

000265

Nur für den Dienstgebrauch

Bericht

~~über die~~

Schmierstoff-Tagung

~~2. Teil: Alterung~~

am 7. und 8. Mai 1942

~~in Berlin-Adlershof~~

Zusammengestellt und überarbeitet von

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V.

Institut für Betriebsstoffforschung

Berlin-Adlershof

000266

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstbereich des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstbereichs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen.

~~Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstbereichs des Empfängers ist ausgeschlossen.~~

**Der Bericht ist unter Stahlblechverschluß
mit Patentschloß zu halten.**

000267

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

000268

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 Flug- motor	41
Dr. Mayer-Bugström: Laboratoriumsprüfverfahren für die Schmierölalterung	57
Dr. Widmaier : Künstliche und motorische Schmier- ölalterung	89
Dr. Baader : Grundsätzliches zu Ölalterungs- prüfungen	103
Dr. Tramm : Zur Frage der Bestimmung des Asphalt- gehaltes in gealterten Schmierölen	111
Dipl.-Ing. Glaser : Die Überwachung der Kolbentempera- tur bei der Betriebstoffdauer- prüfung	129
" " Lauer : Erfahrungen bei Schmierstoffprüf- läufen 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 MSU-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. Uraß
DVL, Institut BS	Dr. Eckardt Dipl.-Ing. Franke " " Glaser Dr. Krienke Dr. Mayer-Bugström Dr. Morghen 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. Hölder 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	Dipl.-Ing. Lorenz
Physik.-Techn.Reichsanstalt, Bln.-Charlottenburg	Dr.Bochmann, Dr.Micke
Reichsluftfahrtministerium	Dipl.-Ing.Adam, Dr.Beyer, Dipl.-Ing.Hempel, Dipl.-Ing. Keilpflug, Dipl.-Ing. Wallner
Rhein.-Westf.Elektrizitätswerk A.-G., Knapsack b.Köln	Dr.Baader
Rhenania-Ossag, Mineralölwerke A.-G., Hamburg	Dipl.-Ing.Beuerlein, Dr.Held, Dr.Reichel, Dipl.-Ing.Rößner, Dr.Seele
Ruhrbenzin A.-G., Oberhausen- Holteln	Dr.Schaub, Dr.Tramm, Dr.Velde
Ruhröl Gmbh., Hugo Stinnes Werke, Bottrop/Westf.	Dr.Freese, Dr.Ibing
Steinkohlenbergwerk Rheinpreußen, Homberg/Niederrhein	Dr.Koelbel
Techn.Hochschule Berlin	Dr.Marder, Dr.Vogelpohl
" " München	Dr.Spengler
Universität Halle	Dr.Harms
Verein Deutscher Ingenieure, Berlin NW 40	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, Benzinreste, 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 ermöglichen. Für die Schlamm- und Verschleißbildung 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 (Nc II-hinsy)	Mol.-Gew. %	Gasbildung 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.

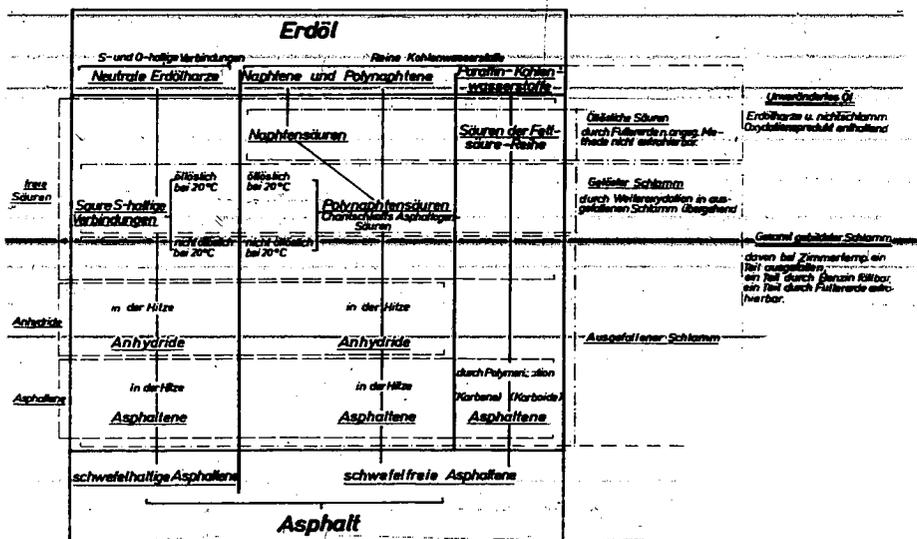


Abb. 1: Oxydations-Schema von Erdöl nach Schlaepfer.

Zur Ergänzung der Übersicht von Schiaepfer 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 kleinerem 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 2

Molekulargewichte von Erdöl und Erdölharzen. 1)

	Frischöl	Alkohollösl. Harze	Bo-lösl. Harze
Aero H	730 13,23% H ₂ 0,64% O ₂	683 10,66% 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, Schlammbildung und verursachen Verstopfungen der Ölleitungen, Wärmestau usw. Auch wird anoxydiertes Öl an allen jenen Stellen stärker als Frischöl zu koksartigen Produkten umgewandelt, wo die erforderlichen Temperaturen und Zeiten verfügbar sind, wie an Kolbenringen, Ventilschäften usw.

c) 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.)

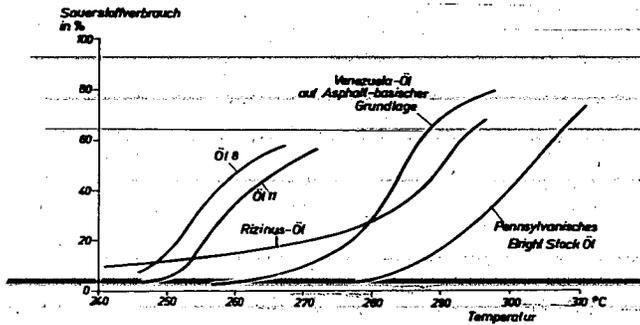


Abb. 2: Temperatureinfluß auf die Oxydation.

(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)

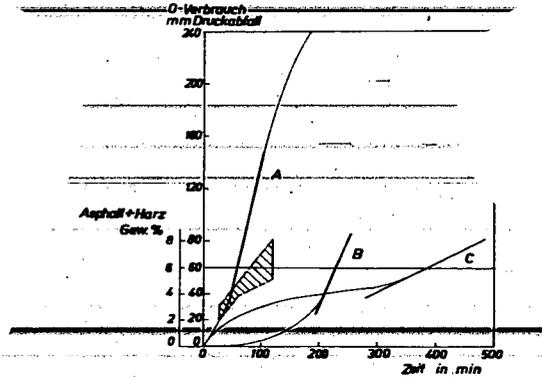


Abb. 3: Zeiteinfluss auf die Oxydation

(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-

81 (?) zeigt die Zahlentafel 3.

Zahlentafel 3
Einfluß von Katalysatoren auf die Oxydation.

Oxydationsbedingungen	Glas	Eisen (Vz.Glas - Vz.Metall)	Cu	Ni	Al	Pb	Bemerkung
95°C 48 h ¹⁾							
Öl 1	-	0,35	0,69	-	-	0,33	Dampfturbinenöl
Öl 2	-	0,09	0,30	-	-	0,20	Flugmotoren
Öl 3	-	0,06	0,06	-	-	-	Öl?
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 Metall/g Öl

- 1) nach Baader
2) nach Mardles u. Ramsbottom

Wasser spielt bei der Alterung, wie sie im Laboratorium durchgeführt wird, keine nennenswerte Rolle, wenn es auch im Motor einen erheblichen Einfluß hat. Stickstoffdioxyd, das in Ottomotoren 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 nunmehr vielfach angewendet. Sie wirken derart, daß sie entweder unmittelbar die Reaktion von Sauerstoff mit Kohlenwasserstoff verhindern oder verzögern oder dadurch, daß sie metallische 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 verzögernd 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 Oxydationsneigung als sie nach der Mischungsregel der Komponenten 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 Schlämmen 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 pastos, ohne daß Einzelteilchen sichtbar sind oder mehr körnig, wie Kaffeesatz ("coffeeground").

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 Zwischenklemmen 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 (Überölung) 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 fester 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 Ölmoлекуle 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-

(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 Automobilmotoren). 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.

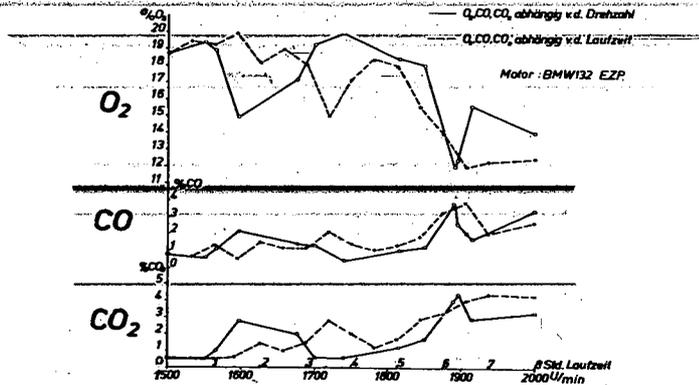


Abb. 4: Änderung der Gaszusammensetzung im Kurbelgehäuse mit Laufzeit und Drehzahl.

Die Zusammensetzung des Kurbelgehäuses und des Auspuffgases zeigt die folgende Abbildung, nach Angaben von Williams¹⁵⁾, Weiß und Maillard¹⁶⁾ 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. Betriebsstofforschung)														

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 hier in 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. Herstellungsmäßige 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 Gesamtanlage 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.~~

Chemisch-physikalisches Verhalten	Veränderungen im Motor <small>(werden durch Alterung weitgehend beeinflusst)</small>
Alterung a) thermische Zersetzung: Cracken - Koks Polymerisation - Zähigkeit Verdampfung - Flüchtigkeit b) thermisch oxydative Zersetzung: Bildung v. Säuren, Estern, Laktonen u. a. m. Harzbildung Asphaltbildung Kondensation katalytischer Einfluß Asphalt-Lösungsvermögen (Schlammbildung) Suspensionsvermögen (Schlammbildung) Koksverbrennlichkeit (Rückstandsbildung) Korrosion (Bildung katalytisch wirkender Verbindungen) Haftvermögen an Metall (Abblättern der Metalle)	Rückstandsbildung: im Brennraum auf Ventilschaft und -teller auf Pleibenunterseite Kolbenringstecken bei niedrigen und hohen Temperaturen Schlamm- und Lackbildung bei niedrigen und hohen Temperaturen Lackbildung Korrosion, Schmierverhalten und Schäumen werden hier nicht berücksichtigt.

Motorische Einflüsse

Dauernde Einflüsse:	Betriebsbedingungen:	Wartungseinflüsse:	Betriebsstoffe:
Konstruktion - Motorzustand Katalytische Metalle Verteilungsgrad des Öles Gas im Kurbelgehäuse	Temperatur Drehzahl Belastung Ölverbrauch Ölstand im	umlaufende Ölmenge Öl-Nachfüllzeiten	Kraftstoff Schmieröl Luftreinheit

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 Leben, 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

einen bestimmten Motor m~~ä~~sbar, 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 Verschleißung!) 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, sodas auch die Ergebnisse im ersten Falle leichter auf die Praxis angewendet werden können als im zweiten. Sicherlich ist es vor der allgemeinen Anwendung dieses Prinzipes 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 gebräuchter Motorenschmieröle nach ASTM-Methoden. 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 lubrication 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.H. 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 Oxydation von n-Heptan. Öl u. Kohle, 15, 299 (1939)
- 10) H. Staeger, Betriebserfahrungen mit Mineralölen, Österreich-Petroleum Institut, Veröffentlichung Nr. 5, Wien, 1937
- 11) Vgl. M. Marder u. V. Tolkmitt, Über den Wert von Laboratoriumsmethoden zur Bestimmung der Alterungsneigung 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, 3d. 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 an 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.Gossiau, Entwicklung von Kolben für höhere Dauerlei-
stungen-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 öllunlöslichen 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 beschriftet 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⁾ Stwa 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 Asphaltens zeigen. Die Alterung erfolgt entweder in einem offenen Stahlgefäß in Chargen zu 2 bis 3 kg oder in dem in Abb.1 gezeigten Glasgerät.

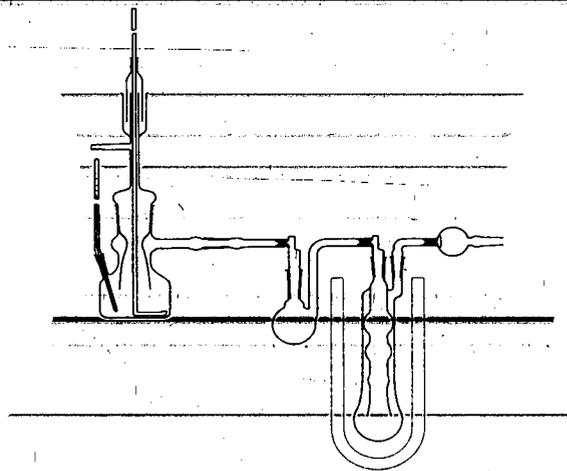
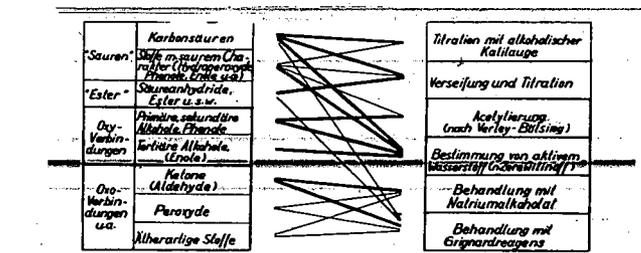


Abb.1 : Alterungsgerät (Schema)

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 ungenügend 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 ausgezogenen Verbindungslinien geben die durch die einzelnen Methoden tatsächlich erfaßbaren Stoffe an.
Die schwach ausgezogenen 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 Asphalt 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.

Verg. Nr.	Einrichtung	Behandlung	Gesamt-Flüch- tigkeits- %	Paraf- fin- gehalt %	Rhebe- % %	Alkohol- % %	Säure- Zahl mg/Kg	Vers- Zahl mg/Kg	Ver- Zahl mg/Kg	Verh. an C ₁₅ H ₃₂ O ₂ unter C ₁₅ H ₃₂ O ₂ - Einwirkung mg/Kg	
1	keine	keine	-	0	0	0	0,03	0,25	0	2,00	1,90
2	thermisch	Alterung 5 Stdn. 200°C N ₂	-	0	0	0	0,04	0,25	-	3,90	1,65
3	oxydativ	Alterung 23 Stdn. 275°C Luft	12	0	0	0	1,50	6,45	6,60	15,10	22,65
4	thermisch und oxydativ	Alterung 23 Stdn. 275°C N ₂ Alterung 23 Stdn. 275°C Luft	~20	0	0	0	1,35	7,90	6,75	10,15	20,65
5	thermisch	mit und Alterung 5 Stdn. 400°C N ₂	-	2,2	2,3	4,5	0,00	3,25	0	0,25	11,55
6	reduziert	mit und Reduktion 5 Stdn. 175°C	-	0	0	0	6,45	10,85	0,45	34,55	15,60
7	thermisch	mit und Alterung 5 Stdn. 400°C N ₂	-	2,2	5,3	7,5	0,00	4,85	0	0,25	0,75
8	oxydativ	NSU-Motor b. Ringelstein (17 Stdn.)	-	0	0	0	1,85	6,85	3,0	13,90	22,90

(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 Erhitzen
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 "Kahlbaum-Benzol zur Molekulargewichtsbestimmung", welches außer dem unkristallisiert 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 $100^{\circ}C$ und z.T. bei Bestrahlung mit U.V.-Licht vorliegen, (Benzaldehyd, Cyclohexen, Tetralin, Menthen, 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 1,3-p-Menthen herausgegriffen, welches nach Hock mit Sauerstoff wie folgt reagiert (Abb. 3).

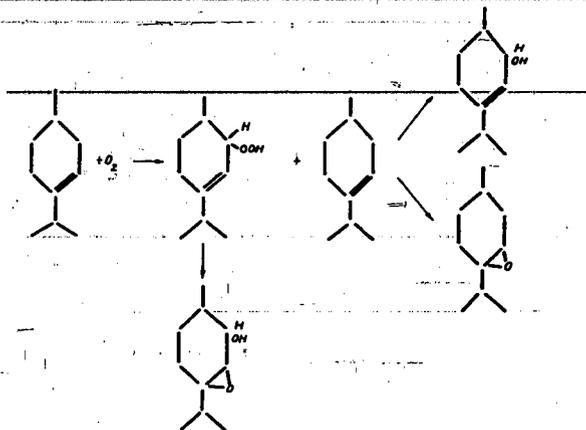


Abb. 3: Autoxydation von 1,3-p-Menthen nach Hock.

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. 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 Menthandien 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 sin

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 Tschernoschukow über¹³⁾ 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 Kohlenwasserstoffes 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=C), 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) E. 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. Morghen, "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) H. Kock, 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)

000305

- 40 -

- 9) J.H.Hellberger, A.v.Rebay, H.Pettback, 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, Reohlin.

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 fabrikneue 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 Zentrifugalwirkung 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 Reihen 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.

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 Aschgehalt.

Der Aschgehalt 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 Aschgehalt 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. Grenzschnmierung + Flüssigkeitsschnmierung. Der Anteil der Grenzschnmierung 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 Grenzschnmierung nicht sehr hoch sein. Denn andernfalls müssten z.B. pflanzliche Öle, die wesentlich geringere Reibungszahlen bei Grenzschnmierung 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 Aschegehalt 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 Abriebflächen zu erwarten war.

~~Überraschend gering ist ganz im Gegensatz zu Auto-Dieselmotoren die Ölalterung und insbesondere auch der Aschegehalt bei Dieselflugmotoren, bei denen es sich durchweg um Junkers-Doppelkolbenmotoren 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 den in der Luftwaffe seit Jahren üblichen Kaltstartverfahren werden dem Öl bis zu 20 % Bleibenzin zugesetzt, das mit Warmwerden des Motors zum grössten Teil wegdampft - 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-Röhrchen hervorrufen.

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 Freerscheinungen 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-Einzylinder-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 g.z. überwiegend bei der Luftwaffe verwendet werden.

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

Für die Beurteilung von Diesel-Flugmotorenschmierölen ist der BMW 132-Einzylinder-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-Einzylinder-Motor lassen sich zwischen dem Alterungsdaten des Schmieröles und dem 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 un stabile 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-Einzyylinder-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 Dieselkraftstoffe mit höherer Cetanzahl, also geringerem Aromatengehalt bei Verwendung desselben Schmieröles 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 Schlammbildung 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 Schlammbildungsneigung ergibt auch das Prüfverfahren im BMW 132-Einzylinder-Motor ebensowenig wie die Analysendaten des gealterten Öles.

Ohne die chemische Struktur von 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 Schlammbildungsneigung 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 Reclin 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 Öle 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 Schlammehrerzeugung durch Wasser aber ist, was in diesem Zusammenhange besonders wichtig ist, bei verschiedenen Ölen ganz unterschiedlich.

Leider lassen sich damit die Streuungen in den Rechliar 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 Rechliar 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 Schlammausscheidung durch Auszentrifugieren oder Filtrieren bestehen, wird in Reclin ebenfalls untersucht. Das heute normaler Weise verwendete Spaltfilter ist relativ am unwirksamsten, weil es nur eine Dimension der Schmutzteilchen 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 Schmutzteilchen 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 Ölzu- und Ölrücklauf, die zum Zurückhalten von groben Schmutzstoffen, Spänen usw. immer erforderlich bleiben, noch eine hochoberflächige Zentrifuge an Motor direkt anzubringen. Eine praktisch einfachere zu verwirklichende und wahrscheinlich schon recht wirksame Ölsäuberung 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 Zylinder-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 Kurbelwelle, eine je nach den Temperaturen, die diese Teile besitzen, abgestufte bräunliche Lackierung auf; bei anderen Ölen bleiben Kurbelwelle 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 Bräunigung oder Schwärzung der vorstehenden Triebwerksteile gar keine Schlussfolgerungen auf das Verhalten eines Öles an den Kolbenlauf-
flächen und Kolbenringen oder hinsichtlich Schlamm-
bildung 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 Bräunigung 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.~~

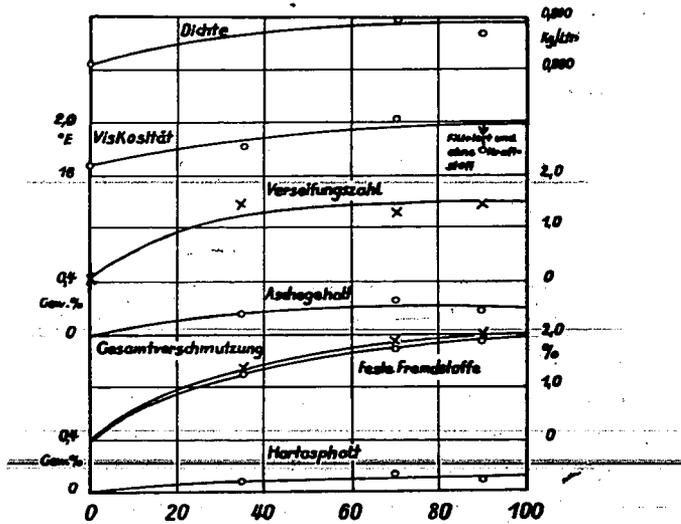


Abb. 1: Ölalterung im Vollmotor (90-Stundenlauf), mit Nachtanken.

Motorart	Otto-Flugmotoren.			Ness-Flug		
	gross	gross	Klein	gross		
Zylinder-Grösse	Luft			Luft	Flüssig	
Kühlmittel	flüssig					
Änderung der Viskosität	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	°E/50°C
Änderung der Dichte	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	0.010 0.005 kg/ltr.
Anstieg der Verseifungszahl	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	20 10 mg KOH/g
Asche	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	0.2 Gew.%
Hartasphalt	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	0.2 Gew.%
Feste Fremdstoffe	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	10 Gew.%
Gesamtverschmutzung	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	1, 2, 3	2 Gew.%

1- gefälltes Mineralöl, 2- ungefälltes Mineralöl, 3- halbsynthetisches Öl.

Abb. 2: Alterungsdaten verschiedener Ölgruppen in verschiedenen Motoren.

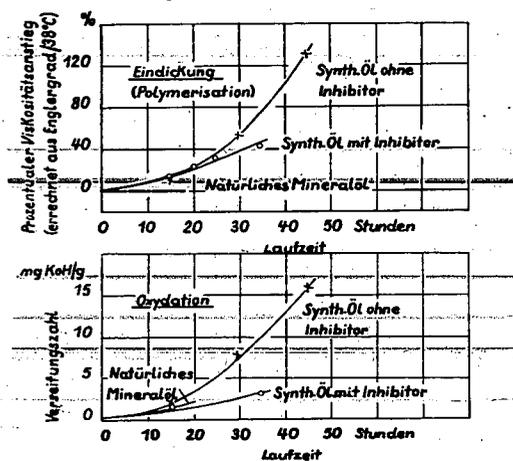


Abb. 3: Wirkung von Inhibitoren.
 (Nach Versuchen bei der I.G.-Farbenindustrie A.-G.,
 Techn. Prüfstand Oppau)

Laboratoriumsprüfverfahren für die Schmieröl-
alterung.

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

A. Grundsätzliches zur Laboratoriumsalterung in Prüfgeräten.

In Zahlentafel 1 sind die Versuchsbedingungen zusammengestellt, welchen die Öle bei verschiedenen Alterungsverfahren unterworfen werden. Vergleicht man sie mit den Verhältnissen, denen die Öle beim Motorbetrieb ausgesetzt sind, so sind große Unterschiede festzustellen. Vor allem sind die Alterungstemperaturen im Vergleich zu den am Kolben herrschenden Temperaturen meist viel niedriger. Reiner Sauerstoff-

Zahlentafel 1

Versuchsbedingungen von Ölalterungsverfahren.

Verfahren	Angew. Menge		Vers. zeit h	Temp. °C	Oxy- dations- mittel	Metall	Ermittelte Kennzahlen
	g	ccm					
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 (unkorr. 275)	Luft	-	Flüchtigkeit; Asphalt im Restöl
WAC-Verf. 9)	10x 3,5	-	5	288 (unkorr.)	"	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 Marder ¹⁰⁾ 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

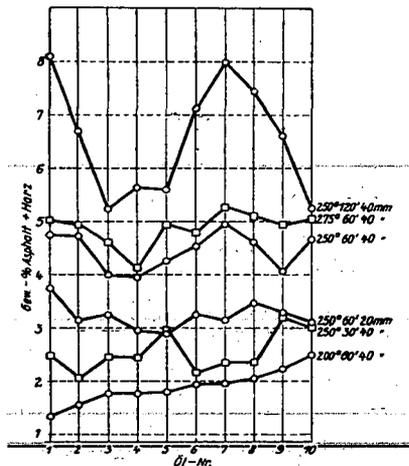


Abb. 1: Asphalt- + Harzgehalt von 10 Ölen nach Alterung unter verschiedenen Bedingungen (nach Marder)

miteinander verbunden. Die sich dabei für die einzelnen Prüfweisen ergebenden Linien laufen in keinem Falle parallel oder proportional zueinander. Aber nicht nur die Alterungsbedingungen, sondern auch die weiteren Maßnahmen bei der Aufarbeitung (Dauer der Abkühlung, Zeit zwischen der Beendigung des Alterungsvorganges und der Bestimmung der Alterungsstoffe) sind von großem Einfluß auf die gefundene Veränderung 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 gealterten Öle ändern kann, zeigt Abb. 2 (nach Seufert). Es ist deshalb die Festlegung einer genauen Arbeitsweise notwendig.

Über die Wahl der Alterungstemperatur gehen die Ansichten, wie schon aus der Zusammenstellung der wenigen Verfahren in Zahlent. 1 ersichtlich, um mehrere 100°C auseinander. 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

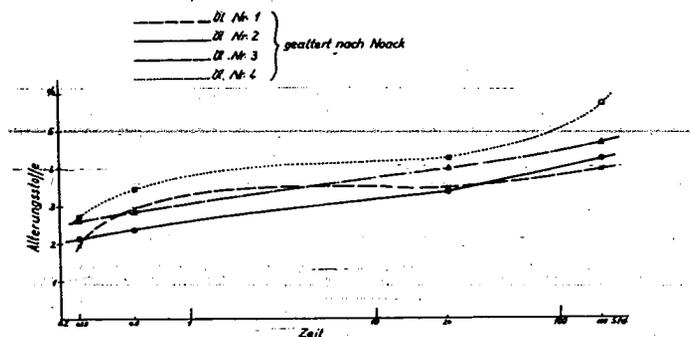


Abb.2: Gehalt an Alterungsstoffen nach verschieden langen Stehen an der Luft (nach Seufert).

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.

<u>Motorverhalten</u>	<u>Laboratoriumsversuche</u>
Kolbenringfestsitzen	Oxydation (Asphaltneubildung u. Flüchtigkeitmessung, Suspension, Asphaltlöslichkeit)
Verschlammung im Kurbelgehäuse	Oxydationsverfahren und Suspensionsfähigkeit, aber auch Verkokungsverfahren
Rückstandsbildung auf Kolben und Ventilen	Verkokungsverfahren (und Reaktionsfähigkeit bezw. Haftfestigkeit)

B. Oxydative Veränderung und Ringstecken.

Das Ringstecken ist wohl in erster Linie, wenigstens beim Flugmotor, durch Veränderungsprodukte des Öles hervorgerufen, nicht aber des Kraftstoffes. 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 O₂ 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 Verharzungsneigung 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	2,52	70,0	27,48	8,42	0,0
(bleifreie	2,5	73,6	23,9	4,9	0,8
Läufe)	2,5	75,5	22,0	6,9	0,0
	1,7	71,3	27,0	4,6	0,0
	3,2	75,4	21,4	14,04	-
2. Kolben- inneres	4,60	77,8	17,77	8,83	
3. Umlauföl (zentrifugi- ert)	4,47	77,8	17,73	40,94	
	2,6	82,8	14,55	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 Freibstoffen 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 öllösliche. 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. 3 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,

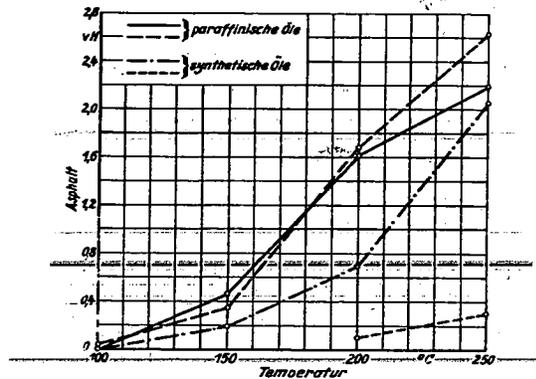


Abb. 3: Asphaltlöslichkeit in Frischölen.

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⁾ Sinnvoll 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 Asphaltenmenge 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 Verschlämmung.

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 ₂ (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.)	(0,8% Asph. vom CHCl ₃ -Lösl.)	(2,3% Asph. vom CHCl ₃ -Lösl.)
Kohlenstoff %	84,6 (aschefr.)	83,1 (aschefr.)	83,2 (aschefr.)
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 DVL²⁵⁾ 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 Schlammabildung, 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 Schmier-system 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, Schlämmbildung, Viskositäts-erhöhung, 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 Ivers- und Schmidt-Verfahrens.³⁰⁾

~~Den erwähnten großen Einfluß der Temperaturerhö-~~
~~hung auf die Bildung der Alterungsstoffe scheint man al-~~
~~lerdings nicht ohne weiteres verallgemeinern zu dürfen.~~
~~So fand Marder¹⁰⁾ für die durch Steigerung der Versuchs-~~
~~temperatur 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 Destruktion 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 Bewährung des Air-Ministry-Tests sind die Versuche von Mielnikowa und Dziewonski, 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-Versuchen ²⁵⁾ - die Öle stärker als das englische. Von den Feststellungen Damians ⁴¹⁾, 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 Martinets ⁴²⁾ 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 DVL ²⁵⁾ 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 Verschlammungsneigung 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 1mm 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).

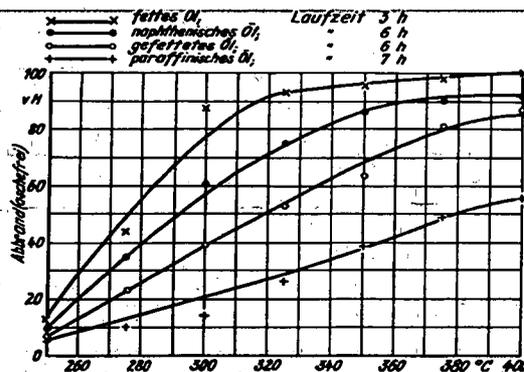


Abb. 4: Reaktionsfähigkeit von Ölkohlen.

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, wie weit einmal gebildete Ölkohle durch Verbrennen oder Ablättern 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 Zusetzungstemperaturen (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 Conradson ⁵⁰⁾ und Ramsbottom¹⁾. 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 Damian ⁵³⁾ 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 sauerstoffreicher Umgebung, Ausbildung dünner Schichten und Wärmezufuhr zum ruhenden Öl bei

+) flammenlose Erhitzung

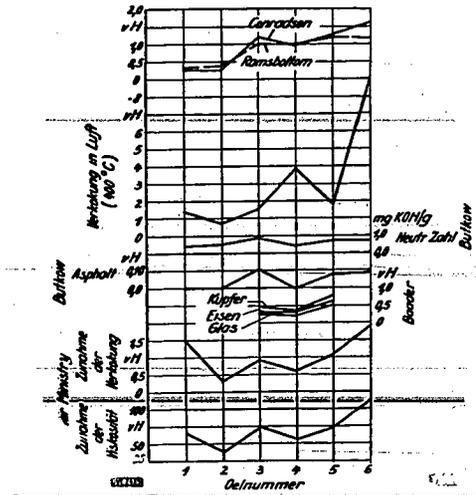


Abb. 5: Rückstandsbildung von Flugmotorenölen.

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

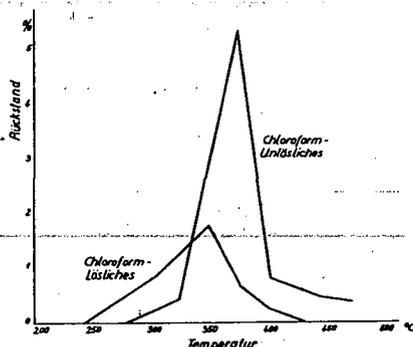


Abb.6: Verkokungsrückstände nach Damian in Abhängigkeit von der Temperatur.

