

kommen darüber einig, daß es sich nur um eine unzulässige Vermehrung des Staubgehaltes handeln konnte, der sich naturgemäß in den Öfen nachteilig auswirken mußte. Man versprach, alle Mittel anzuwenden, um den Staubgehalt zu verringern. Der Erfolg blieb nicht aus, die Kontakte besserten sich, mit dem Ergebnis allerdings, daß im Februar d.J. ein geradezu katastrophaler Niedergang in der Kontaktbeschaffenheit folgte, derart, daß wir uns gezwungen sahen, 4 Kübel uneingefüllt an die Kontaktfabrik zurückzuschicken. Weitere 4 Kübel, ~~wurden eingefüllt~~, weil bei ihnen vorweg nicht festzustellen war, daß sie ungeeignet waren, mit dem traurigen Ergebnis jedoch, daß die Öfen bei einer Gasaufnahme von nicht mehr als 600-800 m³/h Kontraktionen gaben, die unter 60 % lagen. Die einwandfrei erwiesene Ursache ist ein zu hoher Staubgehalt. Die Kontakte sind nach 4 Wochen bereits als vollkommen unbrauchbar zu bezeichnen und müssen ausgebaut werden. Somit ergibt sich nicht nur eine ungenügende Anfangsaktivität, sondern ein Abfall der Lebensdauer um rund 70 %.

Die CO₂-Tränkung, von uns des öfteren als unzureichend bemängelt, wurde auf unsere Reklamationen hin wieder besser, jedoch auch hier wiederum nur vorübergehend. So haben wir in den letzten Tagen erst wieder Kübel angeliefert bekommen mit Unterdrücken bis zu 1000 mm WS.

Es ist uns unerklärlich, daß es in der Kontaktfabrik nicht möglich sein soll, eine einmal erreichte Kontaktqualität in Bezug auf Anfangsaktivität und Lebensdauer wenigstens zu halten. Normalerweise müßte man naturgemäß annehmen können, daß sich ein dauerndes Besserwerden der Kontakte zeigen würde. Nichts von dem ist jedoch der Fall; selbst die so primitive Operation der CO₂-Tränkung wird nicht einmal mit einiger Konstanz durchgeführt. Wir haben uns auf Grund dieser schlechten Erfahrungen gezwungen gesehen, der Ruhrchemie zu schreiben, und ^{eine} ~~am~~ bindende und erschöpfende Erklärung darüber zu verlangen, ob sie nunmehr in der Lage ist, uns mit einer einwandfreien Kontaktqualität und in ausreichendem Maße zu beliefern. Wir sind jedenfalls keineswegs gewillt, weiterhin derartige Schwankungen in der Kontaktqualität widerspruchslos hinzunehmen, und sehen uns gezwungen, für die Zukunft alle Mittel anzuwenden, die geeignet erscheinen, uns vor weiteren Schäden in dieser Hinsicht zu bewahren.

POOR
COPY

12

PART 12

I

02924-03506

02924

Report of the conference on lubricating material Part 2 - Ageing
Held in Berlin May-7-8, 1942. 269 pages.

The report consists of 15 individual reports and a discussion.

The reports deal mainly with ageing and testing of lubricating oils.

Property test of the synthetic lubricant code # SS 902-15Fr (final
stage). Lubricant tested in aircraft diesel engine. Jumo 205 D.

2 Dr. Scheibe, Dr. Rode, Date: 17 Mar. 1941 10 pages text 1 graph 3
illustrations 2 tables. Experimental report prepared under the
auspices of Junkers Aircraft and Motor Co.

"Lubricants technique" meeting of technical men on 29 June 1943.

3 Frictional problems 23 pgs. test 11 illustrations. Dr. Heidebroek,
Dr. Kraft. Report made for VDI technical group.

Report on "Lubricant technique" meeting of technical men. on
29 Feb. 1944. Chemical lubrication of aircraft engines. The

4 problem of stirring friction - 29 Feb. 1944. 32 pages including
9 pages illustrations. Dr. Heidebroek, Dr. Kraft. Report made for
VDI technical group.

INDEX 1

2
02925

02925

Photographs of various instruments - mainly testing of fuels.

Testing synthetic lubricants in aircraft engines. Report

450 Dr. Lauer.

42 pages including 24 tables 27 Mar. 1941.

Report # 450 prepared under the auspices of Technical testing station Oppau.

A book issued by the German Institute for Air - 1940

89 pages - Containing articles by:-

- 1- M. Pier - "Concerning Aromatic Fuels".
- 2- W. Jost - Auto-Ignition of Fuel-Air Mixtures by Adiabatic Compression and its knock behavior in the Engine.
- 3- H. List - Work of the Institute of Fuel Burning Machines of the Technical High School.
- 4- E. Schmidt - Work of the Herman Göring Aircraft Engine Institute.
- 5- G. Damköhler - Physical Chemical Problem of combustion Happenings.

Knocking investigations on a one cylinder motor with special consideration of knock retarding (delay) 42 pgs. test 35. Illustrations, diagrams and graphs. Dr. A. Süss.

Report prepared under the auspices of institute for chemical Technology of Technical Schools. Mineral Oil Experimental Laboratory.

INDEX 2

02926

B e r i c h t
über die
S c h m i e r s t o f f - T a g u n g
2. Teil: Alterung

am 7. und 8. Mai 1942
in Berlin-Adlershof

zusammengestellt und überarbeitet vom
Institut für Betriebstofforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.
Berlin-Adlershof

02927

Inhaltsverzeichnis

	Seite:
Anwesenheitsliste der Teilnehmer	2
Dr.v.Philippovich: Über die Alterung von Öl und seine Veränderung im Gebrauch	5
Dr.Morghen : Zum Chemismus der Alterung von Kohlenwasserstoffölen	29
Dr.Gießmann : Alterung des Schmieröles im Flugmotor	41
Dr.Mayer-Bugström: Laboratoriumsprüfverfahren für die Schmierölalterung	57
Dr.Widmaier : Künstliche und motorische Schmierölalterung	89
Dr.Baader : Grundsätzliches zu Ölalterungsprüfungen	103
Dr.Tramm : Zur Frage der Bestimmung des Asphaltgehaltes in gealterten Schmierölen	111
Dipl.-Ing.Glaser : Die Überwachung der Kolbentemperatur bei der Betriebstoffdauerprüfung	129
" " Lauer : Erfahrungen bei Schmierstoffprüfläufen auf Ringstecken	151
Reg.-Bmstr.Halder: Die Verwendung des I.G.-Prüfmotors zu Schmierstoffversuchen	173
Dr.Schaub : Versuche über Kolbenringstecken im NSU-Motor	183
Dr.Wenzel : Die Prüfung von Flugmotorenölen im DKW-Motor	191
Dr.Schaub : Versuche über die Schlamm bildung im NSU-Motor	205
Dr.Krienke : Die motorische Ölalterungsprüfung in den USA	211
Dipl.-Ing.Adam : Übertragung der Prüfergebnisse auf die Praxis	237
Gekürzte Zusammenfassung der Diskussionen	
Zu Vortrag v.Philippovich, Morghen, Gießmann	243
" " Mayer-Bugström, Widmaier, Baader, Tramm	251
" " Glaser, Lauer	254
" " Halder, Schaub, Wenzel	256
" " Schaub	263
" " Krienke, Adam	264
Zusammenfassung	269

Anwesenheitsliste der Teilnehmer

Ammoniakwerk Merseburg G.m.b.H. Merseburg	Dr.Ester, Dr.Zorn, Dr.Metzger
BMW - München bezw. Spandau	Ing. Buske, Dr.Noack, Dipl.-Ing. Weiß
Chem.-Techn.Reichsanstalt, Bln.-Plötzensee	Dr.Haus, Dr.Kürschner,
Daimler-Benz A.-G., Gaggenau b. Baden	Dr.Seemann
Deutsche Erdöl A.-G., Bln.-Schöneberg	Dr.Schick
Deutsche Vacuum Öl A.-G., Hamburg	Chef.-Ing.Thiessen, Dr.Urlaß
DVL, Institut BS	Dr.Eckardt Dipl.-Ing.Franke " " Glaser Dr.Krienke Dr.Mayer-Bugström Dr.Morphen Dr.v.Philippovich Dr.Seeber
E'stelle der Luftwaffe Rechlin	Dr.Baier, Dr.Gießmann, Dipl.-Ing.Lange
" " " Travemünde	Dipl.-Ing.Bormann, Fl.-Haupting. Graser, Dipl.-Ing.Kübler
Forschungsinstitut f.Kraftfahr- wesen u.Fahrzeugmotoren, Stuttgart-Untertürkheim	Dr.Hampp Dr.Widmaier
Gewerkschaft Mathias Stinnes, Essen	Dr.Koch
I.G.Farbenindustrie A.-G., Techn.Prüfstand Oppau, Ludwigshafen / Rhein	Reg.-Bmstr.Halder Dipl.-Ing.Lauer Obering.Penzig
Intava, Hamburg	Dipl.-Ing.Borchert, Dr.Brandt, Dipl.-Ing.Mosting, Dr.Wenzel
Junkers Flugzeug- u.Motoren- Werke A.-G., Dessau	Dr.Müller
Kaiser-Wilhelm-Institut für Kohlenforschung, Mülheim/Ruhr	Dr.Koch
Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik.Chemie u.Elektrochemie, Berlin-Dahlem	Dr.Bartel Dr.Pongratz Dr.Seelich

Luftfahrtforschungsanstalt
Hermann Göring, Braunschweig,
Inst.f.Motorenforschung
Physik.-Techn.Reichsanstalt,
Bln.-Charlottenburg
Reichsluftfahrtministerium

Rhein.-Westf.Elektrizitätswerk
A.-G., Knapsack b.Köln
Rhenania-Ossag, Mineralölwerke
A.-G., Hamburg

Ruhrbenzin A.-G., Oberhausen-
Holtien

Ruhröl GmbH., Hugo Stinnes Werke,
Bottrop /Westf.

Steinkohlenbergwerk Rheinpreußen,
Homborg/Niederrhein

Techn.Hochschule Berlin
" " München

Universität Halle

Verein Deutscher Ingenieure,
Berlin NW 40

Dipl.-Ing. Lorenz

Dr.Bochmann, Dr.Eicke

Eipl.-Ing.Adam, Dr.Beyer,
Dipl.-Ing.Hempel,
Dipl.-Ing. Keilpflug,
Dipl.-Ing. Wallner

Dr.Baader

Dipl.-Ing.Beuerlein,
Dr.Held, Dr.Reichel,
Dipl.-Ing.Rösner, Dr.Seeles

Dr.Schaub, Dr.Tramm,
Dr.Velde

Dr.Freese, Dr.Ibing

Dr.Koelbel

Dr.Marder, Dr.Vogelpohl

Dr.Spengler

Dr.Harms

Dr.Leitner

Über die Alterung von Öl und seine Veränderung im Gebrauch.

Von Dr.v.Philippovich, DVL, Institut BS.

1. Begriffsbestimmung: Altern heißt nach dem üblichen, dem Leben entnommenen Sprachgebrauch sein Wesen durch den Zeitablauf verändern und ist deshalb auch meist mit dem Sinne einer Abnahme der Leistungsfähigkeit verbunden. Einzelheiten der Veränderung werden dabei nicht ins Auge gefaßt. Demgemäß spricht man von Alterung des Öles, wenn es sich durch Einflüsse irgendwelcher Art in seinem Gesamtwesen verändert hat, unterscheidet aber nicht zwischen wesenseigenen Veränderungen (rein stofflicher Art) und solchen, die infolge einer mehr oder weniger zufälligen Verunreinigung zustande kommen. Überträgt man den Begriff des Alterns sinngemäß auf Vorgänge der Ölverwendung, dann müßte man auch nur wesenseigene Veränderungen als Alterung betrachten, die mehr zufälligen Veränderungen des Öles aber ausschließen. Im Betrieb verändertes Öl enthält nun eine ganze Menge von Verunreinigungen, wie neben Ölkohle und Asphalt, die aus dem Öle stammen, Benzinrestanteile, Bleioxyd, Abrieb, Korrosionsprodukte, Verbrennungswasser, Staub. ¹⁾ Die praktische Veränderung des Öles im Gebrauch, die zu einer Beimengung von allen diesen Stoffen führt, hängt nun ganz von den Verhältnissen ab, unter denen das Öl verwendet wird, sodaß im Gegensatz zum Begriff der Alterung, bei dem man schon seit jeher eine vor allem thermisch oxydativ erfolgende, bleibende Wesensveränderung des Öles selbst versteht, der Begriff des im Gebrauch veränderten Öles außerordentlich schwankend und wenig abgegrenzt ist. Diese Unterscheidung erscheint aber dringend erforderlich, um endlich zu einer klareren Grundlage der Messung zu kommen und damit beurteilen zu können, was überhaupt erreichbar ist und was nicht.

Die Versuche, die thermisch oxydative Ölalterung im Laboratorium zur Veränderung des Öles im Gebrauch in Beziehung zu setzen, werden sehr verschieden beurteilt. Einerseits herrscht vollkommene Ablehnung, wie z.B. Moerbeck ²⁾

sie ausspricht, andererseits sieht man, wie Vertreter der verschiedensten Fächer befriedigende Übereinstimmung zwischen dem sie interessierenden Motorverhalten und solchen Laboratoriumsverfahren auffinden, die sie selbst ausgearbeitet haben. Bezüglich der Prüfung auf Eignung für einen bestimmten Motor ist z.B. Nutt ³⁾ der Ansicht, daß Laboratorium und Praxis sehr gut übereinstimmen; Neely ⁴⁾ wiederum sagt, daß letzten Endes der Vollmotorversuch doch der ausschlaggebende Faktor sei, aber auch kleine Motoren interessante Hinweise ermöglichten. Für die Schlamm- und Schmutzbildung in Dieselmotoren gab nach Wilford ⁵⁾ der Air Ministrytest so gute Übereinstimmung mit der praktischen Erfahrung an Autobussen, daß er seit 1939 in England für diesen Zweck herangezogen wird. Die Versuchsunterlagen von Everett ⁶⁾ sind dagegen wenig befriedigend und auch die Shell (Moerbeck und Bouman) ⁷⁾ ist bezüglich der Möglichkeit einer Ölprüfung im Laboratorium sehr skeptisch. Die Continental Oil Co., Oklahoma, hält mindestens die Erprobung des Öles in je 4 Automotoren von 2 verschiedenen Bauarten für erforderlich, um es genau zu beurteilen. ⁸⁾ Versucht man, einen Leitfaden durch dieses hoffnungslos verworren erscheinende Gebiet zu finden, so kann er nur darin gesucht werden, daß eine allgemeine Übereinstimmung zwischen Laboratorien, Alterung und praktischem Verhalten des Öles nicht erreichbar ist, aber für bestimmte Fälle der Praxis eine oder mehrere sorgfältig ausgewählte Laboratoriumsuntersuchungen brauchbare Ergebnisse liefern können. Als Arbeitshypothese kann man annehmen, daß in diesen befriedigenden Fällen der Motor entweder wenig "zufälligen" Einflüssen ausgesetzt ist und wenig von den "zufälligen" Verunreinigungen ins Öl bringt, oder daß die "zufälligen" Einflüsse immer in der gleichen Weise einwirken, sodaß sie die weitere Veränderung des Öles auch stets in gleicher Weise beeinflussen.

Damit käme man zu einem Standpunkt zur Beurteilung der ganzen Frage, der sich kurz folgendermaßen zusammenfassen läßt:

(1) Alterung ist jene wesenseigene Veränderung des Öles, die vor allem eintritt, wenn es dem Einfluß von Temperatur und/oder Sauerstoff (Luft) ausgesetzt wird. Sie umfaßt also alle thermischen und thermisch-oxydativen Veränderungen des Öles, gegebenenfalls auch solche, die in Anwesenheit bestimmter Katalysatoren erfolgen; Alterungsprodukte sind die bei dieser Veränderung entstehenden Stoffe verschiedenster Art (Crackprodukte, Säuren, Seifen, Ölkohle, Asphalt usw.).

(2) Veränderung des Öles im Gebrauch ist die Gesamtheit aller Veränderungen, die das Öl im Betrieb erfährt, d.h. Alterung + Verschmutzung, gleichgültig, ob es sich um Verunreinigungen inaktiver Art (Ruß, Staub, Wasser, Restbenzin) oder solcher chemisch aktiver Art (Metallabrieb, Bleioxyd, Korrosionsprodukte) handelt, die die weitere Oxydation des Öles beeinflussen können. Bei der Erfassung der Ölveränderung im Gebrauch muß man auch jene Produkte miteinbeziehen, die im Laufe des Betriebes aus dem Öl entstanden, aber wieder abgesetzt worden sind (Ölkohle, Schlamm); gerade sie sind praktisch ausschlaggebend.

2. Wesen der Ölalterung.

a) Thermische Reaktionen: Die thermische Zersetzung der Ölkohlenwasserstoffe beginnt bei etwa 250 C. Die Auswirkung der Zersetzung ist einerseits eine Verkleinerung des Moleküles, andererseits eine Zusammenlagerung der Bruchstücke zu größeren Molekülen, wie die Verkokung zeigt. Der Ort der Spaltung ist bei den Aromaten und den Aliphaten verschieden. Aromaten neigen dazu, eher Wasserstoff abzugeben als im Kern aufzubrechen und daher mehr Kohle zu bilden als Aliphaten, die leichter in der Kohlenstoffkette auseinanderbrechen. Die thermische Zersetzung ist keine Gleichgewichtsreaktion, sondern verläuft nur in einer Richtung. Für einheitliche Stoffe ist der Zerfall über Radikale nachgewiesen worden, der bei der Einleitung der Oxydation eine Rolle spielen dürfte. 9) Wenn auch damit eine Beeinflussbarkeit der Zersetzung durch Zusätze denkbar erscheint,

dürfte es praktisch doch nicht möglich sein, den Beginn des Zerfalles zu verschieben. Das Ergebnis der rein thermischen Zersetzung einiger Flugmotorenöle zeigt Zahlentafel 1. Es sei darauf hingewiesen, daß gefettete und fette Öle bei der thermischen Zersetzung CO_2 abspalten, d.h. ihren chemischen Charakter grundlegend verändern, wenn die Einwirkung bei höherer Temperatur oder über längere Zeit erfolgt. Das Gleiche trifft für die heute oft verwendeten Zusätze zu, die vielfach thermisch wenig beständig sind, sodaß sie durch Erhitzung zerstört werden können. Derartige Öle können deshalb die ihnen durch die Zusätze verliehenen Eigenschaften infolge der Erhitzung wieder verlieren, und zwar verschieden in den einzelnen Motoren, je nach den darin herrschenden Verhältnissen.

Zahlentafel 1
Thermische Zersetzung von Flugmotorenölen.

Öl Nr.	Verl. %	D ₂₀ g/l	E 50 %	V.Z. mg/ KOH	Conrad- son % d Öles	Ramsb. % des Öles	Broms. g/100g (Mc II- hiney)	Mol.- Gew. %	Gasbil- dung je 100g Öl ccm
1	3,1	-7	-68,9	+0,05	+0,08	+0,07	+7,1	-27,7	70
2	3,9	-7	-61,0	-0,16	+0,06	+0,10	+7,1	-26,7	58
3	4,5	-6	-67,9	+0,15	+0,24	+0,20	+5,3	-32,3	58
4	3,5	-6	-65,0	-2,60	+0,05	+0,05	-1,5	-20,4	76
5	4,5	-6	-62,0	-1,26	+0,02	+0,03	+5,8	-20,7	75
6	2,3	-4	-45,5	+0,05	+0,01	+0,10	+5,2	-11,1	45
7	21,2	-2	-77,5	+0,16	+0,11	+0,13	+9,4	-36,3	158
8	13,8	-6	-77,7	-0,05	+0,08	-0,01	+7,6	-31,3	140
9	12,9	-7	-80,0	-0,10	+0,17	+0,57	+9,0	-39,3	93
10	8,3	-7	-71,0	-0,29	+0,01	+0,01	+4,5	-31,1	78
11	8,4	-3	-60,2	-0,02	+0,01	+0,02	+6,0	-18,4	41

b) Thermisch-oxydative Reaktionen:

Die rein thermische Reaktion ohne Sauerstoffeinwirkung dürfte im Motor keine große Rolle spielen. Wichtiger ist die thermisch-oxydative Veränderung des Öles, die bei allen Temperaturen vor sich geht, die im Ölkreislauf (Verbrennungsraum eingeschlossen) auftreten. Das Temperaturgebiet überschneidet das der thermischen Zersetzung etwas; daß über den gesamten Temperaturbereich gleichartige Reaktionen vor sich gehen, ist nicht anzunehmen; bei etwa 120° ist eine Temperaturgrenze, unter der die Reaktion monomolekular verlaufen soll, während sie darüber als bi- oder mehrmolekular angenommen wird.¹⁰⁾ Für den monomolekularen Bereich ist ein älteres Schema von Schlaepfer aufschlußreich, das im folgenden gezeigt wird.

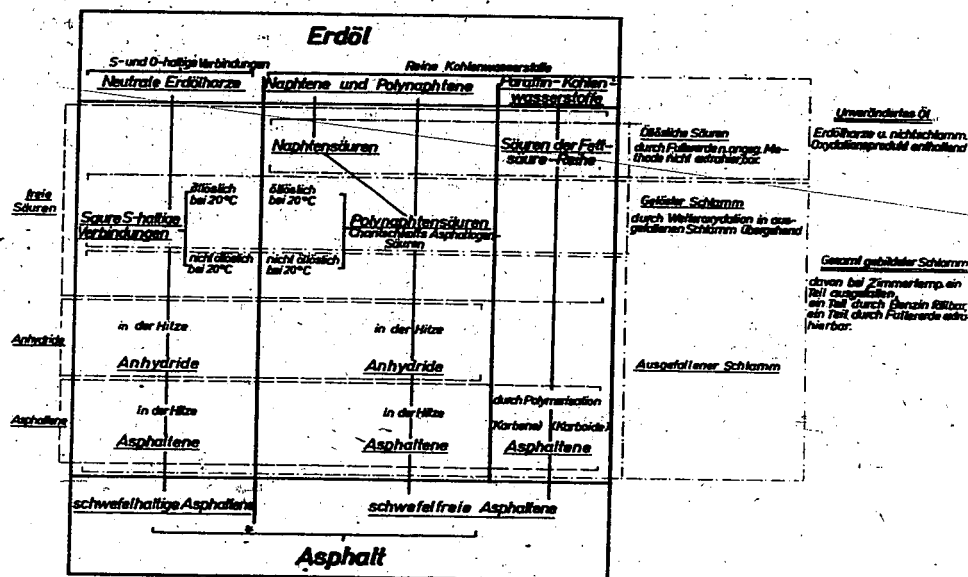


Abb. 1: Oxydations-Schema von Erdöl nach Schlaepfer.

Zur Ergänzung der Übersicht von Schlaepfer sei aber darauf hingewiesen, daß die Asphaltbildung aus reinen Kohlenwasserstoffen, auch solchen, wie sie in synthetischen Schmierölen vorkommen, zugunsten der Säurebildung zurücktritt. Erst wenn Harze zu solchen Ölen zugegeben werden, treten Asphaltverbindungen auf. Dem entspricht, daß auch im Motor synthetische Öle sehr wenig Asphalt bilden, dafür aber höhere Säurezahlen geben als Mineralöle. Der gesamte Mechanismus der Ölalterung muß aber noch weitgehend verfolgt werden, um ein klareres Bild der Verhältnisse zu liefern. Tatsache ist, daß Harze sowohl bei der laboratoriumsmäßigen Alterung als auch bei der Veränderung der Öle im Betrieb auftreten, und zwar in größerem oder kleineren Umfange, je nach der Art des Öles. Die Harze selbst sind zuerst nur um wenig von den Kohlenwasserstoffen im Molekulargewicht unterschieden, neigen aber zur Kondensation, wie die folgende Übersicht zeigt.

Zahlentafel 2Molekulargewichte von Erdöl und Erdölharzen. ¹⁾

	<u>Frischöl</u>	<u>Alkohollösl. Harze</u>	<u>Bo-lösl. Harze</u>
Aero H	730 13,23% H ₂ 0,64% O ₂	683 10,68% H ₂ 7,78% O ₂	1940 11,92% H ₂ 3,06% O ₂
Deropol schwer	560 12,18% H ₂ 1,28% O ₂	630 11,37% H ₂ 5,74% O ₂	1224 11,84% H ₂ 3,41% O ₂
Aero Shell schwer	570 12,9% H ₂ 0,6% O ₂	555 10,82% H ₂ 7,22% O ₂	1660 10,25% H ₂ 4,48% O ₂

1) in siedendem Benzol bestimmt

Die Oxydationsprodukte führen zu Lackablagerung, Schlamm-
bildung und verursachen Verstopfungen der Ölleitungen, Wärme-
stau usw. Auch wird anoxydiertes Öl an allen jenen Stel-
len stärker als Frischöl zu koksartigen Produkten umgewan-
delt, wo die erforderlichen Temperaturen und Zeiten verfügbar
sind, wie an Kolbenringen, Ventilschäften usw.

o) Einflüsse auf die thermische Zersetzung und Oxydation:

(1) Temperatur: Die thermische Zersetzung läuft mit steigender Temperatur immer rascher ab; dabei werden die Rückstände immer wasserstoffärmer, kohlenstoffreicher und weniger reaktionsfähig. Bei hohen Temperaturen wirkt der Neigung zur Rückstandsbildung die Verbrennungsreaktion entgegen, sodaß praktisch eine Temperatur existiert, bei der ein Maximum an Rückständen auftritt.

Die Oxydation wird ebenfalls mit steigender Temperatur stärker, sodaß die Asphaltbildung schon nach sehr kurzer Zeit einsetzt, während sie bei niedrigen Temperaturen außerordentlich lange dauert. Der Temperatureinfluß ist sehr stark, sodaß schon wenige Grade sich bemerkbar machen können. (Vgl. Abb. 2)

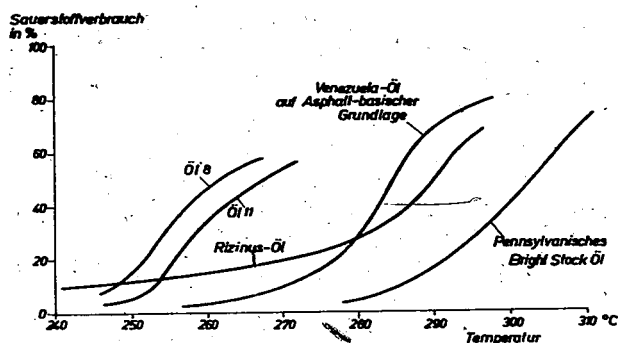


Abb. 2: Temperatureinfluß auf die Oxydation.

(2) Zeit: Die bei verhältnismäßig niedriger Temperatur ablaufende autokatalytische Reaktion zeigt eine Einleitungszeit, während welcher offenbar im Öl oder Kohlenwasserstoff vorhandene Inhibitoren unwirksam gemacht werden, um dann erst in voller Stärke abzulaufen. Infolge dieser Einleitungszeit kann schon durch verschiedene Wahl der Versuchszeit eine Verschiebung der Bewertung der Öle erfolgen, weil sich die Kurven eines Öles mit kurzer Einleitungszeit, aber geringer Oxydationsgeschwindigkeit und jene eines Öles mit

langer Einleitungszeit, aber großer Oxydationsgeschwindigkeit überschneiden können. Je nach der Reaktionstemperatur verändern sich aber die Verhältnisse wieder, sodaß die Öle möglichst bei Temperaturen untersucht werden müssen, die den Verhältnissen der Praxis angepaßt sind. Die Einpunktbewertung ist ebenso wie bei Klopfuntersuchungen nicht möglich, wenn man nicht von anderen Untersuchungen die Zeit- und Temperaturabhängigkeit des untersuchten Stoffes kennt. Da die im Motor herrschenden Temperaturen sehr verschieden sind und die Bedeutung der verschiedenen Temperaturen im Einzelfall ebenfalls eine verschiedene ist, bereitet die richtige Wahl der Versuchstemperatur, die zur Beurteilung dienen soll, erhebliche Schwierigkeiten.¹¹⁾

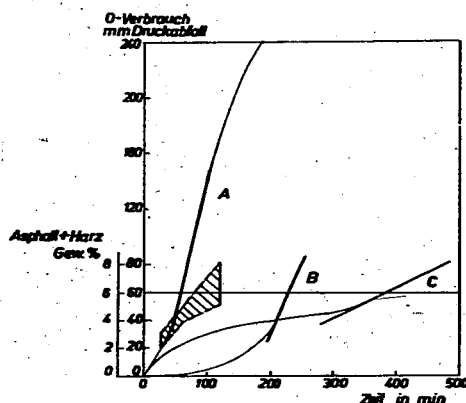


Abb. 3: Zeiteinfluß auf die Oxydation

(3) Katalysatoren: Jede Oxydation kann durch Katalysatoren im richtigen Temperaturbereich günstig oder ungünstig beeinflusst werden. Die Hauptrolle spielen dabei Metalle, die entweder als solche oder als fettsaure oder naphthensaure Salze wirken können. Besonders wirksam sind Eisen, Blei und Kupfer, aber auch andere Metalle, wie Kadmium, fördern die Oxydation. Praktische Werte für ein Dampfturbinen- und ein Flugmotoren-

öl (?) zeigt die Zahlentafel 3.

Zahlentafel 3

Einfluß von Katalysatoren auf die Oxydation.

Oxydations- bedingungen	Glas	Eisen (Vz.Glas - Vz.Metall)	Cu	Ni	Al	Pb	Bemerkung
95°C 48 h ¹⁾							
öl 1	-	0,35	0,69	-	-	0,33	Dampftur- binenöl
öl 2	-	0,09	0,30	-	-	0,20	Flugmotoren öl ?
öl 3	-	0,06	0,06	-	-		
125°C 48 h ²⁾							
O-Verbrauch: mg O ₂ /g Öl	1,7	11,5	9,8	3,0	3,5	8,6	5 cm ² Me- tall/g Öl

1) nach Baader

2) nach Mardles u. Ramsbottom

Wasser spielt bei der Alterung, wie sie im Laboratorium durch-
geführt wird, keine nennenswerte Rolle, wenn es auch im Motor
einen erheblichen Einfluß hat. Stickstoffdioxid, das in Otto-
Motoren beim Klopfen auftreten kann¹²⁾, fördert die Oxydation sehr
stark, dürfte aber im Flugmotor nur eine untergeordnete Rolle
spielen, was die Ölalterung anbelangt.

Hemmstoffe, die die Oxydation verzögern, werden nun-
mehr vielfach angewendet. Sie wirken derart, daß sie entwe-
der unmittelbar die Reaktion von Sauerstoff mit Kohlenwas-
serstoff verhindern oder verzögern oder dadurch, daß sie me-
tallische Katalysatoren komplex binden, die im Öl enthalten
sind. Für die thermische Zersetzung gibt es, wie für die
Oxydation Stoffe, die fördernd, aber weniger solche, die ver-
zögernd wirken. Im Sinne einer erhöhten Koksbildung wirken
z.B. - vielleicht dank ihrer Neigung zur Carbiddbildung -
Eisen, Kobalt, Nickel, hemmend dagegen Zinn.

(4) Mischung von Ölen verschiedener Art ergibt stärkere Oxy-
dationsneigung als sie nach der Mischungsregel der Komponen-
ten erwartet würde! ¹³⁾

3. Wesen der motorischen Ölveränderung.

Die Auswirkung der "Ölkohle" ist bekanntlich eine Wärmestauung, die bei der Verbrennung in der Folge zu Glühzündungen, damit zu weiterer Erwärmung und endlich zum Klopfen führen kann, wenn das verdichtete Endgas auf die kritische Temperatur erwärmt wird. Die Ansammlung von Ölkohle ist folgendermaßen zu unterteilen:

- 1) Konstante Einflüsse des Motors für jeden bestimmten Augenblick.
 - (a) Konstruktionseinflüsse
 - (b) Einflüsse, die vom momentanen Zustand des Motors abhängen, wie Spiel der Kolbenringe, Betriebszeit seit letzter Reinigung usw.
- 2) Betriebsmäßige Einflüsse, vor allem:
 - (a) Temperatur, Drehzahl und Belastung
 - (b) Luft-Kraftstoffverhältnis
- 3) Einflüsse der Betriebsstoffe:
 - (a) Kraftstoff
 - (b) Schmieröl
 - (c) Staubgehalt der Luft

Die Rückstände nehmen mit steigendem Ölverbrauch bis zu einem Maximum zu, das auch bei weiterer Steigerung des Verbrauches nicht überschritten wird; Steigerung der Betriebstemperatur führt hingegen nach Erreichung eines Höchstwertes wieder zur Abnahme der Ölkohle. Motoren mit starker Ansammlung von Ölkohle brauchen klopffestere Kraftstoffe.

Alle Störungen im Motorbetrieb infolge Ölveränderung sind durch die Ausscheidung fester Stoffe verursacht, die dabei entweder unmittelbar die Störung bewirken oder sich erst allmählich ablagern. Eine ausgezeichnete Zusammenstellung der verschiedenen Ölausscheidungen bei Automobilen findet sich bei W.A. Gruse und C.J. Livingstone,¹⁴⁾ deren Einteilung und Ansichten im folgenden weitgehend zugrunde gelegt sind. Bei dem Flugmotor sind allerdings die Verhältnisse z.T. andere. Die Auswirkung der Ölveränderung auf den Motor ist verschieden, je nach dem Bauteil, sodaß es am besten ist, diese Vorgänge zu besprechen, ohne den Einfluß des Motors auf das

sionsartiger Gemenge ausgeschieden wird, ist je nach den Betriebstemperaturen verschieden zusammengesetzt. Sind diese niedrig, so ist vor allem mit wasserhaltigem Schlamm zu rechnen, in denen die Oxydationsprodukte als Emulgatoren wirken. Solche Schlämme treten auf, wenn die Außentemperaturen niedrig sind oder die Beanspruchung des Motors gering ist, indem Ölkohle mit Wasser im Öl suspendiert wird.

(b) bei hoher Betriebstemperatur: Schlämme, die bei hoher Temperatur entstehen, enthalten kein Wasser, sondern nur asphaltartige Stoffe, die auch feste Körper, wie Bleioxyd, Ölkohle usw. in Suspension halten können. Ihre Form ist entweder rein pastös, ohne das Einzelteilchen sichtbar sind oder mehr körnig, wie Kaffeesatz ("coffee-ground").

Bei mittleren Temperaturen kann auch Schlamm entstehen, der aber wohl durch das Zutreten von Wasser zu bei höherer Temperatur gebildeten Oxydationsprodukten ausgefällt wird.

f) Lackbildung:

In Automobilmotoren zeigt sich jetzt mehr als vorher Lackbildung, d.h. gelblich-bräunliche Verfärbung der Oberflächen durch glatte Filme von Oxydationsprodukten. Ursachen sind die höheren Betriebstemperaturen der thermisch höher beanspruchten Motoren, die gerade bei den jetzt üblichen beständigeren Ölen verlängerten Überholungszeiten, sowie der verringerte Ölverbrauch, der dünnere Ölfilme ergibt usw. Diese Lacke sind zu Beginn in Aceton löslich, d.h. noch niedermolekular, werden aber mit der Zeit unlöslich.

g) Einflüsse auf die Ölveränderung im Motor:

Außer den eigentlichen Betriebsbedingungen, wie Luft-Kraftstoffverhältnis, Temperatur, Dauer, Belastung, Kraftstoffart usw. haben noch einige Umstände Einfluß auf die Ölveränderung, auf die hingewiesen werden soll.

(1) Angewendete Ölmenge: Je größer die Ölmenge ist, umso geringer wird die Alterung.

Öl oder des Öles auf den Motor streng auseinander zu halten.

a) Zylinderkopf (Verbrennungsraum): Die Rückstände bilden sich zum größten Teil während jeder einzelnen Verbrennung und sammeln sich mit der Zeit an. Dabei tritt weitere Abspaltung von Wasserstoff und Kohlendioxyd - eine Art Inkohlung - ein, die zu immer kohlenstoffreicheren Produkten führt. Je Hub gelangt nur etwa 0,005 ccm Öl in den Verbrennungsraum!

b) Ventile: Ablagerungen an den Ventilen finden sich vor allem am Schaft, wo sie die Ventilbewegungen hindern können, andererseits auf dem Ventilteller, wo sie durch Zwischenklappen zwischen Ventil und Sitz zum Ausbrennen der Ventile führen können. Störungen am Einlaßventil kommen nur beim Vergasermotor vor, aber auch da selten, weil die Flugkraftstoffe viel besser, d.h. harzfreier sind als die Autokraftstoffe. Auf dem Schaft lagert sich der Rückstand aus dem Öl ab, das gegebenenfalls durch Oxydationswärme empfindlicher geworden ist; schlechter Zustand der Motoren (Überblung) fördert die Rückstandsbildung. Bei stark verbleiten Benzin kann auch Bleioxyd aus dem Kraftstoff sich hier, ebenso wie auf dem Ventilteller, ablagern. Auch die Ablagerung auf den Ventilen ist, wie jede im Verbrennungsraum, vor allem eine thermische Reaktion, d.h. Zersetzung des anoxydierten Öles.

c) Kolbenunterseite: Im Gegensatz zur Oberseite des Kolbens, wo das Öl sich nur ganz kurze Zeit unverändert hält und dann verkocht, wird es auf der Unterseite längere Zeit auf hohe Temperaturen erhitzt, die bis zu 260°C ansteigen können, so daß sich eine koksartige Ablagerung bilden kann. Dort, wo die Temperaturen niedriger sind, entsteht ein Lacküberzug, der mehr harzartiger Natur ist. Die Menge der Ablagerungen ist stark von der Zeit und von der Temperatur abhängig. Vom Kolben abplatzende Rückstände können im Ölkreislauf weitere

Störungen verursachen, während sie an Ort und Stelle durch Verschlechterung des Wärmeüberganges schädlich sind.

d) Kolbenringe: In den Ringnuten lagert sich stets eine gewisse Menge festen Rückstände ab, die die Ringe mit der Zeit festhalten können. Im Flugmotor treten wegen seiner höheren Temperaturen selten lackartige, harzige Produkte auf, sondern meist koksartige. Bei den Temperaturen der Kolbenringe (rund 260-280°C) ist es nicht wahrscheinlich, daß eine Verkokung des Frischöles an Ort und Stelle die Ursache der Ablagerung ist. Man könnte höchstens annehmen, daß voroxydierte Ölmoleküle aus dem Verbrennungsraum oder aus dem Kurbelgehäuse schon bei diesen verhältnismäßig niedrigen Temperaturen zersetzt werden; dazu muß man aber die Annahme machen, daß eine genügend starke Oxydation des Öles vor Erreichung der Kolbenringnuten eintritt. Tatsache ist, daß die Ablagerungen in Kolbenringnuten viel Sauerstoff enthalten (bis zu etwa 20%). Gegen die Oxydation an Ort und Stelle spricht die Wahrscheinlichkeit, daß nur wenig Sauerstoff Zutritt zu dem Öl erhält. Für die Annahme einer O-reichen Atmosphäre spricht, daß die Ringsteckversuche der DVL mit den einzelnen Ölen eindeutig ein Minimum der Laufzeit (bei verschiedenen Temperaturen) ergaben. Auch Gruse und Livingstone erwähnen diese Tatsache, führen sie jedoch nicht auf Wegbrennen von Ölkohle in den Nuten, sondern darauf zurück, daß bei höheren Temperaturen der Übergang des zuerst flüssigen, dann koksartig festen Rückstandes in eine leicht zerbröckelnde Form erfolge.

Faßt man die Erscheinungen zusammen, so läßt sich sagen, daß das Ringstecken durch die Verkokung voroxydierter Ölbestandteile in der Nut verursacht wird. Daß die Voroxydation des Öles auch an dieser Stelle erfolgt, ist unwahrscheinlich, aber möglich.

e) Schlammbildung:

(a) bei niedriger Betriebstemperatur: Schlamm, als alles das, was aus dem Öl in Form fester, halbfester und emul-

- p 17a -

(2) Ölwechsel: Bei gleich langer Betriebszeit kann Ringstecken mit demselben Öl eintreten, wenn es lange nicht gewechselt wird, während bei öfterem Ölwechsel alle Ringe frei bleiben. (Dies gilt vor allem für Automotoren). Vermischung verschiedener Öle kann ebenfalls unter Umständen zu verstärktem Ringstecken führen, weil die Alterungsneigung von Gemischen größer ist, als es dem Mittel der beiden Komponenten der Mischung entspricht.

(3) Zusammensetzung des Kurbelgehäusegases: Der Sauerstoffgehalt des Kurbelgehäusegases ist je nach Motorbauart und Betriebsweise verschieden, schwankt darüber hinaus, aber auch noch in unkontrollierbarer Weise. Da der hauptsächlich wirkende Einfluß der des Sauerstoffes ist, hat die Zusammensetzung des Kurbelgehäusegases große Bedeutung. Sie schwankt nicht nur bei den verschiedenen Motorentypen, sondern auch bei ein und demselben Motor während desselben Laufes, wie die Abbildungen zeigen.

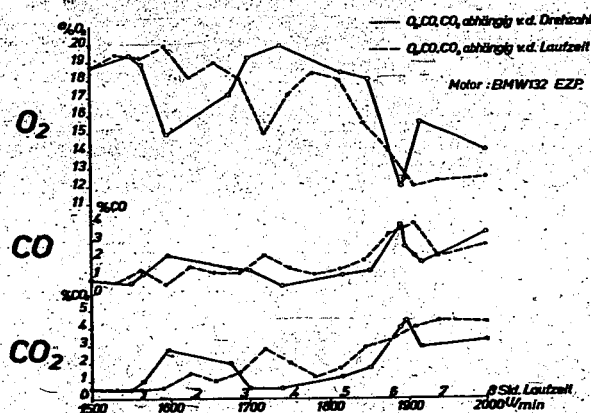


Abb. 4: Änderung der Gaszusammensetzung im Kurbelgehäuse mit Laufzeit und Drehzahl.

Die Zusammensetzung des Kurbelgehäuses und des Auspuffgases zeigt die folgende Abbildung, nach Angaben von Williams¹⁵⁾, Weiß und Maillart¹⁶⁾ und Versuchen der DVL.

% O ₂					Kurbelgehäuse % CO					% CO ₂				
					Motor-Nr.									
1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	4.	5.	1.	2.	3.	4.	5.
16,0	16,3	13,2	10,2	12,2	0,4	1,6	-	3,8	3,2	1,4	2,4	1,6	5,0	3,8
Abgas														
0	-	-	0,3	-	1,6	-	-	3,9	-	13,0	-	-	12,0	-
1. wassergekühlter kleiner E.Z.-Motor (Williams) 2. luftgekühlter Rennradmotor 3. Peugeot 201 6 PS (Weiss u. Maillard) 4. BMW 132 E.Z.-Motor (DVL) 5. BMW - Flugmotor (800; DVL, Inst.f.Betriebstofforschung)														

Abb. 5: Gaszusammensetzung im Kurbelgehäuse und im Abgas.

Die Analyse beweist, daß der Sauerstoff während des Verdichtungshubes und zu Beginn des Arbeitshubes ins Kurbelgehäuse gelangt; ein anderer Zutritt ist ihm ja nicht möglich. Die Oxydation des Öles im Kurbelgehäuse wird wesentlich durch die O-Konzentration daselbst bestimmt werden; ob der Alterungsgrad des Öles auf die Ringsteckzeiten keinen Einfluß hat, muß wohl noch erhärtet werden. Da es notwendig ist, für das streuende Verhalten der Motoren beim Ringstecken eine Ursache zu finden, könnte man z.B. daran denken, daß die Unterschiede der Ergebnisse im Sauerstoffgehalt des Kurbelgases begründet sind. Wie stark der O-Gehalt auf die Laufzeiten wirkt, zeigt die Tatsache, daß Durchleiten von CO₂ durch das Kurbelgehäuse starke Laufzeiterhöhung gab. Die Gründe für diese Wirkung müssen sicher noch eingehender untersucht werden. Zweifellos ist aber der Sauerstoffgehalt im Kurbelgehäuse einer jener Einflüsse, die bisher am wenigsten beherrscht und überprüft werden, sodaß hierin eine der Ursachen für das Schwanken der Ergebnisse gesucht werden muß. Allerdings wird es selber wieder durch motorische Elemente bestimmt, wie die Kolbenringe, die auf

ihre Wirkung noch weiter untersucht werden müssen.

4. Katalytische Einflüsse.

Metallischer Abrieb, Korrosionsprodukte von Lagern, Leitungen und Bleioxyd aus dem Kraftstoff wirken je nach dem Typ des Motors verschieden stark auf das Öl ein. Die Bedeckung der ölbenetzten Flächen durch Schutzüberzüge kann vielfach gute Abhilfe bringen, sei es, daß man den Motor vorbehandelt oder dem Öl Zusätze beifügt, die solche Überzüge im Betrieb bilden. - Wasser - nach Volumen gemessen - fördert anscheinend die Schlammbildung im Motor erheblich. - Stickoxyde, die beim Klopfen auftreten können¹²⁾, sollen auch eine Beschleunigung des Ringsteckens bewirken, doch haben dahingehende Versuche der DVL gezeigt, daß kein Einfluß bemerkbar war, der über den der reinen Temperaturerhöhung hinausgegangen wäre. Davon abgesehen, kannwohl beim Flugmotor kein längeres Klopfen ohne stärker schädigende andere Auswirkungen auftreten als das Ringstecken. Staub aus der Luft wird wohl keine eigentlich katalytische Wirkung ausüben, sondern nur entsprechend seinem Aschegehalt die Ölkohle bei der Verbrennung vermehren.

5. Verteilungsgrad des Öles:

Je nach dem Grad der Verteilung des Öles in der Luft oder in dünnen Schichten kann bei gleichen Temperaturen und Atmosphären eine verschieden starke Oxydation eintreten. Unterlagen über diese Verhältnisse im Motor gibt es nur sehr wenige.

6. Ladedruck:

Der Einfluß des Ladedruckes dürfte gegenüber dem Einfluß der Temperatur zurückstehen, doch steht die Kontrolle durch Versuche mit Messung der Kolbentemperaturen während des Laufes noch aus; gegebenenfalls müßte die Schmierölprüfung diesen Einfluß berücksichtigen.

4. Möglichkeiten zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit.

a) Motorische Maßnahmen.

(a) konstruktiv: Senkung der Temperaturen, denen das Öl ausgesetzt wird, ist die erste Forderung, die an den Konstrukteur gestellt wird. Als Musterbeispiel, was hier erreicht werden kann, sei auf die Arbeiten von Gossiau¹⁷⁾ hingewiesen, der durch geeignete Formgebung der Kühlrippen beim Argusmotor das Ringstecken überwand. Innenkühlung von Kolben, Anspritzen mit Öl durch eigene Düsen, Verbesserung der Kühlung durch entsprechende Leitung des Kühlmittels sind weitere Maßnahmen.

(b) betriebsmäßig: Verringerung der Belüftung des Kurbelgehäuses bzw. des Sauerstoffgehaltes daselbst, rechtzeitige Erneuerung des Schmieröles, Zugabe von Frischöl in gleichmäßiger Menge. Anwendung genügend großer Ölmengen verhindern zu einem gewissen Grade betriebsmäßig die Alterung; die Anwendbarkeit dieser Möglichkeiten wird von den Einzelfällen abhängig sein.

b. Herstellungsmaßige Maßnahmen.

Bei der Herstellung des Schmieröles müssen in noch verstärktem Maße die Erfahrungen mit Schmierölen im Motor als Grundlage der chemischen Bearbeitung dienen. Zusammensetzung der verschiedenen hochsiedenden Fraktionen, Oxydationsempfindlichkeit der verschiedenen Schmierölkohlenwasserstoffe, Auswirkung der Zusätze zum Schmieröl auf die verschiedenen Eigenschaften des Öles während des Betriebes müssen dazu sehr eingehend untersucht werden. Bei den Zusätzen ist zu unterscheiden, welchem Zwecke sie dienen sollen. Was die Alterung anbelangt, sind wohl zwei Grundtypen von Zusätzen zu unterscheiden: solche, die unmittelbar die Oxydation verzögern (Oxydationshemmstoffe) und solche, die sekundär gebildete Metallsalze, die katalytisch die Oxydation fördern können, unschädlich machen, indem sie mit den Metallen Komplexverbindungen ergeben. Alle Zusätze verändern aber

nicht nur eine einzige Eigenschaft, sondern mehrere gleichzeitig, sodaß die Auswirkung der Zusätze jedesmal in den verschiedensten Richtungen geprüft werden muß. - Da die Zusätze sich bei den einzelnen Öltypen verschieden verhalten, ist es weiter erforderlich, daß man prüft, wie sich Gemische von mit Zusätzen versehenen Ölen verhalten. Die Notwendigkeit, in der Luftwaffe einheitlich Öle zu verwenden, die miteinander gemischt werden können, macht diese Forderung gebieterisch. - An Zusätzen sind weiter zu untersuchen solche, die Kohlebildung und solche, die das Absetzen von Schlamm verhindern.

5. Ausblick über die Möglichkeiten der Alterungsprüfung.

Die Besprechung der Vorgänge bei der Ölalterung und bei der Veränderung des Öles im Betrieb hat gezeigt, daß beide sehr komplexer Natur sind. Die Gesamtlage ist reichlich verworren, und es besteht wenig Hoffnung, daß es bald anders wird, so dringend eine solche Klärung auch erwünscht ist. Die folgende Übersicht soll dazu dienen, die wesentlichen Punkte beider Vorgänge besser zu überblicken.

