

Nur zum Dienstgebrauch
im Geschäftsbereich des Empfängers

000577

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 661

*Prüfung von Alterungsverfahren für Schmieröle
Mager-Bugstrom*

Verfaßt von:

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.

Institut für Betriebstoffforschung

Berlin-Adlershof

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen bei
der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.
Berlin-Adlershof Fernruf 03 52 11

000578

Zur Beachtung

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstgebrauchs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anhaltungen für Ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen.

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

Der Bericht ist unter Verschluss zu halten. Parzelschluss nicht erforderlich.

000579

Prüfung von Alterungsverfahren für

Schmieröle.

Übersicht: Eine Reihe von Schmierölen, vorwiegend Flug-
motorenöle verschiedener Zusammensetzung und einige Auto-
öle, wurden nach 7 Verfahren, darunter 2 in der DVL ent-
wickelten, gealtert. Die Ergebnisse der Alterungsverfah-
ren wurden miteinander und mit den Laufzeiten in einem Öl-
prüfmotor bis zum Leistungsabfall infolge Festsetzens der
Kolbenringe verglichen. Die gefundenen Zusammenhänge der
Alterungsverfahren untereinander und mit den Laufzeiten im
Motor waren ziemlich locker. Die beste Übereinstimmung mit
den motorischen Ergebnissen gab das DVL-Schalen-Verfahren.
Die übrigen Verfahren können, je nach der betrachteten Ein-
zelbestimmung, verschieden bewertet werden; im ganzen be-
trachtet, gibt neben dem DVL-Verfahren das Air-Ministry-
Verfahren die am besten mit den Motorläufen übereinstimmen-
den Ergebnisse, während die Brauchbarkeit der übrigen Ver-
fahren etwa in folgender Reihenfolge abnehmend bewertet
werden kann: Indiana-Verfahren, französisches, DVL-Turbi-
nen- und Sligh-Verfahren. Das Verfahren nach Evers und
Schmidt wurde nur für Autoöle verwendet und gehört hier zu
den weniger brauchbaren Verfahren.

Der Bericht umfaßt:

54 Seiten mit
11 Abbildungen und
10 Zahlentafeln

Institut für Betriebstofforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.

Der Bearbeiter

K. Mayer-Bugström
K. Mayer-Bugström

Berlin-Adlershof, den 10.11.37

BSf 501/20

NS

liederung: I. Allgemeines

1. Begriff der Ölalterung
2. Praktische Auswirkung der Ölalterung
3. Zweck der Versuche

II. Gang der Untersuchung

1. Grundzüge der Verfahren
2. Die untersuchten Verfahren
 - a) Verfahren des englischen Luftfahrtministeriums
 - b) Verfahren des französischen Luftfahrtministeriums
 - c) Indiana-Verfahren
 - d) Sligh-Test
 - e) Verfahren nach Evers u. Schmidt
 - f) DVI-Turbinen-Verfahren
 - g) DVI-Schalen-Verfahren

III. Versuchsergebnisse

1. Ergebnisse der einzelnen Verfahren
2. Vergleich der Verfahren miteinander und mit motorischen Ergebnissen

IV. Zusammenfassung

I. Allgemeines

1. Begriff der Ölalterung:

Einen wesentlichen Teil der Laboratoriumsprüfmethoden für Motorenschmieröle bildet die Alterungsprüfung. Es genügt nämlich nicht, die Eigenschaften eines Schmieröles im frischen Zustande zu kennen. Die Schmieröle sind Stoffe, welche sich keineswegs auf die Dauer unverändert halten. Schon beim Aufbewahren können sich durch chemische Veränderung einzelner Bestandteile die Eigenschaften der Öle ändern. Dies wird jedoch bei guten Ölen praktisch kaum ins Gewicht fallen. Umsomehr Aufmerksamkeit ist der Veränderung der Öle beim Gebrauch zuzuwenden. Abgesehen davon, daß hierbei auch eine Veränderung durch Verlust leichtflüchtiger Bestandteile stattfindet, tritt fast im-

mer eine sehr erhebliche chemische Umwandlung ein. Das Maß dieser Umwandlung ist einmal abhängig von dem Öl selbst, d.h. seiner Zusammensetzung, die wieder durch Herkunft und Aufarbeitung bedingt ist, dann von den Bedingungen, welchen es beim Gebrauch ausgesetzt ist. In erster Linie ist hier der Sauerstoff der Luft zu nennen, dessen Einwirkung durch die im Motor herrschenden hohen Temperaturen, die Bewegung des Öles und seine Ausbreitung in dünner Schicht, sowie durch den katalytischen Einfluß der Metalle begünstigt wird. Die Metalle können sich auch direkt an der Ölveränderung durch Bildung von Metallverbindungen, z.B. Seifen, beteiligen, die z.T. im Öl löslich sind, z.T. aber als Schlamm - gewöhnlich zusammen mit Asphalt - ausfallen. Auch die Feuchtigkeit wirkt ein, und schließlich gehen unter dem Einfluß der hohen Temperaturen auch ohne Mitwirkung atmosphärischer Einflüsse chemische Veränderungen im Öl vor sich. Das Ergebnis der Ölalterung ist eine Abweichung sämtlicher physikalischer und chemischer Eigenschaften eines gealterten Öles von denen des Frischöles. Fast immer zeigt das gealterte Öl eine Erhöhung der Dichte und der Viskosität, der Säure- und der Verseifungszahl, des Aschen- und Asphaltgehaltes, sowie der Verkokungszahl und eine Farbvertiefung gegenüber dem Frischöl. Alle diese Veränderungen sind primär auf die Oxydationswirkung des Sauerstoffes zurückzuführen, wenn auch für einzelne von ihnen die Mitwirkung von Feuchtigkeit und Metallen förderlich oder erforderlich ist. So kann die zunächst durch Oxydation gebildete organische Säure durch Bindung an Hydroxylgruppen oder auch Metalloxyde zu einer Erhöhung der Verseifungszahl und im letzteren Fall auch des Aschengehaltes führen. Die Verdickung der Öle ist wohl nur zum Teil auf das Verschwinden leichter Bestandteile und die Aufnahme von Aschenbestandteilen, hauptsächlich aber auf die Bildung organischer Oxydations- und Polymerisationsprodukte zurückzuführen. Werden die Öle unter Abschluß von Sauerstoff erwärmt, so tritt trotz Verlustes an leichtflüchtigen Bestandteilen eine Verdünnung der Öle, d.h. Abnahme der Viskosität und des spezifischen Gewichtes ein. Dies ist möglicherweise auf Spaltung der Moleküle zurückzuführen. Auch bei Anwesenheit von Sauerstoff wird anzunehmen sein, daß neben der Bil-

...dung von Polymerisationsprodukten eine derartige Molekülspaltung eintritt; es ist allerdings zweifelhaft, ob die so entstehenden sauerstoffhaltigen oder ungesättigten Verbindungen von geringem Molekulargewicht, soweit sie nicht flüchtig sind, bestehen bleiben oder ebenfalls polymerisieren; in den verdickten Ölen überwiegen jedenfalls die größeren Molekülgebilde. Außer den erwähnten Veränderungen zeigen gebrauchte Öle aus dem praktischen Betrieb noch Verunreinigungen durch feste Fremdstoffe, die teils so fein verteilt sind, daß sie vom Öl in Suspension gehalten werden, teils zum Absetzen neigen und dann zusammen mit Feuchtigkeit, Asphalt und metallorganischen Verbindungen den Ölschlamm bilden. Hierher gehört neben Metallabrieb, Bleiverbindungen (bei bleihaltigen Kraftstoffen) und Flugstaub vor allem die sogenannte Ölkohle. Die Ölkohle bildet sich hauptsächlich im Verbrennungsraum durch oxydative Verkokung der dahin gelangten Ölanteile; 1) auch der Kraftstoff kann, falls seine Beschaffenheit oder die Bedingungen bei der Verbrennung es begünstigen, zur Kohlebildung beitragen. 2) Ein Teil dieser Ölkohle gelangt durch den Auspuff ins Freie oder verbrennt; der Rest lagert sich teils am Kolbenboden oder durch das Öl mitgerissen an anderen Stellen wie an den Ringen, im Kolbeninnern usw. ab, teils bleibt er im Öl suspendiert.

2. Praktische Auswirkung der Ölalterung.

Die im Öl durch die Alterung vor sich gehenden Veränderungen wirken sich in verschiedener Weise praktisch aus. Von den öllöslichen Alterungsstoffen sind die saueren und verseifbaren Anteile, solange nicht in zu großer Menge gebildet, nicht störend; sie können sogar wegen der Erhöhung der Schmierwirkung von Vorteil sein. In größerer Menge anwesend können sie im Verein mit den übrigen öllöslichen Alterungsstoffen die schon durch die Flüchtigkeit leichter Ölbestandteile begünstigte Verdickung der Öle weiter treiben. Allerdings wirken Verdünnung durch Kraftstoffreste und auch Molekülspaltung dem entgegen; letztere kann bei manchen Ölen sogar ein solches Ausmaß

erreichen, daß nicht eine Verdickung, sondern eine Verdünnung des Altöles gegenüber dem Frischöl die Folge ist. Starke Abweichungen von der Viskosität des ursprünglichen Öles wirken, da diese Viskosität ja das Optimum für die Schmierung des Motors darstellt, naturgemäß störend. Noch unerwünschter ist jedoch die stärkere Neigung zur Rückstandsbildung, welche durch Ansammlung im Ölgelester Alterungsstoffe hervorgerufen wird. Die kohleartigen Rückstände von der Öl- und Kraftstoffverbrennung vereinigen sich mit den aus dem Öl bereits ausgeschiedenen Alterungsstoffen und den nicht öllöslichen Fremdstoffen zu dem bereits genannten Schlamm, der zur Verstopfung der Ölleitungen führen kann; andererseits bilden sie auch feste Ablagerungen am Kolben und in den Nuten für die Kolbenringe. Während die Ablagerungen im Verbrennungsraum, soweit sie nicht überhaupt wegbrennen, wenig Schaden anrichten, solange sie im Verbrennungsraum bleiben, können die in den Nuten abgelagerten Rückstände zum Verkleben der Kolbenringe führen.

3. Zweck der Versuche.

Es ist von Wichtigkeit, bereits im Laboratorium das Alterungsverhalten von Ölen feststellen zu können, um dadurch von vornherein Schlüsse auf ihr Verhalten im Betrieb ziehen, ungeeignete Öle ausschalten oder bei Störungen von Motorläufen die Öle nachprüfen zu können. Zur Prüfung der Alterungsneigung im Laboratorium gibt es zahlreiche Verfahren, die in sehr verschiedener Weise die alterungsfördernden Einflüsse auf die Öle wirken lassen. Die erhaltenen Alterungsprodukte (Öle und Ölrückstände) sind naturgemäß voneinander, wie auch von betriebsmäßig gelaufenen Ölen verschieden. Es ist auch nicht Zweck der Alterungsverfahren, gleiche Öle wie im Betrieb zu erhalten, sondern durch Vergleich mit der Praxis sich einen Maßstab zu schaffen, der die Öle nach ihrer Alterungsneigung ihrem praktischen Verhalten entsprechend eingruppiert. Die untersuchten Eigenschaften der im Laboratorium gealterten und der praktisch gebrauchten Öle brauchen hierbei nicht dieselben zu sein.

In vorliegender Arbeit bestand der motorische Vergleich in der Feststellung der Laufzeit der Öle bis zum Leistungsabfall infolge Festsetzens der Kolbenringe oder infolge nachlassender Schmierwirkung in einem luftgekühlten Siemens-Einzylindermotor.³⁾ Der Wert der einzelnen Laboratoriumsverfahren wurde umso höher veranschlagt, je besser die Beziehung zwischen den untersuchten Eigenschaftsänderungen der im Laboratorium gealterten Öle mit der Laufzeit in dem erwähnten Motor war. Zur Prüfung gelangten einige in verschiedenen Ländern weit verbreitete und zwei von der DVL vor nicht langer Zeit entwickelte Alterungsverfahren.

Die Analyseergebnisse der untersuchten 31 Öle sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt. Darunter befinden sich die wichtigsten derzeit gebräuchlichsten Flugmotorenöle. Die Öle 1 bis 14 sind ungefettete Öle auf vorwiegend paraffinischer, Öl 15 auf naphthenischer Grundlage, Öl 16 ist ein synthetisches Öl. Die Öle 17 bis 19 sind gefettet, Öl 20 ist auf Rizinusölbasis hergestellt, also fettes Öl. Die Öle 21 bis 24 sind Regenerate von gebrauchten und zwar ist Öl 21 aus Öl 18, 22 aus 8, 23 und 24 aus Öl 1 regeneriert. Bei den restlichen 7 Ölen handelt es sich um Autoöle. Über 8 der untersuchten Öle wurde bereits in einer früheren Arbeit berichtet, in der jedoch nur ein Teil der Verfahren aus vorliegender Arbeit zur Anwendung kam. Einzelne Prüfungen wurden an diesen Ölen wiederholt; beim englischen Verfahren ergaben sich dabei gegen früher infolge an der Apparatur vorgenommener Verbesserungen erhöhte Werte, was jedoch an der Reihenfolge und damit Bewertung dieser Öle nichts Wesentliches änderte.

II. Gang der Untersuchung.

1. Grundzüge der Verfahren.

In Zahlent. 2 sind die Versuchsbedingungen zusammengestellt, welchen die Öle bei den einzelnen Alterungsverfahren unterworfen werden. Vergleicht man sie mit den Ver

hältnissen, denen die Öle beim Motorbetrieb unterworfen sind; so sind große Unterschiede festzustellen. Vor allem sind die Alterungstemperaturen im Vergleich zu den am Kolben herrschenden Temperaturen meist viel niedriger. Reiner Sauerstoff 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. Schon die angewendeten Mengen Öl sind sehr verschieden und bewegen sich zwischen 10 g und 300 ccm. Die Versuchszeit beträgt wenigstens 1 h 40 Min. (beim Verfahren nach Evers u. Schmidt) und kann beim Indiana-Verfahren, das ja nicht die Versuchszeit festlegt, sondern die zur Bildung einer bestimmten Asphaltmenge erforderliche Zeit mißt, 400 h und mehr betragen. Sie steht in einem gewissen Verhältnis zur Versuchstemperatur. So zeigt sich in der Reihenfolge der mit Luft als Oxydationsmittel arbeitenden Verfahren des französischen, des englischen Luftfahrtministeriums, des DVL-Turbinen- und des DVL-Schaden-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 u. Schmidt ist sowohl die Oxydationszeit als auch die Temperatur noch geringer als beim Sligh-Test; dafür arbeitet dieses Verfahren aber nicht nur in Sauerstoff-Atmosphäre, sondern breitet die Öle in dünner Schicht auf einer Kontaktsubstanz aus. Die Verfahren gleichen also die Schärfe der einzelnen Oxydationsbedingungen untereinander aus. Damit soll selbstverständlich nicht gesagt sein, daß die nach den einzelnen Verfahren gealterten Öle auch nur annähernd dieselben Eigenschaften zeigen müßten. Die Prüfung der gealterten Öle erfolgte nach den Vorschriften der einzelnen Verfahren, welche

nur in unwesentlichen Punkten abgeändert und in einzelnen Fällen durch Untersuchung auf besonders wichtige Eigenschaften ergänzt wurden (Hinweis darauf bei Besprechung der einzelnen Verfahren). Die am meisten, nämlich in 6 von den 7 Verfahren, zur Kennzeichnung des Alterungszustandes herangezogene Bestimmung war die des Asphalthehaltes. Es folgten nach der Häufigkeit: die Bestimmung der Viskosität und der Gewichtsabnahme (Flüchtigkeit) in 4 Fällen, des spezifischen Gewichtes und der Verkokungszahl in 3, der Säure- und der Verseifungszahl in zwei Fällen und der Sauerstoffaufnahme in einem Fall.

