

A-10

Berichte des Technischen Prüfstandes Oppau

Bericht Nr. 452

**Abgeänderte Prüfweise
zur Untersuchung von Flugkraftstoffen
(Oppauer Verfahren)**

8413



**I. G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT
LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**

1.) Zweck der Versuche.

Durch frühere Versuche ¹⁾ war es möglich geworden, einen üblichen I.G.-Prüfmotor abzustimmen auf Ergebnisse, die am grossen Einzylinder eigener Bauart des Technischen Prüfstandes erhalten worden sind.

Inzwischen hat sich das DVL-Überladeverfahren ²⁾ am BM 132-Flugmotoren-Einzylinder-Prüfstand eingeführt, sodass es zweckmässig erschien, weitere Vergleichsversuche mit dieser Motorenbauart durchzuführen.

Auf dem Technischen Prüfstand werden die Benzinmuster am BM 13 unter folgenden Bedingungen laufend untersucht:

Verdichtungsverhältnis	6,5:1
Ladelufttemperatur	130°C
Luftverhältnis	etwa 0,7 bis 1,2
Zündstellung	30° v.o.T.

bei
Für jede Probe wird etwa 6 bis 9 verschiedenen Luftverhältnissen (zwischen 0,7 und 1,2) der zugehörige mittlere Nutzdruck bzw. Überladedruck bestimmt. Die Auftragung dieser Werte ergibt einen Kurvenzug, (vgl. Bild 3) welcher für einen einzigen Wärmezustand des Motors die Beziehung angibt zwischen der Luftüberschusszahl und dem mittleren Nutzdruck an der Klopfgrenze. Da bekanntlich Kraftstoffe mit Aromaten und Olefinen klopfempfindlicher auf Änderungen in den motorischen Bedingungen sind als Kraftstoffe von paraffinischer Natur, erhält man mit Aromatenbenzinen steilere Kennlinien, als dies mit paraffinischen Kraftstoffen der Fall ist.

Zur Bewertung der Kraftstoffe wird sowohl p_{min} als auch diese Steilheit der λ -Kurve herangezogen und diese Werte mit denen eines geeigneten Benzinens verglichen. Ein Kraftstoff ist umso besser, je grösser diese beiden Werte sind. Tritt jedoch eine Überschneidung ein (Bild 2 u. 3) so entstehen Schwierigkeiten bei der Übertragung der Prüfstandwerte auf

1) Bericht Nr.416 des Techn.Prüfstandes

2) Seober: Neue Verfahren der Kraftstoffprüfung, Luftforschung Bd.16, Lfg.8.

die Praxis, weil bei fetter Vergasereinstellung der Kraftstoff a (aromatisch), bei normaler Vergasereinstellung der Kraftstoff p (paraffinisch), der bessere ist. Eine einfache relative Wertangabe, z.B. gut oder schlecht, ist also bei verschiedenartigen Kraftstoffen nicht immer möglich.

Die nach dem DVL-Überladeverfahren weiter vorgesehenen Untersuchungen bei anderen Ladelufttemperaturen als 130° werden auf dem Technischen Prüfstand in der Regel nicht durchgeführt, weil sie zu einer Vervielfachung des Aufwandes bei der Klopfwertbestimmung führen würden, die im allgemeinen in keinem Verhältnis zu den gewinnbaren Erkenntnissen steht.

Als Vorteile des DVL-Überladeverfahrens werden gegenüber der üblichen Oktanzahlbestimmung von Hochleistungskraftstoffen folgende genannt: 2)

- 1.) Die Klopfneigung der Kraftstoffe wird direkt in Original-Flugmotorenzylindern geprüft.
- 2.) Die Kraftstoffe werden unter weitgehend an die Praxis angenäherten Versuchsbedingungen untersucht.
- 3.) Die Mehrpunktbewertung eines Kraftstoffes gestattet Rückschlüsse für die Entwicklung von OZ 100- Motoren und deren Kraftstoffe.

Geht man bei der OZ-Bestimmung im üblichen Prüfmotor ergaben auch bei der Durchführung des DVL-Überladeverfahrens, selbst wenn es nach dem Beispiel des Technischen Prüfstandes schon wesentlich vereinfacht worden ist, noch folgende Notwendigkeiten:

- 1.) Ungleich ~~großer~~erer Aufwand an Prüfeinrichtungen, Probenpumpen und Versuchspersonal zur Klopfwertbestimmung selbst.
- 2.) Gestiegene Anforderungen an die Vorbildung des Versuchspersonals, wenn von diesem auch die Auswertung verlangt wird. Dies ist zweckmäßig, um gegebenenfalls unsicher liegende Punkte des Kurvenzuges nachprüfen zu können.
- 3.) Zeitraubende Kontrollmessungen, um die Maschinenkonstanz zu gewährleisten, besonders nach dem hier verhältnismäßig häufigen Wechsel von Zylinder und Kolben.
- 4.) Aufstellen von Schaubildern, da eine leichte Verständigung über das Klopfverhalten nur an Hand von Kurvenblättern möglich ist. Um den Motorzustand auszuschalten, müssen die Kurvenblätter ausser den Aufträgen für die Proben noch den Kurvenzug eines Vergleichskraftstoffes aufweisen.

