

000552

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen über Luftfahrtforschung

Anschrift: Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen bei der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V. Berlin-Adlershof / Fernruf. F 3, Adlershof 8211

Untersuchungen und Mitteilungen

UM 428

*Prüfung verschiedener Alkyl-Benzole im heißgekühlten Flugmotoren-
Einzyylinder*

W. Glaser K. Dehn

000553

~~Dieser Bericht ist streng vertraulich zu behandeln.~~
~~Wer diese Geheimhaltungspflicht verletzt, setzt~~
~~sich der Gefahr strafrechtlicher Verfolgung und~~
~~schwerer Bestrafung aus.~~
~~Panzerverschluß erforderlich!~~

000554

19.5.37
Pae

Prüfung verschiedener Alkyl-Benzole im
heißgekühlten Flugmotoren - Einzylinder.

Übersicht: Es werden verschiedene Alkyl-Benzole in ihrem motorischen Verhalten untersucht und mit einem bekannten Fliegerbenzin verglichen.

- Gliederung:
- I. Einleitung
 - II. Betriebsstoffe
 - III. Versuchseinrichtungen
 - IV. Versuchsdurchführung
 - a) Temperaturmessungen
 - b) Dauerläufe
 - V. Versuchsergebnisse
 - a) Temperaturmessungen
 - b) Dauerläufe
 - VI. Zusammenfassung.

Der Bericht umfaßt:

19 Seiten mit
8 Abbildungen und
2 Übersichtstafeln.

INSTITUT FÜR BETRIEBSTOFFFORSCHUNG
DER
DEUTSCHEN VERSUCHSANSTALT FÜR LUFTFAHRT, E.V.

Die Bearbeiter

W. Glaser H. Dehn

W. Glaser K. Dehn

Philippovich
ges. v. Philippovich

Berlin-Adlershof, den 26.1.37
BSf 500/57/59

I. Einleitung.

Die Erkenntnis, daß die unreinen Bestandteile des Motorenbenzols in erster Linie das Festgehen der Kolbenringe verursachen¹⁾, machte die Verwendung von sorgfältig raffiniertem Motorenbenzol als Fliegerkraftstoff wieder möglich, nachdem es längere Zeit für thermisch hoch beanspruchte Flugmotoren als unbrauchbar erachtet worden war. Es ist deshalb erforderlich, die von der deutschen Industrie erzeugten Alkyl-Benzole auf ihre Brauchbarkeit im Flugmotor zu untersuchen.

II. Betriebstoffe.

Aus diesem Grunde wurde je ein Erzeugnis der Ruhr-Chemie A.-G. und der I.G. Farbenindustrie auf ihr Verhalten im Flugmotoren-Einzyylinder untersucht und mit einem Fliegerbenzin (OZ 87) der "OLEX", Deutsche Benzin u. Petroleum GmbH., das bisher im Flugbetrieb ohne Störung verwendet worden war, verglichen. Während der von der I.G.-Farbenindustrie hergestellte Kraftstoff reines Isopropylbenzol war, bestand das Erzeugnis der Ruhr-Chemie A.-G. aus einem Gemisch von Äthyl- und Isopropylbenzol, der Einfachheit halber wurde es in folgendem kurz mit Alkylbenzol bezeichnet. Außerdem wurde auch der Einfluß geringer Zusätze von Alkohol untersucht. Auf Übersichtstafel I sind die wichtigsten chemischen und physikalischen Kennwerte, sowie die Octanzahlen der untersuchten Kraftstoffe angegeben. Die beiden Benzole unterscheiden sich in erster Linie in ihrer Reinheit: so ergab Alkylbenzol eine wesentlich höhere Jod- und Bromzahl (12,5 und 8,0) gegenüber Isopropylbenzol (4,8 und 0,032!). Die Verharzungsprüfung brachte bei dem Kraftstoff der Ruhrchemie A.-G., einen sehr großen, öligen Rückstand (58,6 mg), während Isopropylbenzol nur den geringen Rückstand von 2,0 mg

1) Vgl. DVL-Prüfbericht PB 172, Dehn/Glaser, Verwendung von Motorenbenzol in stark wärmebelasteten Flugmotoren.

hinterließ.

Auf Grund dieser chemischen Untersuchung wäre also der reinere Kraftstoff Isopropylbenzol dem Alkylbenzol vorzuziehen.

Als Öl wurde für alle Versuche ein Erzeugnis der Ruhr-Chemie A.-G. verwendet.

III. Versuchseinrichtungen.

Für die Untersuchungen diente der DVL-Einzylinder-Versuchsmotor ¹⁾ mit Zylinder und Kolben vom Flugmotor BMW-VI, Reihe 7. Der Motor war mit einem Sum-Vergaser mit zwei verstellbaren Düsen ausgerüstet. Die Abgase wurden von einem Gebläse über den Schalldämpfer mit Frischluft vermisch abgasaugt. Die Ventilspiele betragen 0,25 mm am Einlaß- und 0,5 mm am Auslaßventil. Hierdurch ergaben sich folgende Steuerzeiten:

Einlaß öffnet: 7° v.o.T. Einlaß schließt: 52° n.u.T.
 Auslaß " : 37° v.u.T. Auslaß " : 20° n.o.T.

