

Bericht über die motorische Prüfung synthetischer Flugmotorenschmieröle der Ruhrchemie.

Die Beurteilung eines Schmierstoffes muss nach mehreren Gesichtspunkten erfolgen. Einer der wichtigsten ist bei Flugmotorenschmierstoff die Neigung zum Ringstecken. Weiterhin ist neben anderen Eigenschaften das Verhalten bezüglich Verschleiss, Ölverbrauch und Alterung von Bedeutung. Da bis jetzt keine Laboratoriumsverfahren bekannt sind, die eine einigermaßen sichere Aussage über diese Eigenschaften gestatten, ist man auf die motorische Erprobung angewiesen. Die Beurteilung aufgrund des Versuches im Motor ist durch die Vielzahl der ausser dem Öl auftretenden Einflüsse erschwert, und erst in den letzten Jahren sind besonders auf Veranlassung des RLM Prüfverfahren für Flugöle entwickelt worden, die brauchbare Ergebnisse liefern.

Verfahren des RLM.

Eine wichtige Prüfung des RLM erfolgt in dem bekannten Flugmotoren-Einzylinder BMW 132. Hierbei wird unter genau festgelegten Betriebsbedingungen in Bezug auf Drehzahl, Belastung und Temperatur bis zum beginnenden Ringstecken gefahren. Dies macht sich durch einen Leistungsabfall und eine entsprechende Kraftstoffverbrauchserhöhung bemerkbar. Für einen solchen Versuch werden etwa 25 kg Schmieröl benötigt. Eine Vollmotorenprüfung, die sich über 100 Stunden erstreckt und unter wechselnden Bedingungen gefahren wird, erfordert 600-1000 ltr.

Entwicklung einer motorischen Prüfung.

Für die beschleunigte Entwicklung der synth. Flugöle der RCH war es erforderlich, Bewertungsgrundlagen durch eigene Versuche zu bekommen, die denen der amtlichen Verfahren des RLM möglichst entsprechen. Vor 2 Jahren wurde auf dem Prüfstand der Ruhrbenzin mit der Entwicklung eines Prüfverfahrens in einem Kleinmotor begonnen. Es bot den Anreiz einer wesentlich geringeren Probemenge gegenüber dem Betrieb im Flugmotoreinzylinder, besserer Beherrschung der Betriebszustände, sowie geringeren Kosten- und Zeitaufwandes. Als Versuchsmotor wurde der NSU 501 OSL-Motor gewählt. Bei der Entwicklungsarbeit waren die Angaben, die wir von der DVL (v. Philippovich und Glaser) über einen

entsprechenden, dort eingeschlagenen Weg erhalten haben, sehr wertvoll.

Durchführung des Prüfverfahrens.

Zur Beurteilung eines Öles werden mehrere Versuche unter verschiedenen Temperaturzuständen durchgeführt, die durch Verändern der Kühlluftmenge eingestellt werden. Drehzahl, Belastung, Kraftstoffverbrauch und Kraftstoff bleiben bei den Versuchen gleich. Die Prüfbedingungen sind in Tabelle 1 mit denen der Prüfung im BMW-Einzylinder-Motor verglichen.

Für die Messungen wurden zunächst eine Drehzahl von 3000 U/min und ein mittlerer effektiver Druck von $7,28 \text{ kg/cm}^2$ gewählt. Später wurde die Drehzahl von 3000 auf 2000 U/min herabgesetzt, das Drehmoment beibehalten. Durch die Herabsetzung der Drehzahl auf 2000 U/min wird die Laufzeit bis zum Ringstecken nicht wesentlich verlängert. Die übrigen Teile der Maschine werden jedoch geschont und ihre Lebensdauer erhöht. Ausserdem entspricht diese Drehzahl mehr derjenigen der Prüfung im BMW-Einzylinder-Motor. Die DVL führte ihre Versuche am NSU-Motor bei einer Drehzahl von 3500 U/min durch. Derartig hohe Drehzahlen dürften nach unseren Erfahrungen für die Beherrschung und Genauigkeit des Messverfahrens nicht günstig sein. Herabsetzung des mittleren effektiven Druckes von $7,28$ auf $5,5 \text{ kg/cm}^2$ brachte demgegenüber eine wesentliche Verlängerung der Laufzeit bei gleichen Zylindertemperaturen, was für die Versuchsdurchführung unerwünscht ist. Der Versuch wird abgebrochen, wenn die Kolbenringe sich festzusetzen beginnen, und das Öl wird nach der Laufzeit bis zu diesem Zeitpunkt bewertet. Neben dem Ringstecken wird noch das Alterungsverhalten, der Abrieb und der Ölverbrauch verfolgt, um so zu einer möglichst umfassenden Beurteilung des Schmierstoffes zu gelangen.