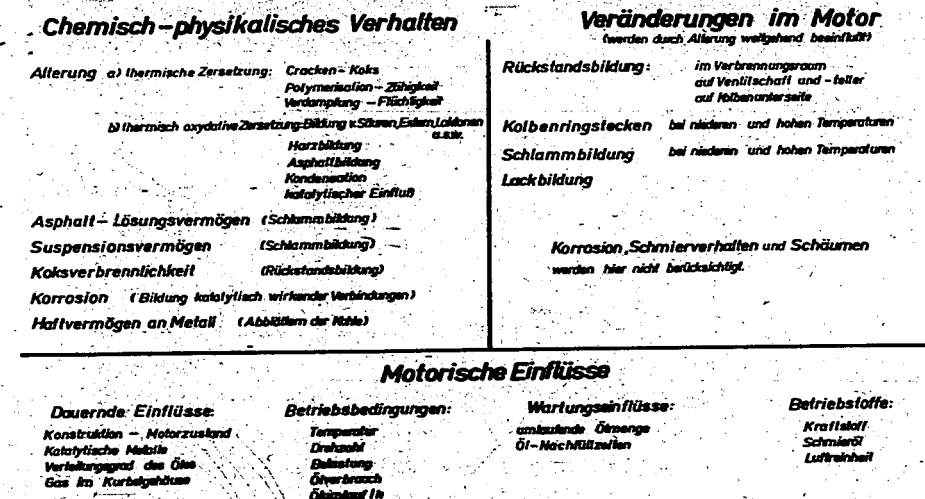


Abb. 6: Ölalterung u. Veränderung der Öle im Betrieb.

Die laboratoriumsmäßige Kennzeichnung der Öle muß eine ganze Reihe von Eigenschaften erfassen, um allgemein gültige Urteile zu erlauben, da das thermische und das oxydative Verhalten des Öles selbst, ebenso wie die Verbrennlichkeit der Ölkohle, das Suspensionsvermögen, das Asphaltlösungsvermögen, die Korrosionsneigung für das praktische Verhalten ausschlaggebend sind. Jede dieser Eigenschaften muß über den wichtigsten Einfluß untersucht werden, der sich im Motor auswirkt, das sind vor allem über Temperatur und Zeit. Man erhält also, wie bei der Klopffprüfung Diagramme anstelle eines einzigen Prüfwertes. Eine solche Lösung ist zwar unerfreulich, aber wenn man Aussagen über das Verhalten der Öle unter sehr verschiedenartigen Bedingungen machen will, notwendig. Eine einfache Universalprüfung für alle Fälle der Praxis gibt es eben nicht. Für spezielle Anwendungsgebiete kann man allerdings an eine einfachere Prüfweise denken, die den betreffenden Verhältnissen angepaßt ist. Der Einfluß von Katalysatoren ist dabei nach Maßgabe der praktisch wirkenden Einflüsse zu prüfen; Konstruktions- und Betriebsbedingungen bestimmen die Wahl der Alterungsprüfung im Einzelfall.

Die Untersuchung im Vollmotor bleibt nach wie vor die einzige wirkliche Beurteilungsunterlage, ist aber teuer, zeitraubend und schwierig, sodaß verhältnismäßig wenig darüber bekannt ist. Deshalb wird der Einzylindermotor vorgezogen, der entweder einen Flugmotorenzylinder besitzt oder als Prüfmotor besonders gut geeignet erscheint. In beiden Fällen sind die Prüfbedingungen so zu variieren, daß man den gesamten interessierenden Bereich, z.B. der Temperatur erfaßt; die Bezugstemperaturen sind für die wichtigsten Teile des Prüfmotors so festzulegen, daß sie jenen des betreffenden Vollmotors entsprechen. Wenn verschiedentlich von biologischen Ähnlichkeiten gesprochen worden ist, so beruht dies auf einem inneren Zusammenhang, der ja schon in der Bezeichnung "altern" für die Veränderung des Öles zum Ausdruck kommt. Deshalb darf man vielleicht eine weitere Parallele

ziehen, die einen Hinweis für die Prüfmöglichkeit bildet. In Indien wurden Versuche angestellt, um zu prüfen, ob die verschiedene Ernährungsweise der Völkerstämme mit ihrer vom Norden nach Süden abnehmenden Körpergröße zusammenhängt. Tatsächlich ergab sich bei Ernährungsversuchen an je 500 bis 1000 Ratten, daß ähnliche Unterschiede, wie bei den Menschen, durch Fütterung mit der durchschnittlichen Volksnahrung der verschiedenen Stämme erreicht werden konnte. Darüber hinaus war die prozentuale Verteilung von Krankheiten dieselbe, wie bei den Menschen und konnte z.B. durch diese Rattenversuche ein Weg gefunden werden, eine weitverbreitete Krankheit eines der Volksstämme zu heilen. Wenn ein so komplexer Vorgang, wie das Heben, mit einer derart unwahrscheinlichen Genauigkeit von einem großen auf einen kleinen Organismus übertragbar ist, sollte man hoffen können, beim Motor Ähnliches zu erreichen. Die Grundlage der Vergleichbarkeit bildete bei dem erwähnten Falle die gleiche Ernährungsweise von Mensch und Ratte, weil sie ähnliches biologisches Verhalten zur Folge hat. Bei der Wahl eines kleinen Versuchsmotors müßte man die Arbeitsweise und Betriebsbedingungen möglichst ähnlich wählen und könnte dann mit einer größeren Zahl von billigen Einzelversuchen vielleicht zum Ziele gelangen. Dahingehende Versuche erscheinen sehr interessant.

Um die widerstreitenden Meinungen der verschiedenen Stellen über die Möglichkeiten einer zahlenmäßigen Erfassung des Alterungsverhaltens unter einen Hut zu bringen, erscheint es zweckmäßig, den früher besprochenen Unterschied zwischen der reinen Ölalterung und der Veränderung des Öles im Gebrauch festzuhalten. Während man mit Ölalterung demnach nur die gewissermaßen biologischen Veränderungen des Öles bezeichnet, würde die Veränderung im Gebrauch auch die mehr zufälligen Veränderungen umfassen, die während des Betriebes auf das Öl einwirken. Die reine Ölalterung kann man zweifellos reproduzierbar erfassen und zwar umso genauer, je exakter die Versuchsbedingungen eingehalten werden können, d.h. je weniger komplex der Vorgang ist. Die Veränderung des Öles im Gebrauch dagegen ist schwierig und nur für

POOR
COPY

1

einen bestimmten Motor meßbar, wenn man sorgfältig auf die Einhaltung der gleichen Versuchsbedingungen achtet. Der Grund, warum dies so schwierig ist, liegt in den zufälligen Veränderungen des Öles; diese sind so entscheidend für den gesamten Vorgang, daß man die Motoren einteilen könnte in solche, bei denen mit vielen und in solche, bei denen mit wenigen Veränderungen zufälliger Art zu rechnen ist. Noch charakteristischer würde diese Einteilung, wenn der Grad der Streuung den zufälligen Veränderungen zugrunde gelegt würde. Denn wahrscheinlich kann man folgende Annahme für die Möglichkeit der Alterungsprüfung machen:

Eine Laboratoriumsprüfung wird umso eher mit dem Verhalten im Motor (dies betrifft vor allem die Verschlamung!) übereinstimmen, je geringer hierbei der Anteil an zufälligen Veränderungen im Öl ist und je weniger diese bei den einzelnen Läufen streuen.

Der Motorversuch seinerseits wird umso eher reproduzierbar sein, je gleichmäßiger die zufälligen Veränderungen sind. Für Motoren derselben Bauart ist diese Gleichheit leichter erreichbar als für Motoren verschiedener Bauart, sodaß auch die Ergebnisse im ersten Falle leichter auf die Praxis angewendet werden können als im zweiten. - Sicherlich ist es vor der allgemeinen Anwendung dieses Prinzips notwendig, zu prüfen, inwiefern die Voraussetzungen zutreffen.

Da aber eine ganze Reihe von vorteilhaften Folgen damit verknüpft sind, wäre es wohl wichtig, z.B. zu messen, ob tatsächlich der verschieden hohe Grad an zufälligen Einflüssen eine so beträchtliche Änderung der Reihenfolge der Öle bewirken kann, wie angenommen wird; dies wäre zuerst im Laboratorium, aber dann auch im Motor zu untersuchen. Die Motoren würden dann auch nach diesem Gesichtspunkt auf ihre praktische Brauchbarkeit hin besser beurteilt werden können als bisher. Außerdem wäre es dann leichter möglich, zu entscheiden, ob ein bestimmter Prüfmotor sich für die Beurtei-

lung der Öle auf ihr Verhalten im Flugmotor eignet oder nicht, mit anderen Worten, man könnte nach diesem Gesichtspunkt teure und langwierige Versuche ausschalten, die kein Ergebnis versprechen.

Schrifttum

=====

- 1) G. Blank, Der gegenwärtige Stand der Untersuchung ge-
brauchter Motorenschmieröle nach ASTM-Me-
thoden. Öl u. Kohle 15, 341 (1939)
- 2) B.H. Moerback, Oxydation Tests für Motor Oils, General
Discussion on Lubrication and Lubricants,
London, Inst. Mech. Engineers 1937
- 3) A. Nutt, Aircraft Engines and their lubrication, SAE-
Tagung 45, 501 (1939)
- 4) G.L. Neely, Recent developments in diesel engine lubri-
cation 45, 485 (1939)
- 5) A.F. Wilford, Service tests with lubricants for high-
speed oil engines. J.P.T. Vorabdruck der
Tagung in Birmingham, Mai 1939
- 6) H.A. Everett u. G.M. Kaller, A lubricating method for
evaluating the influence of lubricating oils
on carbon deposition, Engineering 148, 676
(1939)
- 7) C.A. Bouman, General Discussion on Lubrication and
Lubricants, London, (1937) Bd. I, S. 640,
Diskussionsbemerkung
- 8) L.L. Davis, Bert H. Lincoln, G.D. Byrkit, W.A. Jones,
Oxidation of lubricants, Ind. Eng. Chem. 33,
339 (1941)
- 9) Vgl. R. Moers, Die Rolle freier Radikale bei der Oxy-
dation von n-Heptan. Öl u. Kohle, 15, 299 (1939)
- 10) H. Staeger, Betriebserfahrungen mit Mineralölen, Österr.
Petroleum Institut, Veröffentlichung Nr. 5,
Wien, 1937
- 11) Vgl. M. Marder u. V. Tolkmitt, Über den Wert von Labora-
toriumsmethoden zur Bestimmung der Alterungs-
neigung von Mineralölen. Öl u. Kohle 14, 615
(1938)
- 12) T.K. Hansen u. A.C. Egerton, Nitrogen Oxides in Internal
combustion engine gases, Proc. Roy. Soc.
London, Bd. 163 (1937), S. 90

- 13) F.Schick, Vorgänge beim Mischen von Mineralölen,
Öl u.Kohle 13(1939)1139
- 14) W.A.Gruse u. C.J.Livingstone, Engine Deposits - Causes and
Effects on Lubricants, Symposium 1937,
Philadelphia;
W.A.Gruse, Carbon forming tendencies of lubricating oils,
Proceedings World Petr.Congress 1933, London
Bd.II, 441(1934)
- 15) C.G.Williams, Piston Ring Blow-by in high speed gasoline
engines, Automotiv Industrie 15.12.39
- 16) H.Weiss u.A.Maillard, Contribution to the study of the
changes occurring in lubricating oils in
internal combustion engines. J.Inst.Petr.
Techn. 24, 407 (1938)
- 17) F.Gossrau, Entwicklung von Kolben für höhere Dauerleis-
tungen auf Grund neuer Untersuchungen über
den Wärmefluss. ATZ 44 (1941) 613

Zum Chemismus der Alterung von Kohlenwasserstoffölen.

Von Dr.-Ing.I.Morghen, DVL, Inst.BS.

Die Klärung des Vorganges der Veränderung der Schmieröle für sich und in Anwesenheit von Luft, Verbrennungsgasen und anderen Fremdstoffen bei verschiedenen Temperaturen ist für die Praxis in mancher Hinsicht von Interesse. Vor allem würden die Möglichkeiten aufgezeigt, weitgehend alterungsbeständige Kohlenwasserstofföle herzustellen und Schmieröle auf ihre Alterungsneigung im Laboratorium zweckmäßig zu prüfen.

Die Alterung eines Kohlenwasserstofföles unter den Bedingungen des Motors wird wesentlich durch die Anwesenheit von molekularem Sauerstoff bedingt. Das Verfolgen der Reaktionsweise desselben bereitet schon bei einfachen definierten Stoffen erhebliche Schwierigkeiten. Diese Schwierigkeiten wachsen naturgemäß bei einem so wirren, kaum geklärten Gemisch von Kohlenwasserstoffen, wie sie ein Schmieröl darstellt.

Will man den tatsächlich vorliegenden Verhältnissen Rechnung tragen, so muß man, bevor man z.B. durch Heranziehung von Modellsubstanzen auf den eigentlichen Oxydationsmechanismus eingeht, sich ein halbwegs klares Bild über die bei der Alterung eines Kohlenwasserstoff-Schmieröles unter verschiedenen Bedingungen sich bildenden funktionellen Gruppen machen unter Vernachlässigung aller kurzlebiger oder in sehr geringer Menge vorhandener, wenn auch an der Reaktion maßgeblich beteiligter Zwischenstufen. Von den so erfaßten - also verhältnismäßig beständigen Sauerstoffbindungsformen - ist weiter ihre Stabilität bei verschiedenen Temperaturen von Interesse und weiter ihre Neigung direkt oder indirekt Polymerisations- und Kondensationsreaktionen einzugehen und so höhermolekulare schwerlösliche und schwerflüchtige Stoffe zu bilden, die als Harze, Asphaltharze, Asphalte, Ölkohlen oder Schlamm (letzter beinhaltet

die unter praktischen Verhältnissen bereits unlöslichen Alterungsprodukte (einschl. deren Seifen) in Erscheinung treten.

Kennt man die funktionellen Gruppen, so kann man z.B. die sauerstoffhaltigen Stoffe aus dem Kohlenwasserstoffgemisch herausnehmen und ihr Verhalten für sich und die verbleibenden reinen veränderten und unveränderten Kohlenwasserstoffe untersuchen. Die Verfolgung der Bildung von im Öl schwerlöslichen oder unlöslichen Stoffen aus diesen Zwischenstufen wird dadurch wesentlich erleichtert.

Damit ist in knappen Worten der Weg umrissen, der in der DVL beschritten wurde. Leider mußten die diesbezüglichen Arbeiten infolge des Krieges stark vernachlässigt werden. Immerhin kann - soweit es hier von Interesse ist - schon einiges ausgesagt werden.

Man begnügte sich sonst allgemein damit, von einem gealterten Öl die Säure- und die Verseifungszahl zu bestimmen und sie als Maß der oxydativen Veränderung des Öles anzusehen. Auf das Auftreten geringer Mengen von Peroxyden wurde öfters hingewiesen. Außerdem wurde die Bestimmung von Harzen, Asphaltharzen, Asphalten (und Ölkohle) durch fraktionierte Fällung oder durch Adsorption an Erden durchgeführt, die ebenfalls ein Maß für die Veränderung des Öles gibt. Die letztgenannten Begriffe (Harz usw.) sind etwas willkürlicher Art und stellen, je nachdem, nach welcher Methode gearbeitet wurde, Verschiedenes dar. Vor einiger Zeit ¹⁾ wurden Angaben darüber gemacht, daß der durch die Verseifungszahl erfaßte Sauerstoff (unter bestimmten Bedingungen bei Gegenwart bestimmter Metalloxyde) ähnlich 34% des gesamten vom Öl verbrauchten Sauerstoffes ausmacht. Abgesehen von Annahmen allgemeiner Art und den Erfahrungen bei der Herstellung synthetischer Fettsäuren, ²⁾ ist erst die Transformatorenindustrie, insbesondere die amerikanische, in der Verfolgung

der Alterung von Isolierölen - die allerdings unter anderen energetischen Bedingungen ihre Oxydation erleiden - etwas weitergegangen und hat auf das Auftreten von Alkoholen, Estern, Peroxyden, Aldehyden und Ketonen hingewiesen, ohne dafür jedoch genügende Nachweisreaktionen zu haben.³⁾ Etwa zu gleicher Zeit brachten hiesige Untersuchungen ein klareres Bild der auftretenden Sauerstoffverbindungen. In einem DVL-FB-Bericht vom Jahre 1939 ist der zur Erfassung der im folgenden angeführten Sauerstoffbindungsformen eingeschlagene Weg eingehend beschrieben.⁴⁾ Es handelt sich um mehrere typische Flugmotorenöle, welche bei Temperaturen zwischen 250 und 300°C mit Luft verschieden lang gealtert wurden und z.T. noch keine Spur irgendeines Asphaltes zeigen. Die Alterung erfolgt entweder in einem offenen Stahlgefäß in Chargen zu 2 bis 3 kg oder in dem in Abb. 1 gezeigten Glasgerät.

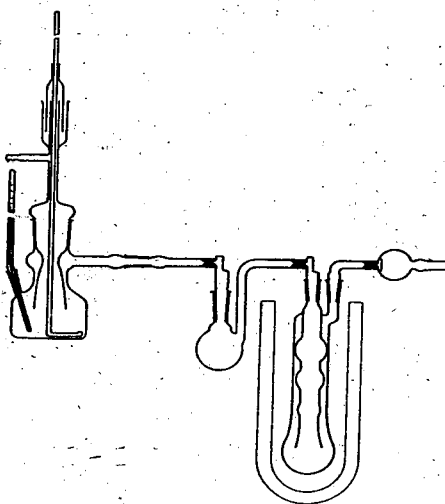
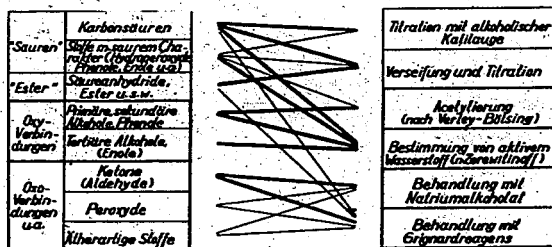


Abb. 1 : Alterungsgerät (Schema)

Letzteres ermöglicht große Luftmengen über das Kohlenwasserstofföl zu leiten und durch Geschwindigkeitsänderungen, Prallwände und tiefe Temperatur das sonst nebelförmig fortgeführte Öl (und bei der oxydativen Dehydrierung gebildete Wasser) mit geringsten Verlusten zu erfassen. Auch die noch auftretenden

Verluste wären vermeidbar durch anschließende Verwendung von Adsorptionsmitteln.

Die nach Richtlinien bestimmte Verseifungszahl, die nur einen Teil der wirklichen Verseifungszahl beträgt, machte bei den untersuchten Rückstandsölen der Alterungen ungefähr $\frac{1}{3}$ der gesamten erfaßbaren Sauerstoffbindungsformen aus, und zwar wurden ungef. in der gleichen Größe der Verseifungszahl freie OH-Gruppen mit den etwas abgeänderten Methoden von Verley-Bölsing und Zerewitinoff und in der doppelten Größe der Verseifungszahl Carbonylgruppen durch Reduktion und Bestimmung der neugebildeten OH-Gruppen und durch die Grignard-Reaktion erfaßt. Wenn die Carbonylgruppe nur unter gewissen Voraussetzungen als wirklich quantitativ erfaßbar anzusehen ist, so haben die erhaltenen Werte doch sehr große Wahrscheinlichkeit. Die flüchtigen organischen Alterungsprodukte zeigen ein ähnliches Bild. In der Abb. 2



Die stark ausgeprägten Verbindungslinien geben die durch die einzelnen Methoden tatsächlich erfaßbaren Stoffe an. Die schwach ausgeprägten Linien geben die sonst prinzipiell bestehenden Möglichkeiten einer teilweisen oder totalen Erfassung der betreffenden Stoffe an.

Abb. 2: Vereinfachtes Übersichtsschema der in einem gealterten Öl erfaßbaren Sauerstoffverbindungen.

Ist ein vereinfachtes Übersichtsschema der jetzt angebbaren Stoffe angedeutet. Ätherartige Stoffe konnten im Rückstandsöl praktisch nicht erfaßt werden, falls sie intermediär auf-

treten, dürften sie sich da zum größten Teil unter Wasserabspaltung zersetzen. Die Abhängigkeit des Verhaltens der Kohlenwasserstofföle gegenüber molekularem Sauerstoff bei verschiedenen Temperaturen ist naturgemäß von größtem Interesse. Zwischen 250 und 300°C ist im Rückstandsöl keine prinzipielle Änderung der auftretenden stabilen Sauerstoffbindungsformen zu sehen.

Die mit OH-Gruppen besetzten Moleküle können mit Überschuß von Natriumalkoholat oder mit Natriumamid unter Reinstickstoff in Salze übergeführt und mit reinstem Dioxan gefällt werden. Auf diese Art und Weise kann man ein praktisch an OH-Gruppen jeglicher Art freies Öl erhalten. Die Eignung der Adsorptionsanalyse zur Anreicherung bzw. Reindarstellung einzelner Alterungs- und Oxydationstypen wird überprüft. Es ginge zu weit, näher auf die laufenden Arbeiten einzugehen, es soll nur an einem praktischen Beispiel gezeigt werden, wie sich ein gealtertes Öl, welches frei von fällbaren Asphalten ist, bezüglich seiner Kennzahlen bei der Erhitzung auf Temperaturen, wie sie an den Verbrennungsraumwandungen des Motors vorkommen können, im Vergleich zu einem Frischöl verhält.

Es wurde einerseits ein paraffinbasisches Schmieröl 5 Std. auf 400°C unter Reinstickstoff in einem Einschmelzrohr erhitzt, andererseits dasselbe Öl, aber 23 Std. bei 275°C unter Stickstoff und dann an der Luft vorgealtert, und dann dies vorgealterte Öl, bei welchem jedoch die thermisch relativ beständige Oxo-Gruppe in eine Oxy-Gruppe übergeführt wurde. Aus der Zahlentafel ist die Veränderung der Kennzahlen und die Bildung von Asphalt und Ölkohle zu ersehen. Versuch 8 der Zahlentafel zeigt die Kennzahlen des paraffinbasischen Öles nach einer Laufzeit von 11 Std. im NSU-Motor, nach welcher Zeit Ringstecken eintrat. Sie weisen große Ähnlichkeit mit den Kennzahlen des bei 275°C 23 Std. lang im Laboratorium gealterten Öles auf. Behandelt man umgekehrt das auf 400°C unter Stickstoff 4 Std. lang erhitzte Frischöl unter denselben Bedingungen der Oxydation

Zahlentafel

Änderung der Kennzahlen eines paraffinbasierten
Flugmotorenöles nach thermischer u. oxydativer
Behandlung.

Nr.	Einwirkung	Behandlung	Gesamt- Rück- stand %	Asphal- tischer Rückstand %	Wachs- stoffe %	Asphal- tische Blasde %	Spure- n- Zahl mg/kg	Wax- Zahl mg/kg	WZ-Zahl mg/kg	WZ-Zahl unter Chl.- Erkennung mg/kg	WZ-Zahl ohne Chl.-Erkennung mg/kg
1	keine	keine	—	0	0	0	0,03	0,25	0	2,80	1,80
2	thermisch	Alterung 6 Std. bei 100°C N ₂	—	0	0	0	0,04	0,25	—	3,80	1,65
3	oxydativ	Alterung 23 Std. bei 275°C Luft	12	0	0	0	1,50	6,15	6,10	15,10	22,85
4	thermisch oxydativ	Alterung 23 Std. bei 275°C N ₂ Alterung 23 Std. bei 275°C Luft	~20	0	0	0	1,95	7,80	6,75	18,15	20,65
5	thermisch	Alterung 5 Std. bei 100°C N ₂	—	2,2	2,3	4,6	0,80	3,25	0	6,25	11,55
6	oxydativ	Alterung 5 Std. bei 100°C Luft	—	0	0	0	0,45	10,85	10,85	36,55	15,60
7	thermisch	Alterung 5 Std. bei 100°C N ₂	—	2,2	5,3	7,5	0,80	4,85	0	6,25	0,75
8	oxydativ	NSU-Motor 60 U/min (11 Std.)	—	0	0	0	1,85	6,85	3,8	18,80	22,80

(23 Std., 275°C), so erhält man eine dicke pechartige Masse.
Eine gleiche Vorbehandlung unter Stickstoff bei 275°C erhöht
die Oxydationsempfindlichkeit des Öles nur etwas (s. Zahlent.).

Es ist also so, daß im Motor anoxydiertes - übrigens
in seiner Schmierwirkung noch brauchbares Öl - bei Erhitzung
auf bestimmte Temperatur Rückstand gibt - im Gegensatz zum
nicht anoxydierten - während umgekehrt, Frischöl, welches
höheren Temperaturen ausgesetzt war, leicht oxydiert und da-
durch wieder zu Rückstand führen kann.+) In welchem Ausmaße
dies eintreten kann, zeigten die angeführten Beispiele.

Die Rückstandsbildung ist bei gesättigten hochwertigen
Kohlenwasserstoffölen praktisch grundsätzlich mit einer
Dehydrierung gekoppelt, die durch Sauerstoff als Wasserstoff-
acceptor ganz wesentlich beschleunigt wird. Metallabrieb
kann die Dehydrierung katalytisch beschleunigen, bei Abwesen-
heit von Sauerstoff wohl aber erst bei Temperaturen über
200°C. Metalle, die in verschiedenen Wertigkeitsstufen Sauer-
stoff binden, können ähnlich Peroxyden bzw. deren Vorstufen

+) Diese trivial erscheinende Aussage ist grundlegend für die
Analyse des Verhaltens der Kohlenwasserstofföle im Motor.

als Überträger des molekularen Sauerstoffes wirken. Diese und andere Einflüsse müssen in der Größe ihrer Einwirkungsmöglichkeit systematisch untersucht werden, um zu wissen, inwieweit sie unter bestimmten Bedingungen der Praxis eine Rolle spielen. Es dürften sowohl Polymerisationen der angegriffenen Moleküle - die z.B. durch Sauerstoffanlagerungen aktiviert sein könnten - als auch - und dies anscheinend im größeren Ausmaße - Kondensationen an der Rückstandsbildung beteiligt sein.

Molekulargewichtsbestimmungen von Harzen und Asphalten, soweit solche überhaupt durchgeführt wurden, müssen mit Vorsicht aufgenommen werden.

So gab z.B. in der DVL ein "Weichasphalt" in "Kohlbaum-Benzol zur Molekulargewichtsbestimmung", welches außerdem umkristallisiert wurde, bei sorgfältiger Durchführung der Bestimmung (mech. Platinrührer) entsprechend den Angaben im "Ostwald-Luther" 5) eine Gefrierpunkterhöhung. Man kann auf diese Weise in anderen Fällen zu willkürlichen Molekulargewichten gelangen. Erst nach sorgfältiger Reinigung des Benzols mit Al_2O_3 usw. wurden mögliche Werte erhalten. (Man kann hier - abgesehen von anderen Möglichkeiten⁶⁾ - an eine Assoziation mehrere Moleküle diskreter Verunreinigungen des Benzols mit je einem Molekül oder Assoziat Weichasphalt denken. Der Sachverhalt wird noch geklärt.)

Über den Mechanismus, welcher zu den früher erwähnten Sauerstoffbindungsformen führt, kann noch nichts Konkretes gesagt werden. Für die Behandlung der Frage sind die Untersuchungen, welche über die Autoxydation verschiedener Stoffe bei Temperaturen unter 100°C und z.T. bei Bestrahlung mit U.V.-Licht vorliegen, (Benzaldehyd, Cyclohexen, Tetralin, Menthyl, Cymol usw.) und von Wittig, Criegee, Hock u.a. durchgeführt wurden, von grundlegendem Interesse.

Im Motor selbst vollzieht sich die Oxydation bis zu Temperaturen, bei denen bereits teilweise Verbrennung eintritt. Die im Verbrennungsraum auftretende Strahlung ist naturgemäß von der Art des verbrannten Kraftstoffes u.a. Einflüssen abhängig (schwarze Strahlung).

Peroxyde werden im allgemeinen im thermisch oxydativ beanspruchten Schmieröl nicht in größeren Mengen faß-

bar sein, auch wenn sie zwischenstuflich auftreten, da sie, abgesehen von den im Öl vorhandenen Acceptoren, im allgemeinen temperaturempfindlich sind. Es ist fraglich, ob sich bei höheren Temperaturen diese Zwischenstufe überhaupt stabilisiert; es ist möglich, daß gleich bestimmte der eigentlichen Peroxybildung vorangehende Sauerstoffadditionsverbindungen aktiven Sauerstoff liefern bzw. als solche direkt oxydierend wirken. Auftretende freie Radikale können bei Gegenwart von molekularem Sauerstoff (statt z.B. Olefine und gesättigte Kohlenwasserstoffe zu geben) sich das zur Bildung eines neuen Elektronenpaares notwendige Einzelelektron durch Anlagerung an ein Sauerstoffmolekül verschaffen, wobei wieder eine Aktivierung des Sauerstoffmoleküles eintritt. Zu berücksichtigen ist, daß auch bei der Verbrennung im Verbrennungsraum durch Zwischenreaktionen aktiver Sauerstoff auftreten kann. Der rein thermische Zerfall des Sauerstoffmoleküles ist bei den im Verbrennungsraum vorkommenden Temperaturen noch sehr gering, sodaß er keine Rolle spielen dürfte.

Als Beispiel einer bei 50°C (und Bestrahlung mit Quarzlampe) näher untersuchten Autoxydation, sei das Δ^3 -p-Menthen herausgegriffen, welches nach Hock mit Sauerstoff wie folgt reagiert (Abb. 3).

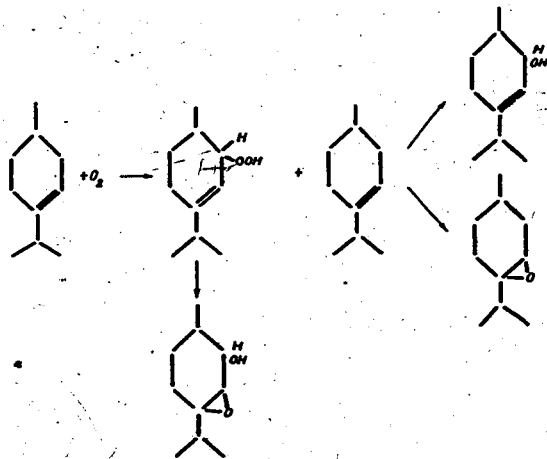


Abb. 3: Autoxydation von Δ^3 -p-Menthen nach Hock.

Zuerst bildet sich das Hydroperoxyd, und zwar lagert sich der molekulare Sauerstoff nicht an die Doppelbindung an, zumindest nicht im isolierten Endprodukt, sondern schiebt sich zwischen Wasserstoff und Kohlenstoff des der Doppelbindung benachbarten Kohlenstoffes, wie Criegee schon für Cyclohexen nachweisen konnte.⁸⁾ Das Hydroperoxyd kann sich nun entweder selbst weiter "oxydieren" unter Bildung des entsprechenden Oxydes durch Aufrichtung der Doppelbindung oder es wird ein zweites Menthenmolekül von dem Hydroperoxyd oxydiert, wobei das Peroxyd in den entsprechenden Alkohol übergeht, welcher leicht Wasser abspaltet und über das Menthadien verharzt. p-Cymol, welches strukturell den gleichen Bau wie p-Menthen hat, (statt des ungesättigten Naphthenringes ist ein aromatischer vorhanden) gibt bei der Autoxydation das Hydroperoxyd, welches bei bestimmten Bedingungen unter Wasserabspaltung in den entsprechenden Aldehyd (4-Isopropylbenzaldehyd) übergeht.⁹⁾ Tetralinperoxyd gibt bei Erhitzung unter Wasseraustritt Tetralon.¹⁰⁾

An diesen Beispielen sieht man, wie durch Doppelbindungen und Kohlenwasserstoffreste eine für die Aufnahme des Sauerstoffmoleküles günstige Elektronenbeanspruchung durch das oder die entsprechenden Kohlenstoffatome eintritt. D.h. also allgemein, daß durch bestimmte Anordnung bestimmter Substituenten, Doppelbindungen usw. sich die Elektronenbeanspruchung durch die einzelnen C- und H-Atome im Kohlenwasserstoffmolekül so verschiebt, daß eine Zwischenschiebung oder Anlagerung der ungesättigten Sauerstoffmoleküle an bestimmten Stellen ermöglicht oder erleichtert wird.

Welche Rolle spielen nun die Antioxydatoren bzw. Inhibitoren bei der Oxydation?

Bleibt man wieder bei den gewählten Beispielen, so sieht man z.B. aus den Versuchen von Ivanov,¹¹⁾ daß Tetralinhydroperoxyd mit einem inhibierend wirkenden Stoff - wie z.B. Hydrochinon - erhitzt, sich ebenso schnell mit wie ohne Inhibitor zersetzt. Es sind

im allgemeinen nicht die Peroxyde, wie sie isoliert werden können, welche von den Inhibitoren beeinflusst werden, sondern die vor der Peroxydbildung eintretenden Additionsverbindungen von besonderer Aktivität oder das angeregte noch sauerstofffreie Molekül selbst, etwa so, daß diese Vorstufen direkt (energetisch) oder über den Umweg einer chemischen Zwischenreaktion unschädlich gemacht werden und so ein Kettenstart verhindert wird. Ob es sich jedoch bei der Alterung von Kohlenwasserstoffölen tatsächlich um Kettenreaktionen handelt, bzw. ob diese eine maßgebende Rolle spielen, sei noch dahingestellt. Die Wirkung von Inhibitoren ist jedenfalls nicht unbedingt an eine Energie- oder Reaktionskette gebunden.

Auf die einzelnen Theorien der Inhibitorwirkung soll nicht eingegangen werden, zumindest erwähnt werden müssen jedoch die umfangreichen Arbeiten von Moureu und Dufraisse¹²⁾ und die Untersuchungen von Tschernoschukow¹³⁾ über das Verhalten verschiedener definierter Kohlenwasserstoffe für sich und im Gemisch gegenüber Sauerstoff. Weiter sind im Zusammenhang mit Inhibitorwirkung die äußerst interessanten Arbeiten über Fluoreszenzlöschung in Funktion von zwischenmolekularen Kräften und Energieübertragung durch dieselben zu nennen.

Es ist noch darauf hinzuweisen, daß bekanntlich auch Stoffe oxydationshemmend wirken können, welche - im Gegensatz zu den eigentlichen Inhibitoren - bei der Oxydationshemmung eine dauernde Veränderung erleiden. Solche durch aktiven Sauerstoff (z.B. durch eine Peroxydvorstufe) leicht oxydierbaren Stoffe können sich bei der Ölalterung auch günstig auswirken, wenn sie gar keine Hemmung der Oxydation hervorrufen, sondern nur selbst zu harmlosen, nicht zur Rückstandsbildung neigenden Körpern durch den aktiven Sauerstoff oxydiert werden. Kohlenwasserstoffe des Öles, welche durch molekularen Sauerstoff nicht oder schwer angreifbar sind, können ihre diesbezügliche Stabilität dadurch verlieren, daß sie durch aktiven Sauerstoff anoxy-

diert werden. Man kann also durch Unschädlichmachen des aktiven Sauerstoffes mit geeigneten Stoffen ganze Reaktionsfolgen letzterer Art verhindern.

Bei der Oxydation bzw. Alterung des Kohlenwasserstofföles tritt langsam eine Farbvertiefung desselben ein, was durch Auftreten leicht anregbarer Elektronen hervorgerufen wird und auf das Vorhandensein von Doppelbindungen verschiedener Art ($C=O$, $C=O$), also π -Elektronen hinweist. Durch Auftreten konjugierter Doppelbindungen und Vergrößerung des Moleküles wird die Farbe zwangsläufig noch weiter vertieft.

Es konnte in einer so kurzen allgemeinen Übersicht natürlich kein vollständiges Bild über alle interessierenden Fragen gegeben werden. Unser Wissen über den Vorgang bei der Ölalterung, insbesondere bei höheren Temperaturen ist noch gering und die Arbeiten, die noch zu leisten sind, bis eine gesicherte klare Aussage gemacht werden kann und zwar zumindest über den grundsätzlichen Verlauf der Alterung unter den verschiedenen Bedingungen und Möglichkeiten, die sich in der Praxis ergeben, sind noch sehr umfangreich.

Schrifttum

- 1) F.Evers, R.Schmidt, Erdöl u.Teer 9, 13 (1933)
- 2) Siehe z.B. F.Wittka, "Gewinnung der höheren Fettsäuren durch Oxydation der Kohlenwasserstoffe" (Barth Verlag Leipzig 1940)
- 3) A.G.Assaf, E.K.Gladding, Ing.Eng.Chem.11, 164 (1939)
J.C.Balsbaugh, J.L.Oncley, Ing.Eng.Chem.31, 318 (1939)
W.Francis, K.R.Garret, C.39, 1903 (J.Inst.Petrol. Techn.24, 435 (1938))
- 4) I.Morphen, "Der Chemismus der Rückstandsbildung bei Kohlenwasserstoffölen", FB-Bericht 1077 (1939)
- 5) Ostwald-Luther, "Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung physiko-chemischer Messungen", Akadem.Verlagsges.Leipzig (1931)
- 6) K.Freudenberg, E.Bruch, H.Rau, Ber.d.Dt.Chem.Ges.62, 3080 (1929); E.Garthe, K.Hess, Ber.d.Dt.Chem.Ges.64, 882 (1931); dann auch H.C.S.Snetlage, Recueil Trav. chim. Pays-Bas 52, 139 (1933) u.a.
- 7) B.Hock, S.Lang, Ber.d.Dt.Chem.Ges. 75, 301 (1942)
- 8) R.Crigee, H.Pilz, H.Flygare, Ber.d.Dt.Chem.Ges.72, 1799 (1939)

- 9) J.H.Hellberger, A.v.Rebay, H.Fettback, Ber.d.Dt.Chem. Ges. 72, 1643 (1939)
- 10) H.Hock, W.Susemihl, Ber.d.Dt.Chem.Ges.66, 61 (1933)
- 11) K.I.Ivanov, V.K.Savinova, E.G. Mikhailova, C.40, II 3316, 3317
- 12) Siehe z.B. G.M.Schwab, Handbuch der Katalyse, Bd.2, 339 (1940) (Ch.Dufraisse u. P.Chovin, "La catalyse négative en phase liquide et éventuellement solide")
- 13) N.I.Tschernoschukow, S.E.Krein, C.38, I 4557 u.w.

Alterung des Schmieröls im Flugmotor.

Von Dr.-Ing. Walter Giessmann, Recklin.

Die Prüfung von Flugmotorenölen auf ihren praktischen Gebrauchswert ist leider heute noch sehr schwierig und kostspielig. Die bisher entwickelten Laboratoriumsverfahren gestatten lediglich eine rohe Klassifizierung. Und selbst Einzylinder-Motoren, die schon wieder verhältnismässig teuer und kompliziert sind und grosse Mengen des zu untersuchenden Schmierstoffes benötigen, ermöglichen noch keineswegs eine erschöpfende Beurteilung, die alle praktisch wichtigen Eigenschaften eines Öles für verschiedene Motorenarten umfasst.

Das einzig zuverlässige Prüfinstrument ist vorläufig immer noch der Vollmotor selbst. Das bedeutet, dass vor der Zulassung einer neuen Ölsorte eine ganze Reihe von Prüfläufen und Dauerflugerproben in den wichtigsten Motormustern mit je wenigstens 100-stündiger Dauer durchzuführen sind, die viel Zeit und mehrere 100.000 RM an Kosten erfordern. Die Ergebnisse eines Vollmotoren-Prüflaufes sind überdies nicht immer eindeutig und machen Wiederholungen erforderlich, da mechanische Mängel oder technische Veränderungen am Motor die Ergebnisse der Ölprüfung verfälschen und der Flugmotor in seiner grossen Kompliziertheit überhaupt alles Andere als ein ideales Prüfgerät ist.

Es ist ohne weiteres verständlich, dass die Eigenschaften ganz verschiedener Art, die der Motor von dem Schmierstoff verlangt, nicht durch ein einziges Prüfgerät bestimmt werden können. Das vermag auch, worauf nachdrücklichst hinzuweisen ist, der heute in Deutschland viel verwendete BMW 132-Einzylinder-Ölprüfmotor wenigstens in seinem heutigen Zustande nicht. Die in ihm üblicherweise angewandte Prüfmethode ist überdies ein „Einpunktverfahren“ und dadurch etwa wie die Oktanzahl-Bestimmung mit dem grundsätzlichen Mangel behaftet, dass sie nur einen kleinen Teil aller möglichen Betriebsbedingungen umschliesst und damit keineswegs für alle Motorenarten Gültigkeit haben kann. Trotzdem hat diese Methode zweifellos eine Erweiterung der Vorprüfungsmöglichkeiten für Schmieröle gebracht und ist in ihren Ergebnissen durch die Praxis bestätigt worden.

Die Alterung eines Flugmotorenöles kann nur im Zusammenhang mit ihrer Auswirkung auf den Motor behandelt werden. Die Auswertung eines Ölprüflaufes in einem Flugmotor erstreckt sich deshalb im wesentlichen auf folgende Punkte:

- 1.) Alterung des Schmieröles,
- 2.) Abnutzung der Triebwerksteile,
- 3.) Verhalten der Kolbenringe,
- 4.) Lackbildung an den Kolben- und Zylinder-Laufflächen,
- 5.) Schlamm-Ablagerung im Motor,
- 6.) Rückstandsbildung im Verbrennungsraum,
- 7.) Schwärzung der Triebwerksteile.

1.) Alterung des Schmieröles.

Ein Beispiel für die Änderung der wichtigsten Analysendaten, die man üblicherweise zur Charakterisierung der Ölalterung in einem Flugmotor bestimmt, zeigt Abb.1. Der betreffende Flugversuch wurde über 90 Stunden „ohne Ölwechsel“ durchgeführt; d.h. der Öltank wurde nur entsprechend dem Verbrauch nachbefüllt, ohne dass er gereinigt oder das Öl zwischendurch gänzlich abgelassen und erneuert wurde. Man sieht, dass die Ölalterung in der ersten Zeit besonders rasch vor sich geht und später relativ geringer wird. Das trifft nicht etwa nur für fabriksneue Motoren, sondern ganz allgemein zu, wie sich anhand eines bei der Erprobungsstelle Rechlin vorliegenden, mehr als 50 Erprobungen umfassenden Versuchsmaterials nachweisen lässt. Dieses Ergebnis ist ziemlich überraschend, denn wenn man die Alterung ein und derselben Ölfüllung - ohne Nachtanken von Frischöl - verfolgt, ergibt sich im Gegenteil eine relative Steigerung der Alterung mit der Betriebsdauer (vergl. später Abb.3). Dass sich die Alterung eines Flugmotoren-Schmierstoffes bei der üblichen mehrmaligen Nachfüllung von Frischöl zeitlich verzögert, ist auch nicht etwa dadurch zu erklären, dass nur ein begrenzter Teil der Alterungsprodukte und Fremdstoffe in Lösung bleibt und der Rest sich mit wachsender Betriebsdauer in immer stärkerer Masse im Motor absetzt; denn die Ablagerung von Ölschlamm durch Zentrifugalkwirkung in bestimmten Triebwerksteilen nimmt mit der Betriebsdauer nur linear zu.

Aufgrund vorstehender Erfahrungen ist der Ölwechsel bei der Luftwaffe, der früher nach den Vorschriften der Motorenfirmen bereits nach 30 - 50 Stunden vorgenommen wurde, auf 100 Stunden festgesetzt

worden. Dadurch wird der durchschnittliche Alterungszustand des Oles nur etwas verschlechtert, andererseits werden dadurch beträchtliche Ölersparnisse erzielt. Dabei können alle Ölsorten, d.h. die zugelassenen ungefetteten und leicht gefetteten Mineralöle, unter denen sich keine Rizinusöle mehr befinden, durcheinander getankt werden.

Im Flugmotor wird die Hauptmenge des Oles, d.h. meistens weit mehr als 90 % wenig oder gar nicht chemisch verändert; die Alterung besteht im wesentlichen darin, dass das Öl durch die Zersetzungsprodukte des Oles selbst und des Kraftstoffes, durch metallischen Abrieb und dessen Oxyde, durch Wasser, Kraftstoffkondensat und Staub aus der Verbrennungsluft verunreinigt wird. Deshalb ist eine Regeneration gebrauchter Flugmotorenöle sehr aussichtsreich. In Rechnlin wurden verschiedene Flugmotorenöl-Regenerate untersucht und als durchaus brauchbar befunden.

In Abb.2 sind die durchschnittlichen Alterungsdaten aus 47 Flug- und Prüfstandsversuchen für die drei Gruppen von Flugmotorenölen, die in den letzten Jahren bei der deutschen Luftwaffe verwendet wurden, zusammengestellt worden. Es handelt sich dabei um gefettete Mineralöle, ungefettete Mineralöle aus ausländischem und deutschem Erdöl und um halbsynthetische Produkte deutscher Erzeugung. Das Schaubild gibt die Alterung dieser Ölsorten getrennt nach den verschiedenen Motorenarten an.

Die Veränderung der Hauptmenge des Oles wird unter anderem durch die Änderung der Viskosität gekennzeichnet. Die durchschnittlich geringste Viskositätsveränderung weisen die gefetteten Öle auf. Diese werden, was noch durch besondere Versuche bestätigt wurde, durch Erhitzung etwas dünnflüssiger (Entvoltolisierung?), wodurch der Eindickung durch die im Öl gelösten Fremd- und Alterungsstoffe entgegengewirkt wird. Da letztere in Flugdieselmotorenölen in wesentlich geringerer Menge als in Benzinmotorenölen vorhanden sind, findet in Benzinmotoren meist eine geringe Zunahme, in Dieselmotoren sogar eine Abnahme der Viskosität der gefetteten Öle statt. In der Mitte stehen hinsichtlich Eindickung die Mineralöle. Die grösste Zähflüssigkeitssteigerung erleiden die halbsynthetischen Öle, deren synthetische Komponente also offensichtlich im Motor als Fortsetzung des Herstellungsprozesses weiter polymerisiert wird.

Es ist übrigens interessant, dass sich dieselbe Reihenfolge der Bewertung ergibt, wenn man die drei Ölsorten nach dem Air Ministry Test untersucht, bei dem bekanntlich durch das auf 200°C erhitzte Öl zweimal 6 Stunden lang Luft durchgeleitet und dann die Viskositäts-¹¹¹erhöhung gemessen wird. Dabei ergab sich folgendes:

	gefettetes Mineralöl	ungefettetes Mineralöl	halbsynthetisches Öl
Viskositäts- erhöhung	17 %	23 %	48 %

Nun muss aber darauf hingewiesen werden, dass weder die in der Praxis auftretende Viskositätserniedrigung der gefetteten Öle, noch die Viskositäts-¹¹¹erhöhung der halbsynthetischen Öle so gross sind, dass sie als bedenklich anzusehen wären. Nur bei ausgesprochenen Winterölen wäre eine Eindickung beim Gebrauch sehr unerwünscht, weil dadurch die Kälteeigenschaften wieder verschlechtert werden. Im übrigen neigen keineswegs alle synthetischen Öle zu stärkerer Eindickung.

Der Öleindickung durch Eigenpolymerisation und der Oxydation, die ebenfalls zur Viskositätszunahme führen kann, hat man durch Inhibitoren entgegenzuwirken versucht. Ein Beispiel dafür zeigt Abb.3. Der bei diesem Versuch verwendete Inhibitor erniedrigte die Viskositäts-¹¹¹erhöhung zwar deutlich, aber noch lange nicht auf diejenige von natürlichem Mineralöl. Sehr wirksam setzte der Inhibitor die Verseifungszahl herab.

Es soll nun weiter die Abb.2 besprochen werden.

Man sieht, dass die Verseifungszahlen der halbsynthetischen Öle durchschnittlich am niedrigsten liegen, wodurch die Wirksamkeit der hier verwendeten Inhibitoren in demselben Sinne, wie oben erwähnt, bestätigt wird.

Dagegen ist der Hartasphaltgehalt der gefetteten Öle durchschnittlich am höchsten, derjenige der Mineralöle am niedrigsten.

Hinsichtlich der Gesamtverschmutzung, welche Kohle, Russ, Staub, metallischen Abrieb und Hartasphalt umfasst, sind keine grossen Unterschiede zwischen den drei Ölsorten vorhanden. Relativ am grössten ist die Gesamtverschmutzung beim gefetteten Öl und zwar

wegen seiner durchaus erwünschten höheren Suspensionsfähigkeit für Alterungsstoffe.

Der gefährlichste Fremdstoff in einem gebrauchten Öl dürfte der metallische Abrieb der Motorteile sein. Er wird zusammen mit dem meist nur geringen Staubgehalt durch die Veraschung des Öles erfasst. Die Metalle werden bei der Veraschung oxydiert, soweit sie nicht im Öle bereits als Metalloxyde vorliegen. Der Metallgehalt des Öles ist also stets kleiner als der Aschegehalt.

Der Aschegehalt in den verschiedenen Ölsorten ist nicht sehr unterschiedlich. Relativ am niedrigsten liegt er bei den gefetteten Ölen.

