

Die Prüfung von Flugmotorenölen im DKW-Motor.

Von Dr.-Ing.H.Wenzel, Intava-Hamburg.

I. Anlaß zur Entwicklung eines neuen Prüfverfahrens.

Wie bekannt, erfolgt zur Zeit die Beurteilung eines Flugmotorenöles bezüglich seiner Rückstandsbildung durch Bestimmung der Laufzeit eines Einzylindermotors bis zum Kolbenringverkleben. Heute wird hierfür fast allgemein der BMW 132 als Einzylindermotor benutzt. Obwohl das angewendete Prüfverfahren ursprünglich in einem kleineren Motor, dem sogenannten Siemens-Licht-Aggregat mit einem Viertakt-Motor von etwa 400 ccm, entwickelt worden ist und auch gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen dieses Motors und denen des BMW-Motors besteht, hat sich der Siemens-Motor doch nicht durchsetzen können. Jedoch bleibt der Wunsch bestehen, den Kosten- und Zeitaufwand für einen Versuch im BMW-Motor durch eine Prüfmethode in einem kleineren Motor auf ein erträgliches Maß herabzusetzen.

Es bedarf keiner weiteren Erwähnung, daß die in einer kleineren Motoreinheit zu erzielenden Ergebnisse nur befriedigen können, wenn sie in guter Übereinstimmung zu den Laufzeiten des BMW-Motors stehen. Bei der Entwicklung eines neuen Prüfverfahrens muß somit in erster Linie diese Übereinstimmung gesucht werden. Es ist aber auch weiterhin der Einfluß von Betriebsbedingungen, vor allem solcher, deren Konstanthaltung schwierig ist, zu beobachten.

Das erstrebenswerte Ziel wäre naturgemäß, den kleinsten Verbrennungsmotor für den gedachten Zweck herzurichten. Dem stehen jedoch eine Reihe von Schwierigkeiten entgegen. Es ist bei zu kleinem Zylinderinhalt, also auch zu kleinem Kolbendurchmesser und dadurch wieder bedingt bei zu kleinen Ringspielen unmöglich, die Zufälligkeiten in der Rückstandsverteilung auszuschalten, die sich durch ungleiche Gemischbildung, ungleiche Verbrennung, Wirbelung der Verbrennungsgase usw. ergeben. Selbst ein 200 ccm Motor, der im allgemeinen schon einen Kolbendurchmesser von über 50 mm hat, läßt sich, wie frühere Versuche zeigten, nicht so herrichten, daß wiederholbare Ergebnisse mit genügender Sicherheit erzielt werden können.

II. Das Prüfverfahren.

A. Der Motor.

In Anbetracht dessen, daß die Versuchsgenauigkeit mit der Größe des Kolbens steigt, schien als Mindestgröße für diesen ein Durchmesser von 80 mm erforderlich zu sein, das entspricht bei handelsüblichen Motoren einem Hubraum von wenigstens 400 ccm. Da Versuche, wie sie hier geplant waren, nur unter verschärften Betriebsbedingungen, d.h. im wesentlichen bei höheren Temperaturen durchführbar sind, spielt die Wahl der Kühlung eine ausschlaggebende Rolle. Auf der einen Seite steht zur Wahl der flüssigkeitsgekühlte Motor mit seinen leicht zu beherrschenden, gleichmäßigeren, aber durch die Siedetemperatur des Kühlmittels in der Höhe begrenzten Temperaturen; auf der anderen Seite der luftgekühlte Motor, der durch Drosselung oder gänzliche Abschaltung der Kühlluft in einem wesentlich höheren Temperaturbereich gefahren werden kann. Dafür muß als schwerwiegender Nachteil bei diesem die durch die Führung der Kühlluft bedingte stark ungleichmäßige Temperaturverteilung des Zylinders, des Zylinderkopfes, des Kolbens, der Ringe usw. in Kauf genommen werden. Deshalb ist grundsätzlich für Versuche der geplanten Art der flüssigkeitsgekühlte Motor vorzuziehen, wenn ein Kühlmittel von geeignet hoher Siedetemperatur zur Verfügung steht. Unter dieser Voraussetzung fiel die Wahl auf einen flüssigkeitsgekühlten Einzylindermotor der Auto Union, Typ DKW EW 461, der bei einer Bohrung von 88 mm und einem Hub von 66 mm einen Hubraum von 462 ccm hat. Der Motor arbeitet im Zweitakt und leistet bei 2500 U/min. rund 10 PS. Ein Zweitakter konnte unbedenklich gewählt werden, da für das Kolbenringverkleben, wie bereits mehrfach festgestellt worden ist, der Zustand des umlaufenden Öles von untergeordneter Bedeutung ist; die Alterung des Schmierstoffes bis zur Asphalt- und Kohlebildung findet vielmehr hauptsächlich auf den Bauteilen statt, die den Verbrennungsraum bilden oder mit den Verbrennungsgasen unmittelbar in Berührung kommen. Da beim Zweitaktverfahren die Möglichkeit besteht, die in den Verbrennungsraum gelangende Ölmenge genau festzulegen, muß dadurch die Wiederholbarkeit der Ergebnisse erheblich gesteigert werden können. Störungen sind höchstens durch ungleichmäßige Gemischverteilung, also ungleichmäßigen Verbrennungsablauf zu befürchten.