Nach den Erfahrungen des Technischen Prüfstandes kann die Messgenauigkeit des DVL-Überladeverfahrens etwa mit $\pm 0,5$ at Nutzdruck angenommen werden.

Es wurde nun versucht, für laufende Messungen diese Vorteile des Überladeverfahrens zu erhalten, ohne jedoch dessen Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Durch Änderung der Betriebsbedingungen am I.C.-Prüfmotor wurde dieses Ziel weitgehend erreicht.

2.) Versuchsdurchführung.

Die im Bericht Nr.416 beschriebene Versuchsanlage wurde im wesentlichen unverändert übernommen. Der Übersichtlichkeit halber seien hier die Prüfbedingungen nochmals kurz angeführt, und die Durchführung der Messungen kurz erläutert:

a) Prüfanlage:

Gegenüber den früheren Versuchen wurde zur Erreichung eines gleichbleibenden Einlassdruckes ein Druckminderer eingebaut. Springstiftapparat und Braun'sche Röhre wurden zugunsten einer piezo-elektrischen Klopfanzeige³⁾ verlassen. Entsprechend den geänderten Betriebsbedingungen wurde die Oktanzahlscheibe neu geeicht. Die gesamte Versuchsanlage zeigt Bild 1.

b) Prüfbedingungen:

Drehzahl	600/min
Kühltemperatur	100°C
Gemischtemperatur	125°C
Vorzündung	22°
Einlass-Luftdruck	1000 mm qS

Vergasereinstellung veränderlich

λ zwischen 0,8 und 1,2

Verdichtungsverhältnis veränderlich,

auf gleichen Ausschlag - 50 am Klopfmesser eingestellt.

3) vgl. Bericht Nr.449 des Techn. Prüfstandes

c) Prüfweise:

Die Prüfweise ist die gleiche wie diejenige der vereinfachten Oktanzahlbestimmung⁴⁾. Hierbei wird die Benzinprobe durch Ändern des Verdichtungsverhältnisses so zum Klopfen gebracht, dass der Zeiger des Klopfmessers die Zahl 50 erreicht. Dabei wird durch die nachstellbare Düsenmadel der Vergaser auf grösste Klopfstärke eingestellt. Der Klopfwert wird lediglich an der Oktanzahlscheibe abgelesen. Das Luftverhältnis wird wie üblich aus dem Verbrauch von Kraftstoff und Luft errechnet.

In gleicher Weise werden weitere Oktanzahlen bestimmt bei etwas fetterer oder magerer Vergasereinstellung. Da nach der Vorschrift mit der Vergasereinstellung für grösste Klopfstärke begonnen werden muss, so zeigt der Kraftstoff bei den nachfolgenden Messungen höhere Oktanzahlen an. Auf diese Weise erhält man einen Kurvenzug, der die Abhängigkeit der so erhaltenen Oktanzahl von der Luftüberschusszahl angibt, Bild 2. Um Verwechslungen mit Ergebnissen nach den schon bestehenden Prüfmethoden (Motor und Research) vorzubeugen, wurde dieses neue Verfahren als "Oppauer Verfahren" bezeichnet.

Zu einer Untersuchung werden ungefähr 500 ccm benötigt. Die Prüfung dauert etwa $3\frac{1}{4}$ Stunden. Die Messgenauigkeit beträgt etwa ± 1 OZ. Selbstverständlich muss die Anzeige der Oktanzahlscheibe, ähnlich wie bei der vereinfachten Oktanzahlbestimmung, von Zeit zu Zeit auf ihre Richtigkeit hin nachgeprüft werden, was aber hier ohne nennenswerten Zeitverlust möglich ist.

d) Vergleich der Bewertungsmaßstäbe:

Das Oppauer Verfahren bewertet die Kraftstoffe zunächst nach dem erzielbaren Verdichtungsverhältnis bei mäßiger Klöpfstärke, während beim DVL-Verfahren die erzielbare Nutzleistung des Motors bei Klopfbeginn als Maßstab herangezogen wird. Die Beziehung Verdichtungsverhältnis : Nutzleistung ist schon bei gleichbleibendem Luftverhältnis nicht linear; die vorliegenden Untersuchungen mit verändertem Luftverhältnis bedingen eine Änderung im Verbrennungsablauf selbst, der sich unterschiedlich auswirkt auf Leistung und zulässigen Verdichtungsgrad. Innerhalb des untersuchten Meßbereichs wird es somit erklär-