Die Verbrennungsraum- und Auspufftemperaturen wurden mit den üblichen DVL-Thermoelementen gemessen. Selbstverständlich sind die hiermit beobachteten Temperaturen nur Mittelwerte und liegen erheblich unter den wahren Temperaturen; daher lassen sie auch nur einen Vergleich unter sich zu. Der Meßfehler beträgt bei den hier auftretenden Werten $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ²⁾.

IV. Versuchsdurchführung.

Die Versuche wurden in Anlehnung an frühere Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Motorenbenzol in stark wärmebelasteten Flugmotoren durchgeführt. Da hierüber bereits ausführlich berichtet worden ist ³⁾, werden an die-

- 1) G.Nuffert u.W.D.Bensinger, Einzylinder-Prüfanlage der Deutschen Versuchsanstalt f.Luftfahrt E.V., ATZ Bd.36 (1933), Nr.15, S.391/92
- 2) Vgl. DVL-Bericht BSf 500/58, W.Glaser, Untersuchung der motorischen u.atmosphärischen Einflüsse auf die Temperaturmessung am Einzylinder-Versuchsmotor, Abschn.II,4
- 3) Vgl. Anm.1 auf Seite 2

ser Stelle nur die wichtigsten Punkte der Versuchsdurchführung, sowie die auf Grund neuer Erfahrungen durchgeführten Änderungen erwähnt.

a) Temperaturmessungen.

Vor Beginn der Versuche wurde der Motor etwa 2 Stunden warm gefahren, um den Einfluß der ansteigenden Öltemperaturen auszuschalten. Im Gegensatz zu den bisherigen Messungen blieb diesmal die Drosselöffnung über die ganze Versuchsreihe konstant, da die Erfahrung gezeigt hatte, daß hierdurch eine wesentlich bessere Reproduzierbarkeit ein und derselben Meßreihe möglich ist. Die Drosselstellung entsprach dann einer Leistung von 45 PS_e bei einem Normalverbrauch von $2560 \text{ kcal/PS}_e \text{ h}$. Die Drehzahl wurde nach Möglichkeit stets auf 1590 U/Min. gehalten. Die durch Vermagerung oder zu fetten Verbrauch verursachten Leistungsschwankungen wirkten sich also nur in einer Änderung des Drehmomentes aus. Die Temperaturkurven der zu untersuchenden Kraftstoffe wurden bei einer Vergleichszündung von 22° v.o.T. und außerdem bei der jeweiligen Bestzündung ¹⁾ aufgenommen. Die Kühlmitteltemperatur betrug bei sämtlichen Versuchen 140°C im Austritt und etwa 138°C im Eintritt. Die Öltemperaturen schwankten zwischen 80°C und 82°C im Eintritt und 86°C und 89°C im Austritt. Das Verdichtungsverhältnis betrug $1:6,6$.

b) Dauerläufe.

Außer dem Temperaturverhalten im Motor wurde auch der Einfluß der einzelnen Kraftstoffe auf das Festkleben der Kolbenringe in Dauerläufen untersucht. Maßgebend für die Durchführung der Versuche waren die in dem schon mehrfach erwähnten Bericht über die Verwendung von Motorenbenzol im heißgekühlten Flugmotor niedergelegten "Richtlinien für die einheitliche Durchführung von Dauerläufen an Flugmotoren-Einzylindern".

1) Bestzündung ist diejenige Zündung, mit der bei gleichem Verbrauch (hier $2560 \text{ kcal/PS}_e \text{ h}$ und gleicher Drosselstellung ein Bestwert an Leistung erzielt wird.

Der Kraftstoffverbrauch wurde für alle Läufe gleichmäßig auf 2560 ± 30 kcal/PS_h festgelegt. Die Bestimmung des Ölverbrauchs scheiterte bisher an der Unzulänglichkeit der Meßeinrichtungen und dem allzu häufigen Nachfüllen von Frischöl. Deshalb ist die Ölanlage in verschiedenen Punkten inzwischen geändert worden. Außerdem wurde bei diesen Versuchen das verbrauchte Öl nur alle 10 Stunden ergänzt und auch die Ölproben jeweils vor dem Nachfüllen des Frischöles - also nicht mehr nach 10, 25 und 50 Stunden - entnommen. Dadurch konnte der Ölverbrauch in zufriedenstellenden Grenzen festgestellt werden. Alle übrigen Punkte der Versuchsdurchführung sind unverändert beibehalten worden. Leistung, Drehzahl, Ausgangsdrosselstellung, Kühltemperatur und Verdichtung wurden entsprechend den Betriebsbedingungen bei den vorher erwähnten Temperaturmessungen eingehalten. Alle weiteren bei den einzelnen Läufen aufgetretenen Betriebswerte sind aus Übersichtstafel II zu ersehen.