B. Versuchsbedingungen.

Bei wassergekühlten Motoren kann ein Kolbenringverkleben bei Verwendung von handelsüblichen Flugmotorenölen unter Betriebsbedingungen, die mit denen der Praxis noch einigermaßen vergleichbar sind, innerhalb weniger Stunden kaum erwartet werden, weil sich die Temperatur in der Kolbenringnut als an der für das Verkleben maßgeblichen Stelle nicht im erforderlichen Ausmaß steigern läßt. Hierzu sind normalerweise Kühlmittelaustrittstemperaturen von über 100° erforderlich. Deshalb wurde als Kühlmittel Athylenglykol genommen. Der Motor kann nach seiner Bauart mit selbsttätig umlaufendem Kühlmittel betrieben werden, doch war bei der Wahl von Athylenglykol kaum damit zu rechnen, daß sich die Kühlmitteltemperaturen so sicher beherrschen ließen, wie sie zur Erzielung wiederholbarer Ergebnisse notwendig sind. Es wurde deshalb ein Kühlmittelzwangsumlauf durch Einschalten einer kleinen Zahnrumppe eingerichtet. Die Pumpe wurde von der Motorwelle durch einen Rundriemen mit ungefähr gleicher Drehzahl angetrieben. Die Kühlmittelmenge betrug etwa 15 Ltr.

Eine weitere wesentliche Änderung betraf die Spiele der Kolbenringe. Diese haben im normalen Motor einen Spielraum von 0,02 bis 0,03 mm. Bei so geringen Spielen wird zwar das Verkleben der Ringe unter Umständen stark beschleunigt, die Ergebnisse sind jedoch infolge der vielen Zufälligkeiten, die zum Ringfestsitzen führen können, sehr wenig wiederholbar. Ein einwandfreies Urteil über die Rückstandsbildung eines Öles, ausgedrückt durch das Kolbenringverkleben, ist nur dann möglich, wenn dieses Ringverkleben stetig vor sich gehen kann, d.h. daß die Ringe ausschliesslich dadurch festgehen, daß sich in der Zeiteinheit während des ganzen Prüflaufes stets die gleiche oder wenigstens innerhalb meßbarer Grenzen die gleiche Menge an Rückständen bildet und diese sich ebenso gleichmäßig in der Nut ablagert. Somit muß das Ringspiel für den 1. Ring mindestens 0,06 mm betragen; aber schon bei den Vorversuchen stellte sich auch dieses noch als zu klein heraus, sodaß es schliesslich auf

0,10 mm für den 1. Ring und
0,06 mm für den 2. Ring

erhöht wurde. Die Spiele des 3. und 4. Ringes blieben unverändert. Zu jedem Versuch wurden neue Ringe genommen, um dadurch den Einfluß der Ringspannung und den ihres Einlaufzustandes nach Möglichkeit gering zu halten.