Die Bestimmung der einzelnen Kennzahlen erfolgte, soweit nicht anders angegeben, nach folgenden Vorschriften:

Visk.: DIN DVM 3655 (Vogel-Ossag-Viskosimeter)

Hartasphalt : DIN DVM 3660

Spez. Gewicht : DIN DVM 3653

Säurezahl : DIN DVM 3658

Verseifungszahl : DIN DVM 3659

Verkokungszahl nach Conradson : ASTM Standards on Petroleum Products and Lubricants, 1935, S.43

Verkokungsz. n. Ramsbottom : Air Ministry General Specification Nr. D.T.D.109

2. Die untersuchten Verfahren.

a) Verfahren des englischen Luftfahrtministeriums 4)

Zur Aufnahme des Öles dient ein Reagensglas von 250 mm Länge und 25 mm lichtigem Durchmesser, das starr in senkrechter Lage in einem beheizbaren Ölbad befestigt wird. In das Ölbad taucht ein geeichtes Quecksilber-Thermometer. Der obere Teil des Glasrohres und des Thermometers sind vor Zug zu schützen, und die Temperaturablesungen für den herausragenden Faden zu korrigieren. Zur Zuführung der Luft (15 l/h) dient ein Glasrohr von 5 mm lichtigem Durchmesser, dessen Öffnung für den Austritt der Luft sich 6 mm über dem Boden des Reagensglases befindet. Dieses Glasrohr ist mittels eines geschlitzten Korkens in das Reagensglas eingesetzt. Die Luft entweicht durch den Schlitz des Korkens. Druckausgleich-

flasche und Strömungsmesser für den Luftstrom sind vorgesehen.

Da die Temperatur des Versuchöles während des Versuches $200 \pm 0,1^\circ\text{C}$ betragen soll, aber nicht besonders gemessen wird, mißt man durch einen einmaligen Kontrollversuch die Temperatur des Öles im Ölbad, während gleichzeitig im Versuchöl unter Einleiten der vorgeschriebenen Luftmenge eine Temperatur von 200°C festgestellt wird. Die Temperatur des Badöles kann um einige Zehntel Grade höher gefunden werden als die des Versuchöles.

Zur Vornahme eines Versuches wird das Ölbad auf die Versuchstemperatur gebracht; erst wenn diese erreicht ist, wird das mit 40 ccm Öl gefüllte und gewogene Reagensglas eingesetzt und sofort mit dem Lufteinleiten begonnen. Nach Ablauf von 6 Stunden wird die Luft abgestellt und das Reagensglas mit dem Öl herausgenommen. Am folgenden Tag wird die Oxydation in der gleichen Weise fortgesetzt.

In der Vorschrift des Air Ministry wird die Vornahme der Viskositätsbestimmung bei 100°F ($37,8^\circ\text{C}$) und der Verkokungszahl nach Ramsbottom verlangt. Nach den Anforderungen dieser Vorschrift soll die Viskosität des gealterten Öles höchstens doppelt so hoch, seine Verkokungszahl nach Ramsbottom höchstens um 1 größer als die des Frischöles sein; die Verkokungszahl des Frischöles soll nicht mehr als 0,70 betragen. Diese Anforderungen können nur als Anhaltspunkte dienen. Manche Flugmotorenöle überschreiten besonders die Grenzwerte für die Viskositätserhöhung beträchtlich, ohne deshalb unbrauchbar zu sein. Die in der DVL vorgenommenen Untersuchungen des spezifischen Gewichtes, der Viskosität bei 50°C und der Gewichtsabnahme sind nicht in der Vorschrift des Air Ministry enthalten.

Obwohl das Verfahren ursprünglich nur für rein mineralische Öle gilt, wurden zum Vergleich auch gefettete und fette Öle gealtert.

b) Verfahren des französischen Luftfahrtministeriums 5)

Zur Aufnahme der Öle dienen dickwandige Glasgefäße von etwa 1/4 l Inhalt, deren Gewicht nicht über 1700 g betragen soll. Die Form der Gefäße und ihre Bewegung im Apparat sind so gewählt, daß die gesamte Ölfüllung von 200 ccm während einer Schwingung in dünner Schicht von einer Seite des Öles auf die andere laufen muß. Zehn derartige Glasgefäße lassen sich nebeneinander in einen Rahmen einsetzen, welcher motorisch in schwingende Bewegung versetzt werden kann. Der Rahmen mitsamt den Gefäßen befindet sich in einem trockenschrankähnlichen Gehäuse von 72 cm Höhe, 62 cm Breite und 54 cm Tiefe (lichte Maße). Das Gehäuse ist elektrisch beheizbar und mit automatischer Temperaturregelung versehen. In der Tür des Gehäuses sind unten einstellbare Schlitze zur Belüftung angebracht; die Luft kann oben durch eine ebenfalls einstellbare Klappe entweichen. Die Größe der Schwingungen, welche der die Gläser tragende Rahmen aus seiner normalen Lage nach jeder Seite macht, beträgt 34° ; die Schwingungsperiode (d. i. Zeit für eine Hin- und Herschwingung) $7/2$ bis 8 Sekunden. Die Temperatur soll $140^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ im Öl betragen. Zu ihrer dauernden Beobachtung wurde eines von den 10 Gläsern nur zur Temperaturkontrolle bestimmt und mit einer solchen Menge eines Öles gefüllt, daß sich die Spitze eines Thermoelementes auch während der Schwingungen stets im Öl befand. Ein Kupferblechstreifen von etwa 600 mm Länge, 20 mm Breite und 0,1 mm Höhe wurde an der Innenseite jedes Gefäßes und zwar an den Schmalseiten und am Boden entlang gelegt, so daß er seiner ganzen Länge nach vom Öl bespült werden mußte. Die Gefäße samt Kupferstreifen und Ölfüllung (200 ccm) wurden vor und nach jedem Versuch gewogen.

Zur Vornahme eines Versuches wurde das Gehäuse so geheizt, daß das Kontrollöl in der Schwingvorrichtung 140°C hatte; dann wurden die übrigen Gefäße eingesetzt und der Versuch ohne Unterbrechung 120 Stunden laufen gelassen.

Nach Vorschrift des Ministère de l'air soll die Viskositätszunahme bei 35 und bei 100° und die Menge des Petrolätherunlöslichen festgestellt werden. In vorliegenden Versuchen wurde die Viskositätszunahme, statt bei 35°C, bei der üblichen Temperatur von 50°, ferner bei 100°C bestimmt. Das Petrolätherunlösliche wurde im allgemeinen neben dem Normalbenzinunlöslichen bestimmt. Ferner wurden spezifisches Gewicht, Verkokungszahl nach Conradson und Gewichtsverlust ermittelt. Einzelne Öle (Nr. 27, 28, 30, 31) waren so durchsetzt von festen Abscheidungen, daß die Entnahme von Durchschnittsproben für die einzelnen Bestimmungen unmöglich war. Von diesen Ölen wurde nur der Asphalt durch Aufnehmen des ganzen Gefäßinhaltes in Normalbenzin festgestellt.

In dem Norme Air sind Anforderungen nicht enthalten. Einen Anhaltspunkt gibt aber Damian in seiner Arbeit "Méthode d'appréciation des lubrifiants", deren Gegenstand die Anwendung des besprochenen Verfahrens bildet, allerdings im Vergleich zu Fahrzeugmotoren. Er fand, daß die Öle mit motorisch gutem Verhalten bei der Alterung weniger als 0,2% Abscheidungen und eine Erhöhung der Verkokungszahl nach Conradson von weniger als 200% des Frischöles gaben.

c) Indiana-Verfahren 6)

Die zur Aufnahme der Öle bestimmten Gefäße haben die Form großer Reagenzgläser von 40 bis 44 ccm Innendurchmesser und 450 bis 500 mm Länge. Ebenso wie bei der Oxydation nach dem Air Ministry-Verfahren wird eine bestimmte Luftmenge durch ein bis nahezu auf den Boden der Gefäße reichendes Rohr eingeblasen. Beim Indiana-Verfahren beträgt die stündlich eingeblasene Luftmenge 10 Ltr., der Innendurchmesser des Einblaserohres 4 bis 5 mm. Die eingeblasene Luft kann durch eine Öffnung in dem Korken, durch den das Einblaserohr geführt ist, entweichen. Zum Erhitzen der Glasgefäße dient ein elektrisch heizbares Ölbad. Eine Anzahl Gefäße (bei den vorliegenden Untersuchungen 8) lassen sich in senkrechter Lage derart befestigen, daß sie

30 cm tief in das Ölbad eintauchen und zur Beheizung und zum Rührer symmetrisch liegen. Zur Temperaturkontrolle diente ein geeichtes Thermometer, das sich dauernd in einem der Versuchsöle befand; ferner ein Thermolement im Ölbad. Die Temperatur im Ölbad und in den Versuchsölen war dieselbe ($172 \pm 0,5^\circ\text{C}$). Die Luftmenge wird durch Strömungsmesser kontrolliert.

Nach Anheizen des Ölbad auf die gewünschte Temperatur werden die Röhren eingesetzt und $\frac{1}{2}$ Std. später mit dem Lufteinleiten begonnen. Die Versuchszeit beginnt mit dem Einleiten der Luft. Der Versuch läuft ununterbrochen. Von Zeit zu Zeit werden nun Proben entnommen, die auf Asphaltgehalt untersucht werden. Solche Proben wurden täglich oder - bei sehr beständigen Ölen - alle zwei Tage entnommen. Ferner wurden Proben zur Bestimmung der Viskosität bei 50°C alle 2 oder 3 Tage entnommen. Eine häufigere Probenahme war wegen der großen Beständigkeit der meisten untersuchten Öle nicht notwendig und wäre auch schwer durchführbar gewesen, da durch die Probenahme eine starke Verringerung der Ölmenge eintrat, sodaß von den beständigeren Ölen am Schluß der Versuche nun noch ein kleiner Bruchteil der ursprünglich angewendeten Menge vorhanden war. Um die Ölmenge nicht zu sehr zu verringern, wurden die zur Bestimmung der Viskosität entnommenen Proben wieder zurückgegeben oder zur Asphaltbestimmung verwendet. Nach Vorschrift soll die Zeit ermittelt werden, in der 0,1 bzw. 1% Asphalt gebildet sind. Da dieser Zustand bei manchen Ölen nach einer Zeit von über 400 Std. noch nicht erreicht, die Ölmenge aber schon sehr gering war, wurde der Versuch dann abgebrochen. Die zur Bildung von 0,1 und 1% Asphalt sowie zu einer Viskositäts-erhöhung von 25% notwendigen Zeiten wurden durch Kurven ermittelt und sind in Zahlentafel 5 zusammengestellt.

d) Sligh-Verfahren 7)

Als Versuchsgefäße dienen langhalsige, durch eingeschlossene Glasstopfen verschließbare Flaschen. Die Glasstopfen werden während des Versuches durch besondere

Klammern auf die Flasche gedrückt. Eine Anzahl solcher Flaschen (z.B. 6) stehen während des Versuches so in einem Ölbad, daß der Hals zum größten Teil herausragt. Durch besondere in den Flaschenhals einhängbare Glaszylinder, welche den oberen Teil des Halses über dem Ölbadspiegel lose abschließen, ist dafür gesorgt, daß die Temperatur des Hauptteiles der Flasche unabhängig von der Raumtemperatur bleibt. Das Ölbad ist elektrisch auf $200^{\circ} + 1^{\circ}\text{C}$ heizbar.

Das Verfahren ist folgendes:

Nach Einwiegen von 10g Öl in die Flasche wird diese mit Sauerstoff gefüllt, der Glasstopfen wird aufgesetzt und mit einer Klammer befestigt. Die Flasche wird dann in das auf 200°C geheizte Ölbad gesetzt und dort $2\frac{1}{2}$ Stunden bei derselben Temperatur belassen. Von dem Öl wird sodann das Benzinunlösliche bestimmt; das Gewicht des Benzinunlöslichen in Milligramm wird als "Oxydationszahl" des Öles bezeichnet. +)

e) Verfahren nach Evers und Schmidt 8)

Bei diesem Verfahren bleibt im Gegensatz zu den übrigen das Öl während der Oxydation in Ruhe. Der gute Kontakt zwischen Öl und Gas wird durch feine Verteilung des Öles auf einer verhältnismäßig großen Menge von Silicagel (60 g auf 15,5 g Öl) bewirkt, das mit Kupferoxyd beladen ist. Das Silicagel-Ölgemisch befindet sich in einem einseitig geschlossenen Glasrohr mit plangeschliffenem Rand, das durch siedendes Wasser auf 100° geheizt werden kann. Die Röhre steht in Verbindung mit dem Anodenraum eines Gefäßes, in dem Natronlauge elektrolysiert werden kann. Der Apparat besitzt ferner eine Vorrichtung zum Messen der entwickelten Sauerstoffmenge, einen Anschluß an die Vacuumpumpe, ein Quecksilbervacuometer und ein Wassermanometer.

Zur Vornahme eines Versuches wird das Öl, tropfenweise auf dem Katalysator verteilt, in die Reaktionsröhre gebracht; diese wird luftdicht an den Apparat angeschlossen.

+) Die Bestimmung der Sligh-Teste wurde im Chemischen Laboratorium Dr. Koetzschau und Dr. Schmitt, Hamburg, durchgeführt.

der dann luftleer gesaugt wird. Das Öl wird auf 100°C erwärmt und diese Temperatur während des ganzen Versuches gehalten. Nun wird der Apparat mit reinem Sauerstoff gefüllt. Das Öl beginnt nun mehr oder minder lebhaft Sauerstoff aufzunehmen, sodaß dieser nachentwickelt werden muß, um den Druck im Apparat gleich dem äußeren Luftdruck zu halten (Kontrolle durch das Wassermanometer). Durch Auftragen der verbrauchten Strommenge (Ampère x Minuten) über der Zeit, ausgedrückt in Minuten, erhält man eine Kurve, welche die zu jedem Zeitpunkt von dem Öl verbrauchte Sauerstoffmenge wiedergibt. Der Endpunkt dieser Kurve ergibt die sogenannte Alterungszahl, indem die zuletzt gemessene Ampère-Minutenzahl durch die Zeit (100 Minuten) dividiert wird.