~~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 V₂A-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

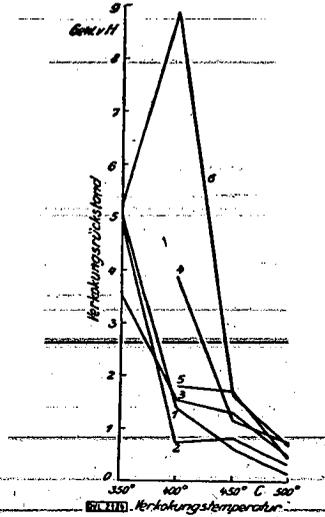


Abb. 7: Verkokung in Anwesenheit von Luft (DVL).

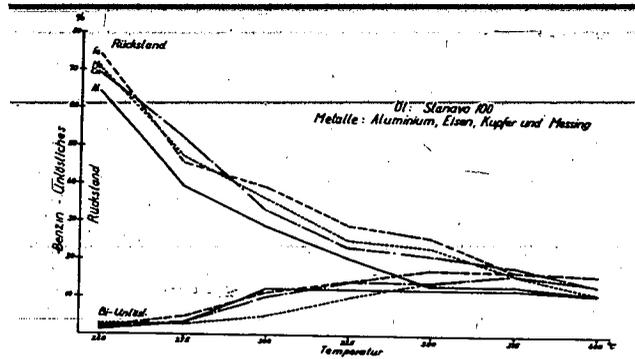


Abb. 8: Tropfverkokung (DVL-Schiene)

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)

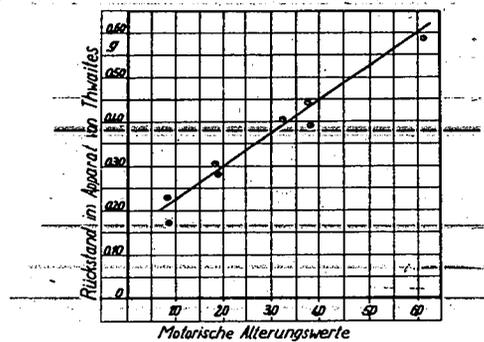


Abb.9: Beziehung zwischen Rückstandsbildung n. Thwaites und Alterung im CFR-Motor.

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 Verschlammsneigung 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 waren 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, G.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. Weiß 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. Weiß 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. PB 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. Ramaija und W.L. Waldman, Alterung von Schmierölen. Petrol.-Ind. (russ. Neftjancz 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.Bisinger 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) K.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 579 357 (ausg.3/8.1939)
- 53) J.Damian, Contribution au problème du graissage des moteurs à explosion et à combustion interne. La revue petrolifere (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 Prüfverfahren^{1) - 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 Oel eine andere Temperaturabhängigkeit hat. Leider lassen sich die meisten Werte nicht mit den Indiana-Werten vergleichen.

Durch Aenderung 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 Oele erhalten (Bild 4). Die Erdöl- und Asphaltharzmenge wird mit Ausnahme des Oeles 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 Oele wurde nach Noack vorgenommen und jeweils die Menge an Harz und Asphaltstoffen angegeben. Die Ergebnisse zeigen für die einzelnen Oele 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 Oelproben 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 Oel 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 Oelen 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 Oel 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 Oel 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 Oele 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 Oelen Nr. 1 und 2 eine starke Eindickung gegenüber dem Oel Nr. 5 auftritt (Zahlentafel 1). Da die Betriebsbedingungen für die einzelnen Oele vollkommen gleichgehalten wurden, und der Oelverbrauch nur unwesentlich verschieden war, ist vermutlich diese unterschiedliche Zähigkeitsänderung auf die chemische Zusammensetzung des Schmieröles zurückzuführen.

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

Das Oel Nr. 2 nahm in der Verkokungsneigung um 1,73 Einheiten zu, und das Oel 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 Aenderung 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 Schmierölalterung. 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 Aenderungen 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

~~000360~~

- 96 -

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
und R.F. Wilkin, Causes and effects of sludge formation in
motor oils. SAL-Journal, Bd. 34 (1934), S. 167, 181.
2. K.Noack, Angew.Chemie, Beiheft 28, (1937), S.4.
3. H.Richter, ZWB, F.S. Nr. 654.
4. D.Holde, Kohlenwasserstofföle und Fette, Berlin 1933, S.268.
5. F.Eyers 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.Suida, Oel und Kohle, Bd. 13 (1937), S.201.
9. E.K.Kedmer, Oel und Kohle, Bd. 14 (1938), S.152.

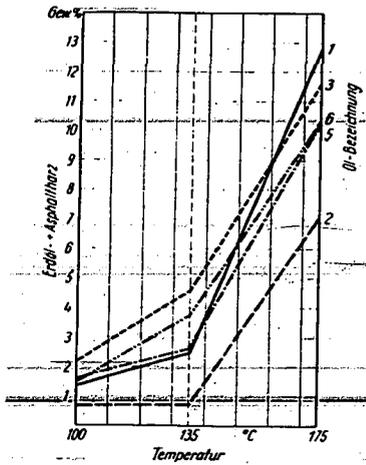


Abb.1: Gehalt an Erdöl- und Asphaltharz von Schmierölen im Indiana-Gerät in Abhängigkeit von der Alterungstemperatur.

Alterungszeit: 45 h
Luftdurchsatz: 10 Ltr/h

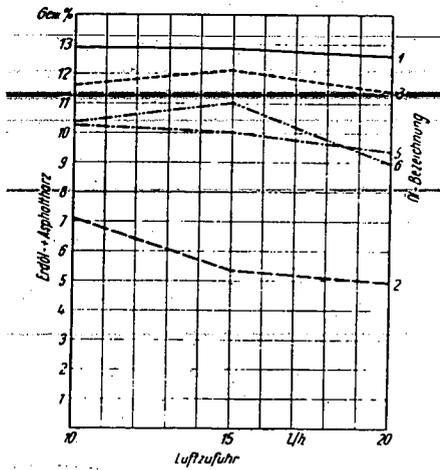


Abb.2: Gehalt an Erdöl- und Asphaltharz von Schmierölen im Indiana-Gerät in Abhängigkeit von der zugeführten Luftmenge.

Alterungszeit: 45 h
Temperatur: 175°C

000363

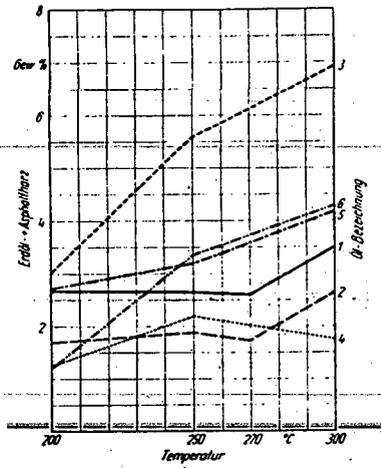


Abb.3: Harzbildung von Schmierölen im Noack-Gerät in Abhängigkeit von der Temperatur nach 1 h bei einem Unterdruck von 20 mm WS.

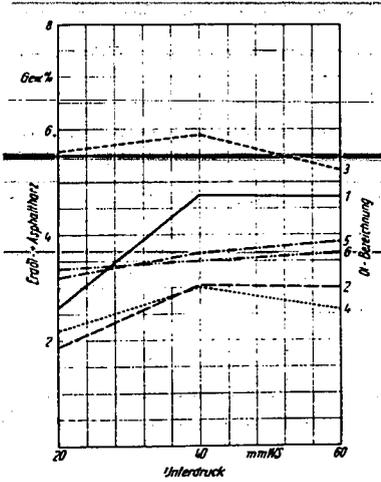


Abb.4: Erdöl- und Asphalt-harz von Schmierölen im Noack-Gerät in Abhängigkeit von der zugeführten Luftmenge nach 1 h bei einer Temperatur von 250°C.

000364

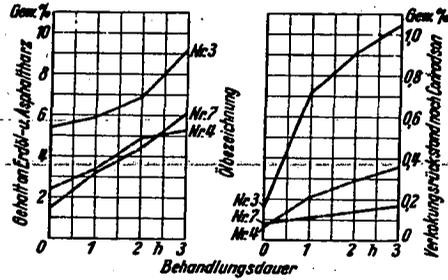


Abb. 5: Harzgehalt u. Verkokungsneigung von Schmierölen vor und nach der DVL-Alterung.

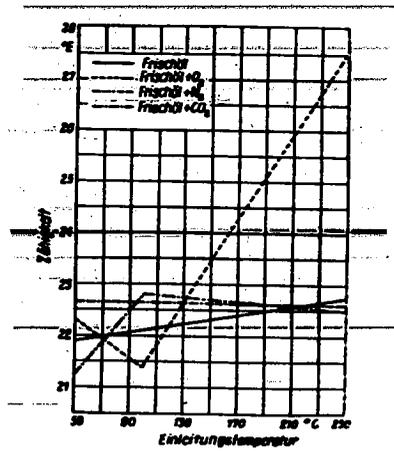


Abb. 6: Änderung der Zähigkeit von Rotringöl (Öl Nr. 4) bei verschiedenen Gasen und Einleitungstemperaturen.

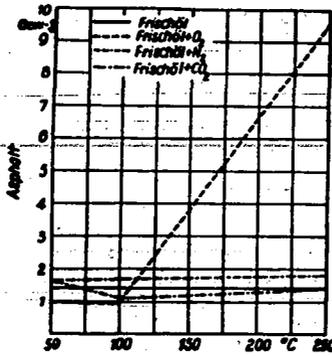


Abb.7: Erdöl- und Asphaltharzgehalt in Abhängigkeit von der Temperatur und der eingeleiteten Gase bei Rotringöl (Öl Nr.4).

	Frischöle			Im Motor gealterte Proben			Im Noack-Gerät gealterte Proben bei 250°C/1h/20mmWS			Im Noack-Gerät gealterte Proben bei 300°C/4h/60mmWS		
	Nr.1	Nr.2	Nr.5	Nr.1	Nr.2	Nr.5	Nr.1	Nr.2	Nr.5	Nr.1	Nr.2	Nr.5
Zähigkeit bei 50°C °E	23,08	23,08	11,84	34,4	35,02	33,74	24,1	24,30	12,25	48,3	43,8	60,3
Zähigkeit bei 100°C °E	3,8	3,3	2,13	4,38	4,77	2,52	3,48	3,33	2,28	5,6	4,9	4,7
Verkokungsneigung nach Conradson Gew. %	1,12	0,26	0,44	3,8	1,89	1,08	1,19	0,28	0,55	2,04	1,35	4,30
Aschengehalt 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	10,2	3,85	2,6	1,9	3,2	9,12	18,22	25,79
Verdampfungsverlust Gew. % bei 250°C/1h	—	—	—	3,1	1,8	2,1	2,4	1,3	6,2	28,69	24,37	63,69
Feste Fremdstoffe Gew. %	0,01	0	0	0,91	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. Saader, 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 schießen 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 Schwesternmaschinen 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 raffinierte, 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 Betriebsanweisungen¹⁾ 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.

<u>Turbine:</u>	<u>Betriebsstunden:</u>	<u>Nz</u>	<u>Vz</u>	<u>Vz : Nz</u>
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	3,70
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	2,34
IX A	28 509	0,51	1,72	3,37
XII A	57 181	0,63	1,98	3,14
Mittelwert:				3,10
				+0,60
				-0,76

Nz = Neutralisationszahl
Vz = Verseifungszahl

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	2,56
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	3,28

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.

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 wesentlich 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 Fehltritten 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.

Sie bei der Oxydation, so dürfte es auch bei der Ver-
raußung 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 Uebewegung, 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.Trann, Ruhrchemie A.G.,Holtten

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 extrahiert 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 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 Indianeoxydationstest beschrieben. Nach dem Indianatetest 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 Indiantest-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 könnte 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 filtrierte 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 adsorbier-
ten 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

000379

- 116 -

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 Einwägen 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 rechte 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 den 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.

000385

Tabelle II.

Öl-Nr.	Öl I		Öl I		Öl I		Öl II		Öl II		Öl II	
	Kryol. I ber.	Kryol. I gef.	Kryol. II ber.	Kryol. II gef.	Kryol. III ber.	Kryol. III gef.	Kryol. I ber.	Kryol. I gef.	Kryol. II ber.	Kryol. II gef.	Kryol. III ber.	Kryol. III gef.
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
3	0,09	0,07	0,072	0,066	0,35	0,38	0,225	0,21	0,084	0,097	0,615	0,716
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
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
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
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
240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,007	0,013

- 122 -

Ruhrohme HL 42/4/12.

Tabelle III

Fällungsmittel SK 65/70.

Öl Nr.	Öl I		Öl II	
	% Asphaltgehalt berechn.	% Asphaltgehalt gefund.	% Asphaltgehalt berechn.	% Asphaltgehalt gefund.
Einwaage g Öl auf 200 ccm SK 65/70				
1	0,108	0,119	0,576	5,10
3	0,036	0,043	0,192	4,20
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>

000387

Tabelle IV.

Öl Nr. Alterungszeit: Einwaage g Öl auf 200 ccm SK 65/70	Öl III	Öl V	Öl VI	Öl VII	Öl VIII
	200 Std. % Asph.	50 Std. % Asph.	50 Std. % Asph.	50 Std. % Asph.	50 Std. % Asph.
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 ccm Normalbenzin.	0,02	0,01	0,04	0,02	0,02

Ruhrchemie HL 42/4/12.

Öl Nr.	Öl VII	Öl VIII	Öl IX	Öl IX
Alterungszeit:	200 Std.	200 Std.	200 Std.	50 Std.
	% Asph.	% Asph.	% Asph.	% 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.

000389

- 126 -

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.

000390

Tabelle VIII.

Öl Nr.	Alterungszeit 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.

Ruhrchemie 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 Zylind-

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

Punkt 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 Schläuse 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 Zuluftableitung 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 Richttemperaturmessstelle 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 Ölmenge 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 zerreißt 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 (Nichttemperaturen) werden ja während des Laufes stets gleichgehalten - ein Teil dieser Aufheizung wieder zunichte gemacht. Dass diese erhöhte Kühlung den Einfluss der durch-

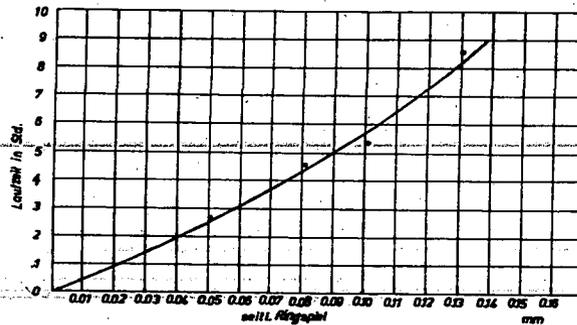
blasenden Gase zum großen Teil ausschaltet, wird dadurch bestätigt, dass bei hohem Gasdurchtritt die Laufzeit nur wenig beeinflusst wird. Allerdings ist die Reproduzierbarkeit derartiger Läufe bei weitem nicht so gut wie bei geringem Gasdurchblasen.

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 großer 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:

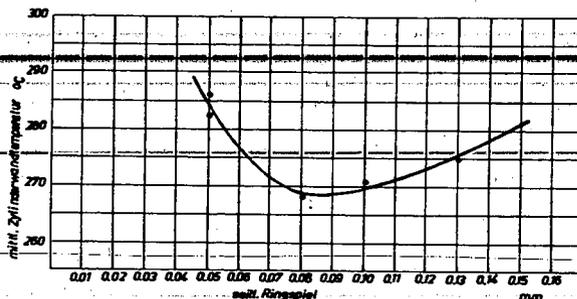
a) Je größer das seitliche Spiel ist, desto größer ist der Raum, der von den Rückständen bis zum Stecken ausgefüllt werden muss und umso länger werden die Laufzeiten. Bei gleicher Temperatur in der Ringpartie müßte daher die Laufzeit linear mit dem seitlichen Spiel steigen. Dies konnte mit Hilfe des 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 Laufzeit dem seitl. Ringspiel
nahezu proportional.

Abb. 1: Abhängigkeit der Laufzeit bis zum Ringstecker 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 Ölabbstreifwirkung ausserordentlich beeinflussen kann. Ebenso wird der Zustand und damit die Wirkung der Ölabbstreifringe 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 Ringsteckläufen 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 Wärmeinflusses 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 diente das Kolbentemperaturmessverfahren, über das vor einigen Jahren in den USA von Keyser und Miller ¹⁾ 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

¹⁾ 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 Thermolement 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-

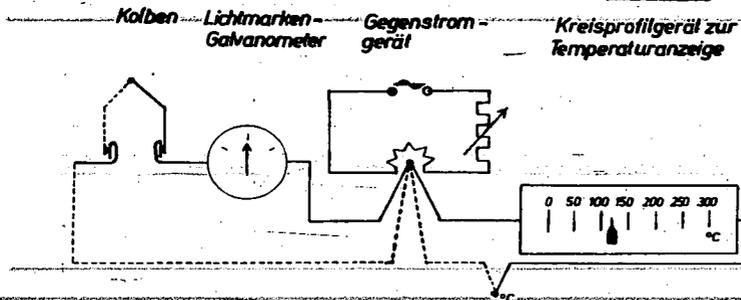


Abb.3: Schema für die Kolbentemperatur-Meßanlage.

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 Elementmaterial genau geeicht~~ war, hat sich hierbei besonders gut bewährt.

Um irgendwelche Fehler und Unsicherheiten nach Möglichkeit zu vermeiden, sind Anzeige- und Gegenthermoelement 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)

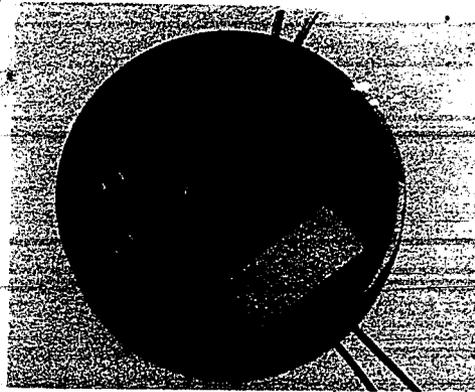


Abb.4: Heizkörper zur Erzeugung des Gegenstromes
(Ansicht von oben)



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 Anzeiginstrument kurzgeschlossen, so daß es beim

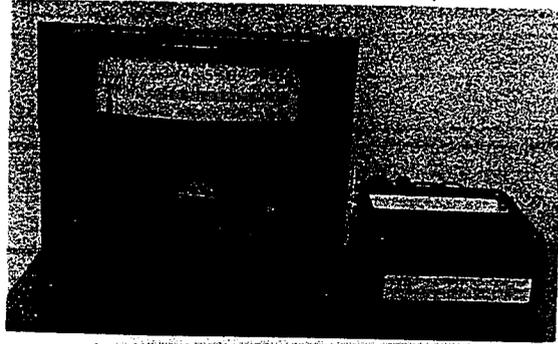


Abb. 6: Kolbentemperaturmeßanlage (Vorderansicht)

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.

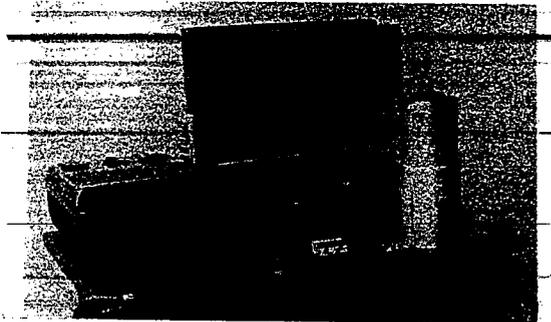


Abb. 7: Kolbentemperaturmeßanlage (Rückansicht)

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 ersehen. 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 ausgewechselt 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 zerkackter 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



Abb. 8: Einbau der Thermodrähte im NSU-Motor

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.

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.

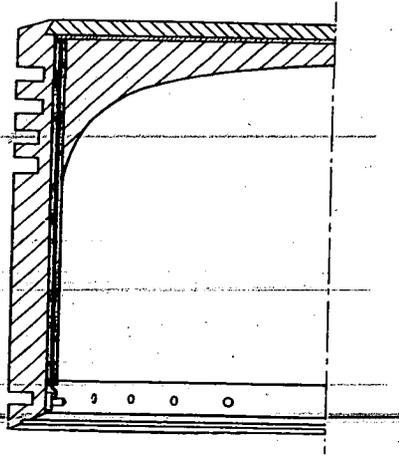
Es wurde deshalb dazu übergegangen, die Drähte im Innern des Kolbens anzubringen. Der Kolbenboden wurde von der Nut aus und das Kolbenhemd vom Boden aus mit entsprechenden 3 mm starken Bohrungen versehen, in die dann der in dünnem Asbestschlauch (neuerdings wird als Ersatz hierfür Glasgewebeschlauch 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

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

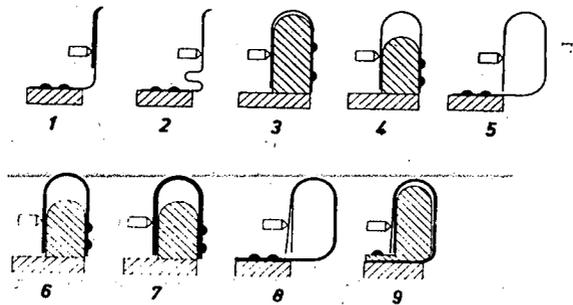


Abb. 10: Ausführung der Gegenkontaktfedern und 9 brachten einen wirklich zufriedenstellenden Erfolg. Da die Federn im Kurbelgehäuse ständig von Öl benetzt sind, konnte durch die doppelte Lage und die Spreizung am unteren Ende eine Dämpfung durch das Öl erreicht werden. Am BMW 132 sorgte ein hinter der 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-

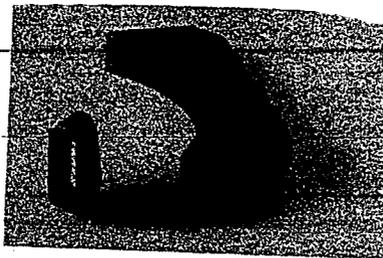


Abb. 11: Gegenkontaktfeder für NSU-Motor

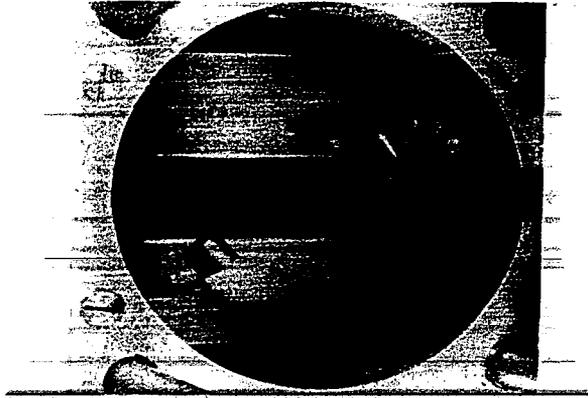


Abb. 12: Einbau der Gegenkontaktfedern am NSU-Motor
verständlich ist die Ausführung am DKW- und BMW 132-Motor wie-
der etwas anders, je nach der Bauart des Motors, die Gestalt
der Feder entspricht aber der eben erwähnten Form.

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.

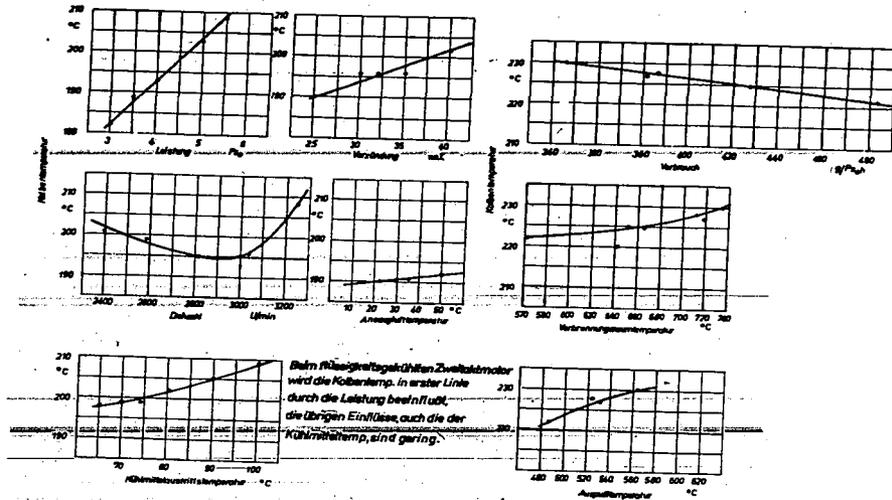


Abb. 13: Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim DKW-Motor

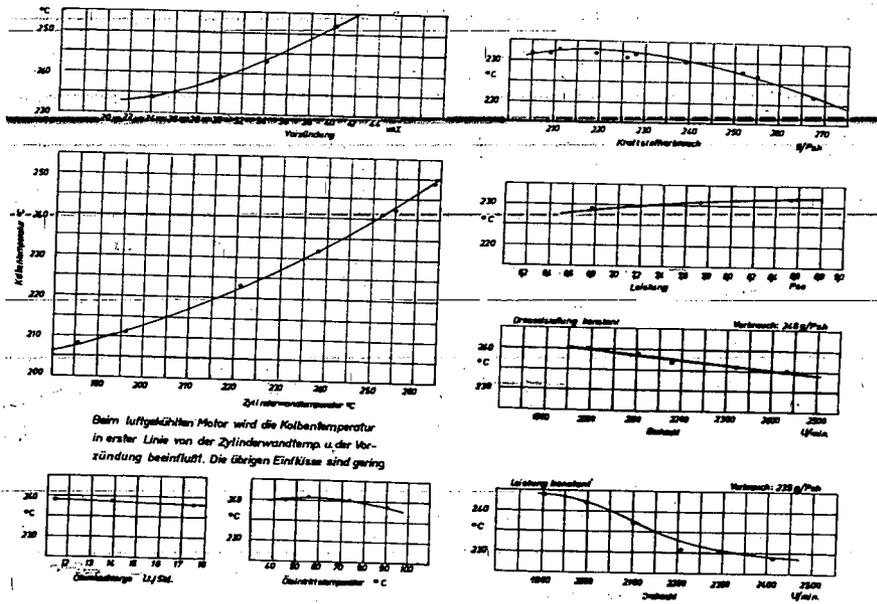


Abb. 14: Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim DKW-Motor

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 be-
rührt.

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

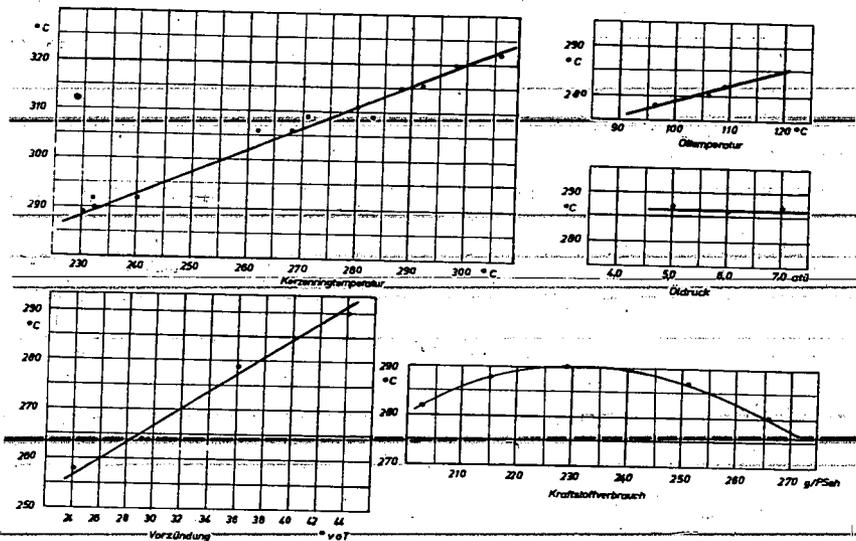


Abb.15: Einfluß verschiedener Betriebsbedingungen auf die Kolbentemperatur beim BMW 132-Ölprüfmotor
den. erstaunlich ist hier der geringe Einfluß des Öldruckes; es kann allerdings angenommen werden, daß die Pleuellagerspiele selbst einen viel größeren Einfluß haben, während der Öldruck die abgeschleuderten 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-

gestemmt 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 Überladeverhaltens 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
 - a) 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 bezw. 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) Ölumlaufl im Stern bezw. 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 ~~Tests~~ 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:

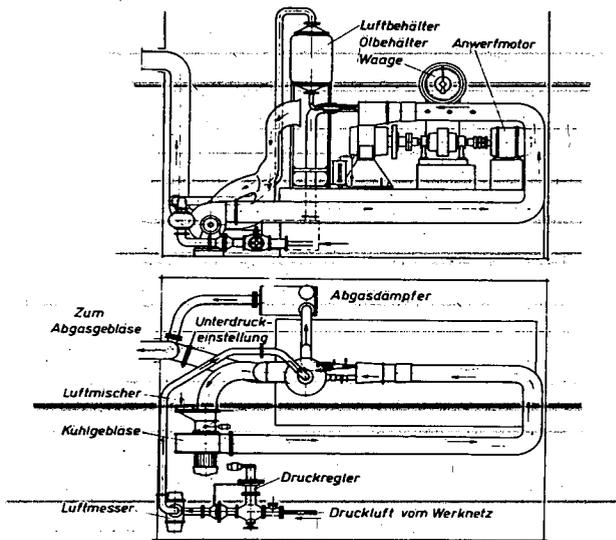


Abb. 1: Aufbau des BMW 132-Überlade- u. Schmierstoff-Motors

Der Motor mit Bremse und den Zusatzeinrichtungen befindet sich in einem schalldichten Raum, während die Bedienanlage durch Beobachtungsfenster von diesem getrennt in einem für mehrere Prüffelder gemeinsamen Bedienungsgang aufgestellt ist. Die Leistungsmessung erfolgt in üblicher Weise durch eine Wasserbremse mit Schnellwaage, sowie elektromagnetischem Stichdrehzähler. 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° 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 $0,1^{\circ}$ genau geeicht und gestatten in Verbindung mit den verwendeten Instrumenten eine Regelung auf $\pm 0,5^{\circ}$ 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 verastete Messstelle geeigneter erscheinen, zumal Ausfälle der letztgenannten bezw. 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 Prüfläufe, 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 fährt, eine weitgehende Lärm- und Geruchs-beseitigung 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

Aussicht 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 Laubbühse eine geringe Formänderung erleidet und dann das endgültige Durchblasen zulässt. Diese Anschauung wird unterstützt durch die Tatsache, dass die Er-

000420

- 158 -

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 aussert. 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 Neglassen einzelner Kolbenringe dar. Versuche mit derartigen Anordnungen hatten folgende Ergebnisse:

Lässt man nur den ersten Ring und den Ölabbstreifer 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 Stossücke 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.

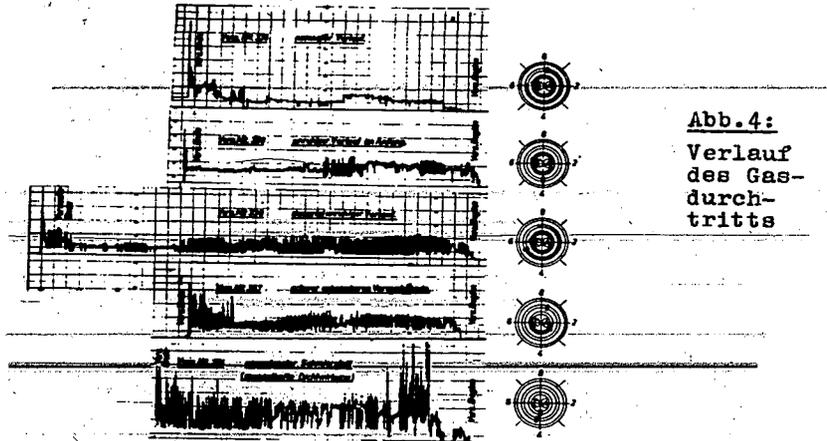


Abb. 4:
Verlauf
des Gas-
durch-
tritts

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 Ölumlaufrmenge von 8 bis 10 kg. Diese Möglichkeit besteht umso mehr, als durch die Entwicklung synthetischer Schmierstoffe die Wirksamkeit aromöphatisch kleiner Mengen sogenannter Inhibitoren auf die Laufzeit bekannt ist. Auch in diesem Fall lässt sich jedoch kein Zusammenhang erkennen.