V. Versuchsergebnisse.

a) Temperaturmessungen.

Die Temperaturkurven von Isopropylbenzol und Alkylbenzol liegen bei gleicher Zündung (22° v.o.T.) (Abb. 1) wesentlich höher als die des Vergleichsbenzins und zwar im Verbrennungsraum um etwa 15°C und im Auspuff um etwa 8 bis 10°C . Im Gebiete der Höchsttemperaturen - also bei sehr magerem Verbrauch - scheint dieser Unterschied geringer zu sein. Der Abstand zwischen den Kurven der beiden Benzole selbst ist nur gering und liegt innerhalb der Meßfehlergrenze.

Weiter dürfte ein Vergleich zwischen dem seit der Wiedereinführung des Motorenbenzols verwendeten Fliegerbenzol und Alkylbenzol interessieren. Abb. 2 zeigt, daß die Temperaturen des ersteren Kraftstoffes sowohl im Verbrennungsraum als auch im Auspuff um etwa 5°C höher liegen als die des Alkylbenzols.

Das Temperaturverhalten der Alkyl-Benzole scheint also günstiger als das des bisher verwendeten Fliegerben-

zols zu sein.

Um zu untersuchen, inwieweit ein Zusatz von Alkohol die Temperaturen senkt ¹⁾, wurde ein Gemisch von 90/8/2 Vol.-% Alkylbenzol/Ethanol/Methanol mit Alkylbenzol verglichen. Aus Abb. 3 ist ersichtlich, daß schon dieser geringe Alkoholzusatz die Temperaturen im Verbrennungsraum um etwa 5°C senkt; die Auspufftemperaturen zeigen hier nur bei magerem Verbrauch kleine Unterschiede. Der leistungssteigernde Einfluß des Alkohols - besonders im mageren Gebiet - ist aus der Leistungskurve ersichtlich.

Schließlich wurde das Temperaturverhalten der beiden Benzole mit dem des Fliegerbenzins bei ihrer jeweiligen Bestzündung verglichen. Abb. 4 zeigt die Temperaturkurven von Isopropylbenzol bei 26° ²⁾, von Alkylbenzol bei 22° und von dem Vergleichsbenzin bei 20° Vorzündung; die Bestzündung von 22° bei Alkylbenzol entspricht dem bei anderen Versuchen ³⁾ gefundenen Bestwert des Fliegerbenzols. Dagegen läßt die Vorzündung von 26° bei Isopropylbenzol auf eine etwas geringere Verbrennungsgeschwindigkeit schließen.

Wegen der unterschiedlichen Zündung liegen diesmal die Temperaturkurven für den Verbrennungsraum sehr weit auseinander. Isopropylbenzol ist durchschnittlich um etwa 48°C und Alkylbenzol um etwa 37°C heißer als das Vergleichsbenzin. Bekanntlich ist mit wachsender Vorzündung der Temperaturabfall im Auspuff nur etwa halb so groß als der Anstieg der Temperaturen im Verbrennungsraum. Daher ist es auch erklärlich, daß die bei gleicher Zündung (vgl. Abb. 1) im Vergleich zu Benzin höher liegenden Auspufftemperaturen hier entsprechend gefallen sind und verhältnismäßig nahe zusammenliegen.

1) Vgl. DVL-Bericht FB 690, v. Philippovich/Berg, Untersuchung von bleifreien Benzin-Benzol-Alkohol-Mischungen, S. 18, 2.9.36.

2) Dieses Ergebnis erscheint etwas unglaubwürdig, wurde aber durch mehrmalige Wiederholung des Versuches bestätigt. Der Leistungsgewinn durch Änderung der Vorzündung von 22° auf 26° v.o.T. beträgt allerdings nur 0,2%, jedoch ergaben sich bei der Feststellung der Bestzündung auch für die anderen Kraftstoffe keine grösseren Leistungsschwankungen.

3) DVL-Bericht PB 172 und DVL-Bericht PB 690.

Unter Berücksichtigung der thermischen Beanspruchung des Zylinders ist daher das Isopropylbenzol nur dann dem Alkylbenzol in der Verwendung gleichzusetzen, wenn man auf den Bestwert an Leistung verzichtet und bei der dem Alkylbenzol entsprechenden Vorzündung fährt. Mehrmalige Messungen haben ergeben, daß der dadurch eintretende Leistungsverlust nur sehr gering ist.

b) Dauerläufe.

Über den Verlauf der einzelnen Dauerversuche geben die Abb. 5 bis 8 Auskunft. In Übersichtstafel II sind die mittleren Betriebswerte und die Versuchsergebnisse zusammengestellt.

Die Temperaturmessungen im Verbrennungsraum und Auspuff brachten diesmal teilweise sehr unsichere Ergebnisse, die weder unter sich, noch mit entsprechenden Werten der Temperaturkurven vergleichbar sind. Daß es sich jedoch hier zum Teil um Fehlmessungen handelt, zeigt der Umstand, daß die Ergebnisse der im vorhergehenden Abschnitt behandelten Temperaturmessungen durchaus mit den bisherigen Erfahrungen übereinstimmen.

