

Alterung des Schmieröls im Flugmotor.

Von Dr.-Ing. Walter Giessmann, Rechlin.

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 Dauerflugerprobungen 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.

995

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 Recklin 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.

997

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

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

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

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

Es soll nun weiter die Abb.2 besprochen werden.

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

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

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

wegen seiner durchaus erwünschten höheren Suspensionsfähigkeit für Alterungsstoffe.

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

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

Den Hauptanteil des metallischen Abriebes liefern Kolbenringe und Zylinder, was dadurch bewiesen wird, dass der Aschegehalt eines gebrauchten Öles hauptsächlich aus Eisenverbindungen besteht. In den Lagern wird im allgemeinen reine „Flüssigkeitsschmierung“ herrschen; die gleitenden Teile sind dann durch einen Schmierölfilm genügender Stärke voneinander getrennt, sodass wahrscheinlich kaum mehr ein Verschleiss stattfindet, wenn die Lager einmal richtig eingelaufen sind. Die Kolben dagegen laufen in den Zylindern stets mit „Mischschmierung“, d.h. Grenzschmierung + Flüssigkeitsschmierung. Der Anteil der Grenzschmierung 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 Grenzschmierung nicht sehr hoch sein. Denn andernfalls müssten z.B. pflanzliche Öle, die wesentlich geringere Reibungszahlen bei Grenzschmierung 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-Doppelkolben-Motoren handelt.

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

Zu erwähnen wäre schliesslich noch der Einfluss des in das Schmieröl gelangten unverbrannten Kraftstoffes. Der Kraftstoffanteil setzt die Zähflüssigkeit des Schmieröles herab. Dadurch wird die durch den Gebrauch hervorgerufene Eindickung des Öles zum Teil wieder kompensiert. Bei Benzinmotoren beträgt die Schmierölverdünnung durch kondensierten Kraftstoff selten mehr als 0,5 - 1 %. Sie kann also, wie auch die Erfahrungen der Praxis bestätigen, niemals betriebsgefährdend wirken. Bei niedrigen Aussentemperaturen rufen selbst wesentlich höhere Prozentsätze - bei dem in der Luftwaffe seit Jahren üblichen Kaltstartverfahren werden dem Öl bis zu 20 % Bleibenzin zugesetzt, das mit Warmwerden des Motors zum grössten Teil 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 hervorruft.

2.) Abnutzung der Triebwerksteile.

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

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

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

3.) Verhalten der Kolbenringe.

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

1,000

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

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

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

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

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

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

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

1,00

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 Ringstoeken eine, wenn auch meist untergeordnete Rolle. Aromatenreiche Kraftstoffe z.B. begünstigen das Festgehen der Kolbenringe.

4.) Lackbildung an den Kolben- und Zylinderlaufflächen.

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

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

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

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

Ebenso wie das Kolbenringstoeken 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-Einzyylinder-Motor ebensowenig wie die Analysendaten des gealterten Öles.

Ohne die chemische Struktur vom Schlamm näher zu erörtern, soll darunter im folgenden das verstanden werden, was den Praktiker interessiert: nämlich die Stoffe, die von den Filtern zurückgehalten oder durch Zentrifugalwirkung in bestimmten Motorteilen ausgeschleudert werden. Die 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 Recklin 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

1,004

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 allgemeingültige 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 Schlambildung 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 Schlambildung 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 Schlambildung 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 Rochliner 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 Rochliner 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 Rechlin 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 hocheffiziente Zentrifuge am 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 Kurbelwelle wesentlich herabsetzen können.

6.) Rückstandsbildung im Verbrennungsraum.

Rückstandsbildungen im Verbrennungsraum, z.B. an den Ventiltellern und -schäften oder auf dem Kolbenboden, 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 heissgekühlten Einzylinder-Motor beweisen; dabei wurden dasselbe Öl, ein rein synthetisches Produkt, aber verschiedene Kraftstoffe mit und ohne Bleitetraäthyl verwendet.

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

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

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

7.) Schwärzung der Triebwerksteile.

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

Praktisch gesehen ist das Aussehen dieser Teile völlig belanglos.

15007

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.