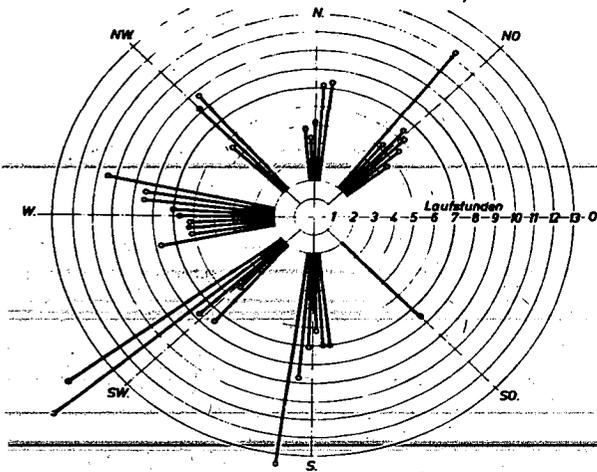


Abb.5:
Eichöl-
Laufzeit
u. Wind-
richtung

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

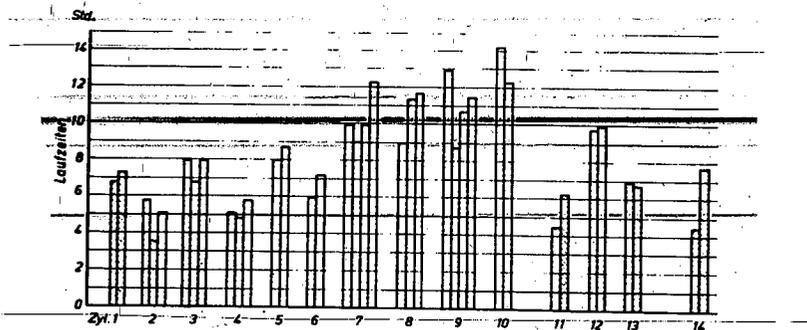


Abb.6: Laufzeiten von Rotring-Eichöl auf verschiedenen Zylindern
Man erkennt daraus, dass bei verschiedenen

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

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.

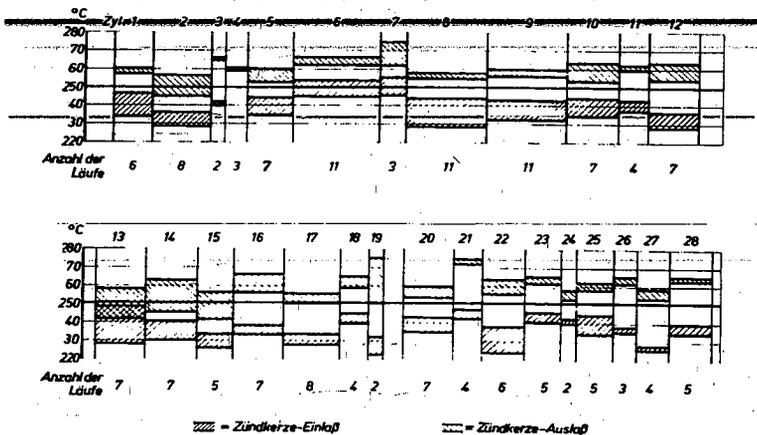


Abb. 7: Kerzenringtemperatur bei verschiedenen Zylindern (Scheiteltemp.gleichbleibend 250°C)

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 weit 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.

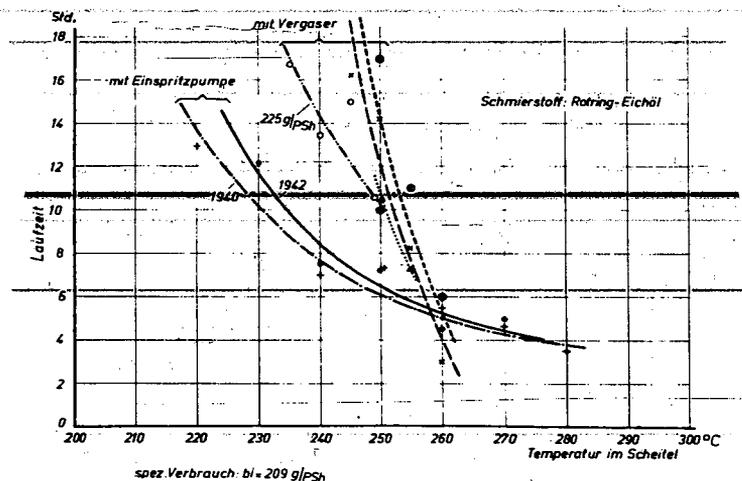


Abb. 8: Laufzeit u. Temperatur bei Einspritzpumpen- und Vergaserbetrieb.

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 N-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 anschliessen 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 N-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 Rückstandsbildung 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 Ausbauberufung 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 verhältig 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 Gebrauchtöle. Es können zwar aus der Viskositätsänderung Rückschlüsse auf die im Motorbetrieb zu erwartende Ölverdickung 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 Schmierstoffes 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 Rückstands-bildung 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 Schlamm-bildung gewisser Öle ein Umstand, der in seinen Ursachen noch wenig erforscht ist. Eine Untersuchung in grösserem Umfange scheidet 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 Verschlammungsneigung 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:

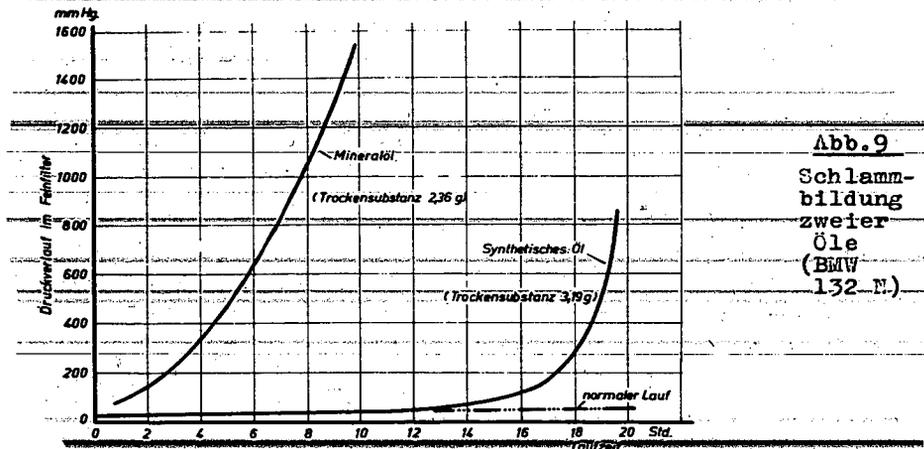


Abb. 9
Schlamm-
bildung
zweier
Öle
(BMW
132 N.)

Der Schlamm wird bei dieser Versuchsanordnung der Einfachheit halber nicht durch eine Zentrifuge, sondern durch ein Feinfilter 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 in 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 Ölkonle herrschenden Temperaturzustand geben können, die Messung der wirklichen Ringmitttemperatur 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 Ölkonle 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 Kurbelzapfen und Pleuellager bzw. Pleuellager und Kurbelwangen 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 Klopfwertbestimmung.

Der allgemeine Aufbau des Motors dürfte bekannt sein. In folgendem Bild (1) seien zwei Schnittzeichnungen durch den Motor gezeigt. Er arbeitet im 4-Fakt, 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 Anlassventil, 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 Schmier-system 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

s 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 eine 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 schmirt. 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 Ölsufuhr bisher rund 200 Stunden ohne Beanstandung im Betrieb war.

Vom Schliersystem 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 Prüflaufes 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 niedrigeren 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 ($= 300 \text{ ccm/h}$). 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 aufgezeichnet. 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 nochmaligen 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 ab 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 s_2 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 P 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 Gütersihenfolge 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.

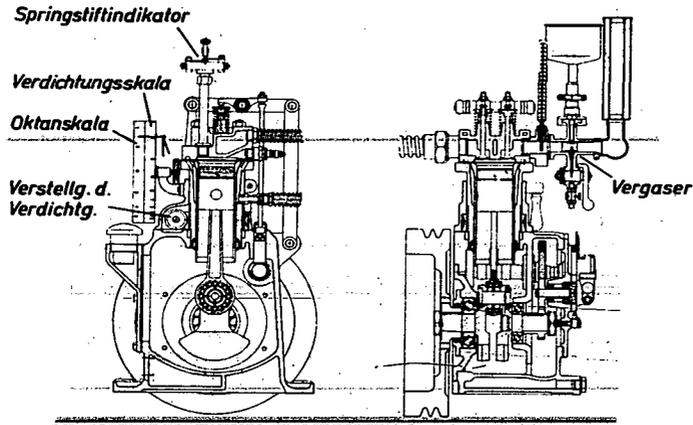


Abb.1: - Schnitte durch den I.G.-Prüfmotor.

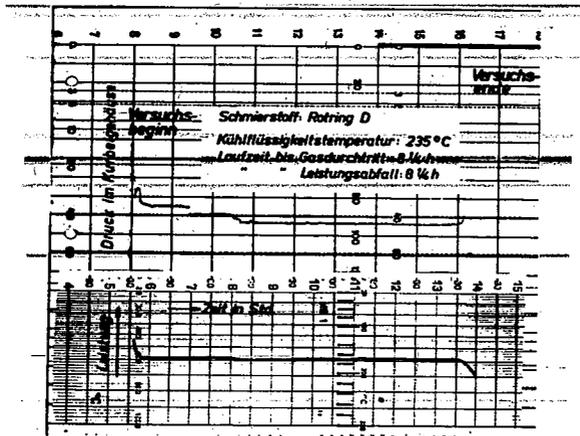


Abb.2: Leistung und Kurbelgehäusedruck während eines Prüflaufes.

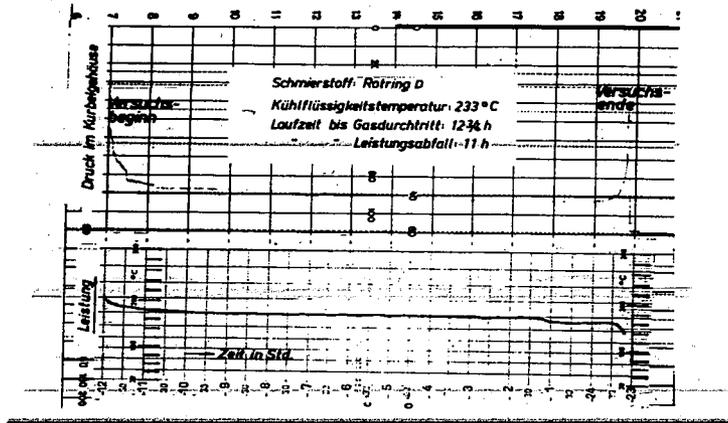


Abb.3: Leistung und Kurbelgehäusedruck während eines Prüflaufes.

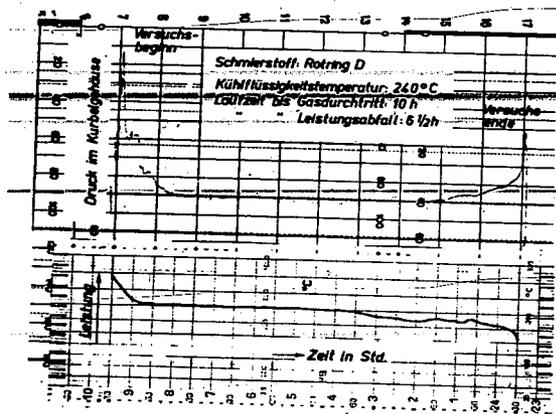


Abb.4: Leistung und Kurbelgehäusedruck während eines Prüflaufes.

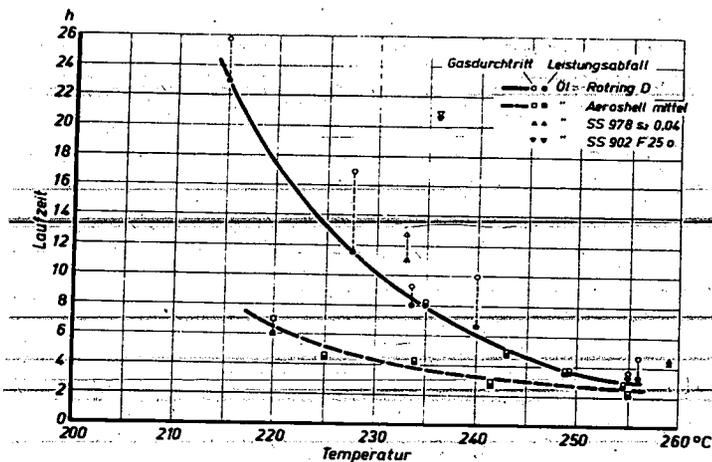


Abb. 5: Laufzeiten von Prüfläufen in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur.

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 BEW-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 ausschließlicher 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 Gewingegänge 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 Ölblestreifring 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.

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 RGH 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, verzichten 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.

000450

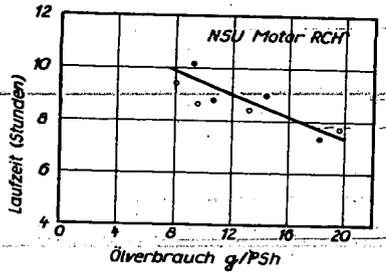


Abb.1: Laufzeit in Abhängigkeit vom Ölverbrauch

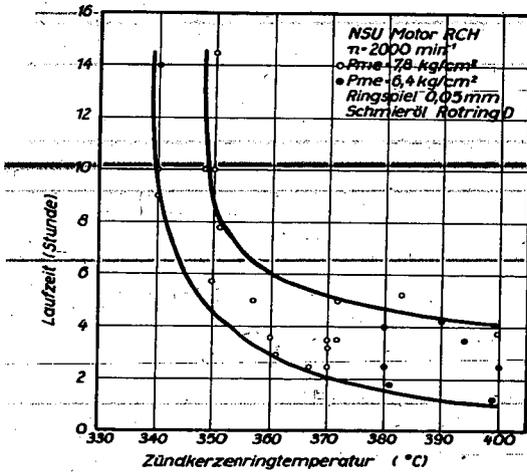


Abb.2: Laufzeiten bei verschiedenen Temperaturen

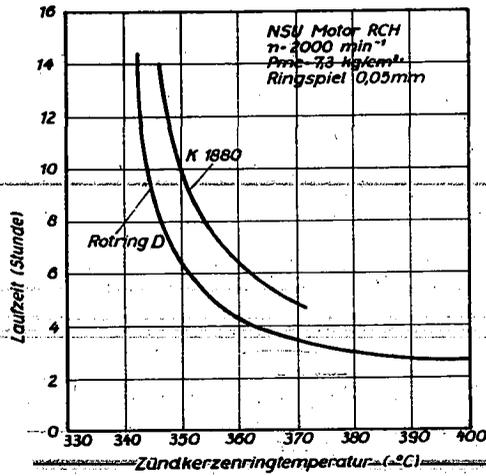


Abb. 3: Laufzeit-Temperaturkurven

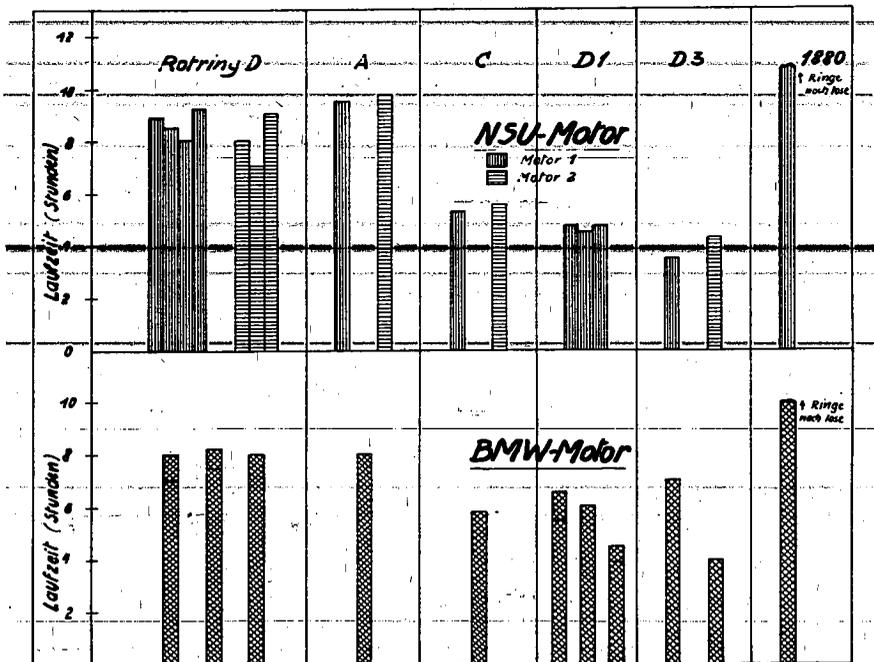


Abb. 4: Laufzeiten einiger Öle im NSU- und BMW-Motor.

Die Prüfung von Flugmotorenölen im DK#-Motor.

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

I. Anlaß zur Entwicklung eines neuen Prüfverfahrens.

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

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

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

II. Das Prüfverfahren.A. Der Motor.

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

B. Versuchsbedingungen.

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

Eine weitere wesentliche Änderung betraf die Spiele der Kolbenringe. Diese haben im normalen Motor einen Spielraum von 0,02 bis 0,03 mm. Bei so geringen Spielen wird zwar das Verkleben der Ringe unter Umständen stark beschleunigt, die Ergebnisse sind jedoch infolge der vielen Zufälligkeiten, die zum Ringfestsitzen führen können, sehr wenig wiederholbar. Ein einwandfreies Urteil über die Rückstandsbildung eines Oles, 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 Dekompressionshahnes gegenüber der Zündkerze erhielt der Zylinderkopf ein Thermolement nach Art der DVL-Meßkerze. Kühlmittellein- und -austrittstemperaturen wurden durch Quecksilberthermometer, die Temperatur im Kerzenring in üblicher Weise durch ein in den Kupfering eingeni-ertes Thermolement aus 1 mm starkem Eisen- und Konstantandraht gemessen. Die erzeugte Leistung wurde in einer Wasserwirbelbremse vernichtet (Abb.1).

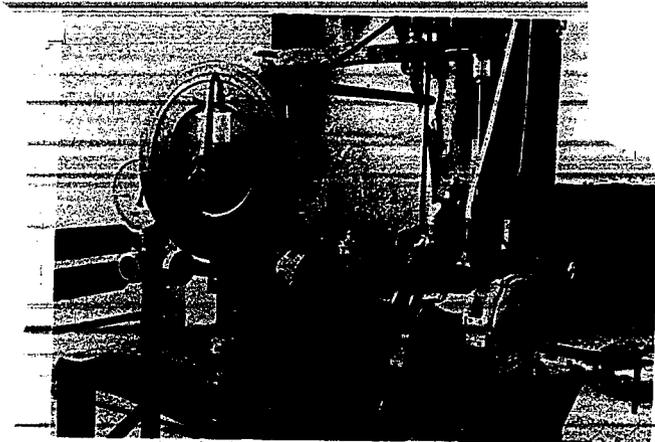


Abb.1: DKW-Prüfstand

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 Schmelzstiften 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-

000457

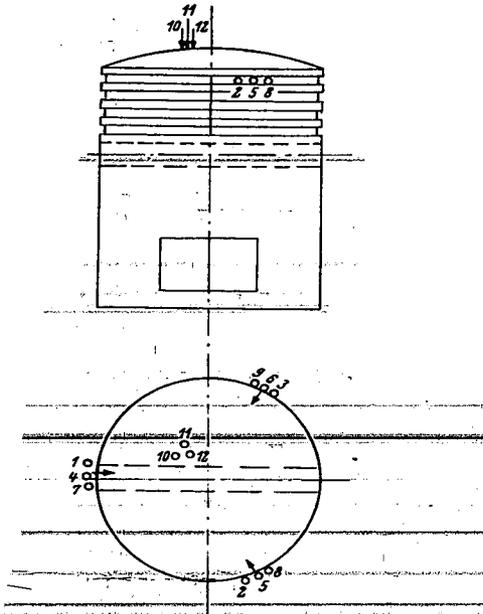


Abb.2: Anordnung der Schmelzsifte am DKd-Motor.

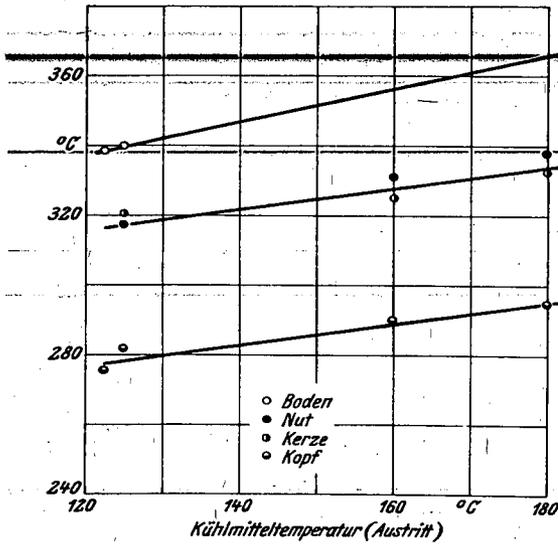


Abb.3: Kolben und Zylinder-temperaturen in Abhängigkeit von der Kühlmitteltemperatur.

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

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

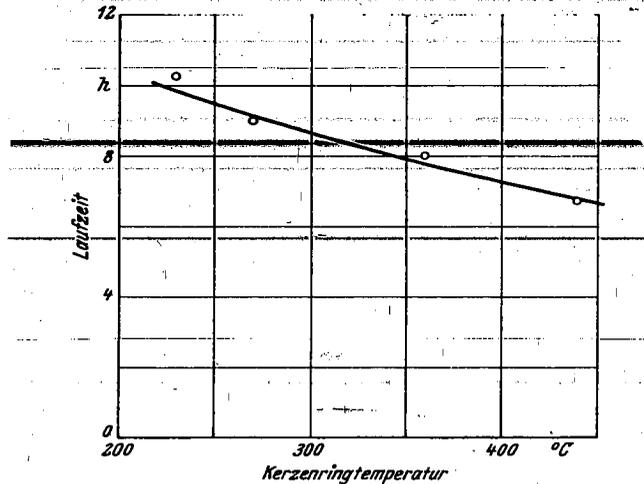


Abb.4: Laufzeit in Abhängigkeit von der Kerzenringtemperatur

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

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

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

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

B. Sonstige Prüfbedingungen.

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

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

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

Kühlmittelein- und austrittstemperaturen wurden entsprechend der Temperatur im Kerzenring geregelt.

Der Motor wurde solange gefahren, bis ein merklicher Leistungsabfall - etwa 0,5 PS - auftrat.

Unter diesen Bedingungen wurden die in der Zehlentafel 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. Zehlentafel 2 und Abbildung 5).

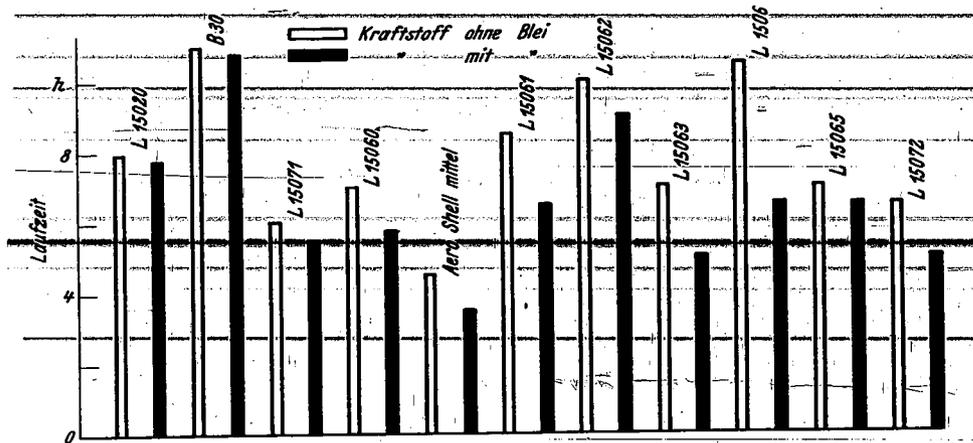


Abb. 5: Kraftstoffeinfluß auf die Laufzeit.

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 hätte. 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, die 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.

000462

	Zahlen tafel 1									
	Zusammenstellung der im D.K.-Motor geprüften Öle.									
	L 15020	B 30004	B 30010	B 30033 ⁺⁾	Aero Shell	Z 21007	L 15060	L 15071	L 15087	
				mittel schwer						
Spez. Gew. 20	0,882	0,893	0,894	0,869	0,915	0,905	0,878	0,894	0,894	0,880
Visk. E 20	111	120	115	113	140	160	108	58,6	52,9	151
E 50	17,1	17,4	17,4	17,7	17,1	24,0	17,2	10,1	11,0	18,5
E 100	2,82	2,78	2,83	2,95	2,61	3,40	2,91	2,09	2,18	3,02
E 150	1,54	1,50	1,51	1,55	ca. 1,6	1,6	1,54			1,56
Visk. Polhöhe	1,85	1,94	1,86	1,77	2,2	1,87	1,76	1,98	1,95	1,84
Visk. Index	99	94	98	103	78	98	104	91	93	103
Neutr. Zahl	unter 0,1	unter 0,1	unter 0,1	unter 0,1	0,11	0,11	0,03	unter 0,1	unter 0,1	0,03
Vers. Zahl	0,08	0,08	0,11	0,11	9,1	-	0,14	0,37	0,11	0,22

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

000463

- 202 -

Zahlentafel 2

Versuche über den Einfluß des Bleizusatzes zum Kraftstoff.

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

Zahlentafel 3

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

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

Versuche über die Schlammbildung im NSU-Motor.

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

Nachdem für das Kolbenringstecken heute befriedigende Bewertungsmöglichkeiten der Öle entwickelt sind, ist auf Grund unangenehmer Erfahrungen an Flugmotoren neuerdings die Aufgabe gestellt, die Verschlammungsneigung der Öle im Motor zu beurteilen. Da dies bis jetzt laboratoriumsmäßige Analysenzahlen nicht gestatten, ist man auf eine motorische Prüfung angewiesen. Diese erfolgt bislang in kostspieligen Vollmotorenläufen, die überdies nur schwer reproduzierbare Ergebnisse lieferten.

Bei der Ölprüfung auf Ringstecken im NSU-Motor der Ruhrchemie - über die ich berichtet habe - gab es auch Störungen durch Schlammbildung. Es ist mehrfach Kolbenfressen aufgetreten, weil, wie sich nachher herausstellte, die Ölbohrung im Kurbelzapfen mit einer ziemlich festen, pastenartigen Masse, die sich aus dem Öl abgesetzt hatte, verstopft war. Wir haben daraufhin Maßnahmen ergriffen, um diese Schlammablagerung an eine für den Motor weniger gefährliche Stelle zu bringen, gleichzeitig mit der Absicht, diesen Schlamm mengenmäßig und analytisch erfassen zu können. (Abb. 1 s.f. Seite)

Versuchseinrichtung

Wir haben, wie in Abb. 1 dargestellt ist, das dem Kurbelzapfen zufließende Öl zu einem Umweg innerhalb der Kurbelwange gezwungen. Es wird durch eine zusätzliche Bohrung in einen an äußeren Umfang der scheibenförmigen Kurbelwange eingebohrten Hohlraum geschleudert, der durch ein eingeschraubtes Nippchen nach außen abgeschlossen ist. Dort wird es um 180° umgelenkt und fließt durch eine zweite Bohrung dem Kurbelzapfen zu. Durch die Zentrifugalkraft werden die im Öl mitgeführten schwereren Teilchen am Boden des

Näpfchens abgesetzt. Die geschilderte Änderung der Ölführung bewirkt, daß sich, wie beabsichtigt war, im Pleuellzapfen kein Schlamm mehr absetzt.

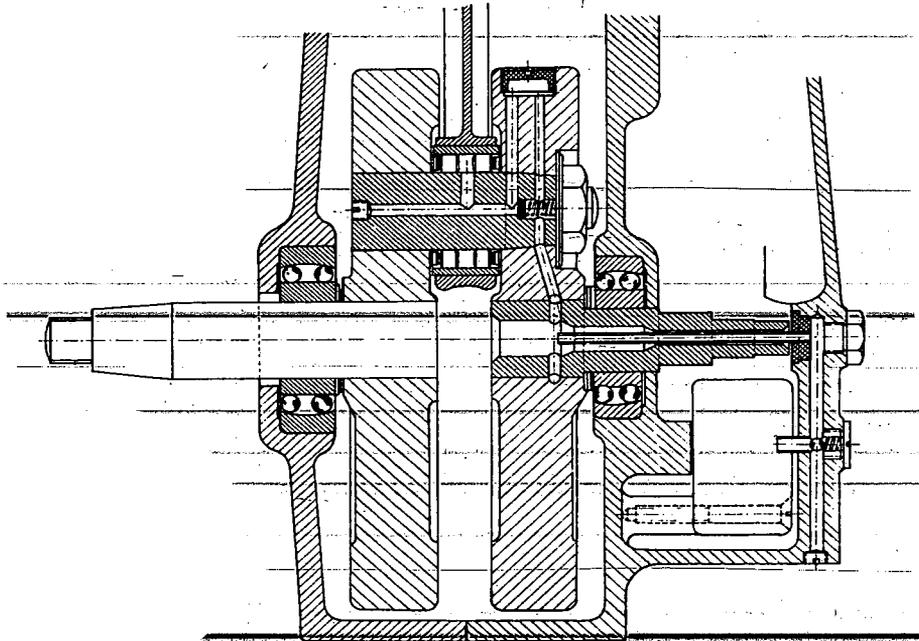


Abb. 1: Ölführung für Verschlammungsversuche im NSU-Motor.

Durchführung der Verschlammungsversuche.

Zur Beurteilung der Öle hinsichtlich der Schlamm-
bildung führten wir nun unter ähnlichen Bedingungen wie bei
der Prüfung auf Ringstecken besondere Versuchsläufe durch.
Wir haben dabei lediglich die Zündkerzensitztemperatur etwa
30° niedriger eingestellt und die Versuchsdauer auf 10 Stun-
den festgelegt. Durch die herabgesetzte Temperatur sollte
vermieden werden, daß die Pleuellringe festgehen und da-
durch die Ergebnisse beeinflusst werden. Andererseits woll-
ten wir das Temperaturniveau so hoch wie möglich halten,

weil dadurch die Schlamm-Bildung vermutlich beschleunigt wird. Nach unseren bisherigen Erfahrungen können allerdings bei Ölen, die leicht zum Ringstecken führen, unter den gewählten Bedingungen die Kolbenringe noch festgehen, sodaß wir vielleicht die Versuchstemperatur noch weiter herabsetzen werden.

Nach 10 Stunden haben sich im allgemeinen einige 100 mg Schlamm abgesetzt, die zu einer Analyse ausreichend sind. Das oben beschriebene Näpfchen kann leicht ein- und ausgebaut werden. Es wird für jeden Versuch natürlich frisch gereinigt. Nach der Auswägung der Schlammproben erfolgt dann im Laboratorium eine Ermittlung der Anteile an Brennbarem - wobei das benzollösliche Öl gesondert erfasst wird - Eisen, SiO_2 und sonstigen anorganischen Stoffen.

Außer der Schlammprobe werden von jedem Lauf zwei Umlaufölproben untersucht, um die Alterung der Öle zu verfolgen. Außerdem bestimmen wir den Gewichtsverlust der Kolbenringe, um diesen als Maß für den Abrieb zu benutzen.

Versuchsergebnisse.

Bis jetzt wurden etwa 20 Verschlammungsversuche durchgeführt, die zum Teil noch als Vorversuche zu gelten haben, und bei denen die Versuchsbedingungen nicht ganz gleich gewesen sind. Insbesondere mußten wir bei diesen Versuchen mehrfach den Kraftstoff wechseln, was zu auffallenden Folgen geführt hat. Darauf will ich nachher noch zu sprechen kommen. Die mit einigen Ölen erzielten Werte sind in der Zahlent. 1 (s.f. Seite) aufgetragen.

