

Ölprüfung im NSU - Motor.

Von F. Schaub, Oberhausen-Holten

A) Kolbenringstecken.

Für die Entwicklung der synthetischen Flugöle der RCH befassen wir uns seit einiger Zeit auch mit deren motorischer Prüfung. Es wurde dabei versucht, das Verhalten der Öle insbesondere in Bezug auf das Ringstecken, aber auch auf die Alterung, den Verschleiss und den Ölverbrauch zu erfassen.

Der Versuchsmotor:

Als Versuchsmotor wählten wir einen luftgekühlten Einzylinder-Viertakt- und zwar den NSU 501 OSI-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 hiermit eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen des vom RLM eingeführten luftgekühlten BMW-132-Motors leichter herbeigeführt werden könnte, als mit 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. 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:

Unsere Prüfung auf Ringstecken entspricht der von der DVL im BMW-Motor und der von der Intava im DKW-Motor angewandten. Der Motor läuft unter 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 der DVL verschiedentlich angegeben worden ist. Zuerst mussten wir aber eine ausreichende Betriebssicherheit des Versuchsmotors für den Prüfstandbetrieb herbeiführen. Sodann ergaben sich beachtliche Schwierigkeiten, reproduzierbare Laufzeiten und erst recht Laufzeitkurven zu erzielen. Die Versuche zeigten, dass um mit den Zeiten in den Bereich der BMW-Prüfläufe zu kommen, sehr hohe Temperaturen, nämlich Zündkerzensitztemperaturen zwischen 350 und 400°C gewählt werden mussten. Weiterhin ergab sich eine sehr starke Abhängigkeit von der Temperatur für die Laufzeiten bis zum Ringstecken.

Temperaturmessung:

Die erste Voraussetzung für reproduzierbare Ergebnisse sind also genaue Temperaturmessungen. Wie auch andere Prüfstellen, beziehen wir die Laufzeit auf 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 die Laufzeit bei gleicher Kerzensitztemperatur zum Beispiel sehr verschieden sein, je nachdem in welcher Weise der Motor von der Kühlluft angeströmt wird. Ein wie grosser Einfluss die Kühlluftführung ausübt, zeigten Versuche bei denen einmal der ganze Motor und zum anderen Mal nur der Zylinderkopf von Kühlluftstrom beaufschlagt wurden. Beim Anblasen des ganzen Motors war bei einer Zündkerzensitztemperatur von 380°C die Laufzeit mit 12 Stunden doppelt so lang, als bei ausschliesslichen Anblasen des Kopfes, obwohl die Kerzensitztemperatur 360°C betrug. Gleichseitig war allerdings auch die Öltemperatur (gemessen am Motorsintrieb) und damit der Ölverbrauch niedriger. Nachdem wir eine Zeit lang den Kühlluftstrom mittels eng anliegender Leitbleche gleichmässig Zylinderkopf und Zylinder zugeführt haben, liessen wir jetzt nur den ersteren anblasen. Dadurch wird bewirkt, dass dieser trotz hoher Zylindertemperaturen verhältnismässig gut gekühlt ist. Wir brauchen so eine Kerzensitztemperatur von 365°C, um mit dem Hichel Rotring D eine Laufzeit von etwa 8 Stunden zu erzielen. Bei höherer Kerzensitztemperaturen

werden Schäden am Zylinderkopf häufig, weil dann die Festigkeit des Leichtmetalls anscheinend stark nachlässt.

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

Als grundsätzlicher Mangel erscheint es einstweilen, dass die für das Ringstecken entscheidende Kolbentemperatur nicht direkt gemessen wird. Neufertig ist zwar zum Beispiel von der DVL die direkte Kolbentemperaturmessung auf eine verhältnismässig einfache und auch anscheinend zuverlässige Weise ermöglicht worden, und es ist von grossem Interesse, ob dadurch die Streugrenze weiter eingesengt werden kann. Wir haben ebenfalls schon solche direkten Kolbentemperaturmessungen an einem schnellaufenden Kleinmotor vorgenommen, in welchem Öle auf die Neigung zum Kolbenfressen geprüft werden. Beim NSU-Motor sind wir aber bis jetzt leider noch nicht dazugekommen.

Um die Streuungen der Laufzeiten so klein als möglich zu halten, müssen ausser den Temperaturen auch die übrigen Betriebsbedingungen, wie Drehzahl, Belastung, Ölverbrauch, Kolbenringspiel und Kraftstoff möglichst genau festgelegt und 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.

Das schmale Kolbenringspiel haben wir früher einheitlich auf $0,05 \text{ mm}$ eingestellt. Heute beträgt es an 1. Kolbenring $0,1 \text{ mm}$, an 2. und am Ölabtrennring $0,075 \text{ mm}$. Das Einstellen des festgelegten Ringspielen wird durch Abweichen der st-

was stärker gelieferten Ringe erreicht.