4) Betriebsvorschrift zum I.G.-Prüfmotor, Ausgabe C, Seite 41.

lich, dass im überfetteten Gebiet eine abfallende Kurve nach dem Überladeverfahren erhalten wird, beim Oppauer Verfahren jedoch nicht (vgl. Bild 1 und 2).

e) Vergleich der Messverfahren:

Das Überladeverfahren legt den Versuchen ein festes Verdichtungsverhältnis zu Grunde und bewertet die Probe nach der Überladefähigkeit. Das Oppauer Verfahren arbeitet mit gleichbleibender Überladung und beurteilt die Probe nach dem nutzbaren Verdichtungsverhältnis. Hinsichtlich des Messergebnisses wirkt sich jedoch in den Grenzen, in denen sich die Versuche bewegten, diese grundsätzliche Verschiedenheit in der Versuchsdurchführung nicht aus. Einen ähnlichen Vorgang bildete früher die Umstellung der Oktanzahlbestimmung von Delco-Motor(Ladöverfahren) zum Prüfmotor (Verdichtungsverfahren), ohne dass damals sich besondere Schwierigkeiten in der Bewertung, ergaben hätten.

5.) Versuchsergebnisse.

Eine grosse Anzahl von Kraftstoffen wurden gleichzeitig nach dem Überladeverfahren und nach dem "Oppauer Verfahren" bewertet. Die Versuche umfassten die verschiedenartigen Flugbenzine, so wie sie dem Technischen Prüfstand zu laufenden Untersuchungen ständig zur Verfügung standen.

Das nach diesen beiden Verfahren erhaltene Ergebnis beruht auf der Untersuchung von 50 verschiedenartigen Kraftstoffen. Das Ergebnis ist in den Bildern 4 bis 15 dargestellt, wobei links die Kurven des I.C.-Prüfmotors, rechts die entsprechenden des BMW-Motors aufgetragen sind. Beide Ergebnisse können somit rein bilinear verglichen werden. In grossen ganzen werden die Kraftstoffe nach beiden Verfahren im gleichen Sinne bewertet, die beobachteten Unterschiede liegen in der Regel innerhalb der Messgenauigkeit der beiden Motoren. Der Unterschied in der Steilheit der Kennlinien bei verschiedenartigen Kraftstoffen ist nach dem

Oppauer Verfahren nicht ganz so gross wie nach dem AVL-Verfahren. Die Lage der Minima der Kennlinien am I.G.-Prüfmotor streut etwas, weil über einen Teil der Versuche die Lufttemperatur, und damit auch das Luftverhältnis, infolge einer zu spät bemerkten Störung an der Temperaturanzeige nicht immer richtig gemessen worden ist. Auf das Ergebnis war dieses ohne Einfluss, weshalb von einer Wiederholung der entsprechenden Versuche Abstand genommen wurde.

Im einzelnen ergaben die Versuche folgendes:

Bild 4 zeigt, dass Mischungen aus Eichbenzin mit Reintenzol bzw. mit dem Eichstoff Z nach beiden Verfahren in der Reihenfolge ähnlich bewertet werden. Auffällig ist hierbei, dass die Bi/Bo 100 - Mischung im Prüfmotor noch geklopft werden kann, im B.L.-Motor jedoch nicht mehr, offenbar, weil sich hier schon die Bi/Bo 94 - Mischung als überaus klopffest erwiesen hat im Vergleich zu den Werten nach Bild 1a.

Bild 5 stellt die Kurven an verschiedenen Benzintypen dar. Beide Verfahren beurteilen die Kraftstoffe in gleichem Sinne, sowohl hinsichtlich der Reihenfolge als auch hinsichtlich der Steilheit des Kurvenastes im Luftmangelgebiet.

Bild 6 behandelt die Auswirkung verschiedener Aromatenzusätze zu VT 702. Auch hier liegen bei beiden Prüfweisen Minima und Steilheit im fetten Gebiet ähnlich; im Luftüberschussgebiet zeigen Mesitylen und Toluol Abweichungen.

Bild 7 zeigt für Cyclohexan und ET 100-Zusätze an beiden Motoren eine ähnliche Verbesserung, die in beiden Fällen hart an der Grenze der Messgenauigkeit liegt.

Bild 8 beweis die Gleichwertigkeit der gewählten Prüfverfahren für die Zusätze Isopropyläther und ET 100 zu VT 702 im Vergleich zu dem Einstellbenzin VT 705.

Bild 9a zeigt für Methanol eine stärkere Wirkung als Bild 9b. Lage und Reihenfolge der übrigen Kraftstoffe ist gleichartig bei beiden Verfahren.