Den Hauptanteil des metallischen Abriebes liefern Kolbenringe und Zylinder, was dadurch bewiesen wird, dass der Aschegehalt eines gebrauchten Öles hauptsächlich aus Eisenverbindungen besteht. In den Lagern wird im allgemeinen reine „Flüssigkeitsschmierung“ herrschen; die gleitenden Teile sind dann durch einen Schmierölfilm genügender Stärke voneinander getrennt, sodass wahrscheinlich kaum mehr ein Verschleiss stattfindet, wenn die Lager einmal richtig eingelaufen sind. Die Kolben dagegen laufen in den Zylindern stets mit „Mischschmierung“, d.h. Grenzschnierung + Flüssigkeitsschnierung. Der Anteil der Grenzschnierung wird relativ am grössten bei kleinen Geschwindigkeiten, d.h. in der Nähe der Totpunkte sein, wo auch erfahrungsgemäss die grösste Zylinderabnutzung stattfindet. Bezogen aber auf den ganzen Schmiervorgang im Motor kann der Anteil der Grenzschnierung nicht sehr hoch sein. Denn andernfalls müssten z.B. pflanzliche Öle, die wesentlich geringere Reibungszahlen bei Grenzschnierung besitzen als Mineralöle, auch geringere Reibungsverluste in einem Motor erzeugen. In Wirklichkeit bestehen in dieser Hinsicht zwischen beiden Ölsorten, gleiche Viskosität vorausgesetzt, keine grossen Unterschiede.

Hinsichtlich des Einflusses der Motorenart auf die Alterung des Schmierstoffes ergeben sich aus Abb.2 folgende Schlussfolgerungen:

Die grösste Viskositätssteigerung des Schmierstoffes findet in luftgekühlten Flugmotoren statt.

Die Gesamtverschmutzung ist dagegen in flüssigkeitsgekühlten Motoren am grössten, etwas geringer in grossen luftgekühlten Motoren und wesentlich niedriger in kleinen luftgekühlten Motoren.

Der Aschgehalt des Öles aus grossen luft- und flüssigkeitsgekühlten Flugmotoren ist ungefähr der gleiche; bei den kleinen luftgekühlten Motoren ist er etwa halb so gross, was bei den kleineren Abtriebsflächen zu erwarten war.

Überraschend gering ist ganz im Gegensatz zu Auto-Dieselmotoren die Ölalterung und insbesondere auch der Aschgehalt bei Dieselflugmotoren, bei denen es sich durchweg um Junkers-Doppelkolben-Motoren handelt.

Es ist leider nicht möglich, aus den Alterungsdaten eines Flugmotorenöles auf seine Brauchbarkeit zu schliessen, d.h. Grenzwerte zu finden, die zu dem Versagen des Öles im Motor parallel gehen. Es gibt eine ganze Reihe von Versuchen, bei denen z.B. Kolbenringstecken oder Kolbenfresser auftraten, ohne dass das Schmieröl anormal hoch beansprucht erschien. Nur in Extremfällen, die sich schon durch eine ungewöhnlich grosse Differenz zwischen Öleintritts- und Austrittstemperatur bemerkbar machten, fiel ein ausserordentlich hoher Anstieg der Viskosität und der Verseifungszahl mit dem Versagen des Schmieröles im Motor zusammen.

Zu erwähnen wäre schliesslich noch der Einfluss des in das Schmieröl gelangten unverbrannten Kraftstoffes. Der Kraftstoffanteil setzt die Zähflüssigkeit des Schmieröles herab. Dadurch wird die durch den Gebrauch hervorgerufene Eindickung des Öles zum Teil wieder kompensiert. Bei Benzinmotoren beträgt die Schmierölverdünnung durch kondensierten Kraftstoff selten mehr als 0,5 - 1 %. Sie kann also, wie auch die Erfahrungen der Praxis bestätigen, niemals betriebsgefährdend wirken. Bei niedrigen Aussentemperaturen rufen selbst wesentlich höhere Prozentsätze - bei dem in der Luftwaffe seit Jahren üblichen Kaltstartverfahren werden dem Öl bis zu 20 % Bleibenzin zugesetzt, das mit Warmwerden des Motors zum grössten Teil wegdampt - keinen höheren Verschleiss oder sonstige Betriebsstörungen hervor. Etwas unangenehm scheint sich nach neueren Beobachtungen lediglich das beim Kaltstart ins Öl gelangte Bleitetraäthyl bemerkbar zu machen, indem es eine, wenn auch nicht sehr starke, so doch schwerer zu entfernende Rückstandsbildung in den Ölkühler-Röhren hervorruft.

2.) Abnutzung der Triebwerksteile.

Wie vorher erwähnt, ist anzunehmen, dass die Lagerschmierung und der grösste Teil der Kolbensschmierung beim betriebswarmen Motor im wesentlichen als Flüssigkeitsschmierung vor sich geht, praktisch also kaum ein Verschleiss stattfindet. Die Schmierfähigkeit ist dann lediglich eine Funktion der Ölviskosität. Diese und damit den Reibungsverlust des Motors kann man wesentlich herabsetzen, wenn man durch Feinstbearbeitung der sich drehenden und gleitenden Motorteile geringe Spiele einhält.

Der grösste Verschleiss tritt beim Einlaufen eines neuen Motors, aber auch immer wieder beim Anlassen eines eingelaufenen Motors auf. Nach Versuchen von Boerlage unterscheiden sich verschiedene Öle in ihren Verschleisswerten nicht. Trotzdem sind gewisse „Notlaufeigenschaften“ des Öles, die den Einlaufvorgang ohne Fresserscheinungen und vielleicht auch schneller bewerkstelligen und im eingelaufenen Motor eine Schmierreserve bilden, sehr erwünscht. Diese Eigenschaften besitzen gefettete Öle in höherer Masse als Mineralöle. Allerdings verbessern letztere ihren Schmierwert bei der Alterung durch die Bildung polarer Produkte.

Der Verschleiss der Motorteile kann im übrigen durch andere Einflüsse vervielfacht werden, z.B. durch sehr feuchte Verbrennungsluft oder durch gewisse, wenn auch nicht alle Staubarten. Beim Stillstand des Motors können durch die Verbrennungsprodukte des Öles und des Kraftstoffes, insbesondere des Bleitetraäthyls in Verbindung mit Kondenswasser ganz erhebliche Korrosionen und Verrostungen auftreten. Sogar unter einer Ölschicht trifft man bisweilen Rost an. Deshalb ist Totalkonservierung abgestellter Motoren ausserordentlich wichtig. Sie wird bei der Luftwaffe schon seit Jahren durch die Einbringung eines wasserbindenden Schutzöles in den Motor mit gutem Erfolg angewandt.

3.) Verhalten der Kolbenringe.

Die Abnutzung, das Gratigwerden und insbesondere das Festgehen der Kolbenringe sind praktisch sehr wichtige Erscheinungen, da sie die Überholungszeiten der Motoren wesentlich beeinflussen. Das Festgehen der Kolbenringe ist einmal eine Funktion des Motors und lässt sich insbesondere durch Vergrösserung des axialen Kolbenring-spieles in der Nut günstig beeinflussen. Leider kann man aus hier

nicht zu erörternden Gründen das Spiel nicht immer so gross wählen, dass auch bei schlechten Ölen kein Ring festgeht. Andererseits ist das Kolbenringstecken eine Öleigenschaft und der Hauptmesswert beim BMW 132-Einzyylinder-Ölprüfverfahren. Bei dieser Prüfmethode ergibt sich für die drei Ölgruppen folgende kritische Laufzeit bis zum Festgehen der Kolbenringe:

	gefettete Mineralöle	ungefettete Mineralöle	halbsynthetische Öle
Kritische Laufzeit	4 - 6 Std.	6 - 11 Std.	10 Std. und mehr

Es hat sich tatsächlich gezeigt, dass die gefetteten Öle in bestimmten Flugmotoren immer wieder Kolbenringschwierigkeiten ergaben, selbst wenn man das Kolbenringspiel wesentlich erhöhte. Die gefetteten Öle sind deshalb heute bei der deutschen Luftwaffe nur beschränkt zugelassen und stören damit die Tendenz zum „Einheitsöl“, die aus Nachschubgründen von grösster Bedeutung ist, empfindlich. Das ist umso bedauerlicher, als die gefetteten Öle insbesondere hinsichtlich Notlaufeigenschaften und Schlammablagerung besonders gut sind.

Die besten kritischen Laufzeiten ergeben die halbsynthetischen Öle, die z.Z. überwiegend bei der Luftwaffe verwendet werden.

Als Mindestwert wird heute für Entwicklungsöle eine kritische Laufzeit von 8 Stunden im BMW 132-Einzyylinder-Motor verlangt.

Für die Beurteilung von Diesel-Flugmotorenschmierölen ist der BMW 132-Einzyylinder-Prüfmotor absolut ungeeignet, worauf später noch näher eingegangen wird. Für Otto-Flugmotorenöle ist er hinsichtlich Kolbenringverhalten und auch hinsichtlich Verschleiss, Rückstandsbildung im Verbrennungsraum und Lackbildung an den Kolben- und Zylinderlaufflächen ein recht brauchbares Prüfgerät. Das ist umso erstaunlicher, als die Öle im Einzylindermotor wegen der kürzeren Prüfzeit (trotz höherer Öltemperatur) wesentlich weniger gealtert werden als im Vollmotor. Auch im BMW 132-Einzyylinder-Motor lassen sich zwischen den Alterungsdaten des Schmieröles und den kritischen Laufzeiten keine Beziehungen feststellen.

Wenn man Öle gleicher Herkunft, aber verschiedener Viskosität untersucht, ergibt sich, dass die zähflüssigeren Öle längere Laufzeiten bis zum Kolbenringstecken erzielen als die dünnflüssigeren.

Man könnte sich das dadurch erklären, dass die vorgebildeten Oxydationsprodukte in umso grösserer Menge aus dem Öle abgeschieden werden, je leichter dieses in der heissen Ringnut verdampft.

Im übrigen spielt auch der Kraftstoff beim Ringstecken eine, wenn auch meist untergeordnete Rolle. Aromatenreiche Kraftstoffe z.B. begünstigen das Festgehen der Kolbenringe.

4.) Lackbildung an den Kolben- und Zylinderlaufflächen.

Die Lackbildung an den Kolben- und Zylinderlaufflächen kann, wenn sie zu stark wird, zu Kolbenfressern führen. Es ist anzunehmen, dass die Lackbildung durch die gleichen oder ähnliche Stoffe verursacht wird, welche das Festgehen der Kolbenringe herbeiführen. Vermutlich handelt es sich dabei um instabile Oxydationsprodukte des Öles, die sich an den heissen Stellen des Kolbens weiter zersetzen und ablagern.

Deshalb ist in Otto-Flugmotoren durch die Einführung der halbsynthetischen Motorenöle, die hinsichtlich Kolbenringstecken sehr gute Eigenschaften haben, auch die Lackbildung an den Kolben- und Zylinderlaufflächen verringert worden.

Besonders empfindlich gegen derartige Lackbildungen sind die Junkers-Diesel-Flugmotoren. Diese besitzen bekanntlich als ersten Kolbenring den ungeteilten, verhältnismässig breiten „Feuerring“, um einen möglichst geringen Kompressionsverlust und eine gute Wärmeableitung zu erzielen. (Durch die gute Abdichtung erklärt sich vielleicht auch die relativ geringe Verschmutzung des Schmieröles). Im betriebswarmen Zustande liegt der Feuerring mit ganz geringem Spiel im Zylinder an. Jede stärkere Lackbildung muss dann zu Fressern führen.

In den Junkers-Diesel-Motoren ergeben nun überraschender Weise gerade die gefetteten Öle die geringsten Lackbildungen an den Laufflächen und die wenigsten Anstände an den Feuerringen; deshalb lassen sich, wie schon erwähnt, die Ergebnisse der Ölprüfung im BMW 132-Einzylinder-Motor, der gefettete Öle am schlechtesten beurteilt, nicht auf Dieselmotoren übertragen. Eine überzeugende Erklärung für dieses unterschiedliche Verhalten konnte bisher nicht gefunden werden.

Ebenso wie das Kolbenringstecken in Otto-Motoren wird auch die Lackbildung in Dieselmotoren durch den Kraftstoff mit beeinflusst.

Wahrscheinlich sind es auch da wieder aromatische Verbindungen, die sich besonders ungünstig auswirken. Denn es ist beobachtet worden, dass z.B. synthetische Dieselmotorkraftstoffe mit höherer Cetanzahl, also geringerem Aromatengehalt bei Verwendung desselben Schmieröls eine schwächere Lackbildung ergaben.

5.) Schlammablagerung im Motor.

Die Schlammablagerung im Motor ist deshalb betriebsgefährdend, weil sie zum Zusetzen von Ölbohrungen und Filtern führen und damit den Ölstrom abdrosseln kann.

Ein Schmieröl ist umso besser, je weniger Alterungsstoffe es erzeugt und je mehr es diese und die sonstigen Fremdstoffe in Lösung halten kann. Es ist also keineswegs immer ein Zeichen für die Güte eines Schmierstoffes, wenn dieser beim Gebrauch nur langsam nachdunkelt.

Die Erklärung und die Messung der Schlammabildung eines Öles sind ein noch dunkleres Kapitel als das Kolbenringstecken und die Lackbildung. Ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Ölalterungserscheinungen scheint jedenfalls nicht zu bestehen. Auskunft über die Schlammabildungsneigung ergibt auch das Prüfverfahren im BMW 132-Einzyylinder-Motor ebensowenig wie die Analysendaten des gealterten Öles.

Ohne die chemische Struktur vom Schlamm näher zu erörtern, soll darunter im folgenden das verstanden werden, was den Praktiker interessiert: nämlich die Stoffe, die von den Filtern zurückgehalten oder durch Zentrifugalwirkung in bestimmten Motorteilen ausgeschleudert werden. Die Schlammabildungsneigung eines Öles müsste man also am richtigsten mit einem Filter oder einer Zentrifuge messen können.

Da Einzylindermotoren nicht ohne weiteres den gleichen Ölalterungszustand erzeugen wie Vollmotoren, wird in Rechlin z.Z. eine noch nicht abgeschlossene grössere Versuchsreihe direkt im DB 600 G-Motor durchgeführt. Dieser ist als Prüfinstrument besonders geeignet, weil sich in seinem Untersetzungsgetriebe zwischen Kurbel und Propellerwelle ein hohles Zahnrad befindet, in dessen Innenraum sich der Schlamm wie in einer Zentrifuge abscheidet.

Bei diesen je 20-stündigen Versuchen wird in jedem Motor wenigstens

einmal dasselbe Öl gefahren, um die Unterschiede der verschiedenen verwendeten Motoren zu eliminieren. Ausserdem werden der Schlamm und das Altöl auf ihre Zusammensetzung untersucht.

Die Versuchsergebnisse konnten für bestimmte Öle mit einer leidlichen Genauigkeit reproduziert werden; für andere Öle aber ergaben sich bei Wiederholung sehr grosse Unterschiede. Als allgemein gültige Erkenntnis scheint sich aus den Versuchen zu ergeben, dass, je grösser die aus einem bestimmten Öl auszentrifugierte Menge Schlamm ist, dieser umso ölhaltiger, also weicher ist. D.h. aus demselben Öl werden z.B. 1.4 g/Std. Schlamm mit einem Ölgehalt von 55 % ausgeschleudert oder unter anderen Bedingungen 8.4 g/Std. mit einem Ölgehalt von 70 %. Andere Öle wiederum ändern sich im Ölgehalt ihres Schlammes wesentlich weniger und ergeben deshalb auch immer wieder einigermaßen gleichbleibende Schlammengen. Dieser Zusammenhang zwischen Schlammmenge und Ölgehalt lässt sich nach den bisherigen Versuchen für die verschiedenen Öle in einer Kurve darstellen und ist immerhin ein kleiner Lichtblick auf eine offensichtlich bestehende Gesetzmässigkeit.

Die Ursachen, die die Schlammbildung je nach der Ölart weniger oder stärker beeinflussen, sind aber noch recht unklar. Thornycroft, ein Mitarbeiter von Ricardo, hat schon im Jahre 1930 auf den grossen Einfluss von Wasser auf die Schlammbildung hingewiesen. Bei Anwesenheit auch nur geringer Wassermengen kann ein Öl das Vielfache an Schlamm erzeugen, was ja auch durch die praktische Erfahrung bestätigt wird, dass im Winter, also bei der grösseren Möglichkeit für Kondenswasserbildung, häufiger Beanstandungen wegen Schlammbildung von Ölen auftreten. Die relative Schlammföhrerzeugung durch Wasser aber ist, was in diesem Zusammenhang besonders wichtig ist, bei verschiedenen Ölen ganz unterschiedlich.

Leider lassen sich damit die Streuungen in den Reckliner Versuchsergebnissen nicht erklären, da diese unter gleichen Bedingungen erzielt wurden. Ausserdem ergibt auch eine Kontrolle des Wassergehaltes des Schlammes keinen Anhalt, da das Wasser oft schon im Motor aus dem Schlamm wieder verdampft.

Immerhin hat sich aus den Reckliner Versuchen soviel mit einiger Sicherheit ergeben, dass die gefetteten Öle sehr wenig, aber in der Struktur dichten Schlamm absondern und dass die heute in der

Luftwaffe zumeist verwendeten halbsynthetischen Öle eher eine etwas geringere Schlammbildungsneigung besitzen als die früher verwendeten natürlichen Mineralöle.

Welche Unterschiede hinsichtlich der Schlammabscheidung durch Auszentrifugieren oder Filtrieren bestehen, wird in Reohlin ebenfalls untersucht. Das heute normaler Weise verwendete Spaltfilter ist relativ am unwirksamsten, weil es nur eine Dimension der Schmutzteilechen einschränkt. Deshalb besteht bei manchen Motorherstellern die Neigung, auf Siebfilter mit einer Maschenweite von 0.06 - 0.1 mm überzugehen, wodurch die Grösse der durch das Filter hindurchgehenden Schmutzteilechen nach 2 Dimensionen begrenzt wird. Die wirksamste Ölreinigung aber scheint durch Auszentrifugieren erzielbar zu sein und zwar gerade hinsichtlich der gefährlichsten, nämlich der metallischen Fremdstoffe, die infolge ihrer grösseren Schwere besonders leicht ausgeschleudert werden können.

Die ideale Lösung für eine gründliche Ölreinigung wäre also die, ausser Siebfiltern im Ölz- und Ölrücklauf, die zum Zurückhalten von groben Schmutzstoffen, Spänen usw. immer erforderlich bleiben, noch eine hocheffiziente Zentrifuge am Motor direkt anzubringen. Eine praktisch einfachere zu verwirklichende und wahrscheinlich schon recht wirksame Öl säuberung würde man auch dadurch erzielen, dass man (wie es beim DB 600 G-Motor zufälliger Weise der Fall ist) einen geeigneten Teil des Triebwerks bewusst als Ölschleuder ausbildet; d.h. diese Forderung müsste bei jeder Neukonstruktion eines Motors von vornherein aufgestellt werden. Es genügt sicherlich, wenn durch diese Schleuder stets nur ein Teilstrom möglichst heissen Öles hindurchgeht. Das Aufnahmevermögen der Schleuder für Schlamm muss so gross sein, dass sie bis zur Teilüberholung nicht gereinigt zu werden braucht. Durch diese Massnahme würde man die Schlammabscheidung an betriebsgefährlichen Stellen, z.B. in den Ölbohrungen der Pleuellwelle wesentlich herabsetzen können.

6.) Rückstandsbildung im Verbrennungsraum.

Rückstandsbildungen im Verbrennungsraum, z.B. an den Ventiltellern und -schäften oder auf dem Pleuelboden, treten bei den heutigen Flugmotorenölen wegen ihrer Geringfügigkeit kaum mehr störend in Erscheinung. Soweit das Schmieröl für diese Rückstandsbildungen verantwortlich ist, bringen die halbsynthetischen Schmieröle auch hierin noch eine kleine Verbesserung.

Die Rückstandsbildung wird ganz wesentlich von dem Kraftstoff mitbestimmt, wie nachstehende Versuchsergebnisse in einem heiss-gekühlten Einzylinder-Motor beweisen; dabei wurden dasselbe Öl, ein rein synthetisches Produkt, aber verschiedene Kraftstoffe mit und ohne Bleitetraäthyl verwendet.

Versuch Nr.	1	2	3	4
Kraftstoff	Flugbenzin A2 (mit Blei)	Toluol (ohne Blei)	Spezial- benzol (ohne Blei)	Flugbenzin A2 (mit Blei)
Verbrennungs- Rückstand:				
auf Kolben mg/Std.	282	119	101	264
auf Einlassventil	18.4	3.8	6.8	21.8
auf Auslassventil	132.0	3.8	5.7	103.4
Gewichtsabnahme:				
des Einlassventils mg/Std.	-	3.6	5.3	13.4
des Auslassventils mg/Std.	-	4.9	7.3	35.0

Bei dem bleihaltigen Benzin beträgt der Verbrennungsrückstand das Mehrfache dessen, der bei den bleifreien Kraftstoffen auftritt. Ein sehr grosser Teil des Rückstandes besteht nachweisbar aus Blei- und Bromverbindungen, die ausserdem dadurch, dass sie die Metalle korrosiv angreifen, eine fester haftende Rückstandsschicht erzeugen.

Dieser nicht immer zu kontrollierende Kraftstoffeinfluss auf die Rückstandsbildung ist vielleicht mit ein Grund dafür, dass die laboratoriumsässigen Verkokungsverfahren z.B. nach Conradson und Ramsbottom in keine befriedigende Beziehung zur Rückstandsbildung eines Öles im Verbrennungsraum eines Motors zu bringen sind.

7.) Schwärzung der Triebwerksteile.

Manchmal weisen die den heissen Schmierstoffdämpfen ausgesetzten Triebwerksteile, wie Pleuel und Pleuelwelle, eine je nach den Temperaturen, die diese Teile besitzen, abgestufte bräunliche Lackierung auf; bei anderen Ölen bleiben Pleuelwelle und Pleuel dagegen blank.

Praktisch gesehen ist das Aussehen dieser Teile völlig belanglos.

Da es sich dabei aber um eine sehr augenfällige Erscheinung handelt, die in der Praxis gern zu einem Werturteil benutzt wird, sei besonders darauf hingewiesen, dass man aus einer leichten Bräunung oder Schwärzung der vorstehenden Triebwerksteile gar keine Schlussfolgerungen auf das Verhalten eines Öles an den Kolbenlauf-
flächen und Kolbenringen oder hinsichtlich Schlammabildung ziehen kann. Die Blankheit der Triebwerksteile ist z.B. bei manchen pflanzlichen Ölen auf ihre korrodierende Wirkung zurückzuführen, also eine grundsätzlich unerwünschte Erscheinung, die sich an Zylindern, Kolben und Lagern unangenehm auswirken kann. Im Gegensatz dazu ist eine leichte Bräunung eher ein Schutz gegen Rost und Korrosion bei stehendem Motor.

Wie schon am Anfang meiner Ausführungen betont und später näher erläutert wurde, sind praktisch brauchbare Erkenntnisse über Schmierstoffe bisher nur in mühseliger Arbeit und unter Aufwand grosser Kosten erzielbar. Ich möchte deshalb mit dem Wunsche schliessen, dass es unseren Chemikern und Ingenieuren in absehbarer Zeit gelingen möge, wenn auch nicht alles noch Unverständliche restlos zu erklären, so doch wenigstens schnellere und billigere Ölprüfmethoden von praktischer Brauchbarkeit zu schaffen.

02979

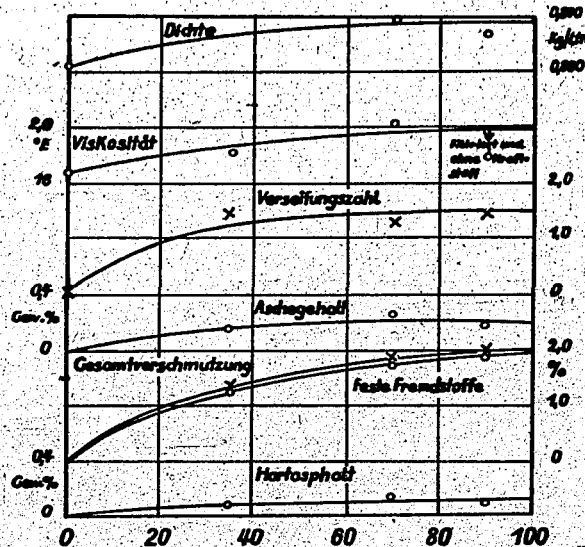


Abb.1: Ölalterung im Vollmotor (90-Stundenlauf), mit Nachtanken.

Motorart	Offe-Flugmotoren			Dichtungs-Flug	
	gross	gross	Klein	gross	
Kühlmittel	flüssig	Luft	Luft	flüssig	
Änderung der Viskosität	1	2	3	4	°E/50°C
Änderung der Dichte	1	2	3	4	0010 kg/ltr
Anstieg der Verseifungszahl	1	2	3	4	10 mg KOH/g
Asche	1	2	3	4	02 Gew.-%
Hartasphalt	1	2	3	4	02 Gew.-%
Feste Fremdstoffe	1	2	3	4	10 Gew.-%
Gesamtverschmutzung	1	2	3	4	2 Gew.-%

1 = gereinigtes Mineralöl, 2 = ungefaltetes Mineralöl, 3 = halbsynthetisches Öl.

Abb.2: Alterungsdaten verschiedener Ölgruppen in verschiedenen Motoren.

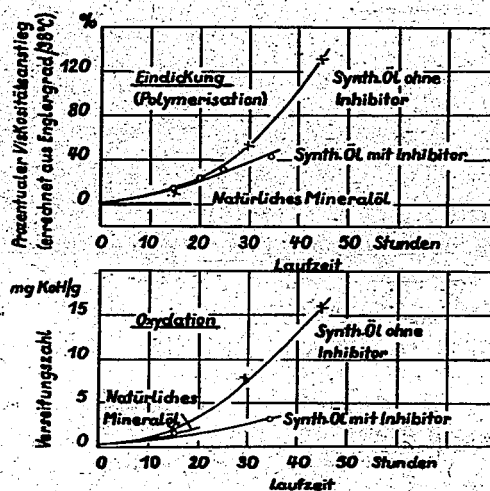


Abb. 3: Wirkung von Inhibitoren.
 (Nach Versuchen bei der I.G.-Farbenindustrie A.-G.,
 Techn. Prüfstand Oppau)

Laboratoriumsprüfverfahren für die Schmieröl-
alterung.

Von Dr. Mayer-Bugström, DVL, Inst. BS.

A. Grundsätzliches zur Laboratoriumsalterung in Prüfgeräten.

In Zahlentafel 1 sind die Versuchsbedingungen zusammen-
gestellt, welchen die Öle bei verschiedenen Alterungsver-
fahren unterworfen werden. Vergleicht man sie mit den Ver-
hältnissen, denen die Öle beim Motorbetrieb ausgesetzt sind,
so sind große Unterschiede festzustellen. Vor allem sind die
Alterungstemperaturen im Vergleich zu den am Kolben herr-
schenden Temperaturen meist viel niedriger. Reiner Sauerstoff

Zahlentafel 1

Versuchsbedingungen von Ölalterungsverfahren.

Verfahren	Angew. Menge		Vers. zeit	Temp.	Oxy- dations- mittel	Metall	Ermittelte Kennzahlen
	g	ccm	h	°C			
Verf.d. engl.Luftf. Minist. 1)2)	-	40	2x6	200	15 Luft/h	-	Erhöhung d.spes.Gew., der Viskosität und der Verkokung
Verf.d. franz.Luftf. Minist. 3)	-	200	120	140	Luftstrom über be- wegtem Öl	Kupfer- streifen	dass., dazu Zunahme des Asphaltgehaltes
Indiana- Verfahren 4)	-	300	wird ermitt.	172	10 Luft/h	-	Zeit bis zur Bildung von 0,1 u. 1 v.H. As- phalt u. bis zur Er- höhung d.Viskosität um 25 v.H.
Slight-Test 5)	10	-	2 1/2	200	Sauerstoff	-	Asphalt
Evers und Schmidt 6)	15,5	-	1 h 40 min	100	"	Schwer- metall- oxyde auf Silicagel	Sauerstoffverbrauch; Zunahme der Säurezahl, der Verseifungszahl, des Asphaltgehaltes
DVL-Schalen- Verf. 7)8)	10	-	4	285 (un Korn 275)	Luft	-	Flüchtigkeit; Asphalt im Restöl
WAC-Verf.9)	10x 3,5	-	5	288 (un Korn)	"	Al- Schale	Benzinunlösliches u. Asphalt (Chloroform- lösliches)

wirkt auf die Öle beim praktischen Betrieb natürlich nicht ein, und die Luft nicht in der Form, wie bei einigen Alterungsverfahren, die Luftblasen in dem erhitzten Öl aufsteigen lassen. Ferner kommt das Öl beim Betrieb nur mit Metallen in Berührung, während die Alterungsverfahren meist mit Glasgefäßen arbeiten. Die einzelnen Verfahren unterscheiden sich auch voneinander sehr wesentlich in allen Versuchsbedingungen, wenn auch ein gewisses Verhältnis besteht, wie zwischen Zeit und Temperatur. So zeigt sich in der Reihenfolge der mit Luft als Oxydationsmittel arbeitenden Verfahren: des französischen, des englischen und des DVL-(oder WAC-)Verfahrens: ansteigende Versuchstemperatur und abnehmende Versuchszeit. Der Sligh-Test wird zwar bei derselben Temperatur bestimmt; die auch das Air-Ministry-Verfahren anwendet, kann aber wegen des Arbeitens in Sauerstoff-Atmosphäre mit einer viel geringeren Versuchszeit auskommen. Beim Verfahren nach Evers und Schmidt ist sowohl die Oxydationszeit als auch die Temperatur noch geringer als beim Sligh-Test; dafür arbeitet das Verfahren aber nicht nur in Sauerstoff-Atmosphäre, sondern breitet die Öle auch noch in dünner Schicht auf einer Kontaksubstanz aus. Die Verfahren gleichen also die Schärfe der einzelnen Oxydationsbedingungen teilweise untereinander aus. Damit soll selbstverständlich nicht gesagt sein, daß die nach den einzelnen Verfahren gealterten Öle auch nur annähernd dieselben Eigenschaften zeigen müßten. Im Gegenteil wird immer wieder darauf hingewiesen, daß schon eine geringe Änderung der Versuchsbedingungen die Alterungsbeständigkeit erheblich verändern kann. Wie sich die vergleichende Bewertung von Ölen durch Veränderung der Versuchsbedingungen auch unter Anwendung desselben Verfahrens (Noack) verschieben kann, sei an einem Beispiel von Marder¹⁰⁾ gezeigt (s. Abb. 1). Hier sind die nach Alterung unter verschiedenen Prüfbedingungen gemessenen Asphalt- + Harzwerte der untersuchten Öle nebeneinander aufgetragen und die bei Alterung unter gleichen Bedingungen erhaltenen Harz- + Asphaltwerte

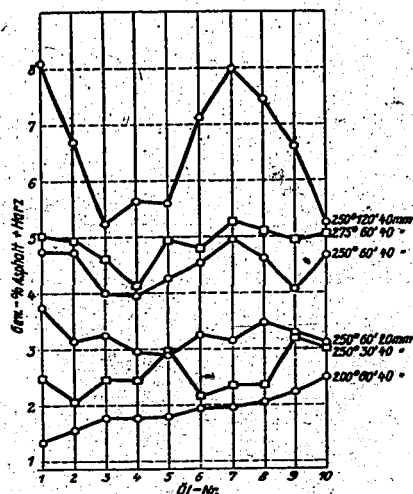


Abb.1: Asphalt- + Harz-
gehalt von 10 Ölen
nach Alterung un-
ter verschiedenen
Bedingungen
(nach Marder)

miteinander verbunden. Die sich dabei für die einzelnen Prüfweisen ergebenden Linien laufen in keinem Falle pa-
rallel oder proportional zueinander. Aber nicht nur die Al-
terungsbedingungen, sondern auch die weiteren Maßnahmen bei
der Aufarbeitung (Dauer der Abkühlung, Zeit zwischen der Be-
endigung des Alterungsvorganges und der Bestimmung der Alte-
rungsstoffe) sind von großem Einfluß auf die gefundene Verän-
derung des Öles, wie von Seufert¹¹⁾, ebenfalls an Hand des
Noack'schen Verfahrens, dargelegt wurde. Wie sich der Gehalt
an Alterungsstoffen nach verschieden langem Stehen der geal-
terten Öle ändern kann, zeigt Abb.2 (nach Seufert). Es ist
deshalb die Festlegung einer genauen Arbeitsweise notwendig.

Über die Wahl der Alterungstemperatur gehen die An-
sichten, wie schon aus der Zusammenstellung der wenigen Ver-
fahren in Zahlent.1 ersichtlich, um mehrere 100°C ausein-
ander. Suida¹²⁾ nähert die Bedingungen bei der Alterung
möglichst dem nachzunehmenden praktischen Fall an. Wo sich
die praktischen Verhältnisse nicht genau nachbilden lassen,
will Suida sie möglichst übertrieben nachgeahmt wissen. In

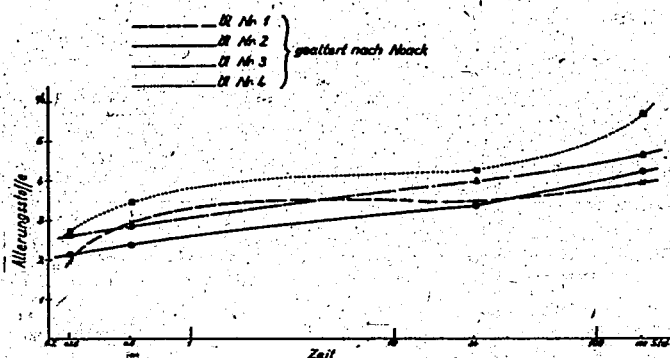


Abb. 2: Gehalt an Alterungsstoffen nach verschieden langen Stehen an der Luft (nach Seufert).

einer Entgegnung weist Baader ¹³⁾ darauf hin, daß eine solche Verschärfung der Bedingungen (Verwendung von Sauerstoff statt Luft, erhöhte Temperaturen) zu Fehlschlüssen führen kann. Besser als die Formulierung von Suida dürfte die von Marder ¹⁴⁾ gewählte sein, der zwar nicht übertriebene, aber doch die schärfsten im Motor gerade noch auftretenden Bedingungen bei der Alterung solcher Öle für angebracht hält, die den höchsten Anforderungen genügen müssen, wie Flugmotorenöle. Hierbei muß man allerdings in Kauf nehmen, daß manche unter diesen scharfen Bedingungen schlecht bewertete Öle sich unter den normal im Motor herrschenden Verhältnissen besser verhalten. Deshalb läßt Marder auch für den Fall, daß es sich nicht um Prüfung unter Ausnahmebedingungen handelt, die Möglichkeit offen, die bei der Laboratoriumsalterung einzuhaltenden Bedingungen den in der Praxis gefundenen anzugleichen und die Alterungsprüfung so durchzuführen, daß Art und Menge der Alterungsstoffe den im praktischen Betrieb gefundenen Werten entsprechen. Hierbei wird aber zu unterscheiden sein zwischen dem Gesamt-Umlauföl und

den örtlich überbeanspruchten Teilen desselben. Nach Kadmer ¹⁵⁾ sind Mineralöle nach künstlicher Alterung bei Temperaturen über 125°C im Gegensatz zu den praktisch beanspruchten Ölen nicht mehr regenerierbar, da sie durch die ganze Masse hindurch chemisch verändert erscheinen, während es bei dem praktischen Gebrauch nur zu örtlicher Überbeanspruchung kommt, wie in den Kolbenringnuten. Demgemäß geben fast alle Alterungsverfahren einen zu hohen Gehalt an Alterungsstoffen, wenn man das Gesamt-Umlauföl zum Vergleich heranzieht, während andererseits nur die Verfahren zum Vergleich mit der örtlichen Überbeanspruchung dienen können, die bei ähnlich hohen Temperaturen arbeiten. Zur genaueren Charakterisierung des Alterungsverhaltens der Öle wäre die Feststellung seiner Abhängigkeit von der Temperatur für jedes einzelne erwünscht, ein Verfahren, auf das in verschiedenen Arbeiten (v. Philippovich ¹⁶⁾, Marder ¹⁴⁾) bereits hingewiesen wurde, das sich aber wegen seiner Umständlichkeit noch nicht durchgesetzt hat.

Will man die Verfahren, die zur Messung der Ölveränderung dienen, nach ihrer Beziehung zum Motorverhalten gruppieren, so dürfte folgende von Philippovich ¹⁶⁾ gegebene Einteilung zweckmäßig sein; sie ist in dieser Arbeit durchgeführt:

Motorverhalten

Kolbenringfestsitzen

Verschlammung im Kurbelgehäuse

Rückstandsbildung auf Kolben und Ventilen

Laboratoriumsversuche

Oxydation (Asphaltneubildung u. Flüchtigkeitsmessung, Suspension, Asphaltlöslichkeit)

Oxydationsverfahren und Suspensionsfähigkeit, aber auch Verkokungsverfahren

Verkokungsverfahren (und Reaktionsfähigkeit bzw. Haftfestigkeit)

B. Oxydative Veränderung und Ringstecken.

Das Ringstecken ist wohl in erster Linie, wenigstens beim Flugmotor, durch Veränderungsprodukte des Öles hervorgerufen, nicht aber des Kraftstoffs. Das Öl gelangt aus dem Kurbelgehäuse in den Verbrennungsraum, wird dort oxydiert und führt die Oxydationsprodukte teils gelöst, teils im Öl aufgeschlämmt, den Kolbenringnuten zu, wo sie allmählich Ablagerungen bilden. ¹⁶⁾ Dieser Auffassung entspricht auch, daß durch erhöhte Frischölauführung zu den Nuten (verstärkten Verbrauch) das Ringstecken verzögert wird.

Daß die Oxydation vorwiegend im Verbrennungsraum stattfindet, geht u.a. aus den großen Mengen Sauerstoff, die in den Ölkohlen des Verbrennungsraumes gefunden wurden (s. Zahlentafel 2 nach Versuchen der DVL), hervor. Auch Weiß u. Maillard ¹⁹⁾ sind der Ansicht, daß die Temperatur im Kurbelgehäuse zu niedrig und die Atmosphäre zu arm an O_2 ist, als daß eine nennenswerte Oxydation dort stattfinden könnte. Im Verbrennungsraum dagegen tritt - neben thermischer Zersetzung - eine starke Oxydation ein; unvollständige Verbrennung führt zur Bildung harter Kohleabscheidungen. Die Wanderung des anoxydierten Öles vom Verbrennungsraum zu den Ringnuten läßt sich gut an den bei DVL-Versuchen ¹⁷⁾ in den Ringnuten gefundenen Bleimengen (bei Verbrennung bleihaltiger Kraftstoffe) verfolgen. Diese zeigen von oben nach unten abnehmende Bleimengen. Auch das Umlauföl enthält Blei, das offenbar mit dem Restöl dorthin gelangt ist.

Es ist die Frage, wie weit an dem Vorgang des Ringsteckens Veränderungsprodukte des Kraftstoffes beteiligt sind. Weiß und Maillard haben auch diese Frage untersucht und nachgewiesen, daß unvollständige Verbrennungsprodukte des Kraftstoffes im Öl gelöst sind, und zwar ungesättigte Verbindungen und Säuren, wie Ameisen und Essigsäure, sowie Phenole und Aldehyde. Diese Stoffe beteiligen sich zwar infolge ihrer Verharzungseigung auch am Ringstecken, sollen aber doch nicht die Hauptsache desselben bilden,

Zahlentafel 2

Zusammensetzung von Ölkohlen aus dem Verbrennungsraum, dem Kolbeninnern und den Ringnuten.

	H vH	C vH	O vH	Asche vH	S vH
1. Kolbenboden (bleifreie Läufe)	2,52 2,5 2,5 1,7 3,2	70,0 73,6 75,5 71,3 75,4	27,48 23,9 22,0 27,0 21,4	8,42 4,9 6,9 4,6 14,04	0,0 0,8 0,0 0,0 —
2. Kolben- inneres	4,60	77,8	17,77	8,83	
3. Umlauföl (zentrifu- giert)	4,47 2,6	77,8 82,8	17,73 14,55	40,94 3,1	
4. Ringnuten					
Nut 1	3,35	75,51	21,14	8,96	
2	3,61	75,29	21,10	6,51	
3	3,59	75,03	21,38	14,27	
4	4,38	75,31	20,31	11,14	

insbesondere da sie sich nur zum geringsten Teil an der Bildung unlöslicher Stoffe beteiligen. Versuche mit Wasserstoff, Leuchtgas und Benzin als Treibstoffen zeigten, daß die Abscheidungen größtenteils ihren Ursprung in der Oxydation hatten und nicht in Produkten einer unvollständigen Kraftstoffverbrennung. Allerdings gibt es auch Stimmen, die dem Kraftstoff einen wesentlich größeren Anteil an der Rückstandsbildung zuerkennen. So meint Kadmer,²⁰⁾²¹⁾ daß diese überwiegend der unvollständigen Kraftstoffverbrennung entspringe und der gebildete Asphalt und Ruß außerdem vom C:H-Verhältnis des Kraftstoffes abhängen.

Bei der Alterungsprüfung im Laboratorium ist der Kraftstoff ausgeschaltet. Es wird aber notwendig sein, um die Neigung des Öles zum Ringstecken zu prüfen, die sonstigen Versuchsbedingungen so zu wählen, daß sie möglichst den am Kolbenring herrschenden Verhältnissen entsprechen. Als Maß der zu einem Ringstecken führenden Veränderung des Öles unter diesen Bedingungen kommt wohl vor allem die Asphaltbildung in Betracht. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß im Laboratorium durch Fällung mit Benzin der Gesamtasphalt bestimmt wird, also auch der lösliche. Für das Ringstecken ist aber nur der Asphalt von Bedeutung, der im Kolbenring nicht gelöst oder suspendiert bleibt. Das Asphaltlösungsvermögen der Öle ist deshalb von Wichtigkeit, und zwar nicht nur bei einer Temperatur, sondern bei mehreren, da das Öl ja auf seinem Weg vom Verbrennungsraum zum Kurbelgehäuse seine Temperatur verringert und daher je nach der Temperaturabhängigkeit des Asphaltlösungsvermögens größere oder geringere Mengen Asphalt abscheiden kann. Versuche über die Asphaltlöslichkeit wurden in der DVL angestellt, allerdings bisher nur an Frischölen; wie aus Abb. 2 zu ersehen, tritt erst ab 100°C bei den meisten Ölen eine nennenswerte Lösung von Asphalt auf, die dann aber bis zu der höchsten gemessenen Temperatur von 250°C ziemlich steil ansteigt.¹⁶⁾ Ähnliches gilt von der

Ölkohlesuspension. Daß die Öle sehr verschiedenes Suspensionsvermögen haben, steht fest. Insbesondere in den Gruppen der fetten, gefetteten und rein mineralischen Öle zeigen sich hierin Unterschiede. Auch hier kommt es darauf an,

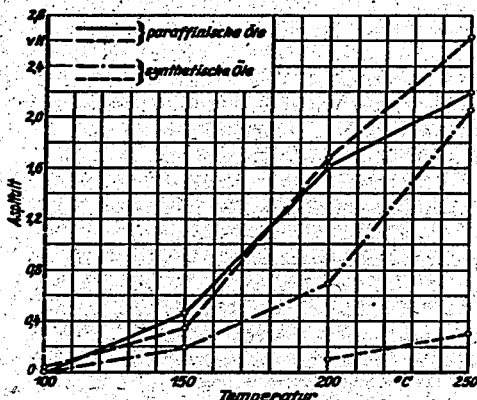


Abb. 3: Asphaltlöslichkeit in Frischölen.

ob die Suspension in ihrem Zustand am Kolbenring beständig ist. Auch die Flüchtigkeit ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, da von ihr die Konzentration der gelösten Alterungsprodukte abhängig ist. Im allgemeinen kann man sagen, daß weniger flüchtige, ebenso wie auch weniger viskose Öle unter sonst gleichen Verhältnissen geringere Neigung zum Ringstecken haben. 16) Einmal gebildete Rückstände in den Nuten können durch mechanische oder chemische Einflüsse wieder verringert werden; letztere dürften weniger wirkungsvoll sein, da die Reaktionsfähigkeit der Kohle hier eine geringere Rolle spielt als an Stellen, wo die vorbeistreichende Luft einen höheren Sauerstoffgehalt hat. 17)

Unter den Alterungsverfahren für Schmieröle gibt es eine Reihe, die von einem Temperaturgebiet von 275-300°C arbeiten, in welchem sich auch das Öl an den Ringen befindet, die also in diesem Zusammenhang zu nennen sind.

Das Verfahren der Wright Aeronautical Corporation (WAC)⁹⁾ verwendet als Oxydationsgefäß eine Aluminiumschale, die auf 315°C erhitzt wird. In diese werden 10mal je 35ccm Öl in Abständen von je 1/2 Std. hineinpipettiert. Das Öl kommt dabei auf Temperaturen über 288°C (unkorr., daher wohl noch höher). Nach 5 Std. Versuchszeit wird das Benzin-unlösliche bestimmt, in diesem das Chloroformlösliche. Offenbar erwiesen sich die genannten Versuchsbedingungen noch als zu milde, denn nach neueren Mitteilungen soll die Versuchstemperatur auf 338°, die Zeit auf 742 Std. erhöht werden, wodurch bessere Unterschiede zwischen den stabilen Ölen erhalten wurden. Beim DVL-Verfahren findet die Alterung in Glasschalen statt. 10g Öl wurden in dünner Schicht ausgebreitet und 4 Std. einer Temperatur von ca. 285°C (im Öl) ausgesetzt. Die Flüchtigkeit (Gewichtsverlust) und die in Benzin unlöslichen, in Benzol löslichen Oxydationsprodukte werden bestimmt. Das Verfahren eignet sich (wie wahrscheinlich auch das der WAC) wegen seiner kurzen Oxydationszeit zur Aufnahme von Temperaturkurven und wurde auch hierzu verwendet. Ein weiteres DVL-Verfahren, über das demnächst von A.v. Philippovich berichtet wird, hat als Grundgedanken die Darstellung des Ringsteckens, soweit sie sich laboratoriumsmäßig einfach (ohne Schmieröl- und Kraftstoffverbrennung) bewerkstelligen läßt. Hierbei wird das Öl in einer Aluminiumschale auf 300°C erhitzt, während darin eine Segmentscheibe mit geringem Spiel gegen den Schalenboden bewegt wird. Das Öl verdickt sich allmählich und übt einen wachsenden Widerstand auf die Scheibe aus, der durch einen Ausschlag im Drehmomentschreiber angezeigt wird. Dieses Verfahren ergab in der Hauptsache, daß die Konsistenz des Asphalts nicht ausreichend ist, um Unterschiede im Verhalten der Öle zu begründen. Weiß und Maillard²²⁾ haben ihre Versuchstemperatur ebenfalls auf 300°C festgesetzt. Bei dieser Temperatur entsprach der chloroformunlösliche Teil der Leichtbenzinfällung dem bei praktischen Versuchen gefundenen. Das Öl wird

unter Luftdurchblasen in einem Kolben erhitzt, die flüchtigen Oxydationsprodukte werden aufgefangen und auf Säure untersucht. Mit steigenden Dichten der Öle fiel dieser Säuregehalt, während die Asphaltmenge zunahm. Die Sauerstoffaufnahme war, abgesehen von einer anfänglichen Verzögerung, der Zeit proportional und betrug über 50% der angewandten Menge. Vermehrte Luftzufuhr oder erhöhte Versuchsdauer vermehrte die Abscheidung unlöslicher Produkte, ohne deren Charakter zu verändern. Fette und gefettete Öle zeigten schlechtes Verhalten. Vergleiche mit motorischen Ergebnissen bringen die Verfasser nicht. Daß sie die Versuchsbedingungen noch nicht als ideale ansehen, geht daraus hervor, daß eine weitere Annäherung derselben an die der Praxis in einem noch zu entwickelnden Versuchsmotor für notwendig gehalten wird.

C. Oxydative Veränderung und Verschlammung.

Als Ölschlamm sollen hier Gemenge aus Öl und in Öl abgesetzten Stoffen verstanden werden, soweit diese nicht feste Ablagerungen bilden.

Über die Zusammensetzung von Ölschlamm gibt Zahlentafel 3 Auskunft. 16)

Bezeichnung Entnahme Betriebszeit Motor	A Zentrifuge 200 Std. BMW 6	B Zentrifuge 94 Std. BMW 132	C Zentrifuge (Labor.) 35 Std. SAM 22 B, (JPEE)
Wasser %	1,5	3,0	0,5
Benzin-Lösl. %	64,8	84,9	77,6
Chloroform-Lösl. %	4,2	1,3	11,4
	(2,6% Asph. vom CHCl ₃ -Lösl.) (aschefr.)	(0,8% Asph. vom CHCl ₃ -Lösl.) (aschefr.)	(2,3% Asph. vom CHCl ₃ -Lösl.) (aschefr.)
Kohlenstoff %	84,6	83,1	83,2
Wasserstoff %	11,8	8,5	11,1
Sauerstoff + Stickst. %	3,4	7,4	5,65
Asche %	0,2	1,0	0,05
Chloroform-Unlösl. %	29,5	10,8	10,5
	(aschefr.)	(aschefr.)	(aschefr.)
Kohlenstoff %	38,9	51,2	69,6
Wasserstoff %	1,9	2,1	3,1
Sauerstoff + Stickst. %	15,6	24,3	3,1
Asche %	43,6	22,4	1,2
Zusammensetzung d. Asche			
SiO ₂ etwa %	1,3	1,1	0,1
Fe " %	18,5	14,6	1,0
Al " %	6,5	1,1	0,1
Pb " %	17,3	5,6	0

Zahlent. 3: Zusammensetzung von Ölschlamm.

