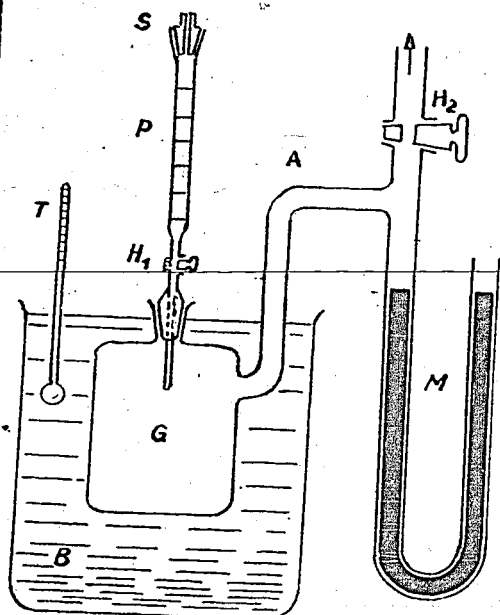


Dewargefäß B und bringt durch Zugabe von Kohlensäureschnee die Badtemperatur auf den gewünschten Wert, der unter dauernder Kontrolle am Thermometer T während der Untersuchung mit Kohlensäureschnee konstant gehalten wird. Durch Öffnen von H_1 läßt man dann abgemessene Volumenteile Benzin in G eintropfen und liest nach dem Konstantwerden des Druckes den Quecksilberstand am Manometer M ab. Aus Anfangs- und abgelesenen Enddruck erhält man so den Druckanstieg für die jeweils eingetropfte Benzinmenge, der dem Dampfdruck dieser Menge entspricht.



Der Rauminhalt von G, A und M zusammen bis zum Hahn H_2 wird durch Einstömen einer gemessenen Luftmenge ausgeglichen. Durch Zugabe abgemessener Quecksilbermengen in G kann er beliebig geändert werden. Der sich einstellende Dampfdruck einer bestimmten Benzinmenge ist naturgemäß vom Rauminhalt des Vacuumgefäßes ($G + A + M$) abhängig. Die relative Druckzunahme in mm Hg für 1 cm³ Kraftstoff je 1 cm³ Rauminhalt des Gefäßes ist jedoch unabhängig

von der Größe der Apparatur. Eine mit 3 verschiedenen Raumgrößen ($V = 375, 500, 625 \text{ cm}^3$) durchgeführte Dampfdruckbestimmung (s. Schaubild, S. 25) bestätigen dies.

C. Die Dampfspannungskurven.

Reine Teststoffe von eindeutig definierter chemischer Zusammensetzung zeigen einen grundsätzlich anderen Verlauf der Dampfdruckkurve als Mischbenzine. Die Dampfdruckbestimmung mit dieser Apparatur gestattet geradezu die Überprüfung der chemischen Reinheit von Teststoffen wie Benzol C_6H_6 , Tetrachlorkohlenstoff CCl_4 , Essigester $C_4H_8O_2$, Äthyläther $(C_2H_5)_2O$ usw. Der Dampfdruck reiner Teststoffe nimmt, wie die Schaubilder S. 27 und 28 zeigen, mit der eingetropften Menge zunächst linear zu, um dann mit einem mehr oder minder scharf ausgeprägten Knick in einen konstanten, von der weiter eingetropften Menge unabhängigen Wert überzugehen. Dieser Wert entspricht der Satteldampfspannung für die betreffende Temperatur, die auch nach der Gasgleichung mit guter Übereinstimmung errechnet werden kann (s. S. 16). Die Dampfdruckkurven der Mischbenzine zeigen im Gegensatz hierzu ein stetiges jedoch immer geringer werdendes Ansteigen des Dampfdruckes mit der eingebrachten Kraftstoffmenge. Die Dampfdruckkurven der 3 Grundbenzine

Gemisch. Teil (Schaubild S. 29)
Rumänisches Grundbenzin (Schaubild S. 30)
Startbenzin (Schaubild S. 31)
unterscheiden sich so wesentlich, daß ihre unterschiedliche Kalt-

starteignung unschwer vorauszusehen ist, beträgt doch beispielsweise bei -300°C der Dampfdruck für 4 cm^3 Kraftstoff pro l/Volumen bei

Gemisch Tel	13,5 mm Hg
Rumänischem Grundbenzin	16,0 mm Hg
Startbenzin	28,0 mm Hg

In den Schaubildern S. ^{32/33} und 34 werden noch die Dampfdruckkurven von zwei Mischkraftstoffen mit Butanzusatz gezeigt, welche beweisen, dass der vom gelösten Butan herrührende Partialdruck erheblich hinter dem Dampfdruck der gleichen Menge reinen Butans zurückbleibt.

001262

IV. Anwendung der Dampfspannungscharakteristik.

A. Das Kaltstartverhalten butanhaltiger Benzine als Funktion des Dampfdruckes.

Das Kaltstartverhalten des Motors ist davon abhängig, ob bei der jeweiligen Temperatur ein zündfähiges Gemisch mit einem bestimmten Luftüberschuß λ zustande kommen kann. Macht man die ungünstigste Annahme, nämlich dass nur die wirklich vergasteten Benzinbestandteile in den Motor gelangen, verstäubte dagegen in der Ansaugleitung zurückbleiben oder unverbrannt die Zylinder verlassen, dann ist dies nur möglich, wenn der Partialdruck des Benzins bei der betreffenden Temperatur so groß ist, dass diese Luftüberschußzahl λ erreicht wird. Selbst bei gleichem Dampfdruck zweier Benzine ist λ noch etwas abhängig von der Art der im Dampf vorliegenden Kohlenwasserstoffe. Tabelle I zeigt jedoch, dass, abgesehen von dem im Benzin normalerweise nicht vorliegenden Propan, für die in Frage kommenden leichter flüchtigen Kohlenwasserstoffe Butan bis Heptan die Unterschiede des Luftbedarfs für $\lambda = 1$ nur 2 % betragen.