Bild 10 stellt Kraftstoffe von praktisch gleichem Klopfverhalten dar. Demzufolge zeigt die Bewertung nach beiden Verfahren eine befriedigende Übereinstimmung.

Bild 11 zeigt die Wirkung von verschiedenen Aromatenzusätzen zum gleichen Grundbenzin VT 702. Auch hier liegen die Unterschiede der beiden Verfahren innerhalb der Messgenauigkeit. Bei diesen Versuchen konnte der Anstieg der Toluolmischung im Luftüberschussgebiet nach Bild 6 nicht bestätigt werden.

Bild 12 ergibt für Benzine von verschiedenartigen Aufbau die gleiche Bewertungsreihenfolge nach beiden Methoden.

Bild 13 zeigt das Untersuchungsergebnis von ähnlichen Stoffen wie im vorangegangenen Beispiel. Auch hier ist die Übereinstimmung der erhaltenen Kurven noch ganz befriedigend.

Bild 14 macht die Unterschiede von Stoffen gleicher Beschaffenheit, aber verschiedener Herkunft, ersichtlich, wobei beide Verfahren die gleiche Reihenfolge ergeben.

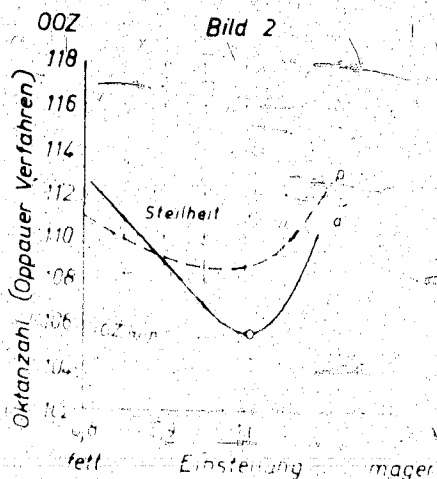
4.) Versuchsauswertung.

Die nach den beiden Prüfweisen (Überladung und Oppauer Verfahren) erhaltenen Ergebnissen sind hier als Kennlinien dargestellt. Nach dem DVL-Überlade-Verfahren werden die Kurven der untersuchten Benzinproben rein bildmässig mit den Linienzug eines geeigneten Vergleichskraftstoffes verglichen. Eine Beurteilung des Klopfverhaltens kann also nur erfolgen, wenn die entsprechenden Kurvenscharen vorliegen.

Zweifellos würde durch eine zahlenmässige Angabe die Verständigung über das Klopfverhalten von verschiedenen Kraftstoffen wesentlich erleichtert. In einem besonderen Bericht wird deshalb die zahlenmässige Auswertung der nach dem Oppauer Verfahren erhaltenen Ergebnisse behandelt werden.

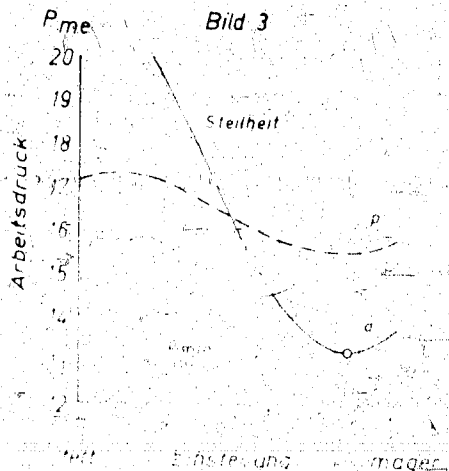
J.G.-Prüfmotor

Bild 2

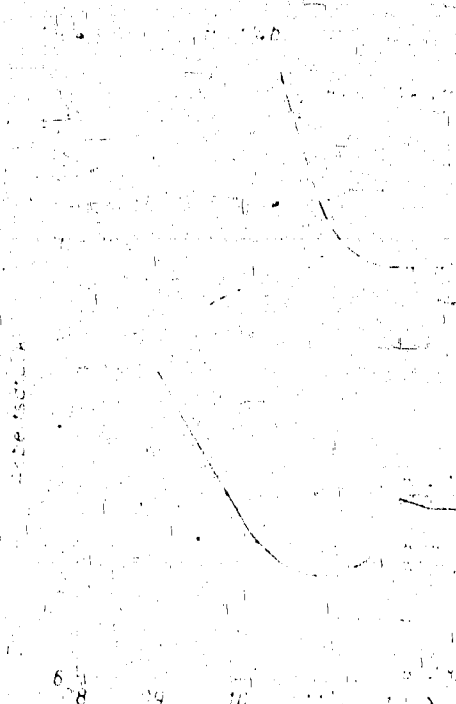
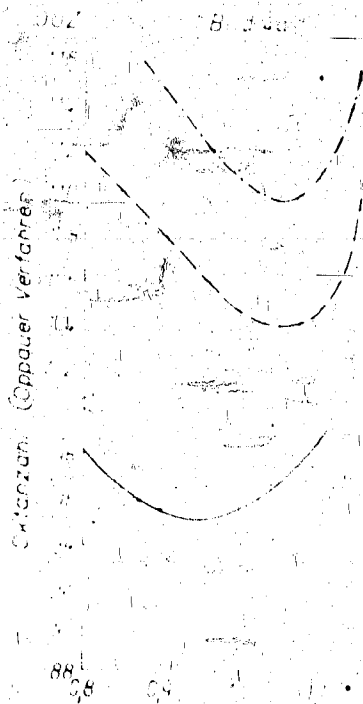