Die Zusammensetzung der festen Kohleteilchen im Schlamm und im Öl ist ähnlich wie die der Ölkohle, insbesondere erreicht der Sauerstoffgehalt der Ölkohleteilchen aus dem Schlamm den gleichen Betrag wie in der Ölkohle vom Kolbenboden, ²⁴⁾ während Ölkohlen von der Unterseite des Kolbens um 4 bis 5 v.H. weniger Sauerstoff haben. ⁸⁾ Ist hiernach die Herkunft der festen Schlamnteilchen aus dem Kurbelgehäuse schon nicht sehr wahrscheinlich, so lassen auch die im Kurbelgehäuse herrschenden Bedingungen die Bildung von Asphaltprodukten kaum zu, wie auch durch Laboratoriumsversuche der DVI ²⁵⁾ gezeigt wurde, in denen das Öl in einem nur aus Metallen verschiedener Art bestehenden Apparat umgepumpt und fein zerstäubt wurde, ohne bei 198°C in Luftatmosphäre innerhalb von 50 Std. Asphalt zu bilden. Kadmer nimmt auch für die Schlammbildung, wie für die Bildung kohligter Rückstände (s.o.) eine weitgehende Beteiligung des Kraftstoffes durch unvollkommene Verbrennung - Bildung saurer, verseifbarer und weiterhin asphaltartiger Produkte - an. ²¹⁾

Für die motorische Bildung von Ölschlamm bildet das Eindringen von Wasser in das Schmieröl einen wichtigen Faktor. Mit zunehmender Alterung des Schmieröles wächst seine Neigung zur Emulsionsbildung und so kommt es zur Bildung außerordentlich beständiger Wasser-in-Öl-Emulsionen. Andrews ²⁶⁾ hat hierauf ein Alterungsverfahren aufgebaut, bei dem das Öl nach Alterung (150°C, Luftatmosphäre, Kupferkatalysator) auf seine Emulgierbarkeit mit Wasser geprüft und hieraus ein Schluß auf den Alterungsgrad gezogen wird. Die Schmieröloxydationsverfahren verzichten sonst üblicherweise auf die Einbeziehung von Feuchtigkeit in die Versuchsbedingungen, wodurch sich ein gewisser Gegensatz zur Praxis ergibt.

Die schon eingangs betonte Zunahme der Viskosität mit fortschreitender Bildung von Oxydationsprodukten wird von verschiedenen Verfahren als Kennzeichen der Alterung herangezogen, so von dem Verfahren des englischen Luft-

fahrtministeriums und - für sehr oxydationsbeständige Öle - vom Indiana-Verfahren. Evans und Kelman²⁷⁾ erhitzen die Öle in Petrischalen in Gegenwart von Eisen auf 180°C. Sie gehen dabei von der Annahme aus, daß die Alterung sich an den heißen Zylinderwänden vollzieht. Die bei diesem Alterungstest auftretenden Viskositätsänderungen sollen in enger Beziehung zum Verhalten im Motor stehen. Jedenfalls erhalten sie besser übereinstimmende Werte, als wenn das Öl unter Luftdurchblasen gealtert wird - wenigstens für Öle, die Metallseifen enthalten. Damerell²⁸⁾ beschreibt ein Verfahren der Viskositätsmessung in der Glasschale selbst, die zur Oxydation des Öles dient (z.B. 2,5 Std., 150°C). Das Verfahren beruht auf der Messung der Zeit, die das Öl beim Kippen der Schale braucht, um von einer Seite auf die andere zu fließen.

Abgesehen von vereinzelten Fällen, wie dem letztgenannten, wird aber auf die Bestimmung der Viskosität von den Alterungsverfahren meist weniger Gewicht gelegt als auf die direkte Erfassung der Alterungsstoffe, da die Erhöhung der Viskosität - wie auch der Dichte - ja nur eine Folgeerscheinung der Bildung dieser Stoffe ist und eine einfache Abhängigkeit nicht besteht. Die Bestimmung der Viskosität allein erfolgt daher nur als Notbehelf (wie beim Indiana-Verfahren, wenn keine Alterungsstoffe zu erfassen sind) sonst aber in Verbindung mit solchen Verfahren, die die Alterungsstoffe zu erfassen trachten, sei es durch direkte Isolierung mit Lösungsmitteln oder vorherige Bindung an Adsorptionsmittel wie bei Suida, Pöll u.a.

Wie groß der Einfluß der Temperatur auf die Bildung derartiger Alterungsstoffe ist, geht aus Versuchen von Mardles und Ramsbottom²⁹⁾ hervor, die fanden, daß Mineralöle zur Bildung von 1% Schlamm ("Sludge") bei 200°C im allgemeinen nicht weniger als 24 Stunden brauchen, bei 225°C dagegen nur wenige Stunden und bei 250°C nur wenige Minuten. Dieser schnellen Steigerung der Schlammbildung

entspricht auch das Anwachsen der Sauerstoffaufnahme mit zunehmender Temperatur; so brauchte ein Öl zur Aufnahme von 1 mg Sauerstoff je g Öl bei 110°C 300 Stunden, bei 125°C 48 Stunden, bei 200°C aber nur wenige Minuten. Ähnliche Verhältnisse finden die Autoren beim Oxydieren bis zu festen Substanzen. Sie können jedoch keine Beziehung zwischen Sauerstoffaufnahme einerseits, Schlamm- und Viskositätsbildung, Säurebildung usw. andererseits auffinden und fordern deshalb die Ergänzung von Alterungsverfahren, die auf Messung der Sauerstoffaufnahme beruhen, durch Bestimmung der Alterungsstoffe. Zu einem ähnlichen Schluß gelangte die DVL bei einer Untersuchung des Evers- und Schmidt-Verfahrens.³⁰⁾

Den erwähnten großen Einfluß der Temperaturerhöhung auf die Bildung der Alterungsstoffe scheint man allerdings nicht ohne weiteres verallgemeinern zu dürfen. So fand Marder¹⁰⁾ für die durch Steigerung der Versuchstemperatur von 250°C auf 275°C eintretende Erhöhung der Alterungswerte nur einen geringen Bruchteil der bei der Temperaturänderung von 200 auf 250°C gemessenen Zunahme (s. Abb. 1); er schließt daraus, daß die von van t'Hoff geforderte logarithmische Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit für die bei der Alterung von Ölen stattfindenden Umsetzungen keine Gültigkeit besitzt.

In dem Bereich um 250°C liegen die Temperaturen, bei denen lebhafteste Zersetzung der Öle unter auch äußerlich erkennbaren Zersetzungserscheinungen einsetzt (Mardless u. Ramsbottom,²⁹⁾ Suida³¹⁾ u. a.). Die über diesem Temperaturbereich arbeitenden Verfahren wurden bereits im Zusammenhang mit dem Kolbenringstecken erwähnt. Die darunter arbeitenden wollen mehr die Neigung zur Verschlamung feststellen, suchen aber doch auch nach Beziehungen zum Ringstecken.

Auch Barnard³²⁾ findet z. B. bei den Versuchen mit seinem Indiana-Test nur allgemeine Hinweise auf das Ring-

stecken und kommt zu dem Schluß, daß dieses noch von anderen Öleigenschaften als der Verschlammungsneigung abhängen müsse. Dagegen findet er eine gute Übereinstimmung der im Motor und bei den Indiana-Versuchen gefundenen Verschlammungsneigung, wie auch der Viskositätszunahme der Öle. Nach Ramaija und Waldman ³³⁾ kennzeichnet das Indiana-Verfahren das Verhalten des Öles im Motor ziemlich genau, während das Air Ministry-Verfahren und der Sligh-Test in dieser Hinsicht unbefriedigend sind. Jostes und Hann ³⁴⁾ machten zwar keine motorischen Vergleichsversuche, finden den Indiana-Test aber brauchbar zur vergleichenden Prüfung und Klassifizierung der Schmieröle. Den Fehler der meisten üblichen Alterungsverfahren sehen sie darin, daß diese die Alterungszeit willkürlich und für alle untersuchten Öle gleich festlegen, ohne zu bedenken, daß die Alterung eines Öles keine lineare Funktion der Zeit ist. Dies führt zu Schmierölen verschiedener Alterungszustände und bringt große Abhängigkeit von den Versuchsbedingungen mit sich. Diesen Nachteil vermeidet man, wenn man als Maßstab die Alterungszeiten benützt, die erforderlich sind, um bei allen untersuchten Ölen den gleichen oder zumindest einen ähnlichen Alterungszustand zu erreichen. Dieser Forderung entspricht der Indiana-Test, für den eine modifizierte Ausführungsform (mit nur 20 ccm Ausgangsöl) beschrieben wird. Die hiernach erfolgte Prüfung von 10 Ölen ergab weitgehende Unabhängigkeit der Bewertung von den äußeren Bedingungen (Temperatur und Luftmenge).

Diese Vorteile des Indiana-Verfahrens können allerdings nicht bei Ölen mit sehr geringer Neigung zur Asphaltbildung in Erscheinung treten, wie für manche synthetischen Öle und auch Flugmotorenöle auf Erdölbasis. Mehrere derartige Öle gaben bei den DVL-Versuchen auch nach 400 Stunden noch keinen Asphalt. Ähnliches teilen Jostes und Henn, sowie auch Kadmer ³⁵⁾ betreffs der synthetischen Öle mit, wobei Kadmer noch auf die starke Eindickung, sowie starke Bildung von sauren und verseifbaren Produkten des

synthetischen Öles hinweist, das sich damit im Gegensatz zu anderen spezifisch leichten Ölen befindet. Daß die starke Verringerung der Ölmenge durch die fortwährende Probenahme besonders bei beständigen Ölen ein Nachteil des Indiana-Verfahrens ist, sei ebenfalls bemerkt. Dieser Nachteil könnte aber vermieden werden, wenn es gelänge, den Eintritt der Asphaltbildung durch optische Verfahren an einer geringen Ölmenge festzustellen. Es sei in diesem Zusammenhang auf ein Verfahren von Weiland ³⁶⁾ hingewiesen, der die Färbung eines gealterten (154°C , 5 Min. Luftdurchleiten) Öles mißt und neben guter Reproduzierbarkeit auch Übereinstimmung mit dem Indiana-Test festgestellt hat. Nach Weiland ist die Ölalterung innerhalb gewisser Grenzen eine Exponentialfunktion der Temperatur.

Die größte Verbreitung neben dem Indiana-Verfahren dürfte das englische (Air Ministry-)Verfahren ¹⁾ haben. Die Anforderungen dieses Verfahrens betr. der Verkokungszahl nach Ramsbottom (höchstens 1 für die Verkokungszahl des Frischöles, höchstens 0,70 für die Zunahme der Verkokungszahl) dürften nach Versuchen der DVL ²⁵⁾ etwas zu scharf sein, während die verlangte Viskositätszunahme (höchstens 100%) von den üblichen Flugmotorenölen, ausgenommen gefetteten und synthetischen, erfüllt werden kann. Das Verfahren wird auch in der Abänderung der I.G. ausgeführt, wobei ein Vergleichsversuch in Stickstoffatmosphäre gemacht und die Verdickung des mit Luft gealterten Öles auf diesen Vergleichsversuch bezogen wird, um den Einfluß des Verdampfungsverlustes auszuschalten. Ein Beispiel für die Bewertung des Air-Ministry-Tests sind die Versuche von Mielnikowa und Dziejowski, ³⁷⁾ die gleiche Bewertung der Öle beim praktischen Verhalten in einem Jupiter-Flugmotor und nach dem Air Ministry-Verfahren für eine allerdings nur geringe Zahl von Ölen erhielten. Redgrove ³⁸⁾ dagegen findet, daß man ein Öl nach dem Indiana- besser als nach dem Air-Ministry-Verfahren beurteilen kann. Auld ³⁹⁾ empfiehlt, die Air-Ministry-Oxydation bei höheren Temperaturen vorzunehmen (250 statt 200°C).

Die gleiche Tendenz des Übergehens zu höheren Temperaturen gilt auch für die Verfahren, die Damian im Auftrage des französischen Luftfahrtministeriums ausarbeitete. Es sei hier nur das Verfahren erwähnt, nach dem die Öle 120 Stunden bei 140°C einer Schaukelbewegung in schwach bewegter Luft ausgesetzt werden, wobei sie über Kupferstreifen fließen.³⁾ Die Kupferstreifen wurden von Damian in der Absicht eingefügt, die Schärfe der Auswahl möglichst der geforderten Betriebssicherheit anzupassen.⁴⁰⁾ Tatsächlich beansprucht das französische Alterungsverfahren - nach DVL-Versuchen²⁵⁾ - die Öle stärker als das englische. Von den Feststellungen Damians⁴¹⁾, daß Öle mit motorisch gutem Verhalten bei der Alterung in Kupfergefäßen weniger als 0,2 v.H. Abscheidungen und eine Erhöhung der Verkokungszahl nach Conradson von weniger als 200 v.H. geben, wurde nur die erstere durch DVL-Versuche bestätigt; dagegen betrug die Zunahme des Conradsonwertes durch die Alterung bei vielen sonst guten Ölen mehr als 200 v.H. Daß das Verfahren Damians in der genannten Form nicht als gut befunden wurde, geht aus dem Urteil Martinets⁴²⁾ hervor, der meint, daß die danach gefundenen Werte nicht mit den bei der Zylinderschmierung erhaltenen übereinstimmen. Ein weiteres Verfahren Damians soll noch im Zusammenhang mit den Verkokungsverfahren genannt werden.

Vergleiche dieser und anderer Ölalterungsverfahren untereinander wurden verschiedentlich vorgenommen, meist mit dem Ergebnis, daß eine sehr geringe oder keine Übereinstimmung besteht. Zu berücksichtigen ist hierbei, welche Eigenschaftsänderungen miteinander verglichen werden und für welche Gruppe von Ölen der Vergleich gilt. Nach Versuchen der DVL²⁵⁾ wurde hierbei eine bessere Übereinstimmung der Bewertung gefunden, wenn man die Einzelbestimmungen eines Verfahrens (Viskositäts- und Verkokungszahlzunahme) miteinander vergleicht, als wenn gleiche Einzelbestimmungen verschiedener Verfahren verglichen werden (Viskositätszunahme beim Air-Ministry- und Indiana-Verfahren). Ähnliche Versuche wurden mit Transformatorenölen von

Martinet⁴³⁾ gemacht, der wohl eine Unterscheidung zwischen schlechten und den Anforderungen entsprechenden Ölen, jedoch für letztere nicht dieselbe Reihenfolge nach den verschiedenen Verfahren erhielt, und für Autoöle von Noack⁴⁴⁾, der zu verschiedenartigen Klassifizierungen der Öle kam, auch wenn er die gleichen Kennzahlen der Öle ermittelte, die er nach verschiedenen Verfahren gealtert hatte (darunter auch einem eigenen, das gute Übereinstimmung mit Prüfstandsversuchen gab). Redgrove³⁸⁾ möchte auf Grund seiner Versuche die Alterungsverfahren nicht zur Beurteilung des Verhaltens im Motor heranziehen, sondern nur als Hinweis für die Herkunft bzw. Raffination neuer Öle benutzen. Trotz dieser teilweise sehr ablehnenden Urteile werden aber nach wie vor die Alterungsverfahren auch zur Beurteilung der Verschleißneigung gebraucht, einerseits um wenigstens Anhaltspunkte hierfür zu bekommen, andererseits um genügend Versuchsmaterial für die weitere Auswahl der heranzuziehenden Verfahren und ihre Verbesserung zu erhalten.

D. Oxydative Veränderung und Rückstandsbildung.

Unter dem Einfluß der hohen Temperatur und des Sauerstoffs im Motor verschwindet ein Teil des Öles durch Verdampfung und Verbrennung. Im zurückbleibenden Öl bilden sich unlösliche Oxydationsprodukte, für die die Sammelbezeichnungen "Ölkohle" und "Asphalt" gebräuchlich sind; insoweit diese Oxydationsprodukte sich vom Öl trennen und auf Maschinenteilen mehr oder minder fest haftende Beläge bilden, werden sie als "Rückstände" bezeichnet.

Als Bildungswert dieser Rückstände kommt insbesondere der Verbrennungsraum in Betracht, da dort der höchste Sauerstoffgehalt und die höchsten Temperaturen herrschen; Kolbenring und Kurbelgehäuse (Unterseite der Kolben) kommen erst in zweiter Linie in Frage.⁸⁾¹⁹⁾ Auch der Kraftstoff kann, falls seine Beschaffenheit oder die Bedingungen bei der Verbrennung es begünstigen, zur Kohlebildung beitragen; doch geht der überwiegende Teil der Meinungen über den Ursprung

der Kohle dahin, daß die Beteiligung des Kraftstoffes im Verhältnis zu der des Öles hieran unbedeutend ist.⁸⁾

Zur Messung der Rückstandsbildung dienen allgemein die Verkokungsverfahren. Erwähnt sei auch ein Vorschlag von Bahlke u. Mitarb.⁴⁵⁾ zur Beurteilung der Rückstandsbildung die Flüchtigkeit (90% - Punkt bei 1 mm Hg) heranzuziehen; geringe Flüchtigkeit begünstigt nach ihrer Ansicht die Rückstandsbildung. Ebenso besteht zwischen Viskosität und Rückstandsbildung eine gewisse Beziehung, die sehr zähflüssige Mineral-schmieröle, wie Brightstocks und Zylinderöle, viel höhere Verkokungswerte als leichtflüssige Öle haben.⁴⁶⁾ Auf den Einfluß der Struktur der Öle auf die Verkokungsneigung sei ebenfalls hingewiesen; so haben bei gleicher Zähigkeit paraffinbasierte Öle (soweit sie nicht durch Lösungsmittelraffination an Isoparaffinen angereichert wurden) höhere Verkokungszahlen als asphaltbasierte. Von besonderer Bedeutung für die Rückstandsbildung ist aber die Reaktionsfähigkeit der entstandenen Ölkohle. Auch hierbei ist die Struktur der Öle von Einfluß, wie Versuche in der DVL bewiesen.¹⁶⁾ Diese Versuche, welche den Abbrand der Ölkohle bei verschiedenen Temperaturen feststellten, zeigten zunehmende Reaktionsfähigkeit der Ölkohle nach folgender Reihenfolge der zugehörigen Öle: Paraffinische, gefettete, naphthenische und fette Öle (s. Abb. 4).

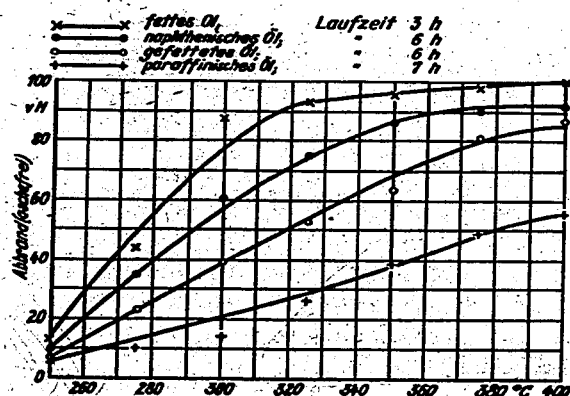


Abb. 4: Reaktionsfähigkeit von Ölkohlen.

Neben der Struktur des Schmieröles sind noch andere Faktoren auf die Reaktionsfähigkeit von Einfluß, wie die Zusammensetzung des Kraftstoffes, die Betriebsbedingungen (Temperatur, Laufzeit) und die Motorenbauart.

Von der Reaktionsfähigkeit und der Haftfestigkeit hängt es ab, wieweit einmal gebildete Ölkohle durch Verbrennen oder Abblättern wieder verschwindet. Die Menge der gebildeten Ölkohle wird also bestimmt durch die Temperaturabhängigkeit der Ölkohlebildung einerseits, der Reaktionsfähigkeit und Haftfestigkeit andererseits. ¹⁶⁾

Man kann die Verkokungsverfahren nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen. Am zweckmäßigsten ist es vielleicht, zwischen solchen Verfahren zu unterscheiden, die unter Luftabschluß bzw. vermindertem Luftzutritt und solchen, die unter ungehindertem Luftzutritt arbeiten. Als Vorstufe zu den erstgenannten wären die Verfahren zu erwähnen, die das Öl nicht bis zur Kohlebildung, immerhin aber so hoch erhitzen, daß es zum Cracken kommt und Destillationsprodukte erhalten werden, die untersucht werden können. Hierher gehört der von Koetschau ⁴⁷⁾ angegebene Cracktest (zweistündiges Erhitzen von 300g Öl auf 380°C in einer Glasretorte, Untersuchung von Rückstand und Destillat), ferner Versuche von Maillard, ⁴⁸⁾ der für mineralische Öle Zersetzungstemperaturen (unter Atmosphärendruck) von 380-400°C, für Rizinusöl 250°C fand, und ein Verfahren der DVL zur Ermittlung der thermischen Beständigkeit von Flugmotorenölen. ⁴⁹⁾ Nach letzterem wird das in einem Glaskolben befindliche Öl (150g) in einer Stickstoffatmosphäre 6 Stunden auf 400°C erhitzt und dann auf Veränderung seiner Eigenschaften (spez. Gewicht, Viskosität, Bromzahl, Molekulargewicht) untersucht. Hierbei hatte ein naphthen-basisches Öl die größte thermische Beständigkeit, die weiter in der Reihenfolge gefettet - paraffinbasisch - synthetisch abnahm. Bemerkenswert hierbei war, daß die synthetischen Flugmotorenöle trotz ihres besseren Alterungs- und motorischen Verhaltens eine geringere thermische Beständigkeit hatten.

Verkokungsverfahren, die unter Luftabschluß arbeiten, sind die bekannten Verfahren von Conradson⁵⁰⁾ und Ramsbottom.¹⁾ Beide Verfahren schwelen das Öl bei so hoher Temperatur ab, daß die Dämpfe sich außerhalb des Verkokungsgefäßes entzünden, und setzen das Gewicht des Rückstandes zur Ölwaage in Beziehung. Über die Bewährung dieser Verfahren hinsichtlich der Übereinstimmung mit praktischen Ergebnissen ist nicht viel in positivem Sinne berichtet worden. Immerhin ergab eine Versuchsreihe in der DVL⁵¹⁾ eine relativ günstige Bewertung wenigstens des Conradson-Testes, insofern als dieser die geprüften Öle hinsichtlich ihrer Koksbildungs- und Verschlammungsneigung im Motor richtiger beurteilte als mehrere gleichzeitig laufende Oxydationsverfahren (Abb. 5). Dieses Ergebnis kann aber wegen der geringen Zahl der geprüften Öle nicht verallgemeinert werden. Werden die Verfahren für gebrauchte Öle verwendet, so ist zu berücksichtigen, daß Fremdstoffe und Asphalt das Rückstandsgewicht erhöhen, so daß der Conradsonwert gebrauchter Öle sich meist um das Gewicht dieser Stoffe von dem des Frischöles unterscheidet. Auch zur Ergänzung der künstlichen Alterung werden die Verkokungsverfahren herangezogen; so ist das Verfahren nach Ramsbottom in Verbindung mit der englischen Air-Ministry-Oxydation zu nennen. Ein Verfahren, bei dem das bei Temperaturen zwischen 200°C und dem Selbstzündungspunkt mit Sauerstoff behandelte Öl Verkokungstemperaturen, z.B. 500°, ausgesetzt und dann der Verkokungsrückstand bestimmt wird, ließ Jentzsch patentieren.⁵²⁾ Im Apparat von Damian⁵³⁾ tropft das auf 100° vorgewärmte Öl in einen Tiegel, dessen Temperatur zwischen 200 und 550°C einstellbar ist, wird dort ohne Flamme erwärmt und nach Beendigung des Tropfens noch 15 Minuten auf Versuchstemperatur gehalten. Vom Rückstand wird, nach Behandlung mit Petroläther, das Chloroform-Lösliche und -Unlösliche bestimmt. Durch diese Behandlung sollen die Verhältnisse bei der Zylinderschmierung nachgeahmt werden: rascher Übergang des Öles von niedriger zu höherer Temperatur, in sauerstoffarmer Umgebung, Ausbildung dünner Schichten und Wärmezufuhr zum ruhenden Öl bei

+) flammenlose Erhitzung

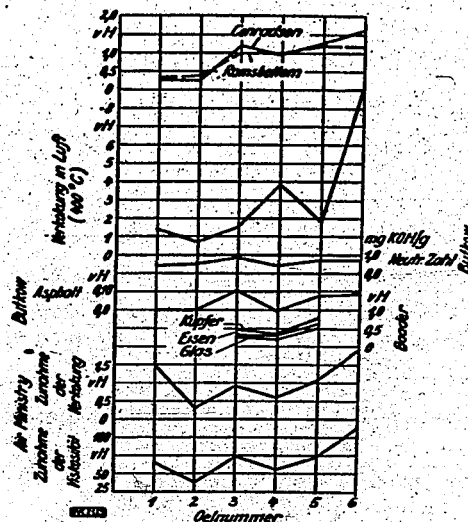


Abb.5: Rückstandsbildung von Flugmotorenölen.

Stillstand des Motors (durch das Tropfen und nachfolgende Erwärmen nachgeahmt) und Bildung in heißem Öl unlöslicher Stoffe (Chloroform-Unlösliches). Die Auswertung erfolgt durch Aufstellung von Temperaturkurven, aus denen sich die Temperaturen beim ersten Auftreten und bei maximaler Bildung der Rückstände, sowie die Menge dieser Rückstände entnehmen lassen. (Abb.6) Die Rückstandsmenge fällt nach Erreichung des Höchstwertes steil ab, um sich dem Conradson-Wert (der den Rückständen im Verbrennungsraum und auf dem Kolbenboden entsprechen soll) zu nähern. Bei schlechten Ölen wurde der Höchstwert des Chloroform-Unlöslichen (8%) schon bei 300°C gefunden. Auch das gebrauchte oder gealterte Öl wird so geprüft; je geringer die Unterschiede der Werte gegenüber dem Frischöl sind, umso besser fällt die Beurteilung des Öles aus.

Die letztgenannten beiden Verfahren arbeiten unter beschränktem Luftzutritt, leiten also zu den Verfahren über, die das Öl unter reichlichem Luftzutritt bis zur

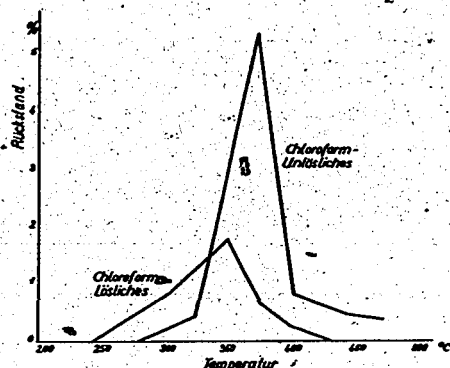


Abb.6: Verkokungsrückstände nach Damian in Abhängigkeit von der Temperatur.

Kohlebildung erhitzen und daher der Kohlebildung im Motor entsprechen, soweit sie in Luftatmosphäre vor sich geht. Zu diesen Verfahren, die also auf einer oxydativen Verkokung beruhen, ist ein bereits im Jahre 1933 von der DVL beschriebenes zu rechnen, bei dem das Öl aus einer Bürette in einen erhitzten, von Luft umspülten V_2A -Tiegel getropft wird.⁵¹⁾ Bei Temperaturen von 400°C und mehr trat immer Selbstentzündung ein. Der Rückstand des verkokten bzw. verbrannten Öles wurde gewogen, auch nach Extraktion mit Benzol. (Abb.7) Das Verfahren scheint keine grundsätzlich anderen Ergebnisse zu liefern als die Verkokungsverfahren nach Conradson und Ramsbottom (s.a. Abb.5). Es ist möglich, daß die Bewegung des Öles während des Verkokungsvorganges bei diesem und ähnlichen Verfahren noch zu wenig berücksichtigt worden ist. Neuere Versuche der DVL bewirken Bewegung des Öles in der Weise, daß es auf eine erhitzte Metallschiene tropfen gelassen wird, die eine bestimmte Neigung hat, sodaß das Öl auf ihr herunter fließt. Es entstehen kohlige Überzüge, die gewogen werden können. Auf

Schienen aus verschiedenen Metallen ergeben die bei Temperaturen von 250 bis 400°C erhaltenen Rückstandsmengen unterschiedliche Kurven (s. Abb. 8). Ein anders konstruierter



Abb. 7: Verkokung in Anwesenheit von Luft (DVL).

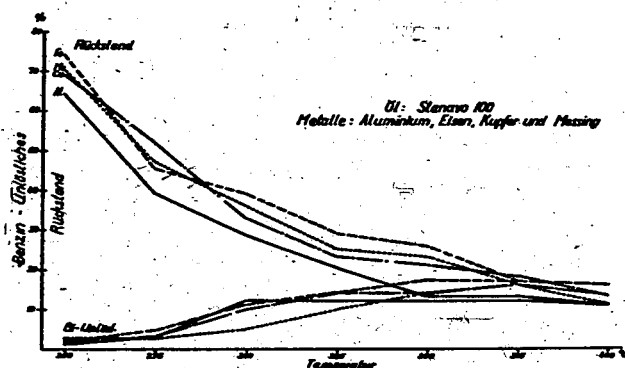


Abb. 8: Tropfverkokung (DVL-Schiene)

Apparat der Standard Oil Development Co. (Thwaites)⁵⁴⁾ enthält als wesentlichen Bestandteil einen Trichter aus Metall, an dessen Innenwand eine spiralförmig gewundene Bahn angebracht ist, auf der das Öl langsam herabfließt. Der Trichter wird auf Temperaturen von 250 bis 350° geheizt und die Menge des gebildeten Kohlerückstandes aus der Gewichtszunahme des Trichters festgestellt. Thwaites erhielt hiermit eine brauchbare Beziehung zu Motorversuchen (Abb.9)

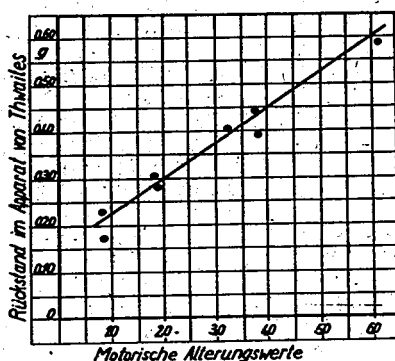


Abb.9: Beziehung zwischen Rückstandsbildung n. Thwaites und Alterung im CFR-Motor.

Die letztgenannten Verfahren schließen eng an die im Abschnitt über das Kolbenringfestsitzen besprochenen an, und tatsächlich ist auch die Messung der Ringsteckneigung von Ölen ihre wesentliche Aufgabe, denn das Ringstecken hängt ja in hohem Maße von der Rückstandsbildung ab. Eine strenge Unterscheidung zwischen Verfahren, die nur zur Messung der Ringsteckneigung und anderen, die nur zur Messung der sonstigen Rückstandsbildung dienen, besteht demgemäß nicht.

Zusammenfassung:

Für das Kolbenringfestsitzen und die Verschlammungsneigung ist die Rückstandsbildung im Verbrennungsraum ein wesentlicher Faktor. Die Verfahren, die zur Messung dieser Eigenschaften dienen sollen, dürfen sich also nicht zu weit von den Bedingungen bei der Rückstandsbildung entfernen.

Durch die Alterungsverfahren soll demnach nicht die durchschnittliche Veränderung des Gesamtöles, sondern die des überbeanspruchten Teiles derselben erfaßt werden. Ein großer Teil der Alterungsverfahren arbeitet jedoch nach Bedingungen, die zwar das Gesamtöl stärker verändern als im Betrieb, das überbeanspruchte Öl aber weniger.

Es muß, unter Berücksichtigung dieser Tatsache, getrachtet werden, möglichst nahe an die Verhältnisse der Praxis heranzukommen. Da hier ein gewisser Spielraum besteht, wird es, wenigstens für Flugmotorenöle, angebracht sein, von den im Motor auftretenden Bedingungen für die Laboratoriumsversuche die schärferen auszuwählen, ohne in das gegenteilige Extrem der Übertreibung zu verfallen.

Der Oxydationsversuch kann den praktisch auftretenden Verhältnissen insbesondere in folgenden Punkten gerecht werden:

1. Temperatur. Die Tendenz geht dahin, die Temperaturen höher als bisher üblich festzusetzen. Für die Nachbildung der Vorgänge in den Nuten wird eine Temperatur von 275 bis 300°C anzuwenden sein (wie beim DVL- oder WAC-Verfahren), für die des Verbrennungsraumes noch höhere (s. Verkokungsverfahren). Durch stufenweise Erhöhung der Temperatur kann noch näher an die Verhältnisse der Praxis herangekommen werden (Damian). Dasselbe gilt für die Aufnahme von Temperaturkurven (DVL-Tropfverkokung, Thwaites, Damian).
2. Luft. Auch hier ist zwischen Nuten- und Verbrennungsraum zu unterscheiden. Im ersteren Falle ist die Luft arm an Sauerstoff (Damian), im letzteren Falle reicher (DVL,

Thwaites, WAC). Die üblichen Verkokungsverfahren werden der Praxis insofern nicht gerecht, als sie wohl durch die sehr hohe Temperatur, nicht aber durch den Ausschluß von Sauerstoff den Verhältnissen im Verbrennungsraum nahe kommen. Völliger Ausschluß von Luft gibt - wie die thermische Behandlung von synthetischen Ölen zeigt - ein falsches Bild, ebenso ist die Verwendung von Sauerstoff statt Luft als der Praxis nicht entsprechend auszuschließen.

3. Gefäßmaterial. Alterung in Glasgefäßen entspricht der Praxis nicht. Besser sind Metallgefäße (WAC) oder Einlegung von Metallstreifen (Damian). Von der DVL wurde bereits versucht, durch Verwendung mehrerer Metalle der Praxis noch näher zu kommen. Weitere Versuche in dieser Richtung wären erstrebenswert.
4. Bewegungszustand des Öles während der Alterung. Hierin bestehen bei den einzelnen Verfahren große Unterschiede, je nachdem größerer Wert auf die Ausbildung dünner hoch erhitzter Schichten (a) oder gründliche Durchmischung mit Luft (b) gelegt wird.

Zu (a) kann man rechnen:

Das DVL-Schalen-Verfahren, das die Öle während des Versuches in Ruhe hält;

das WAC- und das Damian-Tropf-Verfahren, welche das Öl allmählich in das Alterungsgefäß einbringen. Damian erhitzt das ruhende Öl noch einige Zeit weiter, um die Wärmezufuhr bei Stillstand des Motors, wenn die Kühlung durch Öl, Wasser oder Luft fortfällt, nachzuahmen;

die Verfahren, bei denen das Öl über ein erhitztes Blech hinunter fließt (Thwaites, DVL) oder eine dünne Schicht zwischen bewegtem Metallscheiben bildet (DVL).

Zu (b) gehören alle Verfahren, welche Luft in das Öl einblasen (Air Ministry, Indiana, Weiß und Maillard).

Eine Mittelstellung zwischen a) und b) nehmen die Verfahren ein, die das Öl durch Pumpen oder Schütteln in fließender Bewegung halten (Kupferstreifenverfahren von Damian, DVL-Turbine).

Es ist empfehlenswert, die Messung der Flüchtigkeit mit dem eigentlichen Oxydationsversuch zu verknüpfen und andere für die Ölveränderung im Motor maßgebliche Eigenschaften, wie Asphaltlösungs- und Suspensionsvermögen, Reaktionsfähigkeit der Ölkohle, in Sonderversuchen festzustellen.

Das Prinzip, die Alterungsneigung durch Messung der zum Eintreten eines bestimmten Alterungszustandes erforderlichen Zeit zu messen, scheint aussichtsreich. Von derartigen Verfahren hat jedoch bisher nur das Indiana-Verfahren eine weitere Verbreitung erlangt. Es wäre zu versuchen, dieses Prinzip auch für andere Verfahren, die unter schärferen Bedingungen arbeiten, anzuwenden, insbesondere im Hinblick auf die nur schwer Asphalt bildenden Flugmotorenöle.

Die Verfahren mit willkürlich festgelegter Alterungszeit bedürfen zur Erzielung größerer Reproduzierbarkeit einer genauen Festlegung der Versuchsbedingungen, nicht nur bei der Alterung selbst, sondern auch bei der Aufarbeitung. Besonders die Zeit und Temperatur des gealterten Öles zwischen dem Ende der Alterung und dem Beginn der Aufarbeitung ist festzulegen.

Schrifttum.

- 1) Air Ministry General Specification Nr. DTD 109
- 2) F.H. Garner, C.J.Kelly u. J.L.Taylor, The British Air Ministry Oxydation Test for Lubricating Oils. World Petroleum Congress, Proceedings II (1933) S.448 bis 457.
- 3) Norme Air 1093 vom 16.11.1933
- 4) T.H. Rogers und B.H.Shoemaker, Ind.Eng.Chem.,Anal.Ed.6 (1934) S.419 bis 420
- 5) ASTM Standards on Petroleum Products and Lubricants (1935) S.9
- 6) F.Evers u. R.Schmidt, Die künstliche Alterung von Mineralölen, Erdöl u. Teer 9 (1933) S.11, 27
- 7) M.Richter, Entwicklung eines neuen Oxydationsverfahrens für Schmieröle, FB 654 (1936)
- 8) A.v.Philippovich, Über die Beständigkeit von Flugmotorenöl und ihre Prüfung, Luftfahrt-Forschung 14 (1937), S.254/261
- 9) A.L. Beall, Auswahl von Ölen für Hochleistungs-Flugmotoren. Vortrag von der Nat.Product.Meeting der SAE (1936)
- 10) M.Marder u. V.Tolkmitt, Über den Wert von Laboratoriumsmethoden zur Bestimmung der Alterungsneigung von Mineralölen. Öl u.Kohle 14 (1938) S.618
- 11) Seufert, Ermittlung der Alterungsneigung von Motorschmierölen. Öl und Kohle 14 (1938) S.239/241
- 12) H.Suida, Über Alterung von Schmierölen, Öl und Kohle 13 (1937) S.205
- 13) A.Baader, Über Alterung von Schmierölen, Öl u. Kohle 13 (1937), S.302
- 14) M.Marder u.Tolkmitt, l.c. S.637
- 15) E.H.Kadmer, Schmierstoffe u.Maschinenschmierung, Berlin 1940, S.169
- 16) A.v.Philippovich, Die Veränderung von Flugmotorenöl im Betrieb und ihre Prüfung. Öl und Kohle 13 (1937), S.1235 - 1245
- 17) M.Richter, Die laboratoriumsmäßige Prüfung von Schmierölen auf ihre Neigung zum Kolbenringverkleben. DVL-Jahrbuch 1937, S.543 bis 548.
- 18) C.G.A.Rosen, Einflüsse auf die Alterung von Dieselschmierölen, Nat.Petr.News 1940, S.152/55

- 19) H.Weis u. A.Maillard, Contribution to the study of the changes occurring in lubricating oils in internal combustion engines, J.P.T.24 (1938) 416
- 20) E.H. Kadmer; l.c. S.156, 173, 177, 178
- 21) E.H. Kadmer, Über die natürliche und künstliche Alterung von Fahrzeugmotorenölen, Öl u.Kohle 13 (1937) S.101, 127
- 22) H.Weis u. A.Maillard, l.c. S.419
- 23) H.Suida, l.c. S.227
- 24) E.A. Evans u. A.L.Kelman, Metallic soaps in lubricants. General Discussion on Lubricants Inst.of Mech.Eng. (London 1937) II, S.285
- 25) K.Mayer-Bugström, Prüfung von Alterungsverfahren für Schmieröle, FB 881 (1937)
- 26) W.O.Andrews, Sludge on deposits in turbine oils. Inst.of Mech. Eng. (London 1937) II S.202-208
- 27) E.A.Evans und A.L.Kelman; l.c. S.288
- 28) V.R.Damerell, Measuring Oxidation of Lubricants, Inst.Eng. Chem.Anal.Ed.11 (1939), S.265
- 29) E.W.J.Mardles und J.C.Ramsbottom, The oxydation behaviour of internal combustion engine lubricants. Inst.of Mech.Eng. (London 1937) II S.354-366
- 30) A.v.Philippovich und K.Mayer-Bugström, Oxydationsbeständigkeit von Schmierölen. FB 38 (1934)
- 31) H.Suida, l.c. S.203
- 32) D.P.Barnard u.Mitarb., Causes and effects of sludge formation in motor oils. SAE-Journ. (1934) S.167
- 33) K.S.Ramajja und W.L.Waldman, Alterung von Schmierölen. Petrol.-Ind. (russ. Neftjanca Chosjaistwo) 1937 Nr.12, S.33/37
- 34) F.Jostes und A.Hamm, Die Prüfung der Alterungsneigung von Schmierölen im Laboratorium. Öl u.Kohle 15(1939) S.515, 533
- 35) E.H.Kadmer, Über die künstliche Alterung von Kohlenwasserstoffölen. Chem.Zeitung 68/69 (1938) S.611-613
- 36) W.F.Weiland, Messung der Schlammbildungsneigung von Schmierölen. Oil Gas Journ. 36 Nr.36, 83-86.93.
- 37) B.Mielnikowa und J.Dziewonski, Essais de l'oxydabilité. Sprawozdania (1934) Nr.1 (13), S.39 bis 55
- 38) E.R.Redgrove, Alterungsversuche an Schmierölen. Petr.Times Bd. 32 (1934) S.583 bis 585
- 39) S.J.M.Auld, The susceptibility of mineral lubricating oils in use. Chem. and Ind.55 (1936) S.1018; Characteristics of solvent-refined motor oils. J.P.T.22 (1936) S.57

- 40) J.Damian, Influence des actions catalytiques sur le vieillissement des lubrifiants. Chimie et industrie 27 (1932) S.323.
- 41) J.Damian, Methode d'appréciation des lubrifiants. Publ.scie. et techn. du Min.de l'Air (1932) Nr.14 S.28
- 42) P.Martinet, Technique mod.28 (1936) S.472 bis 474
- 43) P.Martinet, Auswertung der Ergebnisse von Versuchen zur künstlichen Alterung von Mineralölen. Technique mod. 28 (1936) S.381/385
- 44) K.Noack, Über Methoden zur Ermittlung der Alterungsneigung von Schmierölen für Kraftfahrzeuge. Öl u.Kohle 13 (1937) S.965
- 45) W.H.Bahlke, D.P.Barnard, J.O.Eisinger und O.Fitz Simmons, Factors controlling Engine-Carbon Formation. SAE 29 (1931) II S.215
- 46) E.H.Kadmer, l.c.(16) S.135, 136
- 47) R.Koetschau, Über die thermische Beständigkeit hochsiedender Mineralöle. Von den Kohlen und den Mineralölen, III.Bd. 1930, S.110-168.
- 48) A.Maillard, Sur l'altération des huiles de graissage dans les moteurs à combustion interne. Ann.com.liq. 1936, S.965
- 49) M.Richter, Die Bestimmung der thermischen Beständigkeit von verschiedenen Flugmotorenölen. FB 912 (1938)
- 50) ASTM-Standards on petroleum products and lubricants(1937), S.53
- 51) A.v.Philippovich, Neuere Untersuchungsverfahren zur Bestimmung der Rückstandsbildung von Motorenölen. DVL-Jahrbuch 1933, VI, S.36/42
- 52) H.Jentzsch, Bestimmung der Alterungsneigung von Ölen, Fetten, flüssigen Brennstoffen. DRP 679 357 (ausg.3/8.1939)
- 53) J.Damian, Contribution au problème du graissage des moteurs à explosion et à combustion interne. La revue pétrolifere (1937) Nr.726 S.337
- 54) Standard Oil Development Co (übert.von H.L.Thwaites) Method of and apparatus for testing lubricating oils. A.P. 2 174 021 vom 13.5.1936

Künstliche und motorische Schmierölalterung.

Von Dr.-Ing. Widmaier, FKFS, Stuttgart - U.

Übersicht:

Bei allen Prüfverfahren¹⁾ - 7) kommt es darauf an, die Schmierölalterung in möglichst kurzer Zeit zu erhalten. Dies geschieht hauptsächlich durch Temperaturerhöhung und Zutritt von Sauerstoff bei verschiedener Zeitdauer. Die gealterten Öle werden dann je nach dem Verfahren hinsichtlich der Asphaltbildung, der Zähigkeit, der Verkokungsneigung, der Harzbildung, der Neutralisations- oder Verseifungszahl beurteilt.

Die einzelnen Verfahren streben an, daß die Alterungswerte mit den im Motorbetrieb erhaltenen Werten übereinstimmen, was allerdings bis heute noch nicht erreicht wurde.

Die einfachsten Geräte zur Schmierölalterung sind das DVL- und das Noack-Gerät. Während das erstere hinsichtlich des Einflusses verschiedener Werkstoffe geprüft wurde, ist am Noack-Gerät der Einfluß von Temperatur, Sauerstoffmenge und Alterungsdauer auf die Rückstandsbildung verschiedener Öle festgestellt worden. Einige Versuche wurden auch mit dem Indiana-Gerät durchgeführt.

Gliederung:

- I. Künstliche Alterung von Schmierölen
 1. Schmierölalterung im Indiana-Gerät
 2. Schmierölalterung im Noack-Gerät
 3. Schmierölalterung nach der DVL in Schalen aus verschiedenem Werkstoff
 4. Einfluß verschiedener Gase auf die Schmierölalterung
- II. Alterung im Einzylinder-Motor
- III. Vergleich zwischen Künstlicher und motorischer Alterung von Schmierölen
 1. Noack-Verfahren und Motor
 2. DVL-Verfahren und Motor
- IV. Zusammenfassung

I. Künstliche Alterung von Schmierölen.

Bei einigen Schmierölen verschiedener Zusammensetzung wurden folgende Alterungsverfahren erprobt:

1. Schmierölalterung im Indiana-Gerät
2. Schmierölalterung im Noack-Gerät
3. Schmierölalterung nach der DVL in halbkugelförmigen Schalen aus verschiedenem Werkstoff.

Nach der Indiana-Methode¹⁾ werden 300 cm³ Öl ununterbrochen 45 Stunden lang bei 172°C unter Einleiten von 10 Liter Luft/h gealtert und danach der Gehalt an Asphalt festgestellt.

Nach Noack²⁾ wird die Alterungsprüfung bei 250°C während einer Stunde bei einem Unterdruck von 20 mm WS durchgeführt. Es wird dann die gebildete Menge an Asphalt- und Erdölharz bestimmt.

Nach der von der DVL³⁾ angeführten Alterungsmethode wird das Öl bei bestimmten Temperaturen ohne Luft- bzw. Sauerstoffdurchfluß gealtert.

1. Schmierölalterung im Indiana-Gerät.

Im Indiana-Gerät wurde für 6 verschiedene Öle die gebildete Gesamtmenge an Asphalt- und Erdölharz jeweils nach der Alterung bestimmt. Werden die Temperaturen von 100 und 135°C geändert, so treten für die Öle Nr. 1, 2 und 5 keine großen Unterschiede ein (Bild 1), eine stärkere Zunahme erfährt das gefettete Öl Nr. 3, dessen Rückstandsmenge von 2,2 Gewichts-% auf 4,6 Gewichts-% ansteigt. Bei Erhöhung der Temperatur auf 175°C treten bei sämtlichen Ölen wesentlich größere Verschmutzungen auf. Auffallend ist hierbei die sehr schnelle Alterung von Öl Nr. 1.

Die durch die einzelnen Öle geleitete Luftmenge ist für die Alterung unwesentlich. Bei einer Luftzufuhr von 10, 15 und 20 Liter/h treten, wie Bild 2 zeigt, keine bedeutenden Unterschiede auf.

2. Schmierölalterung im Noack-Gerät.

Die Schmieröle wurden nun im Noack-Gerät gealtert und die Menge an Erdöl- und Asphaltharz vor und nach der Alterung bestimmt.

Die Alterungsneigung der untersuchten Schmieröle wird in Bild 3 gezeigt. Hieraus sieht man, daß jedes Öl eine andere Temperaturabhängigkeit hat. Leider lassen sich die meisten Werte nicht mit den Indiana-Werten vergleichen.

Durch Änderung der zugeführten Luftmenge werden - wie schon im Indiana-Gerät in bezug auf die Harzbildung festgestellt - auch im Noack-Gerät nur unwesentliche Unterschiede in der Alterung der Öle erhalten (Bild 4). Die Erdöl- und Asphaltharzmenge wird mit Ausnahme des Öles Nr. 1 bei verschiedenem Luftdurchsatz kaum beeinflusst.

3. Schmierölalterung nach der DVL in Schalen aus verschiedenem Werkstoff.

Die Alterungsbestimmung von Schmierölen nach dem DVL-Verfahren wurde im Institut in halbkugelförmigen Schalen aus Glas, Porzellan, Aluminium und Kupfer durchgeführt. Der Werkstoff wurde deshalb verschieden gewählt, um gleichzeitig die einzelnen Unterschiede erfassen zu können. Die Aufarbeitung der gealterten Öle wurde nach Noack vorgenommen und jeweils die Menge an Harz und Asphaltstoffen angegeben. Die Ergebnisse zeigen für die einzelnen Öle deutliche Unterschiede (Bild 5).

Der Werkstoff spielt jedoch für die Ergebnisse der Alterungszahlen keine wesentliche Rolle. Allerdings muß dabei erwähnt werden, daß ohne Sauerstoff bzw. Luftdurchfluß gearbeitet wurde. Sobald durch das Schmieröl Sauerstoff bzw. Luft geleitet wird, werden z.Tl. sehr unterschiedliche Werte erhalten.

Die gealterten Ölproben wurden auch noch hinsichtlich ihrer Verkokungsneigung untersucht und erstaunlicherweise wurde auch hier die Feststellung gemacht, daß die Wahl des Werkstoffes durchweg gleichgültig ist. Zwischen dem Harzgehalt und der Verkokungsneigung kann - wie Bild 5 zeigt - eine Abhängigkeit abgeleitet werden.