Durch diese Änderungen der Betriebsbedingungen sind die Laufzeiten bei gleicher Temperatur etwas verlängert worden. Die herabgesetzte Beanspruchung brachte jedoch eine größere Gleichmäßigkeit der Versuche und eine erhöhte Lebensdauer des Motors.

Der Ölverbrauch:

Der Ölverbrauch ist einer der unangenehmsten Faktoren bei der Ölprüfung, weil er nur in weiten Grenzen beherrscht werden kann. Sein Einfluss auf die Laufzeit war im NSU-Motor nur sehr schwer festzustellen. Die letzten von uns mit Rotring D durchgeführten Versuche, die in Bild 1 wiedergegeben sind, zeigen aber, 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 mit und ohne Bleigehalt war nicht so gross, dass er eindeutig hätte nachgewiesen werden können.

Versuchsergebnisse:

In Bild 2 sind etwa 40 Messwerte, die unter den früheren Versuchsbedingungen für Rotring D gefunden wurden, mit dem sich aus ihnen ergebenden Streuband wiedergegeben. Es ist dazu noch zu erwähnen, dass ein Teil der hier angegebenen Versuche mit etwas niedriger mittleren effektiven Druck gefahren wurden. Diese Werte sind durch Kreuze gekennzeichnet. Die Laufzeiten sind durch diese Massnahme aber offenbar nicht wesentlich verändert worden. Die mittlere Laufzeitkurve fällt nach diesen Werten mit steigender Temperatur stark ab, sodass bei etwa 370° im Mittel nur noch $3\frac{1}{2}$ Stunden erreicht werden. Bei noch höheren Temperaturen verläuft die Kurve flacher. Ein parabelartiger Verlauf der Laufzeitkurve mit einem ausgeprägten Niederanstieg bei hohen Temperaturen, wie er von Glaser, DVL für verschiedene Öle angegeben wurde, ist hier offenbar nicht

gegeben, wenngleich dies beim Herausgreifen bestimmter einzelner Versuche angedeutet erscheinen mag.

In Bild 3 wurde neben der aus dem Streuband der Abbildung 2 entnommenen mittleren Kurve für Rotring D eine für ein synthetisches Versuchsöl der RCH aufgetragen. Man sieht, dass die Kurven beider Öle annähernd parallel verlaufen, wobei die Laufseiten des synthetischen Öles länger sind. Bei der E-Stelle Rechlin lief dieses Öl im BMW-132-Motor unter den üblichen Bedingungen 11-12 Stunden lang, ohne dass danach die Ringe fest waren. Wir haben auch schon flacher verlaufende Kurven bei synthetischen Ölen festgestellt, derart, dass bei den niedrigen Temperaturen eine Überschneidung mit der Eichölkurve eintrat.

Heußerdem verichten wir auf die Festlegung einer ganzen Laufzeitkurve, weil der Zeitaufwand unerträglich gross ist. Wir prüfen nunmehr bei der Temperatur, bei welcher entsprechend dem BMW-Motor für das Eichöl eine Laufzeit von etwa 8 Stunden erzielt wird. Unter den sonst festgelegten Versuchsbedingungen beträgt dabei die Zündkerzentemperatur etwa 365°C. Zur Festlegung dieses Wertes und zur Beobachtung der Reproduzierbarkeit haben wir eine Reihe von Versuchen durchgeführt. Ausser dem Eichöl verwendeten wir dazu einige Ölproben verschiedener Herkunft, deren zum Teil an verschiedenen Prüfstellen festgestellten BMW-Laufzeiten, uns angegeben werden konnten. Die NSU- und die BMW-Messungen sind in Bild 4 einander gegenübergestellt. Die NSU-Werte stammen von 2 verschiedenen Motoren. Ihre Ergebnisse stimmen recht gut miteinander überein. Die Streuungen sind bei den Läufen mit Rotring D noch etwas grösser gewesen. Bei den anderen Ölen, insbesondere dem gefetteten C, D 1 und D 3 sind sie dagegen eher geringer als bei den BMW-Motoren. Auch die Übereinstimmung mit der Bewertung der BMW-Motoren ist für die geprüften Öle befriedigend.

Wir haben uns noch bemüht mit den Ringsteckversuchen eine Bewertung hinsichtlich des Abriebs und der Alterung zu verbinden. Dies ist aber nicht in befriedigender Weise möglich gewesen. Es traten nämlich zu grosse Streuungen auf, die wohl in erster Linie davon herrühren, dass die Versuchsseiten und der Einfluss der am Schluss feststehenden Kolbenringe ungleichmässig waren. Wir hoffen, dass wir in dieser Hinsicht bei unseren

Schlammbildungsversuchen weiter kommen werden.

B) Schlammbildung, Alterung und Abrieb.