Tabelle I

Kohlenwasserstoff	Luftbedarf in nm^3/kg	Luftbedarf in $\text{kg}_{\text{Luft}}/\text{kg}_{\text{Benzin}}$
Methan	14,45	18,70
Äthan	13,48	17,42
Propan	13,11	16,98
n-Butan	12,92	16,73
n-Pentan	12,82	16,60
n-Hexan	12,75	16,50
n-Heptan	12,70	16,41
n-Oktan	12,65	16,38
n-Nonan	12,62	16,33
n-Dekan	12,58	16,28

Da es sich im vorliegenden Falle um die Untersuchung von Benzin mit Butanzusatz handeln soll, kann man also ohne merklichen Fehler rechnen, dass der gasförmige Anteil nur aus Butan besteht. Das Schaubild S.5 zeigt die für verschiedene Gemischdrucke von Benzin-Luft notwendigen Partialdrucke des Butans und zwar für verschiedene Luftüberschußzahlen λ . Bei den bisherigen Kaltstartversuchen wurde in der Ansaugleitung des Motors ein mittlerer Gemischdruck von 725 mm Hg festgestellt. Aus dem Schaubild entnimmt man dann z.B., dass für ein $\lambda = 1,2$ ein Butanpartialdruck von 19 mm notwendig ist.

Um die Eignung eines butanhaltigen Benzins für den Kaltstart dieses Benzins notwendig. Der Dampfdruck ist aber abhängig von der Menge Benzin, die pro Raumeinheit eingebracht wird. Diese Abhängigkeit des Dampfdrucks von den cm^3 Benzin/l Vakuum zeigt Schaubild S.32 für eine Mischung aus 9 Vol.-Teilen "Tel" + 1 Vol.-Teil "Butan". (Das Butan wurde aus Flüssiggas durch Kondensation bei -10°C gewonnen.) Die Ausführung der Dampfdruckmessungen geht aus der vorangegangenen Beschreibung im Abschnitt III hervor.

Aus Schaubild S. 5 kann man nun für einen beliebigen Gemischdruck - in diesem Beispiel $P_M = 725 \text{ mm Hg}$ - die zugehörigen Butanpartialdrucke der verschiedenen λ entnehmen. Diesen gleichen Druck muß man durch eingetropftes Benzin erreichen, wenn man ein Gemisch mit der betreffenden Luftzahl λ erhalten will. Für 725 mm Gemischdruck und ein λ von 1,2 war ein Butanpartialdruck von 19 mm notwendig. Aus den für verschiedene Temperaturen ermittelten Dampfdruckkurven kann man jetzt ablesen, dass dafür beispielsweise bei $+20^\circ$ $0,1 \text{ cm}^3$ des Benzin-Butan-Gemisches eingetropft werden muss, d.h. $0,2 \text{ cm}^3/1$, bei $+10^\circ$ dagegen $0,11 \text{ cm}^3$, bei 0° $0,15 \text{ cm}^3$ usw. Im Schaubild S. 5 sind die für verschiedene λ und 725 mm Gemischdruck aufgetragen. Sie zeigen die Mischungsverhältnisse, die im Vergaser theoretisch gebildet werden müssen, um ein rein gasförmiges zündfähiges Gemisch entsprechenden der Luftzahl λ in den Zylindern zu erhalten. Zum Vergleich ist daneben der Maßstab kg Luft/kg Benzin aufgezeichnet. Der Einfluß der Verdampfungswärme des Butans, das im Grundbenzin Teil gelöst ist, auf die Gemischtemperatur wurde nicht berücksichtigt, weil er noch ungeklärt ist.

Um für die Motorversuche mit den Modellmischungen noch einen weiteren Anhaltspunkt zu bekommen, ist im Schaubild S. 5 noch ein dritter Maßstab eingezeichnet. Er gibt die Luftzahl λ_M der Mischung einschließlich der flüssig gebliebenen Kraftstoffmenge an. λ_M wie auch μ_M bestimmt die theoretisch erforderliche Anreicherung des Gemisches durch den Startvergaser. Zu unterscheiden ist hierbei stets die Luftzahl λ in der gasförmigen Phase der Startmischung und die Luftzahl λ_M , welche sich auf die gesamte eingebrachte Kraftstoffmenge bezieht. Letztere ist, wie die Kurven zeigen, bei tiefen Anlasstemperaturen viel kleiner als λ .

$$\lambda_M \ll \lambda$$

Die Kaltstartversuche werden erweisen, inwieweit die aus der Dampfspannungsscharakteristik abzuleitenden Forderungen an den Gemischbildner im Motor erfüllt werden, sodass allgemein die Kaltstarteignung von Kraftstoffen nach ihrer Dampfspannung vorausgesagt werden könnte.

Dresden, den 1.12.1943.