Nach Rotring D haben wir Versuche mit dem synth. Versuchsöl der Ruhrchemie, 1880/5, dem gefetteten Flugöl ASM/D3 und mit einem Motorenöl der Wehrmacht durchgeführt. Man sieht, daß in bezug auf die Schlammmenge gewisse, wenn auch zunächst nur grobe Unterschiede zwischen verschiedenen Ölen erkennbar sind. So ist bei dem gefetteten Flugöl ASM/D3 die abgesetzte Schlammmenge offenbar geringer als

bei Rotring D. Auch das synth. Motorenöl der Wehrmacht und das Öl 1880 erscheinen günstiger als Rotring. Es bleibt natürlich noch zu klären, ob die hier gefundene Bewertung ungefähr mit den Erfahrungen der Vollmotoren übereinstimmt oder ob, um dies zu erreichen, die Versuchsbedingungen noch geändert werden.

Nr.	Öl	Kraftstoff	Lagerdauer	Kolbenringe fest	Über-Abrieb	Ringe	Gesamt	Schlamm (mg)			Walterung nach 10 Stunden			
								Öl	Wasser	Asche	Wasser	Zunahme von	Wasser	Asche
175	Rotring	A	10	nein	4,7	6	437	287	12	6,2	—	—	—	—
176	"	A	"	"	7,7	22	452	333	44	6,3	3,8	2,4	1,6	0,13
176	"	B	"	"	5,7	18,5	379	288	51	41	2,4	10,4	0,65	0,03
176	"	B	"	"	0,5	16,4								
177	"	C	"	etwas	5,7	88	491	179	121	197	0,8	18,4	1,1	0,11
181	"	D	6 ^{te}	"	4,9	73	459	387	57	19	6,0	18,0	1,1	0,06
181	1882	A	10	nein	13,7	22,8	339	300	47	22	3	4,8	0,7	0,05
180	Motorenöl der Wehrmacht	B	"	"	16	32	349	279	39	31	4	5,2	0,65	0,04
180	"	B ^{ex}	"	"	18	12	247	212	16	19	4,2	6,4	0,90	0,01
180	"	B	"	"	15	10,3	216	182	16	18	2,6	4,0	0,5	0,07
177	"	D3	8 ^{te}	total	12,2	65	275	198	27	35	4,6	12	1,5	0,12
178	"	A	10	nein	6,8	5,4	249	146	45	34	4,6	11	1,2	0,10
182	"	B	"	"	8	10	318	283	12	23	2,0	3,4	0,6	0,03
182	"	E	6 ^{te}	etwas	9,7	132	534	178	109	225	5,0	13	1,7	0,15
183	1880	B	10	nein	15	14	290	257	16	17	1,4	10	0,6	0,01
184	"	B	"	"	9,6	11,2	449	123	11	15	2,0	3,4	0,4	0,05
180	"	0	"	"	4,4	92	433	159	110	175	4,0	20,4	0,8	0,07
181	"	0	"	"	4,4	86	445	161	110	179	3,6	16,0	0,9	0,10

0 = große Durchmischung, alter Kolben
 ex = neuer Kolben eingesetzt.

Zahlent. 1: Verschlammungsversuche im 150-Motor

Die Zusammensetzung des Schlammes ist im allgemeinen verhältnismäßig einheitlich. Er besteht im wesentlichen aus Brennbarem, davon ist der weitaus größte Teil benzollösliches Öl, während die Anteile an Eisen, SiO₂ und sonstigen anorganischen Bestandteilen meistens unter 10% liegen. Von den übrigen weichen die Ergebnisse der Versuche Nr. 179 mit Rotring, 180 und 181 mit 1880 und 182 mit ASM/D 3 deutlich ab. Hier ist der Anteil des Eisens und sonstiger anorganischer Stoffe höher als normal. Gleichzeitig ist der Abrieb an den Kolbenringen beträchtlich höher. Dieses auffallende Ergebnis ist offenbar damit in Verbindung zu bringen, daß für diese Versuche ein anderer Kraftstoff als sonst verwendet werden mußte.

Auf die Menge und Zusammensetzung des Schlammes hat auch der Ölverbrauch, zumindest, wenn man mit einer verhältnismäßig kleinen Umlaufölmenge arbeitet, einen gewissen Einfluß. Dies ist verständlich, weil bei hohem Ölverbrauch das Öl in der Zeiteinheit öfter umläuft, dadurch stärker beansprucht wird und mehr Schlamm und Alterungsprodukte absetzt.

Bei dem beschriebenen Versuchsverfahren verläuft auch die Alterung des Umlauföles verhältnismäßig gut reproduzierbar, und es lassen sich Aussagen über das Verhalten der Öle zumindest für die vorliegenden Betriebsbedingungen machen. Die nach 10 Stunden erhaltenen Änderungen der Alterungswerte sind in der Zahlentafel 2, in welcher auch noch einmal die Gesamtschlammmenge und der Kolbenringabrieb angegeben sind, für die gleichen Versuche aufgeführt. Man sieht hier zum Beispiel, daß das synthetische Öl 1880/5 eine eindeutig geringere Zunahme der Viskosität und auch des Conradsontestes zeigt als z.B. Rotring D, während das gefettete Flugöl ASA/D 3 in bezug auf die Viskositätszunahme zwischen beiden liegt. Die Werte des Conradsontestes dagegen erscheinen hier am höchsten.

Kraftstoff	Kolbenringabrieb (mg/100 St.)			Gesamtschlamm (mg)			Eisen im Schlamm (mg)		
	A	B	C/D/E	A	B	C/D/E	A	B	C/D/E
Eichöl	17	17,5	80	195	373	475	33	30	183
1892	23	18	—	340	270	—	17	84	—
D3	60 ¹⁰⁾	10	132 ¹⁰⁾	268	318	839 ¹⁰⁾	36	12	103
1880	—	13	80	—	280	439	—	14	110

¹⁰⁾ Kolbenringe teilweise fest, Laufzeit deshalb verkürzt

Kraftstoff	Ölalterung nach 10 Stunden						Zunahme von		
	Viskosität (50°C)			Harz und Asphalt			Conradsontest		
	A	B	C/D/E	A	B	C/D/E	A	B	C/D/E
Eichöl	3,8	2,6	6,4	20,4	10,4	18,2	1,6	0,65	1,1
1892	3	3,6	—	4,8	5,2	—	0,7	0,38	—
D3	4,6	2,0	5,0	11,5	3,4	13	1,35	0,6	1,7
1880	—	1,7	3,8	—	10,7	18	—	0,5	0,8

Zahlent.2: Verschlammung, Abrieb und Alterung im NSU-Motor

000470

- 210 -

Die Zunahme des Conradsontestes scheint zumindest bei den 3 Ölen 1880/5, Rotring D und ASM/D3 in einem gewissen Zusammenhang mit der Laufzeit bis zum Ringstecken zu stehen, wie aus Zahlent. 2 hervorgeht. Die Werte für den Harz- und Asphaltgehalt (Bleicherdenmethode) deuten auf einen gewissen Zusammenhang mit der ausgeschleuderten Schlammmenge hin.

Die Ergebnisse hinsichtlich des Abriebes erscheinen bis jetzt noch nicht so klar. Sie sind aber immerhin viel einheitlicher als die bei den Ringsteckversuchen ermittelten Werte. Hier zeigt sich zunächst, wie schon angeführt, ein beachtlicher Einfluß des Kraftstoffes, dem wir in der nächsten Zeit weiter nachgehen wollen. Wir glauben, daß bei weiteren Verfolgen des eingeschlagenen Weges wir auch hinsichtlich des Abriebes zu einer gewissen, wenn auch nur rohen, aber immerhin brauchbaren Bewertung der Öle im MSU-Motor kommen können. In übrigen dürfte auch zwischen dem Abrieb und dem gebildeten Schlamm ein gewisser Zusammenhang bestehen, was wohl mit der katalytischen Wirkung der feinen Eisenteilchen erklärt werden kann. Das Ausschleudern des Schlammes in der beschriebenen Weise hat auf die Laufzeiten zum Ringstecken bis jetzt keinen Einfluß erkennen lassen, zumindest konnte eine Verlängerung der Laufzeit nicht beobachtet werden.

Unsere Erfahrungen mit der geschilderten Prüfungsmethode sind zwar noch nicht sehr umfangreich. Die Möglichkeit einer gleichzeitigen Ölprüfung auf Schlammbildung, Alterung des Umlauföles und Abrieb, wobei nebenher noch der Ölverbrauch und auch wenigstens besonders ungünstiges Verhalten hinsichtlich des Kolbenringsteckens beobachtet werden kann, ist uns aber doch heute schon wertvoll bei der Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der synthetischen Öle.

Die motorische Ölalterungsprüfung in den USA.

Von Dr.-Ing. C.F.Krienke, DVL, Institut BS.

Die heute in Deutschland zur Anwendung kommenden Verfahren zur Prüfung von Motorschmierölen hinsichtlich ihrer Alterungsneigung im Betrieb sind zweifellos noch stark verbesserungswürdig. Diese Feststellung gilt sowohl für die motorischen Möglichkeiten der Schmierölbeurteilung, wie auch in einem vielleicht noch stärkeren Maße für die laboratoriums-mäßigen Prüfverfahren. Andererseits haben wir im Augenblick offensichtlich einen Zustand erreicht, in dem das Tempo des Fortschrittes beträchtlich langsamer geworden ist. Da aber Forschungs- und Versuchsarbeiten auf diesem Arbeitsgebiet äußerst kostspielig sind, ist es zweckmäßig, sich in der Welt umzusehen, um festzustellen, ob fremde Länder einer Lösung der gleichen Probleme näher sind als wir, und ob wir gegebenenfalls vom Auslande etwas lernen können, ohne allzuviel Schulgeld zu zahlen.

Als weitaus interessantestes Land in dieser Hinsicht sind die USA anzusehen und in Anbetracht der Entwicklung der Kriege ereignisse kann man wohl annehmen, daß ein Vergleich zwischen uns und den Staaten auf den einzelnen Gebieten der Motorisierung und insbesondere auch auf dem der Flugmotorenbetriebsstoffe in Zukunft noch aktueller werden wird. Diesen Gedanken entsprechend soll im folgenden über den Stand der Ölalterungsprüfung in den Vereinigten Staaten kurz berichtet werden.

Es soll hier aufgezeigt werden, wie weit man drüben mit der Lösung jener Probleme ist, welche die Erfassung der Ölalterung betreffen. Keineswegs soll über alle gemachten Versuche lückenlos berichtet werden, sondern einzelne, besonders charakteristische oder interessante Prüfverfahren und Versuchsdurchführungen wurden herausgegriffen, um entweder als Anregung zu dienen oder zum Beweis dafür, daß auch die

Amerikaner nur mit Wasser kochen, d.h. mit Schmierölen fahren, welche die Ringe verkleben.

Zu bemerken wäre noch, daß infolge der Zeitumstände, welche einer Reise der neuesten Fachliteratur bis in unsere Hände wenig günstig waren, nur spärliche Berichte über die Ergebnisse allerneuester amerikanischer Versuchsarbeiten vorlagen.

Amerikanische Ansichten über die Erfassung der Öl-
alterungseigenschaften.

Die Ansichten amerikanischer Fachleute über die Möglichkeiten der Erfassung der Alterungsneigung von Motorschmierölen sind ziemlich einheitlich und lassen sich darin zusammenfassen, daß sie nahezu alle der alleinigen laboratoriumsmäßigen Prüfung einen größeren Wert nur für Zwecke der Identitäts- oder Gleichmäßigkeitsuntersuchung zusprechen. Von größerer Bedeutung für die Praxis sind daher nach Ansicht amerikanischer Kreise allein die Ergebnisse von motorischen Versuchen im Betrieb oder auf dem Prüfstand, sei es in Mehrzylindermotoren oder in besonders entwickelten Einzylindermotoren. Als kennzeichnend für diese Anschauungen möchte ich einige typische Sätze aus einer Arbeit von Baxley und Stewart anführen: "Unglücklicherweise können nur wenige der erforderlichen Kennwerte eines für Hochleistungsflugmotoren geeigneten Schmieröles durch die gewöhnliche analytische Untersuchung bestimmt werden und oft sind die Bedingungen, welche bei einem derartigen Motor an das Öl gestellt werden, soweit entfernt von aller Erfahrung, daß sogar die augenblicklich anerkannten Methoden der Ölanalyse unter Umständen ein irreführendes Bild geben können, sodaß sie erst durch eine Prüfung im Motor bestätigt werden müssen."^[1] Die bei diesen motorischen Versuchen auftretenden Schwierigkeiten sind drüben genau erkannt und analysiert worden. Umfangreiche und mit großen Mitteln durchgeführte Versuche haben dabei den überragenden Einfluß der Betriebstemperaturen

auf die Rückstandsbildung, den gleicherweise überaus großen Einfluß des seitlichen Ringspieles auf die Zeit bis zum Ringfestgehen und andere Einflußgrößen klar erkennen lassen. Die so gewonnenen Erkenntnisse und die daraus gezogenen Folgerungen decken sich zum größten Teil mit den deutschen Erfahrungen.

Trotz der vielfach aufgeklärten Einflüsse scheint aber über die Frage der Übertragbarkeit der so gewonnenen Bewertung auf normale Betriebsverhältnisse keine volle Klarheit zu bestehen, denn allgemein wird in den USA eine Erprobung des Schmieröles im Betrieb, d.h. im Flug- oder Straßenversuch als unerlässlich und für eine endgültige Auswahl und Zulassung als allein entscheidend angesehen.

Wenig einheitlich sind immer noch die Ansichten über jenen Vorgang der Ölalterung, welcher in Form der Rückstandsbildung zum Ringstecken führt, und welcher im Flugmotor als unangenehmste Erscheinung der Ölalterung anzusehen ist.^{[2][3][4]} Dies gilt aber auch für Erscheinungen, wie Lack- oder Schlambildungen, welche auch für den Kraftwagenmotor von erheblicher Bedeutung sind und sich deshalb in USA besonderer Beachtung erfreuen, ohne daß sich jedoch über die chemischen und physikalischen Vorgänge selbst eine einheitliche Meinung durchgesetzt hätte.^[5]

Neben der mehr theoretischen Erforschung dieser Vorgänge scheint auch in Amerika die Schaffung eines zuverlässigen Prüfverfahrens für die Ölalterungsneigung als besonders vordringlich angesehen zu werden, denn die auf den Startbahnen stehenden Flugzeuge werden starten müssen, ohne auf die noch ausstehende Einigung der Forscher warten zu können.

Die Erprobung von Schmierölen im Betrieb.

Die älteste und zugleich auch heute noch entscheidende Ölalterungsprüfung ist in den USA die der Erprobung im Betriebe selbst. Dies ist bemerkenswert, da man sich

der bei der Auswertung derartiger Betriebsversuche auftretenden Schwierigkeiten völlig bewußt ist. Neben Einzelversuchen mit ihren besonders schwer verwendbaren Ergebnissen führte die Beliebtheit von Großzahlversuchen beim Amerikaner in Verbindung mit der Größe der zur Verfügung stehenden Mittel zur Durchführung umfangreicher Straßen- oder Flugversuche. Die Bewertung der Alterungsneigung eines untersuchten Schmieröles geschieht hierbei im allgemeinen auf Grund einer Beurteilung des Motorzustandes nach der Verwendung des betreffenden Öles, wie sie in grundsätzlich gleicher Art bei Vollmotor-Prüfstandsläufen auch üblich ist. Ergebnisse von derartigen amerikanischen Betriebsversuchen sollen hier nicht gezeigt oder besprochen werden, sondern es möge die Feststellung genügen, daß auch in den USA auf diese Weise keine völlig eindeutigen und unanfechtbaren Werte für eine Schmierölbeurteilung erzielt wurden.

Die Prüfung von Schmierölen im Einzylinder-

Prüfmotor.

Der Mehrzylinder-Prüfstandsversuch besitzt, wenn auch in geringerem Maße, die erwähnten Schwächen des Betriebsversuches ebenfalls und um dieselben nach Möglichkeit auszu-schalten, führten gleiche Überlegungen wie bei uns zu etwa gleicher Zeit - als in Deutschland Gosslau bei Siemens und die I.G. in Oppau, unabhängig von den Amerikanern ihre ersten diesbezüglichen Versuche durchführten - zur Untersuchung von Schmierölen in großen und kleinen Einzylinder-Motoren. Diese Versuche ermöglichten erstmalig die einigermaßen genaue Einhaltung vieler einflußreicher Betriebsbedingungen und damit den Übergang der Schmierölbeurteilung aus einer Art Geheimwissenschaft, um nicht zu sagen Hellseherei, in eine Spezialwissenschaft mit allerdings noch vielen dunklen Punkten.

Typische und interessante amerikanische Einzylinderversuche sollen im folgenden etwas eingehender besprochen werden.

I. Versuche an Flugmotoren-Einzelteilen.

Derjenige Einzylinder-Prüfmotor, welcher weitgehend dem in Deutschland an mehreren Stellen verwendeten BMW 132-Einzylinder-Ölprüfmotor entspricht (abgesehen von seiner mit 25 PS etwas kleineren Leistungsgröße), ist in Amerika ein Prüfmotor, wie ihn Baxley und Stewart benutzen. [1] Bis auf das Kurbelgehäuse werden Flugmotoren-Einzelteile verwendet.

Die Abb.1 zeigt den Ölumlaufl des Versuchsmotors mit seinen Besonderheiten.

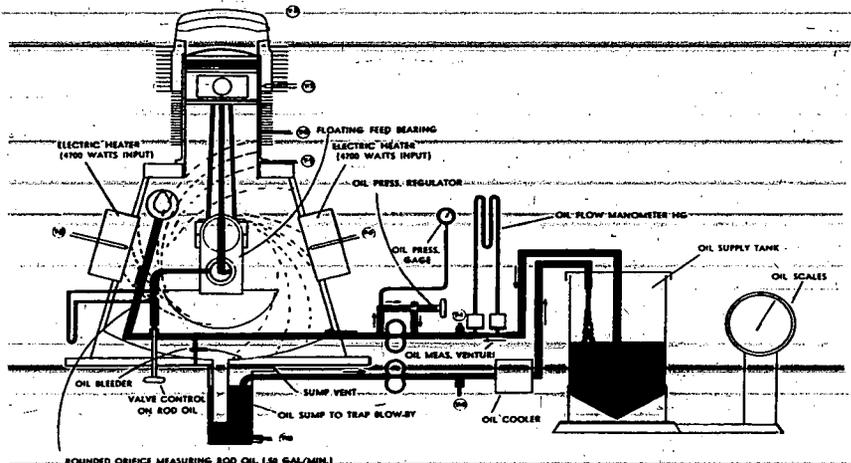


Abb.1: Ölumlaufl des Prüfmotors (n. Baxley u. Stewart)

Bemerkenswert scheinen besonders die auf der nächsten Abbildung (Abb.2) gezeigten Einzelheiten des Ölumlaufls zu sein.

Eingebaute Meßeinrichtungen dienen einer genauen Ermittlung der Gesamtölmengen, sowie der Regelung der Ölzufuhr zum Hauptpleuellager. Eine besondere Bauart des Sumpfes ermöglicht die einwandfreie Messung der durchblausenden Gasmengen.

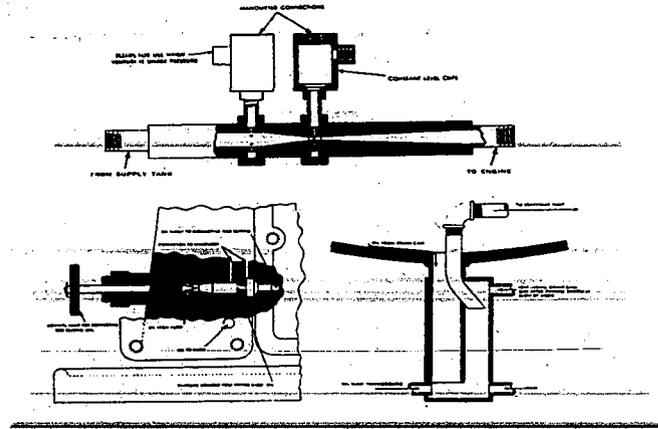


Abb.2 : Einzelheiten vom Ölumlaufl (n.Baxley u.Stewart)

Ein weiteres Bild (Abb.3) zeigt die Regelung der Kühlluftführung durch einstellbare Klappen für den Betrieb bei hohen und mittleren Temperaturen.

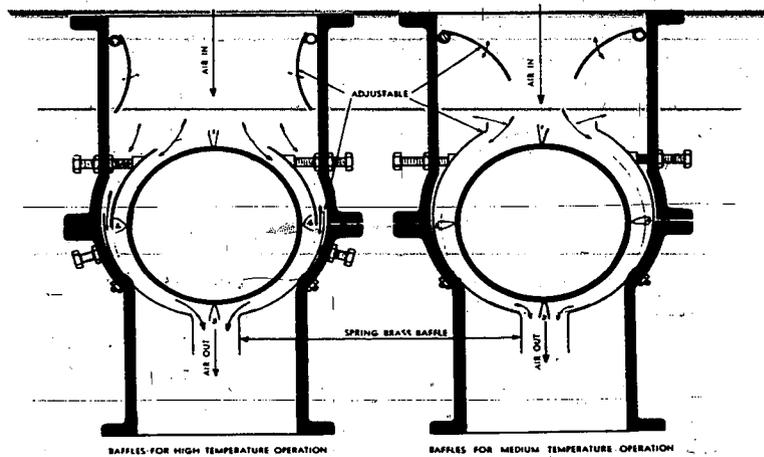


Abb.3: Kühlluftführung eines Ölprüfmotors
(nach Baxley u.Stewart)

Das nächste Bild (Abb.4) zeigt eine Gesamtansicht des Prüfstandes, welche die Ähnlichkeit mit den deutschen BMW 132-Ölprüfständen deutlich erkennen läßt.

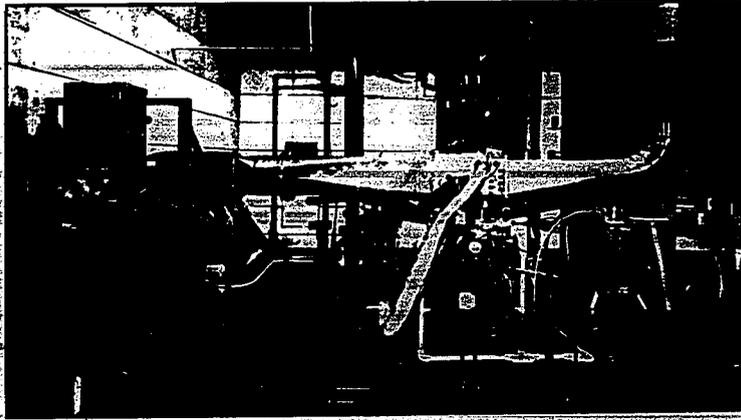


Abb.4: Prüfstand mit Einzylinder-Ölprüfmotor

Alle Einzelheiten, welche uns aus der täglichen Arbeit ge-
läufig sind, finden wir auch an diesem Prüfstand wieder. Dies-
gilt im besonderen auch für das Instrumentenbrett (Abb.5)
mit seinen Manometern, Schaltern u. Regulierwiderständen.

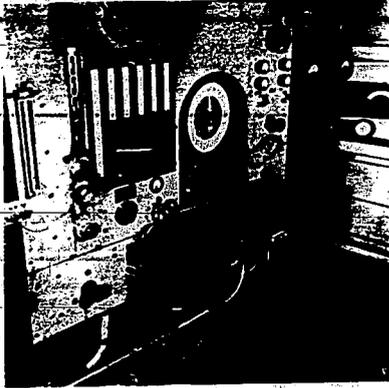


Abb.5: Instrumenten-
brett des Ölprüfstan-
des.

Für die Festlegung der Versuchsbedingungen war bei den Amerikanern der Gedanke maßgebend, daß die Ergebnisse von Einzylinder-Motoren denen von Vollmotoren gut entsprechen, vorausgesetzt, daß die Bedingungen des Mehrzylinder-Motors einschl. seiner Ölverbräuche und Ölumlaufmengen genau reproduziert werden. Unter diesen, also nicht besonders verschärften, Bedingungen, von denen die wichtigsten nachstehend angeführt werden, ergaben verschiedene Flugmotorenöle nach Laufzeiten von 45 bis 75 Std. Ringstecken. Der Prüfmotor lief dabei mit einer Drehzahl von 2000 U/min und einer Volleistung von 25 PS bei einer durch Änderung der Kühlluftführung geregelten und aus 12 Zylindertemperaturen gemittelten Laufflächentemperatur von 149°C. Bei dieser Temperatur stellt sich am Kerzensitz eine solche von 232 bis 240°C ein. Geregelt und konstant gehalten wird ferner der Öldruck mit 7,0 kg/cm² und die Gesamtölmulmenge, sowie die zum Kurbelwellenlager geförderte Ölmenge. Die ebenfalls konstantgehaltene Ölsumpfemperatur liegt mit 127°C bemerkenswert hoch.

Die Abb.6 zeigt den Verlauf der wichtigsten Betriebstemperaturen während eines Prüflaufes.

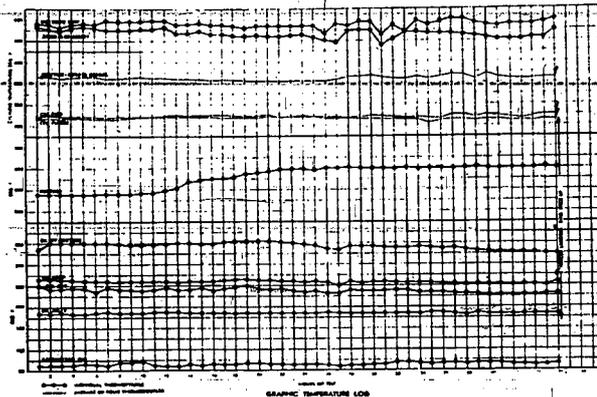


Abb.6: Temperaturen während eines Laufes (n. Baxley u. Stewart)

Zur Feststellung des Zeitpunktes des Festgehens eines Kolbenringes dient die laufende Beobachtung des Gasdurchtrittes und des Ölverbrauches (Abb.7).

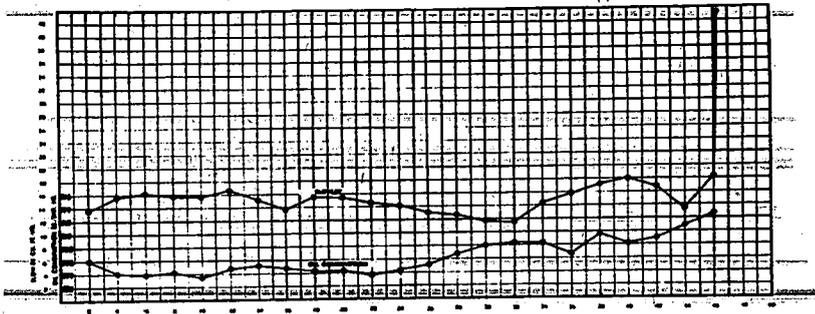


Abb.7: Gasdurchtritt-u.-Ölverbrauch (n. Baxley u. Stewart)

Auffälligerweise wird von Baxley und Stewart über die Kennzeichnung des Versuchsendes durch einen etwaigen Leistungsabfall als Folge des Ringfestgehens nichts berichtet.

Dagegen wurden die Auswirkungen vieler Einflüsse auf die Laufzeit eines Öles untersucht, so z.B. der Einfluß von hoher und geringer Gleichmäßigkeit in der Ringhöhe (Abb.8).

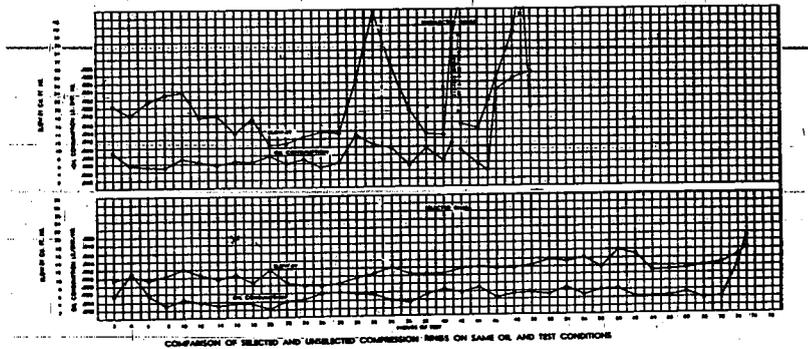


Abb.8: Einfluß verschiedener Ringe (n. Baxley u. Stewart)

Voraussetzung für einwandfreie Ergebnisse sind in bezug auf die Abmessungen einwandfreie Kolbenringnuten. Und zwar ist die Einhaltung dieser Bedingung nach Ansicht der amerikanischen Ingenieure infolge der Kolbenverformung während eines Laufes nur durch Verwendung eines jeweils neuen Kolbens für jeden Lauf zu erreichen.

Besonders wichtig und bedeutsam scheint mir der Hinweis von Baxley und Stewart zu sein, daß nämlich die Einflüsse mechanischer Bedingungen, wie z.B. die Größe des seitlichen Ringspieles die Ergebnisse in einem weitaus größeren Ausmaß beeinflussen können als die Unterschiede, welche sich aus der Verwendung verschiedener handelsüblicher Schmieröle ergeben.

Festgestellt wurde weiterhin, daß eine Verschärfung der Prüfbedingungen durch Steigerung der Versuchstemperaturen, und zwar hauptsächlich der Zylinderwandtemperaturen, Ringstecklaufzeiten in der Größenordnung von rund 8 Std. ergibt. Wesentlich ist nun die Behauptung, daß diese Ergebnisse übereinstimmen mit den Erfahrungen an neuen und in der Entwicklung befindlichen sehr hoch belasteten Motoren, sodaß sie die praktischen Verhältnisse wohl wiedergeben und diese Bedingungen infolgedessen für zukünftige Untersuchungen vorgesehen wurden.

II. Versuche an kleinen Einzylindermotoren.

Naheliegende Gründe führten in den USA wie auch in Deutschland an vielen Versuchsstellen zur Verwendung kleinerer Einzylindermotoren zur Ölalterungsprüfung. So untersuchten Wiley und Prutton die Ringsteckneigung und Lackbildung, sowie die Reinigungswirkung von Schmierölen an einem kleinen flüssigkeitsgekühlten Motor von 2½ PS. [6] Dieser wurde aus verschiedenen Motortypen ausgewählt, weil er in seiner Größe bei äußerst einfacher Bauart wiederholbare Prüfergebnisse bringt. Die Kühltemperatur wird automatisch geregelt und registriert. Bei einer Prüfung von Flugmotorenölen wird mit besonders hoher Kühltemperatur gefahren.

Jeder Lauf wird mit neuen Kolben, Ringen und Lagerschalen durchgeführt. Diese Bauteile werden alle 25 Stunden ausgebaut und überprüft, vermessen und gewogen, sowie farbig fotografiert. Die beträchtlich langen Laufzeiten lassen vermuten, daß im ganzen gesehen die Versuchsbedingungen gegenüber denen des normalen Betriebes nicht wesentlich verschärft sind.

Bemerkenswert ist vielleicht noch die Erkenntnis dieser Versuchsingenieure, daß nämlich das gute Verhalten eines Oles unter gewissen Bedingungen noch keine Gewähr ist für eine Brauchbarkeit unter sämtlichen praktisch vorkommenden überaus verschiedenen Betriebsbedingungen.

~~ebenfalls ziemlich milde, d. h. den normalen Betriebsbedingungen im Kraftwagenmotor entsprechende Bedingungen wendeten Everett u. Kaller bei ihren motorischen Untersuchungen zur Ermittlung der Ölrückstandsmengen an. [7] Um Vergleichswerte für die Prüfstandsversuche zu bekommen, wurden zuerst Straßenversuche mit einer Reihe von 6-Zylindermotoren durchgeführt. Diese ergaben bereits bei Verwendung des gleichen Oles beachtliche Streuungen in der Menge der abgelagerten Ölkohle bei völlig gleichen Versuchsbedingungen und zwar auch in demselben Motor. Da diese Streuungen bis zu 20% der Werte betragen, können Unterschiede innerhalb dieser Größenordnung nicht mehr ermittelt werden.~~

~~Die eigentlichen Prüfmotoren waren je 6 Motoren von zwei besonders kleinen luftgekühlten Einzylinderbaumustern der Firmen Delco bzw. Lawson. Das Hubvolumen beträgt 52 bzw. 67 ccm.~~

Die Versuchsdurchführung erstreckte sich über 40 Std. mit Unterbrechungen nach je 8 Std., um mittels Wägung der Zylinderköpfe auf einer analytischen Waage die Menge der an dieser Stelle gebildeten Ölkohle zu bestimmen. Die Rückstände wurden dabei nicht entfernt, sondern die Zylinderköpfe wurden vorsichtig wieder aufgebaut und die Läufe dann fortgesetzt. Nach Beendigung der 40-stündigen Prüfläufe wurden auch die Kolben gewogen und so die an den Kolben befindlichen Rück-

standsmengen ermittelt.