Für jeden Versuch werden neue Kolbenringe eingebaut, die nicht besonders einlaufen. Es werden sogenannte Top-Ringe verwendet, die schon nach sehr kurzen Laufzeiten eine gute Abdichtung ergeben, sodass das Fehlen einer Einlaufzeit nicht weiter störend wirkt.

Tabelle 1

Vergleich der Schmierölprüfung im NSU-Motor der Ruhrbenzin und im BMW 132 Einzylinder-Motor.

Motordaten:		BMW	NSU
Bohrung	(mm)	155	80
Hub	(mm)	160	99
Hubvolumen	(cm ³)	3076	494
Verdichtungsverhältnis		1:6	1:6
Prüfbedingungen:			
Drehzahl	(U/min)	1900	2000 (3000)
Leistung	(PS)	53-54	8 (12)
mittl. effekt. Druck	(kg/cm ²)	8,3	7,28
spez. Kraftstoffverbrauch	(g/PSH)	235	200-210
Ölverbrauch	(g/PSH)	6-13	3-12 (je nach Temp.)
Öltemp. (Motoreintritt)	(°C)	110	90
Zylinderzentemperatur	(°C)	302	variabel
Zündzeitpunkt	(°KW v.o.T.)	32	beste Leistung
Öldruck	(atu)	4	---
Brennstoff		B4	Ruhrbenzin O ₂ -78

Kolben und Zylinder werden erst nach mehreren Versuchen erneuert, wenn sie einen solchen Verschleisszustand erreicht haben, dass die Erzielung gleicher Werte nicht mehr gewährleistet ist. Es sei hierzu vorweg genommen, dass die Abmessungen dieser Teile ziemlich langsam erfolgen, sodass nach unseren Erfahrungen die Ergebnisse dadurch nicht empfindlich beeinflusst werden.

Das Festgehen eines Kolbenringes wird klar erkannt, dass die aus dem Verbrennungsraum am Kolben entlang in das Kurbelgehäuse ablassende Gasmenge ansteigt, was an einem Staegerät beobachtet und auf einem Sechsfarbenschreiber registriert wird. Die normalen, in grösseren Serien bezogenen Kolben liefern bei den hohen Temperaturen so gut in der Laufbahn, dass auch nach Festgehen eines Kolbenringes keine Vergrösserung der Ablassge-

menge angezeigt wurde. Der Kolben wurde daraufhin aufgrund von Erfahrungen der DVL in der Mitte des Schaftes um 1 mm eingedreht und zusätzliche Bohrungen angebracht, durch welche ausser dem Öl, auch die aus dem Verbrennungsraum abblasenden Gase ungehindert entweichen konnten.