4. Einfluß verschiedener Gase auf die Schmierölalterung.

Zur Prüfung des Einflusses verschiedener Gase auf die Alterungsneigung von Schmierölen wurden 250 cm³ Öl in einem geschlossenen Rundkolben auf 50, 100 und 250°C erhitzt und unter Einleiten von Stickstoff, Kohlensäure und Sauerstoff ständig gerührt. Die Menge an Gas war 50 Liter/Stunde und die Zeitdauer der Einwirkung betrug 3 Stunden.

Das Bild 6 zeigt, daß sich die bei 50 und 80°C gemessene Zähigkeit nur nach der Sauerstoffbehandlung bei 250°C bedeutend geändert hat. Leitet man den Sauerstoff unter niedrigeren Temperaturen ein, so zeigen sich an den Ölen geringe Änderungen. Die Zähigkeitsänderung ist allein durch den Sauerstoff bedingt, was durch Versuche bestätigt wurde.

Aber nicht nur die Zähigkeit, sondern auch der Gehalt an Erdöl- und Asphaltharz erfahren mit Sauerstoff eine wesentliche Zunahme. Das Bild 7 zeigt, daß der Erdöl- und Asphaltharzgehalt bei Temperaturen von 250°C um rund 500 % vermehrt wurde.

Es erhebt sich nun die Frage, welche Produkte sich aus Sauerstoff und Öl bei der Temperatur von 250°C bilden können. Zweifellos werden es in erster Linie Oxydationsprodukte sein. Suida⁸⁾ hat gezeigt, daß sehr viel chemische Reaktionen im Öl vor sich gehen, wobei sich zahlreiche neue Verbindungen unter dem Einfluß des Sauerstoffs bilden. Diese Oxydationsprodukte können nur sehr schwer im einzelnen erfaßt werden. Eine Möglichkeit zur Ermittlung von Oxydationsprodukten bietet u.U. die Verseifungszahl. Die Verseifungszahlen steigen unter dem Einfluß des Sauerstoffes bei erhöhter Temperatur stark an.

II. Alterung im Einzylindermotor.

In einem NSU-Einzylindermotor wurden die bereits im Hoack-Gerät eingehend untersuchten Öle Nr. 1, 2 und 5 motorisch gealtert. Zu diesem Zweck wurden 30 Stunden-Dauerläufe durchgeführt, wobei für jeden Lauf derselbe Kraftstoff verwendet wurde.

Bei näherer Betrachtung der Zähigkeitswerte fällt auf, daß bei den Ölen Nr. 1 und 2 eine starke Eindickung gegenüber dem Öl Nr. 5 auftritt (Zahlentafel 1). Da die Betriebsbedingungen für die einzelnen Öle vollkommen gleichgehalten wurden, und der Ölverbrauch nur unwesentlich verschieden war, ist vermutlich diese unterschiedliche Zähigkeitsänderung auf die chemische Zusammensetzung des Schmieröles zurückzuführen.

Die Verkokungsneigung nach Conradson war für die Öle Nr. 1, 2 und 5 ebenfalls sehr verschieden.

Das Öl Nr. 2 nahm in der Verkokungsneigung um 1,73 Einheiten zu, und das Öl Nr. 5 wies mit 0,64 Einheiten die geringste Zunahme der Verkokungsneigung auf.

Der Aschegehalt, der bei den Frischölen praktisch als Null anzusehen ist, nahm bei den im Motor gealterten Ölen durchweg nur in sehr geringem Maße zu. Den höchsten Aschegehalt zeigte das Öl Nr. 1 mit 0,38 Gewichts-%.

Der in den gebrauchten Ölen nach 30 Stunden bestimmte Hartasphaltgehalt liegt in den Grenzen von 0,05 und 0,09 Gew.-%. Diese Zahlen lassen keine Schlüsse für die Schmierölalterung zu, da sie so nieder sind, wie sie bei den Frischölen selbst auftreten können.

Die Erdöl- und Asphaltharzmenge ist bei den gealterten Ölen wieder sehr verschieden. Den höchsten Harzanteil hat das Flugmotorenöl Nr. 2 mit 19,23 Gew.-%. Das an sich für geringere Beanspruchung geltende Fahrzeugmotorenöl Nr. 5 ergibt nach dem 30-Stundenlauf nur 3,85 Gew.-% Harz.

Diese großen Unterschiede ergeben Anlaß zu der Frage, ob die im Motor gebildeten Harze tatsächlich das Schmieröl verschlechtern. Diese Harze könnten andererseits gerade bei hohen Temperaturen noch die Bildung eines Schmierfilms begünstigen, so daß die Harzbildung nicht unbedingt ein einwandfreies Maß für die Schmierölalterung darzustellen braucht.

Der Gehalt an festen Fremdstoffen, die eine wesentliche Rolle im Schmieröl spielen, ist bei dem Öl Nr. 2 mit 0,14 Gew.-% am niedrigsten. Dies würde wieder mit der Erfahrung übereinstimmen, daß es sich um ein gutes Flugmotorenöl handelt, und die Vermutung bestätigen, daß der hohe Harzanteil unter Umständen zur Schmierölfilmbildung beiträgt. Bei den Ölen Nr. 1 und 5 waren die Gehalte an festen Fremdstoffen wesentlich höher.

Nach den Verseifungs- und Neutralisationszahlen, die sehr häufig als Maßstab für die Alterung benutzt werden, würde man das Öl Nr. 2 wieder am schlechtesten beurteilen. Die beste Beurteilung erhielt demnach das Öl Nr. 5.

III. Vergleich der künstlichen Schmierölalterung mit der Alterung von Schmierölen im Motor.

1. Noack-Verfahren und Motor.

Die physikalisch-chemischen Kenndaten der im Noack-Gerät gealterten Schmieröle werden ebenfalls in Zahlentafel 1 mit den im Motor gealterten Schmierölen verglichen. Im Noack-Gerät wurde zunächst bei 250°C 1 Stunde lang mit 20 mm WS Unterdruck gearbeitet.

Hierbei treten in der Zähigkeitsänderung besonders für die Oele Nr. 1 und 2, gegenüber den Motorölproben große Unterschiede auf⁹⁾. Das Oel Nr. 5 dagegen stimmt in der Zähigkeit etwa überein. Die Verkokungsneigung liegt bei den künstlich gealterten Oelproben durchweg niedriger. Außerdem wird das Oel Nr. 2 im Motor wesentlich mehr verkocht, als der Laboratoriumsversuch im Vergleich mit den Oelen Nr. 1 und 5 angibt.

Große Unterschiede werden auch für die Menge an Erdöl- und Asphaltharz erhalten. Hier wird das Oel Nr. 2 im Motor am stärksten verharzt, während die künstliche Alterung den geringsten Harzgehalt angibt.

Der Verdampfungsverlust, der im Alterungsgerät nach Noack für die 3 Oele sehr verschieden ausfällt, ist im Motor bei den Oelen Nr. 2 und 5 etwa gleich und bei Oel Nr. 1 am höchsten. Das Noack-Gerät gibt dagegen für Oel Nr. 5 die größte Verdampfbarkeit an.

Die Schmierölproben wurden nunmehr im Noack-Gerät unter wesentlich strengeren Bedingungen gealtert, nämlich 4 Stunden lang bei 300°C und 60 WS Unterdruck.

Beim Vergleich sieht man, daß jetzt beispielsweise zu hohe Zähigkeiten gegenüber den Motorölproben erhalten werden.

Die Verkokungsneigung wird für das Oel Nr. 5 ebenfalls weit überschritten. Die Werte für die Oele Nr. 1 und 2 dagegen liegen immer noch unterhalb der im Motor erhaltenen Verkokungswerte.

Die Harzanteile stimmen für die Oele Nr. 1 und 2 etwa überein; eine Ausnahme macht nur das Oel Nr. 5, das im Noack-Gerät mit 26,79 Gewichts-% Harz wesentlich schlechter beurteilt wird als im Motor mit 3,85 Gewichts-%.

Der Verdampfungsverlust ist bei 300°C gegenüber den bei 250°C gealterten Oelproben für die Oele Nr. 1 und 5 auf rund das zehnfache angestiegen, für Oel Nr. 2 noch stärker. Mit dem Motorenergebnis stimmt überein, daß das Oel Nr. 2 den geringsten Verdampfungsverlust aufweist. Das Oel Nr. 5 gleicht sich im Motor dem Oel Nr. 2 sehr stark an, im Noack-Gerät dagegen wird ein wesentlich höherer Verdampfungsverlust angegeben.

2. DVL-Verfahren und Motor.

Einfacher ist die künstliche Schmierölalterung nach der DVL mit der Oelalterung im Motor zu vergleichen, da die Alterungswerte den im Motor erhaltenen durch Änderung der Temperatur

angepaßt werden können. Ein unmittelbarer Vergleich mit verschiedenen Schmierölen ist leider nicht möglich, da die entsprechenden motorischen Versuche noch im Gange sind.

Doch haben die früheren Versuche schon gezeigt, daß die Sauerstoff- bzw. Luftmenge bei der künstlichen Oelalterung eine untergeordnete Rolle spielt und damit das sehr einfache DVL-Verfahren in ähnlicher Weise wie das Noack-Verfahren für die Bestimmung der Alterungsneigung herangezogen werden kann.

IV. Zusammenfassung.

Die von Noack und von der DVL vorgeschlagenen Verfahren eignen sich gut zur künstlichen Schmieröalterung. Während beim Noack-Verfahren das Oel unter Luftdurchsatz bei verschiedenen Temperaturen behandelt wird, ist bei dem DVL-Verfahren nur die Temperatur bei der Oelalterung ausschlaggebend.

Bei der künstlichen Alterung von Schmierölen sind aber die Versuchsbedingungen, d.h. die gewählten Alterungszeiten, Temperaturen, Sauerstoffkonzentrationen und benützten Werkstoffe von großer Wichtigkeit, da je nach ihrer Wahl die beim Altern auftretenden Kondensations-, -Polymerisations-, -Oxydations- und Spaltreaktionen in verschiedener Weise vor sich gehen. Aus den unter bestimmten Bedingungen gefundenen Ergebnissen können deshalb keine eindeutigen Schlüsse über das Verhalten der Schmieröle im Motor gezogen werden. Für den praktischen Betrieb gelten die Ergebnisse nur dann, wenn bei der künstlichen und motorischen Alterung die gleichen Bedingungen eingehalten werden.

Die im Motor herrschenden Bedingungen sind indessen fortwährenden Änderungen unterworfen, weshalb die Motorschmieröle hinsichtlich ihrer Alterungsbeständigkeit nur sehr schlecht laboratoriumsmäßig beurteilt werden können.

Die Einleitung von im Kurbelgehäuse enthaltenen Gasen in das Schmieröl ergab, daß Sauerstoff bei einer Oeltemperatur von 250°C einen wesentlichen Einfluß ausübt, dagegen Kohlendioxyd und Stickstoff unwirksam bleiben. Zugesezte Metalle, wie Kupfer, Zink und Aluminium, vermehren im allgemeinen den Asphaltgehalt, die Zähigkeit und den Rückstand von Oelen.

Vergleichsergebnisse von künstlich und motorisch gealterten Schmierölproben zeigen, daß in den meisten Fällen keine gute Uebereinstimmung zu finden ist. Eine Uebereinstimmung kann

unter Umständen erzielt werden, wenn die in einem bestimmten Prüfmotor bei einem bestimmten Betriebszustand und einem bestimmten Kraftstoff vorliegenden Verhältnisse genauestens auf die Laboratoriumsversuche übertragen werden.

Schrifttum.

1. D.B. Barnard, E.R. Barnard, T.H. Rogers, B.H. Shoemaker and R.F. Wilkin, Causes and effects of sludge formation in motor oils. SAE-Journal, Bd. 34 (1934), S. 167, 181.
2. K. Noack, Angew. Chemie, Beiheft 28, (1937), S. 4.
3. M. Richter, ZWB, F.B. Nr. 654.
4. D. Holde, Kohlenwasserstofföle und Fette, Berlin 1933, S. 268.
5. F. Evers und R. Schmidt, Brennstoff-Chemie, Bd. 11, (1930) S. 214.
6. A. Baader: Erdöl und Teer, Bd. 5 (1929), S. 438.
7. F.H. Garner, C.J. Kelly und J.L. Taylor, World Petroleum Congress London 1933, Proc. II (1934), S. 448.
8. H. Sulda, Oel und Kohle, Bd. 13 (1937), S. 201.
9. E.K. Kadmer, Oel und Kohle, Bd. 14 (1938), S. 152.

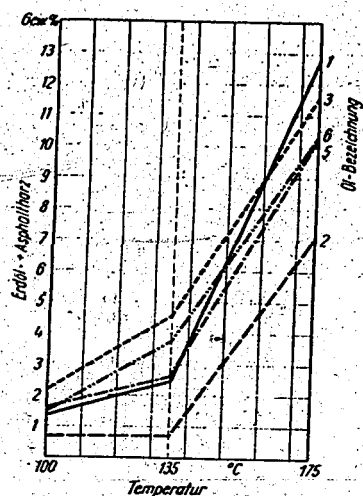


Abb. 1: Gehalt an Erdöl- und Asphaltharz von Schmierölen im Indiana-Gerät in Abhängigkeit von der Alterungstemperatur.

Alterungszeit: 45 h
Luftdurchsatz: 10 Ltr/h.

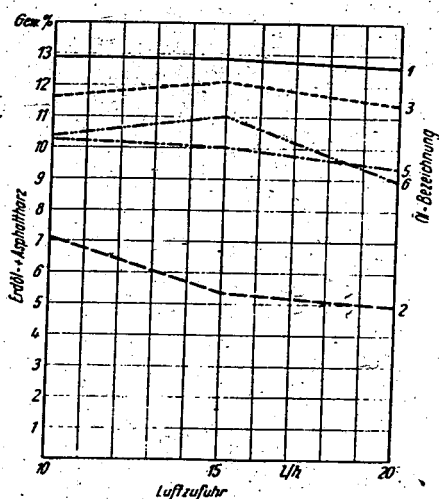


Abb. 2: Gehalt an Erdöl- und Asphaltharz von Schmierölen im Indiana-Gerät in Abhängigkeit von der zugeführten Luftmenge.

Alterungszeit: 45 h
Temperatur: 175°C

03022

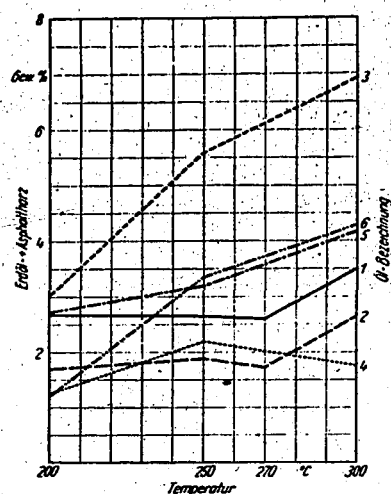


Abb. 3: Harzbildung von Schmierölen im Noack-Gerät in Abhängigkeit von der Temperatur nach 1 h bei einem Unterdruck von 20 mm WS.

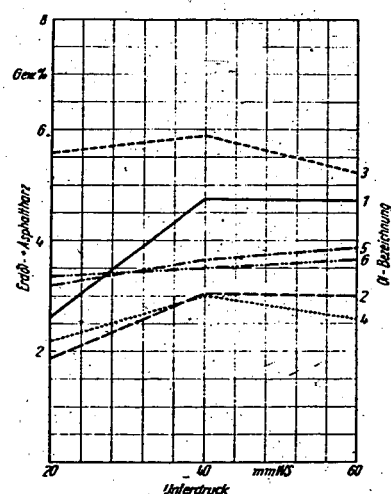


Abb. 4: Erdöl- und Asphalt-harz von Schmierölen im Noack-Gerät in Abhängigkeit von der zugeführten Luftmenge nach 1 h bei einer Temperatur von 250 °C.

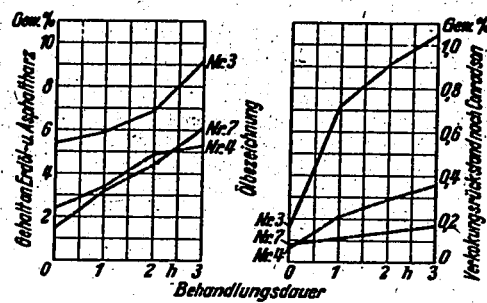


Abb. 5: Harzgehalt u. Verkokungsneigung von Schmierölen vor und nach der DVL-Alterung.

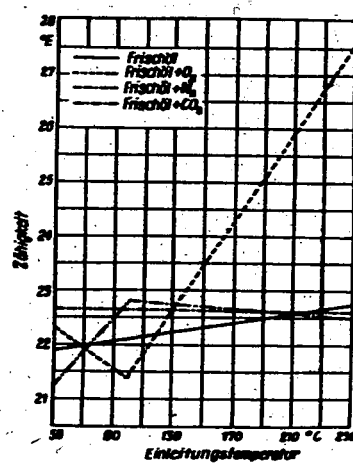


Abb. 6: Änderung der Zähigkeit von Rotringöl (Öl Nr. 4) bei verschiedenen Gasen und Einleitungs-temperaturen.

03024

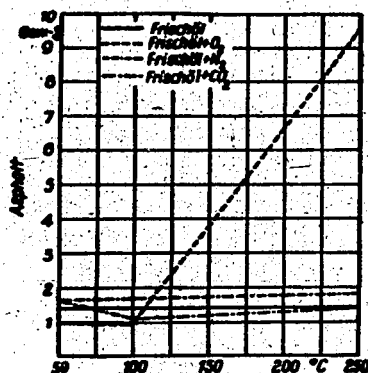


Abb.7: Erdöl- und Asphaltharzgehalt in Abhängigkeit von der Temperatur und der eingeleiteten Gase bei Rotringöl (Öl Nr.4).

	Frischöle			Im Motor gealterte Proben			Im Mock-Gerät gealterte Proben bei 250°C in 100mm WS			Im Mock-Gerät gealterte Proben bei 300°C in 100mm WS		
	Nr.1	Nr.2	Nr.5	Nr.1	Nr.2	Nr.5	Nr.1	Nr.2	Nr.5	Nr.1	Nr.2	Nr.5
Stabilität bei 50°C °F	23,08	23,08	10,89	34,9	35,02	13,14	26,1	26,38	12,25	48,3	63,8	60,3
Stabilität bei 100°C °F	3,4	3,3	2,13	4,38	4,17	2,52	3,49	3,33	2,28	5,4	4,9	5,7
Verkokungsneigung nach Caradon-Denk %	1,12	0,26	0,44	3,8	1,89	1,08	1,19	0,28	0,55	2,04	1,85	4,39
Asphaltengehalt Gew. %	0,03	0,02	0,004	0,38	0,22	0,25	-	-	-	-	-	-
Harzgehalt Gew. %	0	0	0	0,07	0,05	0,09	-	-	-	-	-	-
Harzgehalt Gew. %	1,99	0,76	1,09	10,24	19,2	3,85	2,6	1,9	3,2	9,12	18,22	25,79
Verdampfungsverlust Gew. % bzw. g/h	-	-	-	31	18	21	2,4	1,3	6,2	29,69	24,31	63,69
Feste Fremdstoffe Gew. %	0,01	0	0	0,51	0,44	0,33	-	-	-	-	-	-
Verseif.-Zahl mg KOH/g	0,17	0,6	0,25	5,33	12,49	1,82	-	-	-	-	-	-

Zahlent.1: Physikalisch-chemische Kennwerte der unter verschiedenen Bedingungen gealterten Schmierölproben.

Grundsätzliches zu Ölalterungsprüfungen.

Von Dr. Baader, RWE, Knapsack b. Köln.

Die bisherigen Vorträge haben zwar eine Fülle von wertvollen Einzelerkenntnissen gebracht; allein die Redner haben selbst mehr oder weniger deutlich zum Ausdruck gebracht, daß der verbindende Zusammenhang noch sehr lückenhaft ist, und daß daher eine zuverlässige Auswertung noch nicht vorgenommen werden kann. Es erscheint daher zweckmäßig, einige besonders vordringliche Punkte grundsätzlicher Art zur Sprache zu bringen, um zu verhindern, daß Irrwege erneut beschritten werden, die auf anderen Gebieten, bei denen die Ölalterung eine große Rolle spielt (Transformatoren, Turbinen, Personen- und Lastwagen), begangen worden sind. Aus dem Gesagten ergibt sich schon, daß ich mich nicht auf den Flugmotor beschränken werde, sondern von der Ölalterung im allgemeinen spreche. Die Anwendung auf den Flugmotor ergibt sich dann zwangsläufig.

Die erste und wichtigste Frage grundsätzlicher Art lautet: Was kann man berechtigterweise von laboratoriums-mäßigen Prüfungen der Alterungsneigung erwarten, was nicht? Herr Dr. v. Philippovich hat in seinem einleitenden Vortrag bereits darauf hingewiesen, daß hier die Auffassungen sich zwischen zwei Extremen bewegen. Die eine Grenz-Auffassung lehnt, gestützt auf die großen Widersprüche zwischen den Versuchs- und Betriebsergebnissen, alle Ölalterungsprüfungen vollständig ab und will sich nur auf die Betriebserfahrungen stützen. Die entgegengesetzte Grenz-Auffassung glaubt, man könne den Betrieb im Versuch soweit nachahmen, daß man aus den Versuchsergebnissen das Verhalten des Öles im normalen Betrieb einer bekannten Maschine voraussagen könne. Beide Grenzauffassungen schließen weit über das Ziel hinaus. Die Wahrheit ist etwa in der Mitte zu suchen.

Jedenfalls muß man sich darüber klar sein, daß die betriebliche Ölalterung, auch wenn man sie nicht als Gesamtheit der störenden Ölveränderungen auffaßt, sondern nur die

thermisch-chemische Oxydation berücksichtigt, nicht ausschließlich von der Ölbeschaffenheit abhängt, sondern auch von den Besonderheiten der Verwendungsstellen. Auch gleichartige Maschinen, ja sogar sogenannte Schwestermaschinen zeigen solche, die Alterung wesentlich beeinflussenden Besonderheiten. Beispiele dafür sind: Reinheitsgrad, chemische Zusammensetzung und Oberflächenbeschaffenheit der ölberührten Metalle; ferner Beeinflussung durch Feuchtigkeit, Staub und chemisch wirksame Gase aus der Luft; weiterhin Art und Sorgfalt in der Ölpflege; Art, Häufigkeit und Menge der Ölnachfüllung u.a.m. Hier können wohl durch Vereinheitlichung der Betriebsanweisungen besonders einschneidende Mängel behoben, aber nicht eine ausreichende Gleichheit der Betriebsbedingungen erreicht werden. Auf Grund meiner langjährigen Erfahrungen, die ich in verschiedenen Betrieben an verschiedenartigen Maschinen und mit zahlreichen handelsüblichen Ölmarken sammeln konnte, bin ich der Auffassung, daß die erwähnten betrieblichen Besonderheiten die Ölalterung bedeutend stärker beeinflussen als die ziemlich kleinen Unterschiede, die zwischen den für einen bestimmten Verwendungszweck zugelassenen normengemäßen und handelsüblichen Ölen noch bestehen; denn es ist zu berücksichtigen, daß für solche Verwendungszwecke, bei denen Ölalterungsprüfungen in Betracht kommen, nur Raffinate, also weitgehend gereinigte und sich daher nur wenig unterscheidende Öle zugelassen sind.

Die Zahlentafeln 1 bis 3 sollen den starken Einfluß der betrieblichen Besonderheiten auf die Alterung von Dampfturbinenölen zeigen. Die Wahl dieses Verwendungszweckes erfolgte deshalb, weil bei Dampfturbinen seit 1930 die Ölalterung nach einheitlichen Betriebsanweisungen ¹⁾ unter Berücksichtigung der Betriebsstundenzahl laufend verfolgt wird, sodaß hier das anschaulichste und gesichertste Zahlenmaterial vorliegt und weil hier die ineinandergreifenden chemisch-physikalischen Vorgänge leichter zu übersehen sind als

1) "Ölbewirtschaftung", 2.Aufl. 1937; Verlag Jul.Springer, Berlin

beim Verbrennungsmotor. Um den Fragenbereich noch weiter zu vereinfachen, will ich nicht die gesamte Ölalterung berücksichtigen, sondern nur die Oxydation, die sich hauptsächlich im Anstieg der Neutralisations- und Verseifungszahl äußert. Die Anwendung der so gewonnenen Erkenntnisse auf den Flugmotor folgt später.

Zahlentafel 1
Alterungszahlen

eines bewährten Dampfturbinenöles, das in verschiedene Turbinen des gleichen Betriebes eingefüllt wurde. Ergebnisse der jeweils letzten Probenahme aus der Ölfüllung.

Turbine:	Betriebsstunden:	Nz	Vz	Vz : Nz
I A	18 854	0,46	1,39	3,02
III A	37 771	0,49	1,63	3,33
IV A	27 895	0,43	1,59	<u>3,70</u>
V A	49 077	0,47	1,51	3,22
VII A	15 329	0,73	1,98	2,71
VIII A	46 627	1,30	3,04	<u>2,34</u>
IX A	28 509	0,51	1,72	3,37
XII A	57 181	0,63	1,98	<u>3,14</u>

Nz = Neutralisationszahl
Vz = Verseifungszahl

Mittelwert: 3,10 ^{+0,60}_{-0,76}

Zahlentafel 1 bringt Alterungszahlen (Nz = Neutralisationszahl; Vz = Verseifungszahl) des gleichen, in verschiedene Dampfturbinen des gleichen Werkes eingefüllten, vielfach bewährten Neuöles. Teilweise sind die Füllungen sogar dem gleichen Tankwagen entnommen worden. Die Messungen sind an der letzten, vor dem Ölwechsel gezogenen Ölprobe gemacht worden. Bei der Bewertung der Schlußzahlen ist zu berücksichtigen, daß der Ölwechsel nicht immer durch zu starke Ölalterung bedingt ist, sondern häufig durch notwendige Reparaturen oder Überholungsarbeiten am Maschinenaggregat verursacht ist. Ein Teil der Ölfüllungen befindet sich übrigens noch in Betrieb. Aber

auch, wenn die Ölalterung für den Ölwechsel maßgebend ist, äußert sie sich regelmäßig nicht in $Nz > 3$ und $Vz > 6$ ¹⁾, sondern in saurer Reaktion des wässrigen Auszuges oder in der Ausscheidung von Ölalterungsprodukten (Ölschlamm). Nz und Vz verlaufen unter sich ziemlich konform, wie die verhältnismäßig geringen Schwankungen in $Vz : Nz$ dartun, d.h. die Unterschiede in der Ölbeschaffenheit sind verhältnismäßig gering. Dagegen ist die Steilheit des Anstieges, bezogen auf die Betriebsstundenzahl, sehr unterschiedlich. So erreicht das Öl beispielsweise in Turbine VII A nach nur 15 329 Stunden höhere Nz - und Vz -Werte als in Turbine V A nach 49 077 Stunden. Hier äußert sich der große Einfluß der Turbineneigenart.

Zahlentafel 2
Alterungszahlen
des Regenerates vom Öl der Zahlentafel 1.

Turbine:	Betriebsstunden:	Nz	Vz	$Vz:Nz$
II A	23 601	0,69	2,00	2,90
VI A	19 131	0,79	2,33	2,95
IX A	38 165	1,37	3,51	<u>2,56</u>
X A	35 442	0,75	2,22	2,96
I B II	12 169	1,00	2,96	2,96
II B II	unbek.	0,56	1,64	2,93
IV B I	10 752	0,54	1,77	<u>3,28</u>

Zahlentafel 2 entspricht Zahlentafel 1 mit dem Unterschied, daß nicht Neuöl in die Turbinen eingefüllt wurde, sondern das in der werkseigenen Regenerieranlage aus den alten Turbinenölen gewonnene Regenerat. Der größte Teil der verarbeiteten Altöle war ursprünglich Neuöl der Zahlentafel 1 gewesen. Die Zahlenwerte zeigen deutlich, daß die Schwankungen von $Vz : Nz$ kleiner geworden sind, d.h. die Ölbeschaffenheit ist gleichartiger geworden. Dagegen bleibt die Steilheit im Anstieg der Nz - und Vz -Werte unter Bezug auf die Betriebsstundenzahl sehr unterschiedlich.

03029

Zahlentafel 3
Alterungszahlen

für gleiche Ölfüllungen in gleicher Turbine

Turbine:	Öl:	Betriebs- stunden:	Nz	Vz	Vz : Nz
Reinigungsart unbekannt					
I A	a	5 412	0,81	2,31	2,85
		gründliche Reinigung			
		18 854	0,46	1,39	3,02
gründliche Reinigung					
VI A	b	19 131	0,79	2,33	2,95
		gründliche Reinigung			
		22 680	0,86	2,66	3,09
gründliche Reinigung					
IV B I	b	10 752	0,54	1,77	3,28
		gründliche Reinigung			
		10 221	1,09	3,27	3,00

a = Neuöl der Zahlentafel 1
b = Regenerat der Zahlent.2

Zahlentafel 3 faßt diejenigen Fälle zusammen, in denen das gleiche Öl nacheinander in die gleiche Turbine eingefüllt worden ist. Selbst wenn man auf die Ergebnisse von Turbine I A wenig Gewicht legt, weil die Einzelheiten, insbesondere bezüglich Maschinenreinigung und Öllagerung für die erste Füllung, nicht mehr bekannt sind, dann bleibt immer noch bei IV B I ein so großer Unterschied im Alterungsanstieg übrig, daß er ausreichend den starken Einfluß der betrieblichen Besonderheiten auf die Ölalterung beweisen würde.

Wenn die Eigenart der Maschine schon bei der Alterung von Dampfturbinenöl so augenscheinlich gegenüber der Ölbeschaffenheit überwiegt, dann ist dies bei Schmierölen für Verbrennungsmotoren in noch viel höherem Grade zu erwarten, denn solche Motore stellen an das Öl wesentlich höhere Anforderungen. Dies äußert sich beispielsweise darin, daß bei Dampfturbinen

Verrußung bzw. Verkokung des Öles keine Rolle spielt, bei Motoren aber normal ist. Ferner sind letztere wegen ihrer Bewegung im Freien der Einwirkung von Staub, Feuchtigkeit und Gasen aus der Luft viel mehr ausgesetzt als Dampfturbinen, die ortsfest in gedeckten Räumen arbeiten. Weiterhin unterliegt das Öl im Motor höherer Temperatur, Belastung und Gleitgeschwindigkeit als in der Dampfturbine. Vor allem aber schwankt die Belastung bei Turbinen in ziemlich engen Grenzen, bei Motoren aber sehr stark. Der noch unbekannte Einfluß des Treibstoffes auf die Ölalterung soll hier unberücksichtigt bleiben.

Es ist daher verständlich, daß die Alterung des Motorenöles viel schneller verläuft als diejenige von Dampfturbinenölen. Man kann daher bei Schmierölen für Flugmotoren noch weniger als bei Dampfturbinenölen erwarten, daß man aus den Prüfergebnissen mehr als relative Voraussagen auf das Verhalten des Öles im Betrieb machen kann. Dagegen ist es, zweckmäßige Versuchsbedingungen und Messungen vorausgesetzt, wohl möglich anzugeben, welches von zwei oder mehreren Ölen unter gleichen Versuchsbedingungen sich w e s e n t l i c h besser verhält. Jedoch kann man nicht volle Übereinstimmung der Gütereihe des Versuches mit der Gütereihe des Betriebes verlangen. Weitergehende Schlußfolgerungen aus den Versuchsergebnissen auf den Betrieb können zu sehr verhängnisvollen Fehlurteilen und Fehlmaßnahmen führen.

Wenn auch die Versuchsbedingungen sehr sorgfältig ausgewählt werden müssen, so ist doch Einheitlichkeit wichtiger als der Streit um kleine Varianten, nachdem volle Nachahmung des Betriebes doch nicht erreicht werden kann. Vor allem ist wichtig, daß alle wesentlichen Alterungseinflüsse berücksichtigt werden, die allen gleichartigen Motoren gemeinsam sind.

Ferner erscheint es notwendig, klare Begriffe bezüglich Alterung und Alterungsneigung zu schaffen. In Anpassung an den herrschenden Sprachgebrauch ²⁾ empfehle ich scharf zu unterscheiden zwischen Oxydation, Verrußung und Verkokung, Verschmutzung, Ölverdünnung, Polymerisation usw., und der

2) s. "Richtlinien für Einkauf und Prüfung von Schmierstoffen", 8. Aufl. 1939, S. 136 u. "Ölbewirtschaftung", 2. Aufl. 1937, S. 46 f.

Alterung, als der Gesamtwirkung dieser Vorgänge. Bei der laboratoriumsmäßigen Prüfung an Neuölen wird die Alterungsneigung bestimmt, während im Betrieb am gebrauchten Öl die Alterung verfolgt wird. Man kann auch künstliche und betriebliche Ölalterung einander gegenüberstellen, muß dann aber festlegen, ob die Ergebnisse des Prüfmotors zu der künstlichen oder zu der betrieblichen Alterung zu rechnen sind. Eine Übersicht gibt folgendes Schema:

Vorgänge	I. Bezeichnungsart:	II. Bezeichnungsart:
thermisch-chemische Oxydation	"Alterungsneigung:	"künstliche Alterung"
sonstige störenden Ölveränderungen	keine besondere Bezeichnung	
Gesamtwirkung	"Alterung"	"betriebliche Alterung"

Einige Worte sind noch notwendig bezüglich der sogenannten Beschleunigungsmittel der künstlichen Ölalterung. Fast alle Ölalterungsverfahren arbeiten mit solchen Beschleunigungsmitteln, um einen ausreichend hohen Zahlenwert in möglichst kurzer Versuchszeit zu erreichen, weil die Alterungsvorgänge im allgemeinen sehr langsam verlaufen. Hier ist grundsätzlich festzuhalten, daß nur solche Beschleunigungsmittel zulässig sind, durch welche die Alterung ausschließlich quantitativ verändert wird. Jedes Beschleunigungsmittel, das die Alterung qualitativ ändert, d.h. andere Alterungsprodukte erzeugt als der Betrieb, ist abzulehnen. Dies gilt auch dann, wenn eine qualitative Beeinflussung der Alterung nur im Bereich der Möglichkeit liegt, während der Beweis noch fehlt.

Ein bekanntes, m.E. unzulässiges Beschleunigungsmittel ist die Zuführung von Sauerstoff anstelle von Luft; denn es sind zahlreiche Beispiele aus verschiedenen Stoffgebieten bekannt, in denen die Sauerstoffkonzentration bei sonst gleichen Versuchsbedingungen maßgebend ist für die Art der sich bildenden Oxydationsprodukte. So bildet beispielsweise Kohlenstoff in Sauerstoffüberschuß Dioxyd, in Sauerstoffmangel

Monooxyd. Eisen gibt in Sauerstoffüberschuß Ferriverbindungen, bei Sauerstoffmangel Ferroverbindungen. Ähnliches kann auch bei Ölen der Fall sein. Es müßte daher vor der Zulassung von Sauerstoff der Beweis erbracht sein, daß in keinem Falle die Oxydationsprodukte anders sind als bei Anwendung von Luft unter sonst gleichen Versuchsbedingungen.

Wie bei der Oxydation, so dürfte es auch bei der Ver-
russung wesentlich sein, ob mit Sauerstoff oder Luft gearbei-
tet wird.

Ein weiteres unzulässiges Beschleunigungsmittel ist überbetriebsmäßige Temperatur. Sie kann bewirken, daß bei der Prüfung chemische Umsetzungspunkte des Öles passiert werden, die im Betrieb nicht erreicht werden. Auch in diesem Falle verläuft die Ölalterung im Betrieb qualitativ anders als im Versuch.

Ein zulässiges Beschleunigungsmittel ist die Steigerung der Ölbewegung, weil mit ihr nur die Berührungshäufigkeit der einzelnen Öltröpfchen mit dem Oxydationsmittel oder überhaupt mit den Oxydationseinflüssen gesteigert wird, ohne daß eine qualitative Änderung der Ölalterung zu befürchten ist.

Ein weiteres zulässiges Beschleunigungsmittel liegt darin, daß man die berührte Metallfläche im Verhältnis zur Ölmenge möglichst groß macht, beispielsweise indem man das Öl durch Metallspäne führt. In diesem Falle ist es allerdings schwierig, einheitliche Versuchsbedingungen sicherzustellen.

Es lag mir daran, durch diese Ausführungen von Anfang an auf gewisse Irrwege auf dem Gebiete der Ölalterung hinzuweisen, um eine Vereinfachung der Beratungen zu erzielen.

Zur Frage der Bestimmung des Asphaltgehaltes
in gealterten Schmierölen.

Von Dr.-Ing.H.Tramm, Ruhrchemie A.G.,Holtien

Die Bestimmung des Hartasphaltes nach DIN DVM 3660 geschieht bekanntlich so, daß 4 - 5 g Öl in der 40-fachen Menge Normalbenzin gelöst und nach ca. 20-stündigem Stehen durch zwei Weißbandfilter filtriert werden. Diese werden in einem Extraktionsgerät $\frac{3}{4}$ Std. lang mit Normalbenzin heiß nachextrahiert und sodann mit Benzol extrahiert. Als Hartasphalt gilt der Rückstand, den die Benzollösung beim Eindampfen ergibt. Eine vereinfachte Methode ist von der D.V.L. angegeben. Hiernach werden 4 - 5 g Öl gleichfalls in der 40-fachen Menge Normalbenzin aufgenommen. Man läßt auch hier 20 Stunden stehen und filtriert dann durch einen Glasfiltertiegel 1 G 4, der mit 5 g Kryolithpulver gefüllt ist. Es wird mit Normalbenzin bis zum farblosen Abfließen nachgewaschen. Der Filterrückstand wird mit siedendem Benzol ausgewaschen, die Gewichtsabnahme zwischen Normalbenzin-Nachwaschung und Benzol-auswaschung ergibt den Asphaltgehalt, der dadurch kontrolliert werden kann, daß man die Benzollösung eindampft und den Rückstand bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz trocknet und wägt. Eine weitere Asphaltbestimmungsmethode, die sehr ähnlich der abgekürzten D.V.L.-Methode ist, ist im Zusammenhang mit dem Indianaoxydationstest beschrieben. Nach dem Indianatest werden

300 ccm Öl bei 172°C in einem hohen Glaszylinder durch Durchblasen von 10 l Luft/h gealtert. Zur Asphaltbestimmung in diesem gealterten Öl werden 10 g Öl mit 100 ccm Normalbenzin versetzt und nach 3 bis 3 1/2 Stunden durch einen Gooch-Tiegel über 0,5 bis 0,65 g mittlere Asbestfasern filtriert. Der Tiegel wird mit Fällungsbenzin nachgewaschen und gewogen. Die Gewichtszunahme ergibt den Asphaltgehalt. Im Gegensatz zur DVL-Methode verzichtet also diese Methode auf die Nachwaschung mit Benzol, die ja an sich auch nicht nötig sein sollte, da bei der künstlichen Alterung Fremdstoffe in das Öl nicht eingeschleppt werden und daher im allgemeinen auch keine Abtrennung des Asphaltes von den Fremdstoffen stattzufinden braucht. In unserem Laboratorium wurde bei der Indiana-Alterung die DVL-Methode angewendet, wobei im allgemeinen die Gewichtszunahme des mit Kryolith gefüllten Glasfiltertiegels nach der Normalbenzin-Waschung als Asphaltgehalt angesehen wurde, da sich bei vielfachen Stichproben immer wieder ergeben hatte, daß Benzol-unlösliches bei niedrigen Asphaltgehalten praktisch nicht auftritt und praktisch die gleichen Werte gefunden wurden, wenn eine direkte Wägung stattfand oder wenn die Differenzwägung nach Auswaschung mit Benzol benutzt wurde. Unerwarteterweise traten sehr starke Differenzen im Asphaltgehalt auf, als durch einen Zufall ein und dasselbe Öl von 2 verschiedenen Laboratorien untersucht wurde. Während in dem einen Laboratorium 30 mg Asphaltgehalt gefunden wurden, fand das andere Laboratorium die vierfache Menge, nämlich 120 mg. Es stellte sich dann sehr bald heraus, daß diese Differenz auf den verwendeten Kryolith

zurückzuführen war, der in einem Falle das Schüttgewicht 1,18, im anderen Falle 0,59 aufwies. Es wurde dann noch ein zweites Öl sowie eine neue Sorte Kryolith und auch die bei der Indiatest-Methode vorgeschlagenen Asbestfaserfilterschicht untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle I zusammengestellt. Man sieht, daß der voluminöse, oberflächenreiche Kryolith 3 außerordentlich überhöhte Gewichtszunahmen gibt, während die Gewichtszunahmen bei den normalen Kryolithen und beim Asbest zwar untereinander auch etwas verschieden sind, aber doch immerhin in derselben Größenordnung liegen. Die Extraktion der Filter mit Benzol ergab in allen Fällen, besonders ausgesprochen aber bei dem voluminösen Kryolith, einen verhältnismäßig hohen Gehalt an Benzolunlöslichem. Da es sich hier nicht um motorische, sondern um künstlich gealterte Öle handelt, bei denen jedes Einschleppen von Staub durch sorgfältige Vorfilterung vermieden war, kann es sich bei dem Benzolunlöslichem fraglos nur um Ölmengen handeln, die so fest adsorbiert sind, daß sie sich nicht ablösen. Das ganze Bild der Tabelle I deutet sehr darauf hin, daß hier kein Fällungsvorgang vorgelegen hat, sondern ein Adsorbieren von Ölbestandteilen an dem Filtermaterial, das umso stärker auftrat, je stärker die Oberfläche des Filtermaterials entwickelt war, d.h., in erster Annäherung konnte man sich vorstellen, daß das Filtermaterial einfach eine bestimmte Ölmenge festhielt, deren Gewicht nur von der Menge des Filtermaterials, nicht aber von der Menge des eingesetzten Öles abhängig war, so wie es bei adsorbierenden Stoffen nach Erreichung der Sättigung der Fall sein muß. Diese Annahme konnte geprüft werden, indem an ein und demselben Filterma-

terial die Gewichtszunahme des Filtermaterials in Abhängigkeit von der darüber filtrierten Ölmenge bestimmt wurde. Bei einer wahren Fällung und Filtration hätte die Gewichtszunahme proportional der angewendeten Ölmenge sein müssen, bei einer Adsorption aber unabhängig von der Ölmenge konstant. Im ersten Falle hätte sich bei der Auswertung die Asphaltmenge = $\frac{\text{Gewichtszunahme}}{\text{Öleinwaage}}$ = Konstanz ergeben, im anderen Falle müßte sich die Asphaltmenge ergeben = $\frac{\text{Konstanz}}{\text{Öleinwaage}}$, d.h. steigend mit kleiner werdender Einwaage. In Tabelle II sind die gefundenen Resultate zusammengestellt, und zwar für das Öl I, gemessen an 6 verschiedenen Einwaagen, steigend von 1 - 80 g, beim Öl II in einem Falle sogar von 1 - 240 g und jeweils gemessen an 3 Filtermaterialien bei Öl I bzw. 4 Filtermaterialien bei Öl II. Wie man sieht, ist die 2. Formel Asphaltgehalt = $\frac{\text{Konstanz}}{\text{Öleinwaage}}$ erfüllt. Man kann vielfach mit ganz überraschender Genauigkeit aus einem einzelnen Analysenwert den Wert für alle anderen Einwaagen berechnen. Damit ist bewiesen, daß die so gefundenen Werte zumindest bei den beiden vorliegenden Ölen nichts mit dem ausgefällten Asphalt zu tun haben, sondern lediglich mit der adsorbierten Ölmenge. Es sei noch besonders darauf verwiesen, daß natürlich auch das Öl an der Adsorption beteiligt ist, denn man sieht, daß die gefundenen Werte beim Öl I und beim Öl II in sich stark variieren. Das Öl II wird rd. 3 - 4 mal so gut adsorbiert wie das Öl I. Die Maximal- und Minimalwerte der Tabelle II, die bei ein und demselben Öl in Abhängigkeit von Öleinwaage und Filtermaterial gefunden wurden, liegen im Verhältnis 1:200 bis 1:500 auseinander, d.h. mit anderen Worten, daß sowohl bei der Filtration über Asbest

wie bei der Filtration über Kryolith eigentlich alle beliebigen Asphaltwerte gefunden werden können, je nachdem, welche Einwaage gerade durch Konvention festgelegt ist, und welches Filtermaterial zur Verfügung steht. Der strengen Nachprüfung hält natürlich diese Asphaltbestimmung nicht stand, denn nach den DIN-Vorschriften muß eine Behandlung des Asphaltes mit Normalbenzin und Kochen mit Alkohol Unlöslichkeit ergeben. Extrahiert man aber in allen genannten Fällen die Filter mit Benzol, so zeigen sich als Rückstände bei der Benzolabdampfung ölige Schmierer. Es wurde noch nachgeprüft, ob die adsorbierten Asphaltmengen bei gleicher Öleinwaage von der Konzentration wesentlich abhängen. Dabei wurden 27 g Öl einmal in 200 ccm und einmal in 1,5 l Normalbenzin aufgenommen. Der Asphaltgehalt war in beiden Fällen 0,01 bis 0,02 %.

Sehr interessante Resultate ergaben sich nun, als wir vom Normalbenzin abgingen und die Fällungen mit einem Fällungsbenzin SK 65/70⁺⁾ durchführten, das von uns, ausgehend von den Syntheseprodukten der Fischer-Tropsch-Synthese, hergestellt wird. Es handelt sich hier um einen praktisch einheitlichen, immer streng reproduzierbaren Kohlenwasserstoff rein paraffinischer Natur, der gute Fällungseigenschaften besitzt. Als mit diesem neuen Fällungsmittel an den beiden obengenannten gealterten Ölen eine gleiche Reihe durchgeführt wurde wie die Reihen auf der Tabelle II, d.h. bei konstanter Menge von 200 ccm Fällungsbenzin variable Öleinwaagen von 1, 3, 9, 27, 54 und 80 g, ergaben sich ganz überraschende Erscheinungen. Um die Adsorption soweit wie möglich auszuschalten, hatten wir

⁺⁾ RCH Normal Hexan

für diese Versuche Asbest als Filtermaterial angewendet. Bei dem Öl I bekamen wir Werte, die sich durchaus den Werten in der Tabelle II zuordnen ließen, d.h., auch hier konnte man aus einer Bestimmung alle anderen Bestimmungen berechnen, es handelte sich also um Adsorption. Beim Öl II dagegen fanden wir außerordentliche Abweichungen. Tabelle III gibt ein Bild der Befunde. Die Einwaagen 9 bis 80 g zeigen auch hier wieder qualitativ den Adsorptionsverlauf. Geht man aber mit der Einwaage von 9 g auf 3 g herunter, so springt plötzlich der Asphaltgehalt auf den 70-fachen Wert. Gleichzeitig verändert sich das ganze Bild der Analyse. Der Asphalt fällt schön flockig, etwa wie bei einer Eisenoxydfällung, aus. Löst man ihn mit Benzol vom Filter und dampft die Benzollösung ein, so bekommt man schellakähnliche, feste Harze, wie sie in Proben vorliegen. Eine Wiederholung des Versuches mit Öl II ist in Tabelle IV dargestellt. Man sieht hier genau den gleichen Verlauf, Konstanz zwischen 0,2 und 3 g Einwaage, d.h. eine echte Fällungsreaktion, zwischen 3 und 10 g Einwaage dann plötzlich wieder das vollkommene Absinken und der Übergang in die Adsorbaterscheinungen. Wir stehen also hier vor der Tatsache, daß bei einem Öl, bei dem mit Normalbenzin keinerlei wirklicher Asphaltgehalt gefunden wurde, sondern lediglich Asphaltgehalte durch Adsorption von Ölbestandteilen vorgetäuscht wurden, bei der Anwendung eines anderen Fällungsmittels ganz klar die Asphaltgehalte in Erscheinung treten. Allerdings ist die Fällung so empfindlich, daß schon bei Zugabe von zu viel Öl die Lösungsfähigkeit des Fällungsbenzins so stark heraufgesetzt

wird, daß der Asphalt nicht mehr zur Ausfällung kommt.

Wir haben diese bei einem Öl zufällig gefundene Erscheinung an einer Reihe anderer Öle geprüft, um zu sehen, ob sie allgemein Gültigkeit hat oder rein zufällig war. Es wurden hierbei einerseits Friedensqualitäten bekannter Marken-Automobil-Öle, andererseits jetzt im Gebrauch befindliche Flugöle sowie synthetische Öle untersucht. Gealtert wurden die Öle nach den Indianatest-Bedingungen, und zwar zum Teil über 200 Std., zum Teil über 50 Stunden. In der Tabelle V sind eine Reihe von Versuchen zusammengestellt, in denen der oben geschilderte Effekt deutlich zu beobachten ist. Man sieht, daß bei den Einwaagen von etwa 0,5 bis 2,0 g die Werte recht gut konstant sind. Bei etwa 5 - 10 g beginnt dann ein Abfall und bei 50 g Einwaage werden wieder um Größenordnungen niedrigere Werte gefunden. In der letzten Reihe sind die Werte aufgetragen, die mit handelsüblichem Kahlbaum Normalbenzin bei 10 g Einwaage auf 200 ccm Benzin erhalten wurden. Es zeigt sich, daß diese Methode bei allen Ölen der Tabelle V Werte gibt, die um Zehnerpotenzen unter dem wahren Asphaltgehalt liegen. Durch Herauslösen der Asphalte mit Benzol und Verdampfen des Benzols konnte die einwandfreie Asphaltstruktur der wirklich gefällten Ölkomponeute nachgewiesen werden.