Von den 6 jeweils für eine Prüfserie eingesetzten Motoren gleicher Bauart wurden drei mit dem zu prüfenden Öl und die anderen drei mit einem Vergleichsöl gefahren und die Prüfläufe dann mit einem Austausch der beiden Ölsorten wiederholt. Auf diese Weise sollten die Einflüsse des Motorzustandes ausgeschaltet werden, sowie eine statistische Auswertung der Ergebnisse ermöglicht werden, welche eine Auswirkung von Unterschieden zwischen den einzelnen Prüfmotoren abschwächt. Um auch den Einfluß der Motorbauart auszuschalten, wurde dann die gleiche Prüfserie mit den 6 Motoren des anderen Baumusters durchgeführt.

Die Versuchsbedingungen entsprachen der Höchstleistung bei ärmstem Gemisch und die Temperaturen betragen z. B. bei einem der beiden Prüfmotorentypen 191°C am Zylinderkopf und 121°C für die Öltemperatur im Kurbelgehäuse.

Die Ergebnisse waren nicht sehr eindeutig und zeigten nur geringe Unterschiede zwischen verschiedenen Ölen. Noch ungünstiger wirkt ein Vergleich der Versuchsergebnisse von allen verwendeten Motoren, wie aus der nächsten Abbildung zu ersehen ist (Abb. 9).

Ölkohlewerte			
Prüföl Nr.	(Bezugsöl = 1,00)		
	Vollmotor (6-Zylinder)	Kleiner Prüfmotor (Delco)	Kleiner Prüfmotor (Lawson)
12	0,85	0,94	0,96
13	1,19	1,40	0,98
14	0,98	1,04	1,11
15	1,10	1,01	1,12
16	0,95	1,16	0,94

Abb. 9: Motorische Ölprüfung (n. Everett u. Kaller)

Auf ähnliche Weise untersuchte Neely auf einem Prüfstand der Standard Oil of California die Alterungsneigung von Dieselschmierölen. [8] Kleine Otto-Motoren von 1/2 PS Leistung sollen auf Grund von Ringsteckzeiten eine Beurteilung der Öle ermöglichen. Das nächste Bild (Abb.10) zeigt eine Reihe dieser Prüfmotoren auf dem Prüfstand.



Abb.10: Kleine Ölprüfmotoren (Standard Oil of Calif.)

Die Motoren werden mit Vollerleistung bei einer Zylinder-
temperatur von 190°C betrieben. Über die Versuchsergebnisse
berichtet Neely, daß dieselben nicht völlig mit den Betriebs-
ergebnissen von Dieselmotoren übereinstimmen und führt dies
auf die nicht ganz gleichen Betriebsbedingungen zurück. Vor
allem den aus der mehr oder weniger vollkommenen Verbrennung
von Dieseltreibstoffen stammenden Rückständen weist Neely beim
Vorgang des Ringsteckens eine größere Bedeutung zu. Festge-
stellt werden konnte aber, daß Öle, welche bei der Prüfung
im kleinen Ringsteckmotor schlechte Ergebnisse bringen, sich
auch im großen Dieselmotor ungünstig verhalten. Wie das fol-
gende Bild (Abb.11) zeigt, stimmten die bei der Untersuchung
des Einflusses von Zusätzen im Schmieröl mit verschiedenen
Motoren gewonnenen Werte nur mäßig miteinander überein.

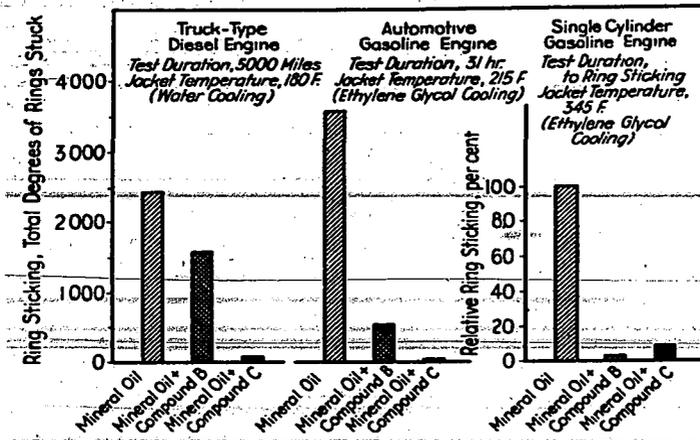


Abb.11: Ringstecken in verschiedenen Motoren

Die Abb.12 zeigt ebenfalls Ergebnisse von Zusatzversuchen und zwar in einer Gegenüberstellung der Werte eines kleinen Ringsteckmotors mit denen von Betriebsversuchen an Dieselmotoren.

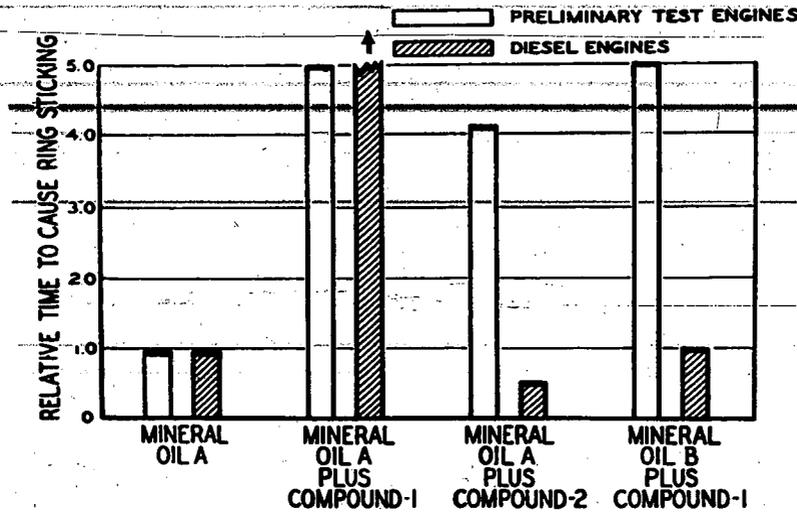


Abb.12: Ringsteckzeiten im Ölprüfmotor und im Dieselmotor (Standard Oil of Calif.)

Von allgemeinem Interesse dürfte noch sein, daß von dieser Stelle auch motorische Versuche durchgeführt wurden, um die reinigende Wirkung von Schmierölen zu ermitteln. Das nächste Bild (Abb.13) zeigt das Ergebnis eines derartigen Prüflaufes.

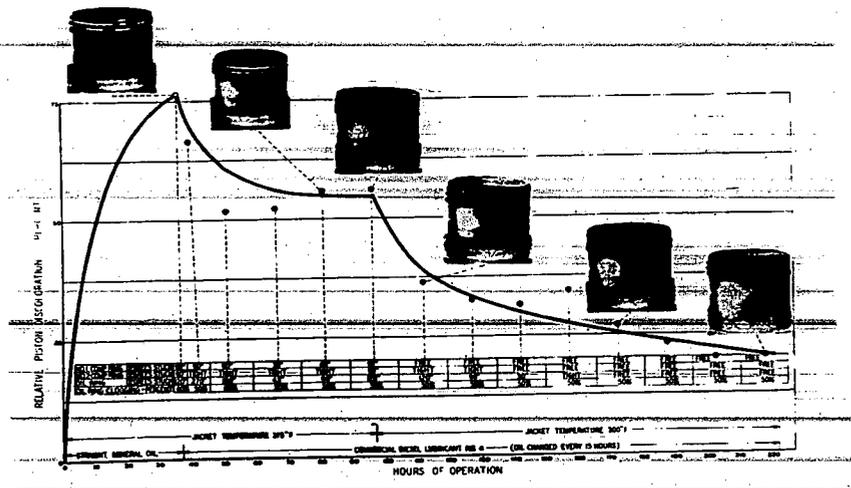


Abb.13: Motorreinigung durch Ölwechsel (Standard Oil of Calif.)

Hier wurde das Aussehen des Versuchskolbens als Bewertungsmaßstab genommen. Nach einem 36-Stundenlauf mit einem reinen Mineralöl war ein Ring festgegangen und als Folge davon der Gasdurchtritt angestiegen, sowie die Leistung abgefallen. Nach dem Wiederausammenbau der ungereinigten Bauteile wurde nun mit einem anderen Öl weitergefahren. Nach einer gewissen Laufzeit wurde der Ring wieder frei und das Kolbenaussehen zusehends besser. Allerdings wurde von einem bestimmten Zeitpunkt ab die Zylinderlauftemperatur von 190°C auf etwa 150°C herabgesetzt, um die Reinigungswirkung zu beschleunigen.

III. Versuche am Einzylinder-Diesel-Motor.

Bemerkenswert sind die Erfahrungen einer der größten amerikanischen Herstellerfirmen von Dieselmotoren. Es stellt

te sich hier bei zahlreichen Betriebsversuchen mit verschiedenen Schmierölen heraus, daß bezüglich Ölalterungserscheinungen derartig streuende Ergebnisse auftraten, daß aus denselben keine klaren Schlüsse gezogen werden konnten, wenn man von der Erkenntnis absieht, daß ein Dauerbetrieb mit hoher Last die kürzeste Laufzeit bis zum Festgehen der Kolbenringe ergibt.

Daher wurden von der Caterpillar Tractor Co. durch Rosen Versuche an einem leicht auszubauenden Einzylinder-Dieselmotor durchgeführt, unter den Bedingungen, die bei Betriebsversuchen in kürzester Zeit zum Ringfestgehen geführt hatten. Die Abb.14 zeigt diesen Caterpillar-Ölprüfmotor mit hochgezogenem Zylinder und Kopf.

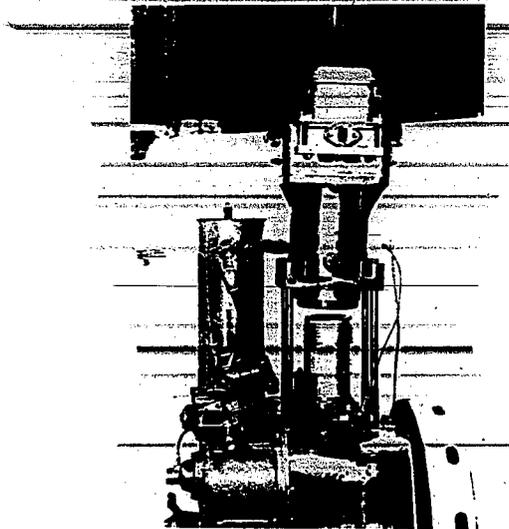


Abb.14: Caterpillar-Einzylinder-Diesel für Ölprüfungen

Als Kennzeichen für den Zeitpunkt des Festgehens der Ringe wurde eine Steigerung des Gasdurchblasens in das Kurbelgehäuse vom normalen Durchschnittsbetrag auf etwa das Fünffache gewertet. Eine Verschärfung der Versuchsbedingungen, um dadurch wesentlich kürzere Laufzeiten zu erzielen, brachte Ergebnisse, welche in keiner befriedigenden Beziehung zu den Betriebswerten standen. Als entscheidender Einflußfaktor

wurde die Temperatur in der Ringträgerpartie erkannt und diese als verantwortlich für das Verhalten von Schmierölen angesehen.

Die Ergebnisse der Schmierölorüfungen zeigten nun vor allem einen Einfluß der Herkunft und Verarbeitung des betreffenden Rohöles. Und zwar wurden mit naphthenbasischen Ölen längere Laufzeiten als mit gleichbehandelten paraffinbasischen erreicht. Andererseits ergab eine schärfere Raffination kürzere Laufzeiten bis zum Ringverkleben als eine schörende Behandlung wie auch aus Abb.15 zu ersehen ist.

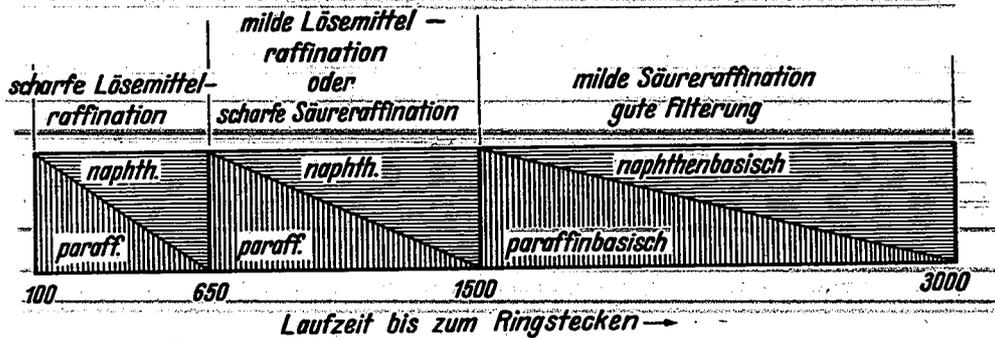


Abb.15: Beziehung zwischen Ringstecklaufzeiten und Art der Raffination (n.Rosen, 1937)

Ein sehr interessante Feststellung wurde bei Läufen mit höheren Temperaturen gemacht, denn diese Versuche ergaben für die Verwendung eines paraffinbasischen Schmieröles bei höheren Versuchstemperaturen ein günstigeres Verhalten als bei gewöhnlichen Betriebsbedingungen, wie Abb.16 eindeutig zeigt. Und zwar wurde der linke Kolben mit einer um 30 bis 40° gegenüber normalen Betrieb erhöhten Temperatur gefahren. Die Folge war einwandfreies Arbeiten der Ringe und bedeutend geringere Rückstandsbildung.

Weitere Untersuchungen ließen als beachtlichen Unterschied im Betriebsverhalten von paraffinbasischen Ölen die Eigenart erkennen, den ersten Ring vorzugsweise zu verkleben und vom naphthenbasischen dieselbe Fähigkeit beson-

ders für die unteren Kolbenringe.

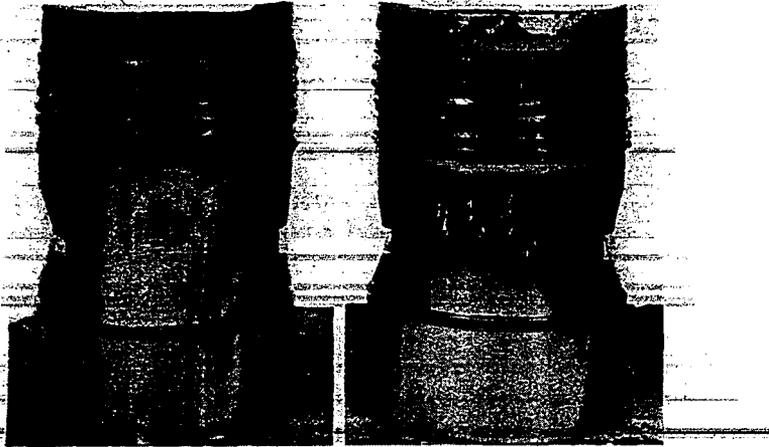


Abb.16: Lauf mit paraffinbasischem Öl bei erhöhter (links) und normaler (rechts) Temperatur

~~Andere Versuche sollten die Möglichkeit der Verbesserung der Temperaturbeständigkeit durch Zusätze zum Schmieröl klären und nach Meinung dieser amerikanischen Versuchsstelle ist in der Verwendung geeigneter Zusätze die kommende Entwicklungsrichtung zu sehen. Die Abb.17 zeigt einen bei Verwendung von Zusätzen erzielten Erfolg.~~

~~Der linke Kolben wurde mit einem gewöhnlichen SO₂-behandelten reinen Mineralöl gefahren, und es zeigten sich nach einer bestimmten Laufzeit mehrere festgegangene Kolbenringe. Dagegen ergab der rechte Kolben bei Verwendung desselben Schmieröles mit geringen Mengen von Zusätzen bei gleicher Laufzeit vollkommen freie Ringe und ein gutes Aussehen.~~

~~Aus der folgenden Abbildung (Abb.18) ersehen wir die Ergebnisse von Prüfläufen mit verschiedenen Ölen aus ihren Durchblaskurven, welche das Versuchsende anzeigen. Die Höhenlage der Durchblaskurven wird nicht bewertet, sondern nur der allgemeine Verlauf.~~

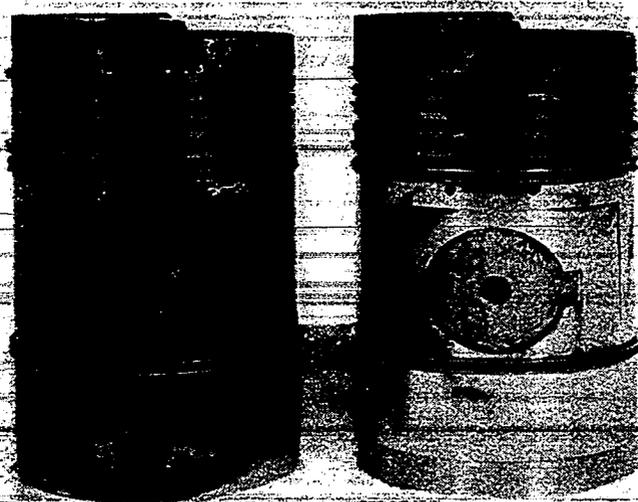


Abb.17: Verbesserung der Temperaturbeständigkeit durch Zusätze

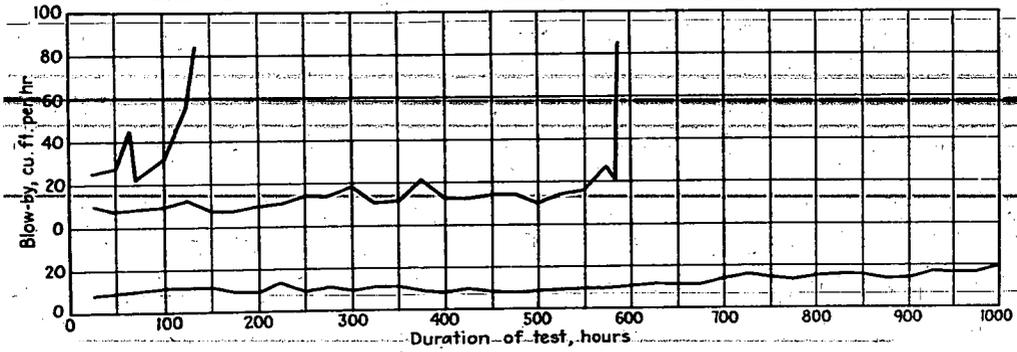


Abb.18: Durchblaskurven bei Läufen mit verschiedenen Ölen

In den Versuchsberichten ist übrigens ein interessanter Hinweis darauf zu finden, daß am Kolbenhemd gebildete Rückstände eine Verbesserung für die Abdichtung bedeuten können und dadurch möglicherweise das Erkennen eines durch Ringfestgehen erhöhten Durchblasens erschweren. (Diese Feststellung konnten wir in der DVL am kleinen Siemens-Ölprüfmotor ebenfalls machen).

Die Prüfung von Schmierölen im Vollmotor.

Wie bereits erwähnt, sehen die amerikanischen Fachleute und hier insbesondere die Ingenieure der Flugmotorenfirmen die Ergebnisse von Einzylinderversuchen nicht als maßgebend für eine Auswahl und damit als entscheidend für die Zulassung zum Betrieb an, sondern geben Prüfstands-läufen mit Vollmotoren das letzte Wort. Die Übewertung geschieht dann allgemein in Form einer Beurteilung des nach dem Prüflauf in seine Bauteile zerlegten Motors, wie sie in Deutschland ganz ähnlich für Flugmotorenöle durch die Bauvorschriften des MIL (BVA) vorgeschrieben ist. Diese Beurteilung und die damit gefundenen Werte sind naturgemäß sehr abhängig von der Erfahrung und der Einstellung des betreffenden Prüfers.

Um diese Art der motorischen Übewertung auf eine sachlichere Grundlage zu stellen und damit die Willkür in der Beurteilung des Motorzustandes etwas zu beschränken, führte die Wright-Aeronautical Corporation eine zahlenmäßige Bewertung der Ergebnisse derartiger Ölprüfläufe in Vollmotoren ein, wie sie im folgenden nach den Berichten von Nutt bzw. Beall beschrieben werden. [11]

Es wurde von letzterem ein Punktsystem entwickelt, welches in Verbindung mit einer Formel, die auch einen laboratoriumsmäßig gewonnenen Altöl-Analysenwert enthält, eine Bewertungsziffer für untersuchte Öle ergibt, welche dadurch untereinander verglichen werden können. Dies ist nach Ansicht der Amerikaner unbedingt erforderlich, da eine Auswahl der Öle nur auf Grund der Analysenwerte nicht mehr beibehalten werden kann. Andererseits sei Schmieröl noch der einzige

in Flugmotor verwendete Werkstoff, der noch mit der "Elle" gemessen würde.

Das Verfahren, welches diesen Zustand beseitigen soll, erfordert den 50-stündigen Prüfstandslauf eines Vollmotors unter bestimmten Versuchsbedingungen. Nach dem Auseinanderbau des gelaufenen Motors werden die einzelnen Bauteile genau untersucht und zwar sowohl auf Verschleißerscheinungen, wie auch auf Bildung von Rückständen einschl. festgegangener Kolbenringe als deren Folge: Kurz- und Schlammansammlungen werden ebenfalls vermerkt und das Aussehen und die allgemeine Sauberkeit einzelner Teile werden bewertet. Wie die Abb. 19 zeigt, besitzt jeder Bauteil eine Höchstpunktzahl und der Prüfer gibt jedem Einzelteil Strafpunkte in der Größenordnung, um die der Zustand vom besten Aussehen abweicht.

Wie aus den nachstehenden Abbildungen hervorgeht, sind die auf die Verwendung eines mehr oder weniger guten Schmieröles zurückzuführenden Erscheinungen an den einzelnen Teilen ihrer Bedeutung entsprechend mit verschiedenen Höchstpunktzahlen bewertet.

Die Abb. 20 bringt als Beispiel für eine derartig motorische Prüfung das Ergebnis eines Prüflaufes mit dem Schmieröl X.

Zu berücksichtigen ist noch, daß dieses Prüfverfahren Ergebnisse bringt, welche neben der Alterungsneigung auch die Größe der verschleißverhindernden Eigenschaften in ihren Prüfwerten enthalten. Somit ist dies kein reines Alterungsprüfverfahren im engeren Sinne des Themas dieses Vortrages, aber seine Kenntnis dürfte trotzdem von Wert sein. Die zusammengezählte Punktzahl aus der Begutachtung des Zustandes der einzelnen Bauteile stellt noch keineswegs den endgültigen Prüfwert dar sondern dieser ergibt sich erst aus einer Formel, welche auch das Punktzahlergebnis einer vorzunehmenden Altölanalyse enthält. (Abb. 21)

s. folgende Seite

Punktbewertung für den Motorzustand nach 50-stündigen Prüfläufen.

	Höchstpunktzahl		Höchstpunktzahl
Kolben, Verschleiß und Aussehen	5	Kolbenbolzen, Verschleiß	1
Verschleiß der Kolbenbolzenaugen	1	Anlenkbolzen, Verschleiß u. Aussehen	4
Aussehen der Kolbenböden	4	Anlenkbolzenbüchsen, Verschleiß	1
Kolben insgesamt	.... 10	Kolbenbolzenbüchsen, Verschleiß	1
Kolbenringe, Verschleiß	20	Kurbelzapfen, Verschleiß u. Aussehen	8
Festsitzen	5	Hauptpleuellager, Verschleiß	14
Spannung	5	Untersetzungsgetriebe, Lagerbüchsen	3
Kolbenringe insgesamt	.... 30	Kurbelgehäuse, allgemeine Sauberkeit	6
Zylinder, Verschleiß und Aussehen der Laufflächen	.... 10	Kurbelgehäuse, Ölschlamm	5
		Schmierfugen im Hauptlager	2
		Filter	5
Kolben, Kolbenringe und Zylinder	.... 50	Kurbeltrieb und Kurbelgehäuse	.... 50

Abb.19: Prüfung von Flugmotorenschmierölen (Wright Aeron. Corp.)

	Optimum or Par Values	Engine Inspection, Oil X
Pistons, wear and appearance	5	4
Piston-pin bosses, wear	1	1
Piston thrust surface, appearance	4	3
Piston total	10	8
Piston-rings, wear	20	14
Piston-rings, stuck	5	5
Piston-rings, feather	5	3
Piston-rings, total	30	22
Cylinder, wear and appearance	10	10
Piston-pin, wear	1	1
Link-pin, wear and appearance	4	3
Link-pin bushings, wear and appearance	1	1
Piston-pin eye, wear and appearance	14	12
Master-rod bearing, wear and appearance	8	7
Master-rod journal, wear	3	2
Spider bushings, wear and appearance	3	2
Crank system and bushings, total	32	27
Crankcase, general cleanliness	6	5
Crankcase, sludge	5	4
Master-rod journal cavity	2	1
Filter	5	4
Cleanliness and sludge, total	18	14
Total engine-inspection score	100	81

Abb.20: Prüfung von Flugmotorenschmierölen (Wright Aeron. Corp.)

Untersuchung des Altöles nach 50-stündigen Prüfläufen im Motor auf:

1. Schlammgehalt
2. Asphaltgehalt
3. Zunahme der Viskosität
4. Zunahme der Neutralisationszahl

Endgültige Bewertung = $\frac{1x \text{ Altölanalyse} + 2x \text{ Motorzustand}}{3}$

Abb.21: Prüfung von Flugmotorenschmierölen
(Wright Aeron. Corp.)

Diese Altölanalyse besteht aus einer Bestimmung des Schlamm- und des Asphaltgehaltes, sowie der Veränderung von Viskosität und Neutralisationszahl und die so gewonnenen Werte werden in Punktziffern umgerechnet.

Von den mit diesem Ölprüfverfahren erzielten Ergebnissen wird behauptet, daß sie in gewisser Übereinstimmung stehen mit den Erfahrungen des Linien-Flugbetriebes. So haben sich die bei der Prüfung bewährten Öle auch im Flugbetrieb günstig verhalten und Öle mit weniger guten Prüfwerten führten im Betrieb zu häufigeren Beanstandungen.

Zusammenfassung.

Die gemachten Ausführungen sollten einen kurzen Überblick geben über die in den USA zur Anwendung kommenden motorischen Verfahren zwecks Erfassung der Alterungsneigung von Motorenschmierölen. Die Erkenntnis der Tatsache, daß die Ergebnisse von laboratoriumsmäßigen Prüfungen ebenso wenig wie die Erfahrungen aus Straßen- oder Flugversuchen eine einwandfreie Aussage über die Brauchbarkeit von Schmierölen im Betrieb von Verbrennungsmotoren erlauben, führte in Amerika zur Durchführung motorischer Versuche an grossen und kleinen Zylinder-Prüfmotoren der verschiedenen Bauart. Infolge der nicht restlos geklärten Übertragbarkeit werden aber allgemein Vollmotoren-Versuche auf dem Prüfstand als letztlich ausschlaggebend für die Zulassung eines neuen Schmieröles angesehen. Die Durchführung einiger

typischer amerikanischer Motorprüfverfahren wurde kurz besprochen.

Bei einem Vergleich mit deutschen Verhältnissen kann zusammenfassend festgestellt werden, daß die USA auf dem Gebiet der Ölprüfung etwa auf derselben Entwicklungsstufe stehen wie wir. Die Verfahren sind in beiden Ländern zu annähernd gleichen Reife entwickelt worden und unterscheiden sich in Einzelheiten kaum und im grundsätzlichen eigentlich nur in der Frage der Schärfe der Versuchsbedingungen. Wie die Abb. 22 noch einmal in einer Übersicht zeigt, wird in den USA im Gegensatz zu uns allgemein unter mildereren Bedingungen gefahren, die höchstens den oberen Grenzen des ungünstigsten Betriebszustandes in der Praxis entsprechen. Dies bedingt als Nachteil sehr lange Laufzeiten, welche aber drüber scheinbar lieber in Kauf genommen werden als die Unsicherheit der noch nicht völlig geklärten Frage der Übertragbarkeit.

				Prüfbedingungen entsprechend:		
				I	II	III
Flug- oder Straßenversuch	Vollmotor	Flugmotor	Vacuum	+		
		Kraftwagenmotor	Neely	+		
		Flugmotor	Baxley u. Stewart		+	+ ¹⁾
Prüfstands- versuch	Einzylinderm.		Willey u. Prutton		+	
		Kleiner Ottom.	Everett u. Kaller		+	
		Neely	+	+	+	
	Dieselmotor	Rosen		+		
	Vollmotor	Kraftwagenmotor	Wiggins u. Hunter		+	
Flugmotor		Nutt u. Beall		+		

I: normaler Betrieb

II: obere Grenze des normalen Betriebes

III: weitere Verschärfung der Bedingungen

1) vorgeschlagen

Abb. 22: Amerikanische Prüfbedingungen

Die erheblichen Mittel, die den amerikanischen Versuchsingenieuren bislang immer zur Verfügung gestanden haben, erlaubten die Durchführung überaus vielseitiger Untersuchungen, welche dann auch teilweise zu besonders aufschlußreichen Ergebnissen führten. Der augenblickliche Stand der motorischen Schmierölprüfung läßt sprunghaft zu erreichende Erfolge aber kaum erwarten, sondern weitere Fortschritte dürften nur durch eine zähe und unermüdliche Kleinarbeit zu erreichen sein, wie sie vor allem auch in Deutschland durchgeführt wird.

Schrifttum.

- [1] Baxley, C.H. u. Stewart, J.F., Methods and equipment used in the development of lubricants for high output service with special reference to aviation oils. Sonderdruck eines Vortrages auf dem 2. Weltpetroleumkongress in Paris 1937
- [2] Bridgeman, O.C., The problem of ring-sticking in aviation engines. SAE-Journ. Bd.41 (1937) Nr.6 (Dez.) S.545/47
- [3] Gruse, W.A. u. Livingstone, C.J. Engine deposits - causes and effects. Symposium of lubricants (1937) S.1/20, ASTM - Baltimore 1937
- [4] Gruse, W.A. u. Livingstone, C.J., Piston deposits. Automobile engineer, 1940 (Nov.) S.374/379
- [5] Kishline, F.F., A symposium on varnish in engines. SAE-Journ. Bd.45 (1939) Nr.2 (August) S.321/324
- [6] Willey, A.O. u. Frutton, C.F., The use of small-scale single-cylinder engines for the evaluation of motor oils. Sonderdruck eines Vortrages auf der SAE-Tagung Juni 40
- [7] Everett, H.A. u. Kaller, G.H., A laboratory method for evaluating the influence of lubricating oils on carbon deposition. Engineering Bd.148 Nr.3857 (15.12.39) S.676/678
- [8] Neely, G.L., Recent developments in Diesel lubricating oils. SAE-Journ. Bd.45 (1939) Nr.5 (Nov.) S.485/500
- [9] Rosen, C.G.A., Engine temperature as effecting lubrication and ring-sticking. SAE-Journ. Bd.40 (1937) Nr.4, S.165/172
- [10] Rosen, C.G.A. Cylinder lubrication of small-bore Diesel engines. General discussion on lubrication and lubricants. Group II. Institution of mechanical engineers, London (Okt.) 1937 S.169/177
- [11] Beall, A.L. Selection of oils for high output engines. Sonderdruck eines Vortrages auf der Luftfahrttagung der SAE in Los Angeles (Okt.) 1936

Übertragbarkeit der Prüfergebnisse
auf die Praxis.

Von Dipl.-Ing. Adam, R L M - GI/A-M 2 C

Ein Schmierstoff, der für den Betrieb in Flugmotoren an der Front freigegeben werden soll, wird z.Zt. zunächst einer chemisch-physikalischen Prüfung, sodann einer oder mehreren Einzylinder-Erprobungen unterzogen, dann erfolgt die Vollmotorenprüfung in ca. 6-8 Flugmotoren.

Die Bestrebungen gehen nun dahin, die Vollmotorenläufe, welche sehr viel Zeit, Geld und Aufwand erfordern, lediglich durch die Vorprüfung vor allen Dingen im Einzylinder zu ersetzen.

Es soll hier in erster Linie von der Übertragbarkeit der Einzylinderergebnisse auf die Praxis gesprochen werden.