Auch bei anderen Versuchen ist des öfteren festgestellt worden, daß die Temperaturen bei ein und demselben Kraftstoff und gleichem Verbrauch an verschiedenen Tagen Unterschiede von mehr als 30°C zeigten¹⁾. Dies wurde auf unbeachtete motorische und atmosphärische Einflüsse zurückgeführt. Inwieweit dies auch hier der Fall ist, oder ob noch andere Umstände dabei eine Rolle gespielt haben, kann erst geklärt werden, wenn alle Einflüsse auf die Temperaturmessung am Motor erforscht sind.

Zur Beurteilung der Läufe kann also nur die Versuchsdauer, die Art der Gasdurchtrittskurve und der Befund nach Schluß des Versuches herangezogen werden.

Bei dem als Vergleichskraftstoff verwendeten Fliegerbenzin zeigten selbst nach 90 Stunden die Kolbenringe keine Neigung zum Festgehen. Hiergegen trat bei Alkylbenzol bereits

1) Vgl. Anm. 2, Seite 3

nach etwa 30 Stunden das erste Festhängen des obersten Ringes auf (vgl. Gasdurchtrittskurve in Abb. 6). Bei Abschluß dieses Versuches nach 45 Stunden war der oberste Ring über 260° fest. - Schon ein verhältnismäßig geringer Zusatz von Alkohol (10%) konnte, wie die Versuchsergebnisse von Dauerlauf 38 zeigen, das Festgehen der Ringe außerordentlich hinauszögern: nach Abschluß des Versuches nach 57 Stunden war lediglich ein leichtes Klemmen des obersten Ringes festzustellen.

Wesentlich ungünstigere Ergebnisse brachte der Lauf mit Isopropylbenzol. Die hohe Vorzündung von 26° (Bestzündung) brachte sehr viel höhere Verbrennungsraumtemperaturen mit sich (vgl. S. 6), sodaß an sich schon eine kürzere Laufzeit erwartet wurde¹⁾. Nicht vorauszusehen war jedoch, daß schon nach $16\frac{1}{2}$ Stunden der erste Ring über 80° festging²⁾. Nach der Gasdurchtrittskurve (vgl. Abb. 8) zu schließen, trat das erste Festkleben sogar schon nach 10 Stunden ein. Nach $30\frac{1}{2}$ Stunden waren die Leistungsabfälle so häufig und der Gasdurchtritt so groß (600 Ltr./30 Min.), daß der Versuch abgeschlossen werden konnte. Interessant ist, daß sich trotzdem die festgegangene Länge der Ringe gegenüber dem Befund nach $16\frac{1}{2}$ Stunden nicht wesentlich vergrößert hatte.

(Das Ergebnis dieses Dauerlaufes gibt vielleicht dazu Anlaß, in Zukunft alle derartigen Versuche nur dann bei Bestzündung durchzuführen, wenn der dadurch entstehende Leistungsgewinn auch mit der thermischen Belastung des Motors in Einklang zu bringen ist.)

Die Ölkohlemengen, die nach Beendigung der Versuche auf dem Kolbenboden und in den einzelnen Nuten vorgefunden wurden, lassen vorläufig noch keine Rückschlüsse auf die Art des Ringfestsetzens zu und dienen daher hier nur zur Vervollständigung des Abschlußbefundes. Die Untersuchungen auf diesem Gebiete werden noch weiter durchgeführt und die Ergebnisse in einem späteren Bericht niedergelegt.

1) Vgl. DVL-Prüfbericht PB 172 (Anm. 1, S. 2), Abschn. V, 3 b.

2) Wegen einer Störung in der Steuerung mußte der Versuch nach $16\frac{1}{2}$ Std. unterbrochen werden, weshalb die gewöhnlich nach 20 Std. vorgenommene Untersuchung vorverlegt wurde.

VI. Zusammenfassung.
=====

Zusammenfassend können die untersuchten Kraftstoffe folgendermaßen beurteilt werden:

~~Das Temperaturverhalten der beiden Alkyl-Benzole ist ungefähr gleich. Die Verbrennungsraumtemperaturen liegen im Vergleich zu Fliegerbenzin - mit dem DVL-Thermoelement gemessen - um etwa 15°C höher, sie sind also etwas niedriger als die entsprechenden Temperaturen des gewöhnlich verwendeten Fliegerbenzols. Bei den Temperaturen im Auspuff sind die Unterschiede ähnlich, jedoch geringer.~~

~~Isopropylbenzol erfordert für die beste Leistung eine höhere Vorzündung (26°C) als Alkylbenzol (22°C). Der Leistungsgewinn ist jedoch nur gering.~~

