
2	50	Nov. 37	1,7	4,0	7,7	—	4,1	2,3
3	59	Sept. 38	1,4	3,0	8,8	—	4,4	4,0
4	65	April 39	1,3	3,3	6,2	—0,9	2,8	2,1
5	75	Febr. 40	1,5	3,0	10,9*)	—0,6	3,2	2,8

a = Hydrierbenzin, b = Spritbenzin, c = Benzolgemisch, d = Bleibenzin; 1 = Flugbenzin rein, 3 = Flugbenzin, gebleit. *) = 1/3 Eichbi + 2/3 Reinbo.

[1]) Inzwischen ist die Motor-Methode anstelle der Research-Methode zur Bewertung von Fahrbenzinen durch das Heereswaffenamt vorgeschrieben worden.

10300