Der Sinn des Verfahrens ist also, nicht das Öl selbst auf Oxydationserscheinungen zu untersuchen, sondern eine Sauerstoffaufnahme unter bestimmten Bedingungen zu messen. Ein Öl soll umso besser sein, je weniger Sauerstoff es aufnimmt. Das Verfahren gibt jedoch auch die Möglichkeit, das Öl, z.B. durch Extraktion mit Benzol-Aceton-Gemisch nach dem Versuch wieder zu gewinnen und auf seine Oxydationsprodukte zu untersuchen, was deshalb wichtig ist, weil es für die Praxis nicht nur auf die Sauerstoffaufnahme, sondern auch auf die Form ankommt, in die der Sauerstoff übergeführt wird. Z.B. wird in Säuren und Estern enthaltener Sauerstoff nicht so schädlich sein wie solcher, der asphaltartige, zur Ausscheidung neigende Körper bildet.

Im FB-Bericht 381 wurde über die an 8 Ölen nach dem Verfahren von Evers und Schmidt vorgenommene Oxydation und die in den oxydierten Ölen gefundenen Alterungs-, Säure-, Verseifungszahlen und Asphaltmengen berichtet (s. Zahlentafel 6). Die Oxydation wurde nach etwa 2 Jahren an zwei dieser Öle mit neuem Katalysator wiederholt; dabei wurden jedoch bedeutend höhere Alterungszahlen erhalten (Öle Nr. 13 und 27). Dieses Ergebnis wurde auch durch analoge Versuche an einem anderen, sonst nicht in dieser Arbeit behandelten Öl bestätigt (172/33c; s. Abb. 9). Da diese, besonders bei Öl 27 stark zum Ausdruck kommende Erhöhung der Alterungszahl offenbar damit zusammenhängt, daß die

einzelnen Lieferungen des Katalysators nicht immer gleiche Aktivität besitzen, wurde von einer Oxydation der übrigen Öle abgesehen.

f) DVL-Turbinen-Verfahren

Dieses Verfahren verwendet in noch größerem Maß Metalle zum Aufbau des Apparates als das französische Verfahren und dasjenige von Evers und Schmidt. Durch die Zusammensetzung des Apparates aus verschiedenen Metallen sollten die Verhältnisse der Praxis, in der das Öl ja auch mit verschiedenen Metallen in Berührung kommt, nachgeahmt werden. Der Apparat ist in Abb. 10 dargestellt. In einem kupfernen Gehäuse (1) in Gestalt eines aufrecht stehenden Zylinders rotiert eine zentrisch eingesetzte Welle aus Stahl (2), die mit 8 waagrecht übereinander liegenden Schleuderscheiben (3) aus Aluminium versehen ist. An der Innenwand des Gehäuses sind mittels stählerner Distanzringe (4) neun trichterförmige Bleche (5) aus Messing befestigt, welche in die zwischen den Schleuderscheiben befindlichen Zwischenräume so hineinragen, daß ein von oben herabfließendes Öl abwechselnd immer eine Schleuderscheibe und einen Trichter passieren muß. Die Welle wird durch einen Motor angetrieben und macht 3500 U/Min. Das unten aus dem Gehäuse auftretende Öl gelangt in ein Vorratsgefäß aus Messing (6), in dem auch der Einfüllstutzen für das Öl angebracht ist (7). Zur Zurückhaltung mechanischer Verunreinigungen im Öl (Kohle, Metallteilchen) dient ein im Vorratsgefäß eingebautes Messingsieb (8). Aus dem Vorratsgefäß wird das Öl mittels einer Zahnradpumpe (9) mit Messinggehäuse und Stahlrädern durch eine Kupferrohrleitung (10) wieder in das Gehäuse zurückgepumpt. Zwei Hähne, von denen einer in die Hauptleitung, der andere in eine die Zahnradpumpe umgehende Zweigleitung eingebaut ist, dienen zur Regulierung der Umlaufgeschwindigkeit. Die Hauptleitung ist über dem Gehäuse durch ein weites, kalibriertes Glasrohr (11) von ca. 5 ccm Inhalt unterbrochen, durch welches das Öl sichtbar in dünnem Strahl oder tropfenförmig fließen muß, ohne die Glaswandungen zu berühren. Das Glasrohr hat durch ein mittels eines Stiftes

lose verschließbares Loch im Oberteile des es tragenden Gehäuses Kontakt mit der Außenluft. Unterhalb des Glasrohres befindet sich ein Absperrhahn. Zur Messung der Umlaufgeschwindigkeit des Öles wird der Absperrhahn geschlossen und die in einer bestimmten Zeit im Schauglas angesammelte Ölmenge gemessen. Die umlaufende Ölmenge betrug 2,7 ccm/Min. Eine an der tiefsten Stelle der Rohrleitung angesetzter Ablaßhahn dient zur Entleerung des Apparates. Die Zuführung der Luft erfolgt durch eine in den Boden des Gehäuses (1) eingesetzte Rohrleitung. Die aus einer Preßluftflasche entnommene, durch einen Strömungsmesser gemessene Luft geht im Gegenstrom zum Öl durch das Turbinengehäuse, in dessen Deckel die Austrittsleitung für die Luft angebracht ist. Die Luft gelangt weiter in eine abnehmbare Glasleitung, von der ein Zweig in das Gefäß (6) zurückführt und das Zurückfließen leicht kondensierbarer Produkte in den Ölumlaufl gestattet. Die Gasleitung führt zu den ebenfalls aus Glas bestehenden Absorptionsgefäßen: einem etwa 1 1/2 cm weiten Glasrohr, das zur Zurückhaltung feiner Ölnebel in einer Länge von etwa 15 cm mit lockerer Watte angefüllt ist, einem Absorptionsturm, der auf Glaskugeln verteilt 1/10 oder 1/2 n-Kalilauge enthält und einem mit aktiver Kohle beschickten U-Rohr. Die Erwärmung des Turbinengehäuses erfolgt durch Dampfheizung; die siedende Flüssigkeit befindet sich im Kupferkolben (12), der Dampf steigt in den mit Rückflußkühler (13) und Thermometerstützen (14) versehenen Siedemantel. Auch für die Kontrolle der Temperatur im Ölraum ist ein Thermometerstützen vorgesehen (15).

Die Arbeitsweise war folgende:

Eine gewogene Ölmenge (ca. 50 ccm) wurde in das Vorratsgefäß (6) eingebracht. Der Heizkolben wurde etwa bis zur Hälfte mit der Heizflüssigkeit gefüllt. Nach Anheizen wurde das Öl mittels der Pumpe in Umlauf gesetzt, die Turbine angestellt und Luft durchgeleitet. Nach Beendigung des Versuches wurde das Öl herausgelassen und der Apparat mit Benzol und Aceton nachgespült. Das Gewicht des Kondensates im Watterohr wurde festgestellt,

die benzolische Lösung desselben mit der durch Ausspülen des Apparates erhaltenen Spülflüssigkeit und dem herausgelassenen Öl vereinigt und das Lösungsmittel bei 100°C im Vacuum vertrieben. Die Menge des Gesamtückstandes wurde festgestellt und hiervon das spezifische Gewicht bei 20°C, die Viskosität bei 50°C, die Asphaltmenge, Säure- und Verseifungszahl bestimmt. Die Menge der durch die Kalilauge in Absorptionsturm zurückgehaltenen organischen Säuren wurde durch Versetzen mit überschüssiger titrierter Säure, Erhitzen bis zum Siedebeginn (zum Austreiben der Kohlensäure) und Zurücktitrieren mit KOH festgestellt. Die Gewichtszunahme des Kohlerohres ergab die Menge der durch die Kohle festgehaltenen Substanzen.

Der Hauptteil der Versuche wurde bei einer Temperatur von 244°C im Heizmantel vorgenommen (erreicht durch siedendes α -Methyl-Naphthalin); die Öltemperatur lag etwa um 4°C tiefer, die Luftmenge betrug bei diesen in Zahlentafel 7 aufgeführten Versuche 63 ltr/Std., die Versuchsdauer 8 Std. Aus Zahlentafel 8 ist für einige Öle ersichtlich, wie sich Veränderungen der Versuchsbedingungen (Temperatur, Zeit, Luftmenge, Kohlensäure statt Luft) auf die Versuchsergebnisse auswirken. Als Heizflüssigkeiten dienten außer α -Methyl-Naphthalin: Wasser (110°C), Anisol (154°C), Glykol (198°C) und β -Naphthol-Äthyläther (287°C).

g) DVL-Schalen-Verfahren 9)

Die zur Aufnahme von 10 g Öl (auf 0,1 g genau gewogen) bestimmten Gefäße sind flache Schalen (Petrischalen) aus Jenaer Glas von 88 mm lichtigem Durchmesser, 18 mm lichter Höhe und Wandstärke 2 mm. Der zur Erwärmung dieser Schalen dienende Ofen besteht aus einem runden, elektrisch heizbaren Metallbad von 440 mm Durchmesser und 190 mm Höhe, das mit Blei-Zinn als Badflüssigkeit angefüllt ist. In den Deckel des Metallbades sind 6 runde versenkte Eisenschalen so eingelassen, daß sie 60 mm tief in die Badflüssigkeit eintauchen. Die Eisenschalen sind ebenfalls mit Blei-Zinn gefüllt bis zu einer Höhe von etwa 40 mm, sodaß die eingesetzten Glasschalen mit dem Deckel

der Apparatur abschneiden. Die Temperaturmessung erfolgt durch ein in der Mitte des Bades steckendes Thermometer. Durch einen einmaligen Kontrollversuch wird festgestellt, welche Temperatur dieses Thermometer anzeigt, wenn ein zweites, geeichtes Thermometer im Öl 275°C anzeigt. Zur Vornahme der letzteren Messung wird die auf dem Blei-Zinn schwimmende, mit 10g Öl gefüllte Schale so geneigt, daß die Quecksilberkugel des Thermometers sich ganz im Öl befindet; der Quecksilberfaden ragt dabei etwa 20 cm aus dem Öl heraus. Die so festgestellte Badtemperatur wird während des ganzen Versuches durch einen Thermoregler auf + 5°C genau eingehalten. Der Apparat steht in einem Abzug, dessen Türen geöffnet sind, sodaß die Luft zu allen 6 Schalen ungehinderten Zutritt hat; durch den Abzug wird während des Versuches Luft gesaugt.

Die Arbeitsweise ist folgende:

Das Heizbad wird auf die Versuchstemperatur erwärmt, die vorgewärmten Schalen mit dem Öl werden aufgesetzt und 4 Stunden erhitzt. Nach Erkalten werden die Schalen samt Inhalt wieder auf 0,1g genau gewogen und der Gewichtsverlust in % der Einwaage als "Flüchtigkeit" bezeichnet. Der meist feste Schaleninhalt wird möglichst vollständig herausgekratzt, auf 0,001 g genau abgewogen und hier von die Asphaltbestimmung durchgeführt. Bei großer Menge des Schaleninhaltes wird dieser in 2 oder 3 Teile geteilt und jeder Teil für sich auf Asphalt untersucht, um das Filtrieren und Extrahieren zu erleichtern; die gefundenen Asphaltmengen werden zuletzt zusammengezählt. Bei der Asphaltbestimmung wird zuerst mit Normalbenzin, dann mit Alkohol, zuletzt mit Benzol, jedesmal bis zur Farblosigkeit des ablaufenden Lösungsmittels, extrahiert. Eine nochmalige Behandlung des Rückstandes von der Benzolextraktion mit Normalbenzin wird nicht vorgenommen. Die so erhaltenen Werte sind in Zahlentafel 9 zusammengestellt.

III. Versuchsergebnisse.

1. Ergebnisse der einzelnen Verfahren.

Die Ergebnisse der Alterung nach dem englischen Verfahren sind in Zahlentafel 3 zusammengestellt. Vergleicht man die Ergebnisse mit den Anforderungen der englischen Vorschrift, so findet man die geforderte Viskositätszunahme bei $37,8^{\circ}\text{C}$ bei den meisten Ölen erfüllt. Das gefettete Öl 19 überschreitet den Grenzwert von 100% Viskositätszunahme nur wenig. Dagegen zeigen einzelne Öle - und zwar ein synthetisches, ein fettes und 4 Autoöle - Viskositätszunahmen um mehrere 100%, die mit hohen Flüchtigkeiten parallel gehen. Die Verkokungszahl nach Ramsbottom liegt bei 11 (von 28) Ölen über 0,7, ihre Zunahme durch die Alterung bei 15 Ölen über 1,0. Die Zunahme der Verkokungszahl zieht eine deutliche Grenze zwischen den Flugmotoren- und den Autoölen, während die Verkokungszahlen der frischen Autoöle oftmals an die guter Flugmotorenöle heranreichen oder darunter liegen. Auf Grund vorliegender Versuche kann gesagt werden, daß bei Beurteilung von Flugmotorenölen nach dem englischen Verfahren auch die Herkunft bzw. chemische Natur der Öle berücksichtigt werden muß: so kann man von paraffin- oder naphthenbasischen Flugmotorenölen wohl eine Viskositätszunahme verlangen, die unter 100% liegt, nicht aber von synthetisch, z. B. durch Kondensationsverfahren gewonnenen oder stark gefetteten Ölen. Die zulässige Höhe der Verkokungszahl der Frischöle kann nach vorliegenden Versuchen etwa mit 1,3, die der Zunahme der Verkokungszahl für Flugmotorenöle mit 1,7 angenommen werden.

Das französische Alterungsverfahren beansprucht die Öle stärker als das englische, wie aus der meist größeren Verdickung und vor allem der durchwegs größeren Zunahme der Verkokungszahl hervorgeht. Das Normalbenzinunlösliche gibt nur eine ganz grobe Klassifizierung; die meisten der gealterten Öle, darunter die besten Flugmotorenöle, zeigen überhaupt kein Normalbenzinunlösliches, die Auto-Öle meist sehr hohe Prozentsätze davon. Etwas deutlichere Unterschiede ergibt die Bestimmung des Petrolätherunlöslichen,

wenn auch hier die meisten Werte gleich Null sind. Damit ist auch die Feststellung Damians¹⁾, daß die brauchbaren mineralischen Motorenöle nach seinen Alterungsverfahren nur wenig (b. Damian 0,2%) in Petroläther unlösliche Rückstände ergeben, im allgemeinen bestätigt. Dagegen betrug die Zunahme des Conradson-Wertes durch die Alterung bei vielen sonst guten Ölen mehr als 200%, während die von Damian gefundenen Zunahmen unter 200% betragen (die kleinste Zunahme der Verkokungszahl zeigte zudem das sehr mittelmaßige Öl 15).