Um zu einem möglichst schnellen Kolbenringverkleben zu gelangen, schien es zweckmäßig, auch das übliche Mischungsverhältnis Öl zu Kraftstoff nach der Seite der Vergrößerung des Ölanteiles zu verändern. Nach einigen Tastversuchen ergab sich als brauchbares Verhältnis 1 : 10.

Außerlich wäre zum Aufbau des Motors noch zu bemerken: Anstelle des Dekrompensionshahnes gegenüber der Zündkerze erhielt der Zylinderkopf ein Thermoelement nach Art der DVL-Meßkerze. Kühlmittellein- und -austrittstemperaturen wurden durch Quecksilberthermometer, die Temperatur im Kerzenring in üblicher Weise durch ein in den Kupferring eingenietaes Thermoelement aus 1 mm starkem Eisen- und Konstantandraht gemessen. Die erzeugte Leistung wurde in einer Wasserwirbelbremse vernichtet (Abb.1).

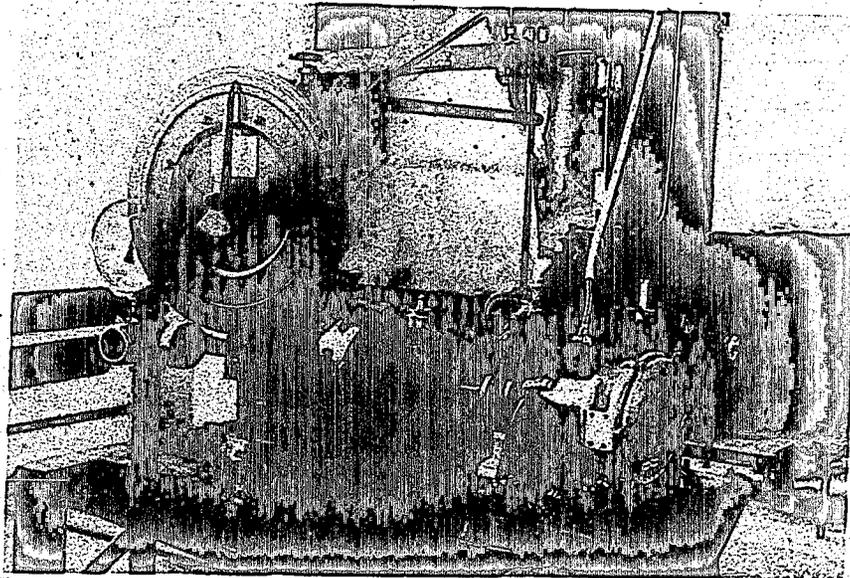


Abb.1: DKW-Prüfstand

C. Versuchsstoffe.

Die Zahl der zu untersuchenden Stoffe, d.h. Flugmotorenöle, mußte einerseits, um zu einem sicheren Urteil zu gelangen, möglichst groß sein; andererseits sollte jedoch die Zahl der Versuche nicht ins Uferlose wachsen. So wurden die Versuche auf INTAVA Flugmotorenöl Rotring aus verschiedenen Produktionen, auf 2 Shell-Öle, ein synthetisches Produkt, zwei dünnflüssige Öle der D.V.O.A.G. und ein Mischöl, dessen beide

6374

Bestandteile Mineralöle sind, beschränkt, wie sie in der Zahlentafel 1 zusammengestellt sind.

Der Kraftstoff war in allen Fällen VT 702, entweder verbleit oder unverbleit.

III. Versuchsergebnisse.

Obwohl der Zweck dieser Untersuchungen nur der sein sollte, ein bestimmtes Prüfverfahren auf einen neuen Motor zu übertragen, konnte doch nicht darauf verzichtet werden, den Einfluß einiger Betriebsbedingungen auf das Ergebnis zu beobachten. Es mußte zunächst Klarheit darüber geschaffen werden, bei welchen Temperaturen der Motor zu fahren ist, welche Temperatur als maßgebliche für das Prüfverfahren anzusehen ist und wie überhaupt sich eine Änderung der Betriebstemperatur auf das Ergebnis auswirkt. Es erschien deshalb zweckmäßig, sich ein Bild von der Temperaturverteilung im Motor zu schaffen.