Es wurde aber auch eine Reihe von Versuchen durchgeführt, bei denen andere Verhältnisse auftraten, und zwar handelt es sich hier um Öle mit besonders hohen Asphaltgehalten, die teils bei 50, teils bei 200 Stunden Indianatest besonders stark gealtert waren. Aus Tabelle VI ersieht man, daß im Gegensatz zur Tabelle V hier die mit Normalbenzin und die mit

dem neuen Fällungsbenzin SK 65/70 bei verschiedenen Konzentrationen gefundenen Werte größenordnungsmäßig übereinstimmen. Leider war es uns nicht möglich, die gerade in diesem Falle besonders interessanten 50 g - Werte festzustellen, da bei den hohen Asphaltmengen kein Filtrieren der Öle bei so hohen Ölkonzentrationen mehr zu erreichen war. Eine Mittelstellung nimmt das letzte Öl auf dieser Tabelle ein, das bei 10 g Einwaage praktisch noch keinen Abfall zeigt und erst bei 50 g den Abfall erkennen läßt. Entsprechend wird hier eine gewisse Menge des Asphaltes auch mit Normalbenzin gefällt. Es handelt sich hier also um einen nicht ganz so extremen Alterungszustand wie bei den anderen Ölen der Tabelle. Vergleicht man die Tabellen V und VI, so sieht man, daß ein und dasselbe Öl je nach dem Alterungsgrad mit Normalbenzin ausfällbare oder auch mit Normalbenzin nicht ausfällbare Asphalte bildet. Nicht nur die Menge, sondern auch die Natur der Asphalte ändert sich, wie ja an sich schon bekannt, mit der Art der Ölbeanspruchung. In Tabelle VII sind noch einige ergänzende Versuche zusammengestellt. Hier sind 4 Öle herausgegriffen und jedes dieser Öle ist unter 4 verschiedenen Fällungsbedingungen verarbeitet worden. Man sieht, daß die bei Fällung von 2 g Öl mit 200 ccm Fällungsbenzin erhaltenen Asphaltgehalte vollkommen verändert werden, wenn man beispielsweise diesem Fällungsbenzin 50 ccm Frischöl zusetzt. Jedenfalls ist das bei den Ölen II, V und VIII der Fall, bei IX ändert sich der Wert kaum. In gleicher Richtung wie Frischöl wirkt Benzol und in ebenfalls gleicher Richtung die direkte Fällung mit Normalbenzin, d.h. also, in

dem von uns verwendeten Fällungsbenzin SK 65/70 liegt ein Benzin vor, das wesentlich besser fällt als Normalbenzin, das aber auch schon in seiner Fällungsfähigkeit beeinflusst wird, wenn die Einwaagen zu hoch sind. Es war nun die Frage zu stellen, wie sich die neue Asphaltbestimmungsmethode mit den motorischen Eigenschaften der Öle deckt. Wir sind uns vollkommen klar, daß das hier vorliegende Versuchsmaterial noch längst nicht ausreichend ist, um ein abschließendes Urteil zu haben. Immerhin erscheinen die bisher an 5 Ölen gemessenen Resultate uns so interessant, daß wir sie in der Tabelle VIII zusammengestellt haben. Hier sind die Öle I, IV, III, V und VI in der Reihenfolge der Asphaltgehalte bei der Fällung des Asphaltes mit 200 ccm Fällungsbenzin SK 65/70 aus 2 g Öl zusammengestellt. Die Alterungszeiten betragen beim Öl I 200 Stunden. Es handelt sich hier um ein synthetisches Öl der Ruhrchemie-Erzeugung, das trotz der hohen Alterungszeit einen minimalen Asphaltgehalt aufweist. Bei den Ölen IV bis VI handelt es sich um bekannte Flugöl-Markenöle, die je 50 Std. gealtert wurden. In der Kolonne III ist die Asphaltbestimmung mit Normalbenzin angegeben. Man sieht, die Werte sind vollkommen uncharakteristisch. Sie liegen praktisch alle in derselben Größenordnung und in einer Reihenfolge, die nichts mit der Reihenfolge, die bei der neuen Asphaltbestimmungsmethode gefunden wurde, zu tun hat. In der letzten Kolonne der Tabelle sind dann die Zeiten angegeben, die bei Ringsteckversuchen gefunden wurden. Erfreulicherweise stimmt die Reihenfolge dieser Zeiten überein mit der Reihenfolge der Asphaltgehalte

nach der neuen Methode. Es scheint also so zu sein, daß die nach der neuen Methode gefundenen Werte einen besseren Schluß auf das motorische Verhalten zulassen als die bisher gefundenen Werte bei der Fällung mit Normalbenzin.

Es sei hier noch besonders bemerkt, daß die Asphaltfällungen nach der neuen Methode gut reproduzierbar sind, daß aber die Asphalte nach dem Auflösen mit Benzol nicht in allen Fällen schellakähnlich hart waren, sondern bei sehr niedrigem Asphaltgehalt noch klebrig ölig waren. Es ist das ja auch klar, da natürlich eine gewisse Menge Öl am Filtermaterial adsorbiert bleibt, das sich bei niedrigen Asphaltgehalten durchsetzt und den Asphalten den veränderten Charakter gibt. Da diese Ölmengen aber ziemlich konstant sein dürften, wird die Bestimmung hierdurch wahrscheinlich nicht wesentlich beeinflusst werden.

Zusammenfassung.

Der Einfluß am Filtermaterial adsorbierter Ölmengen auf die Asphaltbestimmung durch Ausfällen der Asphalte mit Normalbenzin wird untersucht. In dem synthetischen, rein paraffinischen Material SK 65/70 wird ein Fällungsbenzin vorgeschlagen, das bei Anwendung von nicht mehr als 2 g Öl auf 200 ccm Fällungsbenzin Asphaltwerte gibt, die einen guten Zusammenhang mit Ringsteckversuchen erkennen lassen.

Tabelle I.

	Öl I		Öl II	
	Benzin-unlöslich.	Benzol-unlöslich.	Benzin-unlöslich.	Benzol-unlöslich.
5 g Kryolith I S.Gew. 1,18	30 mg	10 mg	75 mg	47 mg
5 g Kryolith II S.Gew. 1,17	30 mg	23 mg	28 mg	16 mg
5 g Kryolith III S.Gew. 0,59	124 mg	88 mg	205 mg	129 mg
0,65 g Asbest mittl. Faser	18 mg	1 mg	37 mg	18 mg

Hauptlaboratorium Ruhrchemie 42/4/12.

Tabelle II.

Öl Nr.	Öl I		Öl I		Öl I		Öl II		Öl II		Öl II		Öl II	
	Kryol. I	ber. gef.	Kryol. II	ber. gef.	Kryol. III	ber. gef.	Kryol. I	ber. gef.	Kryol. II	ber. gef.	Kryol. III	ber. gef.	Asbest	ber. gef.
Filtermaterial:														
Einwaage g Öl auf 200 ccm Normalbenzin														
1	0,27	0,18	0,21	0,085	1,08	0,97	0,675	0,73	0,252	0,377	1,85	2,43	0,333	0,150
3	0,09	0,07	0,072	0,066	0,36	0,38	0,225	0,21	0,084	0,097	0,615	0,716	0,111	0,100
9	0,03	0,03	0,024	0,024	0,12	0,12	0,075	0,075	0,028	0,028	0,205	0,205	0,037	0,037
27	0,01	0,011	0,008	0,009	0,04	0,04	0,025	0,03	0,009	0,011	0,068	0,080	0,012	0,010
54	0,005	0,007	0,004	0,006	0,02	0,02	0,012	0,013	0,005	0,008	0,034	0,040	0,006	0,004
80	0,003	0,007	0,005	0,005	0,013	0,017	0,08	0,009	0,003	0,005	0,023	0,030	0,004	0,003
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,007	0,013	-	-

Ruhroheirie HL 42/4/12.

Tabelle III

Fällungsmittel SK 65/70.

Öl Nr.	Öl I		Öl II	
	% Asphaltgehalt berechn.	gefund.	% Asphaltgehalt berechn.	gefund.
Einwaage g Öl auf 200 ccm SK 65/70				
1	0,108	0,119	<u>0,576</u>	<u>5,10</u>
3	0,036	0,043	<u>0,192</u>	<u>4,20</u>
9	0,012	0,012	0,064	0,064
27	0,004	0,003	0,021	0,014
54	0,002	0,002	0,010	0,007
80	0,001	0,003	0,006	0,007

Ruhrchemie HL 42/4/12.

Tabelle IV

Einwaage	Öl II
g Öl auf 200 ccm SK-65/70	
0,2	5,70
0,5	4,90
1,0	4,68
1,5	4,42
2,0	4,31
3,0	4,05
<u>10,0</u>	<u>0,045</u>

Tabelle V.

Öl Nr.	Öl III 200 Std.	Öl V 50 Std.	Öl VI 50 Std.	Öl VII 50 Std.	Öl VIII 50 Std.
Alterungszeit:	% Asph.	% Asph.	% Asph.	% Asph.	% Asph.
Einwaage g Öl auf 200 ocm SK 65/70					
0,5	2,42	0,97	0,77	0,60	0,95
2,0	2,30	0,83	0,88	0,69	0,96
5,0	1,15	0,66	0,80	0,31	0,74
10,0	0,03	0,36	0,63	0,03	0,48
50,0	0,006	0,006	0,06	0,01	0,01
10 g Öl auf 200 ocm Normalbenzin	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02

Ruhrchemie HL 42/4/12.

03047

Tabelle VI.

Öl Nr.	Öl VII	Öl VIII	Öl IX	Öl IX
Alterungszeit:	200 Std. % Asph.	200 Std. % Asph.	200 Std. % Asph.	50 Std. % Asph.
Einwaage g Öl auf 200 ccm SK 65/70				
0,5	6,85	10,0	14,5	1,78
2,0	6,40	11,0	19,8	1,65
5,0	6,10	8,7	13,7	1,57
10,0	-	-	18,8	1,46
50,0	-	-	-	<u>0,78</u>
Fällung Normalben- zin 10 g Öl pro 200 ccm Benzin	4,38	7,5	13,1	0,36

Hauptlaboratorium Ruhrchemie 42/4/12.

Tabelle VII.

Öl Nr. Alterungszeit:	Öl II 200 Std.	Öl V 50 Std.	Öl VIII 50 Std.	Öl IX 200 Std.
Fällungsbedingg.:				
200 ccm SK 65/70; 2 g Öl	4,5	0,8	0,96	14
200 ccm SK 65/70; + 50 Frischöl; 2 g Öl	0,06	0,42	0,11	12,2
200 ccm SK 65/70 + 20 Benzol; 2 g Öl	0,42	0,16	0,11	12,9
Normalbenzin 10 g Öl pro 200 ccm Benzin	0,04	0,01	0,08	13,1

Ruhrchemie HL 42/4/12.

03049

- 127 -

Tabelle VIII.

Öl Nr.	Alterungs- zeit Std.	Asphaltbest. Norm. Benzin 10 g Öl/ 200 Benzin	Asphaltbest. SK 65/70 2 g Öl pro 200 ccm B.	Ringstecken
I	200	0,02	0,04	14 Std.
IV	50	0,02	0,10	10 Std.
III	50	0,04	0,15	8 Std.
V	50	0,01	0,83	5 Std.
VI	50	0,04	0,88	5 Std.

Ruhrochemie HL 42/4/12.

03049

- 127 -

Tabelle VIII.

Öl Nr.	Alterungs- zeit Std.	Asphaltbest. Norm. Benzin 10 g Öl/ 200 Benzin	Asphaltbest. SK 65/70 2 g Öl pro 200 ccm B.	Ringstecken
I	200	0,02	0,04	14 Std.
IV	50	0,02	0,10	10 Std.
III	50	0,04	0,15	8 Std.
V	50	0,01	0,83	5 Std.
VI	50	0,04	0,88	5 Std.

Ruhrochemie HL 42/4/12.

Die Überwachung der Kolbentemperatur bei der
Betriebsstoffdauerprüfung.

Von Dipl.-Ing. Glaser, DVL, Inst. BS.

Die bisherigen Erfahrungen bei Ringsteckversuchen haben gezeigt, dass neben Kraftstoff und Schmierstoff in erster Linie die Temperatur von ausschlaggebendem Einfluß auf das Versuchsergebnis ist. Während im allgemeinen die Reproduzierbarkeit bei solchen Untersuchungen durchaus zufriedenstellend ist, kam es doch bei fast jeder Stelle schon mehrfach vor, dass trotz gleicher Ausgangsbedingungen und sorgfältigster Versuchsdurchführung mit ein und demselben Öl in weiten Grenzen schwankende Laufzeiten erreicht wurden. Ausserdem zeigen die einzelnen Motoren, so wie sie bei den prüfenden Stellen verwendet werden, sehr große Unterschiede in den Ergebnissen, wenn überall bei den gleichen Bedingungen gefahren wurde; es mußte deshalb die willkürliche Abmachung getroffen werden, bei jedem Motor die Bedingungen so einzustellen, daß für das Eichöl Rotring die Laufzeit von 8 bis 8 1/2 Stunden erreicht wird. Diese Unsicherheiten lassen sich auf die Tatsache zurückführen, dass die Vorgänge in der Kolbenringpartie trotz gleicher äußerer Bedingungen während des Laufes nicht genügend erfasst werden können. Aufgabe dieses Vortrages ist es daher, die bisherigen Überwachungsmethoden noch einmal näher zu beleuchten, auf die Vorgänge hinzuweisen, die unter Umständen die Temperatur in der Ringpartie - also auch das Ringstecken - beeinflussen und schließlich über das Kolbentemperaturmessverfahren am laufenden Motor zu berichten.

Die mechanischen Bedingungen, also Drehzahl und Leistung können im allgemeinen bei gutem Zustand der Messgeräte so sorgfältig eingehalten und überwacht werden, dass Unregelmäßigkeiten hierdurch nicht verursacht werden. Das gleiche ist über den Kraftstoffverbrauch und die Zündung zu sagen. Anders liegt der Fall bei der Überwachung der Zylindertemperaturen. Allein schon die Tatsache, dass die eine Stelle die Kerzenringtemperatur im Windschatten, die andere einen Messpunkt im Scheitel des Zylins-

derkopfes und eine weitere prüfende Stelle den Mittelwert von verschiedenen Zylinderwand- und Kopftemperaturen als Richtwert gewählt hat, weist daraufhin, wie unregelmäßig die Zuverlässigkeit der einzelnen Messungen ist. Ich möchte deshalb noch einmal auf die hauptsächlichsten Störquellen hinweisen:

1. Mangelhafter Einbau des Thermoelementes.

Im allgemeinen werden die Thermoelemente eingestemmt. Die Stemmstelle kann sich lösen, es bilden sich dann Oxydschichten oder Ablagerungen irgendwelcher Rückstände zwischen den Thermoelementen, durch die die Thermokraft wesentlich verändert wird. Um die Qualität des Einbaues zu überprüfen, wird vorgeschlagen, von Fall zu Fall den elektrischen Widerstand zwischen Zylindermaterial und Elementendraht zu messen. Wie später noch berichtet werden wird, hat sich diese Überwachungsmethode besonders beim Kolbentemperaturmessverfahren sehr gut bewährt. Lockerungen des Elementendrahtes, die mechanisch nicht feststellbar sind, oder die Ablagerung irgendwelcher Störschichten machten sich durch beträchtliche Widerstandsänderungen bemerkbar.

2. Mangelhafter Kontakt an den Verbindungsstellen und Umschaltern.

Auch hier können durch Oxydschichtbildungen und Wackelkontakte erhebliche Messfehler entstehen.

3. Mangelhafte Isolation der zwischen den Kühlrippen entlang laufenden Drähte.

Eine Störung tritt hier allerdings erst dann auf, wenn die Drähte in leitende Verbindung miteinander kommen oder wenn derselbe Draht mehrere, auseinander liegende Berührungsstellen mit anderen Metallteilen hat.

An vielen Motoren wird die Kerzenringtemperatur als Richttemperatur verwendet. Nach Versuchen der DVL an einem kleinen Motor spielt hierbei die Bauart der Zündkerze und die Art der Kühlluftabführung eine ausserordentlich grosse Rolle: Bei diesen Untersuchungen wurde die Temperatur der Zylinderwand ungefähr an der Stelle, an der der oberste Kolbenring den höchsten

Funkt erreicht, stets gleichgehalten und die Kerzenringtemperatur hierbei mit verschiedenen Zündkerzenarten gemessen. Es zeigte sich, dass der Wärmewert sowie die Länge des Schraubgewindes - also die Lage der Zündstelle in der Bohrung - keinen bemerkenswerten Einfluss hat, während Kerzen mit verschiedenen langen Gehäuse Temperaturunterschiede von mehr als 35°C brachten. Entstörbare Kerzen dürften sich in diesem Punkte noch stärker auswirken. Weiter wurde bei im übrigen gleichen Bedingungen die KÜhlluftableitung verschieden stark gedrosselt. Hierbei konnte bei derselben Zylinderwandtemperatur die des Kerzenringes ebenfalls um mehr als 20°C verändert werden.

Es ist durchaus möglich, dass diese Beobachtungsergebnisse bei der Messung der Zylinderwandtemperatur an einer anderen Stelle oder bei anderer Lage der Zündkerze ganz anders ausfallen; es soll hierdurch nur gezeigt werden, welche Bedeutung die richtige Wahl der Richttemperaturmesstelle hat und dass die Anfangs erwähnten verschiedenen Lagen und Werte der Bezugstemperatur für gleiche Laufzeit mit demselben Betriebsstoff dadurch erklärt werden kann.

Auch die Öleintritts- und Austrittstemperaturen sind für die einzelnen Motoren verschieden gewählt worden. Es ist selbstverständlich, dass die Temperatur des Öls ebenfalls die Kolbentemperatur und damit die Ringsteckzeit beeinflusst. Gleiche Laufzeiten machen also bei anderer Öltemperatur auch eine Änderung der Richttemperatur erforderlich.

Der Einfluss der Öltemperatur wird jedoch wohl durch die an den Kolben geschleuderten Ölmengen überdeckt. An anderer Stelle durchgeführte Versuche haben gezeigt, dass die Kolbentemperaturen um teilweise mehr als 40°C bei entsprechender Vergrößerung der an das Kolbeninnere gespritzten Ölmengen gesenkt werden konnten. Dieses sicherlich überraschende Ergebnis gab dazu Anlass, am BMW 132-Ölprüfmotor die an Zylinderwand und Kolben geschleuderten Ölmengen zu erfassen: Ein an Stelle eines Zylinderabschlusses angebrachtes Fenster am Kurbelgehäuse zeigte, dass die am Pleuel abgeschleuderten Ölmengen sehr unterschiedlich sind. Die größte Menge wird anscheinend an der

der Ölzuführung zugewandten Seite des Pleuellagers abgeschleudert, in der Mitte verhältnismäßig wenig; an der anderen Seite steigt dann die Ölmenge wieder. Hieraus geht schon ziemlich klar hervor, dass das seitliche und radiale Spiel in Pleuellager von großem Einfluss ist. Die mengenmäßige Erfassung des abgeschleuderten Öles ist noch nicht abgeschlossen; es wird erst später darüber berichtet werden können.

Die abgeschleuderten Ölmengen werden jedoch wohl kaum allein über die thermische Belastung des Kolbens Auskunft geben. Es sollen deshalb in folgendem einmal alle diejenigen Gesichtspunkte aufgezählt werden, die auf die Temperatur in der Ringpartie vermutlich ebenfalls von Einfluss sind:

1. Das Spiel zwischen Kolben und Zylinder.

Es ist wünschenswert, das Spiel zwischen Kolben und Zylinder so klein als möglich zu halten (selbstverständlich muss es groß genug sein, damit ein Kolbenfresser vermieden wird), da dann die Temperatur des Kolbenschaftes am besten durch die Zylinderwandtemperatur, also die Kühlung, beherrscht werden kann. Bei größerem Spiel wird der Anteil der Wärmemengen, die durch das zwischen Kolben und Zylinder befindliche Öl abgeführt werden, immer größer, so dass die Überwachung von aussen noch schwieriger wird, wenn es nicht gelingen sollte, die durch das Öl abgeführte Wärme laufend zu messen. Bei noch größerem Spiel kann der Ölfilm als solcher nicht mehr abdichten, er zerreist stellenweise, so dass der kontinuierliche Wärmefluss an diesem Teil des Kolbens ausserordentlich gestört wird. Als Folge der schlechter gewordenen Abdichtung können unter Umständen auch Verbrennungsgase, die durch die Kolbenringe nicht zurückgehalten wurden, durchtreten; hierdurch wird nicht nur die gleichmäßige Kühlung des Kolbens verhindert, sondern unter Umständen sogar für eine entsprechende örtliche Aufheizung desselben gesorgt. Da sich allerdings hierbei auch die Zylinderwand erwärmt, wird durch entsprechend stärkere Kühlung - die Zylinderwandtemperaturen (Richttemperaturen) werden ja während des Laufes stets gleichgehalten - ein Teil dieser Aufheizung wieder zunichte gemacht. Dass diese erhöhte Kühlung den Einfluss der durch-

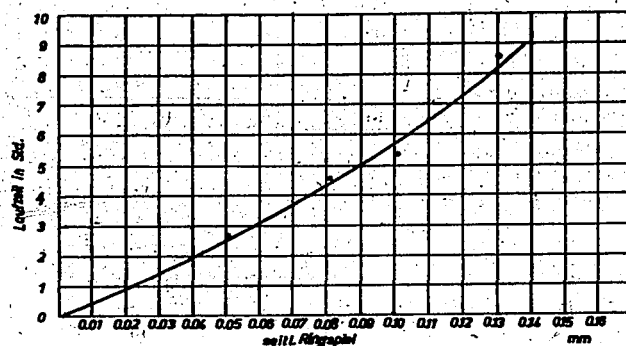
blasenden Gase zum großen Teil ausschaltet, wird dadurch bestätigt, dass bei hohem Gasdurchtritt die Laufzeit nur wenig beeinflusst wird. Allerdings ist die Reproduzierbarkeit derartiger Läufe bei weitem nicht so gut wie bei geringem Gasdurchblasen.

2. Das seitliche Ringspiel.

Dass das seitliche Ringspiel großen Einfluss hat, ist schon von den verschiedensten Stellen beobachtet worden. Die Größe dieses Einflusses ist jedoch besonders davon abhängig, in welcher Verteilung die Wärme vom Kolben abgeführt wird: Kolben mit großer Gleitfläche am Schaft führen selbstverständlich wesentlich mehr Wärme am unteren Teil ab als an der Ringpartie, während bei Kolben mit kleiner Gleitfläche - z.B. Gleitschuhkolben - der Fall ganz anders liegt; hier wird die Ringpartie wesentlich mehr belastet, so dass der Einfluss des Ringspiels viel größer ist als bei der ersteren Kolbenbauart. Auch bei größer werdendem Kolbenspiel im Zylinder wird die Wärmeabfuhr immer mehr nach der Ringpartie hin verschoben, so dass die Rolle des seitlichen Ringspiels immer wichtiger wird.

Der Einfluss, den das Ringspiel auf die Zeit bis zum Ringstecken hat, muß von zwei Gesichtspunkten aus betrachtet werden:

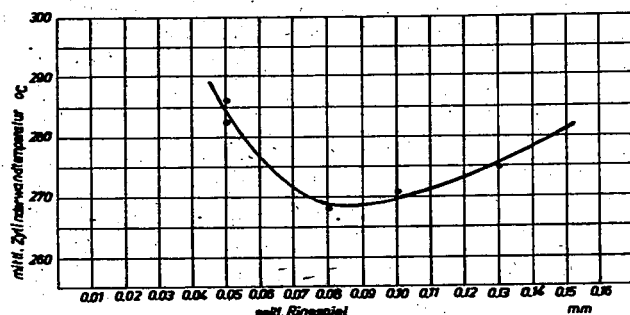
a) Je größer das seitliche Spiel ist, desto größer ist der Raum, der von den Rückständen bis zum Stecken ausgefüllt werden muss und umso länger werden die Laufzeiten. Bei gleicher Temperatur in der Ringpartie müßte daher die Laufzeit linear mit dem seitlichen Spiel steigen. Dies konnte mit Hilfe des Kolbentemperaturmessgerätes, über das später noch berichtet wird, nachgewiesen werden (Abb.1). Die Tatsache, dass die Abhängigkeit bei diesen Versuchen nicht vollkommen geradlinig ausgefallen ist, dürfte wohl darauf zurückgeführt werden, dass die Temperatur nicht in der Ringnut, sondern im Kolbeninnern an einer Stelle in der Nähe der Ringpartie gemessen werden konnte.



Bei gleicher Temperatur
in der Nut ist die Lauf-
zeit dem seitl. Ringspiel
nahezu proportional

Abb. 1: Abhängigkeit der Laufzeit bis zum Ringstecken vom seitl. Ringspiel bei gleicher Kolbentemperatur.

b) Weiter wird der Wärmeübergang vom Kolben zum Zylinder durch das Ringspiel beeinflusst: Bei sehr kleinem Abstand - also sehr kleinem Spiel - ist der Wärmeübergang gut, und der Ring nimmt ungefähr die Temperatur des ihn umgebenden Kolbenmaterials an. Bei größerem Spiel wird der Wärmeübergang schlechter, da das zwischen Ring und Nut befindliche Öl als Wärmepolster wirkt. Um die gleiche Kolbentemperatur zu erhalten, muß daher zunächst wesentlich mehr gekühlt werden. (**Abb. 2**). Wird der Raum zwischen Ring und



Das seitl. Ringspiel
beeinflusst den Wärme-
übergang zwischen
Kolben und Zylinder

Abb. 2: Abhängigkeit der Zylinderwandtemperatur vom seitl. Ringspiel bei gleicher Kolbentemperatur.

Kolben jedoch noch größer, so beginnt das Öl dort zu fließen und kann daher einen Teil Wärme abführen. Es sind deshalb auch nicht mehr so niedrige Zylinderwandtemperaturen notwendig, um die Kolbentemperatur auf der gleichen Höhe wie bisher zu halten.

3. Die Abdichtung durch die Ringe.

Es ist selbstverständlich, dass auch mangelhafte Abdichtung zwischen Kolben und Zylinder die Temperatur beeinflusst. Dabei ist es gleichgültig, ob dies durch Unrunde oder schlecht einlaufende Ringe, mangelhafte Ringspannung oder durch zu große Unrunde des Zylinders verursacht wird. Die dabei durchblasenden Gase werden stets zu einer örtlichen Erwärmung beitragen. Allerdings kann diese Störung, wie schon vorher erwähnt, zum großen Teil wieder rückgängig gemacht werden.

4. Filmbildung und -haftung.

Es ist bekannt, dass man durch Abschrägung des unteren Kolbenrandes die Ölabstreifwirkung ausserordentlich beeinflussen kann. Ebenso wird der Zustand und damit die Wirkung der Ölabstreifringe auf die Qualität des Ölfilms zwischen Kolben und Zylinder Einfluss haben. Ein Ölfilm, der durch einen zu gut arbeitenden Abstreifring ständig zerrissen wird - dies ist um so mehr der Fall, je größer die Konizität und Unrunde des Zylinders ist - kann unmöglich einen gleichmäßigen Wärmefluss vom Kolben zur Zylinderwand gewährleisten.

Manche Öle, deren Filmhaftungsvermögen sehr schlecht ist, ergeben oft mangelhaft reproduzierbare und ziemlich kurze Laufzeiten, obwohl ihre Neigung zur Rückstandsbildung gar nicht ungünstig ist. Die kurze Laufzeit ist dann nur die Folge davon, dass durch die schlechte Haftung die Kolbentemperatur trotz gleicher Richttemperatur unter Umständen höher als bei dem Vergleichsöl mit besserer Haftung lag. Stärkere thermische Beanspruchung bringt aber auch meist größere Rückstandsbildung und damit kürzere Laufzeiten bis zum Ringstecken.

5. Der Abrieb.

Der Befund nach den Ringsteckkläufen zeigt sehr oft eine gewisse Gratbildung an den Laufflächen der Kolbenringe. Dies deutet darauf hin, dass in bestimmten Fällen die Temperaturen an der Gleitfläche derartig hoch werden, dass das Material zum Teil plastisch wird oder dass aus dem Gefüge herausgebrochene Teilchen mit dem Ringwerkstoff bei sehr hohen Temperaturen wie-

der verschweist werden. Es liegt daher der Gedanke nahe, daß in diesem Falle von einer Wärmeabfuhr durch den Ring nicht gesprochen werden kann, dass im Gegenteil eine Wärmequelle infolge hoher Reibung vorhanden ist, die vielleicht auch von Einfluss auf die Temperaturverteilung im Kolben sein mag. Leider liegen hierüber keine Untersuchungsergebnisse vor; der Vorgang wird jedoch erwähnt, um zu entsprechenden Versuchen Anregung zu geben.

6. Die Rückstände.

Schliesslich muss noch auf die Ablagerung der Rückstände hingewiesen werden. Es könnte durchaus möglich sein, dass die sich im Laufe der Zeit bildenden Ölkohleschichten eine Verschiebung des Wärmeflusses zur Folge haben. Auch hierdurch liess sich vielleicht manche Streuung erklären, insbesondere dann, wenn ein sehr temperaturempfindliches Öl geprüft wird.

Alle diese Erwägungen zeigen sehr deutlich, von welchem grossen Wert es wäre, wenn man die Temperaturen in der Ringpartie während des Laufes sorgfältig überwachen könnte. Aus diesem Grunde hat die DVL versucht, ein geeignetes Verfahren für derartige Messungen zu entwickeln, über das im Folgenden nun berichtet werden soll.

Als Grundlage diene das Kolbentemperaturmessverfahren, über das vor einigen Jahren in den USA von Keyser und Miller ⁺) zum erstenmal Mitteilung gemacht wurde: An der Stelle, an der im Kolben die Temperaturen während des Laufes gemessen werden sollen, ist ein Thermoelement eingebaut, dessen beide Drähte zu Kontaktstücken führen, die sich am unteren Rand des Kolbens befinden. Diese Kontakte berühren in der Zeit, in der sich der Kolben im unteren Totpunkt befindet, Gegenkontakte, über die der Thermostrom weitergeleitet wird.

Da die Berührungszeit nur sehr kurz ist, würde ein an die Gegenkontakte über eine kalte Lötstelle angeschlossenes Millivoltmeter infolge seiner Trägheit nur einen sehr kleinen Teil der tatsächlichen Thermokraft anzeigen; ausserdem spielt

⁺) vgl. P.V.Keyser u.E.F.Miller. Piston and pistonring temperatures, J.Inst.Petr.Techn. Bd.25 (Dez.1939) Nr.194, S.771/778

der ständig schwankende Übergangswiderstand an den Kontakten hierbei eine Rolle, so dass auch eine trägheitsfreie - z.B. oszillographische - Anzeige nicht den tatsächlichen Thermostrom wiedergibt.

Die Messung der Thermokraft geschieht daher nach der sogenannten Nullpunktmethode: Wird an das Thermoelement bzw. an die Gegenkontakte eine entgegengesetzt gerichtete EMK angelegt, so fließt in dem gesamten Kreis kein Strom, wenn die Thermokraft und die Gegen-EMK gleich groß sind. Um also die Temperatur an der Meßstelle zu bestimmen, muß der Gegenstrom, der ja ohne weiteres messbar ist, so groß gemacht werden, daß in dem gesamten Kreis der Strom Null fließt. Die Größe des Gegenstromes entspricht dann der Temperatur an der Meßstelle.

Bei dieser Methode spielt der Übergangswiderstand bekanntlich keine Rolle, da ja stets der Strom Null fließt, gleichgültig, ob der Widerstand groß (Unterbrechung) oder sehr klein ist. Je höher der Übergangswiderstand um so empfindlicher muß allerdings das Nullinstrument sein, wenn die Messgenauigkeit nicht leiden soll; denn kleinere Unterschiede zwischen Thermostrom und Gegenstrom lassen sich dann wegen des hohen Spannungsabfalls nicht mehr feststellen.

In Amerika wurde der Gegenstrom aus einer durch eine Batterie gespeisten Wheatstone'schen Brücke entnommen; die Regulierung desselben erfolgte durch einen in der Brücke liegenden veränderlichen Widerstand. Die gesamte Anlage war so geeicht, dass die Größe des Brückenstromes, also die zu messende Temperatur, direkt an der Einstellung des Regelwiderstandes abgelesen werden konnte. Die Anwendung einer solchen Brückenschaltung gewährleistet nur dann eine zuverlässige Messung des Gegenstromes, wenn der Übergangswiderstand am Regulierbügel stets gleich und sehr klein ist. Ausserdem darf durch das Regeln der Draht nicht abgerieben werden, da sich sonst sein Widerstand ändern würde und die Anlage ständig neu geeicht werden müßte. Schwankungen der Stromquelle müssen selbstverständlich

ebenfalls ausgeschaltet werden.

Da die Erfüllung dieser Forderungen mit großen Schwierigkeiten verbunden sein dürfte, ist die DVL bei der Erzeugung des Gegenstroms einen anderen Weg gegangen (Abb. 3): Der Gegen-

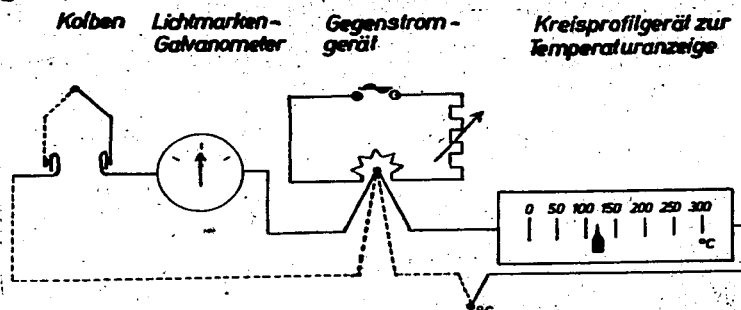


Abb. 3: Schema für die Kolbentemperatur-Meßanlage.

strom wird hier von einem Thermoelement geliefert, das durch eine elektrische Heizanlage auf dieselbe Temperatur wie die Meßstelle im Kolben gebracht wird. Die Temperatur des Gegen-elementes wird durch ein weiteres Thermoelement gemessen. Während die beiden Drähte von der Gegenstromquelle über das Nullinstrument zu den Kontakten im Motor führen, werden die Drähte des Anzeigeelementes über eine kalte Lötstelle zu einem Millivoltmeter geleitet. Ein direkt in Temperaturen anzeigendes Kreisprofilgerät, das mit dem Elementenmaterial genau geeicht war, hat sich hierbei besonders gut bewährt.

Um irgendwelche Fehler und Unsicherheiten nach Möglichkeit zu vermeiden, sind Anzeige- und Gegen-thermoelement in einem Knoten verschweißt (Abb. 4). Dieser ist von einer elektrisch aufheizbaren Drahtspirale umgeben, durch die der Thermoknoten auf jede beliebige Temperatur gebracht werden kann. Es ist selbstverständlich, daß die Spirale frei schwebend angebracht ist und den Knoten bzw. die Thermodrähte nicht berührt. Zum Schutz gegen Luftströmungen, durch die unter Umständen eine gleichmäßige Wärmeabgabe und damit Schwankungen der Temperatur des Thermoknotens verursacht werden können, ist über dieses Aggregat eine Glasglocke gestülpt. Diese liegt nur lose auf, so daß die im Innenraum erwärmte Luft ohne weiteres entweichen kann. (Abb. 5)

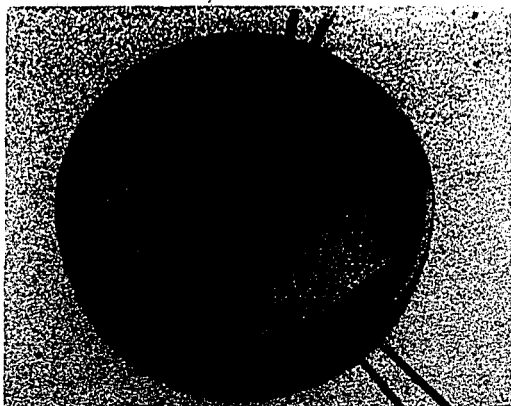


Abb.4: Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes
(Ansicht von oben)

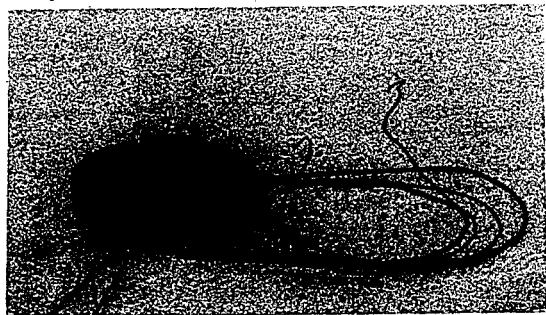


Abb.5: Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes
(Gesamtansicht)

Die Heizspirale wird über einen Transformator aus dem Netz geheizt. Einige verschieden abgestufte, dazwischen geschaltete Widerstände sorgen für eine äußerst genaue Regulierung. Die gesamte Anlage ist in Abb.6 dargestellt. Oben links befindet sich das Kreisprofilgerät zum direkten Ablesen der Temperaturen; der links vom Amperemeter befindliche Schalter dient zum Ausschalten des Gerätes. Gleichzeitig wird damit auch das Anzeigelinstrument kurzgeschlossen, so daß es beim



Abb. 6: Kolbentemperaturmeßanlage (Vorderansicht)

Transport geschont wird. Die darunter liegenden Apparatklemmen dienen zum Kurzschliessen der festen Widerstände zur Grobregulierung. Ganz unter befinden sich drei Knöpfe für die Feinregulierung. - Rechts neben dem Schaltkasten steht das Nullinstrument, ein Lichtmarkengalvanometer der Firma Hartmann & Braun.



Abb. 7: Kolbentemperaturmeßanlage (Rückansicht)

Die Rückansicht zeigt im Vordergrund rechts den Behälter mit schmelzendem Eis für die Kaltlötstelle, links daneben den Transformator; dazwischen weiter nach hinten liegend ist der Heiz-

Körper zur Erzeugung des Gegenstroms zu versehen. Die übrigen Teile sind deutlich erkennbar, so daß sie hier nicht näher beschrieben werden müssen.

Die Anlage gestattet eine äusserst genaue und schnelle Einstellung der Temperatur des Thermoknotens. Entsprechende Versuche haben gezeigt, daß sich in kürzester Zeit - etwa zwei bis drei Minuten - jede beliebige Temperatur von 20° bis ungefähr 850°C auf ein Grad genau einregulieren läßt.

An dieser Stelle soll noch erwähnt werden, daß die Gegenstromanlage sich auch ausgezeichnet zum Eichn der verschiedensten Thermoanlagen geeignet hat. Aus diesem Grunde ist das Gerät so gebaut worden, daß der Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes mit dem Thermoknoten ausgetauscht werden kann. Soll ein bestimmtes Thermoelement geeicht werden, so muß ein Heizkörper verwendet werden, bei dem das Gegenstromelement durch das zu eichende Element ersetzt ist. Wird an das Element über eine kalte Lötstelle ein Millivoltmeter angeschlossen, so läßt sich, da ja jede beliebige Temperatur in kurzer Zeit mit dem Gegenstromgerät eingestellt werden kann, sehr schnell eine Eichkurve aufstellen.

Auf dieselbe Art läßt sich selbstverständlich auch ein Anzeigeelement oder eine Thermomessanlage überprüfen. Es wurde in der DVL eine größere Anzahl derartiger Heizkörper hergestellt, in die die verschiedensten Thermomaterialien eingebaut waren. Um eine schnelle und zuverlässige Überprüfung z.B. der in den Prüfständen eingebauten Messanlagen vorzunehmen, war es nur notwendig, den Heizkörper mit dem entsprechenden Thermomaterial anzuschliessen; die Kontrolle konnte dann in sehr kurzer Zeit - insgesamt etwa 10 Minuten - durchgeführt werden.

Um genaue Messungen vornehmen zu können, muß das Nullinstrument EMKe von weniger als 0,01 Millivolt noch deutlich anzeigen. Diese Forderung wurde von einem Lichtmarkengalvanometer der Firma Hartmann & Braun sehr zufriedenstellend erfüllt (vgl. auch Abb. 6 rechts).

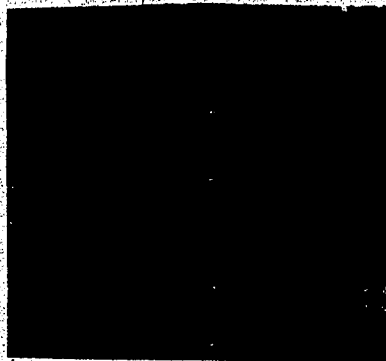
Da aber zur Zeit sehr große Beschaffungsschwierigkeiten für derartige Instrumente (die Lieferzeit beträgt mindestens 18 Monate) bestehen, wurde von der DVL noch ein anderer Weg bei der Bestimmung des Nullstromes begangen: Der Strom, der zwischen der Meßstelle im Kolben und im Gegenthermoelement fließt, wird ja ständig der Motordrehzahl entsprechend unterbrochen. Ein derartiger zerhackter Gleichstrom läßt sich daher transformieren. Der in der Sekundärwicklung entstandene Wechselstrom kann dann durch eine geeignete Röhrenschaltung verstärkt werden. Mit einer derartigen versuchsweise aufgebauten Anlage sind bereits einige Messungen durchgeführt worden, die gezeigt haben, daß dieser Weg bei genügender Verstärkung aller Voraussicht nach zum Ziele führt.

Der Einbau der Thermodrähte im Kolben hat hier ebenso wie in Amerika ausserordentliche Schwierigkeiten gemacht: Da alle Motoren, die für die Messungen vorgesehen waren, Leichtmetallkolben hatten, war ein Verlöten oder Verschweißen des Thermoelementes mit dem Kolbenmaterial nicht möglich. Der Versuch, ein kleines Eisen- oder Kupferklötzchen, in dem die Drähte hart eingelötet waren, in einer in der Kolbennut vorgesehenen Bohrung zu verstemmen, führte nicht zum Erfolg, da sich durch die verschiedene Wärmedehnung während des Betriebes stets kleine Spalte bildeten, durch die die Verbrennungsgase hindurchströmen konnten. Die in den Spalten abgelagerten Rückstände führten zu schwankenden Wärmeübergängen und daher zu Messfehlern. Aus diesem Grunde wurde auf eine direkt in der Kolbenringnut liegende Meßstelle verzichtet.

Da der Einbau des Elementes vom Kolbeninneren aus, insbesondere die Isolierung eines jeden Drahtes bis zur eigentlichen möglichst nahe hinter der Nut liegenden Meßstelle, zu erheblichen technischen und mechanischen Schwierigkeiten geführt hätte, wurde bei den beiden Kleinmotoren - dem NSU-Motor 501/OS (500 ccm) und dem DKW-Motor EW 301 (300 ccm) - auch auf eine Messung in der Nähe der Nut verzichtet und die Drähte nahe nebeneinander im Kolbeninneren hinter der Ringpartie verstemmt. Es zeigte sich, daß diese Art der Befestigung bei den kleinen Motoren allen Beanspruchungen während des Laufes standhielt, da hier ein Durchbla-

sen irgendwelcher Gase nicht möglich war. Ausserdem kann man annehmen, daß die Temperaturen an dieser Einbaustelle ungefähr denen in der Ringnut proportional sind; so daß von hier aus auf die Temperaturen der Kolbenringpartie geschlossen werden konnte.

Abb. 8 zeigt als Beispiel den Einbau der Drähte im NSU-Kolben. Darin sind auch deutlich die Kontakte am unteren Kolbenrand zu erkennen. Die Drähte sind in einer kleinen Bohrung durch die eigentlichen Kontakte geführt und mit Hilfe einer Madenschraube von innen festgeklemmt. Als Isoliermaterial wurde Igamid A



verwendet, ein von der I.G. Farben hergestelltes Kunstharz, das bis nahezu 250°C vollkommen beständig bleibt. Die später angeführten Versuchsergebnisse sind alle unter Verwendung dieser Kontaktbauart erreicht worden. Für höhere thermische Beanspruchungen sind neuerdings ähnliche Kontakte verwendet worden, die durch Glimmer isoliert im Kolben befestigt waren.

Abb. 8: Einbau der Thermodrähte im NSU-Motor

Der Einbau wurde durch Messen des Übergangswiderstandes an der Stemmstelle vor und nach jedem Versuch überwacht. Schon die geringste Lockerung der Drähte führt zu einer deutlichen Widerstandsänderung.

Während diese Einbauart bei den kleinen Motoren auch bei hohen Drehzahlen und längerem Betrieb - 20 bis 40 Stunden - allen Beanspruchungen standhielt, traten am BMW 132 Einzylindermotor ausserordentliche Schwierigkeiten auf; die Ursache ist wohl mit Sicherheit in den wesentlich höheren Kolbengeschwindigkeiten (11 bis 12 m/sec. bei 2000 U/min gegenüber 7 bis 8 m/sec. bei den kleinen Motoren), also auch höheren Beschleunigungen zu suchen. Frei im Kolben geführte oder mit Schellen und Isolierrohren befestigte Drähte rissen schon nach sehr kurzer Betriebszeit ab. Die Verlegung des Thermomaterials in Asbestschlauch, der durch Bohrungen in den Kühlrippen geführt wurde, brachte

ebenfalls keinen Erfolg. Wurde der Draht zu fest eingespannt, so riss er infolge der Wärmedehnung des Kolbens, bei lockerer Einspannung werden die Bohrungen in kürzester Zeit durchgescheuert. Auch die in den USA angewendete Methode, die Leitungen in oder an einem geeigneten Träger (Stahldraht oder Rohr) zu verlegen, führte nicht zum Ziel.

Es wurde deshalb dazu übergegangen, die Drähte im Inneren des Kolbens anzubringen. Der Kolbenboden wurde von der Nut aus und das Kolbenhemd vom Boden aus mit entsprechenden 3 mm starken Bohrungen versehen, in die dann der in dünnem Asbestschlauch (neuerdings wird als Ersatz hierfür Glasgewebeschlauch verwendet) eingebettete Draht eingeführt wurde. Die Hilfsbohrungen mußten mit einem Stopfen aus Kolbenmaterial blind verschlossen werden. Um die Leitungen unbedingt fest zu verlagern, wurde ein geeigneter Kitt unter Druck eingepresst bis er auf der anderen Seite der Bohrungen wieder austrat.

Bei dieser Einbauart trat kein Losreißen der Drähte mehr auf. Da jedoch die Drahtenden bis an die erste Ringnut verlegt und dort mit dem Kolbenmaterial verstemmt waren, konnten bereits nach kurzer Zeit Störungen, wie sie schon vorher erwähnt worden sind, festgestellt werden. Es wurde versucht, diesen Fehler auf die verschiedenste Art zu beseitigen, jedoch traten immer wieder zwischen Element und Kolbenmaterial während des Betriebes kleinste Spalte auf, in denen sich irgendwelche Rückstände ablagerten, wodurch die Messung beeinträchtigt wurde.

Diese Schwierigkeiten machten auch hier eine Verlegung der Meßstelle in das Kolbeninnere erforderlich. Abb. 9 zeigt schematisch die neueste Einbauart. In den Kolbenboden ist eine Nut eingefräst, in die ein schmales dünnes Eisenblech eingelegt ist. An den Enden dieses Bleches ist je einer der beiden Thermodrähte hart eingelötet. Der freie Teil über der Nut wird durch eine abgeschrägte, sehr stramm eingepasste Schiene aus Kolbenmaterial verschlossen. Die beiden Drähte werden wie bisher durch geeignete Bohrungen im Kolbenschaft zu den am unteren Rand befindlichen Kontakten geführt. Die Kontaktstücke

POOR
COPY

1

sind wie schon vorher erwähnt, durch Glimmer isoliert eingebaut.

Bei dieser Ausführung wird allerdings nicht mehr an einer bestimmten Stelle gemessen, sondern ein Mittelwert zwischen den Temperaturen an den beiden Verbindungsstellen der Drähte mit dem Eisenblech.

Da diese beiden Punkte aber sehr nahe an der obersten Ringnut liegen, ist eine derartige Mittelwertbestimmung

vielleicht für die Überwachung der in der Ringnut herrschenden Temperaturen noch wünschenswerter als eine Messung an einer einzelnen Stelle. Ausserdem bringt die große Berührungsfläche des Eisenbleches mit dem Kolbenmaterial zuverlässigere Messwerte, als eine einzelne Meßstelle, da hier die Berührungsintensität wegen der verschiedenen Wärmedehnung der Materialien sehr schwanken würde.

Als Werkstoff für die Kontakte wurde Phosphorbronze verwendet. Aus demselben Material konnten auch die Gegenkontaktfedern hergestellt werden, so daß beim Schleifen keine zusätzlichen Thermokräfte entstehen können.

Große Schwierigkeiten macht auch die Wahl der geeigneten Federform. Abb. 10 zeigt alle Ausführungen, die in der DVL erprobt worden sind. Die Form 1 bis 3 ist in Angleichung an die Erfahrung der Amerikaner auch aus Stahl mit Neusilberauflage hergestellt worden. (Selbstverständlich sind dabei die Kolbenkontakte ebenfalls aus Neusilber gewesen). Die Auflage löste sich jedoch sehr schnell, da ein zuverlässigeres Anbringen stets die Wirkung der Feder beeinträchtigte.