Die geringe Neigung zur Asphaltbildung einiger der untersuchten Öle führte auch beim Indiana-Verfahren dazu, daß eine ganze Reihe von Ölen in bezug auf Asphaltbildung gleich bewertet werden mußten, weil sie auch nach 400 Std. noch keinen Asphalt bildeten. Die Asphaltbildung schritt in allen Fällen nach Einsetzen sehr rasch fort, sodaß die Zeiten, die zur Bildung von 0,1 und von 1% Asphalt notwendig waren, etwa die gleiche Reihenfolge der Öle ergaben. Eine deutliche Unterscheidung zwischen den Flugmotoren- und den Autoölen läßt auch das Indiana-Verfahren erkennen; nur eines von den ersteren benötigte eine Zeit von unter 20 Std., und eines von den letzteren über 20 Std. zur Bildung von 0,1% Asphalt.

Das Sligh-Verfahren stimmt, was die Unterscheidung der Auto- von den Flugmotorenölen anbelangt, mit dem Indiana-Verfahren überein. Es sind auch dieselben beiden Öle, welche sich durch ihre Oxydationszahl aus der Reihe der übrigen Flugmotoren- bzw. Autoöle herausheben. Im übrigen gilt die für die bereits genannten Verfahren, welche die Öle nach der Menge des gebildeten Asphaltes bewerten, gemachte Feststellung der gleichen Bewertung der meisten Flugmotorenöle in erhöhtem Maße für das Sligh-Verfahren; die Oxydationszahlen von 20 (bei 21 untersuchten) Flugmotorenölen bewegen sich in dem geringen Spielraum von 0,4 bis 2,8 (Zahlentafel 9).

Beim Turbinen-Verfahren der DVL geben die Gewichtszunahmen der Vorlagen ein Bild von der oftmals sehr erheblichen Menge bei der Alterung entstandener flüchtiger Produkte (Zahlentafel 7). So wurden in der mit Watte ge-

füllten Vorlage bei einer Versuchstemperatur von 244°C bis zu 20% des Ausgangsöles an flüchtigen Stoffen festgehalten. Diese bestanden z.T. aus Säuren, sodaß in dem Kaliturn nur solche Säuren festgehalten wurden, die noch flüchtiger waren; auch deren Menge war, wie aus den Säurezahlen (berechnet auf die Summe von oxydiertem Öl und Kondensat) hervorgeht, meist sehr beträchtlich. Daß auch im Kaliturn noch nicht alle flüchtigen Produkte festgehalten wurden, geht aus der Gewichtszunahme des Kohlerohres hervor. Die bei 244°C und 8 Std. gelaufenen Versuche ergaben überall Zunahmen der spezifischen Gewichte, Säuren- und Verseifungszahlen, Viskositäten und Verkokungszahlen der Öle, während Asphaltgehalte nur beim naphthenischen Öl 15 und bei vier von den Autoölen festgestellt wurden. Das Autoöl Nr. 29 hatte nach Oxydation keinen Asphalt. Diesen Befund der Öle 15 und 29 stimmt mit ihrem Verhalten beim Evers-u. Schmidt- und beim Sligh-Verfahren überein. An einigen Ölen wurde der Einfluß verschiedener Versuchsbedingungen auf das Alterungsverhalten in der Turbine festgestellt (s. Zahlentafel 8 und Abb. 11). Wie zu erwarten, wurden mit zunehmender Temperatur bzw. Versuchszeit oder Luftmenge erhöhte Zunahmen des spezifischen Gewichtes, der Säure- und Verseifungszahl und der Viskosität erhalten. Auch die gebildeten Asphaltmengen zeigen bei einigen Ölen Zunahmen, während andere auch unter den verschärften Versuchsbedingungen noch keinen Asphalt bilden. Eine Verlängerung der Versuchszeit von 8 auf 50 Std. bei 198°C bewirkte bei Öl 13 eine stärkere Veränderung als eine Erhöhung der Temperatur von 198°C auf 240°C bei gleichbleibender Versuchszeit (8 Std.). Der Einfluß der Luftmenge ist an Öl 15 zu ersehen. Bei diesem Öl war eine Erhöhung der durchgeleiteten Luftmenge von 60 auf 315 Ltr/Std. von ungefähr gleichem Einfluß auf die Erhöhung des spezifischen Gewichtes und der Säurezahl bei 198°C und 8 Std., wie eine Erhöhung der Versuchstemperatur von 198°C auf 244°C bei gleichbleibender Luftmenge von 60 Ltr/Std. Auf die Zunahme der Verseifungszahl wirkte von den genannten Faktoren die Erhöhung der Temperatur, auf die Zunahme der Viskosität die der Luftmenge stärker ein. Aus Zahlentafel 8

ist auch der Einfluß einer noch höheren Versuchstemperatur (287°C) und des Arbeitens in Kohlensäure-Atmosphäre zu ersehen. Bei 287°C konnten die Öle allerdings nicht, wie bei den übrigen Temperaturen 8-Stunden lang oxydiert werden, da es wegen der starken Verdickung unmöglich gewesen wäre, die Umlaufgeschwindigkeit konstant zu halten. Nur beim Arbeiten in Kohlensäure-Atmosphäre konnte auch bei 287°C eine Versuchszeit von 8 Std. eingehalten werden. Die in Kohlensäure-Atmosphäre erhaltenen Veränderungen der Öle waren naturgemäß geringer als in Luftatmosphäre; immerhin ließ sich auch beim Arbeiten in Kohlensäure-Atmosphäre die Bildung von Säure- und Verseifungszahlen und Verdickung der Öle beobachten.

Beim DVL-Schalen-Verfahren sind die Versuchsbedingungen und die Anordnung der Apparatur so getroffen, daß auch gute Flugmotorenöle größere Mengen Asphalt neben kohligen, auch in Benzol unlöslichen Rückständen liefern und dabei zum größten Teil flüchtig gehen. Wie Zahlentafel 9 zeigt, liegen die Werte für die Flüchtigkeit in den Grenzen von 61 bis 95% der untersuchten Öle; die Rückstände haben Asphaltgehalte von 5,0 bis 17% (Flugmotorenöle) bzw. von 15,4 bis 38,9% (Autoöle).

2. Vergleich der Verfahren miteinander und mit motorischen Ergebnissen. (Abb. 1 bis 7)

In der graphischen Darstellung sind die Verfahren nach ihren Einzelbestimmungen unterteilt; letztere sind beim Vergleich der Verfahren miteinander auf die Viskositäts- und Verkokungsbestimmung des Air Ministry-Verfahrens bezogen. Durch Vergleich der einzelnen Abbildungen sind die zwischen den Einzelbestimmungen der Alterungsverfahren bestehenden Beziehungen zu ersehen. Eine Gegenüberstellung der Viskositätszunahme beim Air Ministry-Verfahren und der übrigen Bestimmungen zeigen Abb. 1 und 2. Ordnet man die Öle nach steigenden Viskositätszunahmen beim Air Ministry-Verfahren an, so ergibt sich folgendes für die verschiedenen Verfahren und Bestimmungen:

Air Ministry-Verfahren: Die Zunahme der Verkokung steigt an.

Französisches Alterungsverfahren: Die Asphaltbildung, die Zunahme der Viskosität bei 50 und 100°C und der Verkokungszahl zeigen keine Beziehung; die Zunahme des spezifischen Gewichtes fällt schwach ab.

Indiana-Verfahren: Die Zeit bis zur Bildung von 0,1% Asphalt hat wenig Beziehung; eher zeigt sich schwaches Absinken. Deutlicher ist das Absinken der Zeit bis zur Erreichung von 25% Viskositätszunahme.

Sligh-Verfahren: Keine Beziehung.

DVL-Turbinen-Verfahren: Die Zunahme des spezifischen Gewichtes, der Säure-, der Verseifungs- und der Verkokungszahl fällt; dasselbe gilt für die Zunahme der Viskosität, doch ist diese Beziehung hier weniger deutlich ausgeprägt.

DVL-Schalen-Verfahren: Die Asphaltbildung zeigt keine Beziehung.

Abb. 3 u. 4 zeigen die Beziehung zwischen der Zunahme der Verkokung beim Air-Ministry-Verfahren und den übrigen Bestimmungen. Bei Anordnung der Öle nach steigenden Verkokungszahlzunahmen ergeben die übrigen Verfahren folgende Beziehung:

Französisches Alterungsverfahren: Keine der Bestimmungen zeigt eine Beziehung.

Indiana-Verfahren: Die Zeiten bis zur Bildung von 0,1% Asphalt und bis zur Erreichung von 25% Viskositätszunahme sinken.

Sligh-Verfahren: keine Beziehung.

DVL-Turbinen-Verfahren: Die Zunahmen des spezifischen Gewichtes, der Viskosität, der Säure-, der Verseifungs- und der Verkokungszahl werden geringer (bei der Verkokungszahl ist diese Beziehung wenig ausgeprägt).

DVL-Schalen-Verfahren: Der Asphaltgehalt im Restöl steigt an.

Die Beziehung der Ergebnisse der Alterungsverfahren zu steigender Laufzeit der Öle im Siemens-Ölprüfmotor ist folgende (Abb. 5 bis Abb. 7):

Air-Ministry-Verfahren: Die Zunahmen der Viskosität, der Ramsbottomzahlen und der spezifischen Gewichte fallen ab (diese Beziehung ist am deutlichsten für das spezifische Gewicht, am wenigsten deutlich für die Viskosität ausgeprägt.)

Französisches Alterungsverfahren: Die Zunahmen des Asphaltgehaltes, des spezifischen Gewichtes und der Viskosität zeigen keine Beziehung. Die Zunahme der Verkokungszahl fällt ab.

Indiana-Verfahren: Die Zeiten bis zur Erreichung von 0,1% Asphalt und von 25% Viskositätszunahme steigen an.

Sligh-Verfahren: Keine Beziehung.

DVL-Turbinen-Verfahren: Die Zunahmen der Viskosität, der Verseifungszahl und der Verkokungszahl zeigen keine Beziehung. Die Zunahmen des spezifischen Gewichtes und der Säurezahl steigen eher schwach an, doch ist diese Beziehung undeutlich.

DVL-Schalen-Verfahren: Der Asphaltgehalt im Restöl nimmt ab.

Verfahren nach Evers und Schmidt: Die Alterungszahlen und Asphaltgehalte der oxydierten Öle nehmen ab. Die Zunahmen der Säure- und der Verseifungszahlen zeigen keine Beziehung.

Werden die Öle nach ihrer Art in Gruppen unterteilt, wie es in den Abb. 1 bis 8 geschehen ist, so ergibt sich bei Betrachtung der einzelnen Gruppen mehrfach ein gegenüber der Gesamtheit der Öle verändertes Bild.

Die Einteilung der Gruppen wurde wie folgt vorgenommen:

Vorwiegend paraffinische Flugmotorenöle	17 Öle
naphthenisches Flugmotorenöl	1 Öl
Synthetisches Flugmotorenöl	1 Öl
Fette u. gefettete Flugmotorenöle	5 Öle
Auto-Öle	7 Öle

000590B

Die Gruppe der vorwiegend paraffinischen Flugmotorenöle ist die größte. Die oben für die Gesamtheit der Öle aufgeführten Zusammenhänge gelten daher auch für diese Gruppe, werden aber vielfach schärfer, wenn man die Gruppe für sich betrachtet. Dies gilt insbesondere für folgende Fälle:

Bei Fortlassung des naphthenischen Öles für den Zusammenhang zwischen Laufzeit im Prüfmotor und Verkokungszahl-Zunahme der nach dem französischen Verfahren gealterten Öle wegen der geringen Verkokungszahl-Zunahme des naphthenischen Öles durch die französische Alterung bei geringerer Laufzeit;

bei Fortlassung des fetten Öles für den Zusammenhang zwischen Zunahme der Viskosität bei dem Air-Ministry-Verfahren einerseits, der Zunahme der Verkokungszahl bei demselben Verfahren und derjenigen des spezifischen Gewichtes bei dem französischen Verfahren andererseits; ferner zwischen der Laufzeit im Prüfmotor und der Verkokungszahl-Zunahme beim französischen Verfahren; diese Abweichungen des fetten Öles sind durch seine geringe Neigung zur Verkokung, die große Zunahme der Viskosität beim Air Ministry-Verfahren und des spezifischen Gewichtes beim französischen Verfahren und durch die geringe Laufzeit im Prüfmotor bedingt;

bei Fortlassung des synthetischen Öles für den Zusammenhang zwischen Zunahme der Viskosität beim Air Ministry-Verfahren einerseits und Zunahme der Verkokungszahl bei demselben Verfahren, des spezifischen Gewichtes beim französischen, der Zeit bis zur Bildung von 0,1% Asphalt beim Indiana-, der Zunahme des spezifischen Gewichtes, der Säurezahl und der Viskosität beim DVL-Turbinen-Verfahren andererseits; weiter für den Zusammenhang zwischen der Zunahme der Verkokungszahl bei dem Air Ministry-Verfahren und der Zeit bis zur Erreichung einer Viskositätszunahme von 25% beim Indiana-Verfahren und für den Zusammenhang zwischen Laufzeit im Prüfmotor einerseits, der Zunahme der Viskosität und der des spezifischen Gewichtes beim Air Ministry-Verfahren und der Zeit bis zur Erreichung der Viskositätszunahme von 25% beim Indiana-Verfahren an

dererseits; Ursache für diese Abweichungen sind die hohe Zunahme der Viskosität, des spezifischen Gewichtes und der Säurezahl, die geringe Neigung zur Bildung von Koks und Asphalt und die lange Laufzeit des synthetischen Öles;

bei Fortlassung der Gruppe der Auto-Öle für den Zusammenhang zwischen Zunahme der Viskosität bei dem Air Ministry-Verfahren einerseits, Zunahme des spezifischen Gewichtes beim französischen, der Verkokungszahl und der Viskosität beim Turbinenverfahren andererseits; ferner zwischen der Zunahme der Verkokungszahl beim Air Ministry-Verfahren einerseits und der des spezifischen Gewichtes, der Viskosität, der Verseifungs- und der Verkokungszahl beim Turbinen-Verfahren andererseits; diese Abweichungen der Gruppe der Auto-Öle beruhen auf der hohen Zunahme ihres spezifischen Gewichtes (französisches, Turbinen-Verfahren), ihrer Viskosität (Air Ministry-, Turbinen-Verfahren), ihrer Verkokungszahl (dieselben Verfahren) und ihrer Verseifungszahl (Turbinen-Verfahren).