Rehman
Institut für Kraftfahrwesen

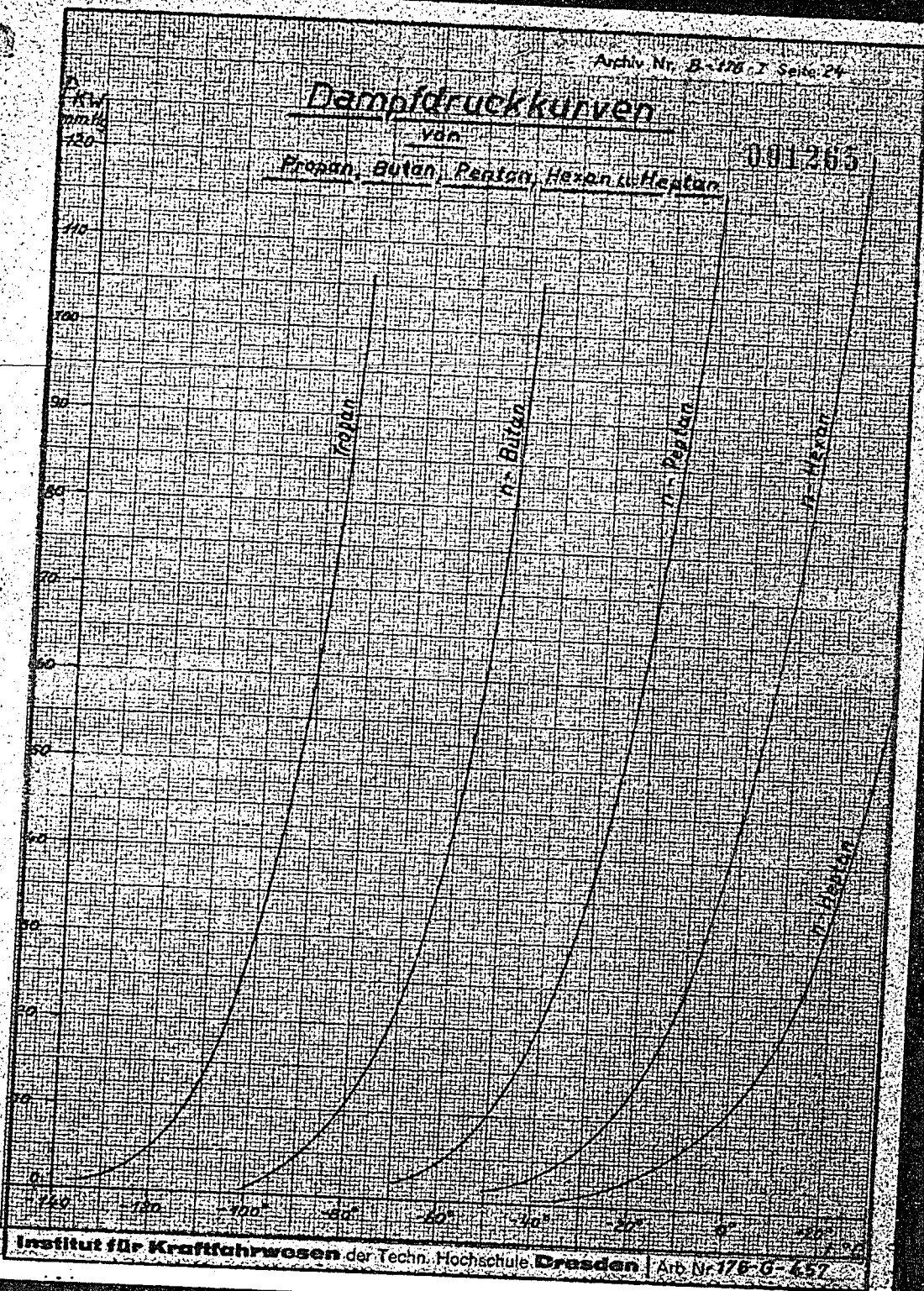
001264

Dampfdruckkurven

von

Propan, Butan, Pentan, Hexan, Heptan

001265

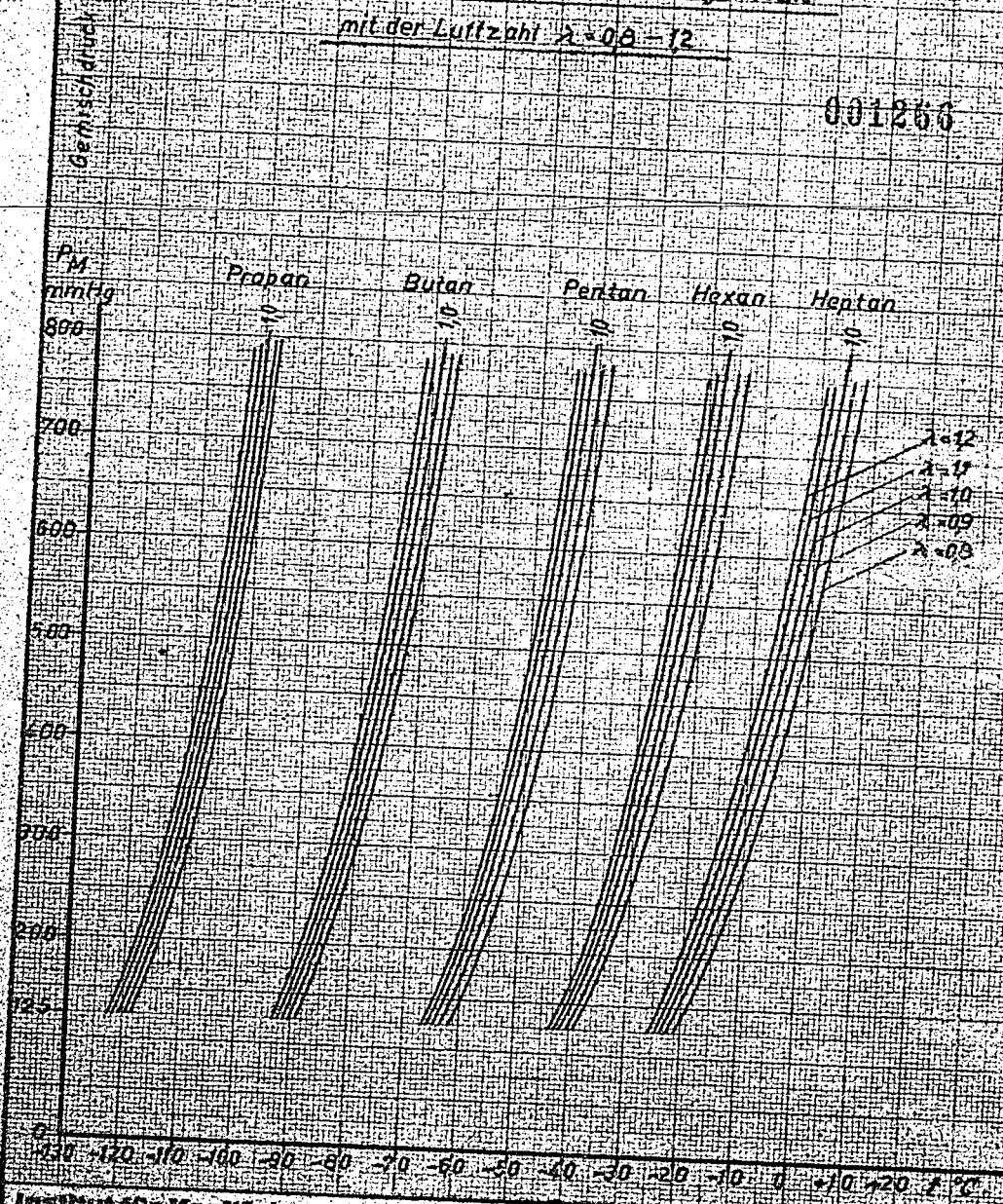


Temperatur- u. Druckabhängigkeit

reiner Kohlenwasserstoff - Luftgemische

mit der Luftzahl $\lambda = 0,8 - 1,2$