BMW Einzylinder Flugmotor

Bild 3



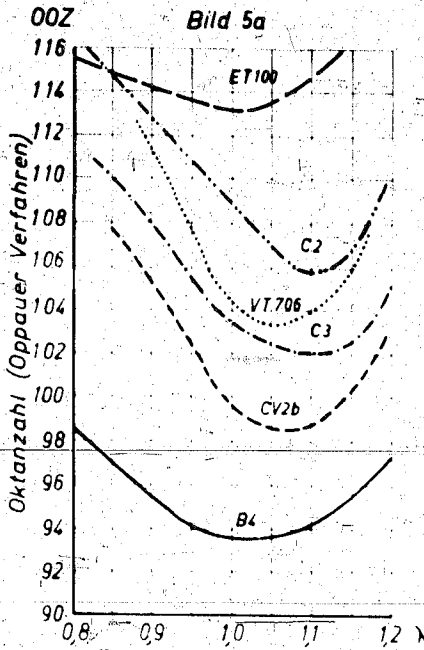
Ein Kraftstoff ist um so besser, je höher GZ max bzw. p_m liegt und je steiler der Kurvenast im fetten Gebiet verläuft. In mageren Gebiet ist der Kraftstoff p (paraffinisch) der bessere, in fetten Gebiet ist der Kraftstoff a (aromat) zu bevorzugen.



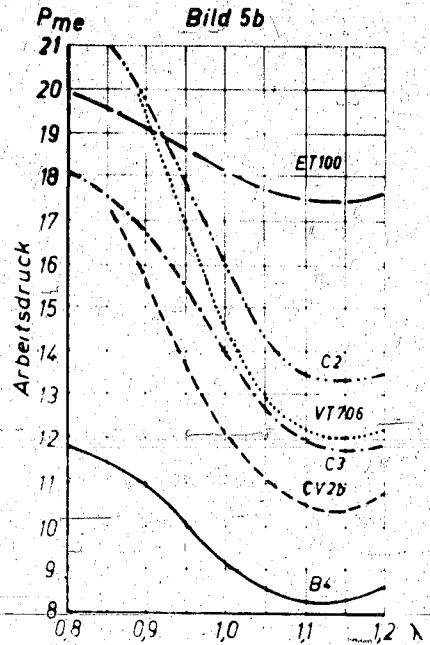
Das Klopfverhalten der paraffinischen Mischungen Br-2 und der aromatischen Mischungen Br-Ba wird nach beiden Prüfweisen ähnlich bewertet.

8422

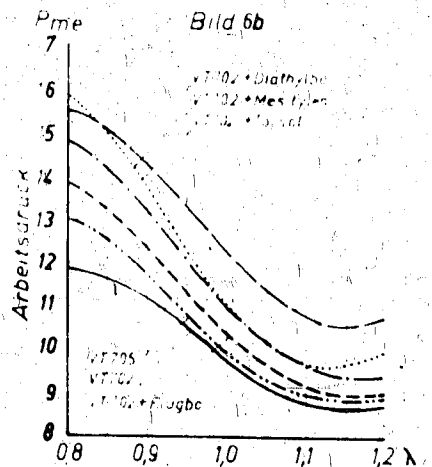
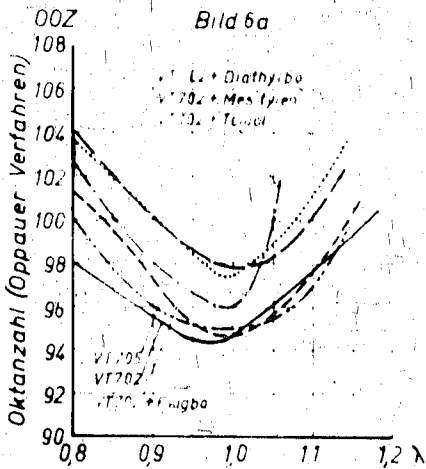
J.G.-Prüfmotor



BMW Einzylinder Flugmotor



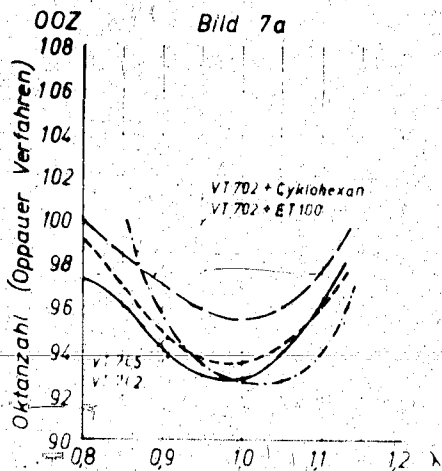
Das Klopfverhalten von verschiedenartigen Benzinen wird nach beiden Verfahren im gleichen Sinne beurteilt.