1.008

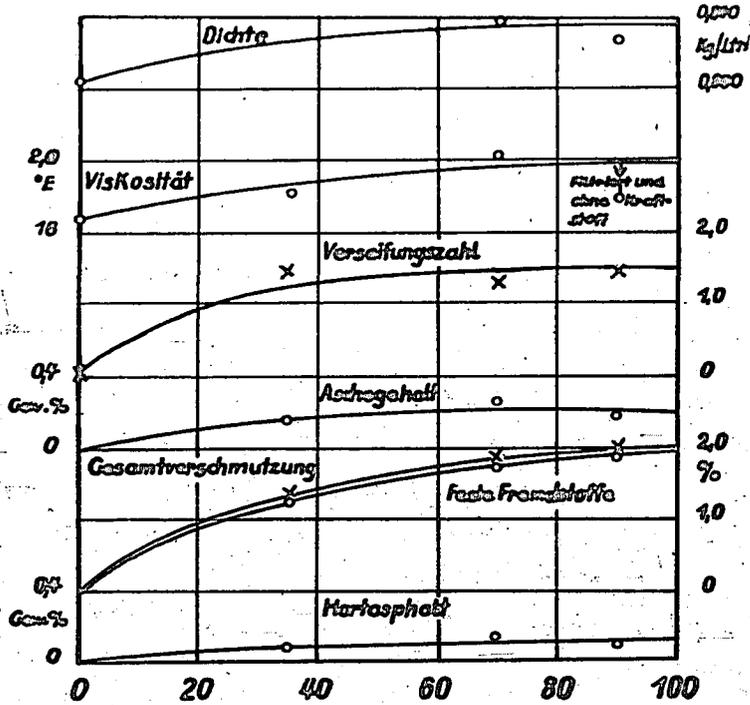


Abb. 1: Ölalterung im Vollmotor (90-Stundenlauf), mit Nachtanken.

| Motorart | Offen-Flugmotoren | | | Düsel-Flug | |
|-----------------------------|-------------------|---------|---------|------------|--------------|
| | Zylinder-Grösse | gross | gross | | |
| Kühlmittel | flüssig | Luft | Luft | flüssig | |
| Änderung der Viskosität | 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 | 0.010 kg/Ltr |
| Anstieg der Versäifungszahl | 1, 2, 3 | 1, 2, 3 | 1, 2, 3 | 1, 2, 3 | 10 mg KOH/g |
| Asche | 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 | 0.2 Gew.% |
| Feste Fremdstoffe | 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 | 2 Gew.% |

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

Abb. 2: Alterungsdaten verschiedener Ölgruppen in verschiedenen Motoren.

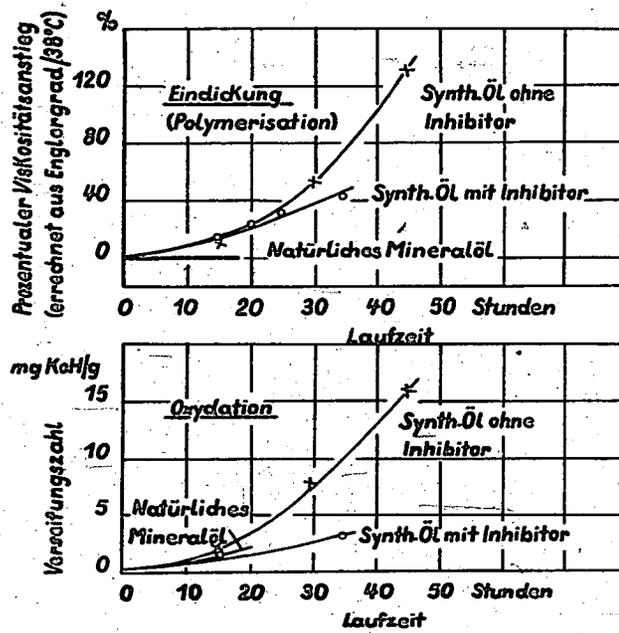


Abb. 3: Wirkung von Inhibitoren.
(Nach Versuchen bei der I.G.-Farbenindustrie A.-G.,
Techn. Prüfstand Oppau)