A. Betriebstemperaturen.

Maßgebend für die Rückstandsbildung und damit für das Kolbenringverkleben ist, wie bereits wiederholt erwähnt, die Temperatur in der Kolbenringnut. Da diese im praktischen Betrieb direkt nur sehr umständlich zu bestimmen ist, kam die indirekte Bestimmung vor allem durch Messung der Kühlmittelaustrittstemperatur oder der Kerzenringtemperatur in Betracht. Um den Zusammenhang zwischen diesen beiden Temperaturen kennenzulernen, wurde der Kolben an mehreren Stellen mit Schmelz-Stiften versehen. Die Abbildung 2 gibt eine schematische Darstellung der Anordnung der Schmelzstifte. Ihre Verteilung erfolgte unter dem Gesichtspunkt, daß nach Möglichkeit keine Spitzen- sondern Mitteltemperaturen gemessen werden sollten. Der Motor wurde mit langsam ansteigender Temperatur und Belastung bis zur Vollast und mit dieser etwa 1/2 Stunde gefahren. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 3 in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur aufgetragen, und zwar:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1) Temperatur im Kerzenring | } gemessen durch Thermoelemente |
| 2) Temperatur im Zylinderkopf | |
| 3) Temperatur im Kolbenboden | } gemessen durch Schmelzstifte. |
| 4) Temperatur in der 1. Kolbenringnut | |

Die aufgezeichneten Temperaturen stellen wegen ihrer starken Abhängigkeit vom Kolbenspiel bei sonst gleichen Bedingungen keine Absolutwerte dar, es bestätigt sich aber auch an diesem Motor, daß die Tempera-

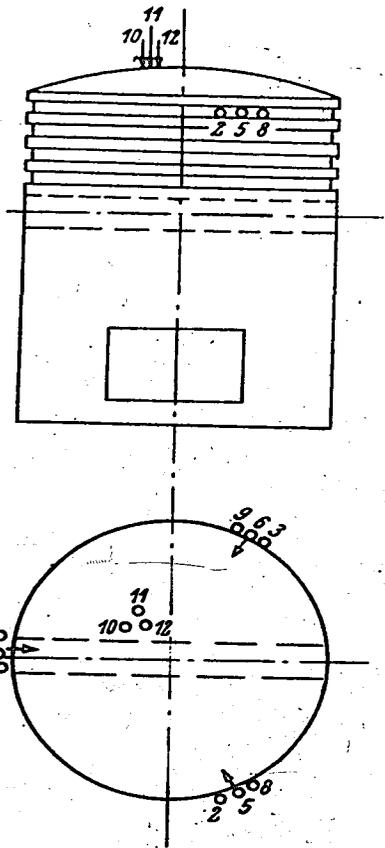


Abb.2: Anordnung der Schmelzstifte am DKW-Motor.