Bei den verschieden eingestellten Temperaturzuständen des Motors ergibt sich eine starke Abhängigkeit der Laufzeit von der Temperatur. Die richtige Wahl einer Bezugstemperatur ist für die Auswertung der Ergebnisse von grosser Bedeutung und in sofern schwierig, als die Temperaturverteilung über Zylinder und Zylinderkopf sich von Versuch zu Versuch ändern kann, während die eigentlich interessierende Temperatur, nämlich die der Kolbenringpartie bis jetzt nicht gemessen werden kann. Zur Verfolgung des Temperaturzustandes werden die Temperaturen am Zündkerzensitz, sowie die Zylindertemperaturen zwischen der 1. und 2. Kühlrippe an 4 gleichmässig auf den Umfang verteilten Stellen mit Thermoelementen gemessen. Die Thermoelemente sind so ausgebildet, dass sie während des Laufes leicht zur Behebung von Schäden ein- und ausgebaut werden können. Ausserdem werden die durch ein Kühlsystem einzustellenden Öleintritts- und Austrittstemperatur beobachtet. Ein Teil der Temperaturen wird ebenfalls von einem Sechsfarbenschreiber als Kontrolle der Aufzeichnungen des Versuchspersonals registriert. Bei der DVL wird die Temperatur der Zündkerze allein betrachtet, während wir mit einem Mittelwert aus Zündkerzen- und mittlerer Zylindertemperatur die eindeutigsten Ergebnisse erzielen.

Die Reproduzierbarkeit der Laufzeiten bis zum beginnenden Ringstecken litt besonders bei der hohen Drehzahl von 3000 U/min. unter der schnellen Änderung des axialen Ringspieles, das durch das Ausschlagen der Ringnuten bedingt war. Vergrössertes Ringspiel erlaubt dem Kolbenring eine heftigere Bewegung innerhalb der Nut. Dadurch wird einerseits das Festgehen der Kolbenringe erschwert, andererseits schlagen sich die Nuten um so schneller aus, je grösser das Ringspiel ist. Von einem bestimmten Ringspiel ab wird aus diesem Grunde unabhängig von der Versuchstemperatur und der Öleigenschaft überhaupt kein Festwerden der Ringe mehr beobachtet. So ergeben sich leicht falsche Versuchsergebnisse. Durch Herabsetzen der Versuchsdrehzahl auf 2000 U/min wurde erreicht, dass sich das

Ringspiel während des Laufes wesentlich langsamer ändert. Ausserdem wird vor dem Versuch das Ringspiel durch Nachschleifen der Ringe auf genau 0,05 mm eingestellt.

Die Verschleissbeurteilung ist erschwert wegen der bis heute) nur unvollkommen reproduzierbaren Verschleisswerte und der Kürze der Läufe. Bei unseren Versuchen zeigte sich, dass der Abrieb vorwiegend durch den Einlaufzustand der Kolbenringe, also der Versuchsdauer bestimmt wird, und die Einflüsse der Schmieröle und besonders der Zylindertemperaturen dagegen zurücktreten. Zur Verschleissmessung werden Zylinder und Kolben genauestens ausgemessen und der Gewichtsverlust der Kolbenringe festgestellt.

Die Alterung des Schmieröls wird an Hand von Proben verfolgt, die in Abständen von 3 Stunden der Öldruckleitung entnommen und analysiert werden. Für einen Versuch werden 2 ltr. Schmieröl eingefüllt. Mit dieser Menge wird der Lauf bis zum Ende durchgeführt. Frischöl wird nicht nachgefüllt.

Der Entwicklung stellten sich anfänglich noch eine Reihe anderer Schwierigkeiten entgegen, von denen die meisten heute als überwunden gelten dürfen. Diese bezogen sich besonders auf die Kupplung zwischen Motor und Bremse, die Abdichtung zwischen Zylinder und Zylinderkopf, die bei den hohen Temperaturen besonders schwierig^{ist} sowie auf die vollkommene Abdichtung des Kurbelgehäuses, die zur Erfassung der abblasenden Gase erforderlich war. Weitere Schwierigkeiten gab es sodann an der serienmässigen Kurbelwelle, den Auslassventilen, die durch konstruktive Massnahmen behoben sind.

Um mit synth. Ruhrbenzin (verbleit) bei den hohen Temperaturen und Belastungen ohne Klopfen fahren zu können, wurde das Verdichtungsverhältnis herabgesetzt.

Wegen der hohen Temperaturen werden Flugmotorenkerzen verwendet, die besonders gegen Heizsatz im Kraftstoff unempfindlich sind.