Als Folge der hohen Geschwindigkeit, mit der die Kontakte die Federn anfangs berühren, traten stets Schwingungen auf, die sehr schnell zum Bruch führten. Erst die Ausführungen 8

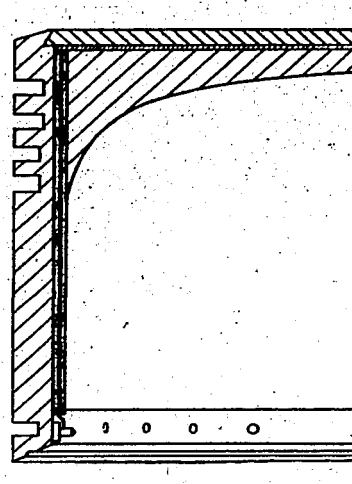


Abb. 9: Einbau des Thermoelementes im BMW 132 - Kolben

POOR
COPY

1

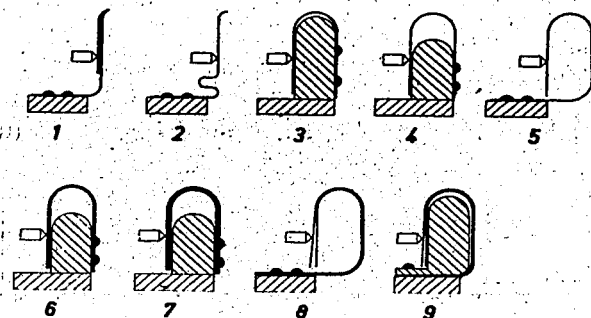


Abb.10: Ausführung der Gegenkontaktfedern.

und 9 brachten einen wirklich zufriedenstellenden Erfolg. Da die Federn im Kurbelgehäuse ständig von Öl benetzt sind, konnte durch die doppelte Lage und die Spreizung am unteren Ende eine Dämpfung durch das Öl erreicht werden. Am BMW 132 sorgte ein hinter der inneren Feder liegendes Klötzchen dafür, daß ein zu großer Ausschlag verhindert wurde, so daß hier eine weitere Dämpfung eintrat.

Als Beispiel für die tatsächliche Ausführung ist in Abb.11 die Gegenkontaktfeder im NSU-Motor wiedergegeben, und aus Abb.12 ist der Einbau der beiden Federn ersichtlich. Selbst-

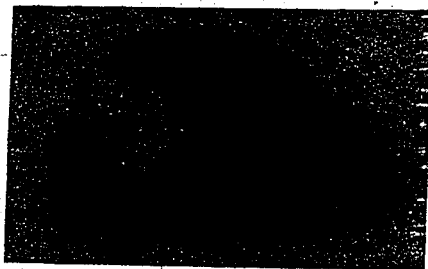


Abb.11: Gegenkontaktfeder für NSU-Motor

POOR
COPY

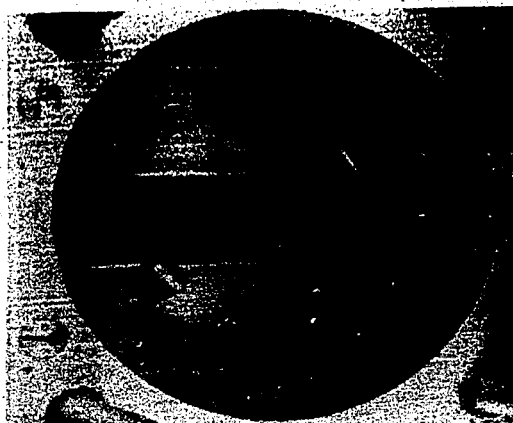


Abb. 12: Einbau der Gegenkontaktfedern am NSU-Motor
verständlich ist die Ausführung am DKW- und BMW 132-Motor wie-
der etwas anders, je nach der Bauart des Motors, die Gestalt
der Feder entspricht aber der eben erwähnten Form.

Schliesslich muß noch erwähnt werden, daß eine absolut
einwandfreie Messung erst dann sichergestellt wäre, wenn die
Kontakte und Federn aus dem entsprechenden Thermomaterial wä-
ren; denn die Temperaturen an den Verbindungsstellen zwischen
Draht und Kontakten und Draht und Federn sind wohl nicht voll-
kommen gleich, so daß hier eine geringe störende Thermokraft
entsteht. Es ist aber anzunehmen, daß diese Störquelle meist
gleich groß ist, so daß die relative Temperaturmessung dadurch
nicht beeinflusst wird.

Zum Schluß sollen nun noch einige Messergebnisse gebracht
werden: **Abb. 13** zeigt die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von
den verschiedenen Betriebsbedingungen am kleinen flüssigkeits-
gekühlten Zweitakt-Motor. Interessant ist hier, daß die Kühl-
mitteltemperatur nur wenig Einfluß auf die Temperatur des Kol-
bens hat; steigende Drehzahl bewirkt im normalen Bereich ein
langsames Fallen der Kolbenringtemperaturen und bei sehr hohen
Drehzahlen ein stärkeres Ansteigen; jedoch müßte diese Kurve
nochmals überprüft werden, da ihr Verlauf etwas unklar erscheint.
Bis auf die Leistung sind alle übrigen Einflüsse sehr gering.

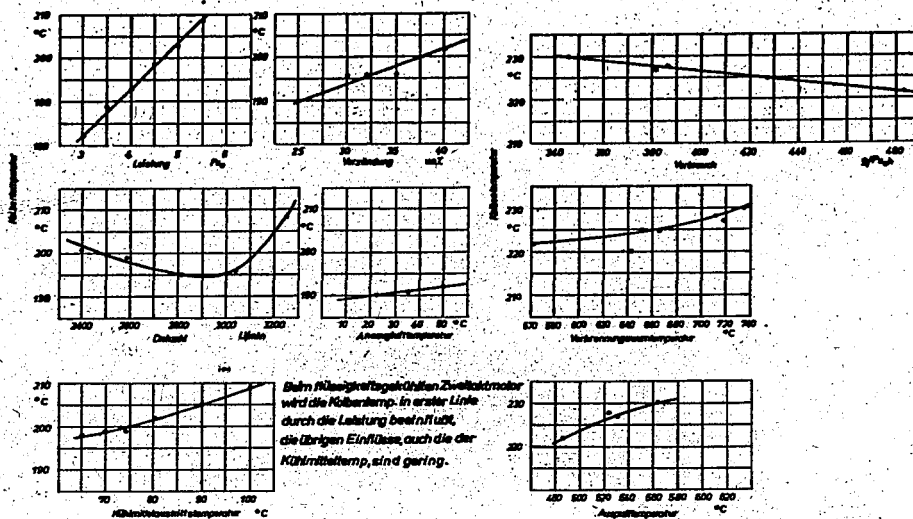


Abb.13: Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim DKW-Motor

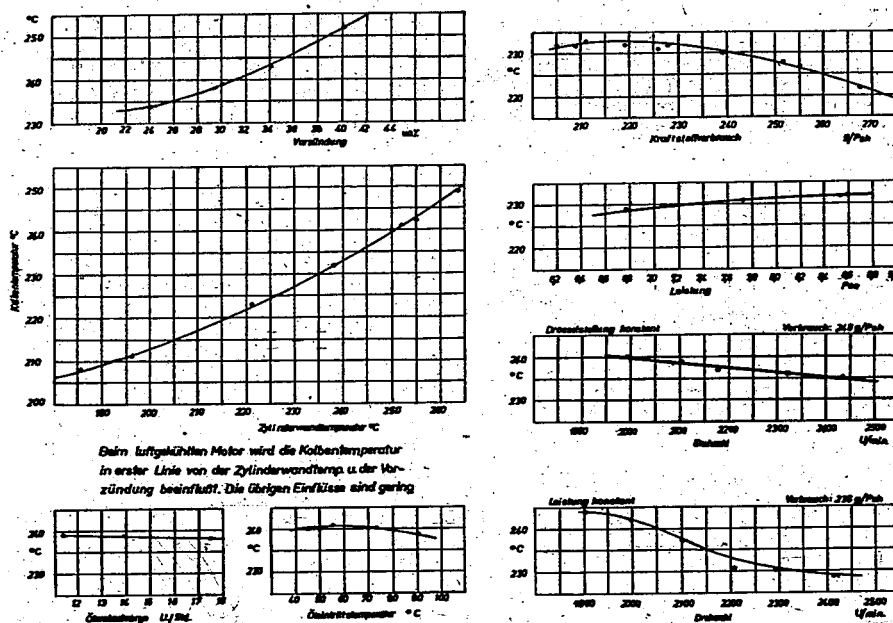


Abb.14: Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim DKW-Motor

03070

Die Ergebnisse beim kleinen luftgekühlten Motor (NSU) (Abb. 14) zeigen, daß hier die Zylinderwandtemperatur die des Kolbens sehr stark beeinflusst. Von etwas geringerer Einwirkung ist die Vorzündung, während die Änderung aller anderen Bedingungen die Kolbentemperatur nur wenig berührt.

Das gleiche Ergebnis, jedoch in wesentlich verstärktem Maße, ist durch Messungen am BMW 132 (Abb. 15) gefunden wor-

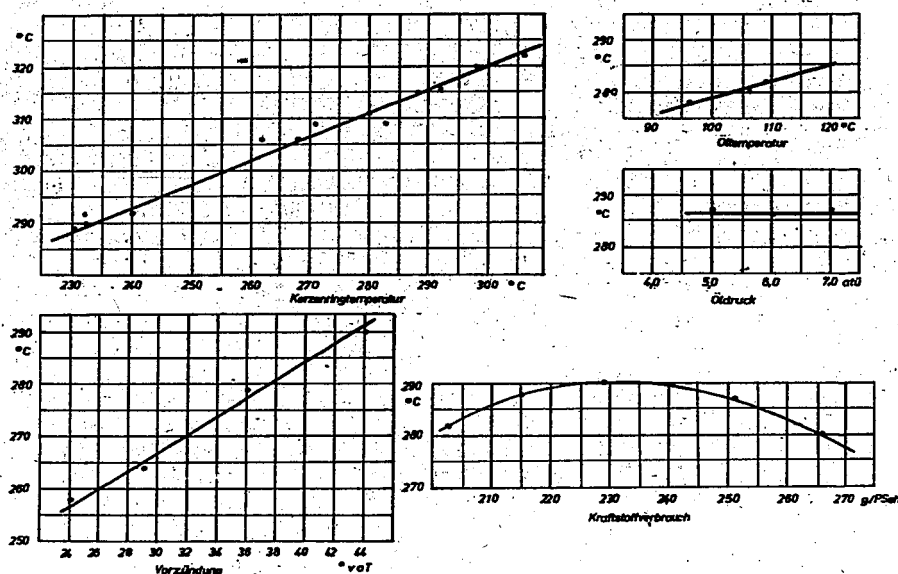


Abb. 15: Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim BMW 132-Ölprüfmotor

den. Erstaunlich ist hier der geringe Einfluß des Öldruckes; es kann allerdings angenommen werden, daß die Pleuellagerspiele selbst einen viel größeren Einfluß haben, während der Öldruck die abgeschleuderten Ölmengen nur wenig verändert. Aus Mangel an Zeit konnten hier noch nicht alle Abhängigkeiten aufgestellt werden. (Die Abhängigkeit der Kolbentemperatur von der des Kerzenringes wurde noch mit einem Kolben aufgestellt, bei dem das Thermoelement in die erste Ringnut ein-

gestimmt war. Es traten dabei die vorhin geschilderten Störungen auf, die zu den in dem Bild ersichtlichen Streuungen führten). - Es muß an dieser Stelle nochmals betont werden, daß bei den Messungen nur immer ein Wert geändert worden ist, während alle übrigen Bedingungen stets gleichgehalten wurden. So ist z.B. der Einfluß der Zündung bei stets gleicher Zylinderwand- bzw. Kerzenringtemperatur am BMW 132 aufgestellt worden.

Das Ergebnis läßt vermuten, daß die großen Unterschiede in der Höhe der Richttemperaturen bei gleichen Laufzeiten mit demselben Öl vielleicht darauf zurückzuführen sind, daß fast jede prüfende Stelle eine andere Vorzündung für ihre Versuche gewählt hat.

Die Untersuchungen zeigen, daß die bisherige Anwendung des Kolbentemperaturmessgerätes bereits interessante und wertvolle Ergebnisse gebracht hat. Die allgemeine Einführung des Verfahrens ist sicher sehr wünschenswert, jedoch müßten noch einige Erfahrungen insbesondere auf dem Gebiet des Einbaues der Thermoelemente und der Federn gesammelt werden.

Erfahrungen bei Schmierstoffprüfläufen auf Ringstecken

von Dipl.-Ing. W. Lauer

Techn. Prüfstand Oppau, I.G. Farbenindustrie A.G. Ludwigshafen/Rh.

Die motorische Schmierstoffprüfung steht, wie auch die ganze Schmierstoffforschung, heute noch in der Entwicklung. So ist auch die Untersuchung von Schmierölen hinsichtlich ihrer Rückstandsneigung im Motor bzw. die Prüfung des Ringsteckverhaltens noch weit davon entfernt ein Messverfahren zu sein, wie etwa die ungleich einfachere und genauere Bestimmung des Überladerhaltens von Kraftstoffen. Viele Faktoren, wie die Temperatur, Kraftstoffe, Ersatzteillieferungen usw., einige auch noch völlig unbekannt, wirken bei der Rückstandsbildung mit und beeinflussen die Ergebnisse in einer für die geforderte Messgenauigkeit wenig befriedigenden Weise. Die Schwierigkeit, eine ausreichende Genauigkeit der Laufzeit von etwa ± 10 v.H. zu erzielen, lässt sich am besten an einem Vergleich mit Laboratoriumsprüfungen von Schmierölen ermessen. Dort beträgt trotz einfachster und gut zu beherrschender Prüfbedingungen, wie z.B. beim Verkokungstest die Messgenauigkeit nur etwa ± 15 v.H.

Es ist deshalb eine wenig dankenswerte Aufgabe, einen Überblick über das bisher in der Schmierölerprüfung Erreichte zu geben, da über die Ergebnisse von Versuchen grundsätzlicher Art bis heute nur wenig Positives zu sagen ist. Trotzdem sind wir der Aufforderung der DVL nachgekommen, über unsere Erfahrungen bei Ringsteckversuchen zu berichten, und ich glaube, dass ein Überblick über diese Erfahrungen auch bei zum Teil negativen Ergebnissen in dem einen oder anderen Falle Anstoss sein kann zu neuen Anregungen und Erkenntnissen. In diesem Sinne sollen diese Ausführungen ein Beitrag sein zu einer Zusammenarbeit bei der Erforschung der Schmierstoffprobleme.

- 1.) Übersicht über die Durchführung der Prüfläufe sowie die Anlage unter besonderer Berücksichtigung der Temperaturüberwachung.
- 2.) Das Versuchsende, sowie Massnahmen zur besseren Erkennbarkeit (Versuche mit freien Ringnuten usw.)
- 3.) Die Laufzeiten und ihre Reproduzierbarkeit
 - a) bei Eichöl
 - α) Streuungen über verschiedene Zeiträume (Abhängigkeit von Windrichtung, Ersatzteillieferung usw.)
 - β) Streuungen bei verschiedenen Zylindern und zwar des Mittelwertes sowohl, als auch der einzelnen Läufe, Prüfung einzelner Zylinder auf verschiedenen Motoren, Streuungen der Zylindertemperaturen (Kerzenringe) bei gleicher Richttemperatur
 - γ) Abhängigkeit der Laufzeit von der Gesamtlaufzeit des Zylinders, dem Kolbenspiel, dem Kolbenringspiel und festem Ringteil in Prozent
 - δ) Die Laufzeit abhängig von den Zylindertemperaturen (Scheiteltemperatur) bei Einspritzpumpe, bei Vergaser. Verschiedene Neigung der Temperaturkurve, Höherliegen der Laufzeitkurve bei Vergaserbetrieb.
 - b) bei Ölen verschiedener Herkunft: Laufzeit, Streuungen grösser als bei Rotring, bedingt durch längere Absolutlaufzeit bzw. instabiles Verhalten von Zusätzen usw.
- 4.) Laufzeit und Rückstandsbildung
 - a) Ausbaubefunde
 - b) Zusammenhang der Rückstandsbildung mit den Analysenwerten der Neu- und Gebrauchtöle
 - c) Verschlammungsneigung von Ölen, ihre Untersuchung im Motor (Opel-Versuche und BMW-Versuche)
- 5.) Einflussgrössen, die noch nicht bekannt sind.
 - a) Ringnuttemperatur
 - b) Ölumlau im Stern bzw. Schleuderölmenge am Kolben (Abhängigkeit des Öldrucks und damit der Schleuderölmenge von dem Laufspiel des Kurbelzapfens und Verluststelle an den Ölzuführungsringen), Ölverbrauch.

Bevor ich zum eigentlichen Thema komme, darf ich Ihnen vielleicht zuerst eine kurze Übersicht über die Durchführung der Ringsteckversuche beim Technischen Prüfstand geben.

Die Bedingungen unter denen die Läufe durchgeführt werden, sind wohl allgemein bekannt, sodaß sich hier eine Aufzählung von Einzelheiten erübrigt. Es soll lediglich nochmals die Genauigkeit der Regelung des Motors und der Temperatur besprochen werden, da diese, wie bekannt, von größtem Einfluß auf die Versuchsdauer sind. Die gesamte Anlage zeigt schematisch folgendes Lichtbild:

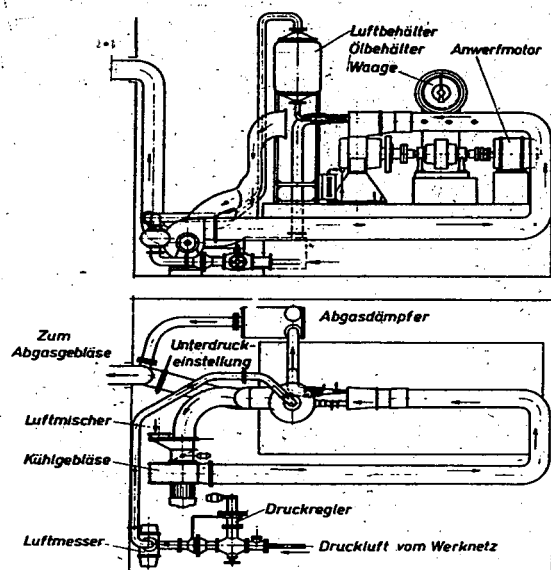


Abb.1: Aufbau des BMW 132-Überlade- u. Schmierstoff-Motors

Der Motor mit Bremse und den Zusatzeinrichtungen befindet sich in einem schalldichten Raum, während die Bedienganlage durch Beobachtungsfenster von diesem getrennt in einem für mehrere Prüffelder gemeinsamen Bedienungsengang aufgestellt ist. Die Leistungsmessung erfolgt in üblicher Weise durch eine Wasserbremse mit Schnellwaage, sowie elektromagnetischem Stichtdrehzähler. Der Bremswasserdruck

wird mittels Druckregler gleichgehalten, was einen ruhigen Stand der Anzeige zur Folge hat. Die Ablesegenauigkeit des Drehmoments beträgt dadurch ± 100 g bei 30 kg Belastung, d.h. 0,32%. Die Bedienungseinrichtungen gestatten eine Einstellung des Kraftstoffverbrauchs mittels Pumpenregelung auf $\pm 0,5$ Vol-%, was im Hinblick auf den auch mit der Temperatur stets etwas schwankenden gewichtsmässigen Verbrauch hinreichend erscheint. Die Auspuffgase werden mit einem Unterdruck von 180 - 200 mm WS von einem Gebläse abgesaugt, das auch die Absaugung der vom Zylinder kommenden erhitzten Kühlluft übernimmt. Die Kühlluft selbst wird mit einem zweiten Gebläse erzeugt, wobei die Kühllufttemperatur durch eine Mischvorrichtung auf 20° konstant gehalten wird. Diese arbeitet derart, dass die vom Kühlgebläse angesaugte Luft mittels Regelschieber teils aus dem Raum, teils aus einem Zweigstrom des Heissluftstromes vom Zylinder entnommen werden kann. Die Ansaugluft für den Motor wird vorgewärmt und auf 40°C gehalten. Diese Vorwärmung erfolgt durch eine im Ansaugdämpferbehälter angebrachte elektrische Heizung, verbunden mit elektrischem Feinregler. Eine solche Regelung arbeitet auf $\pm 0,5^{\circ}$ genau, was sich ebenfalls auf eine gleichbleibende Leistung der Maschine günstig auswirkt. Die Temperaturüberwachung erfolgt teils mit Widerstandsthermometern für die Luft- und Schmierstofftemperaturen, teils mit Thermoelementen für die Zylindertemperaturen. Die Thermoelemente sind auf $0,1^{\circ}\text{C}$ genau geeicht und gestatten in Verbindung mit den verwendeten Instrumenten eine Regelung auf $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Die Versuche wurden früher nach der Temperatur des Auslasskerzensitzes als Richttemperatur gefahren. Die Unsicherheit des Zustandes der Kerze, sowie Änderungen der Lage und Form der Kerzenringelemente infolge mehrmaligen Ausbaues liessen die im Scheitel des Zylinders verstatete Messtelle geeigneter erscheinen, zumal Ausfälle der letztgenannten bzw. Fehlanzeigen nur etwa den

zehnten Teil von denjenigen der Kerzenringelemente betragen. Zur Sicherheit ist die Messtelle im Scheitel neuerdings als Doppелеlement ausgebildet, sodass stets beim Ausfall der einen noch eine Ersatzmesstelle vorhanden ist. Bei sachgemäßer Anbringung der Elemente bestehen dabei nur Unterschiede von höchstens 1°C , was hinsichtlich der Schwierigkeit von Temperaturmessung an angeströmten Körpern als ziemlich genau angesehen werden kann. Die Schmierstofftemperatur wird wie die der Luft durch eine elektrische Heizung ebenfalls mittels Feinregler in bekannter Weise auf $120^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}$ am Öleingang gleichgehalten.

Zur Überwachung der genauen Einhaltung der Ringtemperatur sowie des spezifischen Verbrauchs ist die Messtelle im Scheitel und die der Abgastemperatur mit einem Temperaturschreiber verbunden. Es ist dadurch die objektive Beurteilung der Prüfäufe, besonders da dieselben in Schicht gefahren werden, erleichtert.

Im folgenden sehen Sie noch zwei Aufnahmen der Anlage.

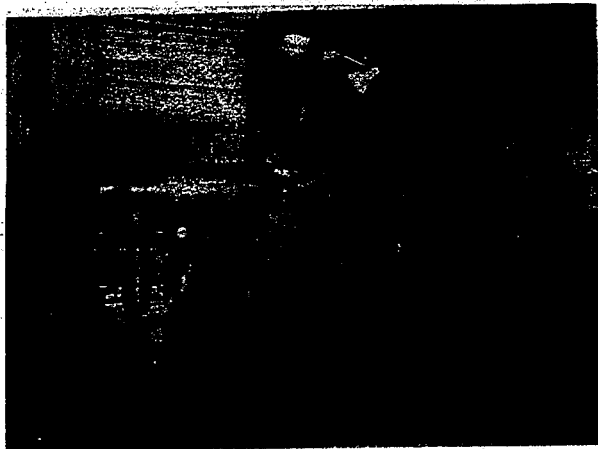


Abb.2: Gesamtansicht der Schmierstoff-Prüfanlage

Wir haben für unseren Neuaufbau diese Anordnung der vom Prüfaggregat schallisolierten Bedienanlage gewählt, um für das Versuchspersonal, das diese Versuche in zwölfstündiger Tag- und Nachtschicht führt, eine weitgehende lärm- und Geruchsbeseitigung zu erzielen. Sie sehen in diesem Bild nochmals den Prüfmotor mit abgenommenem Luftschacht und die verschiedenen Zusatzeinrichtungen. Der Anwerfmotor, die Wasserbremse auf dem Bild verdeckt durch die Tachowage, links den Druckregler für das Bremswasser und rechts oben den Ansaugluft-Ausgleichbehälter mit eingebauter elektrischer Heizung. Im Vordergrund rechts ist der als hoher schlanker Behälter ausgebildete Öltank zu erkennen. Die Ölverbrauchsmessung erfolgt bei uns volumemässig, weshalb eine langgezogene Form des Behälters hinsichtlich der Standablesung günstig ist.

Das nächste Bild zeigt die Bedienanlage.



Abb. 3
Ansicht der
Bedien-
anlage

Bis auf das Anfahren und die jede Stunde vorzunehmende Schmierstoffverbrauchsmessung können alle Vorgänge von hier aus überwacht bzw. geregelt werden.

Die Voraussetzung für die Beurteilung eines Ringsteckversuchs ist die eindeutige Erkennbarkeit des Versuchsendes. Rund 1500 Prüfläufe am Technischen Prüfstand boten Gelegenheit, die bis vor einiger Zeit noch recht unsicheren Kennzeichen für das Versuchsende, wie sie Durchblasen und Leistungsabfall darstellen, zu beobachten. Es wurden deshalb im Laufe der Zeit zahlreiche Massnahmen zur Verbesserung dieser Erscheinung geprüft. Ich möchte über diese Versuche etwas ausführlicher berichten, da meines Erachtens das Versuchsende bei einigen Prüfstellen noch wenig charakteristisch zu sein scheint.

Bei Versuchsende sollen die in der Ringnut entstandenen Rückstände den Ring festhalten und zwar so, dass ein Durchblasen in Verbindung mit Leistungsabfall auftritt. Damit nun ein deutlicher Leistungsabfall vorhanden ist, soll der Abfall des mittleren Arbeitsdrucks infolge Durchblasen gross sein. Dieser Abfall ist nun im allgemeinen umso grösser je höher der feste Anteil des Rings wird. Im Hinblick auf einen möglichst hohen Querschnitt für den Gasdurchtritt wäre also ein vollkommen fester Ring hier der Bestwert. Wie aus folgendem hervorgeht, ist dies aber für die genaue Erfassung der Laufzeit ungünstig. Es kann nämlich wie mehrfach beobachtet, der Ring so fest werden, dass sich der Hauptanteil der Ölkohle im Nutgrund bildet und der Ring nach aussen gedrückt wird. In diesem Falle dichtet er trotz Festbrennens weiter und ein solcher Lauf kann noch Stunden weitergeführt werden, ohne dass Durchblasen oder Leistungsabfall auftritt. Ein Versuchsende zeigt sich in diesen Fällen meistens erst dann an, wenn durch eine Störung im Temperaturgleichgewicht der Kolben oder die Laufbüchse eine geringe Formänderung erleidet und dann das endgültige Durchblasen zulässt. Diese Anschauung wird unterstützt durch die Tatsache, dass die Er-

scheinung besonders bei solchen Läufen auftritt, die ein ausgezeichnetes Temperaturgleichgewicht über die Versuchszeit haben, d.h. fast keinerlei Nachregulierung der einmal eingestellten Temperatur erfordern. Es ist deshalb, wie wohl auch bei anderen Versuchsstellen angestrebt wird, wünschenswert, dass ein Versuchsende sich bei einem höchstens 80 bis 90% festen Ring anzeigt. Macht man nämlich die Voraussetzung, dass vom Beginn des Festwerdens bis zum vollkommenen Festsitzen des Rings nur eine kurze Zeit vergeht, so würde der Fehler bei Bewertung zweier Läufe mit verschiedenem Anteil des ersten Ringes nicht zu gross sein. Bei einem auf dem ganzen Umfang festen Ring ist dagegen eine Beurteilung, bei welcher Zeit das Festwerden eintrat, schwierig, wenn nicht unmöglich.

Die zur Verbesserung der Anzeige für das Festwerden vorgenommenen Massnahmen sollen im folgenden kurz aufgezählt werden.

Eine Erscheinung, von der man annimmt, dass sie das Festbrennen des Ringes beeinflusst, ist das mehr oder weniger starke Drehen desselben während des Laufs, wie es sich in störenden periodischen Schwankungen des Gasdurchtritts äussert. Bereits im Anfang unserer Versuche mit dem BMW 132 und auch wieder in letzter Zeit wurden, um diesen Einfluss der Ringdrehung bzw.-stellung auf das Festwerden zu untersuchen, Läufe mit arretierten Ringen gefahren. Die Versuche zeigten in einigen Fällen kürzere Laufzeiten als mit freien Ringen, in anderen jedoch längere. Die Streuungen waren aber in allen Fällen gegenüber normaler Ringanordnung gleich gross, sodass diese Ausführung keine Verbesserung brachte. Sie hat ausserdem noch den Nachteil, dass man sich mit arretierten Ringen vom praktischen Betrieb des Motors entfernt und wurde deshalb wieder aufgegeben.

Eine Massnahme zur Verbesserung des Durchblasens stellt das Weglassen einzelner Kolbenringe dar. Versuche mit derartigen Anordnungen hatten folgende Ergebnisse:

Lässt man nur den ersten Ring und den Ölabstreifring in ihren Nuten, so ist die seitliche Führung des Kolbens zu gering, die Ringe brechen und es tritt von Anfang des Versuchs an ein so hoher Gasdurchtritt auf, dass unter den Druckspitzen des Diagramms, die durch kurzzeitige Störung des Schmierfilms entstehen, kein Versuchsende festzustellen ist. Als weiterer Nachteil ergeben sich Kolbenfresser infolge örtlicher Überhitzungen durch dauernden Gasdurchtritt. Diese Ausführung war also nicht brauchbar.

Lässt man den ersten und dritten Ring in ihrer Nut und bohrt die zweite Ringnut für den Gasdurchtritt an, so bessern sich zwar die oben erwähnten Erscheinungen, eine Überhitzung des ersten Rings sowie gelegentliche Kolbenfresser treten aber auch in diesem Falle auf.

Eine wirkliche Verbesserung ohne die erwähnten Nachteile liess sich durch Wegnahme nur des dritten Rings erreichen. Die Nut des fehlenden Rings wird in diesem Fall, um den Gasdurchtritt ins Gehäuse zu erleichtern, mit vier auf den Umfang des Kolbens verteilten 3 mm Löchern versehen. Vorteilhaft ist bei dieser Ausführung noch die Stosslecke des zweiten Rings nicht zu klein zu nehmen, damit auch für den Gasdurchtritt eine Möglichkeit gegeben ist. Diese Anordnung ergab ein, abgesehen von wenigen Fällen, sehr gut erkennbares Versuchsende bei Festwerden des ersten Rings, wobei durch die Dichtwirkung des zweiten Rings noch ein genügender Schutz gegen Überhitzung der Ringpartie vorhanden ist.

Im folgenden Bild sehen Sie einige Gasdurchtrittskurven, wie sie üblicherweise auftreten.

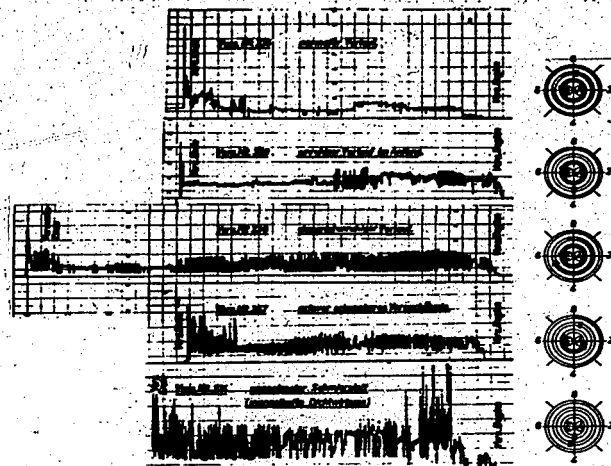


Abb. 4:
Verlauf
des Gas-
durch-
tritts

Der Druckverlauf wird dabei mit Ringwaage und Schreiber gemessen und ist von rechts nach links zu lesen. Die drei oberen Bilder stellen den in den meisten Fällen erhaltenen Verlauf der Kurve mit deutlich erkennbarem Druckanstieg dar.

Das vierte Bild gibt den Druckanstieg bei anscheinend längerer Dauer des Festwerdens. Der Durchblasedruck steigt unter Schwankungen dauernd an, die Leistung fällt dabei zuerst unmerklich und erreicht dann nach einer gewissen Zeit den Grenzwert von 2% Leistungsabfall.

Das fünfte Bild stellt den Druckverlauf eines Schmierstoffs mit mangelhafter Schmierwirkung dar. Diese Form tritt vor allen Dingen bei Stoffen auf, die bei hohen Temperaturen zerfallen, wobei der erste Ring nicht genügend Öl erhält und infolgedessen dauernd Gas durchlässt. Wie aus den Diagrammen hervorgeht, ist diese Gasdurchtrittsmessung ziemlich eindeutig, weshalb die zuletzt beschriebene Ringanordnung auch bis heute beibehalten wurde. Sie gestattet in fast allen Fällen ein gutes Erkennen des Versuchsendes.

Wenn auch damit das Versuchsende eindeutig beherrschbar ist, so zeigt die Laufzeit selbst bei gleichem Schmierstoff und Erfüllung aller Bedingungen, wie genaue Einhaltung der Temperaturen, normalen Ausbaubefund usw., leider noch ziemliche Unterschiede.

Wenn nun diese Versuchserfahrungen in vielen Fällen keine unmittelbare Anwendung in Richtung einer Verbesserung der Versuchsgenauigkeit gestatten, so sollen diese Fälle doch im folgenden mit angeführt werden.

So suchten wir zu ergründen, worauf die in verschiedenen Zeitabschnitten wechselnden Laufzeitstreuungen für Rotring zurückzuführen sind. Wir haben deshalb die Läufe verschiedener Zeiträume entsprechend den verschiedenen Lieferungen von Zylindern, Kolben und Ringen miteinander verglichen. Eine Beziehung war jedoch hierbei nicht erkennbar. Wir haben aufgrund einer allerdings vagen Vermutung, dass Einflüsse der Ansaugluftzusammensetzung bei diesen Streuungen mitspielen, die Windrichtung und Windstärken über längere Zeiträume mit den entsprechenden Laufzeiten für Eichöl verglichen.

Die Möglichkeit, dass geringe Beimischungen, wie sie in einem Werk chemischer Erzeugnisse ohne weiteres in der Luft vorhanden sind, das Ringstecken im Motor verändern können, ist gegeben, wenn man die während eines zehnstündigen Laufes umgesetzte Luftmenge von rund 2000 kg ins Verhältnis setzt zu der entsprechend geringen Ölumlaufmenge von 8 bis 10 kg. Diese Möglichkeit besteht umsomehr, als durch die Entwicklung synthetischer Schmierstoffe die Wirksamkeit homöopathisch kleiner Mengen sogenannter Inhibitoren auf die Laufzeit bekannt ist. Auch in diesem Fall lässt sich jedoch kein Zusammenhang erkennen.

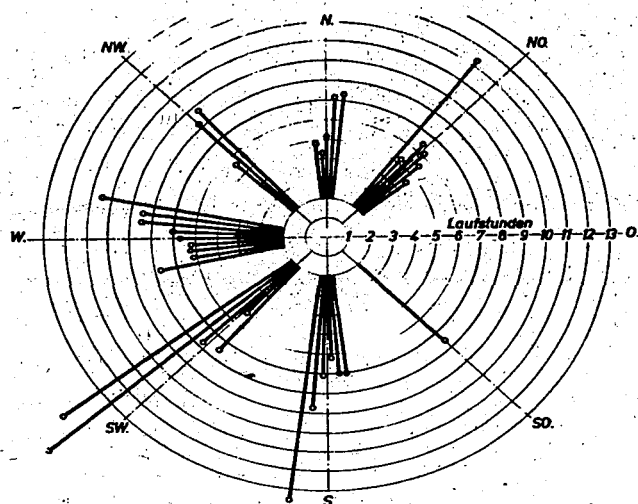


Abb.5:
Eichöl-
Laufzeit
u. Wind-
richtung

Ein Punkt, der besser erfasst werden konnte, ist das unterschiedliche Verhalten einzelner Zylinder bezüglich Laufzeiten und Temperaturen. Das nächste Bild zeigt eine Zusammenstellung solcher Läufe.

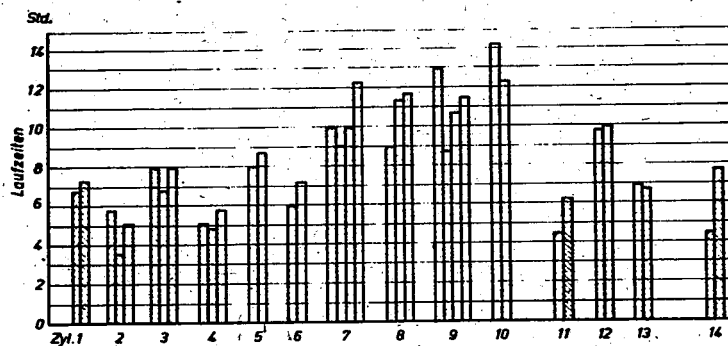


Abb.6: Laufzeiten von Rotring-Eichöl auf verschiedenen Zylindern
Man erkennt daraus, dass bei verschiedenen

Zylindern verschiedene Mittelwerte für Rotring Eichöl erhalten werden. Die dargestellten Läufe sind aus Versuchsreihen auf vier verschiedenen Motoren zusammengestellt, wobei jeweils nur solche Reihen verwendet wurden, die als Kontrollversuche zwei oder mehr Rotringläufe enthalten. Eine zusätzl -

lich vorgenommene Prüfung, inwieweit das benutzte Prüfaggregat die Laufzeit bei gleichem Zylinder beeinflussen kann, ergab nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Motoren. So erhielt man z.B. für Rotring Eichöl mit dem gleichen Zylinder auf Motor 1 sieben Stunden, auf Motor 3 sechs Stunden 50 Min. und auf Motor 4 wieder sieben Stunden. Ein anderer Zylinder hatte die sehr kurze Laufzeit von nur 4 Stunden 55 Minuten auf Maschine 1, wobei eine Prüfung auf Maschine 4 vier Stunden 30 Minuten ergab, ein dritter Zylinder lief auf Maschine 4 acht Stunden 40 Minuten und auf Maschine 2 wieder 8 Stunden 15 Minuten. Wenn auch die letztgenannten Werte in ihrer Übereinstimmung etwas günstig erscheinen, so ist daraus doch zu schliessen, dass die grossen Unterschiede der einzelnen Zylinder nicht von verschiedenen Motoren herrühren. Andererseits dürften aber die noch vorhandenen Unterschiede verschiedener Läufe mit gleichem Zylinder auf andere Einflüsse zurückzuführen sein.

Einen weiteren Beweis für das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Zylinder erhält man, wenn man die Kerzenringtemperaturen verschiedener Läufe bei gleicher Scheiteltemperatur aufträgt.

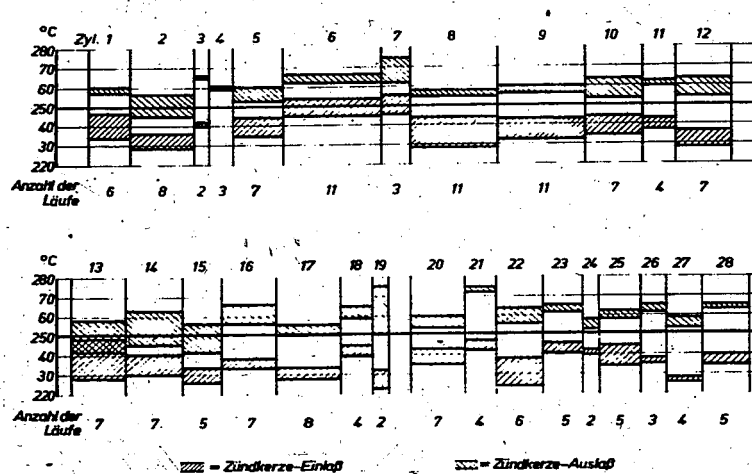


Abb. 7: Kerzenringtemperatur bei verschiedenen Zylindern (Scheiteltemp. gleichbleibend 250°C)

In dieser Darstellung sind die Bereiche, in denen sich die Temperaturen der Einlaß- und Auslaßkerze bewegen, als schraffierte Flächen dargestellt. Die Länge der Fläche ist ein Maß für die Anzahl der Versuche mit den einzelnen Zylindern. Neben den stark abweichenden Mittelwerten der Zylinder fällt noch die Streuung innerhalb der Versuchsreihe auf. Letztere dürfte auf die mangelhafte Messgenauigkeit von Kerzenringelementen zurückzuführen sein. Man erkennt jedoch aus dieser Darstellung, daß die Zylinder auch bezüglich der Temperaturverteilung stark voneinander abweichen. Einer praktischen Anwendung dieser Erkenntnisse steht aber auch in diesem Fall entgegen, daß kein Zusammenhang zwischen hohen Temperaturen und kurzen Laufzeiten bzw. umgekehrt, besteht. Zusammenfassend dürfte aber hiermit bewiesen sein, daß Unterschiede in der Rotringlaufzeit einzelner Zylinder auch von einem unterschiedlichen Temperaturzustand der Prüfzylinder herrühren können. Es ist deshalb anzustreben, die Temperaturbezugsstelle näher an die Ringpartie zu verlegen, d.h. entweder die Temperatur der Laufbüchse in Höhe des oberen Umkehrpunktes zu messen, oder, falls eine Entwicklung einer für Dauerbetrieb geeigneten Kolbentemperaturmessung gelingt, diese anzuwenden.

Bedingt durch die vorhin erwähnten Streuungen ist es dann auch schwierig, sonstige Einflüsse, wie Kolbenspiel, Ringspiel, Ringstellung usw. zu erfassen. Führt man nämlich solche Auswertungen bei den Läufen mehrerer Zylinder durch, so geht die beträchtliche Streuung zwischen den einzelnen Zylindern mit ein und macht das Ergebnis unklar. Will man diese Versuche an einem Zylinder und Kolben vornehmen, so ist für die Erfassung jeder Größe eine ganze Versuchsreihe nötig. Die Durchführung einer Vielzahl solcher Reihen bei einer Stelle ist heute aus Gründen des Arbeitsaufwandes nicht möglich. Soweit man bei der Auswertung den ersten Weg beschreitet, ergab sich als Erfahrung aus einer großen Anzahl von Versuchen: 1.) Das Kolbenspiel hat, falls nicht zu große Unebenheiten auftreten, praktisch keinen Einfluß auf die Laufzeit. 2.) In gleicher Weise ist der Einfluß der Ringnutbreite und damit des Höhenspiels des Ringes von nur geringem Einfluß. Lediglich bei zu weiter Ringnut wird eine mehr oder weniger starke Laufzeitzunahme beobachtet.

Ein weiterer Punkt soll hier ebenfalls erwähnt werden. Bei den einzelnen Läufen ist der feste Teil des oder der Ringe verschieden

groß und unterschiedlich in seiner Lage. Es liegt nun nahe, hier eine Abhängigkeit der Laufzeitverlängerung vom ersten Festwerden bis zu vollkommen festem Ring zu suchen. Wir haben einige Versuchsreihen, die mehrere Rotringläufe enthielten, auch nach dieser Richtung auszuwerten versucht. Leider ist auch in diesem Falle kein klarer Zusammenhang zu erkennen, da die einzelnen Kurven teils eine fallende, teils eine steigende Tendenz haben. Die Erfahrung bestätigt, daß in den weitest aus meisten Fällen ein Festwerden des ersten Ringes auf der Einlassseite beginnt und die Laufzeit etwas abnimmt, wenn dabei der Ringstoß sich auf dieser Seite befindet.

Eine der wichtigsten Einflußgrößen auf die Laufzeit ist, wie schon mehrfach erwähnt, die Temperatur des Zylinders bzw. der einzelnen Messtellen. Wir haben, um die Beziehung zwischen beiden festzustellen, mehrere Versuchsreihen gefahren, von denen zwei in einem zeitlichen Abstand von zwei Jahren aufgenommen, das folgende Bild zeigt.

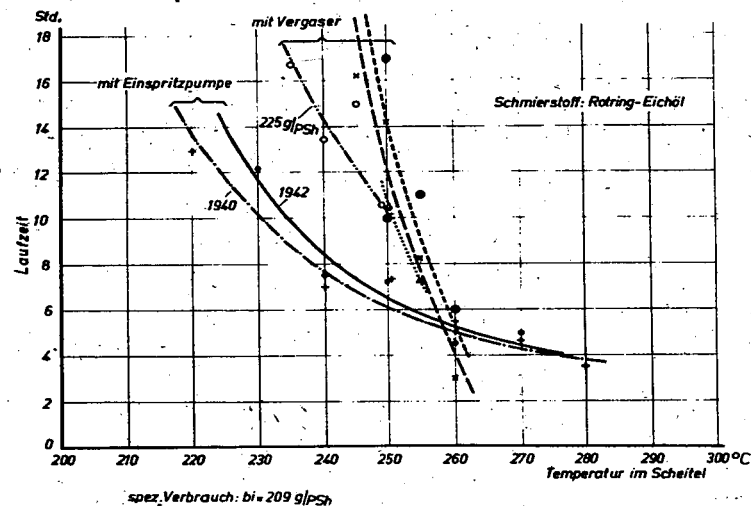


Abb. 8: Laufzeit u. Temperatur bei Einspritzpumpen- und Vergaserbetrieb.

Beide Kurven fallen ziemlich genau zusammen und zeigen einen dauernden fallenden Verlauf mit steigender Temperatur.

Wir haben darüberhinaus anschliessend an die geplante Umstellung der Schmierstoffprüfmotoren auf Vergaserbetrieb einige Zylinder auf ihr Temperaturverhalten bzw. ihre Laufzeitabhängigkeit bei Vergaserbetrieb untersucht. Die Ergebnisse, die ebenfalls mit aufgetragen sind, zeigen folgende merkwürdige Erscheinung: Die Temperatur-Laufzeitkurven sind bei Vergaserbetrieb wesentlich steiler als bei Betrieb mit Einspritzpumpe. Dies ist insofern bemerkenswert, als damit bei uns zum ersten Male Kurven erhalten wurden, die in ihrer Steilheit den von der DVL gefundenen ähneln. Ich möchte hierbei darauf hinweisen, dass die DVL die einzige Stelle ist, die bisher M-Zylinder mit Vergaserbetrieb gefahren hat. Aus einer weiteren Reihe mit höherem spezifischem Verbrauch geht noch hervor, dass die Laufzeit bei Vergaserbetrieb auf die Gemischeinstellung empfindlich anspricht. Wir werden diese Ergebnisse nochmals überprüfen, es dürfte sich aber bei ihrer Bestätigung die Durchführung von Prüfläufen mit Vergaserbetrieb nicht empfehlen, da bei einer solchen steilen Temperaturempfindlichkeit eine noch wesentlich grössere Streuung der Laufzeiten bei Vergaserbetrieb zu erwarten sein wird. Es müsste also anschliessend an diese Versuche, die vielleicht am besten noch von einer anderen Stelle durchgeführt werden, eine nochmalige Entscheidung über den Betrieb des Motors mit Einspritzpumpe oder Vergaser getroffen werden. Da die DVL bereits Erfahrungen bzw. Einrichtungen für den Betrieb mit M-Zylindern besitzt, wäre es vielleicht am zweckmässigsten, diese Versuche dort vorzunehmen.

Leider gestattet die Zeit nicht, auf diesen wichtigen Punkt näher einzugehen, ich würde es jedoch begrüssen, wenn eine eingehende Besprechung in der Diskussion stattfinden könnte.

Ist nun, wie gezeigt, die Streuung der Laufzeit bei Rotring Eichöl schon zu gross, so ist besonders bei Ölen, die lange Laufzeiten erzielen, z.B. Mischungen mit synthetischen Schmierstoffen, die absolute Streuung noch grösser. In diesem Falle ist es schwierig, die Wirksamkeit von Zusätzen, die eine Verbesserung der Rückstandabildung erreichen sollen, nachzuweisen. Wie unsere Erfahrungen ergaben, sind es oft ganz geringe Beimischungen von nur Bruchteilen eines Prozent, die die Laufzeiten oft um 50 v.H. und mehr heraufsetzen. Dabei erreicht in vielen Fällen gerade eine ganz bestimmte Menge dieses Zusatzes ein Optimum an Laufzeit, während mehr oder weniger sofort einen starken Abfall ergibt. Die Bestimmung der optimalen Zusatzmenge ist hier nur mit Kontrollläufen sicher zu bestimmen, da man leicht durch einen zufälligen Grenzwert des Einzelergebnisses ein falsches Bild erhält. Soviel über die Laufzeit als Bewertungsgrundlage für Flug-Schmierstoffe.

Ausser der Laufzeit ist bei der Beurteilung eines Motoren-Schmierstoff, wenn man vom reinen Ringstecken absieht, auch noch das allgemeine Aussehen der Maschine nach dem Lauf, insbesondere des Kolbens und Zylinders, ein wertvolles Hilfsmittel. Es ist deshalb auch bei allen Prüfungen auf Ringstecken der Ausbaubefund üblich. Ebenso ist es verständlich, wenn man versucht, diesen Befund mit der Laufzeit in Beziehung zu bringen. Beim Technischen Prüfstand wird deshalb bei den meisten Läufen eine Gewichtsbestimmung der Ölkohle vom Kolbenboden sowie vom 1. Ring und der 1. Ringnut vorgenommen. Dabei ergibt sich, dass zwar bei Rotringläufen die Ölkohle des 1. Rings der Laufzeit einigermaßen verhältnissmässig ist, dass aber die Rückstände am Kolbenboden sehr stark schwanken. Man erhält bei Rotring am Ring bei 8⁰⁰ Stunden Laufzeit im Mittel etwa 2 gr, während beim Kolbenboden das Gewicht zwischen etwa 0,7 und 1,5 gr. schwankt.