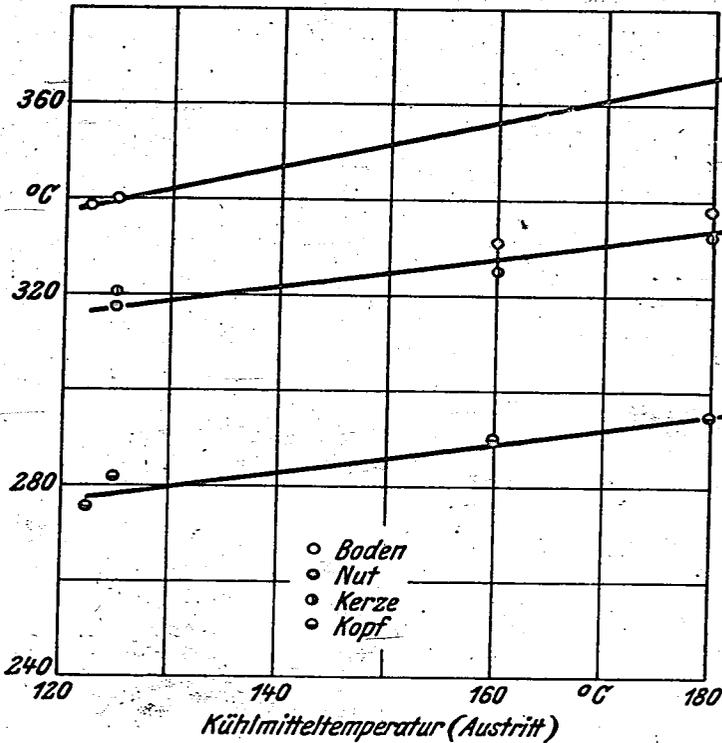


Abb.3: Kolben und Zylindertemperaturen in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur.

tur im Kerzenring mit der in der 1. Kolbenringnut gut übereinstimmt, ein Ergebnis, das für die weiteren Untersuchungen das ausschlaggebende ist. Überraschend ist die sehr geringe Abhängigkeit der Temperatur in der Kolbenringnut von der Kühlmittelaustrittstemperatur. Es ergibt sich daraus, daß es unzweckmäßig ist, den Motor nach der Höhe der Kühlmittelaustrittstemperatur zu fahren, daß vielmehr als für das Prüfverfahren maßgebliche Temperatur die des Kerzenringes anzusehen ist.

Auf Grund dieser Ergebnisse war es nicht mehr sehr schwierig, die für das Prüfverfahren anzuwendende Kerzenringtemperatur zu finden. Da, wie eingangs erwähnt, eine Übereinstimmung der Laufzeiten des DKW-Motors mit denen des BMW erzielt werden sollte, mußte die Temperatur nur so gewählt werden, daß sich bei einem bestimmten Öl die gleiche Laufzeit ergab. Als Eichöl diente in beiden Fällen das Öl L 15020 (INTAVA Flugmotorenöl Rotring D), das im BMW eine Laufzeit von 8 Stunden ergibt. Das Öl wurde nun im DKW bei Kerzenringtemperaturen von 230 bis 400°C geprüft. Es ergab sich die in Abbildung 4 dargestellte Abhängigkeit der Laufzeit von der Temperatur im Kerzenring.

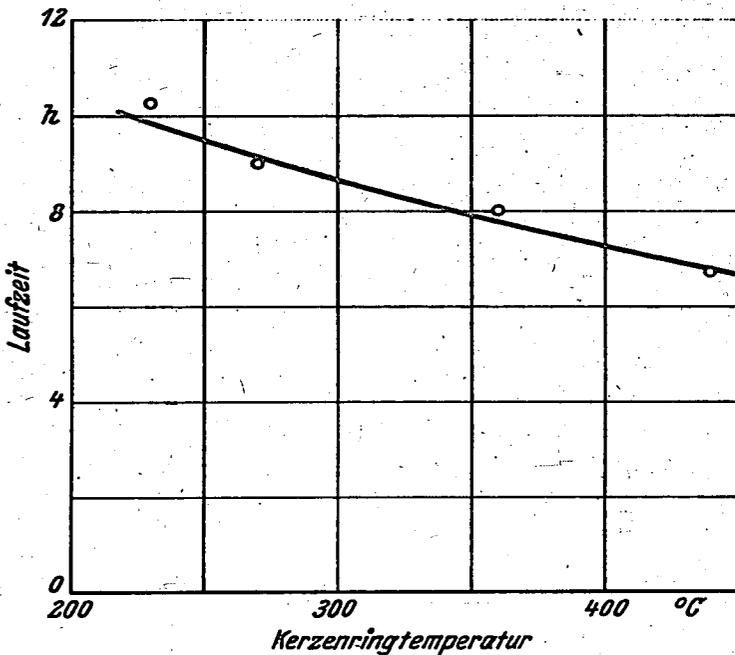


Abb.4: Laufzeit in Abhängigkeit von der Kerzenringtemperatur.