~~Das Festgehen der Kolbenringe trat bei den Dauerprüfungen schon verhältnismäßig früh ein, sodaß beide Benzole vorerst nicht als Fliegerkraftstoff empfohlen werden können. Das Verhalten von Isopropylbenzol war bei diesen Untersuchungen besonders ungünstig. Wenn man auf den an sich sehr geringen Leistungsgewinn durch die günstigste Vorzündung verzichtet und die dem Alkylbenzol entsprechende Vorzündung von 22°C v.o.T. einstellt, dürfte das Verhalten beider Kraftstoffe als gleichwertig erachtet werden; der größeren Reinheit wegen kann Isopropylbenzol sogar dem Alkylbenzol vorgezogen werden.~~

~~Durch Zusatz von Alkohol können die beiden Benzole verbessert werden.~~

Übersichtstafel I

Übersicht über die verwendeten Kraftstoffe.

Kraftstoff-Nr.:	1	2	3	4
Dauerlauf-Nr.:	36II	37	38	39II
Bes.-d. Kraftstoffes: (Gemische in Vol.%)	Flieger- benzin 87	Alkyl- benzol	90% Alkyl-Bo 8% Athanol 2% Methanol	Isopropyl- benzol
Ring-Nr.:	258/36	331/36	349/36	394/36
Liefer-Firma:	Olex	Ruhr-Chemie	in DVL gemischt	I.G.
Aussehen:	blau	schw. gelb	schwach gelb	farblos
Spez. Gew. b. 20°C kg/ltr.	0,7314	0,8625	0,8550	0,8612
Refraktion:	1,4096	1,4916	1,4800	1,4912
Wasserlös.-Bestandteile Vol.%	-	0	-	0
Korrosion:	-	unverh.	-	unverändert
Schwefelgehalt %	0,03	0,02	-	0,006
Jodzahl nach Hamms	3,3	12,5	-	4,8
Bromzahl	-	8,0	-	0,032
Unterer Heizw.-kcal/kg	10400	9813	9460	9900
Kristallisationsbeg. °C	-	-55 1)	-	-60 3)
Säurezahl mg KOH/g	-	0,16	-	0
Verharzung (Glasschalentest) mg/100ccm	3,0	58,6 ²⁾	47,0 ²⁾	2,0
Siedeverhalten nach ASTM-Methode				
Siedebeginn °C	38	140	78	146
Destillat (Vol.%)				
bis 50°C	2,0	-	-	-
60 "	5,5	-	-	-
70 "	11,5	-	-	-
80 "	21,0	-	-	-
90 "	33,0	-	-	-
100 "	49,5	-	-	-
110 "	66,0	-	-	-
120 "	80,0	-	-	-
130 "	88,5	-	-	-
140 "	94,0	-	-	-
150 "	97,0	11,0	11,0	-
160 "	-	53,0	17,0	-
170 "	-	77,0	56,0	-
180 "	-	87,0	76,0	-
190 "	-	92,5	87,0	-
200 "	-	96,0	93,0	-
Siedeende °C	152	212	97,0	-
Rückstand (Vol.%)	1,4	1,5	212	149
Verlust (")	1,0	0,5	1,6	1,0
Gehalt an Bleitetra- äthyl (Vol.%)	0,083	-	0,4	0,5
Octanzahl (CFR-Motor-Verf.)	87,3	97,7	96,5	101,4

- 1) stark trübe, aber keine Kristallausscheidung
- 2) geringer Rückstand
- 3) trübe, sonst unverändert

Kühltemp.: 140°C (im Austritt)
Zündung : 22° V.O.T.
Drossel : konstant

●---● Isopropylbenzol
+---+ Alkylbenzol
○---○ Fliegerbenzin

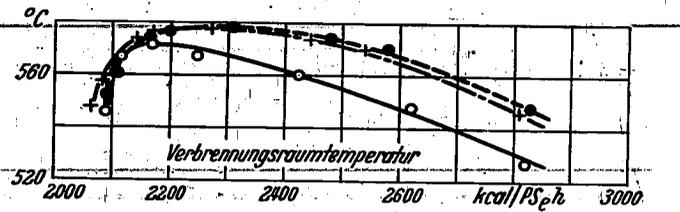
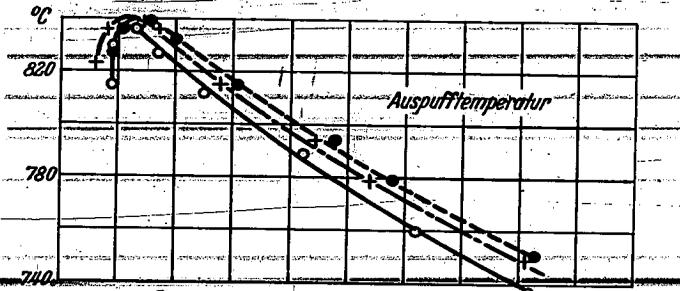
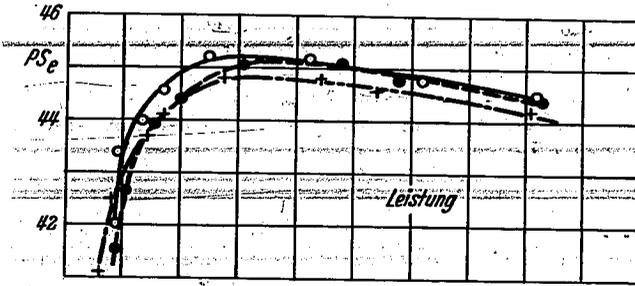


Abb.1 Vergleich der Temperaturkurven von Isopropylbenzol, Alkylbenzol und Fliegerbenzin 87.