Das Klopfverhalten verschiedener Aromatenzusätze zu VT 702 wird nach beiden Verfahren ähnlich beurteilt.

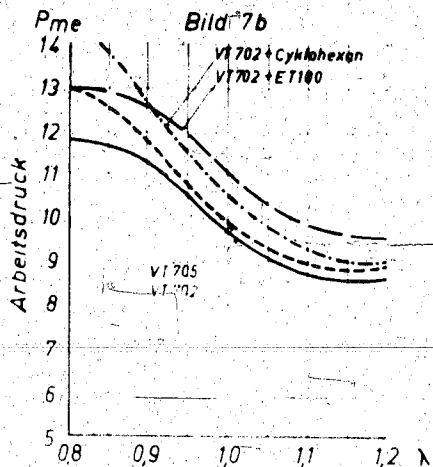
JG-Prüfmotor

Bild 7a



BMW Einzylinder Flugmotor

Bild 7b



Mit Ausnahme von Cyclohexan im mageren Bereich wird das Klopfverhalten verschiedener Zusätze zu VT 702 nach beiden Verfahren im gleichen Sinne bewertet.

Bild 8a

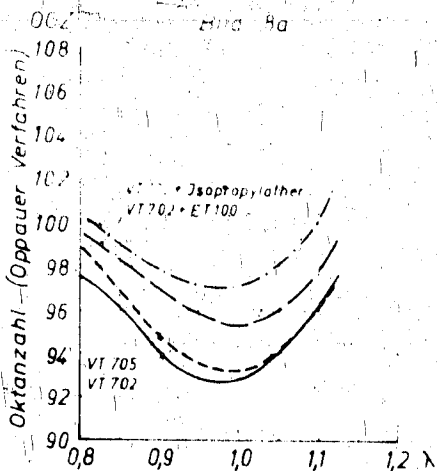
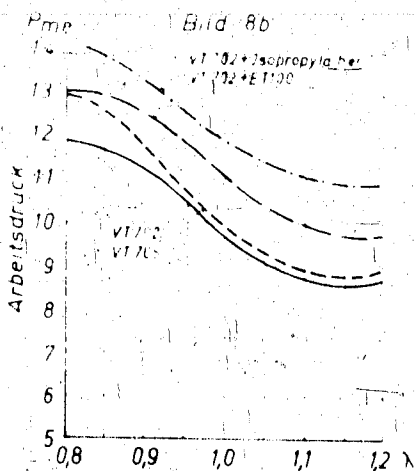


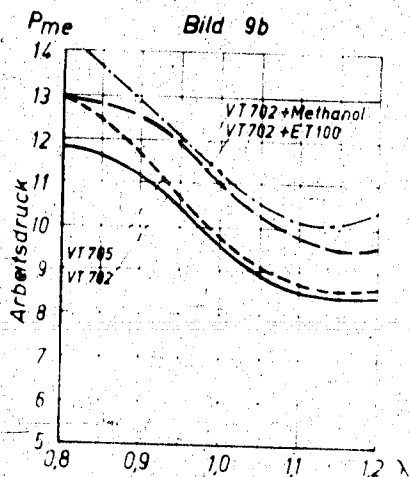
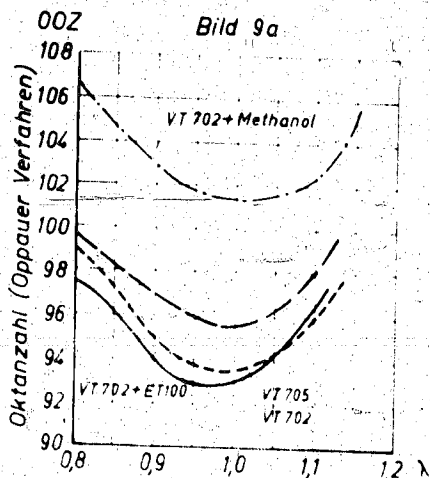
Bild 8b