Die chemisch-physikalische Untersuchung dient ja bis jetzt vor allem zur Kontrolle der Gleichmäßigkeit einer Qualität und zur Festlegung grundsätzlicher Eigenschaften eines Stoffes; die Eignung eines gänzlich neuen Öles lediglich aus dieser Untersuchung ist auch dann nicht zu erkennen, wenn die gefundenen Daten mit den normalen Werten bekannter Öle übereinstimmen.

Der Einzylinderlauf ist heute die Form der Prüfung, die schon gewisse Schlüsse auf die motorische Eignung zulässt. Im folgenden sind nun die Ergebnisse der letzten 2-3 Jahre zusammengetragen und zwar von den Stoffen, mit denen nach der Einzylindererprobung noch Vollmotorenläufe durchgeführt wurden.

Es ist selbstverständlich, daß bei diesen Versuchen, die nicht mit absoluten Werten zu messen sind, wie z.B. der positive oder negative Ausgang eines 100 Std.-Laufes, nur eine sehr große Anzahl von Gegenüberstellungen zu einer richtigen Schlußfolgerung führen kann.

Zu den Einzylinderläufen ist zu sagen, daß bei den verschiedenen Untersuchungsstellen große Unterschiede in der Durch-

führung und Auswertung der Versuche vorhanden waren. Dadurch muß eine Streuung der Ergebnisse bei den vorliegenden Vergleichen in Kauf genommen werden.

Zu den Vollmotorenläufen ist zu sagen, daß ein Lauf in einem Motor kein Urteil für einen Schmierstoff zuläßt; d.h. mit Ausnahme der Lauf ist völlig negativ verlaufen, so daß das Öl also auch negativ zu bewerten ist. Im anderen Falle kann man sich aber erst ein Bild machen, wenn man die Ergebnisse einer Reihe von Läufen vor sich liegen hat. Allerdings gibt es da eine Reihe kritischer Motoren; vor allem sind das natürlich die hochgezüchteten, leistungstarken Neuentwicklungen, dann aber auch solche Typen, die eine unangenehme Eigenschaft besonders bevorzugt aufzeigen, wie z.B. das Ringstecken.

~~Die Kriterien bei der Beurteilung von Vollmotoren sind nun:~~

- ~~1) Ringstecken~~
- ~~2) Schmierfähigkeit~~
- ~~3) Rückstände~~
- ~~4) Verschlämmung~~
- ~~5) sonstige Beanstandungen, z.B. Ölverbrauch, Abnutzung usw.~~

Ich habe mir nun die Frage gestellt, ob man aus der Laufzeit eines Einzylindermotors Rückschlüsse auf die einzelnen erwähnten Punkte ziehen kann oder vielleicht auf das Gesamtbild des Motors oder vielleicht auf das Bild besonderer Motortypen.

Zwei Punkte kann man dabei fortfallen lassen u. zwar sind das die Rückstandsbildung und die Schmierfähigkeit. Es ist nur je ein Fall bekannt, wobei diese Beanstandungen zum Abbruch eines Vollmotorenlaufes geführt haben. (Abb.1 s.f.S.)

Um nun zu einer graphischen Gegenüberstellung von Einzylinder- auf Vollmotoren-Läufe zu kommen, bin ich folgendermaßen vorgegangen: Ich habe auf der Unterseite des Bildes von verschiedenen Ölen, die durch die Buchstaben A, B, C usw. gekennzeichnet sind, auf der Abszisse die Laufstunden aufgetragen. Dabei habe ich die Öle so angeordnet, daß von links

nach rechts ein Absinken der Laufzeit dargestellt ist. Die Mittellinie zeigt die als allgemein für normal angesehenene Laufzeit von 8 Stunden. Die schraffierten Felder zeigen die Schwankungen bei der Ermittlung der Laufzeit in den einzelnen Untersuchungsfällen.

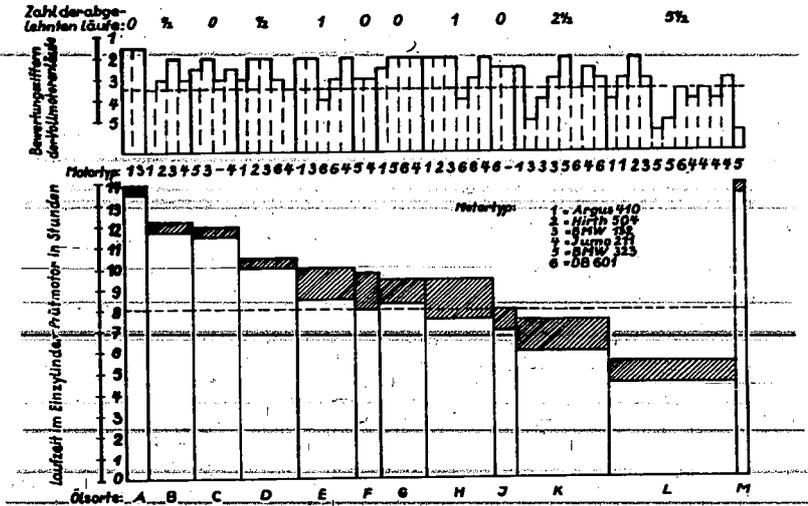


Abb.1: Allgemeine Bewertung

Darüber sehen Sie das Ergebnis der mit den entsprechenden Ölen durchgeführten Vollmotorenläufe. Auf Grund der bei mir vorhandenen Unterlagen, und da ich die Mehrzahl der Läufe selbst gesehen habe, bin ich zu einer zahlenmäßigen Bewertung übergegangen. Die eingezeichnete Mittellinie gibt die Grenze an für die Zulassung eines Vollmotorenlaufes. Alle Läufe, die darüber liegen, wurden einwandfrei zugelassen, alle Läufe, die darunter liegen, mußten abgelehnt werden. Die Zahlen über der oberen Darstellung geben die Anzahl der abgelehnten Läufe an. Die Zahl "½" bedeutet dabei, daß über die Ablehnung oder Zulassung des Laufes keine Einigkeit erzielt werden konnte.

Ich glaube nun, aus der Darstellung erkennen zu dürfen, daß die Tendenz der Versager mit sinkender Laufzeit

wächst. Daß man allerdings die Laufzeit nicht ausschl. zur Bewertung heranziehen darf, zeigt wiederum die Darstellung des Öles M, welches, bei 14 Std. Prüfmotoren-Laufzeit, im Vollmotor nach 35 Stunden völlig versagte. (Abb.2)

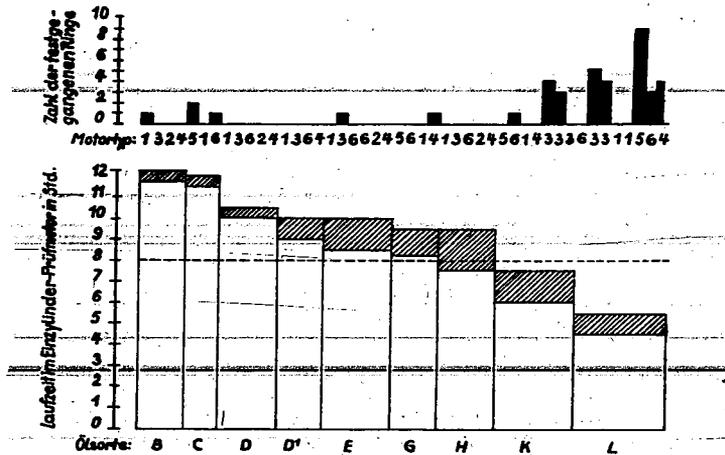


Abb.2: Kolbenringstecken

Im zweiten Bild habe ich im unteren Teil die gleiche Darstellung der Laufzeiten gegeben. Oben sehen Sie für eine große Reihe von Vollmotorenläufen die Anzahl der festgegangenen Ringe. Es ist daraus wieder ganz klar ersichtlich, daß die Anzahl der festen Ringe mit sinkender Laufzeit ansteigt. Man kann ferner darauf erkennen, daß die kritische Laufzeit von 8 Stunden in Beziehung auf das Ringstecken eben doch die unterste Grenze ist. Ferner kann man erkennen, daß die empfindlichsten Motoren in dieser Beziehung die luftgekühlten sind. (Abb.3 s.f.S.)

Um den Einfluß der Laufzeit auf ein bestimmtes Motorenmuster zu erkennen, habe ich hier die Ergebnisse aus Abb.1 für jedes Motorenmuster getrennt herausgezogen. Die Anzahl der Gegenüberstellungen ist jedoch dabei zu gering, um zu einem eindeutigen Ergebnis zu kommen. Ein gewisses Absinken der Bewertungsziffer mit sinkender Laufzeit ist hier jedoch auch zu erkennen, wenn auch nicht mit der Klarheit des

ersten Bildes. (Abb.4)

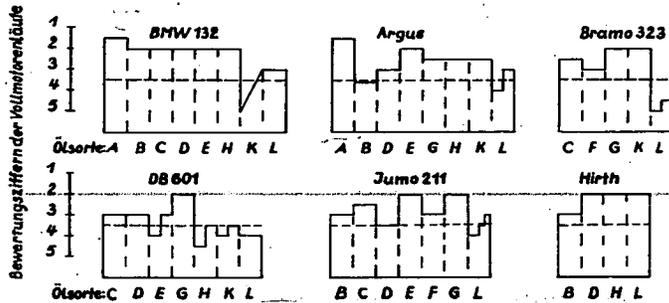


Abb. 3: Einzelbewertung

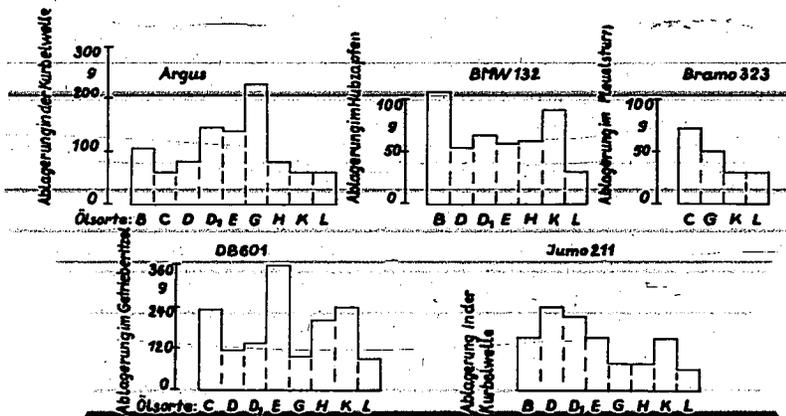


Abb. 4: Verschlämmung

Hier habe ich einmal für verschiedene Öle an den einzelnen Motorentypen die an kritischen Stellen abgesetzten Schlammengen aufgetragen, also z.B. bei Argus in der Kurbelwelle, beim BMW 132 im Hubzapfen usw. Wie erwartet, zeigt sich hier keinerlei Abhängigkeit von der Laufzeit. Auch die Öle untereinander verglichen geben keinen Hinweis auf einen ausgesprochenen Schlammbildner unter ihnen.

000502

- 242 -

Um nun in Zukunft zu einer sicheren Beurteilung der Schmierstoffe lediglich aus den Voruntersuchungen zu kommen, wird es erforderlich sein, vor allem die Zustände in den Vollmotoren einmal genau zu erforschen und zu messen, was leider bis heute durchaus nicht der Fall ist.

Aus dem Gezeigten glaube ich nun ableiten zu können, daß die Gefahr des Ringsteckens und der Ausfall der Vollmotoren aus diesem Grund eindeutig aus der Laufzeit im Einzylindermotor erkannt werden kann. Die Durchführung der Vollmotorenläufe in letzter Zeit haben jedoch gezeigt, daß bei modernen Olen der Ausfall an Motoren durch festgegangene Ringe nicht mehr so im Vordergrund steht, wie andere Schwierigkeiten; diese sind vor allem Verschlammung und Schmierfähigkeit beim Start. Es wird also meines Erachtens in Zukunft die Aufgabe der Forschung sein, Verfahren auszubilden, welche gestatten, auch diese Schwierigkeiten durch eine Vorprüfung zu erkennen. Dieses kann einzeln für sich oder auch gekoppelt mit der bestehenden Einzylindrerprobung geschehen. Z.Zt. sind wir jedoch leider noch weit davon entfernt, die Vollmotorenläufe lediglich durch Voruntersuchungen zu ersetzen.

D i s k u s s i o n .

(1.Tag)

Aussprache nach den Vorträgen von A.v.Philippovich,
Morghen, Gießmann.

Gießmann: v.Philippovich sprach von einer Abdichtung des Kurbelgehäuses zur Messung des Sauerstoffgehaltes. Der Sauerstoff kann in das Kurbelgehäuse durch Atmen des Kolbens gelangen, aber ebenso auch Verbrennungsgas in viel größerer Menge; ohne Abdichtung des Kurbelgehäuses hätte dieses den Sauerstoff wahrscheinlich viel schneller verdrängt. Dafür spricht auch, daß beim Kaltstartverfahren (Benzinzusatz zum Öl) sich nur beim Anlassen des Motors im Kurbelgehäuse ein zündfähiges Gemisch ausbildet, später jedoch nicht mehr, da zu wenig Sauerstoff da ist.

v.Philippovich: Daß während der Verbrennung unverbranntes Gemisch am Kolben vorbeigedrückt wird, ist wohl sicher; auch Williams kommt wegen des verhältnismäßig geringen Verdichtungsdruckes zu dieser Auffassung. Daß auch beim Kaltstart ausser am Anfang keine Eündungen auftraten, dürfte aber kein Nachweis für Sauerstoffmangel, sondern eher für Benzinüberschuss sein.

Glaser: Das Kurbelgehäuse war natürlich nicht vollkommen abgedichtet. Es ist selbstverständlich so, daß die Kurbelgehäusegase abgeleitet und daraus die Analysenproben entnommen werden.

Penzig: wie lange dauerten die Versuche? Wenn das Kurbelgehäuse an einer Stelle offen ist, dann kann Sauerstoff herein, deshalb müssen auch Abgasanalysen 2 bis 3m vom Auspuffstutzen entfernt entnommen werden. Beim Kurbelgehäuse ist die Strömung noch geringer als beim Auspuff, wirkt sich also hier stärker aus.

v.Philippovich: Die Versuche dauerten bis zu 8 Stunden. Im Gegensatz zum Auspuff ist die Strömung im Kurbelgehäuse weniger stark pulsierend; der Sauerstoff gelangt also wohl doch beim Verbrennungshub in das Kurbelgehäuse, sodaß eine Oxydation des Öles an den Kolbenringen selbst in Frage kommt. - Die Vollmotoren müßten in dieser Hinsicht untersucht werden.

Glaser: stimme v.Philippovich zu; wir hatten nie einen negativen Druck; im allgemeinen strömen Gasmengen von 200 bis 1000 Ltr/Std. aus, sodaß nur geringfügige Sauerstoffmengen von aussen hereinkommen können.

Baeder: (zum Vortrag Morghen) Sind auch Versuche mit ihrer Apparatur dahingehend gemacht worden, ob ein Unterschied besteht, wenn man Luft oder Sauerstoff verwendet?

Morghen: Nein! Wir haben die Versuche nur mit Luft und Stickstoff gemacht, mit reinem Sauerstoff nicht.

Müller: Ist bei der Abgasanalyse der CO, CO₂- oder O₂-Gehalt gemessen worden?

v. Philippovich: Es wurde sowohl O als CO₂ und manchmal CO gemessen (teilweise laufend mit einem Mofo-Apparat)

Pongratz: Könnten als Vorstufe der chemischen Veränderung und Alterung primär Isomerisierungen usw. vorausgehen, z. B. die Bildung von sekundären oder tertiären Kohlenstoffatomen? Hat es einen Sinn, daran zu denken, daß dies in der C-Kette auftritt in dem Sinne, daß sich ständig tertiäre und sekundäre Kohlenstoffatome ausbilden, die dann die erhöhte Reaktionsfähigkeit bewirken würden.

Morghen: Man kann sich auch ein Zwischenstadium denken; daß ein tatsächlicher Zerfall bzw. eine Umlagerung bei Flugmotorenölen eintritt, ist nicht gesagt.

Pongratz: Es kann ja ein Zerfall sein, der sofort durch Eingehen der Verknüpfungsstelle stabil gemacht wird. Das wäre durchaus möglich. Man könnte das vielleicht auch so messend verfolgen, daß Viskositätsänderungen bereits nach kurzen Versuchsstadien festgestellt werden.

Morghen: Eine solche Messung bzw. Auswertung eines Öles ist jedenfalls schwierig. Das Ganze ist schon eine etwas zu weitgehende Frage von rein wissenschaftlichem Interesse.

Pongratz: Das wissenschaftliche Interesse ist unter Umständen schon technisch sehr wertvoll.

Morghen: Es wird aber nicht so leicht sein, diese Frage eindeutig zu entscheiden. Das Einzige, was augenblicklich gesagt werden kann, ist, daß die Vorbehandlung des Öles bei gleicher Temperatur unter Stickstoff sich nur unwesentlich auf die folgende eigentliche Alterung auszuwirken braucht, wie im Vortrage gezeigt wurde. Wenn ein Dauerzerfall ohne Rückbildung eintritt, dann kann er also minimal sein.

Baader: (zum Vortrag v. Philippovich) Ist es zulässig, aus einem Sauerstoffgehalt einer koksenthaltenden Ablagerung zu schließen, daß sie durch Oxydation entstanden ist. Sie kennen den Ölprüfapparat von Evers. Es zeigte sich, daß die Öle, die bei der Herstellung oder Vorbehandlung stark mit Sauerstoff oder Luft gerührt oder mit Preßluft zerstäubt waren, eine hohe Sauerstoffaufnahme zeigten, während die nicht in dieser Weise vorbehandelten Öle eine niedrige Sauerstoffaufnahme ergaben. Daraus geht hervor, daß dieser Apparat - (in seinem damaligen Zustand) - tatsächlich den adsorbierten Sauerstoff gemessen hat und nicht den chemisch gebundenen oder die Summe beider. Wäre es nicht ebenso gut möglich, bei einem Rückstand, der wahrscheinlich Koks enthält, dessen starke adsorptive Eigenschaften bekannt sind, den adsorptiv gelösten Sauerstoff zu messen.

v. Philippovich: Dagegen spricht die Zunahme des O-Gehaltes mit der Temperatur, auch sind die aufgenommenen Mengen zu groß für einen rein physikalischen Vorgang. Von den Gasen ist im übrigen CO₂ rund um eine Zehnerpotenz leichter in Öl löslich als Luft oder H₂.

Marder: Ich möchte kurz auf die Frage eingehen, ob bei der thermischen Oxydation von Ölen eine Kohlenwasserstoffumwandlung, z.B. eine Isomerisation, stattfindet, sodaß tertiäre Kohlenstoffe entstehen, die labiler und infolgedessen leichter oxydierbar sind. Die Frage kann mit ziemlicher Sicherheit verneint werden. Es ist von den Spaltreaktionen her bekannt, daß Isomerisationen im allgemeinen nur eintreten, wenn man Katalysatoren benutzt und zwar sind die Katalysatoren, die bei der Ölalterung vorhanden sein können, im allgemeinen keine Isomerisationskatalysatoren, sondern eher Spaltkatalysatoren, wie z.B. das Kupfer. Ich habe z.B. festgestellt, daß bei einem Öl, das bei etwa 200° gealtert wurde, nach einer Oxydationszeit von 100 Stunden eine Säurezahl von 10 gemessen wurde. Bei einer Wiederholung des Versuches unter Zusatz von metallischem Kupfer betrug die Säurezahl nach derselben Alterungszeit nur 0,3. Die Oxydation ist in einer ganz anderen Richtung verlaufen.

v. Philippovich: Wie war die Verseifungszahl?

Marder: Die Verseifungszahl ist nicht gemessen worden. Die Versuche wurden zu anderen Zwecken durchgeführt.

v. Philippovich: Die Säurezahl nimmt ab, weil Seifen entstehen, führt also irre.

Morghen: Es wäre doch einfacher, anzunehmen, daß das Kupfer den Sauerstoff überträgt und einen anderen Oxydationsmechanismus hervorruft. Man kann das also nicht gut als Beispiel für eine Spaltung oder Isomerisierung von KW nehmen!

Marder: Aber es sind Spaltreaktionen bekannt, an denen Sauerstoff gar nicht teilnimmt.

Tramm: Daß Polymerisationsreaktionen gerade im Beginn der Oxydation verlaufen, ist auf Grund unserer Versuche zu verneinen. Bei unseren Alterungsversuchen zeigte sich im Anfang der Alterung die erwähnte Induktionsperiode, während der keine Änderung der Viskosität des Öles eintritt; das würde gegen eine Polymerisation sprechen. Dagegen haben wir in sehr vielen Fällen beobachtet, daß gerade dann Peroxyde auftreten, die bei der Beendigung der Induktionsperiode verschwinden.

Zorn: Zu der Frage der Isomerisierung von Kohlenwasserstoffen auf rein thermischem Wege möchte ich sagen, daß, solange eine gesättigte paraffinische Kette vorliegt, ich nicht glaube, daß sich thermisch das Molekül unterhalb der Temperatur ändert, bei der überhaupt eine Spaltung stattfindet. Dagegen, wenn eine Doppelbindung im Molekül vorhanden ist, bin ich überzeugt, daß dieses Molekül sich unterhalb der Spalttemperatur ändert, denn Doppelbindungen wandern gar zu leicht. Der Einfluß des gelösten Sauerstoffes wird, solange wir mit natürlichen Kohlenwasserstoffgemischen arbeiten, außerordentlich verschieden sein (Naphthene, Paraffine).

Spengler: Hat man Versuche mit reinen Kohlenwasserstoffen, mit reinen Paraffinen durchgeführt? Es gibt so viele Überlagerungsreaktionen, daß es richtiger wäre, wenn man reine Paraffine usw. untersuchte.

Morphen: Wir haben die verschiedensten Öle, synthetische und mineralische Flugmotorenöle, genommen, und wir haben bei allen Ölen praktisch die gleichen Sauerstoffbindungstypen bekommen.

Spengler: Man kann trotzdem nicht mit Sicherheit schließen, woraus sie entstanden sind.

Morphen: Der erste Schritt ist, zu sehen, was sich überhaupt für Sauerstoffbindungsformen bilden. An den Gruppen können wir dann sehen, auf welche Modellsubstanzen wir zurückgreifen können.

Karder: Es ist sicherlich zuzugeben, daß bei einer thermischen Oxydation unter Umständen Verlagerungen von Doppelbindungen stattfinden können, denn wie Dr. Zorn richtig sagte, ist die Verlagerung von Doppelbindungen besonders leicht. Aber eine Isomerisation in der Weise, daß aus sekundären Kohlenstoffatomen tertiäre Kohlenstoffatome werden, tritt bei einer solchen Oxydation nicht ohne weiteres ein.

Morphen: Ein System, das aus mehreren Doppelbindungen besteht, befindet sich im mesomeren Zustände. Es gibt da entsprechend dem jeweiligen Energieniveau alle möglichen Gleichgewichtszustände. In welchem momentanen Gleichgewichtszustand es gerade reagiert, ist eine andere Frage. Ein Grenzzustand ist bei effektiver Verlagerung gegeben. Aber wenn wir vorher irgendwo eine Doppelbindung nicht nachweisen können, wissen wir nicht ohne weiteres, ob sie nicht doch bei der Reaktion in Erscheinung treten wird.

Baader: Ich muß bestätigen, daß Katalysatoren den Alterungsvorgang qualitativ und quantitativ ändern können und zwar Kupfer weniger als Blei. Oft findet man, daß die Säurezahl gesunken und die Verseifungszahl (VZ) gestiegen ist, seltener sinken beide Werte. Dabei scheint es nicht auf die Art des verwendeten Bleies anzukommen. Mir ist eine Arbeit bekannt, wonach im Gegensatz zum Vortragenden (v. Philippovich) das Aluminium einen sehr starken Einfluß ausgeübt hat. Es dürfte sich jedoch da um verunreinigtes Aluminium gehandelt haben. Es ist unheimlich, wie die Reinheit der Metalle hier eingeht. Ich habe die größten Schwierigkeiten gehabt, ein geeignetes Kupfer für meinen Apparat zu finden, und seit längerer Zeit kann das Kupfer überhaupt nicht mehr hergestellt werden. Es muß heute mit dem alten Draht gearbeitet werden, der einem bestimmten Reinigungsverfahren unterworfen wird.

Diese Zusammenhänge zeigen ganz klar, daß man nicht generell von der Wirkung eines Metalles sprechen kann, sondern daß auch die Beschaffenheit des Metalles in Rechnung gestellt werden muß.

v. Philippovich: Sicherlich muß bei Verwendung von Katalysatoren die Oberfläche und Reinheit möglichst genau festgelegt werden. - Aluminium ohne Angabe der Reinheit erwies sich bisher als inaktiv.

Seemann: Kann durch Verwendung von verschiedenen Treibstoffen nicht mehr Klarheit gebracht werden? Ich denke z. B. an

den Einfluß von Alkohol und unsere Versuche mit Sauggas. Da hatten wir entgegen den sonstigen Befunden eine Neutralisationszahl von 0,8 bei einer Verseifungszahl von 5 und zum Teil noch höher gefunden. Es wäre denkbar, daß man so irgendwie die Alterungsreaktion klären könnte.

v. Philippovich: Man kann wohl von der Verwendung verschiedener Kraftstoffe interessante Ergebnisse erwarten, muß aber bedenken, daß man dabei nicht nur die Kraftstoffe, sondern auch Temperaturen usw. verändert, sodaß die Vorgänge vielleicht verschleiert werden. Genaue Kontrolle des Motors, wie z.B. durch Kolbentemperaturmessung ist dazu erforderlich.

Schick: Ich begrüße die Anregung von Seemann. Wenn man schon den Alterungsvorgang wissenschaftlich verfolgt, dann müßte man auch den Einfluß von Oxydationsprodukten vom Brennstoff auf den Alterungsvorgang verfolgen.

Wenn man sich die Mühe macht, eine Art Sauerstoffbilanz bei der Verbrennung mit irgendeiner der gasanalytischen Methoden aufzustellen, dann wird man meist feststellen, daß sie nicht stimmt. Das erklärt sich zum Teil dadurch, daß man als Endverbrennungsprodukt nicht immer Kohlensäure bekommt, sondern auch andere, nicht gasförmige Oxydationsprodukte übrig bleiben. Ich vermute, daß auch eine Reihe der sogenannten Abgasanalysen unter diesem Mangel leidet. In den Verbrennungsgasen können Sauerstoffverbindungen auftreten, die einen Einfluß auf den Alterungsvorgang haben.

v. Philippovich: Kraftstoffeinflüsse sollen heute nicht eingehender besprochen werden. Infolge der guten Gemischeinregulierung des Flugmotors kommt ein nennenswerter Betrag an O-Verbindungen im Auspuffgas nicht in Frage, der Verbrauch stiege ja dann schon unzuverlässig an.

Müller: v. Philippovich sagte zu seinem Vortrag, daß beim Flugmotor kaum eine Lackbildung auftritt. Ich möchte da auf das Gebiet des Dieselmotors hinweisen, wo wir eine starke Lackbildung haben und wo wir eigentlich sehr schön den Temperatureinfluß sehen können. Bei einer Temperatur von 180 bis 200 tritt am Kolbenmaterial eine Lackbildung auf. Bei Temperaturen unter 170 wurden nur schmierige, zähe Massen ermittelt. Die Laboratoriumsversuche haben sehr schön mit der Praxis übereingestimmt. Wir konnten die Kolbentemperaturen ungefähr feststellen und haben auch gesehen, daß bei dickeren Kolbenplatten die Lackschicht nach oben wandert.

v. Philippovich: Für den Dieselmotor trifft dies natürlich zu, an den ich vorhin nicht dachte. Die Veränderung des Gesamtaufbaues des Öles bei der Cracking müßte durch Fraktionierung und Bestimmung des Molekulargewichtes verfolgt werden, um zu sehen, ob man nicht auch noch größere Moleküle erhält als ursprünglich vorgesehen waren.

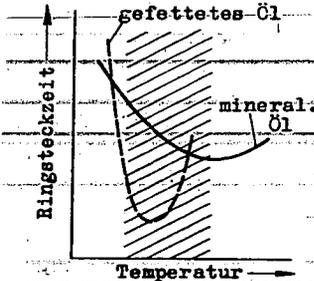
v. Philippovich (zum Vortrag Gießmann): Der Vortrag brachte eine große Menge sachlicher Unterlagen für Gebiete, auf denen bisher nur wenig bekannt war, z.B. die stärkere Verände-

... rung des nur einmal aufgefüllten Öles als der 8fters nachgefüllten Öle. War hierbei der Tankinhalt vergrößert worden? Und wurde die Verkokungszahl gemessen? Bei Nachfüllung kommen immer neue Inhibitoren ins Öl, die bei einmaliger Füllung verbraucht werden. Die leichte Verbrennlichkeit des gefetteten Öles wirkt sich beim Dieselmotor günstig aus und überdeckt die Oxydationsneigung, die sich beim Otto-Motor auswirkt. Die Schlammfassung beim DB 600 E durch Auszentrifugieren weist eine Möglichkeit (Einbau eines Schleuderelementes), doch wäre die Zusammensetzung des Schlammes auch noch zu bestimmen, das wäre sogar sehr wichtig. Anwendung magnetischer Füllung wäre zu erwägen.

Gießmann: Es wurde immer dieselbe Ölmenge verwendet. Die Viskosität und die Verseifungszahl stiegen ohne Nachfüllung immer steiler an, während sie sich mit Ölnachfüllung einem Grenzwert näherten.

Glaser: Die Frage, weshalb gefettete Öle unter Umständen in Flugmotoren anders bewertet werden als bei Automotoren möchte ich folgendermaßen erklären:

Bei früheren Versuchen, bei denen die Ringsteckzeit in Abhängigkeit von der Temperatur untersucht wurde, konnten folgende Kurven gefunden werden (s. Abb.): Für ein gefettetes Öl hatten wir also eine wesentlich steilere Abhängigkeitskurve gefunden als für ein mineralisches Öl. Die Flugmotoren arbeiten anscheinend in dem schraffierten Gebiet. Hier sind also tatsächlich die gefetteten Öle wesentlich schlechter als etwa Rotring oder Grünring. Man sieht, daß das gefettete Öl im niedrigeren Temperaturgebiet viel steiler ansteigt, also auch längere Laufzeiten als das Mineralöl ergibt.



Im Dieselmotor dichten die Feuerringe besser ab und bringen eine bessere Wärmeableitung. Daher ist alles, was unterhalb der Feuerringe liegt, thermisch weniger beansprucht. Folglich müßte ein gefettetes Öl auch längere Laufzeiten als ein mineralisches haben. Andererseits sind dort aber die Spiele sehr fein, sodaß Abrieb und Reibung eine größere Rolle spielen. Ein gefettetes Öl muß daher auch eine geringe Temperatur ergeben, weil die durch Reibung erzeugte Wärme wegen seiner besseren Schmierfähigkeit nicht so groß ist als bei mineralischen Ölen.

v. Philippovich: Livingstone und Gruse sind bisher die einzigen, die für die Laufzeit bis zum Ringstecken Maxima fanden, die sie allerdings auf eine andere Art der Ölkohle zurückführen. Sonst steht die DVL mit ihrem Befund bisher ziemlich allein.

Baader: Sind die Untersuchungen an dem im Motor gelaufenen Öl gemacht worden oder mit Frischöl?

Gießmann: Normalerweise war es Öl aus dem Motor; nur bei der letzten Kurve nicht.

Baader: Das ist wesentlich für die Beurteilung der ganzen Sachlage. Asche und Dichte geben keinen Hinweis auf die Alterung, weil ihre Änderungen zu klein sind und bei der Asche auch mechanische Verunreinigungen erfaßt werden. Wichtig ist die Viskosität, die im allgemeinen zunimmt. Was die Einwirkung von Wasser auf die Schlammausfällung anbelangt, ist die Frage, ob es nur gelöste Alterungsprodukte ausfällt oder auch die Bildung der Alterungsprodukte beschleunigt.

Der Schlamm selbst müßte untersucht werden. Er besteht aus verhältnismäßig einfach voneinander zu trennenden Bestandteilen: Öl, Koks, Ruß, dann Ölalterungsprodukte, mechanische Verunreinigungen usw. (Metallseife u. Metallabrieb). Benzin wird mit Öl gelöst. Ölalterungsprodukte sind in der Regel mit Benzol, evtl. unter Anwendung von Chloroform abzutrennen. Mechanische Verunreinigungen bleiben übrig und können unter Umständen mikroskopisch geteilt werden. Koks und Ruß verursachen besonders große Schwierigkeiten.