Werden die Gruppen der gefetteten und der Auto-Öle für sich auf die Zusammenhänge der Alterungsverfahren miteinander und mit dem motorischen Prüfverfahren betrachtet, so gelten die für die Gesamtheit der Öle gefundenen Beziehungen nur zum Teil auch für diese Gruppen; in manchen Fällen dagegen lassen sich diese Beziehungen nicht mehr erkennen; dies ist wohl weniger auf die andere Art als vielmehr auf die geringe Zahl der in den genannten beiden Gruppen vereinigten Öle zurückzuführen. Nicht alle diese Öle konnten nach sämtlichen Verfahren untersucht werden. Immerhin lassen sich einige der für die gesamten Öle gefundenen Zusammenhänge in der Gruppe der gefetteten Öle sogar noch besser verfolgen. Dies ist der Fall beim Zusammenhang der Zunahme der Säure -, der Verseifungs- und der Verkokungszahl beim Turbinen-Verfahren mit der Zunahme der Verkokungszahl beim Air Ministry-Verfahren. Das fette Öl zeigt mitunter ein von den gefetteten Ölen stark abweichendes Verhalten, wie auch bei Betrachtung der gesamten Öle seine Sonderstellung wiederholt festgestellt wurde; dies zeigt sich besonders beim Vergleich der Zunahme

000591

der Viskosität beim Air Ministry mit der des spezifischen Gewichtes beim Französischen Verfahren; beide Zunahmen sind beim fetten Öl höher als bei fast allen anderen Ölen; ferner beim Vergleich der Laufzeit im Prüfmotor mit der Zunahme der Verkokungszahl beim französischen und beim englischen Verfahren, da das fette Öl eine kurze Laufzeit, aber auch geringe Zunahme der Verkokungszahl hat.

~~In folgenden Fällen wurde kein Zusammenhang der Verfahren miteinander bzw. mit der motorischen Prüfung in der Gruppe der fetten und gefetteten Öle festgestellt, während ein solcher für die gesamten und auch für die paraffinischen Öle bestand: Zunahme der Viskosität beim Air Ministry Verfahren im Vergleich zur Zunahme der Verkokung bei demselben Verfahren, zur Zunahme des spezifischen Gewichtes, der Säure-, der Verseifungs-, der Verkokungszahl, und der Viskosität beim Turbinen-Verfahren; Zunahme der Verkokung beim Air Ministry-Verfahren im Vergleich zur Zeit bis zur Asphaltbildung, und bis zu 25% Viskositätszunahme beim Indiana-Verfahren und zur Asphaltbildung beim DVL-Schalen-Verfahren; Laufzeit im Prüfmotor im Vergleich zu den Zunahmen der Viskosität und der Verkokungszahl beim Air Ministry-Verfahren und denjenigen des spezifischen Gewichtes und der Säurezahl beim Turbinen-Verfahren. In einem Fall wurde für die gefetteten Öle sogar ein Zusammenhang zweier Verfahren gefunden, der dem für die paraffinischen Öle festgestellten entgegengesetzt ist; die Neigung zur Asphaltbildung beim Indiana-Verfahren steigt bei den gefetteten Ölen und steigender Viskositätszunahme beim Air Ministry-Verfahren an (bei den paraffinischen Ölen ist es umgekehrt).~~

In der Gruppe der Autoöle ließen sich folgende für die gesamten Öle und für die paraffinischen Flugmotoren-Öle gefundenen Beziehungen nicht mehr erkennen: Zunahme der Viskosität beim Air Ministry-Verfahren im Vergleich zu sämtlichen Bestimmungen beim Turbinen-Verfahren; Zunahme der Verkokungszahl beim Air Ministry-Verfahren im Vergleich zur Neigung zur Asphaltbildung beim Indiana-Verfahren und zu sämtlichen Bestimmungen beim Turbinen-

Verfahren; Laufzeit im Prüfmotor im Vergleich zu den Zunahmen der Viskosität und der Verkokungszahl beim Air Ministry-Verfahren und der Neigung zur Asphaltbildung beim Indiana-Verfahren. Eine Zunahme der Asphaltbildung beim französischen Verfahren mit steigender Viskositätszunahme beim Air Ministry-Verfahren läßt sich in der Gruppe der Auto-Öle erkennen (die paraffinischen Flugmotoren-Öle zeigten meist überhaupt keine Asphaltbildung). Folgende Beziehungen waren bei den Autoölen abweichend von den für die paraffinischen Flugmotorenöle festgestellten: mit zunehmender Laufzeit im Prüfmotor fielen die Zunahmen der Verkokungszahl, des spezifischen Gewichtes und der Säurezahl beim Turbinen-Verfahren (während die paraffinischen Flugmotorenöle eher ein schwaches Ansteigen der Zunahmen des spezifischen Gewichtes und der Säurezahl mit zunehmender Laufzeit, für die Zunahme der Verkokungszahl aber keine deutliche Beziehung zur Laufzeit zeigten).

Wird beim Verfahren nach Evers und Schmidt das paraffinische Flugmotorenöl fortgelassen, so fallen in der Reihe der übrigbleibenden Auto-Öle neben der Alterungszahl und der Asphaltneubildung auch die Zunahmen der Säure- und der Verseifungszahl ab.

In Zehrentafel 10 wurde auf Grund der besprochenen Versuchsergebnisse eine Bewertung der einzelnen Verfahren nach der Übereinstimmung ihrer Ergebnisse mit den Zunahmen der Viskosität und der Verkokungszahl beim Air Ministry-Verfahren und mit der Laufzeit im Prüfmotor vorgenommen. Die Bewertung war verschieden, je nachdem, ob die Ergebnisse der Untersuchung sämtlicher Öle oder nur der einzelnen Gruppen herangezogen wurden. Auch war die Bewertung der Einzelbestimmungen der Verfahren, welche von den gealterten Ölen mehrere Bestimmungen vornehmen, nicht dieselbe, sodaß die Bewertung, streng genommen, nur für die Einzelbestimmungen gilt.

Die beste Übereinstimmung mit der Zunahme der Viskosität nach dem Air Ministry-Verfahren zeigt danach die Zunahme der Verkokung nach demselben Verfahren für die Hauptgruppe der paraffinischen Flugmotorenöle. Für die

stark zur Asphaltbildung neigenden Auto-Öle gab die Asphaltbildung beim französischen, für die gefetteten Öle die Asphaltbildung beim Indiana-Verfahren die beste Übereinstimmung. Die nächst beste Übereinstimmung geben - und zwar für sämtliche Ölgruppen - die Zunahme des spezifischen Gewichtes beim französischen und die Viskositätszunahme beim Indiana-Verfahren. Die Viskositätszunahmen der übrigen Verfahren (französisches, Turbinen-Verfahren) geben jedoch nicht die erwartete Übereinstimmung mit der Viskositätszunahme beim Air Ministry-Verfahren. Das Sligh-, das DVL-Schalen- und die meisten Bestimmungen des französischen Verfahrens zeigen überhaupt keine Übereinstimmung.

Beim Vergleich mit der Verkokungszunahme nach dem Air Ministry-Verfahren gibt die Zunahme der Viskosität bei demselben Verfahren in allen Gruppen bis auf die der gefetteten Öle die beste Übereinstimmung. Für letztere Gruppe wurden nur beim Turbinen-Verfahren Zusammenhänge gefunden, bei den übrigen Verfahren nicht. Für die übrigen Gruppen gab teils das DVL-Schalen-, teils das Indiana-Verfahren die nächst beste Übereinstimmung, während das Sligh- und in fast allen Fällen auch das französische Verfahren keine Übereinstimmung zeigten.

Vergleicht man die Alterungsverfahren mit der Laufzeit im Prüfmotor, so gibt das DVL-Schalen-Verfahren sowohl für die Gesamtöle als auch für die einzelnen Gruppen der Flugmotorenöle die beste Übereinstimmung. Von den weiteren Verfahren zur Alterung der nicht gefetteten Flugmotorenöle entspricht, im ganzen betrachtet, am ehesten das Air Ministry-Verfahren und zwar geben der Reihe nach die Zunahmen des spezifischen Gewichtes, des Ramsbottom-Wertes und der Viskosität die besten Vergleichswerte. Vom Indiana-Verfahren gibt zwar die Viskositätserhöhung auch verhältnismäßig gute Vergleichswerte, dagegen versagt die Neigung zur Asphaltbildung, welche den Hauptinhalt des Verfahrens bilden soll, bei den paraffinischen Ölen ganz. Vom französischen Verfahren gibt nur die Zunahme der Verkokungszahl eine einigermaßen erkennbare Beziehung zum Prüflauf.

Noch weniger deutlich sind die Zusammenhänge zwischen Turbinen-Verfahren und Laufzeit der Flugmotorenöle, während das Sligh-Verfahren überhaupt keinen Zusammenhang mehr damit zeigt.

In der Gruppe der Auto-Öle ist die Bewertung der Verfahren, in die auch das Verfahren von Evers u. Schmidt einbezogen wurde, nicht wesentlich anders. Das Air Ministry- und das Indiana-Verfahren geben nur für einen Teil ihrer Bestimmungen - und zwar den weniger wesentlichen - eine bessere Übereinstimmung mit dem Prüflauf als das DVL-Schalen-Verfahren, sodaß, im ganzen betrachtet, auch für die Auto-Öle das DVL-Schalen-Verfahren die besten Ergebnisse liefert. Von Verfahren nach Evers und Schmidt gibt die Alterungszahl die beste Übereinstimmung; die übrigen Bestimmungen dieses Verfahrens zeigen ebenso wie das Turbinen-Verfahren wenig Beziehung zum Prüflauf der Auto-Öle. Keine Beziehung wurde beim französischen und beim Sligh-Verfahren festgestellt.

Es ist am Schluß hervorzuheben, daß die gefundenen Zusammenhänge zwischen dem Alterungsverfahren untereinander und mit den Läufen im Prüfmotor sämtlich recht locker sind. Eine einwandfreie Voraussage für das Verhalten eines Schmieröles beim Motorlauf ist noch nach keinem der Alterungsverfahren möglich. Es wird notwendig sein, durch Änderung der Versuchsbedingungen - und zwar unter Berücksichtigung des Betriebes - auf eine bessere Übereinstimmung der Ergebnisse der Alterungsverfahren mit den motorischen Läufen hinarbeiten.

IV. Zusammenfassung.

=====

Eine Reihe von Schmierölen, vorwiegend Flugmotorenöle verschiedener Zusammensetzung und einige Auto-Öle, wurden nach 7 Verfahren, darunter 2 in der DVL entwickelten, gealtert. Die Ergebnisse der Alterungsverfahren wurden miteinander und mit den Laufzeiten in einem Ölprüfmotor bis zum Leistungsabfall infolge Festsetzens der Kolbenringe verglichen. Die gefundenen Zusammenhänge der Alterungsverfahren untereinander und mit den Laufzeiten im

Motor waren ziemlich locker. Die beste Übereinstimmung mit den motorischen Ergebnissen gab das DVL-Schalen-Verfahren. Die übrigen Verfahren können, je nach der betrachteten Einzelbestimmung, verschieden bewertet werden; im ganzen betrachtet, gibt neben dem DVL-Verfahren das Air Ministry-Verfahren die am besten mit den Motorläufen übereinstimmenden Ergebnisse, während die Brauchbarkeit der übrigen Verfahren etwa in folgender Reihenfolge abnehmend bewertet werden kann: Indiana-Verfahren, französisches, DVL-Turbinen- und Sligh-Verfahren. Das Verfahren nach Evers und Schmidt wurde nur für Autoöle verwendet und gehört hier zu den weniger brauchbaren Verfahren.

Sowohl die zur Bildung einer bestimmten Menge von Oxydationsprodukten nötige Zeit als auch die Menge der in einer festgelegten Zeit gebildeten Oxydationsprodukte können als Maß der Alterungsneigung von Ölen dienen. Verfahren der ersteren Art setzen eine periodisch erfolgende Probenahme voraus, eignen sich daher wenig zur Prüfung von Ölen mit geringer Alterungsneigung wegen der durch die Probenahme eintretenden Verringerung der Ölmenge. Es wäre zu prüfen, ob der Eintritt der Asphaltbildung durch optische Verfahren an einer geringen Ölprobe feststellbar ist; falls sich der erwähnte Mangel auf diese Weise abstellen läßt, könnte an eine weitere Anwendung solcher Verfahren gedacht werden.

Von den Verfahren mit festgelegter Versuchsdauer ist das DVL-Schalen-Verfahren das einzige, welches bei verhältnismäßig guter Übereinstimmung mit dem Motorversuch Temperaturdiagramme mit geringen Ölmengen ermöglicht. Die bessere Übereinstimmung dieses Verfahrens mit der Praxis dürfte die gewählten Versuchsbedingungen, insbesondere die mit Rücksicht auf die Oxydation im Verbrennungsraum festgelegte hohe Temperatur, die zur Bildung größerer Mengen Asphalt neben kohleartigen Produkten führt, rechtfertigen. Auch die Flüchtigkeit wird bei dem Verfahren mehr berücksichtigt als bei den übrigen. Die Tatsache, daß in letzter Zeit verschiedene Verfahren zur Anwendung höherer

Temperaturen übergehen und auch Schalenverfahren zur Oxydation angewendet werden, lassen die weitere Auswertung des DVL-Verfahrens wünschenswert erscheinen.