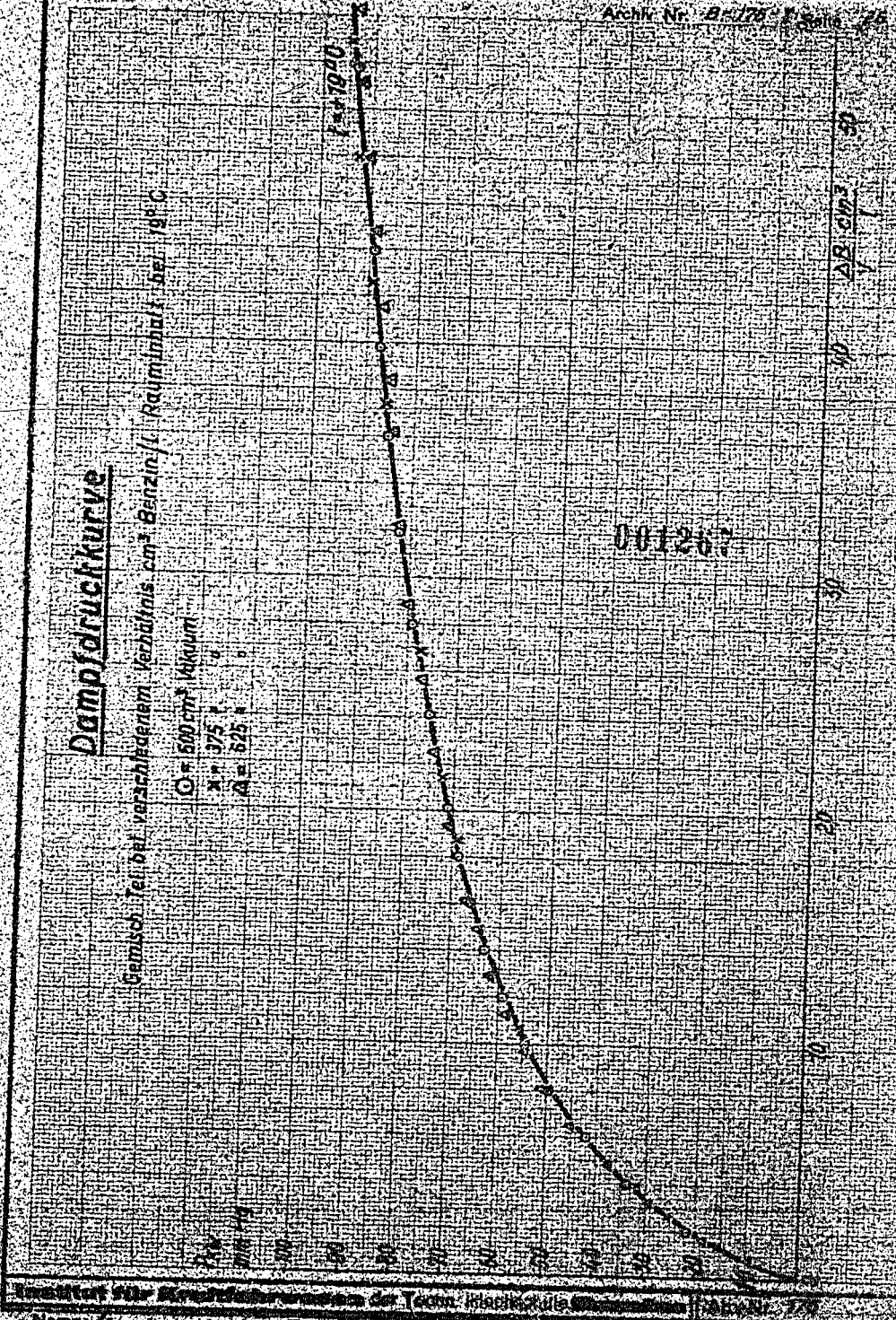
001266



Dampfdruckkurve

Gemisch: Teil der verschiedenen Verhältnisse cm³ Benzin / l. Rauminhalt bei 18°C

Q = 500 cm³ klammern
 x = 375
 A = 525

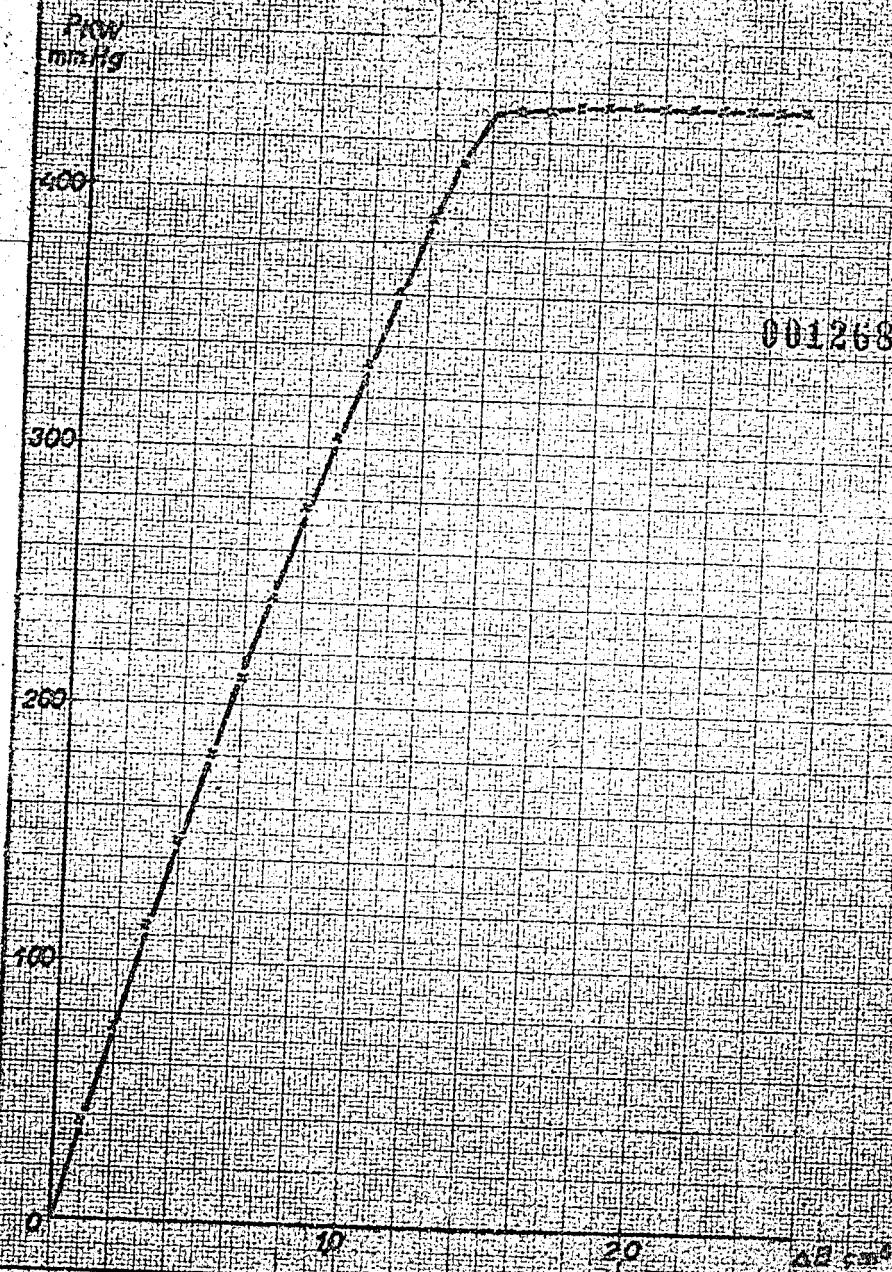


Archiv Nr. B-1778-1 Seite 16

001267

Dampfdruckkurve v. Äthyläther