Bisherige Entwicklung synthetischer Öle der Ruhrchemie.

Die Vollmotorenversuche, die bis 1937 an verschiedenen Baumustern der Luftwaffe durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die damals zur Verfügung stehenden synth. Öle sich zwar in Bezug auf das Ringspielen sehr gut verhielten, dass jedoch bei einem

Teil der Motoren eine unerträglich schnelle Vergrößerung des axialen Ringspielses mit gleichzeitig hohem Verschleiss an den Kolbenringen eintrat. Ausserdem wurde ein etwas höherer Ölverbrauch, als bei anderen guten Ölen gemessen. In der Zwischenzeit konnten durch Anwendung anderer Behandlungsverfahren wesentlich bessere synth. Öle hergestellt werden. Die Entwicklung wurde dabei laufend durch unsere Motorenversuche verfolgt, während das Verhalten in Bezug auf das Ringstecken nach wie vor sehr gut blieb, wurde eine Erhöhung der Alterungsbeständigkeit, niedrigere Ölverbräuche und geringere Verschleisswerte erzielt.

Im Sommer 1946 konnte dem RLM die beiden Schmierstoffe SS 2005 und SS 2006 zur Erprobung im BMW Einzylinder-Motor übergeben werden, nachdem diese sich auf unserem Motorenprüfstand als gut erwiesen hatten.

Bei diesen Ölen war neben der Verbesserung der Oxydationsbeständigkeit besonderer Wert auf einen hohen Viskositätsindex gelegt worden. Zur Erhöhung der Oxydationsbeständigkeit wurde bei SS 2006 ein Inhibitor zugesetzt, welcher sich im Laboratorium besonders wirksam gezeigt hatte. Im übrigen waren die Öle SS 2005 und SS 2006 einander gleich. Ihre Analysenwerte sind in Tabelle 2 angegeben.

Ergebnisse der Motorenversuche.

Die beiden Öle wurden bei uns in zwei getrennten Versuchsreihen gefahren, bei denen die Prüfbedingungen nicht gleich waren. Dies ist dadurch verursacht, dass die Entwicklung unserer Prüfung noch nicht abgeschlossen war. Die Versuche mit SS 2005 wurden bei 2000 U/min und einer Leistung von 8 PS gegenüber 3000 U/min und 12 PS bei SS 2006 gefahren. Die Absolutwerte, die mit beiden Ölen erzielt sind, sind deshalb nicht unmittelbar miteinander zu vergleichen. Als Massstab können jedoch die mit Rotring D erzielten Werte benutzt werden. Mit diesem Öl wurde bei beiden Versuchsreihen abwechselnd zum Vergleich gefahren.

Ringstecken.

Die erzielten Werte für die Laufseiten sind in den Abbildungen KPr 242 und KPr 251 aufgetragen. Bei den Werten, die mit einem nach oben gerichteten Pfeil versehen sind, wurde der Lauf abgebrochen, bevor Ringstecken eingetreten war. Man erkennt

Tabelle 2

	SS 2005	SS 2006
D ₂₀	0,853	0,853
V ₅₀	19,87	19,87
V ₁₀₀	3,34	3,34
V.P.H.	1,60	1,60
V.Index	114	114
Flammpunkt	307	308
Stoßpunkt	-33	-38
Verdampfbarkeit	0,42	0,91
NZ	0,000	0,00
VZ	0,14	0,00
Conradsontest	0,167	0,161
Asche	0,005	0,006
Jodzahl	3,3	4,7
Bzn.Unlöslich	0,000	0,019
Bzl.Unlöslich	0,000	0,008
Hartasphalt	0,000	0,011
Harzasphalt	0,97	1,19

insbesondere auf der Abbildung KPr 242 die Überlegenheit des synth. Öles gegenüber Rotring D. Mit SS 2006 konnten aus zeitlichen Gründen nur 2 Versuche durchgeführt werden, die ebenfalls ein günstigeres Verhalten als Rotring D gezeigt haben.