S c h r i f t t u m

- 1) Damian, Publ. Scie. et techn. du Min. de l'air (1932)
Nr. 14, S. 28
- 2) E.H. Kadmer, "Über die natürliche und künstliche Alterung
von Fahrzeugmotorenölen." Öl u. Kohle, XIII. (1937) Nr. 6
- 3) FB 518, Wenzel, "Einfluß der Betriebsbedingungen eines
Einzylindermotors auf das Verhalten des Schmier-
öles" November 1935
- 4) Air Ministry General Specification Nr. DTD 109
- 5) Norme Air 1093 vom 16.9.1933
- 6) T.H. Rogers und B.H. Shoemaker, Ind. Eng. Chem. Analyt. Ed. 6,
419/20 (1934)
- ~~7) ASTM Standards on Petroleum Products and Lubricants (1935)~~
S. 9
- 8) Erdöl u. Teer IX (1933), 11, 27
- 9) FB 654, M. Richter, "Entwicklung eines neuen Oxydations-
verfahrens für Schmieröle" Juli 1936

Fortsetzung der Zahlentafel 1
Analyseergebnisse von 21 Flugmotorenblenden

Bl. Nr.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Äußere Eracheinung/Farbe	blau fl.	grün fl.	grün fl.	blau fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.	grün fl.
Aufsicht	hellgelb	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.	rotbr.
Durchsicht		mild	mild	best. furch.	mild	mild	mild								
Geruch															
Spez. Gew. 20°C	0,916	0,902	0,896	0,959	0,923	0,883	0,883	0,883	0,937	0,937	0,932	0,920	0,887(0,888)	0,933(0,933)	0,932(0,932)
Dilatation P ₂₀	1,5048	1,4987	1,4974	1,4802	1,4937	1,4966	1,4886	1,4886	1,5230	1,5230	1,5206	1,5146	1,4934(1,4948)	1,5203	1,5207
Wisk. 20°C	1050	1050	650	954	855	1118	1250	1050	1000	1000	1170	680	400 (440)	1050	1100
bei 0°C (d. Extrapolieren)	152	165	114,2	120	120	174	199	199	109	109	127	82,2	74,3 (81,1)	1050	1100
37,5°C	39,1	45,3	35,5	37,9	37,9	49,8	47,8	47,8	109	109	127	82,2	74,3 (81,1)	1050	1100
50 "	18,2	22,0	20,0	17,2	17,2	21,5	21,5	21,5	109	109	127	82,2	74,3 (81,1)	1050	1100
100 "	2,5	3,29	2,98	2,83	2,83	3,12	3,12	3,12	109	109	127	82,2	74,3 (81,1)	1050	1100
150 "	1,4	1,81	1,8	1,50	1,51	1,61	1,61	1,61	109	109	127	82,2	74,3 (81,1)	1050	1100
Wisk. 0°C	7600	7330	4426	6903	6900	7700	8320	7116	7227	7227	2037	4760	2770 (3070)	7390	7900
bei 20°C (d. Extrapolieren)	1064	1134	778	1064	1064	1164	1166	1067	1179	1179	368	651	500 (507)	7390	7900
37,5°C	182	208	245	223	223	216	216	216	182	182	261	175	154 (160)	7390	7900
50 "	24	347	135	128	122	102	104	102	182	182	261	175	154 (160)	7390	7900
100 "	16,7	19,9	18	16,1	16,4	20,8	19,7	19,0	182	182	261	175	154 (160)	7390	7900
150 "	4,2	6,14	6	3,45	3,12	6,0	6,0	3,75	182	182	261	175	154 (160)	7390	7900
Wisk. Polhöhe n. v. d. her	2,12	1,85	1,70	2,13	1,97	1,98	1,98	1,83	3,30	3,30	1,23	2,35	1,80 (1,88)	2,36	3,40
Richtungs-factor nach " (m	3,50	3,28	3,16	3,52	3,35	3,35	3,35	3,26	4,40	4,40	2,71	3,72	3,35 (3,42)	3,57	4,11
Wisk. Index n. Dean u. Davis	92	101	92	78	91	95	95	91	24	24	135	70	108 (100)	78	35
Stockpunkt	28	-22	-10,5	-36	-18	-16	-16,5	-19,5	-21,5	-21,5	-6	-16,5	-16,5(-17,5)	-24	-24
Paste Fremdstoffe Gew. %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0)	0	0
Flammpunkt o. r.	236	236	249	261	279	272	282	282	223	223	182	248	234 (246)	221	231
Brennpunkt o. r.	277	291	294	306	316	301	308	302	259	259	215	268	265 (286)	264	278
Säurezahl mg KOH/g	0	0	0,05	1,11	1,51	0,0	0,0	0,16	0,05	0,05	0,16	0,07	0,05 (0,04)	0,05	0,04
Verfestigung	8,4	4,84	5,12	175	4,70	0,04	0,7	0,52	0,45	1,23	0,45	0,51	0,17 (0,28)	0,50	0,28
Jacobe	0,005	0,004	0,007	0,000	0,00	0,00	0,003	0	0,007	0,005	0,005	0,0055	0,0 (0,009)	0,001	0,002
Alphalal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0)	0	0
Verfestung n. Compton %	0,21	0,17	1,12	0,25	0,40	0,81	0,59	0,23	0,4	0,35	0,41	0,39	0,88 (0,86)	0,50 (0,41)	0,75(0,54)
Verfestung n. Bampton %	0,23	0,16	0,68	0,15	0,42	0,78	0,52	0,21	0,37	0,26	0,40	0,78	0,72 (0,73)	0,38 (0,52)	0,45(0,63)

*) nach Koffen Bl. ---) Fischtran

Zahlentafel 2

Versuchsbedingungen von Ebers Alterungs-Verfahren.

Verfahren	angew. Ölmenge g	Versuchs- zeit/h	Temp. C	Oxydationsmittel	Katalysator	ermittelte Kennzahlen
Verf. des engl. Luftfahrt-Minist.	40	2x6	200	15 ltr. Luft/h	-	Erhöhung des spez. Gewichtes b. 20°C, der Viskosität bei 37,8 u. 50°C, der Verkokungszahl nach Ramsbottom, des Gewichtsverlustes bei der Alterung
Verf. d. franz. Luftfahrt-Ministeriums	200	120	140	leichter, ansteigender Luftstrom, wobei d. Öl bewegt wird	Kupferblechstreifen	Erhöhung d. spez. Gew. b. 20°C, d. Visk. bei 50 u. 100°C, d. Verkokungszahl n. Conradson, d. Asphaltingehaltes (n. Benzin, Petroläther), d. Gewichtsverlustes b. d. Alterung
Indiana-Verfahren	300	versch.	172	10 ltr. Luft/h	-	Zeit in h bis zur Bildung von Öl u. 1/2 Asphalt u. bis zur Erhöhung d. Visk. um 25%
Sligh-Verfahren Evers u. Schmidt	10 15,5	2 1/2 1 h 40 Min.	200 100	Sauerstoff	Schwermetalloxyde auf Silicagel	Alterungszahl, Zunahme d. Säurezahl, d. Verseifungszahl u. des Asphaltes
DVL-Turbinen-Verfahren	ca. 50	8	244	60 ltr. Luft/h Öl in Bewegung	verschiedene Metalle	Zunahme d. spez. Gewichtes b. 20°C, d. Visk. b. 50°C, d. Säurezahl, der Verseifungszahl, d. Asphaltes- u. d. Verkokungszahl n. Conradson, Gewichtsverlust
DVL-Schal en-Verfahren	10	4	285 (unkorr. 275)	Luft	-	Milchigkeit, Asphalt i. Restöl

Tabellenteil A
Ergebnisse nach dem französischen Alterungsverfahren.

01-Gr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Spez. Gewicht bei 20°C																
Frischöl	0,884	0,881	0,884	0,890	0,890	0,893		0,891	0,890	0,888	0,890	0,892	0,887	0,890	0,890	0,889
Oxydiertes Öl	0,908	0,906	0,903	0,911	0,908	0,908		0,905	0,904	0,908	0,905	0,907	0,908	0,908	0,908	0,907
Zunahme	0,024	0,025	0,021	0,021	0,021	0,015		0,014	0,014	0,010	0,015	0,015	0,021	0,018	0,010	0,014
Visk. bei 50°C (cp)																
Frischöl	162	115	169	146	157	73,5		165	160	196	147	199	145	158	147	112
Oxydiertes Öl	325	240	308	356	313	125,1		251	217	305	225	292	287	242	216	155
Zunahme	99,5	109	82,4	71,1	100	66,6		82,1	35,6	94,0	53,1	96,5	97,9	53,4	46,9	33,3
Visk. bei 100°C																
Frischöl	20,3	16,4	20,9	18,1	20,9	12,0		21,0	20,8	24,3	21,4	22,2	19,3	19,7	17,5	16,8
Oxydiertes Öl	35,7	27,0	28,5	24,5	24,5	17,4		25,1	25,6	33,9	27,5	28,6	22,4	26,8	22,5	18,0
Zunahme	66,0	64,6	26,3	26,3	65,6	49,0		16,4	23,1	99,5	27,5	26,8	67,9	43,5	27,4	18,6
Verkohung n. Conradson (K)																
Frischöl	0,31	0,18	0,26	0,46	1,20	0,45		1,22	0,95	1,12	1,60	1,50	0,91	0,29	0,13	0,12
Oxydiertes Öl	1,71	1,88	1,24	2,01	3,10	2,24		3,09	2,82	3,34	3,24	3,46	2,07	2,11	1,15	1,56
Zunahme	1,40	1,70	1,68	1,55	1,90	1,69		1,87	1,89	2,22	1,64	1,96	1,16	1,82	0,82	1,36
Asphalt (n-Benzol) (K)																
(Retrolith) (K)																
Gasverlust bei 4. Alterung (K)																
01-Gr.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Spez. Gew. bei 20°C																
Frischöl	0,919	0,902	0,899	0,899	0,893	0,892		0,893			0,895	0,900	0,898	0,903	0,903	0,903
Oxydiertes Öl	0,990	0,922	0,913	0,922	0,909	0,910		0,911			0,911	0,909	0,909	0,909	0,909	0,909
Zunahme	0,031	0,020	0,016	0,023	0,016	0,018		0,028			0,028	0,028	0,021	0,021	0,021	0,021
Visk. bei 50°C (cp)																
Frischöl	124	147	133	124,1	122	162		194			196	87	82	82	85	115
Oxydiertes Öl	624	501	295	661	393	277		398			161		96,3			
Zunahme	405	106	91,7	494	57,5	71,2		132								
Visk. bei 100°C (cp)																
Frischöl	16,7	19,9	18	16,1	16,4	20,6		19,7			11,0	11,8	32,8	10,6	12,8	
Oxydiertes Öl	35,9	30,1	64,4	469	43,5	33,4		33,4					64,6			
Zunahme	115	51,5						69,5								
Verkohung n. Conradson (K)																
Frischöl	0,21	0,77	1,12	0,25	0,40	0,61		0,29			0,45	0,99	0,86	0,90	0,73	
Oxydiertes Öl	3,65	2,60	3,49	0,65	2,03	2,91		2,27			2,18	2,18	2,18	2,18	2,18	
Zunahme	3,64	1,83	2,37	0,86	1,63	2,10		1,98			8,30	5,80	0,30	6,09	6,86	
Asphalt (n-Benzol) (K)																
(Retrolith) (K)																
Gasverlust bei 4. Alterung (K)																
01-Gr.	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Zahlenfolge 5

Ergebnisse nach dem Indizien-Altungsverfahren
(Zeit bis zur Erreichung der Asphalt- u. Wiak.-W.-Grenzwerte)

01-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Zeit (Stunden) bis zur Bildung von 0,1% Asphalt	405	>455	>455	218	312	20	256	260	270	238	238	244	233	215	17	>455
Zeit (Stunden) bis zur Bildung von 1% Asphalt	>405	>455	>455	226	324	257	305	264	294	248	248	296	342	272	68	>455
Zeit (Stunden) bis zur Zunahme der Wiak. um 25%	105	121	140	54	71	53	71	46	100	35	34	47	53	106	46	39
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Zeit (Stunden) bis zur Bildung von 0,1% Asphalt	46	95	177		162	234	>432				6	6	142	5	4	
Zeit (Stunden) bis zur Bildung von 1% Asphalt	58	143	243		174	248	>432				26	27	166	28	26	
Zeit (Stunden) bis zur Zunahme der Wiak. um 25%	37	67	36	6	46	64	64				6	10	47		13	

000598

Zahlentafel 6

Ergebnisse im Oxydator von Evers u. Schmidt.

Öl-Nr.	13	25	26	27	28	29	30	31
Alterungszahl	0,062	0,058	0,265	0,067	0,072	0,063	0,067	0,067
Säurezahl:								
Frischöl	0,00	0,05	0,16	0,07	0,06	0,04	0,03	0,04
Oxyd. Öl	0,40	0,71	0,70	0,28	0,41	0,17	0,20	0,43
Zunahme	0,40	0,66	0,54	0,21	0,35	0,13	0,17	0,39
Verseifungszahl:								
Frischöl	0,00	0,45	1,23	0,45	0,51	0,28	0,50	0,28
Oxyd. Öl	1,90	2,90	6,81	1,34	1,32	0,75	1,46	0,90
Zunahme	1,90	2,45	5,58	0,89	0,81	0,47	0,96	0,62
Asphalt im oxylierten Öl-%	0,00	0,09	0,73	0,12	0,04	0,06	0,02	0,06

Zahlentafel B
000600

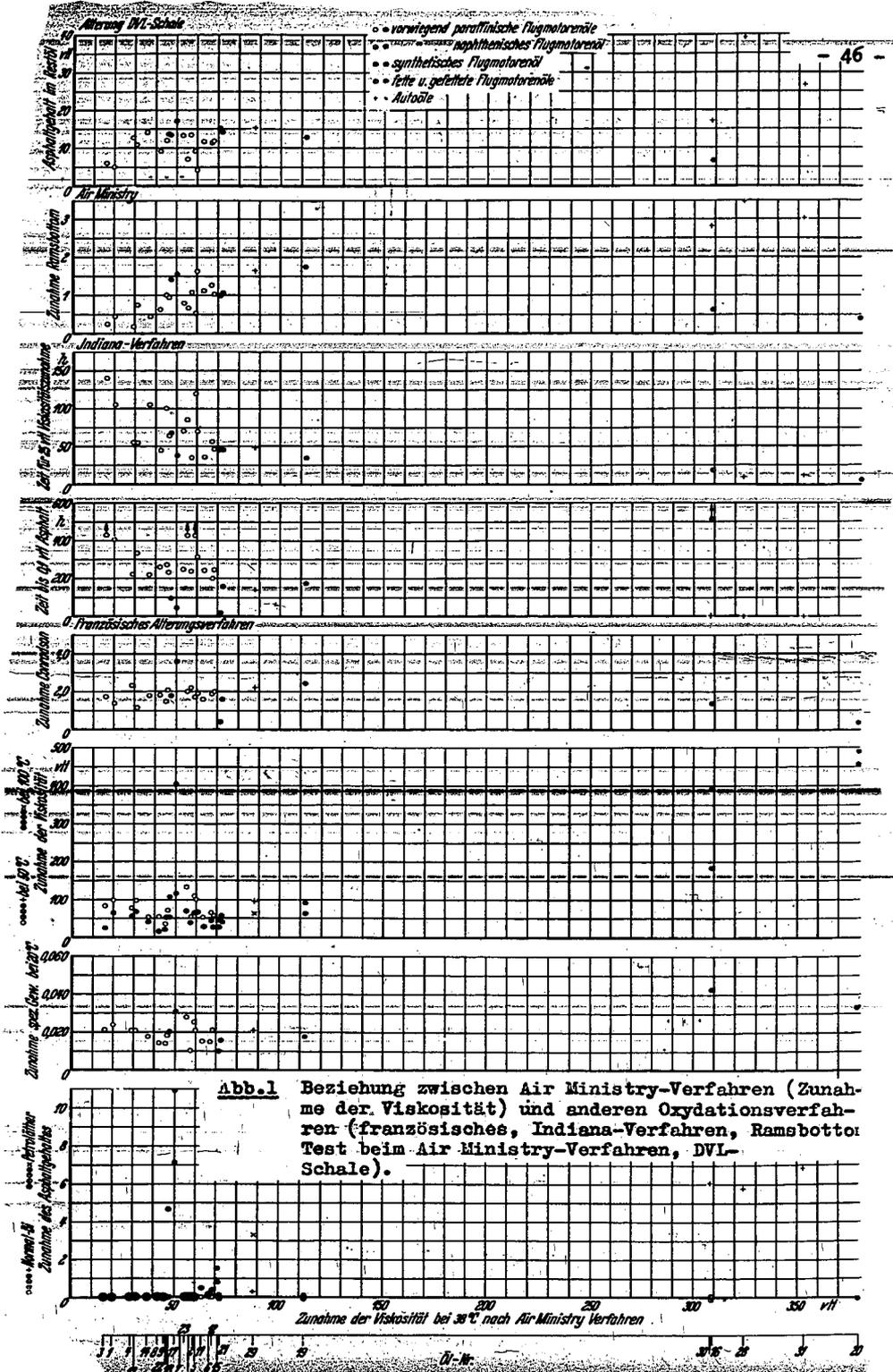
Ergebnisse in der Turbine. (Verschiedene Reistemperaturen und Verdichtungen; Laufmenge meist 53 1/Std.)