Wir untersuchen zunächst den Schlamm, nachdem er vom Öl befreit ist, mikroskopisch. Dann untersuchen wir noch mit der Ultra Lichtpunktlampe von Heraeus. Den Rest versuchen wir durch Schwemmen in organischen Lösungsmitteln zu trennen. Beim Ruß haben wir es ja mit hochpolymeren Kohlenwasserstoffen zu tun, die sich vielleicht anders verhalten als Koks. Nachteilig ist nur, daß Koks und Ruß aneinander kleben und deshalb Schwierigkeiten ergeben.

Was die Kurven anbelangt, so glaube ich, daß das Bild nicht vollständig ist; denn in 90 Std. kann die Kurve ihren Endverlauf noch nicht zeigen.

Gießmann: Schon 100 Stunden des Musterprüfprogrammes haben erheblichen Kummer bereitet, sodaß längere Zeiten nicht in Frage kommen.

Krienke: Sind die Überholungszeiten und die Ölerneuerungszeiten zahlenmäßig festgelegt?

Gießmann: Die Vorschrift des RLM lautet, daß ein Ölwechsel grundsätzlich erst nach 100 Stunden vorzunehmen ist, falls nicht bei neuen Motoren das Öl früher versagt. Man kann sämtliche Öle verwenden, die heute grundsätzlich zugelassen sind.

Baader: Sie haben in Abhängigkeit von verschiedenen Treibstoffen die Rückstände gemessen.

Nun ist es möglich, daß die Kraftstoffe eine verschiedene Temperatur an jenen Stellen ergeben, an denen die Rückstandsmengen gemessen wurden, die also nicht durch den anderen Kraftstoff, sondern durch die andere Temperatur bedingt sein können.

Gießmann: Die Temperaturen wurden auch gemessen. Aber sie waren nicht so unterschiedlich.

Glaser: Gießmann hat auf dem letzten Bild zu zeigen versucht, daß die Fliegerbenzine sich besser verhalten als die Aromaten. Frühere Versuche in der DVL haben eine Gleichwertigkeit gezeigt: Reine, besonders von ungesättigten Kohlenwasserstoffen freie Aromaten ergaben die gleichen Laufzeiten wie das Fliegerbenzin A 2. Auf der Tabelle sind wohl ge-

gewichtsmaßig bestimmte Werte angegeben, bei denen der Bleigehalt eine Rolle spielt. Wenn man ihn ausschaltet, wird man sicher auf die gleichen Werte kommen.

Gießmann: Das Beispiel ist hauptsächlich auf den Bleigehalt zurückzuführen. Ich wollte damit ein extremes Beispiel nennen.

Leuer: Wie verhalten sich die Gesamtölmengen zum Schluß, wenn Sie mit Ergänzung fahren und wenn Sie die Ölmengen ohne Ergänzung ganz aufarbeiten?

Gießmann: Wir fahren auf etwa $\frac{1}{3}$ der ursprünglichen Menge herunter. Den Einfluß haben wir noch nicht festgestellt.

Penzig: Ich will noch einmal darauf zurückkommen, daß die Aromaten kürzere Laufzeiten ergeben sollen. Wir haben das aber bei unseren Versuchen nicht gefunden, obwohl es immer wieder behauptet wird. Wo sind die Unterlagen dazu?

Gießmann: Die einzigen Unterlagen, die ich habe, sind vom Einzylindermotor 132. Ich habe gesagt, daß die Unterschiede nicht groß sind, etwa eine halbe Stunde. Ich stimme Ihnen darin bei, daß wir in der Praxis keinen Fall kennen, in dem aromatische Kraftstoffe besonders große Schwierigkeiten ergeben hätten.

Noack: Wir haben Versuche mit aromatischen Kraftstoffen gemacht und hatten zunächst Mißerfolge und Kolbenringfestgehen. Wir haben dann die mittlere Brennraumtemperatur bei normalem Betrieb gegenüber aromatischen Kraftstoffen gemessen und festgestellt, daß bei gleichen Motorbedingungen eine Erhöhung der mittleren Brennraumtemperatur bei aromatischen Kraftstoffen vorhanden ist. Es gibt Motoren, bei denen eine verhältnismäßig geringfügige Erhöhung der mittleren Brennraumtemperatur bereits dazu führt, daß das Kolbenringstecken einsetzt. Andere Motoren vertragen diese Veränderung noch. Dadurch entsteht die Verschiedenheit der Auffassungen. Außerdem haben wir durch Veränderung der Motorbedingungen, bei gleicher Leistung die Betriebszustände so ausgewählt, daß die mittlere Brennraumtemperatur die gleiche war und haben dann im Vollmotor bewiesen, daß kein Kolbenringstecken mehr vorkam.

So gehen wir bei der Bewertung neuer Kraftstoffe von vornherein derart vor, daß wir von einem bekannten Kraftstoff ausgehen und versuchen, die richtigen Betriebsbedingungen dafür zu bekommen, insbesondere im Hinblick auf die mittlere Brennraumtemperatur.

v. Philippovich: Die mittlere Betriebstemperatur der Motoren ist von den Amerikanern auch weitgehend als Maßstab der Kraftstoffbewertung verwendet worden.

Aussprache nach dem Vortrag von E. Tramm.

v. Philippovich: Sinn der Tagung ist eine gewisse Einigung über die "zulässigen" Alterungsverfahren und die einzuhaltenen Bedingungen. Dabei wäre als Alterung nur die thermisch-oxydative Veränderung des Öles (Einwirkung von Katalysatoren inbegriffen) zu bezeichnen, die Veränderung des Öles im Motor dagegen nicht als Alterung, sondern eben als Veränderung aufzufassen, weil dabei Ruß, Betriebsstoff, Verbrennungswasser, Abrieb usw. zufällig mit hineinkommen; Alterung im Motor wäre wiederum nur die dabei auftretende thermisch-oxydative Veränderung. Übereinstimmung zwischen Motor- und Laborversuch wäre demnach dann zu erwarten, wenn auch im Motor vor allem eine Alterung, nicht aber eine komplexe Veränderung erfolgt. Zu einem gewissen Grade trifft dies zu für Indiana-Test und Air Ministry-Test und Ölverhalten im Dieselmotor. Bessere Erfassung des praktisch bedeutungsvollen "Asphaltes" nach Tramm erweckt ebenfalls gewisse Hoffnungen.

Badler: ~~Man sollte als "Alterung" allgemein die Summe aller Vorgänge bezeichnen, so wie es auf anderen Gebieten üblich ist. Das andere ist Oxydation oder chemische Beständigkeit.~~

Seeles: Ich bin der Meinung, daß die Alterung so aufzufassen ist, wie sie Dr. v. Philippovich definiert hat. Kohlebildung, Staub oder Metallabrieb im Verbrennungsmotor sind nicht als Alterungsstoff zu bezeichnen.

Schick: Was will man in der Praxis erreichen, wenn man die Forderung stellt, daß das Öl nicht altern soll? Soll das Öl nicht korrodieren, thermisch beständig bleiben, keinen Ruß bzw. Koks oder kein Ringstecken geben?

Velde: Wir müssen uns darüber klar sein, was wir bei diesen Alterungsprüfungen aussagen wollen. Wollen wir die Veränderung des Öles im Motor in den Laboratoriumsversuchen nachahmen, beispielsweise die Veränderung der NZ, VZ, der Viskosität usw.? Oder wollen wir die Veränderungen, die durch diese Eigenschaften des Öles im Motor hervorgerufen werden, mit der Laborprüfung erfassen, also beispielsweise das Ringstecken? Das sind zwei Dinge, die meines Erachtens nichts miteinander zu tun haben.

v. Philippovich: Man sollte im Laboratorium nur eine Alterung zu erreichen versuchen, nicht aber ein komplexes Motorverhalten nachahmen, das stets nur für bestimmte Fälle zutrifft. Bei Kenntnis der Motorbedingungen könnte man dann zur Beurteilung der Öle die jeweils in Frage kommenden Punkte des Alterungsdiagrammes wählen.

Seeles: Man müßte dann feststellen können, welche Alterungsstoffe bei einer Alterung im Motor entstehen und wie man laboratoriumsmäßig diese selben chemischen Individuen erzeugen kann. Ich glaube aber, daß wir diesen Weg auf absehbare Zeit nicht beschreiten können.

v. Philippovich: Die Ölcharakteristik in der Weise, wie sie Dr. Morghen begonnen hat, dürfte rein chemisch Erfolg versprechen; bisher konnte nach 23 Stunden so laboratoriums-mäßig eine ähnliche Ölalterung erzielt werden, wie im Motor nach 11 Stunden.

Schick: Ich möchte vom Standpunkt derjenigen Kreise sprechen, die sich mit Normen, Lieferbedingungen usw. zu befassen haben. Ich glaube, auf allen Gebieten, wo ein chemischer oder physikalischer Vorgang nicht voll erfaßt werden kann, ist die einzige mögliche Richtung die eines Anwendungstestes. Ich mache einen Unterschied zwischen Eigenschafts- und Anwendungstesten. Im vorliegenden Falle kommt es im Augenblick weniger auf den Eigenschaftstest an, d.h. die Erforschung des Alterungsvorganges - obwohl auch dies von großer Bedeutung ist - als auf den Anwendungstest, nämlich die Messung der Menge abgeschiedener fester Substanz.

v. Philippovich: Die Unterscheidung zwischen Anwendungstest und Eigenschaftstest ist sehr zweckmäßig, leider ist aber der beim Schmieröl einzig brauchbare Anwendungstest (Ringsteckzeit) im Motor nicht ohne weiteres auf andere Motoren übertragbar, sodaß man eine grundsätzliche Charakteristik erstreben muß, die auf die vielen Fälle der Praxis anwendbar ist.

Schick: Die Anwendung analytischer Verfahren kann irreführend sein, wie der Vortrag von Dr. Tramm betr. der Asphaltbestimmung zeigt. Einen absoluten Asphaltgehalt gibt es ja nicht, schon das Öl ist für das Maß des Anfalles an Asphalt von großem Einfluß.

v. Philippovich: Wenn wir einen komplexen Anwendungstest im Labor nehmen, müssen wir sämtliche praktischen Verhältnisse nachahmen, d.h. alle im Ölumlaufl herrschenden Temperaturen berücksichtigen, und dies wieder in dem zeitlichen und mengenmäßigen Verhältnis des Motors, sodaß man auch den Motor physikalisch und chemisch genau kennen muß, um richtige Bedingungen zu wählen.

Als Maß der Alterung kann man die Zeit nehmen, innerhalb derer eine bestimmte Menge Asphalt entsteht, die Temperatur, bei der eine bestimmte Menge innerhalb gegebener Zeit entsteht oder die Menge Asphalt, die bei bestimmten Zeiten und Temperaturen auftritt. Für das Kurbelgehäuse ist wohl die Zeit am brauchbarsten, für den Verbrennungsraum die Temperaturcharakteristik als Bewertungsmaßstab.

Müller: Zur Arbeit von Tramm wäre noch zu sagen: Der Wassergehalt des Kryoliths spielt eine Rolle, ebenso wie die Gesetze der Absorptionsanalyse. Diese Frage muß noch forschungsmäßig geklärt werden, wenn wir die Asphaltbestimmung zur Untersuchung heranziehen wollen.

Morghen: Zu der Bezeichnung "Alterung" möchte ich noch sagen: Wir wollen im Labor einen Anhaltspunkt für das motorische Verhalten bekommen, wir altern. Warum soll man die-

sen Begriff nicht aus dem Motor herauschälen und für sich betrachten? Beim Motor kommt noch einiges hinzu - was und wieviel wissen wir nicht genau. Wir wollen versuchen, es herauszubekommen. Wir müssen trachten, nach Möglichkeit bei der chemischen Charakteristik der Öle zu Werten zu kommen, die Absolutwerte sind. Man soll nicht bei rein empirischen Auffassungen stehen bleiben, sondern versuchen, etwas zu finden, was mehr aussagt.

Tremm: Bei der Alterung muß man unterscheiden zwischen der Induktionsperiode und der Periode der eigentlichen Alterung. Wir haben eine besondere Alterungsmethode entwickelt, wobei wir den ganzen Alterungsverlauf aufnehmen. Es kommt darauf an, ob im Motor solche Bedingungen sind, daß die Induktionsperiode einmal überschritten wird. Von zwei Ölen, die sich sonst ziemlich gleich verhalten, hatte das eine Öl eine etwas andere Alterungskurve, und es gelangt bei längerer Prüfdauer in den steil aufsteigenden Ast der Alterungskurve hinein. Wenn es nur ganz kurze Zeit in dem steil aufsteigenden Ast gewesen ist, wirkt es sich so aus, als wenn es 100 Stunden lang in dem langsam aufsteigenden Ast gewesen wäre und das kann ein entscheidend anderes Bild geben als bei der kurzen Versuchsdauer.

Schick: Ich glaube, es laufen drei Fragen in der Diskussion nebeneinander. Die eine Frage betrifft die Forschung. Ich könnte mir vorstellen, daß man eine irgendwie gewählte Asphalt- und Harzbestimmung als vollkommen charakteristisches Maß für das feststellt, was an störenden Ausscheidungen im Motor stattfindet. Insofern ist die Forschung nach dieser Seite sehr berechtigt.

Die zweite Frage betrifft den Anwendungstest. Hierbei ist noch die Frage zu klären, welche Abscheidungen störend sind und wie man sie erfassen kann.

Nun die dritte Frage. Wie finde ich einen Weg, um im Laboratorium die Bedingungen zu schaffen, damit die im Laboratorium gemessenen Vorgänge dem praktischen Motorvorgang angepaßt werden?

Ich glaube, wenn man diese drei Fragen im Auge behält, wird man in der Diskussion bei der Entwicklung der Methoden auch zu einem Resultat kommen.

Ich möchte noch auf den grundsätzlichen Unterschied hinweisen, das beim Laborverfahren das gesamte Öl einer relativ hohen Beanspruchung unterworfen wird, während im Motor nur ein Teil des Öles sich an der Front befindet und der größte Teil des Öles in der Etappe der Wanne. Ich sehe darin durchaus eine Erklärung für die vorhingemachte Bemerkung, daß man im allgemeinen ein Öl, das künstlich gealtert ist, nicht mehr regenerieren kann; denn ein Teil dieser Vorgänge - wenn nicht der grundlegende - ist kolloidchemisch und es kommt auf den Lösungszustand der durch die Alterung sich allmählich abscheidenden Anteile an.

Morghen: Wenn man das thermisch-oxydative Verhalten genauer erfaßt, so wird man auch ungefähr sagen können, unter welchen Bedingungen das Öl im Motor beansprucht wurde. So einfach ist es allerdings nicht, weil im Motor das Öl verschiedenen Temperaturen unterworfen ist.

Aussprache nach dem Vortrag Glaser, Lauer.

v. Philippovich: Um zu dem Ringstecken eine Laboratoriumsprüfung in Beziehung zu setzen, müssen wir wissen, ob es überhaupt ein einheitlicher Vorgang ist.

Glaser: Die Feststellung von Herrn Lauer, daß beim Einspritzbetrieb die Temperaturabhängigkeit viel flacher verläuft als beim Vergaserbetrieb läßt sich vielleicht folgendermaßen erklären: Bei der I.G. liegt die Richttemperatur im Scheitel des Zylinderkopfes. Selbstverständlich gibt diese Meßstelle umso besser die Temperatur, die im Motor herrscht, wieder, je mehr irgendwelche Temperaturänderungen in dem Scheitel liegen. Beim Einspritzen wird der Kolben ganz anders als bei Vergaserbetrieb gekühlt, da der Kraftstoffnebel auf den Kolben spritzt. Dies wird dadurch bewiesen, daß Herr Lauer beim Vergaserbetrieb mit höherem Kraftstoffverbrauch tatsächlich auch eine flachere Abhängigkeit gefunden hat. Dieser Einfluß wird wohl mit der Kolbentemperaturmessung besser erfaßt werden können.

Die Feststellung von Herrn Lauer, daß das Kolbenspiel keinen Einfluß hat, bezieht sich sicherlich nur auf die zulässigen Grenzen. Frühere Versuche der DVL, bei denen das Kolbenspiel auf einen Mittelwert von etwa 1,2mm gebracht wurde, zeigten nämlich eine beträchtliche Laufzeitenkürzung, weil nicht mehr genügend Wärme an die Zylinderwand abgegeben wird.

Lauer: Ist das Kolbentemperaturmeßgerät beim BMW 132 betriebs-
sicher?

Glaser: Beim kleinen Motor ist es absolut betriebssicher. Es wurden Laufzeiten - natürlich mit Unterbrechungen - von 40 bis 60 Stunden erreicht. In dem BMW 132 habe ich die neue Ausführung mit der eingelegten Schiene bisher nur kurz ausprobiert. Ich hoffe aber, auch hier nunmehr Betriebszeiten von mindestens 20 Stunden zu erreichen.

v. Philippovich: Weil der Motorzustand die Ergebnisse stark beeinflusst, muß man ihn entweder durch Verwendung eines Bezugsöles ausschalten oder durch bessere Überwachung konstant halten, wie es Dipl.-Ing. Glaser zeigte.

Glaser: Bei Versuchen am NSU-Motor hat sich bisher mit ein und demselben Kolben eine gute Reproduzierbarkeit gezeigt. Trotz verschiedener Zylinderwandtemperaturen unterschieden

sich die Laufzeiten bei gleichen Kolbentemperaturen nur um etwa 12 Minuten.

Schaub: Das würde bedeuten, daß wir auf diese Weise einen Fortschritt erzielen? Ich frage deshalb, weil wir auch schon solche Kolbentemperaturmessungen an einem kleineren Triumph-Motor vorgenommen haben. Wir hatten Kolbenfressen untersucht und haben dabei festgestellt, daß man sich auch auf diese Messungen nicht 100%ig verlassen kann. Wir haben den Eindruck, daß eine solche Vorrichtung für die Temperaturmessung des Kolbens auch als Ölprüfleinrichtung, also zur Schmierfähigkeitsprüfung benutzt werden kann, und zwar ist die Meßhöhe im wesentlichen davon abhängig, wie stark die Abnutzung der Kontakte ist. Wir haben das auch an Modellen festgestellt, die wir außerhalb der Maschine beobachtet haben.

Glaser: Deshalb komme ich heute erst mit dieser Sache, obwohl ich schon vor 1 1/2 Jahren damit begonnen habe. Auch wir hatten anfangs diese Schwierigkeiten. Störende Thermokräfte mußten beseitigt werden und außerdem fiel der Anpreßdruck der Feder sehr schnell ab, sodaß sogar ein Instrument, das 1/100 mV noch anzeigte, nicht mehr ausreichte, um den Strom Null genau einzustellen.

Ende der Diskussion am 1.Tag der Tagung.

D i s k u s s i o n.
(2.Tag)

Aussprache nach den Vorträgen von Halder, Schaub, Wenzel.

Wenzel: Ich möchte ein Diagramm aufzeichnen, das den Zusammenhang zwischen dem Kolbenringverkleben und der Betriebstemperatur m. E. recht anschaulich darstellt (Abb.1). Das Kolbenringverkleben ist doch praktisch nichts anderes als die Folgeerscheinung eines gestörten Gleichgewichtszustandes zwischen Rückstands-bildung und Rückstands-beseitigung. Wenn ich auf der Abszissenachse die Betriebstemperaturen und auf der Ordinatenachse die gebildeten Rückstandsmengen auftrage, so erhalte ich ungefähr die Kurve a. Die Rückstands-beseitigung erfolgt einmal durch Spülung und dann durch Abbrand. Die Rückstands-beseitigung durch Spülung hätte vielleicht den Verlauf des Linienzuges b. Trage ich auf diese Kurve additiv die Rückstands-beseitigung durch Abbrand auf, so erhalte ich etwa die Kurve c. Zwischen den Kurven a und c liegt dann das Gebiet, in dem Kolbenringverkleben durch Rückstands-bildung bei einer bestimmten Betriebstemperatur zu erwarten ist.

Ich habe die beiden Kurven gestrichelt gezeichnet, weil es noch kein Öl gibt, das sich an diese Darstellung hält.

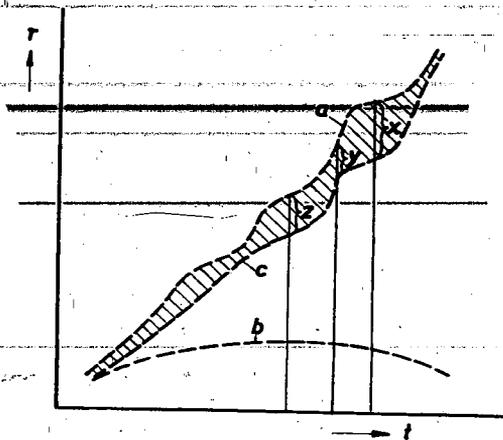


Abb.1: Rückstandsmenge in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur.

Wir haben für die Rückstandsbildung einige Werte gefunden, die ich einzeichnen möchte. Für die Rückstands-beseitigung haben wir noch keine Werte erhalten; ich nehme an, daß sie ungefähr entsprechend liegen werden. Wenn ich bei einer bestimmten Betriebstemperatur eine senkrechte Linie ziehe, habe ich einmal die Rückstandsmenge x und bei einer anderen Betriebstemperatur, die niedriger ist, habe ich diese Rückstandsmenge y oder z . Das erklärt nach meiner Auffassung, warum ich bei niedriger Temperatur oft zu schnellerem Kolbenringverkleben komme als bei höherer Temperatur. Ich glaube das auch beweisen zu können durch die Kurven, die uns Herr Glaser zeigte, die besonders beim BMW-Motor sehr steil verlaufen. Ich habe sie zwar nicht so steil, aber in der Tendenz genau so gefunden.

Für Forschungszwecke ist der Motor weniger geeignet. Er ist hauptsächlich geeignet, eine laufende Produktion zu überwachen.

Inzwischen sind weit über 100 Versuche durchgeführt worden; der Motor hat sich dabei recht gut bewährt.

v. Philippovich (zum Vortrag Lauer): Die Unterschiede in den Ergebnissen der einzelnen Prüfläufe (mit gleichen Kolben und Zylindern waren sie übrigens nicht so groß) könnten vielleicht doch mit der Umdrehung-zusammenhängen, wenn die gezeigte "Sindrose" auch nicht sehr klar ist; bei Berücksichtigung der übrigen Wetterverhältnisse erscheint aber dieser Zusammenhang interessant, besonders was die chemische Zusammensetzung der Luft anbelangt. Was die Einzylinderprüfung betrifft, ist es notwendig, dafür zu sorgen, daß nicht viel Arbeit in einen Motor gesteckt wird, der später nicht mehr gebaut wird.

Glaser (zum Vortrag Wenzel): Wir haben früher festgestellt, daß der Einfluß des Bleies auf das Ringstecken nicht so groß ist, wie es Herr Wenzel beobachtet hat. Da der Zweitakter mit Gemisch arbeitet, enthält das Öl unter Umständen in den Schmierflächen noch etwas Blei, sodaß es sich hier viel stärker auswirkt als beim Viertakter.

Giesmann: Ich glaube, es ist gut, wenn wir uns überlegen, warum wir zum BMW 132 A-Motor gekommen sind. Für die Wahl des 132 A-Zylinders sprach, daß dieser besonders empfindlich ist, und daß wir mit diesem Motor die Temperaturabhängigkeit an Schmieröl besonders gut messen können. Ich glaube, daß die Tendenz, beim Prüfmotor auf den flüssigkeitsgekühlten Motor überzugehen, absolut richtig ist, und daß das auch die Ansicht der Luftwaffenstellen sein wird. Deshalb ist es begrüßenswert, daß gerade bei einem Motor, der für serienmäßige Lieferungen in Frage kommt wie der I.G.-Motor, dieses Verfahren weiter ausgebaut wird und man würde dann auch die Möglichkeit haben, von dem Einzylinderverfahren wegzukommen. Ich möchte allerdings noch darauf hinweisen, daß die mechanischen Mängel, die beim I.G.-Prüfmotor bestehen, beseitigt werden müssen, vielleicht indem man den Motor verstärkt.

+) der DVL

Kriechen: Eine gute Reproduzierbarkeit bei Schmierölprüfungen durch Ringsteckläufe ist nur dann zu erwarten, wenn von Lauf zu Lauf die Menge des an die Kolbenringpartien gelangenden Schmieröles und die an dem Kolben vorbei ins Kurbelgehäuse gelangenden Gasmengen gleich groß sind. Hierfür kommen als Meßgrößen der mittlere Ölverbrauch und die mittlere Gasdurchtrittsmenge in Frage.

Bei Versuchen, welche die Abhängigkeit dieser Größen von den Eigenschaften verschiedenster Schmieröle klären sollten, ergaben jedoch die Kontrollläufe mit dem Bezugsöl, daß auch bei Verwendung ein und desselben Öles gleiche Verhältnisse von Lauf zu Lauf nicht zu erreichen sind. Wie die **Abb. 1 und 2** zeigen, - jeder dritte oder vierte Lauf wurde mit dem Bezugsöl durchgeführt - ist der Ölverbrauch in erster Linie eine Funktion des Motorzustandes und zwar nimmt er mit laufender Abnutzung zu.

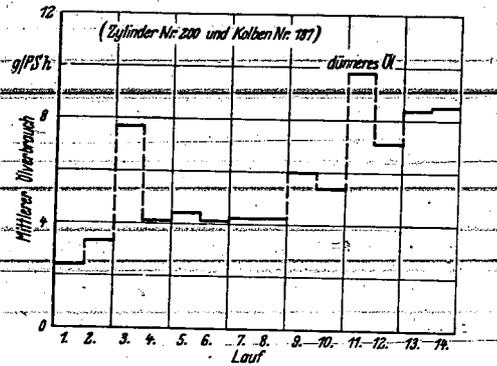


Abb. 1: Ölverbrauchsmessungen

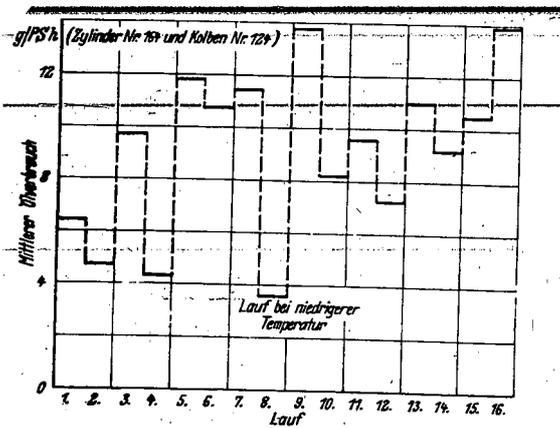


Abb. 2: Ölverbrauchsmessungen

Die gleichen Erkenntnisse brachten die Ergebnisse von Durchblasmessungen, die in den Abb.3 und 4 dargestellt sind.

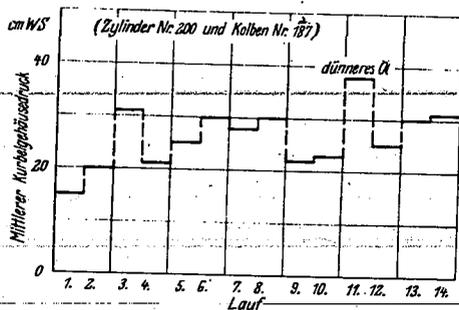


Abb.3: Durchblasmessungen

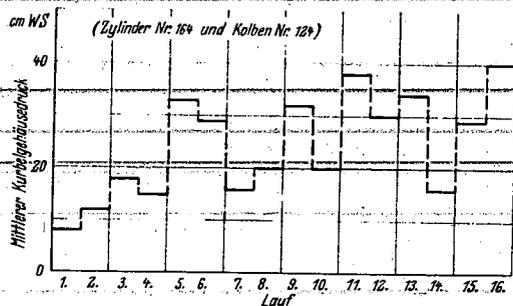


Abb.4: Durchblasmessungen

Wohl-bemerkt, es handelt sich hier um Prüfläufe, welche bis auf die vermerkten Ausnahmen unter vollkommen gleichen Motorbedingungen (Betriebstemperaturen, Öl-druck, Einbauspielen usw.) durchgeführt werden und um Schmieröle von annähernd gleicher Viskosität.

Zur Frage der Entwicklung von neuen kleinen Ölprüfmotoren möchte ich bemerken, daß deren Betrieb auch ein Fortschritt auf dem Gebiet der motorischen Ölprüfung bedeuten muß, wenn die allgemeine Einführung gerechtfertigt sein soll. Zur historischen Entwicklung wäre festzustellen, daß die von Dr.Goßlau bei Siemens und später von Dr.Wenzel bei der DVL 1934/35 mit dem kleinen Siemens-Ölprüfmotor erzielten Ergebnisse immer noch nicht überholt sind und deren Übereinstimmung mit den an einem großen Flugmotoreinzylinder gefundenen Ergebnissen später ebenfalls bewiesen worden ist. So muß ich leider feststellen, daß in den vergangenen 7 Jahren keine im Betrieb billigeren Ölprüfmotoren mit besser reproduzierbaren oder wesentlicheren Ergebnissen entwickelt worden sind, obwohl diese dringend benötigt werden.

v. Philippovich: Der Grund für den Übergang vom Siemens-Motor auf den NSU war seinerzeit die Undeutlichkeit des Ringsteckens (manchmal fiel die Leistung nur wegen Ölein-dickung am Kolbenhemd) und größere konstruktive Ähnlichkeit, für den Übergang auf den DKW die Hoffnung, infolge der Ben-zin-Öllösung zu guten Ergebnissen zu kommen. Vielleicht ist mit einem Ölbrenner Benzin-Ölgemisch so verbrennbar, daß man auf Grund dieser Ergebnisse laboratoriumsmäßig Aussagen über die Eignung von Ölen machen kann.

Tramm (zum Vortrag Halder): Tritt der das Versuchsende kenn-zeichnende langsame Leistungsabfall nur beim synthetischen Öl und bei Rotring auf und bei gefetteten Mineralölen nicht oder ist er unabhängig vom Öl?

Halder: Ich habe festgestellt, daß er bei Rotring öfters auf-getreten ist als bei Aero Shell.

Tramm: Eine Bemerkung zu dem Vortrag Lauer, und zwar zu der Windrose: Die Luft enthält einen bestimmten Gehalt an Verun-reinigungen, der aber in verschiedenen Windrichtungen durch die spezielle Lage des Werkbetriebes verändert wird. Sind Versuche gemacht worden, diese Stoffe kontinuierlich zu-zusetzen?

Lauer: Wir wollen längere Zeit Luftanalysen durchführen. Das ist natürlich eine umfangreiche Arbeit, aber man könnte auf diese Windrose Rücksicht nehmen.

Tramm (zum Vortrag Schaub): Herr Schaub hat ausgeführt, daß von der Alterung kein Schluß auf die Laufzeit hätte gezogen werden können. Das ist so zu verstehen: Erstens war s. Zt. die neue Asphaltbestimmungsmethode noch nicht entwickelt; zweitens handelt es sich um die Untersuchungen von im Motor gebrauchten Ölen, welche keine Beziehung zu den Laufzeiten ergaben. Im übrigen verweise ich auf meine Ausführungen.

Wenzel: Die Wahl des DKW-Motors zur Prüfung von Schmierölen ergab sich aus der zu Beginn des Krieges vorliegenden Notwen-digkeit, möglichst rasch und billig Öle zu untersuchen.

v. Philippovich: Es stehen jetzt drei, mit dem Siemensmotor vier kleine Prüfmotoren für die Ölprüfung zur Diskussion. Um uns auf eine einzige Richtung zu einigen, sollten nach etwa 1/2 Jahr die Ergebnisse der Motoren durch Vergleichsver-suche miteinander verglichen und ausgewertet werden; dann wird man sehen, ob man sich auf einen der drei Motoren wird einigen können. Die Ersatzteilbeschaffung spielt dabei eine große Rolle.