10.000

Kühltemp.: 140°C (im Austritt)
Zündung: 20°C
Drossel: konstant

● — ● Fliegerbenzol
+ — + Alkylbenzol

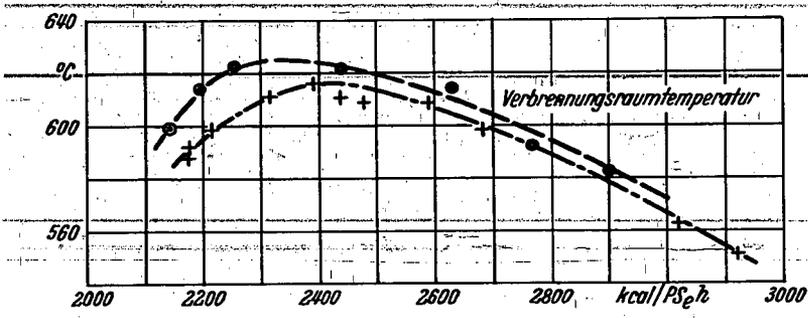
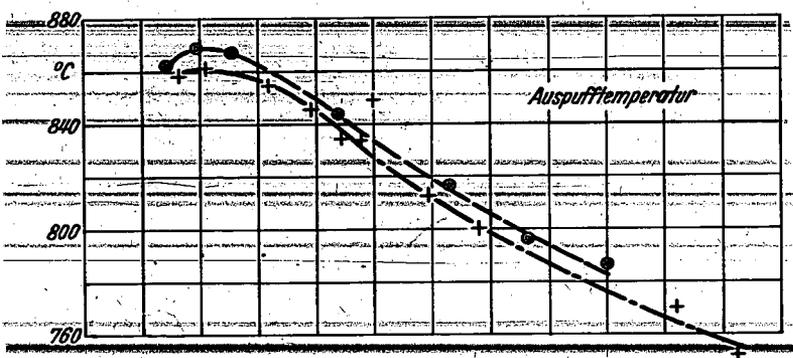


Abb.2 Vergleich der Temperaturkurven von Alkyl- und Fliegerbenzol.

Kühltemp.: 140°C (im Austritt)
Zündung: 22° V.O.T.
Drossel: konstant

—+— Alkylbenzol
—○— Alkohol

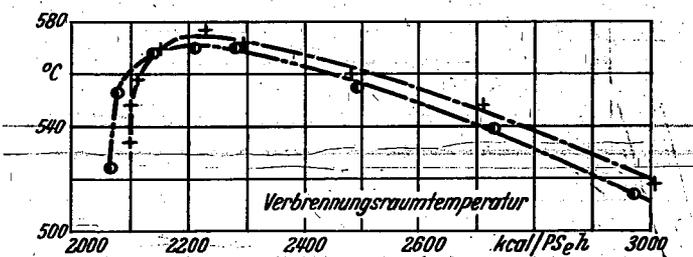
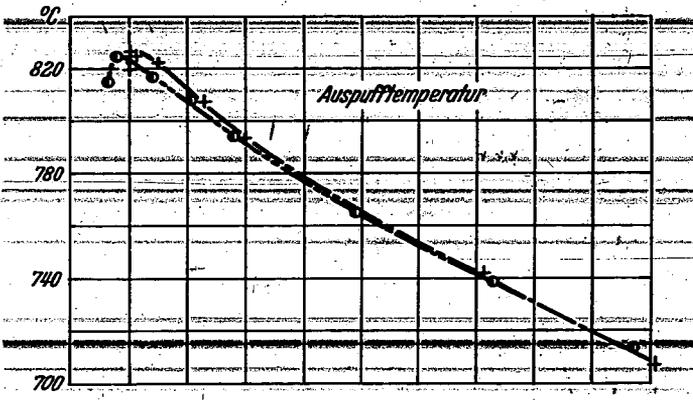


Abb. 3 Vergleich der Temperaturkurven von Alkylbenzin und Alkylbenzol und Alkohol.