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

Bei unseren Ölprüfungen auf Ringstecken im NSU-Motor - über die ich berichtet habe - hatten wir vereinzelt Störungen durch Schlammbildung. Es ist beispielsweise Kolbenfressen aufgetreten, weil wie sich nachher herausstellte, die Ölbohrung im Kurbelsapfen mit einer ziemlich festen, pastenartigen Masse, die sich aus dem Öl abgesetzt hatte, vollkommen verstopft war. Wir haben daraufhin Massnahmen ergriffen, um diese Schlammablage an eine für den Motor weniger gefährliche Stelle zu bringen, gleichzeitig mit der Absicht, diesen Schlamm mengenmässig und analytisch erfassen zu können.

Versuchsrichtung.

Zu diesem Zweck haben wir wie in Bild 5 dargestellt ist, das den Kurbelsapfen aufließende Öl zu einem Umweg innerhalb der Kurbelwange gezwungen. Es wird durch eine zusätzliche Bohrung in einen am äusseren Umfang der scheibenförmigen Kurbelwange eingebohrten Hohlraum geschleudert, der durch ein eingeschraubtes Nipfchen nach aussen abgeschlossen ist. Dort wird es um 180° umgelenkt und fliesst durch eine zweite Bohrung dem Kurbelsapfen zu. Durch die Zentrifugalkraft werden die im Öl mitgeführten schweren Teilchen an den Boden des Nipfchens ausgeschleudert. Die geschilderte Änderung der Ölsufuhr bewirkt, dass wie beabsichtigt war, sich nunmehr im Kurbelsapfen kein Schlamm mehr absetzt.

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 Stunden festgelegt. Durch die herabgesetzte Temperatur sollte vermieden werden, dass die Kolbenringe festgehen und dadurch die Ergebnisse beeinflusst werden. Andererseits wollten 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 immer noch festgehen, sodass wir vielleicht die Versuchstemperatur noch weiter herabsetzen werden.

Im allgemeinen haben sich nach 10 Stunden 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 eingesetzt. Nach der Auswägung der Schlammproben erfolgt dann im Laboratorium eine Ermittlung der Anteile an Brennbarem, - wobei das benzollösliche Öl besonders erfasst wird- an Eisen, SiO_2 und sonstigen anorganischen Stoffen.

Um die Alterung des Öles zu beobachten, werden von jedem Lauf 2 Umlaufproben gezogen und im Laboratorium untersucht. 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 an sich noch als Vorversuche zu gelten haben, weil die Prüfbedingungen nicht bei allen einheitlich gewesen sind.

Ausser mit dem Reichöl Rotring D haben wir jeweils mehrere Versuche mit einem synthetischen Öl (1880/5), einem gefetteten (D 3) und einem Motorenöl der Wehrmacht (1842) durchgeführt. Dabei waren wir gezwungen mit verschiedenen Kraftstoffen zu fahren, da zufällig unser gewöhnlicher Kraftstoff ausgegangen war. Kraftstoff A ist ein verbleites Flugbenzin von unbekannter Herkunft, B ein unverbleites synthetisches Benzin mit paraffinisch-olefinischem Charakter, während von

C, D und E bekannt war, dass sie aromatische Stoffe enthalten.

Die bei den einzelnen Läufen erhaltenen Werte für den Schlamm, den Ölverbrauch, den Kolbenringabrieb und die Alterung des Umlauföles sind in der Tabelle von Bild 6 angegeben. Zunächst erscheinen die Ergebnisse recht unübersichtlich. Sie werden aber klarer, wenn man die Werte nach den Kraftstoffen ordnet, wie es in Bild 6 und 7 erfolgt ist. Die Werte, die mit den Kraftstoffen C, D und E erzielt wurden, sind dabei zusammengefasst, weil diese untereinander ziemlich einheitlich sind. Bei ihnen betragen der Abrieb der Kolbenringe und auch die Eisenablagerungen im Schlamm im allgemeinen ein Vielfaches gegenüber den entsprechenden Werten der Kraftstoffe A und B. Auch die Gesamtschlammmenge erscheint, wenn auch nicht bei allen Ölen in gleichem Masse, von Kraftstoff beeinflusst. C, D und E führen offenbar zu mehr Schlamm als A und B. Der Unterschied zwischen diesen beiden ist nicht einheitlich, aber auch nicht besonders gross. B erscheint im allgemeinen etwas günstiger als A. Die verschiedenen Kraftstoffe wirken sich anscheinend auch auf die Alterung des Umlauföles aus, wenn auch bei den einzelnen Ölen nicht in dem gleichen Masse.