Ol.-Nr.	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	198 8	244 8	287 2	100 50	154 50	198 8	198 50	244 8	287 2									
Heißtemperatur (°C)	198	244	287	100	154	198	198	244	198	198	244	198	198	244	198	198	244	287
Verschleiß (Std.)	8	8	2	50	50	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Oxydiertes Öl + Kondensat im Interrohr (% des Ausgangsmaterials)	98,9	94,9	92,9	91,7	94,9	-	95,5	95,5	96,7	95,7	95,5	95,7	95,5	95,7	95,5	95,7	95,5	96,0
Kondensat im Interrohr (% des Ausgangsmaterials)	0,8	5,0	-	-	-	-	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zunahme des Kohlenstoffs (% des Ausgangsmaterials)	0,0	7,0	3,6	6,2	-	-	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5
KOH-Verbrauch z. flüchtige Säuren	2,93	4,27	2,27	3,51	-	-	2,23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,71
(wg KOH pro g oxydiertes Öl + Kondensat)																		
Untersuchung d. Gesamtverluste. Spez. Gew. bei 20°C	0,884	0,884	0,884	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887	0,887
Frischöl	0,895	0,909	0,912	0,891	0,900	0,895	0,911	0,902	0,908	0,908	0,911	0,908	0,911	0,908	0,911	0,908	0,911	0,906
Oxydiertes Öl	0,011	0,024	0,023	0,004	0,013	0,006	0,024	0,016	0,002	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,002	0,005	0,033
Zunahme																		
Task. bei 50°C (5p)	162	162	162	145	145	145	145	145	147	147	147	147	147	147	147	147	147	147
Frischöl	185	273	217	168	184	192	289	233	155	174	155	174	155	174	155	174	200	155
Oxydiertes Öl	14,4	66,5	34,2	15,8	26,9	32,4	99,3	46,9	5,44	18,3	4,08	18,3	4,08	18,3	4,08	18,3	49,7	35,7
Zunahme (%)																		
Säuresahl	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03
Frischöl	2,19	4,96	4,30	0,90	2,91	1,17	2,71	2,82	0,53	1,10	1,70	0,53	1,10	1,70	0,53	1,10	6,40	2,52
Oxydiertes Öl	2,16	4,93	4,27	0,90	2,91	1,17	2,71	2,82	0,50	1,07	1,67	0,50	1,07	1,67	0,50	1,07	6,40	2,49
Zunahme																		
Versäuerungsahl	0,3	0,3	0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
Frischöl	8,42	19,7	16,4	2,10	9,30	4,13	15,60	11,60	2,8	5,9	6,2	2,8	5,9	6,2	2,8	5,9	23,0	11,5
Oxydiertes Öl	8,12	19,4	16,1	2,10	9,30	4,13	15,60	11,57	2,63	5,73	6,03	2,63	5,73	6,03	2,63	5,73	22,83	11,33
Zunahme																		
Asphalt in oxydiertes Öl (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,30
Condensat																		
Frischöl	-	0,31	-	-	-	-	0,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,73
Oxydiertes Öl	-	2,25	-	-	-	2,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,67
Zunahme	-	1,94	-	-	-	1,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,94

000601

Zahlentafel 19
 Ergebnisse nach dem DVL-Schalen-Verfahren und nach dem Slicht-Verfahren-Laufstein im Siemens-Drehmotor.

Bl.-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<u>DVL-Schalen-Verfahren</u>																
Flüchtigkeit (%)	75	79	67	66	65	80	73	67	72	61	66	74	65	71	80	83
Asphalt i. Restöl (%)	5,0	9,3	6,0	12,8	3,3	11,4	13,2	9,3	12,0	13,4	11,7	11,9	10,9	14,2	15,2	6,6
<u>Slicht-Verfahren</u>																
Oxydationszahl	1,1	1,6	1,8	0,7	1,3	0,6	1,0	1,3	1,2	1,0	0,6	0,4	1,0	1,0	2,2	0,5
Laufzeit i. Motor (Std.)	12 1/2	7 1/2	10	8 1/2	6	6 1/2	7	8 1/2	6 1/2	7	8	6	7	6	5	> 15
<u>Bl.-Nr.</u>	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<u>DVL-Schalen-Verfahren</u>																
Flüchtigkeit (%)	95	78	73	-	73	66	73	73	-	-	88	77	71	90	88	
Asphalt i. Restöl (%)	17,2	13,6	12,8	-	14,3	13,8	7,0	9,8	-	-	36,5	36,9	15,4	17,1	26,6	
<u>Slicht-Verfahren</u>																
Oxydationszahl	2,5	1,2	2,8	-	1,7	1,0	1,0	-	6,5	27,0	12,4	3,0	0,5	6,0	12,0	
Laufzeit i. Motor (Std.)	2 1/2	5/2	5	2 1/2	3	4 1/2	5 1/4	4	-	-	1	-	5	3 1/4	4 1/2	



000602

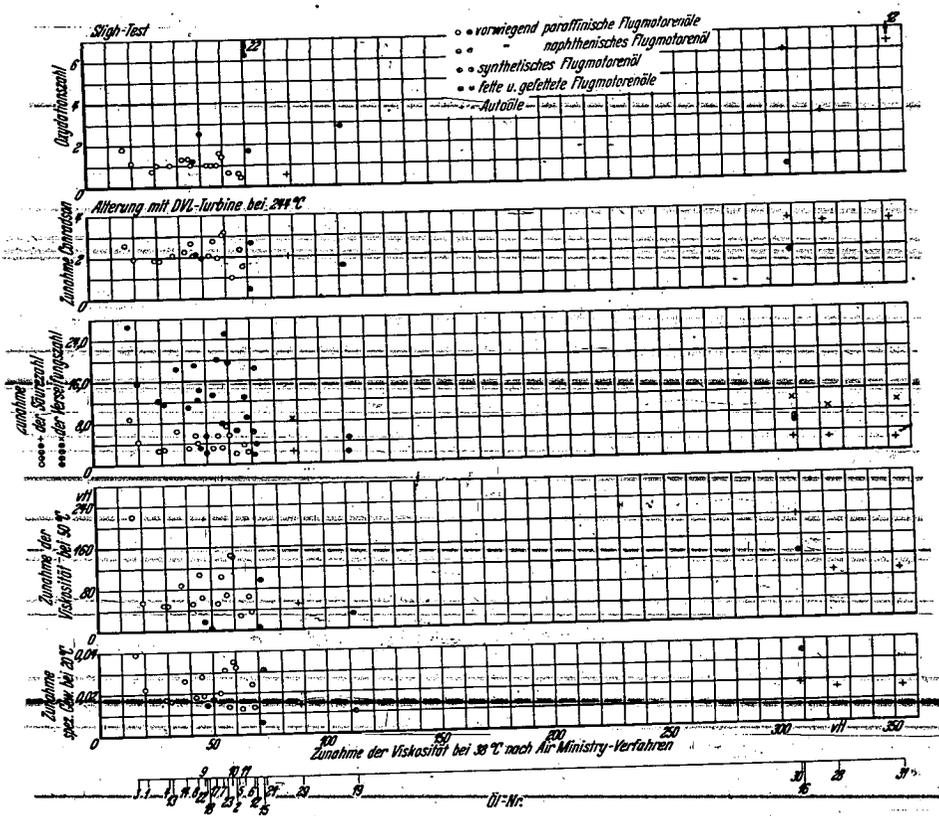


Abb.2 Beziehung zwischen Air Ministry-Verfahren (Zunahme der Viskosität) und anderen Oxydationsverfahren (DVL-Turbine, Sligh-Test).

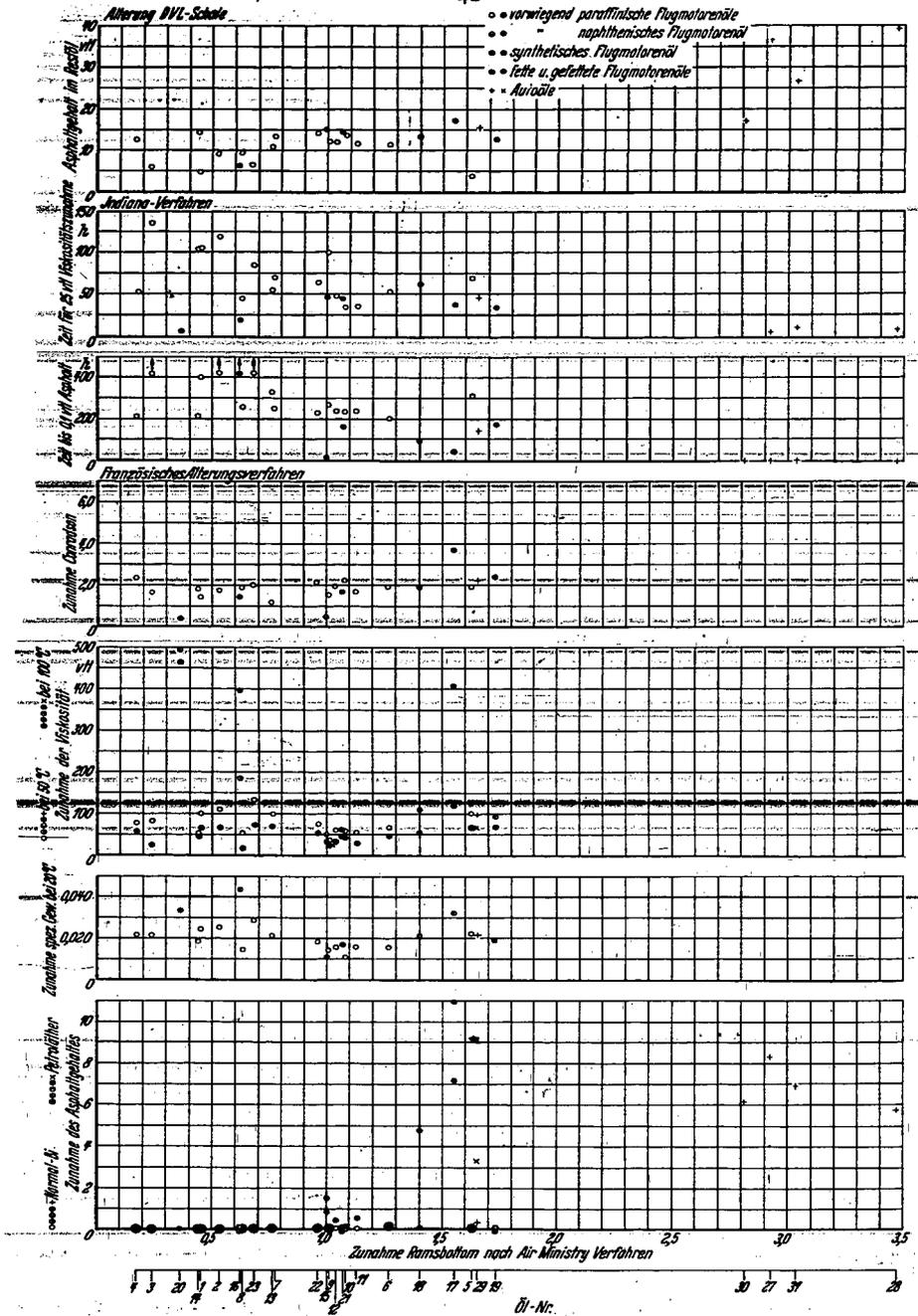


Abb. 3. Beziehung zwischen Air-Ministry-Verfahren (Zunahme der Verkohlung) und anderen Oxydationsverfahren (französisches, Indiana-Verfahren, DVL-Schale).

000603

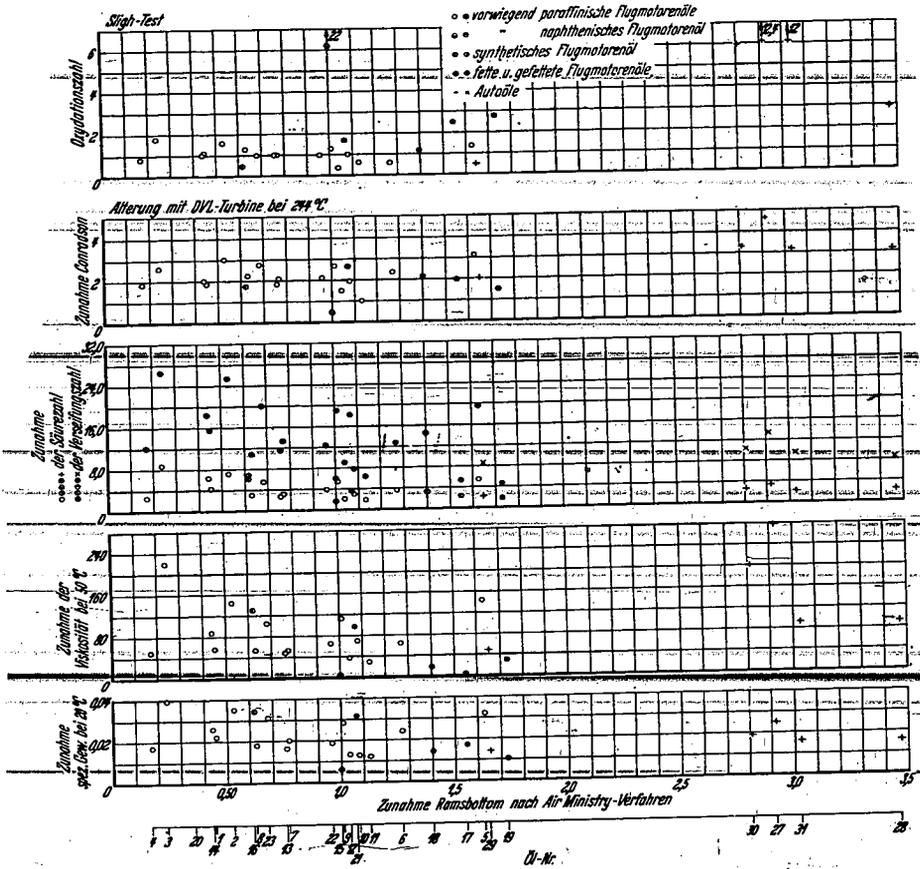


Abb.4 Beziehung zwischen Air-Ministry-Verfahren (Zunahme der Verkokung) und anderen Oxydationsverfahren (DVL-Turbine, Sligh-Test).