102000

Kühltemp.: 140°C (im Austritt) Zündung 26°
Drossel: konstant " 22°
 " 20°

●---● Isopropylbenzol
+---+ Alkylbenzol
○---○ Fliegerbenzin

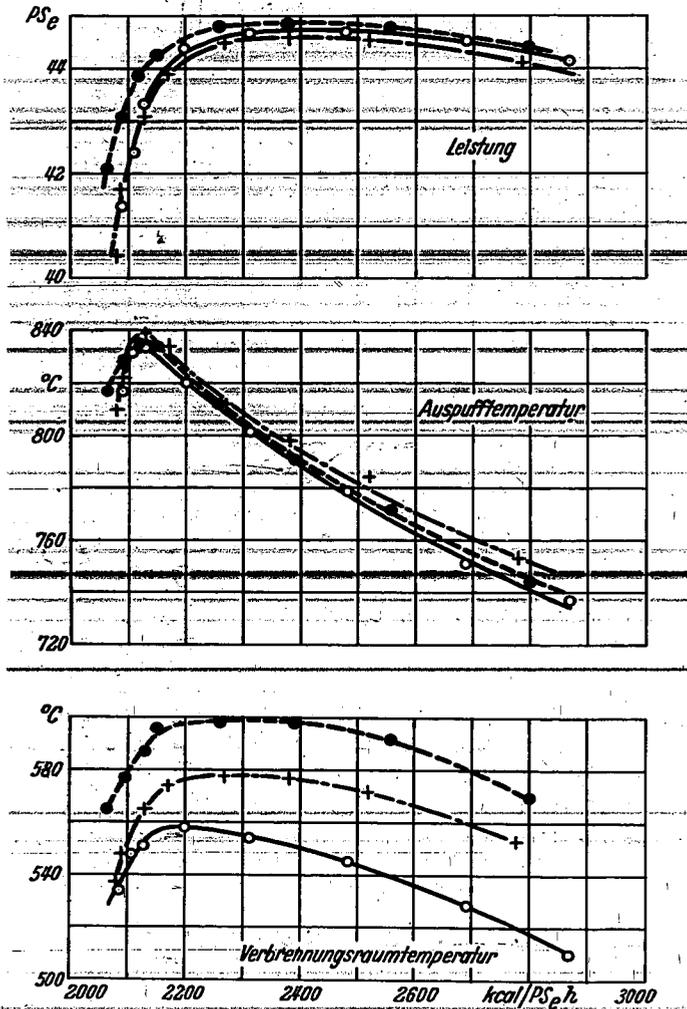


Abb.4 Vergleich der Temperaturkurven von Isopropylbenzol, Alkylbenzol u. Fliegerbenzin 87 bei bester Zündung.