Buske: Ich war gestern leider nicht hier und weiß nicht, ob das, was ich sagen will, schon behandelt worden ist. Was ich bei den Öluntersuchungen, vor allem an den großen Flugmotoren, vermißt habe, ist die Gleichhaltung der Ausgangsbedingungen. Z.B. wird bei dem luftgekühlten BMW-Motor die Laufbahn infolge der unterschiedlichen Temperaturen von Ein- und Aus-lab im Betrieb oval. Wenn man nun Kolbenringe verwendet, die

dem Rechnung tragen, so sind selbstverständlich die Gasdurchtrittsmengen jedesmal verschieden. Wir sind darauf gekommen, daß wir reproduzierbare Versuche nur dann erhalten, wenn wir Kolbenringe bekannter Spannungsform verwenden und diese Kolbenringe außerdem noch im Kolben selbst festlegen. Außerdem muß dafür gesorgt werden, daß der Ringstoß auf der belasteten Seite des Kolbens zu liegen kommt, da an dieser Stelle der Kolben selbst schon eine gewisse Abdichtung übernimmt und kleine Unterschiede im Stoßspiel damit überdeckt werden.

v. Philippovich: Treten gegenüber der Praxis durch solche die Gleichmäßigkeit erhöhende Maßnahmen keine Änderungen der Bewertungsreihenfolge ein, so wären sie durchaus zu begrüßen. Dieser Beweis müßte aber erbracht werden.

Glaser: Ich möchte im Anschluß an die Ausführungen des Herrn Buske folgendes sagen. Der ganze Zweck meines Vortrages ging dahin: Ich wollte durch die Kolbentemperaturmessung während des Laufes untersuchen, inwieweit irgendwie verschiedene Ringspiele und die verschiedensten anderen Dinge, die von außen nicht beobachtet werden können, die Kolbentemperatur beeinflussen. Ich glaube, daß es dringend notwendig ist, diese Sache weiter zu verfolgen, damit wir dann vielleicht unabhängig vom Motor die Temperatur angeben können, bei der das Öl beansprucht worden ist. Dabei ist es vielleicht gleichgültig, ob wir einen wasser- oder luftgekühlten Motor verwenden; wichtig ist nur, daß wir die Kolbentemperatur und selbstverständlich auch die übrigen Temperaturen, die auf den Kolben Einfluß haben, möglichst konstant halten.

Salder: (Zur Festlegung der Ringe). Ich glaube, daß man sich dadurch, daß man erhöhte Zylindertemperaturen verwendet, bereits von der Praxis weiter entfernt hat als dadurch, daß man die Ringe festlegt; denn durch das Festlegen der Ringe kann ich unter Umständen eine bessere Reproduzierbarkeit bekommen als Herr Glaser angedeutet hat.

Glaser: Die Reproduzierbarkeit wird schlechter, denn bei festgelegtem Ring kann nur noch das Atmen desselben beobachtet werden, während das Wandern ausgeschaltet wird.

v. Philippovich: Bei nicht festgelegten Ringen können sich die Eigenschaften stärker auswirken.

Lauer: (Zur Zweitakterschmierung). Ich bin auch der Ansicht, daß man die Dosierung der Schmiermittelmenge beim Zweitakter günstiger vornehmen kann als beim Viertakter. Nun sind aber die Spülvorgänge im Zweitakter sehr stark von der Drehzahl abhängig. Es kann also auch bei gleichem Gemischverhältnis eine Veränderung der Ölmenge eintreten, und wir hätten hier eine Möglichkeit, daß Streuungen auftreten. Andererseits sehe ich einen Weg darin, beim Viertakter die Ölmenge zu dosieren, in dem man zu einer getrennten Schmierung übergeht. Ich möchte fragen, ob bei irgendwelchen Stellen diesbezügliche Messungen über die Abhängigkeit der Laufzeit von der

Schmierölmenge, d.h. von der Menge, die an den Kolben kommt, durchgeführt worden sind.

Wenzel: Wir haben das Mischungsverhältnis im Kraftstoff verändert, wir sind von dem üblichen Mischungsverhältnis 20:1 auf 10:1 heruntergegangen. Die Laufzeiten gingen dabei, glaube ich, um 50% zurück.

Leuer: Ist dabei das Kraftstoff-Luftverhältnis gleich geblieben?

Wenzel: ja.

Reichel: Es ist schon des öfteren über Ölverbrauch, Zylinderabnutzung und deren Beziehungen zum Ringstecken gesprochen worden. Wir haben versucht, die Ölverbrauchsschwankungen in engen Grenzen zu halten und glauben, zu einem gewissen Erfolg gekommen zu sein, seitdem die Meßmethode für den Ölmlauf im mittleren Teil des BMW-Motors angewendet wird. Wir haben die Ölmlaufmenge auf 200 kg/h festgesetzt und haben einen Ölverbrauch von ungefähr 6 g/PS_h bekommen, wobei die Viskosität auch eine Rolle spielen dürfte. Ich kann anhand von Abbildungen zeigen, daß die Zylinder ganz verschieden abnutzen.

Die Rückstands bildung gleicher Öle kann man in Beziehung zur erhaltenen Laufzeit bringen. Wir messen die Rückstände auf dem Kolbenboden, im Verbrennungsraum, in den Kolbenringnuten und am Schaft des Kolbens. Die Rückstandsbildung in den Kolbenringnuten ist bei diesen Ölen fast die gleiche. Die Gesamtmenge - bezogen auf die Betriebsdauer - wobei die Betriebsdauer meist länger ist als die gewertete Laufzeit - steht bei diesen Ölen in einer ganz annehmbaren Beziehung zur Laufzeit. Man muß berücksichtigen, daß infolge der verschiedenen Struktur des Öles sich weichere oder härtere Ölkohle bilden kann.

Kübler: Bei gefetteten Ölen ist der Leistungsabfall viel deutlicher als bei reinen Mineralölen, bei ihnen er langsamer vorstatten geht.

Wir haben in Zusammenarbeit mit Reclin bei einem Gesamtlauf von 1500 kg pro Stunde im Kurbelgehäuse eine Ölmenge von 500 kg - also 1/3 - bei einem Druck von rund 4 Atmosphären gemessen.

Wir haben aber nur eine Beziehung vom Conradson-Test und Ramsbottomtest zu den Laufzeiten gefunden, wenn man Öle gleicher Provenienz vergleicht.

Lange: Wie untersucht die DVL das Kolbenringwandern und führt dies zu einer Temperaturspitze, wenn der Stoß des Kolbenringes an der jeweiligen Meßstelle vorbeiwandert?

Glaser: Ich habe eine größere Zahl von Versuchen durchgeführt, bei denen das Kolbenringwandern am laufenden Motor beobachtet wurde. Wir haben den Zylinder an der Stelle, an der der oberste Kolbenring den unteren Totpunkt erreicht, durchgebohrt, sodaß ein kleines Fenster entstand, und haben

ein Glas davor angebracht. Dann wurde das Fenster immer nur in dem Augenblick, in dem der obere Kolbenring den unteren Totpunkt erreichte, angeleuchtet. Der Kolbenring trug irgendwelche Merkmale (Punkte oder Zahlen), sodaß wir auf diese Weise das Kolbenringwandern sehr gut beobachten konnten. Es hat sich gezeigt, daß die Umrunde des Zylinders des Kolbenringwandern sehr ungleichmäßig macht. Außerdem ist das Kolbenringwandern abhängig von der Füllung und andererseits auch von der Drehzahl. Bei etwa 1500 U/min stand der oberste Ring still, während die anderen Ringe wanderten; bei mehr als 1500 U/min hatte der oberste Ring eine Drehung in dem einen Sinne und bei einer Drehzahl von weniger als 1500 U/min hatte der oberste Ring eine Drehung in entgegengesetztem Sinne. Man kann beinahe sagen, daß die Geschwindigkeit des Kolbenringwanderns eine sinusförmige Abhängigkeit von der Drehzahl hat, denn bei hoher Drehzahl - etwa bei 1800 - wurde sie wieder langsamer. Man kann daraus schließen, daß die Wandergeschwindigkeit wahrscheinlich mit irgendwelchen Eigenschwingungen des Ringes zusammenhängt. Wir haben das weiterhin auch bei unserem Ringstecklauf am Geseuchtsstift beobachten können. Die Stoße treten besonders am Anfang des Laufes ganz periodisch auf und zwar sind die Abstände zwischen den einzelnen Stößen zeitlich völlig gleich.

Bartel: Zur katalytischen Einwirkung des Abriebs auf die Alterung erwähne ich das amerikanische Ferritexverfahren. Es ist so, daß die Oberfläche des Zylinders meist aus Ferrit und Perlit besteht. Nun löst der Amerikaner Forster die Ferritkörner heraus, sodaß der übrigbleibende Teil nur noch aus Perlit besteht. Dadurch steigt die Dauerfestigkeit des Ölfilms um ungefähr 50%.

Aussprache nach dem Vortrag Schaub.

V. Philippovich: Bei den Versuchen von Schaub ist die verschiedene Abnutzung interessant, die vielleicht durch das Auflösen des Öles durch den Kraftstoff verursacht wird.

Schaub: Daran haben wir auch gedacht, es könnten aber auch noch andere Momente sein, wie z.B. das verschiedene Siedeverhalten der Kraftstoffe.

v. Philippovich: Es ist der gleiche Weg eingeschlagen worden, den Herr Giesmann erwähnt hat: ein Element in den Motor einzubauen und den Schlamm auszuschleiden. Ich glaube, daß das eine grundsätzlich wichtige Möglichkeit ist, überhaupt zu einer Zähl zu kommen. Man kann auch daran denken, eine Zentrifuge außerhalb zu nehmen. Aber einer von diesen Wegen wird notwendig sein, wenn wir Zahlen bekommen wollen. Herr Reichel hat wohl auch Ergebnisse in dieser Richtung.

Reichel: Wir machen schon lange Schlammversuche im Zusammenhang mit den B.W.-Ringsteckversuchen und zwar in der Weise, daß wir aus dem alten Öl hinterher den Schlamm auszentrifu-

gieren, wie es Ricardo vor vielen Jahren gemacht hat. Ricardo hat aber keine Trommelzentrifuge genommen, sondern eine den Verhältnissen der Kurbelwelle angepaßte Zentrifuge. Dieser Gedanke hat uns veranlaßt, beim BMW-Motor die Zentrifuge in die Kurbelwelle hineinzuverlegen, wie es Herr Schaub ebenfalls gemacht hat. Wir haben bisher in der Hauptsache immer gefettete Öle untersucht, und die gefettete Komponente hat die Eigenschaft, den Schlamm in Lösung zu halten. Wir bekamen also sehr große Laufzeiten ohne Störung. Mit halbsynthetischen Ölen 50:50 trat dagegen eine stärkere Schlamm-Bildung, sowie auch ein viel größeres Ausschleudern auf. Wenn wir sehr viel Schlamm im Öl finden, muß die Kurbelwelle auseinander genommen werden, da sich dann der Schlamm nicht mehr darin ablagert. Die auszentrifugierte Schlammmenge (es wurden 6 kg Restöl 24 Stunden lang zentrifugiert) je Laufstunde betrug für gefettete Öle stets 0,25 g, für synthetische Öle lag dieser Wert höher. Wenn man Rückschlüsse auf das Kingstecken ziehen wollte, dann müßte man die absoluten Schlamm-mengen erfassen können. Gefettete und mit Zusätzen versetzte Öle halten den Schlamm beständig in Lösung, sodaß er nicht auszentrifugiert wird. Andere, besonders mineralische Öle können dagegen so leicht entschlammt werden.

v. Philippovich: Bei Kingsteckversuchen ist die Frage, ob man das Ergebnis nicht durch die Schlammabscheidung (zwecks Messung des Schlammes) beeinträchtigt. Dabei faßt man als Schlamm wohl am besten nur das Abgeschiedene auf und nennt suspendierte Teilchen im Gegensatz dazu potentiellen Schlamm. Einen absoluten, mit Lösungsmitteln gewaschenen Schlamm gibt es nicht, weil er ja ein kolloides System darstellt, das durch diese Behandlung zerstört wird.

Schaub: Wir haben bei unseren Versuchen das Nippchen drin gehabt, aber es hat sich praktisch nicht ausgewirkt. Jedenfalls haben wir keine Verlängerung der Laufzeiten bekommen. Auch zwischen den ausgeschleuderten Mengen und den Laufzeiten beim Kingstecken hat man eine Beziehung gefunden.

v. Philippovich (zum Vortrage von Krienke u. Adam): Der Befund von Herrn Adam ist erschütternd, denn er führt eigentlich dazu, daß man die Prüfmotoren überhaupt aufgibt. Das ist nun trotzdem nicht zulässig, weil die Versuchskosten Vollmotorenversuche bei allen Entwicklungs- und Prüfstellen verhindern. Vollmotor und Zylindermotor müssen möglichst unter vergleichbaren Bedingungen betrieben werden, um die Öle richtig zu bewerten; das ist aber sehr schwer erreichbar, selbst wenn man die Belastungen jenen des Vollmotors anpaßt. Nun sind aber die Vollmotoren in ihren Ansprüchen selbst untereinander verschieden, weil jeder Motor besondere Eigenschaften hat. Der von Herrn Krienke erwähnte Vorschlag von Nutt scheint sehr beachtlich, die einzelnen Bauteile in ihrem Verhalten zu bewerten und zusammen mit der chemischen Beurteilung des Öles ein Urteil zu fällen; da in dieser Bewertung jeder Motorenbauteil nach seiner Wichtigkeit für die Ölbeurteilung eingesetzt wird, ergibt sie zugleich ein Bild über die kritischen Stellen des Motors und

den Hinweis, welche Öleigenschaft am meisten gewünscht wird. Eine zweite Möglichkeit wäre die Beurteilung der Öle nach der Zahl der festen Ringe innerhalb einer bestimmten Zeit bei einem Musterprüflauf, eine dritte die Messung der Schlammenge.

Gießmann: Mir erscheint das Verhältnis des Einzylinder - motors zum Mehrzylinder nicht so schlecht übereinzustimmen. Denn sowohl Ringstecken wie Rückstandsbildung ist bei den Ölen praktisch kein Problem mehr, die mittels des BMW 132 - einzylinder - Prüfverfahrens entwickelt wurden. Für die Schlammbildungsneigung müßte man allerdings möglichst in Verbindung mit der Ringsteckprüfung noch ein besonderes Verfahren entwickeln.

Adam: Die Schlammmengen wurden immer im kritischen Teil des jeweiligen Motors (z.B. beim Juno in der Kurbelwelle) gemessen festgestellt, sodaß verschiedene Motor-Typen nicht ohne weiteres verglichen werden können.

Gießmann: Es wird immer wieder Rückstandsbildung und Schlammbildung durcheinandergeworfen. Das sind zwei ganz verschiedene Dinge. Rückstand braucht mit Schlammbildung nichts zu tun zu haben.

Lorenz: Ich möchte ganz allgemein sagen, daß durch die Vorträge und Diskussion allgemein ein scharfer Schnitt geht, und zwar zwischen Forschung und Erprobung. Für die Forschung ist zweifellos das Ergebnis nicht besonders erfreulich. Ich glaube, das liegt daran, daß die Forschung noch etwas stärker in Erscheinung treten muß und daß die positivsten Arbeiten augenblicklich die Leute leisten, die an der Verbesserung der Analysemethoden arbeiten.

v. Philippovich: Es wird ein Hauptbestreben sein müssen, in den Verfahren zur Erfassung der Alterung des Öles zu gewissen absoluten Werten zu kommen und von den empirischen Werten abzugrenzen.

Mosting: Weder der Schlamme noch das Ringstecken, sondern die Schaumbildung in Flugzeugen ist zur Zeit die größte Sorge.

Schaub: Hinsichtlich der verschiedenen Kleinmotoren finde ich die Lage gar nicht so betrüblich, wie sie nach Darstellung der verschiedenen Analysemethoden usw. ausgesehen hat. Bei den Untersuchungen in Kleinmotoren kann doch zum mindesten eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung der Bewertung herbeigeführt werden. Die Bewertung der verschiedenen Motoren hinsichtlich des Ringsteckens scheint ja verhältnismäßig einheitlich. Man kann feststellen: Wenn das Öl beim Kleinmotor zum Ringstecken neigt, dann neigt es auch im Großmotor dazu.

v. Philippovich: Man kann die Lage wohl als katastrophal bezeichnen, wenn teure und zeitraubende Versuche nach dem Ringsteckverfahren zur Praxis keine rechte Beziehung haben. Deshalb müssen die Prüfläufe möglichst bald auf ergänzende Messungen ausgedehnt werden.

Gießmann: Nach den Werten von Livingstone und Trusc bewertet sich der Ölgehalt in derselben Größenordnung wie bei uns: zwischen 50 und 70%. Es ist also relativ viel Öl darin. Das ist das, was der Praktiker als festen oder weichen Schlamm bezeichnet.

Schlammuntersuchungen von RLM zeigten übereinstimmend hohen Eisengehalt; der Hauptabrieb stammt also vom Zylinder und nicht vom Lager. Allerdings ist auch Blei darin, sowie die üblichen Alterungsprodukte. Ich habe auch darauf hingewiesen, daß dasselbe Öl Schlammengen von 1:5 ergeben kann, je nachdem wieviel Öl im Schlamm enthalten ist. Ob das kommt, ist unklar.

Baader: Wir sind früher auf allen diesen Gebieten erst dann vorwärts gekommen, als wir während des Laufes die Änderung im Öl verfolgt hatten, denn die Zustände, die wir am Ende der Laufzeit haben, sind nicht eindeutig, sondern sie resultieren aus vielerlei Erscheinungen. Meines Erachtens können nur Mikrountersuchungen wesentlich weiter führen.

Tramm: Wir haben Mikromethoden für Verseifungszahl, Neutralisationszahl, Aschegehalt, Viskositätsindex usw. mit regelmäßigen Probeentnahmen während der Laufzeit schon früher angewendet.

Baader: Ich bin gern bereit, Versuche mit mir zuzusendenden Proben durchzuführen.

Krienke: Wie wir gehört haben, ist die Hauptschwierigkeit augenblicklich in mangelnder Schmierfähigkeit beim Start zu suchen. Ist unter ungenügender Schmierfähigkeit in diesem Falle ein übermäßiger Verschleiß zu verstehen?

Adam: Bei den neuesten Motoren konnte man feststellen, daß der Motor startet und bevor einwandfreie Schmierung einsetzt, die Lager schon verschlissen waren. Es gibt neue Motortypen, die noch nicht einsatzfähig sind, weil sie über diesen Punkt nicht hinwegkommen.

Krienke: Ist es nicht eine konstruktive Schwäche des Motors, die man dem Öl in die Schuhe schiebt?

Adam: Selbstverständlich ist es eine konstruktive Schwäche des Motors. Es bestehen aber wahrscheinlich Möglichkeiten, daß man diese durch andere Schmierstoffe beheben kann, welche Zusätze enthalten oder eine andere Viskositätslage besitzen.

Krienke: Diese hätten aber vielleicht Nachteile, welche sich nur wiederum beim Dauerbetrieb auswirken würden.

Adam: Es liegt die Aufgabe vor, ein Öl zu schaffen, welches die Schwierigkeiten beim Start und beim Dauerbetrieb überwindet.

Krienke: Es wäre zweckmäßig, wenn vom RLM eine Punktwertung für die verlangten Öleigenschaften herausgegeben würde; Ein Öl müßte insgesamt 100 Punkte haben. Davon wären z. B. bei der augenblicklichen Lage der Ringsteckneigung etwa

33 Punkte zuzuteilen, der Schlammbildung 20 Punkte, der mangelhaften Schmierfähigkeit beim Start 35 Punkte usw. Diese Bewertung könnte ruhig von Jahr zu Jahr geändert werden, dann hätte man eine Vorstellung von den jeweils bestehenden Schwierigkeiten.

Adam: Die Startschwierigkeiten sind erst allerneuesten Datums, und man kann noch nicht sagen, wie man sie einordnen soll. Ich sehe es so, daß die Aufgaben von der Mineralölindustrie zu lösen sind.

v. Philippovich: Sind schmierfähigkeitssteigernde Zusätze versucht worden?

Mosting: Sie haben auch nichts gebracht, weil in diesen Fällen Ölangel vorliegt. Das Öl sucht sich den bequemsten Weg im Motor und geht nicht in die Kurbelwelle. Die Pumpen sind bei den modernen Motoren an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit.

Borchard: Wir haben beim Motor 222 außerordentlich große Schwierigkeiten beim Lager. Nach Versuchen eines von Junkers zur Verfügung gestellten Öles mit einem Zusatz haben die Lager gehalten. Das RLM wollte aber nicht, daß ein besonderes Öl in die Beschaffung hineinkam. Das ist auch ein Punkt, den man nicht vergessen darf.

v. Philippovich: Man sollte den Öldruck für den Moment des Starts irgendwie steigern.

Mosting: Dies geschieht bereits, indem man Öl vorher hineindrückt und damit die Kanäle vollfüllt. Soweit sind wir heute schon.

Müller: Wenn wir jetzt mit der Leistungssteigerung der Motoren noch weiter gehen und das Kaltstartproblem beibehalten, tritt folgender Zustand ein: Die Ausdampfung hat noch nicht stattgefunden und das Öl ist bereits so erwärmt worden, daß eine Zähigkeit unter 2^o B, nämlich 1,7 bis 1,8 E erreicht wird. Dann tritt unweigerlich ein Fressen des Lagers ein, obwohl nachweislich noch genug Öl da ist. Ich möchte allen denen, die auf diesem Gebiete arbeiten, doch noch die Bitte vortragen, sich mit diesem Problem zu befassen.

Gießmann: Ich muß sagen, daß die Schwierigkeiten, die in diesem Junkers-Motor auftreten, doch ziemlich vereinzelt dastehen. Wir haben das Kaltstartverfahren bei jedem Motor mit Erfolg anwenden können. Ich glaube, es handelt sich da um Dinge, die vielleicht konstruktiv beherrschbar sind.

Um die Schwierigkeiten, die durch das sogenannte Kaltstartverfahren entstehen, d.h. die Methode, dem Schmierstoff Benzin zuzusetzen, zu beseitigen, soll dieses Verfahren durch entsprechend bessere Winteröle ersetzt werden. Daran wird seit Jahren gearbeitet. Ich glaube, wir kommen dann soweit, daß wir den Benzinzusatz verringern können, daß wir z.B. bei -20°C mit Öl ohne Benzinzusatz fahren können und bei -40°C nur noch den halben Benzinzusatz brauchen.

Zusammenfassung.

Von Dr. v. Philippovich, DVL.

1. Grundsätzliches: Unter Alterung von Ölen versteht man einerseits die wesenseigene Veränderung des Öles unter dem Einfluß von Sauerstoff und Temperatur (gegebenenfalls in Anwesenheit von Katalysatoren), wie sie im Laboratorium vorgenommen wird, andererseits aber auch die komplexe Veränderung des Öles, wie sie im Gebrauch in Maschinen eintritt. Die Veränderung beim Gebrauch umfaßt nun sowohl die wesenseigene Veränderung des Öles (wobei auch Verbrennungsprodukte des Kraftstoffes chemisch miteinander wirken können) als auch die Verschmutzung durch mehr oder weniger zufällige Bestandteile, wie Restbenzin, Wasser, Bleioxyd, Abrieb, Staub, Ölkohle usw. Die unterschiedslose Gleichsetzung von Alterung im Sinn der wesenseigenen Veränderung und im Sinne der komplexen Veränderung des Öles im Gebrauch hat viel Verwirrung angerichtet, sodaß es zweckmäßig erscheint, zwischen beiden Vorgängen streng zu unterscheiden. Deshalb wird vorgeschlagen, die Begriffe in Zukunft in folgendem Sinne anzuwenden:

- a) Alterung als die wesenseigene Veränderung der Öles (vor allem thermisch oxydativer Art), gleichgültig, ob sie im Laboratorium oder im Motor erfolgt.
- b) Veränderung des Öles im Gebrauch als Summe der wesenseigenen Veränderung (Alterung) und der wesensfremden Veränderung (Verschmutzung).

Bei genauer Kenntnis der motorischen Vorgänge sollte theoretisch eine Vorhersage des Verhaltens von Schmierölen auf Grund von Laboratoriumsversuchen möglich sein. Wie gezeigt, müßte aber eine solche Laboratoriumsprüfung eine große Zahl von Einzeluntersuchungen umfassen, deren praktische Bedeutung für den Motor dann wieder sowohl im einzelnen, wie auch im Zusammenhang mit den anderen Prüfergebnissen des chemisch-physikalischen Verhaltens für jeden Einzelfall bekannt sein müßte. Eine solche Untersuchung muß den prak-

tisch interessierenden Vorgang der Alterung einerseits nach rein wissenschaftlichen Verfahren erforschen, andererseits ihn auf möglichst einfache Weise laboratoriumsmäßig nachahmen. Alle diese Untersuchungen laufend vorzunehmen, ist unmöglich - sogar für einen einzelnen Fall erscheint dies schwierig - sodaß man laboratoriumsmäßig vor allem jene Einflüsse wird untersuchen müssen, die sich am allerstärksten auswirken. Dies erfordert 1) eine gründliche Analyse der motorischen Schmierölveränderung und der dabei herrschenden Bedingungen, 2) die Auswahl geeigneter Prüfverfahren, 3) die Kenntnis der für den motorischen Einzelfall in den Prüfdiagrammen maßgebenden Punkte, um eine richtige Beurteilung vornehmen zu können.

2. Motorische Ölveränderung: Der wesentlichste Vorgang im Motor ist die Alterung des Öles, d.h. die wesenseigene Veränderung vor allem unter dem Einfluß von Sauerstoff und/oder Temperatur. Dazu kommen noch eine Reihe von anderen Einflüssen, die für den motorischen Vorgang eine so große Bedeutung erlangen können, daß sie die nach der rein thermisch-oxydativen Alterung vorgenommene Einreihung der Öle ändern, z.T. sogar umkehren können. Bei Flugmotoren hat der Vorgang der Alterung wegen der verhältnismäßig kurzen Betriebszeit des Öles wohl weniger praktische Bedeutung für die Gesamtumlaufmenge des Öles als bei Automobilen. Bei der Veränderung des Öles im Verbrennungsraum, in den Kolbenringnuten und an der Unterseite des Kolbens wirkt neben der Alterung in verschieden hohem Maße eine Reihe anderer Einflüsse mit, sodaß bisher keine einwandfreie Beziehung zwischen Laboratoriumsalterung und Laufzeiten bis zum Ringstecken gefunden wurde. Außer der Asphalt- und Rückstandsbildung spielen wohl die Abhängigkeit der Asphaltilöslichkeit von der Temperatur, sowie die Flüchtigkeit, das Suspensionsvermögen usw. eine wesentliche Rolle. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Asphalt kein wissenschaftlicher, sondern ein rein konventioneller Begriff ist. Für die Veränderung des Öles im Umlauf sind alle Temperaturen von Einfluß, die hier auftreten; sie können also bis zur Temperatur der Kolbeninnenseite ansteigen. Für das Ringstecken

sind hingegen die Temperaturen der Kolbenaußenseite (besonders der Ringnuten) maßgebend, während für die Rückstandsbildung im Verbrennungsraum die Temperaturen der abgrenzenden Bauteile in Frage kommen.

3. Wahl geeigneter Laboratoriums-Prüfverfahren: Eine Universallösung für sämtliche Zwecke gibt es nicht. Zur Prüfung der Alterungsneigung kann man entweder die Menge verschiedener Oxydationsprodukte wählen, die bei einer Temperatur innerhalb bestimmter Zeit entstehen, die Zeit, innerhalb derer bei einer Temperatur eine bestimmte Menge von Oxydationsprodukten auftritt oder - seltener - die Temperatur, bei der sich innerhalb einer gegebenen Zeit bestimmte Mengen von Oxydationsprodukten bilden. Für Alterungsprüfungen empfiehlt es sich vor allem, die zeitliche Abhängigkeit zu untersuchen, für Untersuchungen des Ringsteckens dagegen die Abhängigkeit von der Temperatur. Die übermäßige Abkürzung der Versuchszeit durch übersteigerte Bedingungen (Temperatur oder Sauerstoffkonzentration) ist bedenklich. Reproduzierbarkeit ist wie immer die erste Voraussetzung der Eignung eines Prüfverfahrens, sie wird bestimmt durch einfache Verhältnisse und Beherrschung des gesamten Alterungsvorganges. Die Verwendung von praktisch in Frage kommenden Katalysatoren ist zulässig, sofern sie nach ihren Eigenschaften genügend genau festgelegt werden können. Der Einfluß der Mengenverhältnisse, des Verteilungsgrades des Öles, sowie der Art der Ölzugabe ist bisher wenig bekannt, obwohl er vielleicht eine Rolle spielt.

Zur Beurteilung erscheinen derzeit zwei verschiedene Verfahren der Alterung aussichtsreich: Luftdurchleiten durch das Öl (Indiana, Air Ministry) für die Prüfung der Alterung im Kurbelgehäuse, Schalenoxydation bei verschiedenen Temperaturen für die Ringsteckneigung (DVL, Wright).

Die Vorschrift für die Asphaltbestimmung nach BVM hat sich nach Versuchen der Ruhr-Chemie als unverlässlich erwiesen und muß deshalb baldigst abgeändert werden.

4. Wahl des Bezugspunktes im Prüfdiagramm: Um eine Charakteristik der Öle für verschiedene Verwendungszwecke geben zu können, muß man Diagramme über die Temperatur und die Zeit aufnehmen. Die Zuordnung des Prüfwertes zu dem praktischen Einzelfall ist dann so vorzunehmen, daß man jene Temperatur oder Betriebszeit des Motors zu Grunde legt, die für den betreffenden Fall in Frage kommt. Dabei ist Voraussetzung, daß diese Motortemperaturen bekannt sind.

5. Motorische Prüfung: Der Vollmotor bezw. der Flugversuch bleiben nach wie vor die entscheidende Instanz für die Beurteilung der Öle. Zur Vereinfachung muß man aber Einzylindermotoren wählen, die entweder einen Zylinder des Flugmotors verwenden oder sich bezüglich des zu untersuchenden Vorganges dem Flugmotor ähnlich verhalten. Zahlenmäßige Beziehung zwischen Vollmotor und einzylindermotor muß angestrebt werden; dazu muß aber zuerst einmal die zahlenmäßige Bewertung des Vollmotors für die Öle vorliegen, sei es, daß sie die Schlammenge oder die Zahl der festen Ringe unter bestimmten Bedingungen angibt oder ein summarisches Maß verwendet, wie es z.B. Nutt erwähnt; Unterlagen in dieser Richtung sind dringendst nötig, da sie ja das Maß der Arbeit bestimmen, die in die Öluntersuchung gesteckt wird. Versuche mit einer größeren Zahl von kleineren Motoren dürften eine gewisse Aussicht auf Erfolg bieten. Die Anwendung der Überladung erscheint solange unnötig, als nicht Übereinstimmung bei den Versuchen ohne Überladung erreicht wird. Alle Motorversuche sollten die Charakteristik über die Temperatur erstreben. Da die Betriebsbedingungen größeren Einfluß haben können als die Bauart der Motoren, müssen sie sorgfältig ausgewählt werden! Automatisierung der Bedienung erscheint für Beschleunigung der Arbeit sehr notwendig. Die Neigung der Öle zur Verschlämmung, sowie der Verschleiß der Kolbenringe (als Maß der Schmutzreignung) sollten bei den Einzylinderläufen miterfaßt werden. Dazu erscheint der Einbau eines schlammabscheidenden Elementes in den Motor oder die einheitliche Verwendung einer Zentrifuge zweckmäßig.

Zur besseren Überwachung der Betriebsbedingungen ist die laufende Messung der Kolbentemperaturen und der in den Teilkreisläufen umlaufenden Ölmengen anzustreben.

Die Untersuchungsergebnisse der I.G., Ruhrchemie und Intava mit kleinen Motoren sollen innerhalb von 6 Monaten miteinander und mit den Ergebnissen des 132-Motors verglichen und auf ihre Zuverlässigkeit geprüft werden, um eine Entscheidung über die allgemeine Verwendung eines dieser Motoren zur Ölprüfung fällen zu können.

6. Grenzwertlegung: Da die motorische Charakteristik der Öle über Brauchbarkeit, oder Unbrauchbarkeit entscheidet, muß sie auf Grund eines überprüfbaren Grenzwertes erfolgen, gleichgültig, ob es sich um die Schlammbildung oder das Ringstecken handelt. Dieser Grenzwert mußte nach genügender Bewährung dann auch in den Lieferbedingungen erscheinen. Zahlenmäßige Ergebnisse von Firmen in der angedeuteten Richtung sollten dem RLM über die DVL (BS) zugeschickt werden.