Bei einer Laufzeit von 8 Stunden würde demnach eine Kerzenringtemperatur von 340°C erforderlich sein. Die Nachprüfung mit anderen Ölen ergab jedoch 370°C als die für das Prüfverfahren geeignete Temperatur im Kerzenring.

Im Gegensatz zum BMW-Motor ist die Abhängigkeit der Laufzeit von der Kerzenringtemperatur im DKW außerordentlich gering. Die Ursache dieser Erscheinung, die auf eine große Gleichmäßigkeit der Temperaturen des Kerzenringes und damit der Temperaturen in der Kolbenringnut bei stark unterschiedlichen Betriebsbedingungen schließen läßt, kann vielleicht in der Arbeitsweise des Motors begründet liegen. Auf einen Vorteil dieser geringen Abhängigkeit möge jedoch hingewiesen werden, daß nämlich die Durchführung der Versuche bezüglich der Temperaturen im DKW-Motor wesentlich weniger Sorgfalt erfordert als die im BMW-Motor.

Schließlich soll eine Schwierigkeit bei der Durchführung der Versuche nicht unerwähnt bleiben: Bei Kerzenringtemperaturen unter 300° ist der Leistungsabfall infolge Kolbenringverklebens sehr gering und wird oft durch andere Erscheinungen überdeckt, sodaß die Feststellung der Laufzeit gewisse Schwierigkeiten bereitet.

Versuche, die Abhängigkeit der Laufzeit von der Betriebstemperatur im DKW-Motor prüfen zu wollen, sind demnach aus den genannten Gründen ohne praktischen Wert, d.h. ohne befriedigende Vergleichsmöglichkeit zu Ergebnissen in anderen Motoren.

B. Sonstige Prüfbedingungen.

Bevor die Abhängigkeit der Laufzeit von der Temperatur im Kerzenring aufgestellt wurde, wie sie im vorigen Absatz beschrieben worden ist, war eine weitere wichtige Betriebsbedingung zu klären, und zwar das günstigste Mischungsverhältnis Öl zu Kraftstoff. Aus Versuchen mit drei verschiedenen Ölen ergab sich schließlich ein Mischungsverhältnis 1 : 10 als das zweckmäßigste.

Nach Durchführung dieser Vorversuche wurden schließlich folgende Bedingungen als für das Prüfverfahren geeignet festgelegt:

Leistung	9,5 PS
Drehzahl	2500 U/min
Gasdrossel	voll geöffnet
Verbrauch an Kraftstoff: Öl-Mischung	380 bis 400 g/PSH
Temperatur im Kerzenring	$370 \pm 10^{\circ}\text{C}$
Mischungsverhältnis Kraftstoff : Öl	1 : 10

Kühlmittelein- und austrittstemperaturen wurden entsprechend der Temperatur im Kerzenring geregelt. Der Motor wurde solange gefahren, bis ein merklicher Leistungsabfall - etwa 0,3 PS - auftrat.

Unter diesen Bedingungen wurden die in der Zahlentafel 1 aufgeführten Öle geprüft. Das Ergebnis möge jedoch erst im nächsten Absatz besprochen werden.

C. Einfluß des Kraftstoffes.

Die ersten Versuche wurden durchweg mit einem unverbleiten Kraftstoff VT 702 gefahren. Da ein solcher Kraftstoff in der Praxis kaum noch Verwendung findet, mußte auch der Einfluß des Bleizusatzes zum Kraftstoff auf das Ergebnis geprüft werden. Die Untersuchung wurde mit 11 Ölen durchgeführt, davon 5 reine Mineralöle und 6 Öle mit verschiedenen Zusätzen (s. Zahlentafel 2 und Abbildung 5).