Ölverbrauch

Bei beiden Versuchsreihen betrug der Ölverbrauch im Durchschnitt nur etwa 50-60% gegenüber dem von Rotring D, wie die Abbildung KPr 252 zeigt. Es zeigt sich noch, dass der Ölverbrauch mit der mittleren Temperatur am Zylinder steigt, was damit zu erklären ist, dass dadurch die Viskosität des Öles, das sich zwischen Kolben und Zylinderlaufbahn befindet, dünner wird und in grösserer Menge aus dem Kurbelgehäuse in den Verbrennungsraum gelangt. Die streuenden Werte des Ölverbrauchs

für Rotring D, weisen daraufhin, dass der Ölverbrauch auch mit der Laufzeit zusammenhängt. Bei kurzer Versuchszeit, wobei die Kolbenringe nicht so gut eingelaufen sind, ist der Ölverbrauch offenbar höher.

Verschleiss:

Bei den Ergebnissen in Bezug auf den Verschleiss waren Streuungen nicht zu unterdrücken. Es zeigt sich, wie aus Abb. KPr. 245 und 253 hervorgeht und bereits oben angedeutet wurde, dass der Verschleiss unter den vorliegenden Versuchsbedingungen in erster Linie vom Einlaufzustand abhängt. Den Ergebnissen ist daneben zu entnehmen, dass der Abrieb bei SS 2005 und SS 2006 nicht höher, sondern eher etwas günstiger als bei Rotring D ist.

Alterung:

Zur Beobachtung des Alterungsverhaltens wurde wie oben geschildert, in Abständen von 3 Stunden eine Probe der Ölrücklaufleitung entnommen. Die Änderung der Analysenwerte abhängig von der Laufzeit sind für je einen Versuch bei gleichen Zylinder-temperaturen für die Öle SS 2005 und Rotring D in Abb. KPr 254 aufgetragen. Diese Kurven geben das charakteristische Alterungsverhalten dieser synth. Öle SS 2005 und SS 2006, gegenüber Rotring D gut wieder. Zur Beobachtung der Abhängigkeit der Alterung von den Versuchstemperaturen wurden die nach 5 Laufstunden ermittelten Werte für Conradsontest, Harzasphaltgehalt und die Viskosität bei 50°C von mehreren Versuchen in Abbildung KPr 247 und 255 aufgetragen. Es wurde eine nur so geringe Alterungszeit zur Betrachtung gewählt, um auch die kurzen Versuche auswerten zu können. Man erkennt, dass der Conradsontest der synth. Öle sowohl beim Frischöl niedriger ist, als auch mit der Versuchsdauer weniger ansteigt, als bei Rotring D. Die Viskosität ist praktisch überhaupt noch nicht gestiegen nach dieser Laufzeit, während der Harz-Asphaltgehalt nach den 5 Stunden etwas höher war als bei Rotring D. Nach längeren Laufzeiten erscheinen die Harz-Asphaltgehalte beider Ölarten wieder einander gleich. Eine Abhängigkeit von den Versuchstemperaturen ist nicht festzustellen.

Der Befund der zerlegten Maschine ergab einheitlich, dass der Motor bei SS 2005 und 2006 sehr sauber war. Der Ölkohlbelag auf dem Kolbenboden war sehr gering, dabei war die Ölkohl-

matt und nicht splitternd, während bei Rotring D die Ölkehle häufiger hart, glänzend und splitternd war. Die Ablagerungen an der Hinterdrehung des Kolbenschaftes waren pastenartig weich.

Im ganzen wurden die beiden Öle SS 2005 und SS 2006 im NSU-Motor einheitlich beurteilt, sodass der angesetzte Inhibitor beim motorischen Betrieb keine besondere Wirkung erkennen liess.

Ergebnisse der Erprobungsstellen Rechlin und Travemünde.