$t = 12,5^\circ$, 500 cm³ Gefäßinhalt



001268

Dampfdruckkurve reiner Feststoffe

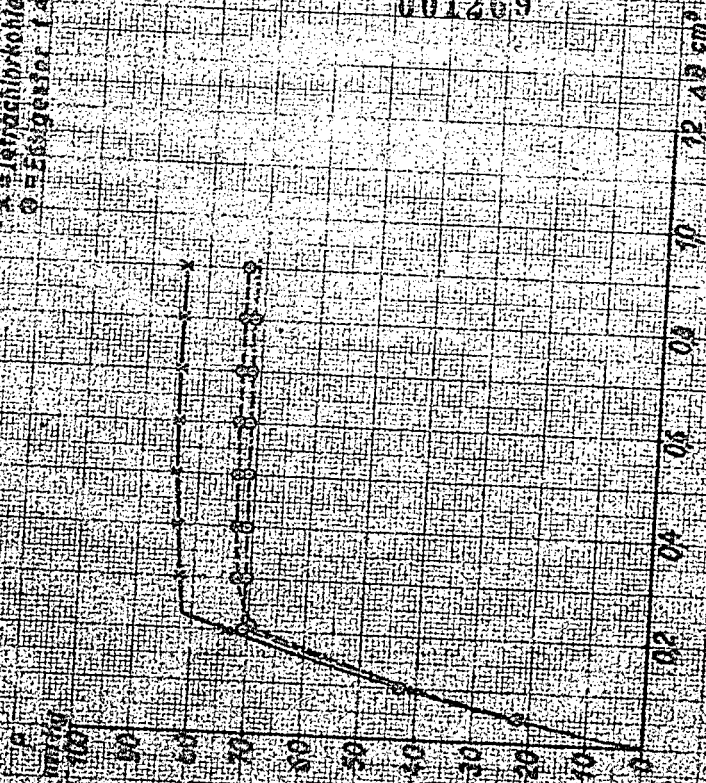
Gewicht 500 g

0 = Benzol $t = 19,1^\circ$

x = feststoffkohlenstoff $t = 18,7^\circ$

o = Essigsäure $t = 19,0^\circ$

001269



Dampfdruckkurven von Gemisch Tel.