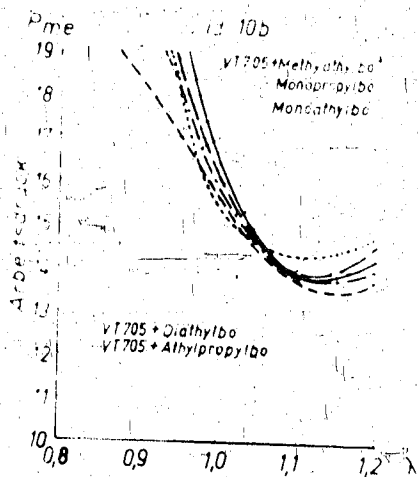
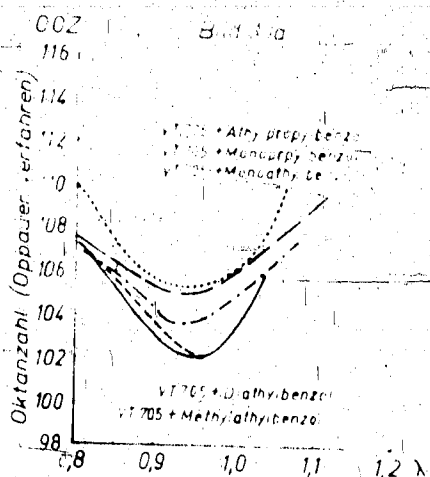
Das Klopfverhalten von verschiedenen Zusätzen zu VT 702 wird nach beiden Verfahren ähnlich bewertet.

J.G.-Prüfmotor

BMW Einzylinder Flugmotor



Das Klopfverhalten von verschiedenen Zusätzen zu VT 702 wird nach beiden Verfahren im gleichen Sinne bewertet wobei aber das Methanol-Gemisch nach dem Oppauer Verfahren besser bewertet wird als durch das DVL Verfahren.

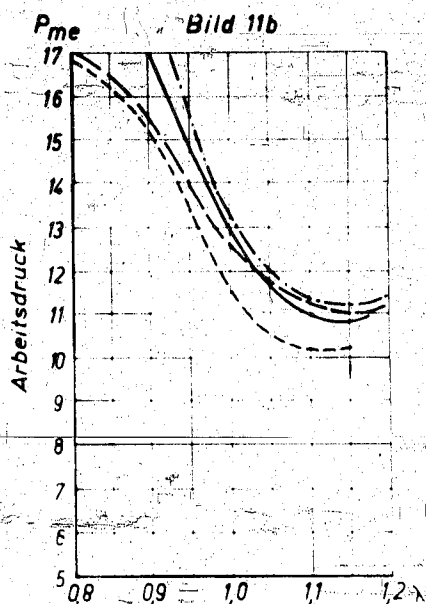
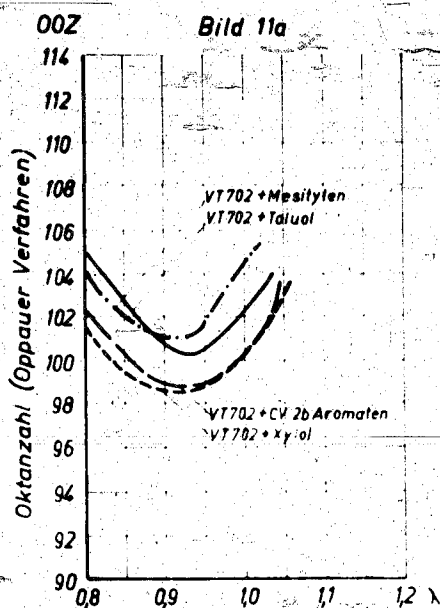


Das Klopfverhalten von verschiedenen Benzol-Zusätzen zu VT 705 wird nach beiden Verfahren sehr ähnlich bewertet.

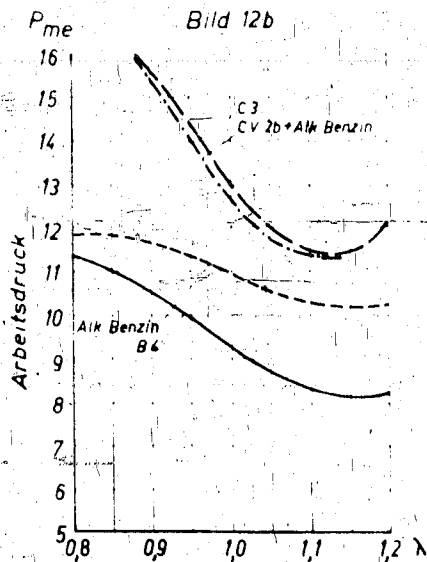
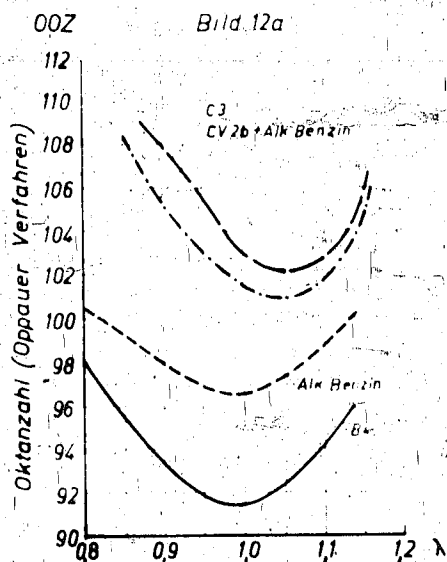
842