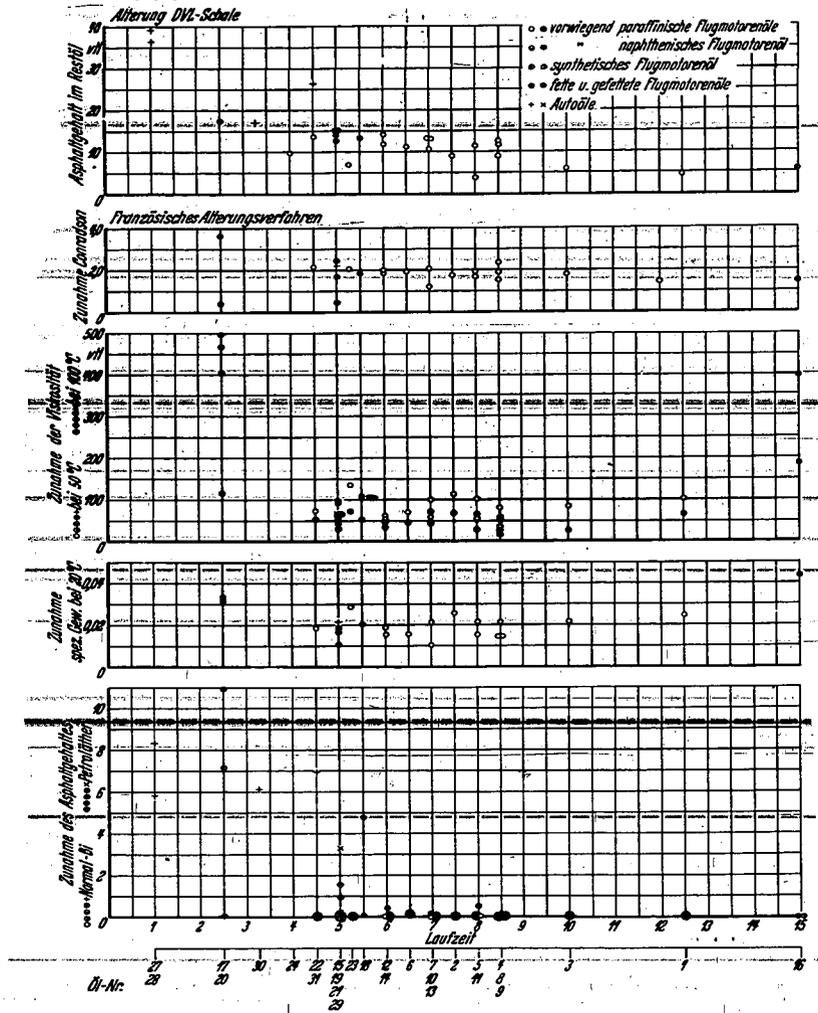


Abb. 5 Beziehung zwischen Laufzeit im Siemens-Ölprüfmotor und Oxydationsverfahren (französisches Verfahren, DVL-Schale).

000604

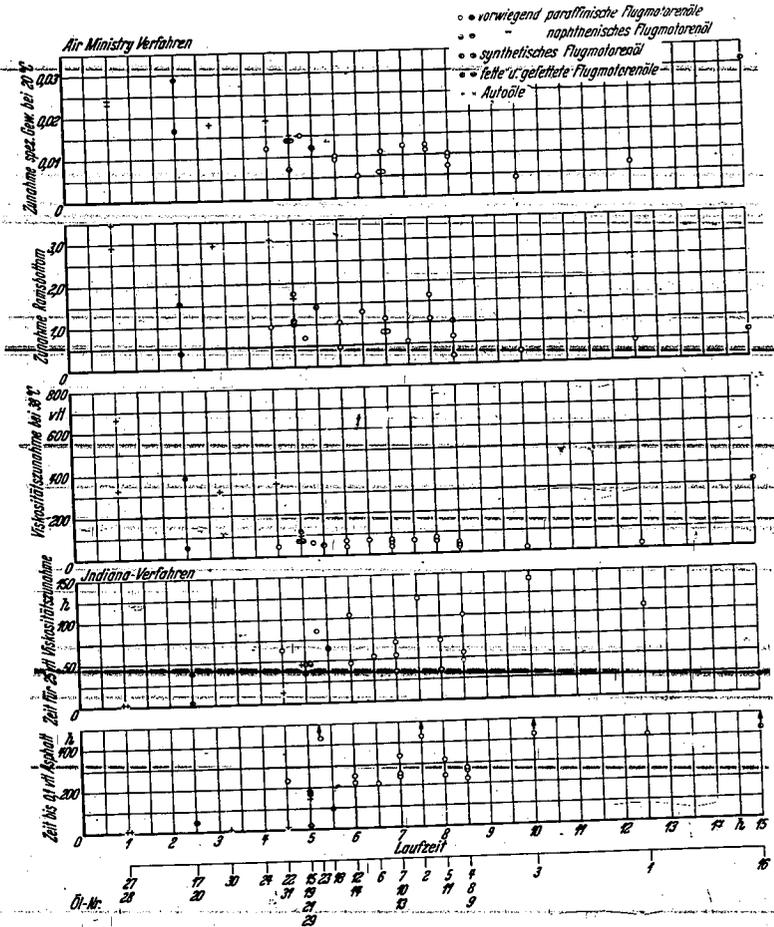


Abb. 6 Beziehung zwischen Laufzeit im Siemens-Ölprüfmotor und Oxydationsverfahren (Air Ministry, Indiana).

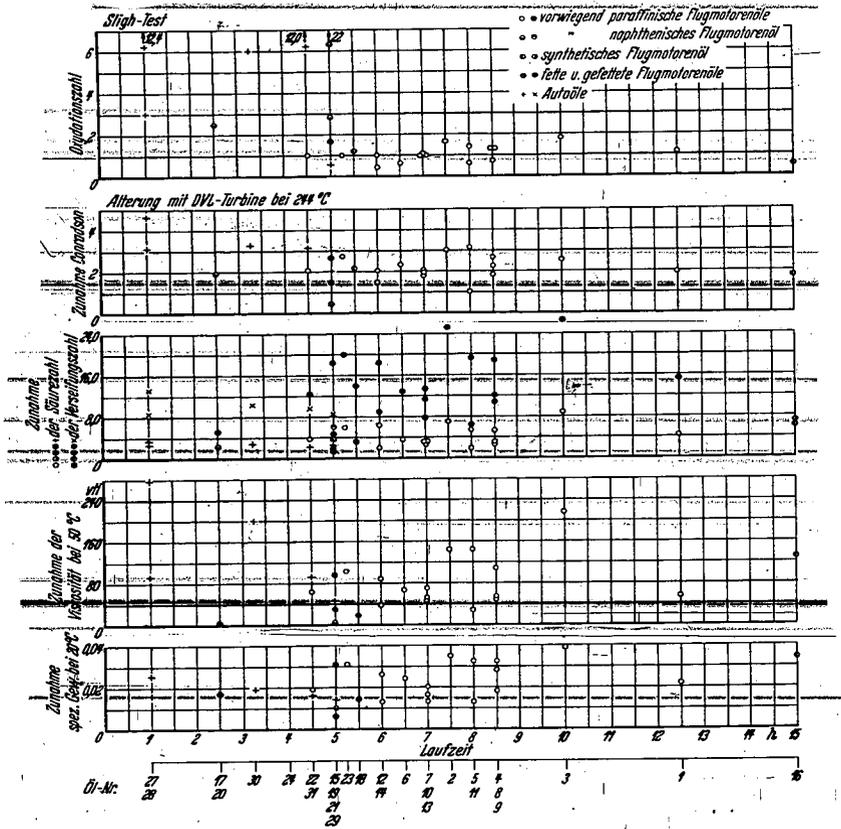


Abb. 7 Beziehung zwischen Laufzeit im Siemens-Ölprüfmotor und Oxydationsverfahren (DVL-Turbine, Sligh-Test).

000605

○ • Vorwiegend paraffinische Flugmotorenöle
 × × Autoöle

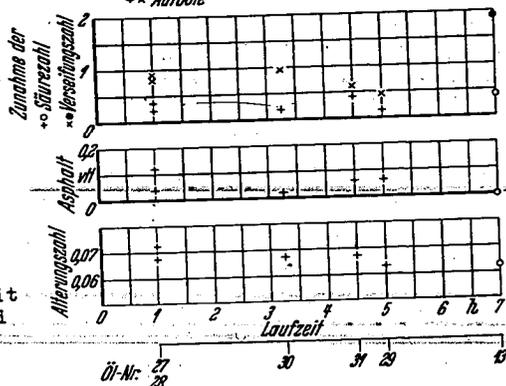


Abb.8 Beziehung zwischen Laufzeit im Siemens-Ölprüfmotor und Oxydationsverfahren nach Evers und Schmidt.

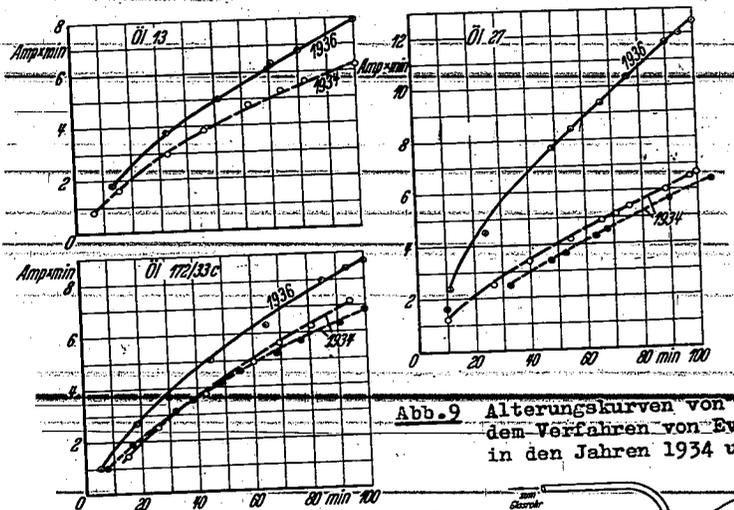


Abb.9 Alterungskurven von 3 Ölen nach dem Verfahren von Evers und Schmidt in den Jahren 1934 und 1936.

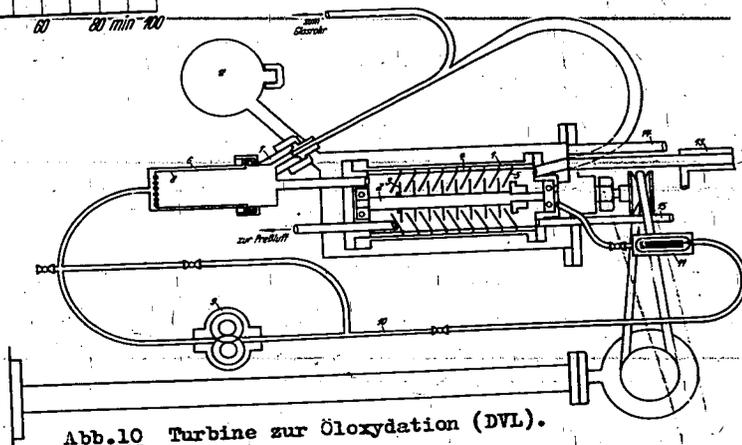


Abb.10 Turbine zur Öloxydation (DVL).

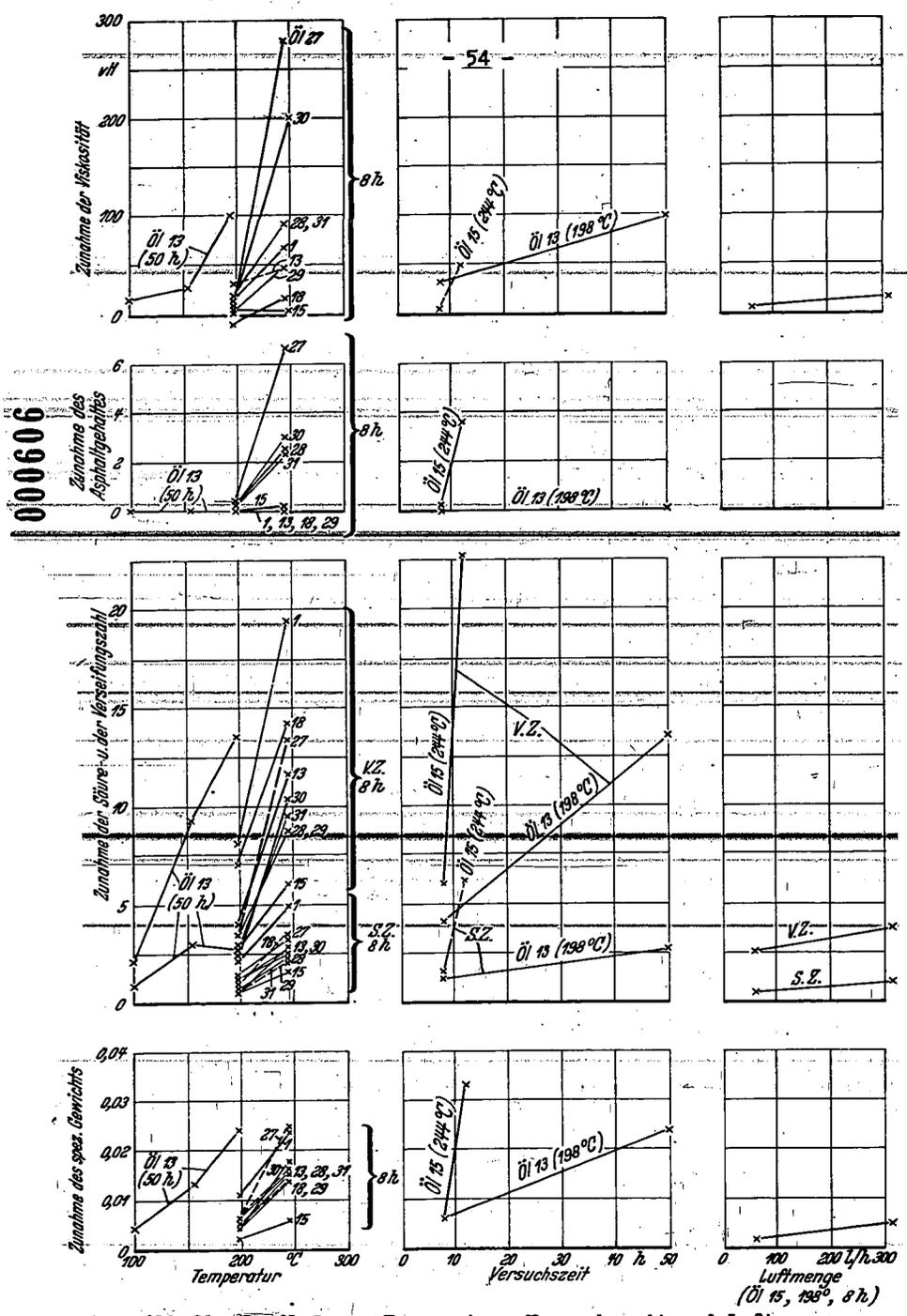


Abb. 11 Einfluß von Temperatur, Versuchszeit und Luftmenge beim DVL-Turbinenverfahren.