001270

$t = 20^\circ$

$t = 40^\circ$

$t = 0^\circ$

$t = 10^\circ$

$t = 20^\circ$

$t = 30^\circ$

$t = 40^\circ$

$t = 50^\circ$

25

50

75

100

125

150

175

200

225

250

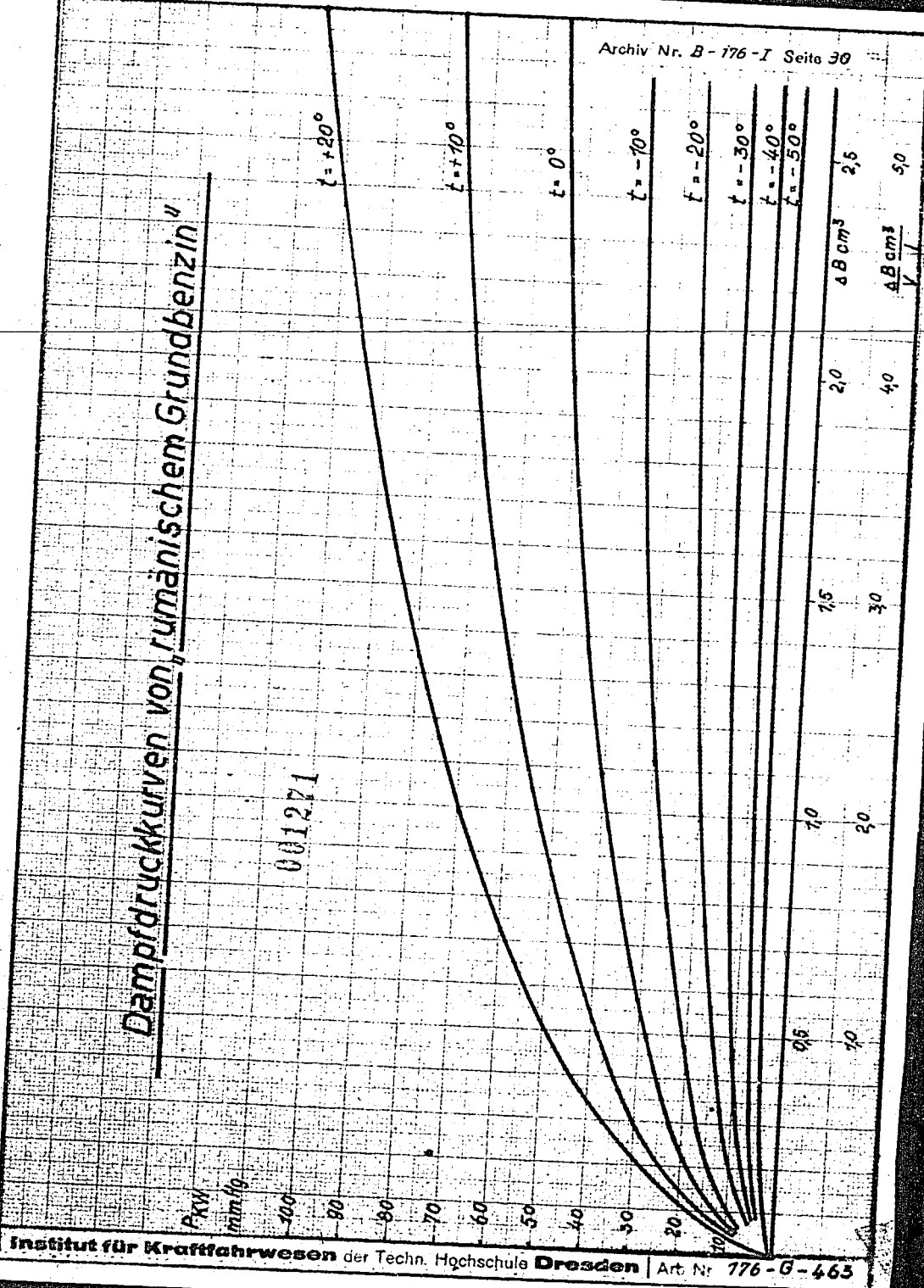
275

300

Dampfdruckkurven von rumänischem Grundbenzin