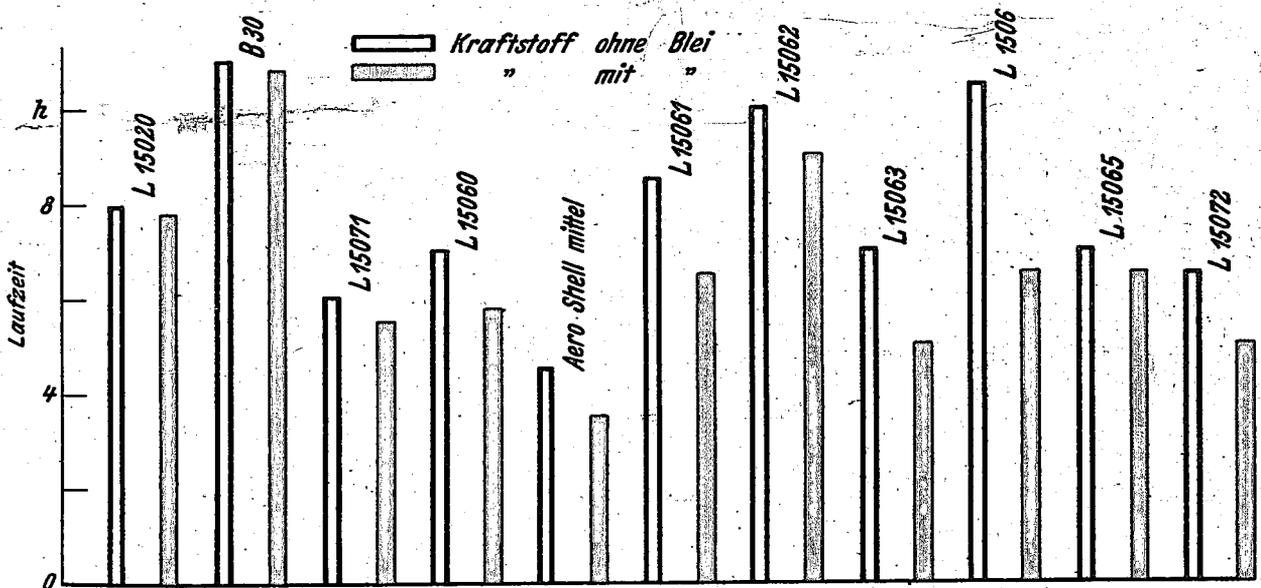


Abb. 5: Kraftstoffeinfluß auf die Laufzeit.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß der Bleizusatz zum Kraftstoff in allen Fällen eine Laufzeitverminderung bringt, die jedoch bei reinen Mineralölen so gering ist, daß sie meistens noch innerhalb der Fehlergrenzen liegt. Die stärkste Laufzeitverminderung tritt beim Öl L 15064 auf, das einen Fettzusatz enthält.

D. Übereinstimmung der Laufzeiten des DKW-Motors mit denen des BMW.

Vergleicht man die im DKW-Motor erzielten Ergebnisse mit den Laufzeiten, wie sie aus BMW-Versuchen her bekannt sind (Zahlentafel 3), so ist festzustellen, daß die Übereinstimmung recht gut ist. Eine größere Abweichung als eine halbe Stunde wurde mit einer Stunde beim Mischöl L 15087 (im DKW 10 Std., im BMW 9 Std.) und beim Öl Aero Shell Mittel gefunden, das im BMW eine Laufzeit von $2\frac{3}{4}$ Stunden und im DKW $3\frac{1}{2}$ Stunden ergeben hatte. Während beim Shell-Öl die Abweichung in Anbetracht der kurzen Laufzeit als normale Streuung in Kauf genommen werden kann, ließ sich eine Ursache für den Unterschied von einer Stunde beim Öl L 15087 nicht finden. (Eine Wiederholung des Versuches war leider nicht möglich, da nicht genügend Versuchsöl zur Verfügung stand.) Bei dem Mineralöl L 15060 und dem synthetischen Produkt Z 21007 betrug die Abweichung in den Laufzeiten eine halbe Stunde, bei 9 weiteren Ölen, und zwar B 30004, B 30010, B 30033, B 30036, B 30040, B 30046, B 30050, B 30055, Öle der Rotring-Produktion der D.V.O.A.G., und beim gefetteten Öl Aero Shell Schwer betrug die Abweichung $\frac{1}{4}$ Stunde oder weniger.