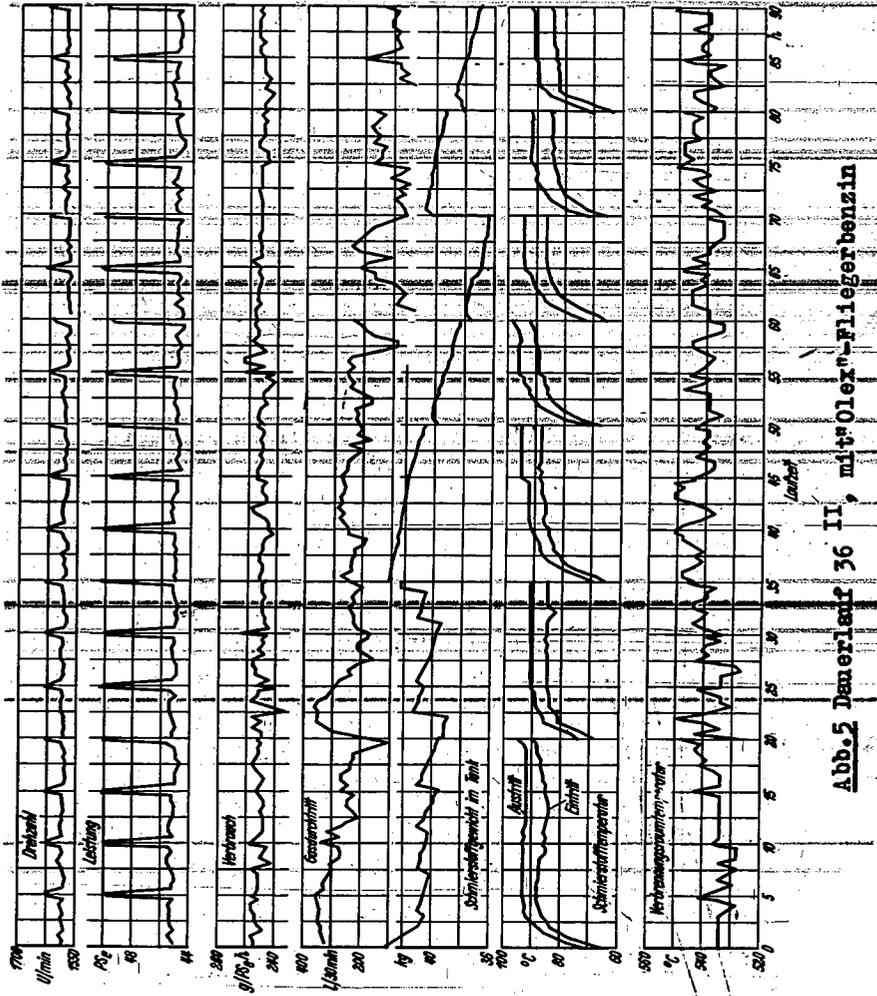


Abb.5 Dauerlauf 36 II, mit "Olex"-Fliegerbenzin

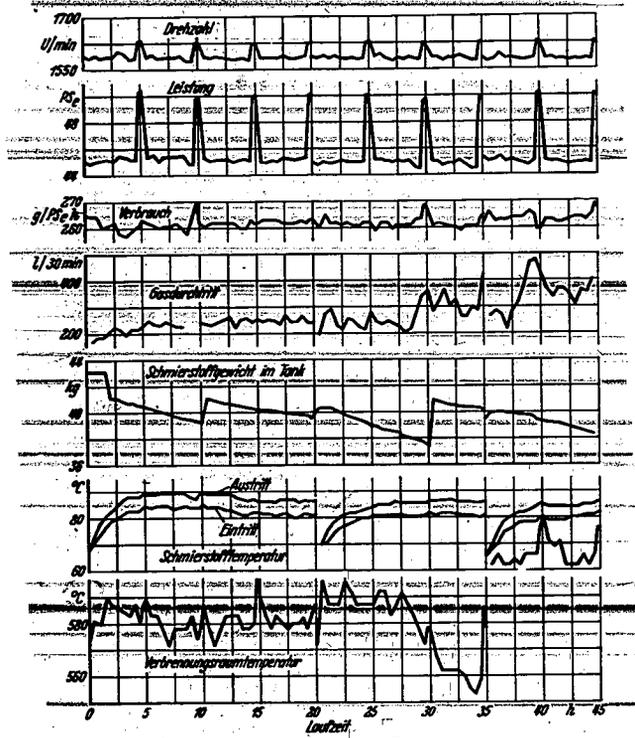


Abb.6 Dauerlauf 37, mit Alkylbenzol

000563

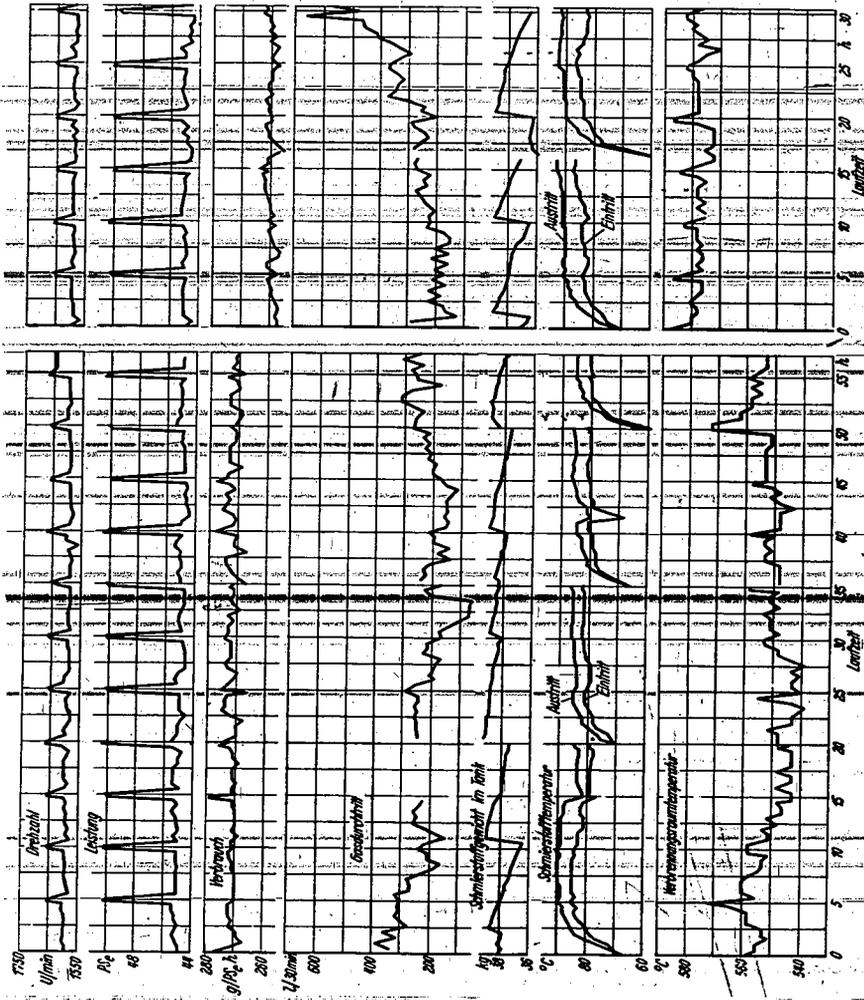


Abb. 8 Dauerlauf 39 III, mit Isopropylbenzol.

Abb. 7 Dauerlauf 38, mit Alkylbenzol und Alkohol.