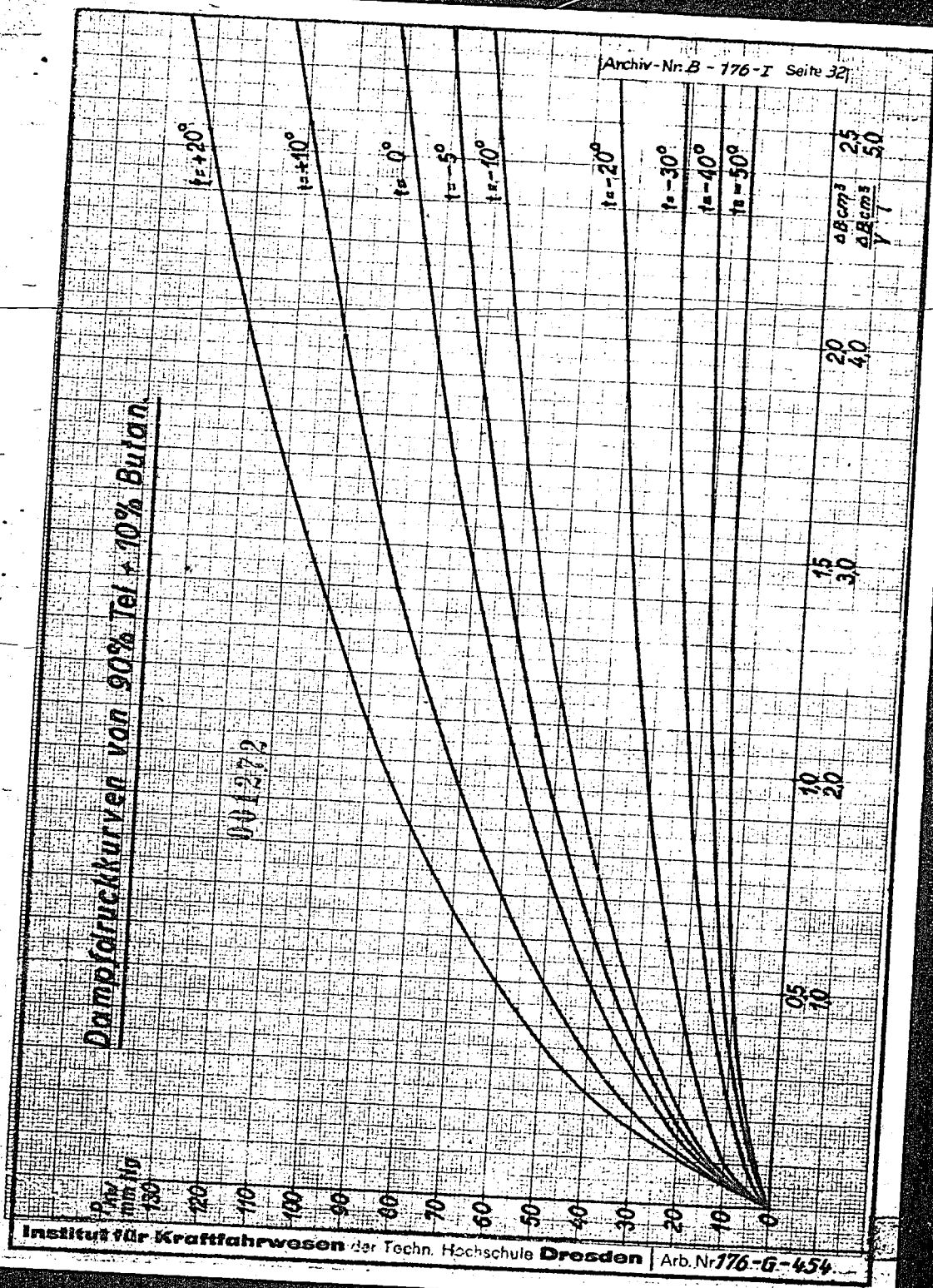
001271

Archiv Nr. B-176-I Seite 30



Dampfdruckkurven von 90% Tel + 10% Butan

001272



$\Delta B \text{ cm}^3$ 25
 $\Delta B \text{ cm}^3$ 25
 γ 50

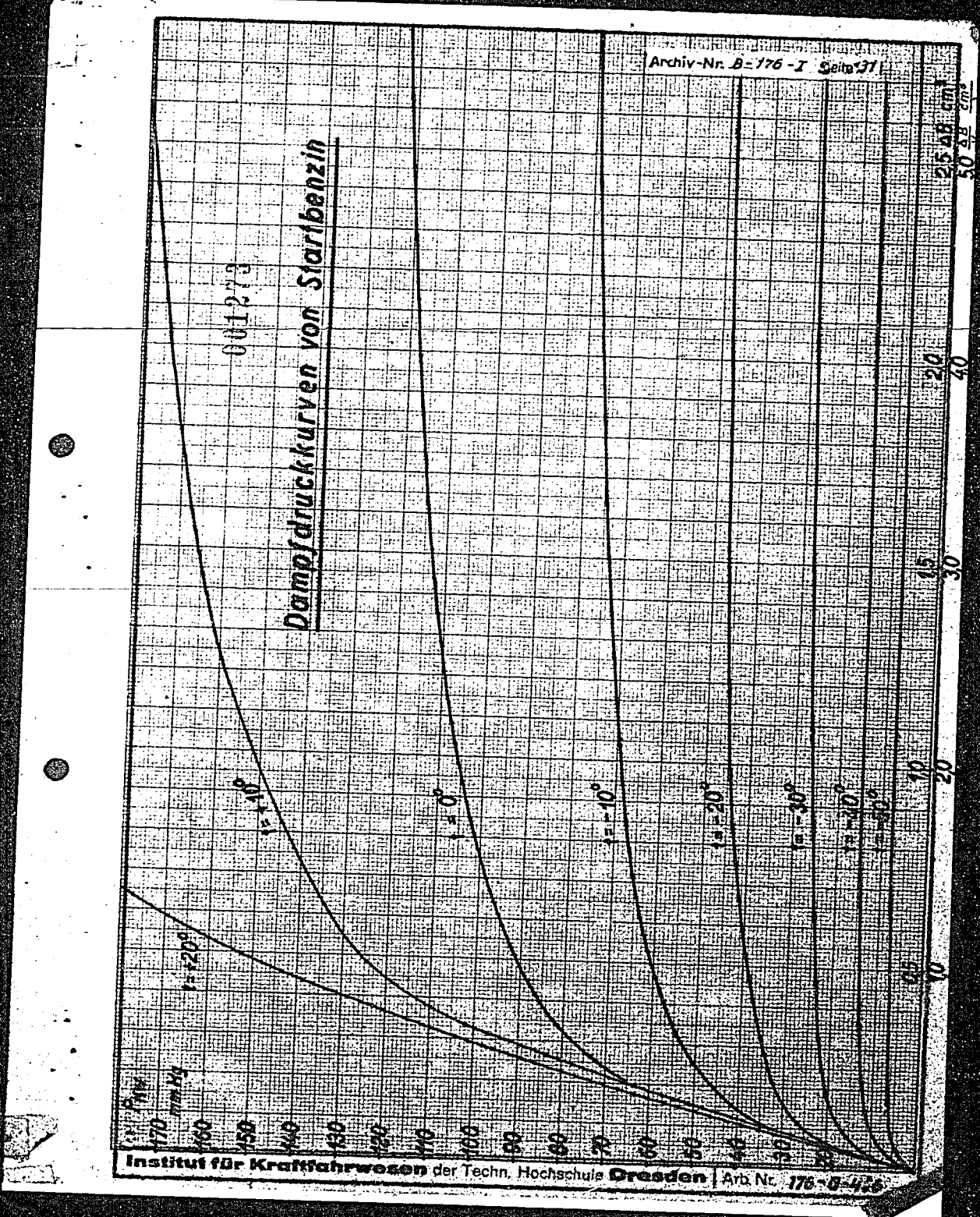
20 40