Damit dürfte bewiesen sein, daß das Prüfverfahren im DKW-Motor, wie es oben geschildert worden ist, durchaus in der Lage ist, in größerem Umfang die heute übliche Prüfweise im BMW-Einzylindermotor zur Bestimmung der Laufzeit bis zum Kolbenringverkleben zu ersetzen. -

Zahlentafel I

Zusammenstellung der im DKM-Motor geprüften Öle.

	L 15020	B 30004	B 30010	B 30033 ⁺)	Aero Shell mittel schwer	Z 21007	L 15060	L 15071	L 15087
Spez.Gew.20	0,882	0,893	0,894	0,869	0,915	0,905	0,878	0,894	0,880
Visk. E 20	111	120	115	113	140	180	108	58,6	131
E 50	17,1	17,4	17,4	17,7	17,1	24,0	17,2	10,1	18,5
E 100	2,82	2,78	2,83	2,95	2,61	3,40	2,91	2,09	3,02
E 150	1,54	1,50	1,51	1,55	1,5	1,6	1,54		1,56
Visk.Polhöhe	1,85	1,94	1,86	1,77	2,2	1,87	1,76	1,98	1,84
Visk.Index	99	94	98	103	78	98	104	91	103
Neutr.Zahl	unter 0,1	unter 0,1	unter 0,1	unter 0,1	0,11	0,11	0,03	unter 0,1	unter 0,1
Vers.Zahl	0,08	0,08	0,11	0,11	9,1	-	0,14	0,37	0,22

+) Die Daten der weiter geprüften Öle B 30036, B 30040, B 30046, B 30050 und B 30055 entsprechen im wesentlichen den unter B 30033 aufgeführten.



1321

Zahlentafel 2

Versuche über den Einfluß des Bleizusatzes zum Kraftstoff.

Datum	Schmierstoff	Bleigehalt	Laufzeit	Oelkohle	
				Nut	Boden
28.11.40	L 15020	o	8		
5.12.40	L 15020	o	8	0,03	0,33
7.1.41	L 15020	0,12	8 3/4	0,44	1,92
6.2.41	L 15020	0,12	7 1/2		
4.3.41	B 30033	o	11		
6.3.41	B 30033	0,12	10 3/4	0,57	1,79
29.1.41	L 15071	o	6	0,05	0,17
31.1.41	L 15071	0,12	5 1/2	0,14	1,50
1.12.40	L 15060	o	7	0,04	0,14
9.1.41	L 15060	0,12	5 3/4	0,26	1,29
3.3.41	Aero Shell	o	4 1/2		
27.2.41	mittel	0,12	3 1/2	0,14	1,45
<hr/>					
3.12.40	L 15061	o	8 1/2	0,03	0,17
9.12.40	L 15061	0,12	6 1/2		
17.12.40	L 15062	o	10	0,02	0,23
24.2.41	L 15062	0,12	9	0,19	0,97
19.12.40	L 15063	o	7	0,05	0,28
12.1.41	L 15063	0,12	5	0,25	1,17
22.12.40	L 15064	o	10 1/2	0,05	0,22
14.1.41	L 15064	0,12	6 1/2	0,27	1,58
29.12.40	L 15065	o	7		
26.2.41	L 15065	0,12	6 1/2	0,36	1,85
4.2.41	L 15072	o	6 1/2	0,09	0,25
2.2.41	L 15072	0,12	5	0,82	1,26

11323

Zahlentafel 3

Vergleich der im DKW-Motor mit verschiedenen Flugmotorenölen erzielten Laufzeiten mit denen des BMW-Einzylinders.

<u>Öl</u>	<u>Laufzeit in Stunden</u>	
	<u>DKW -</u>	<u>BMW-Motor</u>
Aero Shell mittel	3 1/2	2 3/4
L 15060	6	6 1/2
B 30004	8	8
B 30010	8	8
B 30033	10 3/4	11
Aero Shell <u>schwer</u>	5 1/2	5 1/2
Z 21007	12	11 1/2
B 30036	10	10
B 30040	10	10
B 30046	10 1/2	10 1/2
B 30050	9 3/4	10
B 30055	10	10
L 15087	10	9