J.G. - Prüfmotor

BMW Einzylinder Flugmotor



Die Wirkung der Aromatenzusätze zu VT702 wird nach beiden Verfahren im gleichen Sinne bewertet. Die Unterschiede liegen innerhalb der Messgenauigkeit.

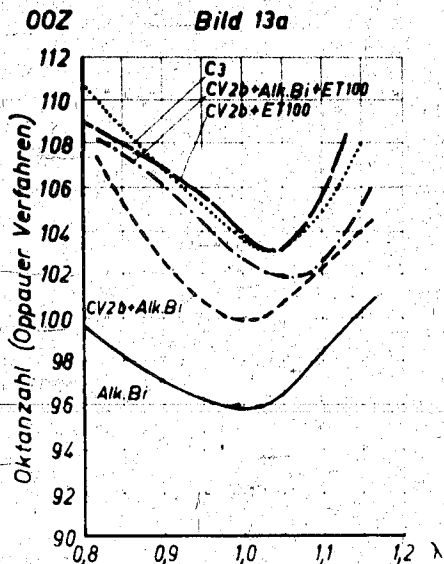


Das Klopfverhalten verschiedenartiger Benzine wird nach beiden Verfahren im gleichen Sinne bewertet.

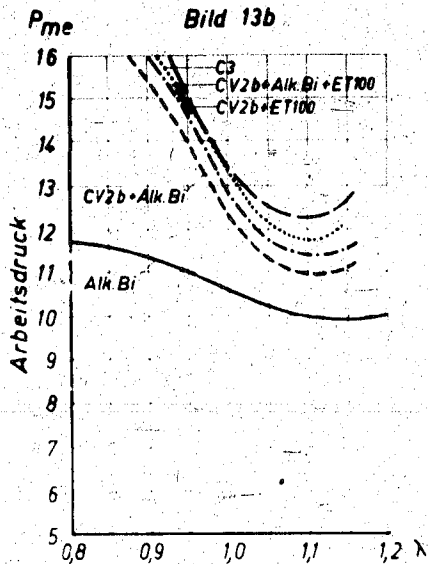
8126

Max. Hoffmann

J.G.-Prüfmotor
Bild 13a



BMW Einzylinder Flugmotor
Bild 13b



Das Klopfverhalten von verschiedenen Zusätzen zu CV2b und von verschiedenartigen Benzinzen wird nach beiden Verfahren im gleichen Sinne bewertet.

Bild 14a

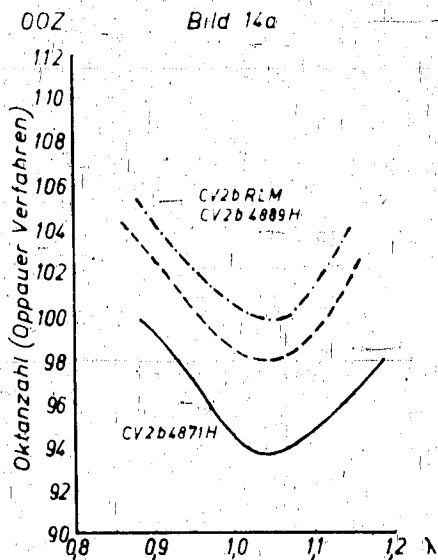
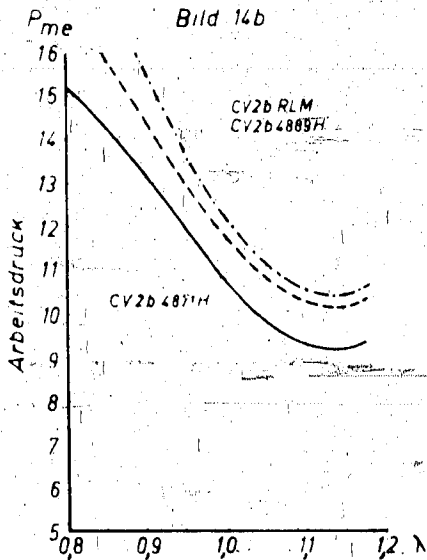


Bild 14b



Das Klopfverhalten von CV2b verschiedener Herkunft wird nach beiden Verfahren im gleichen Sinne bewertet.