Die Analysen zeigten eine verhältnismässig einheitliche Zusammensetzung des ausgeschleuderten Schlammes. Er besteht im wesentlichen aus Brennbarem, wovon wieder der grösste Teil benzollösliches Öl ist, während die Anteile an Eisen und sonstigen anorganischen Stoffen meistens je unter 10 % liegen. Bei einer Reihe von Proben, die etwas ausführlicher analysiert wurden, ergab sich, dass der Gehalt an SiO_2 zwischen 1 und 3% liegt. In entsprechender Grössenordnung sind auch die Anteile an den verschiedenen im Motor noch vorhandenen Metallen. Wesentlich anders ist die Zusammensetzung des Schlammes bei den Versuchen 179 und 182 gewesen, die mit dem Kraftstoff C, bzw. E gefahren wurden. Hier war der Anteil des Eisens und der übrigen anorganischen Stoffe ebenso wie der Kolbenringabrieb wesentlich höher, der des Brennbaren entsprechend niedriger.

Wenn auch die ausser dem Öl noch auftretenden Einflüsse, wie beispielsweise der Kraftstoff oder die motorischen Bedingungen in erheblichem Masse auf die Ergebnisse einwirken und vielleicht sogar wichtiger als das Öl selbst sind, erscheint es

doch möglich, aus den Mittelwerten über die einzelnen Öle gewisse Aussagen zu machen. So ergibt das Eichöl allgemein grössere Schlammmengen als die anderen 3 untersuchten Öle, von denen das synthetische Öl 1880 am günstigsten erscheint. Die geringe Motorverschmutzung und Schlammausscheidung an den Kurbelzapfen bei dem Öl 1880 und anderen, ähnlicher Beschaffenheit wurden auch in verschiedenen Prüfläufen der R-Stelle Reclin beobachtet. Es bleibt natürlich noch zu klären, ob im allgemeinen bei den Vöhlmotoren eine entsprechende Bewertung wie bei den beschriebenen Versuchen erfolgt.

Wie die Tabelle 6 zeigt, waren die bei gleichem Kraftstoff für die Alterung erhaltenen Werte verhältnismässig gut reproduzierbar, sodass auch in dieser Hinsicht eine Aussage über das Verhalten der Öle möglich war. Die Gegenüberstellung der Mittelwerte von Bild 7 zeigt für das synthetische Öl 1880 eine verhältnismässig geringe Zunahme der Viskosität und auch des Conradstestes, dagegen einen erheblichen Anstieg des Harz und Asphaltgehaltes, der allerdings stark vom Kraftstoff abhängig erscheint. Bei Rotring D nimmt die Viskosität stärker zu. Die Öle D 3 und 1842 liegen in der Mitte. Die Zunahme des Harz und Asphaltgehaltes erscheint bei diesen am niedrigsten. Ein Zusammenhang zwischen dem Conradtest und der Laufzeit bis zum Ringstecken ist nicht zu erkennen. Demgegenüber erscheint eine gewisse Beziehung zwischen dem Viskositätsanstieg und der ausgeschleuderten Schlammmenge zu bestehen.

Es war bei diesen Versuchen immer noch schwierig gut reproduzierbare Verschleisswerte zu erzielen. Sie waren aber immerhin wesentlich einheitlicher, als die bei unseren Ringsteckversuchen ermittelten und wir glauben, dass man bei weiterer Vervollkommenung der beschriebenen Versuchsmethode auch hinsichtlich des Abriebs zu einer brauchbaren Bewertung der Öle im EBU-Motor kommen kann. Wenn sich der grosse Einfluss des Kraftstoffes, dem wir noch weiter nachgehen wollen, bestätigen sollte, würde das bedeuten, dass hinter ihm die Unterschiede, die durch die Öleigenschaften bedingt sind zurücktreten. Nach den mit dem Kraftstoff B gemessenen Verschleisswerten, welche in durchaus erträglichen Grenzen streuten und gegenüber den anderen Kraftstoffen am niedrigsten waren, sind die geprüften Öle hinsichtlich des

Abriebes untereinander nicht besonders verschieden. Am günstigsten erscheint das gefettete D 3, was auch mit den bei der letzten Tagung der DVL von Krienke mitgeteilten Erfahrungen vom BMW-Einzylinder übereinstimmt. Aus dem Vergleich mit den Schlammwerten ist zu schliessen, dass mit steigendem Abrieb auch die gebildete Schlammmenge grösser wird, was vielleicht auf eine katalytische Wirkung der Eisenteilchen im Öl zurückgeht.

BW1 unseren Ringsteckversuchen hat das Ausschleudern des Schlammes bis jetzt keinen Einfluss auf die Laufzeiten erkennen lassen, zumindest wurde bisher keine Verlängerung beobachtet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Schlamm- bildung im Motor, ebenso wie die Alterung und der Verschleiss in hohem Masse von anderen Einflüssen, als von der Beschaffenheit des Schmieröles abhängen, dass aber die beschriebenen Versuche doch gewisse Unterschiede zwischen den einzelnen Ölen erkennen lassen.