Wertet man die Rückstände bei Ölen synthetischer Zusammensetzung aus, so werden die Ergebnisse sehr unterschiedlich. Es gibt Öle, bei denen die Ringpartie auch nach langen Laufzeiten fast sauber ist, während der Boden ziemlich Rückstand zeigt und umgekehrt. Man kann daraus wohl auf ein unstetiges Verhalten der Rückstandsbildung in Abhängigkeit von der Temperatur schliessen, im gesamten betrachtet, lässt sich jedoch nur in den Fällen, wo ein derartiges Verhalten des Schmierstoffes aus anderen Prüfungen, wie z.B. dem Verdampfungstest, bekannt ist, eine eindeutige Feststellung treffen. Ebenso ist bei Mineralölen mit Zusätzen von mehr als den bei Inhibitoren angewandten Mengen, wie z.B. stark geschwefelten Ölen, meistens ein vom normalen Ausbaubefund abweichendes Rückstandsbild festzustellen. In diesen Fällen ergibt dann die Vollanalyse oft den gewünschten Aufschluss.

Damit kommt man zu einem weiteren Punkt: Die Beziehung zwischen Laufzeit und Analyse des Schmierstoffes.

Betrachtet man bei verschiedenen Schmierstoffen, die, obwohl aus gleichem Grundstoff, auf Grund der Weiterverarbeitung und Behandlung verschiedene Laufzeiten erzielen, die Analysen der Neuöle, so sind in den wenigsten Fällen besondere Merkmale festzustellen. Überhaupt keine Anhaltspunkte erhält man aber bei gleichen Ölen die mit Inhibitorzusätzen behandelt wurden. Auch die Alterungsteste ergeben in diesem Fall keine Unterschiede, die grösser sind als die Messgenauigkeit analytischer Messungen. Trotzdem unterscheiden sich solche Öle in der Laufzeit oft ganz beträchtlich.

Die einzige Untersuchung, bei der bisher eine gewisse Übereinstimmung der Werte gefunden wurde, ist der Conradsontest. Aber auch hier beschränkt sich nach unseren Erfahrungen die Übereinstimmung auf einheitlich aufgebaute Schmierstoffe, wie z.B. paraffinbasierte Öle.

Nicht viel günstiger liegen die Verhältnisse bei der Analyse der Gebrauchtsöle. Es können zwar aus der Viskositätsänderung Rückschlüsse auf die im Motorbetrieb zu erwartende Ölverdünnung gezogen werden, Prüfungen auf feste Fremdstoffe, Verseifung und Asphaltgehalt aber lassen nur selten eine Übereinstimmung mit dem Ringsteckverhalten bzw. der Laufzeit erkennen. Trotzdem sind diese Analysendaten für die Beurteilung des Dauerverhaltens in Flugmotoren notwendig. Bei diesen ist ja nicht nur die Ringsteckneigung, sondern auch andere Erscheinungen, wie Verschmutzung des Triebwerks und der Hilfsantriebe, oder im besonderen die Schlammbildung für die Brauchbarkeit und Güte eines Schmierstoffs massgebend.

Damit kommt man zu einer Erscheinung im Dauerverhalten von Schmierstoffen, die ich noch erwähnen möchte, und zwar die allgemeine Rückstandsbildung.

Die Erfahrung in Bezug auf diese Rückstands - bildung zeigt zwischen Zylinder und Vollmotor bisher nur eine bedingte Übereinstimmung. Schmierstoffe, die sich z.B. im Einzylinder gut verhalten, ergeben zwar in den seltensten Fällen im 100-Stunden-Lauf des Vollmotors Rückstandsbildung an Kolben und Ringen. Umgekehrt ist es jedoch ohne weiteres möglich und wurde auch mehrfach beobachtet, dass Schmierstoffe trotz kurzer Laufzeit im Einzylinder ein günstiges Verhalten im Vollmotor zeigten. Insbesondere aber ist im Vollmotor vor allem beim Flugbetrieb die erwähnte Schlammbildung gewisser Öle ein Umstand, der in seinen Ursachen noch wenig erforscht ist. Eine Untersuchung in grösserem Umfange scheitert in erster Linie daran, dass diese Verschlammung, wie bekannt, am Prüfstand sehr selten, im Einzylinder aber überhaupt nicht zu beobachten war. Wir haben Untersuchungen vorgenommen um den Begriff des Motorschlammes zu definieren. Eine Vollanalyse solcher im Motor gefundener Schlämme ergibt

keine Anhaltspunkte für das Wesen des Schlammes bzw. die Stoffe, die hauptsächlich bei der Bildung beteiligt sind. Auch hier muss also der praktische Motorversuch Masstab für die Ver-
schlammungsneigung der Schmieröle sein. Unsere Versuche in dieser Richtung hatten insofern einen Anfangserfolg, als es uns gelungen ist, eine Schlamm-
bildung auch im Einsylinder-
motor zu beobachten.

Die Ergebnisse einiger dieser Versuche zeigt das folgende Bild:

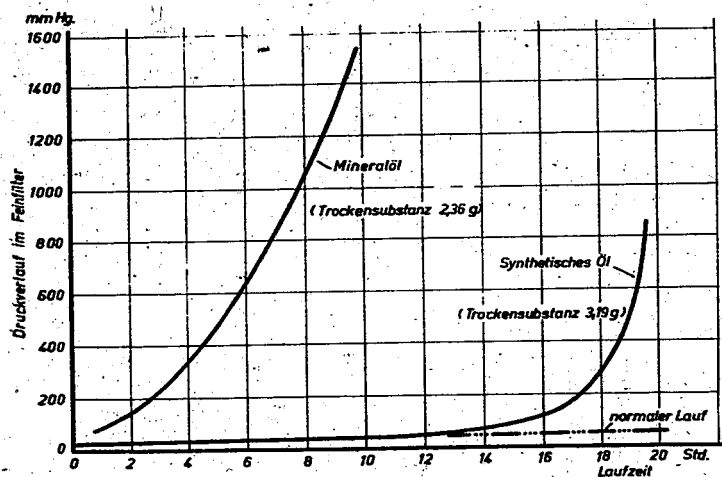


Abb. 9
Schlamm-
bildung
zweier
Öle
(BMW
132 N)

Der Schlamm wird bei dieser Versuchsanordnung der Einfachheit halber nicht durch eine Zentrifuge, sondern durch ein Fein-
filter abgeschieden. Die Ordinate der Darstellung zeigt den Druckverlust am Filter, hervorgerufen durch Zusetzen und ist in mm Hg eingeteilt.

Die untere flache Kurve wurde mit einem synthetischen Schmierstoff unter normalen Betriebsbedingungen erhalten. Die darüberliegende Kurve stellt den Druckverlauf für den gleichen Schmierstoff bei besonderen Bedingungen dar und als dritten Kurvenzug sieht man links den Verlauf bei einem unter denselben Bedingungen gefahrenen Mineralöl. Die Reproduzierbarkeit der Kurven wurde durch einige Kontrollversuche nachgeprüft und scheint zufriedenstellend. Eine

endgültige Bewertung kann erst aufgrund eines Vergleichs der gefundenen Ergebnisse mit der Praxis erfolgen, die allerdings einige Zeit in Anspruch nehmen werden.

Wenn in dem bisher Gesagten ein Überblick über die bis jetzt gemachten Erfahrungen gegeben wurde, so sollen im folgenden noch einige Bedingungen erwähnt werden, die vielleicht zu einer wirklichen Verbesserung der Versuchsgenauigkeit führen können.

Zum ersten verspricht, da die Temperaturen des Zylinders ja nie ein genaues Mass für den an der Bildungsstelle der Ölkohle herrschenden Temperaturzustand geben können, die Messung der wirklichen Ringnutttemperatur eine Verbesserung der Messgenauigkeit. Wir beschäftigen uns mit diesen Versuchen, ich darf aber in diesem Punkte auf die ausführlichen und interessanten Ausführungen von Herrn Glaser verweisen.

In zweiter Linie wird nun die Temperatur der Ringpartie von der Ölkühlung, d.h. der an die Ringe gelangenden Ölmenge wesentlich mit bestimmt. Diese wird einen umso grösseren Einfluss haben, da sie ja auch massgebend ist für die zur Umwandlung in Ölkohle an die Ringe gebrachte Substanz. In dieser Richtung dürfte also die genaue Bestimmung bzw. noch besser Einhaltung einer konstanten Schleuderölmenge im Sterngehäuse eine Verbesserung bringen. Unsere Erfahrungen bestätigen dies insofern, als bei neu überholten Maschinen, wo die Spiele zwischen Pleuellager und Pleuellager bzw. Pleuellager und Pleuellager ziemlich gering waren, die ersten Läufe bei ganz geringer Rückstandsbildung lange Laufzeiten erzielten. Es besteht dabei die Vermutung, dass es eine günstige Ölmenge gibt, bei der die Laufzeit ein Minimum erreicht, d.h. dass gerade

soviel Öl an die Kolbenringe gelangt, als auf Grund der herrschenden Umsetzungsgeschwindigkeit in Ölkohle umgebildet werden kann. Eine Vergrößerung dieser Menge müsste theoretisch eine erhöhte Kühlwirkung des Schmieröls und damit eine längere Laufzeit ergeben, eine Verminderung dieser Menge würde weniger Öl als umgesetzt werden kann, an die Ringe gelangen lassen, was im gleichen Sinne eine Verlängerung der Laufzeit bedeuten würde. Wir beschäftigen uns z.Zt. mit derartigen Versuchen, können aber leider noch keine Ergebnisse vorlegen, da das Verfahren noch nicht ganz zur Zufriedenheit arbeitet. Es dürfte aber gerade in dieser Richtung eine Erweiterung unserer Erkenntnisse möglich sein, zumal sich auch andere Stellen mit dieser Frage befassen und so eine nutzbringende Zusammenarbeit erfolgen kann.

Die Verwendung des I.G.-Prüfmotors zu Schmierstoffversuchen

von Dipl.Ing.Halder

Techn.Prüfstand Oppau, I.G.Farbenindustrie A.G.Ludwigshafen

Der Technische Prüfstand der I.G.Farbenindustrie hat sich neuerdings auch mit Ringsteckversuchen an Kleinmotoren beschäftigt. Als besonders geeignet erschien uns der I.G. - Prüfmotor zur Klopffwertbestimmung.

Der allgemeine Aufbau des Motors dürfte bekannt sein. In folgendem Bild (1) seien zwei Schnittzeichnungen durch den Motor gezeigt. Er arbeitet im 4-Takt, besitzt einen Hub von 100 und eine Bohrung von 65 mm.

Alle für die Kraftstoffprüfung erforderlichen Teile, wie Verdichtungsverstellung mit Skala, Springstiftindikator usw., wurden weggelassen. Das Verdichtungsverhältnis blieb für alle Versuche auf 1 : 5,5 unveränderlich.

Der Motor arbeitet mit einem Leichtmetallkolben; es kommen also dieselben Metalle mit dem Öl in Berührung wie im Grossmotor, ein Umstand, der im Hinblick auf eine etwa vorhandene, katalytische Wirkung auf den Schmierstoff wichtig ist.

Schwierigkeiten bereiteten anfänglich die Ventile, besonders das Auslassventil, das häufig schon nach wenigen Stunden undicht wurde und zu einem Abfallen der Leistung Anlass gab. Durch die Verwendung der neuen bleibensinfesten Ventile des I.G.-Prüfmotors konnte dieser Übelstand behoben werden.

Als sehr vorteilhaft, besonders im Hinblick auf eine einfache Bedienung, erwies sich die Tatsache, dass der I.G.-Prüfmotor durch einen Riementrieb mit einem Asynchron-

generator gekuppelt ist, der auf das Drehstromnetz arbeitet. Auf diese Weise erübrigt sich jede Drehzahlregulierung, denn der Motor läuft so mit nur sehr geringen Schwankungen ständig auf gleicher Tourenzahl.

Günstig ist auch die Tatsache, dass der Motor nasse Zylinderlaufbüchsen besitzt. So wird nicht nur die Erneuerung der Kolbenlaufbahn einfach und billig, sondern -was noch wichtiger ist- man erhält immer eine gleichbleibende Wärmeabfuhr, denn die Wandstärke dieser Büchsen ist immer die gleiche. Dieser Umstand ist für die Einhaltung einer gleichbleibenden Kolbentemperatur von grosser Bedeutung.

Die hier angewandte Flüssigkeitskühlung bringt ebenfalls Vorteile mit sich. Sie ermöglicht eine Gleichmässigkeit der Temperatur der Zylinderbüchse, wie sie durch Luftkühlung niemals erreicht werden kann. Die Anwendung eines Kondensators zur Rückkühlung des verdampften Kühlmittels gestattet jede beliebige Temperatur auf bequeme Weise konstant zu halten. Als Kühlerflüssigkeit wurde Triglykol verwendet, das bei 260° siedet. Um niedrigere Verdampfungstemperaturen zu erzielen, wurde Triglykol in einem entsprechenden Verhältnis mit Diglykol, mit einem Siedepunkt von 195° , gemischt. Auf diese Weise kann man jede beliebige Temperatur zwischen 195 und 260°C herstellen.

Das Schmieresystem wurde für die Ölversuche abgeändert. Der Motor besitzt normalerweise Umlaufschmierung, wobei das Öl aus dem Sumpf durch eine Hajot-Pumpe angesaugt und tropfenweise in die hohlgebohrte Kurbelwelle gepumpt wird. Durch eine Bohrung durch den Kurbelarm gelangt das Öl ins Pleuellager und tritt dort als Spritzöl aus. Bei unseren ersten Schmierstoffversuchen wurde diese Anordnung auch beibehalten. Es zeigte sich aber bald, dass hier dieselben Schwierigkeiten auftreten wie am BMW 132. Man hat keine Kontrolle darüber, wieviel von dem in den Motor geförderten Öl tatsächlich am Pleuellager wieder austritt und wieviel durch Undichtigkeiten in das Kurbelgehäuse

zurückströmt, ohne sich an der Zylinderschmierung zu beteiligen. Jede Messung der stündlichen Ölumlaufrmenge ist zwecklos, wenn man keine Kontrolle darüber besitzt, wie sich das Öl im Motor verteilt. Wir haben dieses Problem auf einfache und radikale Weise gelöst. Das Öl wurde nicht mehr durch die Kurbelwelle dem Pleuellager von innen zugeführt, sondern durch eine Düse, die seitlich im Kurbelkasten, jedoch in einer Ebene mit dem Pleuel angebracht wurde. Auf diese Weise erhält das Pleuel bei jeder Umdrehung von aussen eine gleichbleibende Ölmenge, die dann verschleudert wird und so Zylinder und Kolben schmiert. Eine solche Anordnung ist jedoch nur möglich, wenn keine Gleitlager vorhanden sind. Hier zeigt sich wiederum der Vorteil des I.G.-Prüfmotors, dessen Kurbelwelle und dessen Pleuel in Kugel- bzw. Rollenlagern laufen, die sich mit der Schmierung durch Spritzöl und Öldampf begnügen. Dass dies möglich ist, zeigt das Beispiel unseres Motors, der mit dieser Art der Ölszufuhr bisher rund 200 Stunden ohne Beanstandung im Betrieb war.

Vom Schmiersystem ist ferner noch die Anordnung des Ölsumpfes von Interesse. Das Öl wurde in einem Behälter ausserhalb des Motors gesammelt. Das erleichtert die Messung des Ölverbrauchs und des Ölumlaufrs und die Anbringung einer Ölheizung. Die im Umlauf befindliche Ölmenge war sehr gering, sie betrug nur 0,8 ltr.

Über die Versuchsvorbereitung und -durchführung wäre kurz folgendes zu sagen. Eine Stunde vor Beginn des Prüflaufrs wird die Kühlflüssigkeit und das Motorgehäuse elektrisch aufgewärmt. Die eingebaute Heizleistung erwies sich jedoch noch als zu schwach, denn es dauert nach dem Anfahren noch 45 Minuten bis die vorgeschriebene Temperatur erreicht ist. Da von Anbeginn mit offener Drossel gefahren wird, ist infolge der anfänglich niederen Temperatur der Kühlflüssigkeit die Leistung höher als normal. Erst nachdem die Kühlflüssigkeit ihre vorgeschriebene Temperatur erreicht hat, stellt sich die Leistung auf ihre normale Höhe ein. Dies dauert jeweils 1/2 bis 3/4 Stunden.

Während des Versuchs werden folgende Bedingungen konstant gehalten: Die Temperatur der Kühlflüssigkeit, die Motordrehzahl, der stündliche Kraftstoffverbrauch und der stündliche Ölumlaufl ($\approx 300 \text{ cm}^3/\text{h}$). Eine Aufheizung des Schmierstoffs erfolgt nicht. Die Temperatur beim Eintritt beträgt rund 30°C .

Die für das Versuchsende wichtigsten Grössen, nämlich die Leistung und der Druck im Kurbelgehäuse, deren Änderung das Ringstecken anzeigt, werden genau beobachtet und mit Schreibern aufgeschrieben. Abb. 2 gibt für einen Versuch den Verlauf der Leistung und des Drucks im Kurbelgehäuse während der Dauer eines Laufes wieder. Man erkennt, dass beim Anfahren die Leistung am grössten ist und -wie bereits erwähnt- erst nach etwa 30 Minuten die Normalleistung erreicht. Auch der Gasdurchtritt ist anfänglich sehr hoch. Dies dürfte sowohl auf die erhöhte Leistung als auch auf die noch nicht eingelaufenen Kolbenringe zurückzuführen sein. Während des weiteren Laufes bleibt die Leistung konstant, der Druck im Kurbelgehäuse ändert sich nur unwesentlich bis dann beim Festgehen der Ringe der Druck sehr stark ansteigt, wobei gleichzeitig ein Leistungsabfall von etwa 20% erfolgt. Ein derartig deutliches und überzeugendes Versuchsende ist zweifellos ideal. Es tritt aber leider nur bei etwa $2/3$ aller Versuche in dieser Weise ein; bei den übrigen wurde vor dem Gasdurchtritt ein Leistungsabfall von etwa 5% beobachtet, der sich dann im Augenblick des Durchblasens noch weiter verstärkte. Ein Beispiel hierfür zeigt Abb. 3. Man erkennt den 1. Leistungsabfall nach 11 Stunden und $1 \frac{3}{4}$ Stunden später starken Gasdurchtritt und mit nochmaligem Leistungsabfall. Man kann annehmen, dass bereits nach dem ersten Leistungsabfall ein Ringstecken erfolgt ist, wenigstens konnte bei einer Nachprüfung eines dieser Fälle diese Vermutung bestätigt werden. Es scheint, dass die am Kolben besonders in der Gegend der Ringe sich ablagernde Ölkohle ein Abdichten des Kolbens ver-

ursacht, sodass trotz Ringsteckens zunächst kein merklich erhöhter Gasdurchtritt zu beobachten ist. Erst allmählich verschaffen sich die Gase am Kolben vorbei Zutritt in das Kurbelgehäuse. Dass dieser Vorgang manchmal sehr träge und sähe vor sich geht, zeigt Abbildung 4. Hier erfolgt nach dem ersten Leistungsabfall nach $6\frac{1}{2}$ Stunden ein kurzzeitiges Erholen, dann ein zweiter Leistungsabfall bis schliesslich erst beim dritten ein kräftiger Gasdurchtritt sich bemerkbar macht.

Diese ϕb und zu vorkommende starke Verzögerung des Durchblasens beeinträchtigt die Eindeutigkeit des Versuchsendes. Der Leistungsabfall allein ist als äusseres Zeichen des Versuchsendes nicht auffallend und deutlich genug um vom Bedienungspersonal in allen Fällen einwandfrei erkannt zu werden. Es wäre daher sehr wünschenswert, wenn man das so ausserordentlich deutliche Ansteigen des Kurbelgehäusedruckes als einwandfreies Kriterium für das Festgehen der Kolbenringe gelten lassen könnte. Vielleicht gelingt es durch eine entsprechende Formgebung des Kolbens hier eine Abhilfe zu schaffen. Es scheint auch, dass diese Verzögerung des Gasdurchtritts mit der Lage des Ringstosses des ersten Ringes in Zusammenhang steht. Um diese Frage zu klären sind weitere Beobachtungen in dieser Hinsicht notwendig.

Wichtig für die Beurteilung der Verwendbarkeit eines Kleinmotors ist ausser der Wiederholbarkeit der Versuche vor allem die Frage, in welchem Verhältnis stehen die Ergebnisse zu denen am Grossmotor und zu denen der Praxis? Abb. 5 zeigt die Ergebnisse einiger Versuche mit vier Ölen bei verschiedener Temperatur der Kühlflüssigkeit, wobei für jeden Versuch zwei Laufzeiten eingetragen wurden, die sich ergeben, wenn man sowohl den ersten Leistungsabfall als auch den Gasdurchtritt berücksichtigt.

Bei den hier gezeichneten Kurven wurde -entsprechend der vorhin dargelegten Erkenntnis- die Laufzeit bis zum Leistungsabfall zugrunde gelegt. Darnach ergibt sich besonders bei niederen Temperaturen eine deutliche Überlegenheit des Rotrings über Aeroshell, was auch den Erfahrungen am BMW - Einzylinder entspricht. Der synthetische Schmierstoff SS 978 S₂ 0,04 erzielte im BMW 10 Stunden, lag also etwas besser als Rotring D. Zum gleichen Ergebnis führten auch -wie man sieht- die beiden Versuchsläufe im I.G.-Prüfmotor. Von SS 902 F 25 ohne Zusatz liegt nur ein Versuch vor; er entspricht aber durchaus der am BMW erzielten langen Laufzeit von 16 Stunden.

Man sieht also, dass zwischen dem I.G.-Prüfmotor und BMW - Einzylinder hinsichtlich Gütereihenfolge völlige Übereinstimmung herrscht. Das Bild lässt ausserdem -wenigstens an Hand von zwei Beispielen- erkennen, dass bei zunehmender Temperatur des Kühlmittels die Laufzeiten nicht nur kürzer werden, sondern auch sehr nahe zusammenrücken, sodass ein Unterschied kaum noch feststellbar ist.

Das sind die Ergebnisse der ersten Versuchsreihe, die mit diesem Motor durchgeführt wurde. In Anbetracht der Tatsache, dass der Versuchsanlage noch manche Mängel anhaften, kann man mit den Ergebnissen vorerst zufrieden sein. Wir haben inzwischen einen weiteren I.G.-Prüfmotor als Ölomotor umgebaut und dabei alle bei diesen Versuchen gewonnenen Erfahrungen verwertet. Es ist zu hoffen, dass damit Ergebnisse erzielt werden können, die nicht nur die am BMW 132 ergänzen sondern mit der Zeit auch ersetzen können.

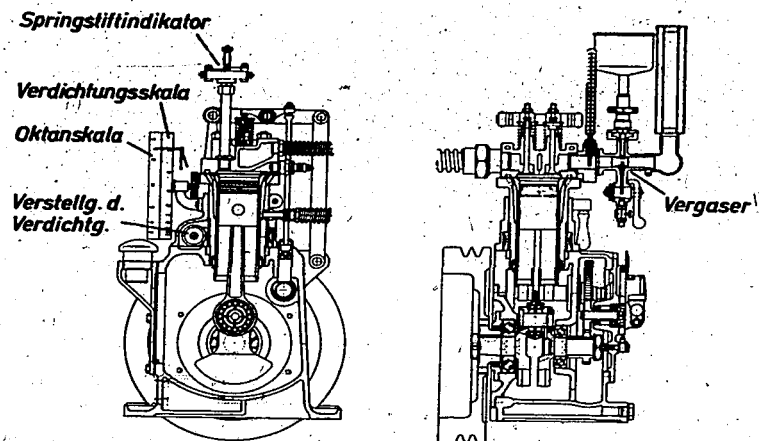


Abb.1: Schnitte durch den I.G.-Prüfmotor.

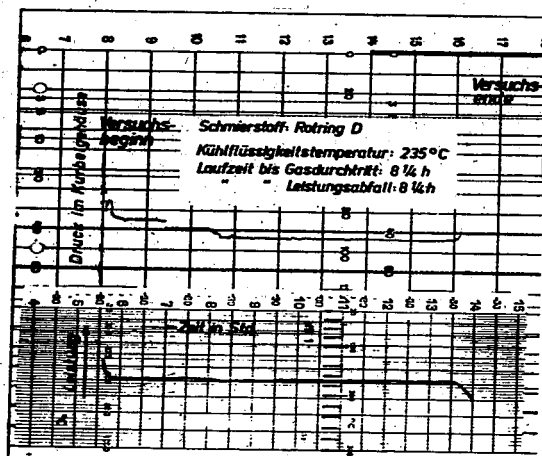


Abb.2: Leistung und Kurbelgehäusedruck während eines Prüflaufes.

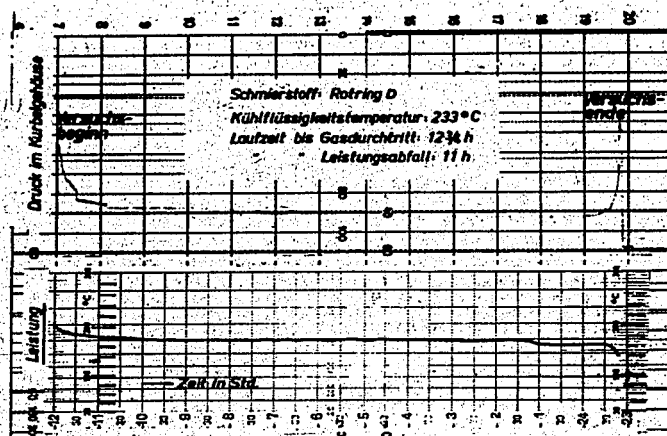


Abb.3: Leistung und Kurbelgehäusedruck während eines Prüflaufes.

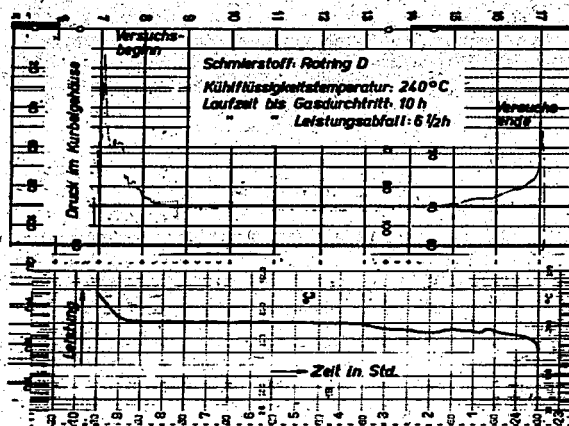


Abb.4: Leistung und Kurbelgehäusedruck während eines Prüflaufes.

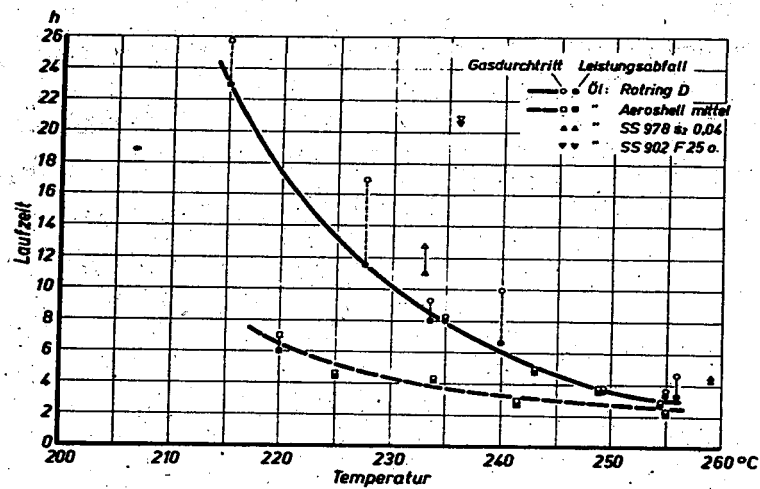


Abb.5: Laufzeiten von Prüfläufen in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur.

Versuche über Kolbenringstecken im NSU-Motor.

Von Dr.-Ing. Fr. Schaub, Ruhrbenzin A.-G.

Für die Entwicklung der synthetischen Flugöle der RCH befassen wir uns auch mit deren motorischer Prüfung. Es wurde dabei versucht, das Verhalten der Öle in Bezug auf Ringstecken, Alterung, Verschleiß und Ölverbrauch so gut wie möglich zu erfassen.

Der Versuchsmotor:

Als Versuchsmotor wählten wir einen luftgekühlten Einzylinder-Viertakt- und zwar den NSU 501 OSL-Motor, der ein Hubvolumen von etwa 0,5 ltr. hat. Der gleiche Motor wird von uns zur Überladeprüfung von Flugkraftstoffen verwendet, worüber ich im vorigen Jahr hier berichten konnte. Durch die Verwendung des gleichen Motors für Überlade- und Ölprüfung vereinfacht sich die Ersatzteilbeschaffung und Lagerhaltung. Ausserdem lagen bereits Erfahrungen der DVL über das Ringstecken in diesem Motor vor. Wir nahmen seinerzeit auch deshalb den luftgekühlten NSU-Motor, weil wir annahmen, daß hierbei eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen des vom RLM eingeführten luftgekühlten BMW 132-Motors leichter herbeigeführt werden könnte als bei einem wassergekühlten Kleinmotor. Dies bestätigt sich allerdings nicht, wie die in der Zwischenzeit bekannt gewordenen Versuche der Intava mit einem wassergekühlten Zweitakt-Motor gezeigt haben. Mit diesem Motor ist es offenbar sehr gut möglich, die Werte des BMW-Motors zu erhalten. Die Verwendung eines Kleinmotors war für uns von besonderer Wichtigkeit, weil es bei der Prüfung von Entwicklungsproben oft darauf ankommt, mit einer kleinen Probemenge auszukommen.

Das Versuchsverfahren:

Die bei uns angewendete Prüfung auf Ringstecken ist die gleiche, wie die von der DVL im BMW-Motor oder auch die von der Intava im DKW-Motor angewendete. Der Motor läuft un-

ter gleichbleibenden Betriebsbedingungen, die so gewählt sind, daß nach verhältnismäßig kurzer Laufzeit die Kolbenringe festgehen. Danach wird der Lauf abgebrochen. Das Ringstecken wird an der vom Zylinder am Kolben entlang ins Kurbelgehäuse entweichenden Durchblasmenge beobachtet.

Es wurde von uns angestrebt, die Öle nach einer über der Zündkerzenringtemperatur aufgetragenen Laufzeitkurve zu bewerten, wie sie von Glaser, DVL, in dem Berichtsheft 109 der Lilienthalgesellschaft angegeben worden ist. Zuerst mußten wir aber eine ausreichende Betriebssicherheit des Versuchsmotors für den Prüfstandsbetrieb herbeiführen. Sodann ergaben sich beachtliche Schwierigkeiten, reproduzierbare Laufzeiten und erst recht Laufzeitkurven zu erzielen. Die Versuche zeigten, daß, um die Laufzeiten des NSU-Motors in den Bereich der BMW-Prüfläufe zu bringen, sehr hohe Temperaturen, nämlich Zündkerzensitztemperaturen zwischen 350 und 400°C gewählt werden mußten. Weiterhin ergab sich eine sehr starke Abhängigkeit der Zeiten bis zum Ringstecken von der Temperatur.

Temperaturmessung.

Die erste Voraussetzung für reproduzierbare Laufzeiten sind also genaue Temperaturmessungen. Als Bezugstemperatur verwenden wir, wie auch andere Prüfstellen, die Zündkerzensitztemperatur. Man muß sich dabei allerdings darüber im klaren sein, daß diese kein absolutes Maß für den Temperaturzustand des Motors und insbesondere des Kolbens zu sein braucht. So kann zum Beispiel die Laufzeit bei gleicher Kerzensitztemperatur sehr verschieden sein, je nachdem in welcher Weise der Motor von der Kühlluft angeströmt wird. Einen wie großen Einfluß die Art der Kühlluftführung auf die Laufzeit ausübt, wenn man diese auf die Kerzensitztemperatur bezieht, ist daraus zu ersehen, daß bei freiem Anblasen des ganzen Motors trotz einer um 20° höheren Zündkerzensitztemperatur die Laufzeit mit 12 Stunden doppelt so lang ist, wie bei ausschließlichem Anblasen des Kopfes. Gleichzeitig ist allerdings auch die Öltemperatur (gemessen am Motoreintritt) und der Ölverbrauch niedriger. Nachdem wir eine Zeitlang den Kühlluftstrom mittels

eng anliegender Leitbleche gleichmäßig dem Zylinderkopf und dem Zylinder zugeführt haben, lassen wir jetzt nur den Zylinderkopf anblasen. Dadurch wird bewirkt, daß bei hohen Zylindertemperaturen die Zylinderkopftemperatur verhältnismäßig niedrig bleibt. Wir brauchen so eine Kerzensitztemperatur von 365° , um mit Rotring D eine Laufzeit von etwa 8 Stunden zu erzielen. Bei höherer Kerzensitztemperatur werden Schäden am Zylinderkopf häufig, weil dann die Festigkeit des Leichtmetalles anscheinend stark nachläßt.

Bewertungsfehler bei Verwendung der Zündkerzensitztemperatur als Bezugsgröße für die Laufzeit können auch dadurch entstehen, daß bei den hohen Temperaturen das Zündkerzengewinde allmählich ausgeweitet wird und die Verbrennungsgase aus dem Zylinderraum in verschieden hohem Maße in die Gewindegänge eindringen können, was bei gleichen sonstigen Motortemperaturen eine erhöhte Kerzensitztemperatur bewirkt. Eine zusätzliche Überwachung des Temperaturzustandes erscheint also erforderlich. Wir verwenden dazu ein Thermoelement im Scheitel des Zylinderkopfes und ein weiteres am Zylinder unterhalb der Verrippung.

Als grundsätzlicher Mangel erscheint es, daß die für das Ringstecken entscheidende Kolbentemperatur nicht direkt gemessen werden kann. Neuerdings ist zwar, z.B. von der DVL, die direkte Kolbentemperaturmessung auf eine verhältnismäßig einfache und auch anscheinend zuverlässige Weise ermöglicht worden, und es ist von großem Interesse, ob dies eine Verringerung der Streugrenzen bringen wird. Wir haben auch schon Kolbentemperaturen an einem schnellaufenden Kleinmotor, in welchem Öle auf die Neigung zum Kolbenfressen geprüft werden, direkt gemessen. Beim NSU-Motor sind wir aber bis jetzt leider noch nicht dazugekommen.

Um die Streuungen der Laufzeiten so klein wie möglich zu halten, müssen neben der Temperatur auch die übrigen Betriebsbedingungen, wie Drehzahl, Belastung, Ölverbrauch, Kolbenringspiel und Kraftstoff weitgehend überwacht werden.

Drehzahl, Belastung, Kolbenringspiel:

Ursprünglich führten wir die Versuche bei 3000 U/min und einem mittleren effektiven Druck von $7,3 \text{ kg/cm}^2$ durch. Wir sind dann von 3000 auf 2000 U/min und später von $7,3$ auf $6,4 \text{ kg/cm}^2$ herabgegangen. Durch die herabgesetzte Beanspruchung wurde die Betriebssicherheit und die Gleichmäßigkeit der Versuche erhöht.

Am 1. Kolbenring stellen wir jetzt ein achsiales Spiel von $0,1 \text{ mm}$, am 2. und am Ölabstreifring von $0,075 \text{ mm}$ ein. Dies wird durch Abziehen der etwas stärker gelieferten Ringe erreicht. Durch diese Änderungen der Betriebsbedingungen sind die Laufzeiten bei gleicher Temperatur etwas verlängert worden.

Der Ölverbrauch:

Der Ölverbrauch ist einer der unangenehmsten Faktoren bei der Ölprüfung, weil er nur in weiten Grenzen beherrscht werden kann. Eine Abhängigkeit der Laufzeit vom Ölverbrauch war im NSU-Motor nur sehr schwer festzustellen. Eine Reihe von Versuchen mit Rotring D, die in Abb. 1 wiedergegeben sind, scheinen aber zu zeigen, daß hoher Ölverbrauch und damit erhöhte Ölzufuhr zur Kolbenringpartie zu einer Verkürzung der Laufzeiten führt. Dies widerspricht allerdings den von Glaser DVL früher gemachten Erfahrungen, wonach mit steigender Öltemperatur und steigendem Öldruck - was ja steigenden Ölverbrauch bewirken müßte - die Laufzeit länger wurde.

Kraftstoff:

Der Einfluß verschiedener Kraftstoffe war nicht so groß, daß er eindeutig nachgewiesen werden konnte. Ein Teil der Versuche wurde mit verbleitem, ein anderer mit unverbleitem Kraftstoff durchgeführt.

V Versuchsergebnisse:

Wegen der ursprünglich großen Schwierigkeiten, gut reproduzierbare Werte zu erzielen, konnten wir nur von verhält-

nismäßig wenig Ölen eine vollständige Laufzeit-Temperaturkurve festlegen. In Abb. 2 sind etwa 40 Meßwerte für Rotring D mit dem sich aus ihnen ergebenden Streuband wiedergegeben. Die Laufzeiten fallen danach mit steigender Temperatur stark ab, sodaß bei etwa 370° im Mittel noch $3\frac{1}{2}$ Stunden erreicht werden. Bei noch höheren Temperaturen verläuft die Kurve flacher. Ein parabelartiger Verlauf der Laufzeitkurve mit einem ausgeprägten Wiederanstieg bei hohen Temperaturen, wie er von Glaser(DVL) für verschiedene Öle angegeben wurde, ist hier offenbar nicht gegeben, wenn gleich dies beim Herausgreifen bestimmter einzelner Versuche angedeutet erscheinen könnte. Der Vollständigkeit halber ist noch zu erwähnen, daß der größte Teil der über 370° gefahrenen Versuche mit etwas niedrigem mittleren effektiven Druck gefahren wurde. Diese Werte sind durch Punkte gekennzeichnet. Die Laufzeiten sind durch diese Maßnahme offenbar nicht wesentlich verändert worden.

In Abb. 3 wurde neben der aus dem Streuband der Abbildung 2 entnommenen mittleren Kurve für Rotring D noch eine für das synthetische Versuchsöl K 1880/5 der ROH aufgetragen. Die Laufzeiten dieses Öles sind eindeutig länger als die von Rotring. Bei der E'stelle Rechlin lief dieses Öl im BMW 132-Motor 11 bis 12 Stunden lang, ohne daß danach die Ringe fest waren.

Um zu einem erträglichen Zeit- und Kostenaufwand bei der Ölprüfung zu kommen, verzichteten wir seit einiger Zeit auf die Festlegung einer ganzen Laufzeitkurve und prüfen nur bei der Temperatur, bei welcher entsprechend dem BMW Motor für Rotring D eine Laufzeit von etwa 8 Stunden erzielt wird. Unter den sonst festgelegten Versuchsbedingungen beträgt dabei die Zündkerzensitztemperatur etwa 365°C . Zur Festlegung dieses Wertes und zur Beobachtung der Reproduzierbarkeit haben wir eine Reihe von Versuchen mit Rotring D durchgeführt, die in Abb. 4 wiedergegeben sind. Sodann prüften wir einige Öle, die uns von der Intava und der Rhenania-Ossag zur Verfügung gestellt worden sind und deren Laufzeiten im BMW-

Motor uns angegeben werden konnten. Die mit diesen Ölen bis jetzt erzielten einzelnen Laufzeiten sind ebenfalls in Abb.4 dargestellt. Die Messungen wurden an zwei verschiedenen Motoren durchgeführt. Der Streubereich am einzelnen Motor ist vielleicht nicht so gering wie beim BMW- oder beim DKW-Motor der Intava. Die Mittelwerte der beiden Motoren stimmen dagegen recht gut überein. Es ist demnach eine Bewertung der Öle, besonders wenn man 2 bis 3 Läufe durchführt, möglich. Die Übereinstimmung der Bewertung mit dem BMW-Motor kann unter Berücksichtigung der Streuungen, die zwischen den einzelnen BMW-Motoren auftreten, für die geprüften Öle als befriedigend gelten.

Wir haben uns noch bemüht, mit den Ringsteckversuchen eine Bewertung hinsichtlich des Abriebes und der Alterung zu verbinden. Dies ist aber nicht in befriedigender Weise möglich gewesen. Es treten nämlich zu große Streuungen auf, die wohl in erster Linie dadurch bedingt sind, daß die Versuchszeiten und der Einfluß der am Schluß feststehenden Kolbenringe ungleichmäßig sind. Wir hoffen, daß wir hier weiter kommen durch Beobachtung des Abriebes in Verbindung mit unseren Schlammbildungsversuchen, auf die ich noch eingehen will.

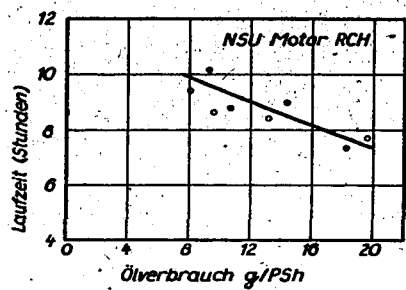


Abb. 1: Laufzeit in Abhängigkeit vom Ölverbrauch

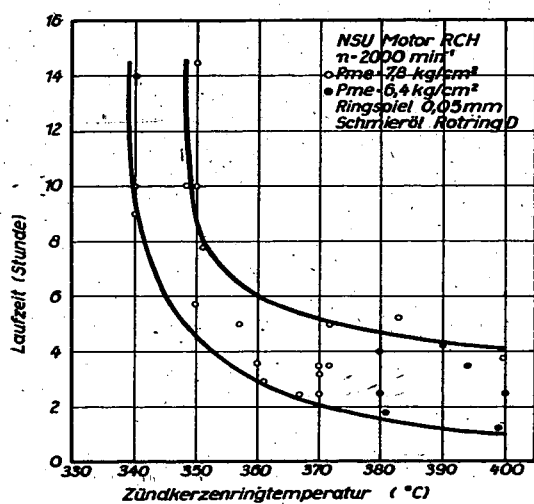


Abb. 2: Laufzeiten bei verschiedenen Temperaturen

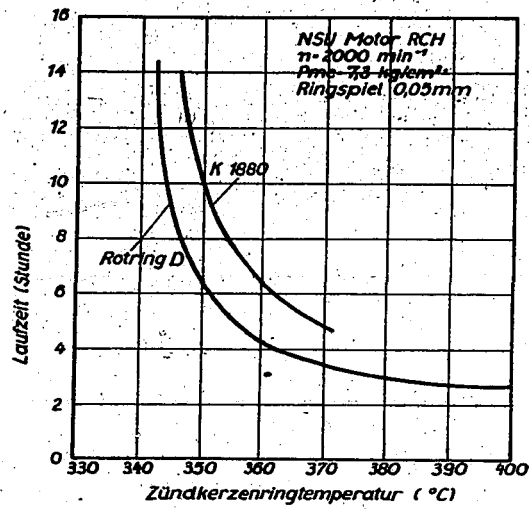


Abb. 3: Laufzeit-Temperaturkurven

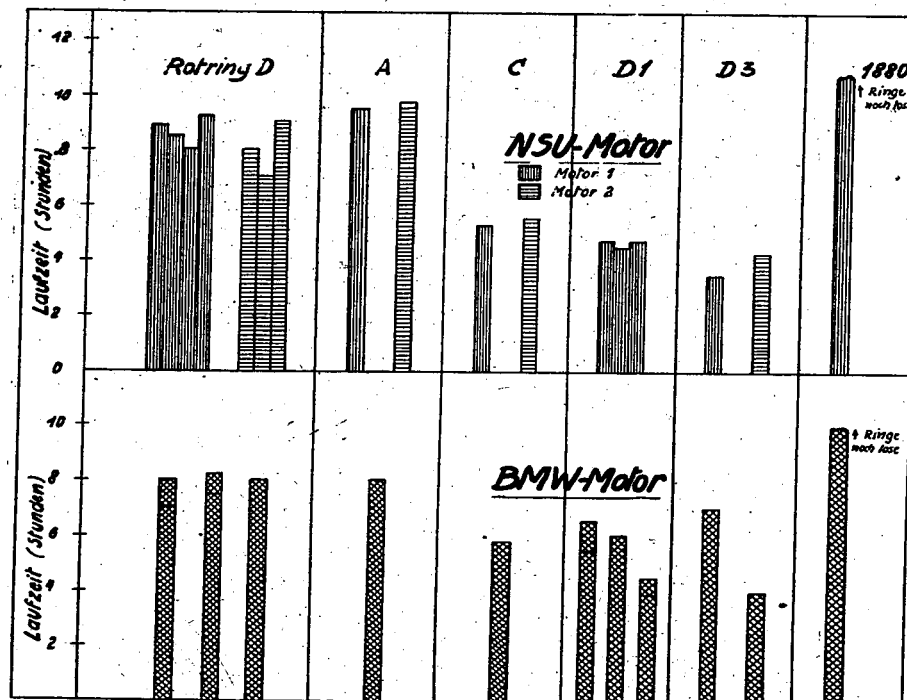


Abb. 4: Laufzeiten einiger Öle im NSU- und BMW-Motor.

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 Konstanzhaltung 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 geeigneter 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 Asphalts- 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 Zahnradpumpe 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 Hingefestsitzen 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 Dekrompressionshahnes 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 eingewinkeltes 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

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 $\frac{1}{2}$ Stunde gefahren. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 3 in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur aufgetragen, und zwar:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 1) Temperatur im Kerzenring | } gemessen durch Thermolemente |
| 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-

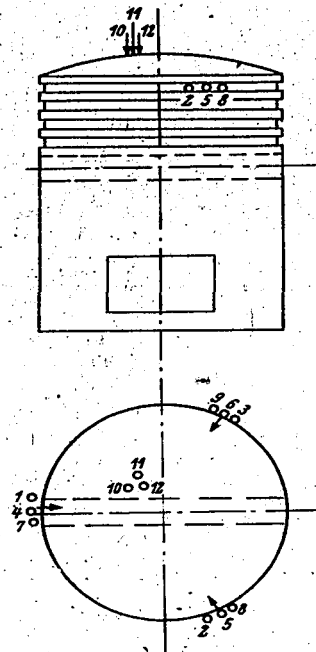


Abb.2: Anordnung der Schmelzstifte am DKW-Motor.

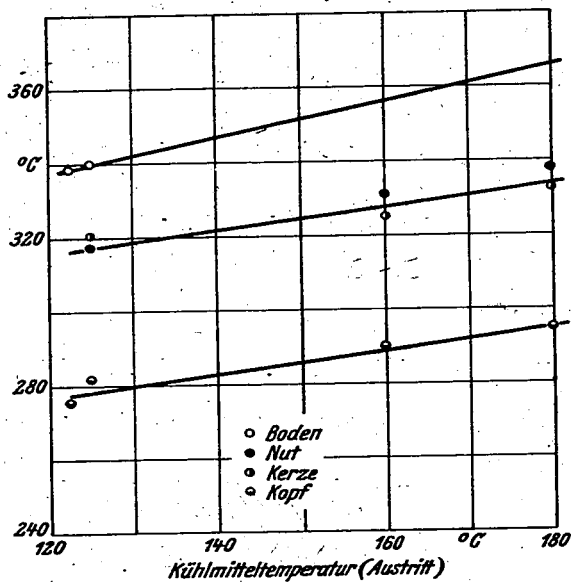


Abb.3: Kolben und Zylinder-temperaturen in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur.

03117

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.

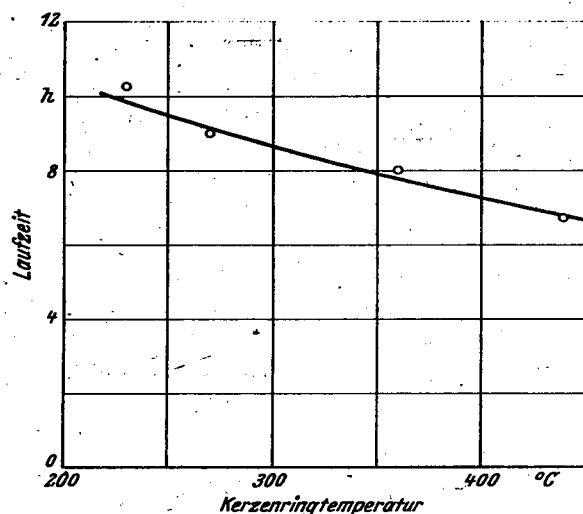


Abb.4: Laufzeit in Abhängigkeit von der Kerzenringtemperatur.

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/PS _h
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 Zehntafel 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. Zehntafel 2 und Abbildung 5).

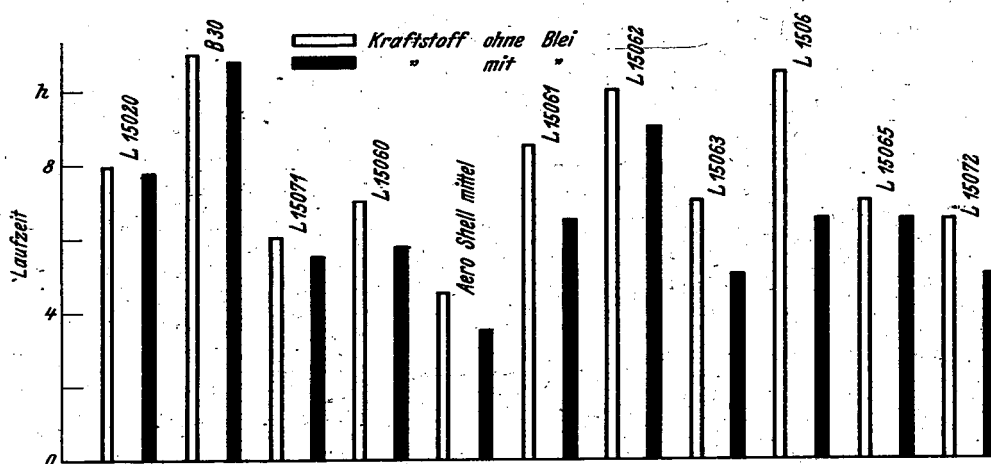


Abb. 5: Kraftstoffeinfluß auf die Laufzeit.

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. -