In dem Bericht der Erprobungsstelle Travemünde vom 22.7.40 über die Erprobung von SS 2005 und SS 2006 im BMW 132-Einzylin-Motor wird angegeben, dass bei beiden Ölen der Lauf wegen Leistungsabfall abgebrochen wurde. Dieser betrug bei:

	Laufzeit	Leistungsabfall
SS 2005	11 1/2 Stunden	1,8%
SS 2006	10 1/2 "	2,6%

Der erste Leistungsabfall war jeweils nach 9 Stunden mit einem Betrag von 1,3 bis 1,5% festzustellen. Bei der Befundaufnahme zeigten sich in beiden Fällen alle Ringe noch lose. Der Ölverbrauch betrug bei beiden Läufen nur 4,5 gr., während 6 gr./PSh als untere und 12 gr./PSh als obere Grenze für diesen Motor und sonstigen Ölen angegeben wird. Die Viskosität hatte bei beiden Läufen am Ende des Laufes praktisch nicht zugenommen, wie aus folgender Zusammenstellung hervorgeht:

Öl	Frischöl		Altöl	
	V ₅₀ (°E)	Laufzeit (Std.)	V ₅₀ (°E)	Laufzeit (Std.)
SS 2005	20,2	11 1/2	20,8	
SS 2006	19,7	10 1/2	19,6	

Der Befund des Kolbens, der Laufflächen und der Kolbenringe wurde bei den beiden Ölen als sehr gut bezeichnet.

Entsprechend waren die Ergebnisse der Läufe bei der Erprobungsstelle Rechlin. Dort wurde der Versuch mit SS 2006 ebenfalls wegen Leistungsabfalls nach etwas mehr als 8 Stunden abgebrochen. Der Befund des Motors zeigte

jedoch, dass alle Kolbenringe lose waren. Der 2. Ring ist etwas klebrig gewesen. Auch hier wurde der Befund des Kolbens, der Kolbenringe, sowie des Zylinders als sehr gut bezeichnet. Die Ölkohlablagerung am Kolben war sehr gering und von weicher, brüchelnder Beschaffenheit. Der Ölverbrauch betrug hier 7,3 gr, während für den damaligen Zustand des Motors 12 bis 13 gr/PSH als normal angegeben wurden.

Zusammenfassung.

Die Betrachtung sämtlicher Ergebnisse zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Erprobungsstellen der Luftwaffe Rechlin und Travemünde und denen des Prüfstandes der Ruhrbenzin A.G. Die einheitlich gefundene Beurteilung der Öle SS 2005 und SS 2006 ergibt zusammengefasst:

In Bezug auf das Ringstecken verhielten sich beide Öle eindeutig günstiger als Rotring D. Während unter gleichen Bedingungen im BMW 132 Motor bei Rotring D Ringe nach 7-8 Stunden wirklich fest sind, war bei den synth. Ölen auch nach 8-9 Stunden zwar ein geringer Leistungsabfall, aber in keinem Fall, auch nach 10-12 Stunden nicht, Ringstecken zu beobachten. Dem entsprechen die Ergebnisse der Ruhrbenzin, bei denen unter verschiedenen Temperaturbedingungen und insbesondere bei hohen Temperaturen die Laufzeiten bis zum Ringstecken mit SS 2005 und SS 2006 ebenfalls länger waren, als mit Rotring D.

Der Ölverbrauch betrug sowohl bei den Erprobungsstellen als auch bei der Ruhrbenzin etwa 50-60% gegenüber Rotring D oder sonst üblichen Ölen.

Der Abrieb war, soweit Aussagen hierüber möglich sind, etwas günstiger oder nicht ungünstiger als bei Rotring D.

Analysen des verbrauchten Öles ergaben weder bei der E.-Stelle Travemünde noch bei der Ruhrbenzin eine nennenswerte Erhöhung der Viskosität. Auch die übrigen Kennzahlen für das Alterungsverhalten waren sehr günstig.

Die Ablagerungen auf dem Kolbenboden und an den übrigen Motorteilen waren bei allen Versuchen gering.

Weder bei den E.-Stellen, noch bei der Ruhrbenzin war ein wesentlicher Unterschied zwischen SS 2005 und SS 2006 zu bemerken.

W. A. M.