15 30

10 20

05 10

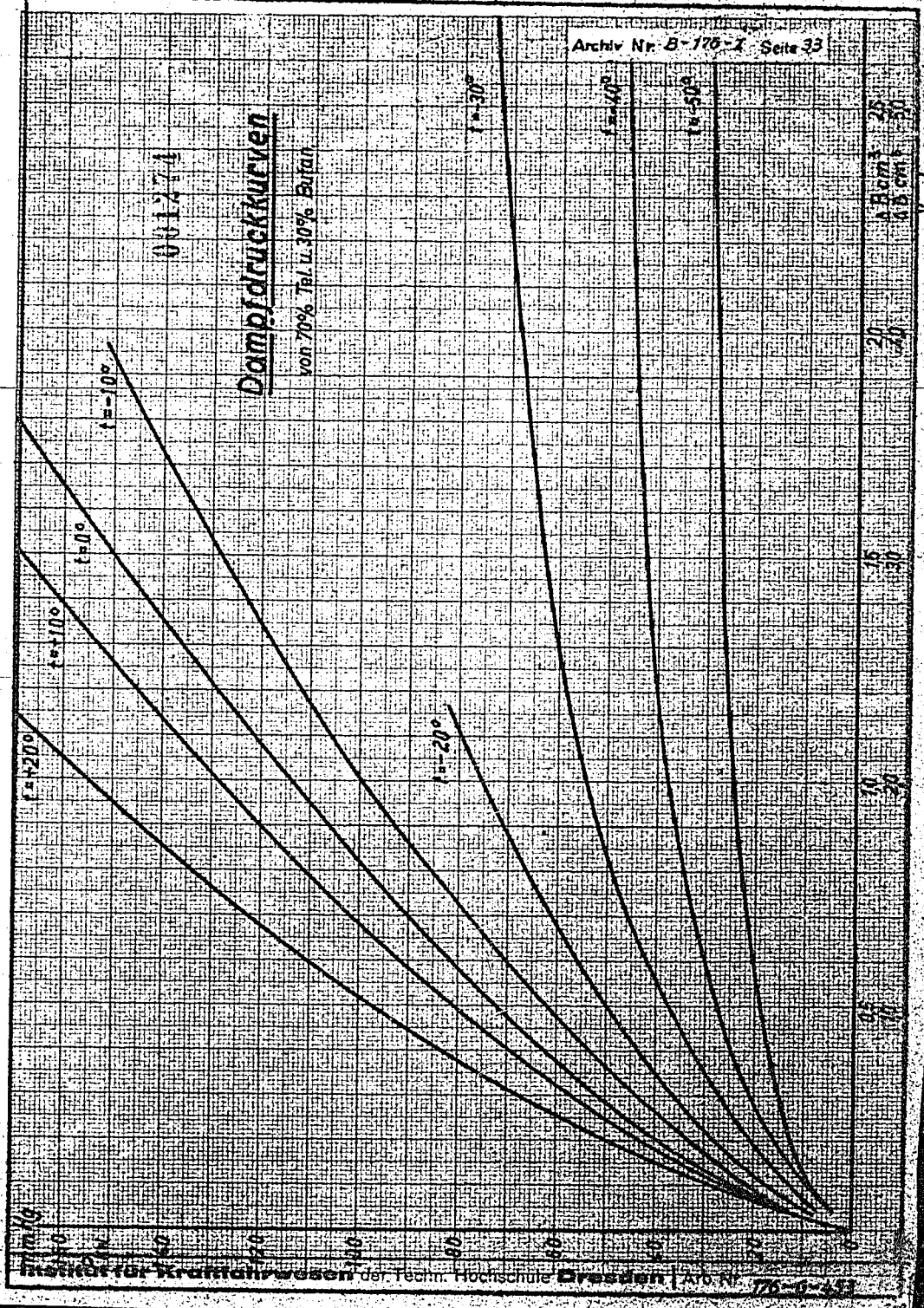
0 D A K A S A F E T Y A F I L M



001274

Dampfdruckkurven

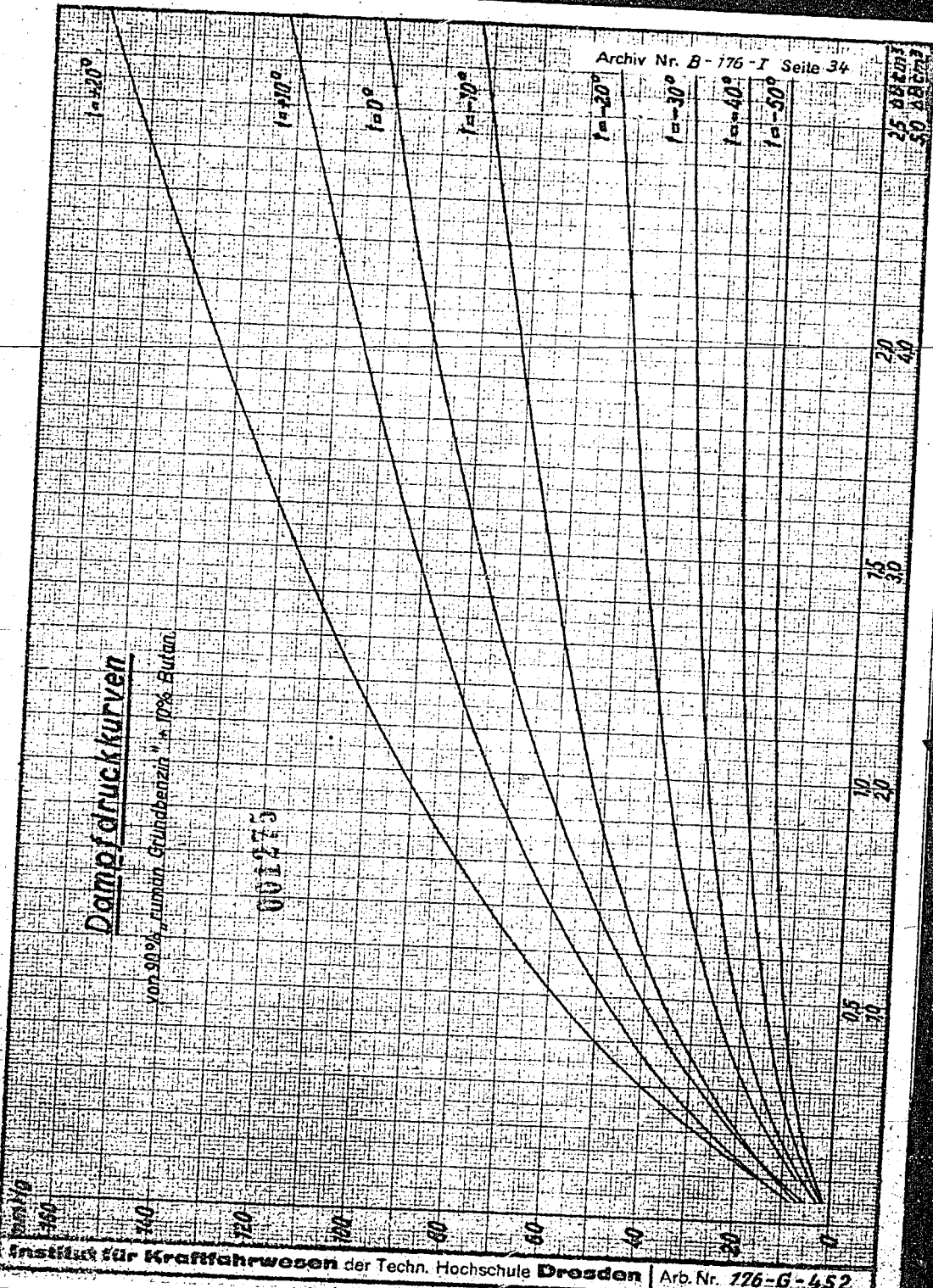
von 70% Tbl. u. 30% Butan



Dampfdruckkurven

von 90% n-Butan, Grundbenzol, 10% Ethanol

001275

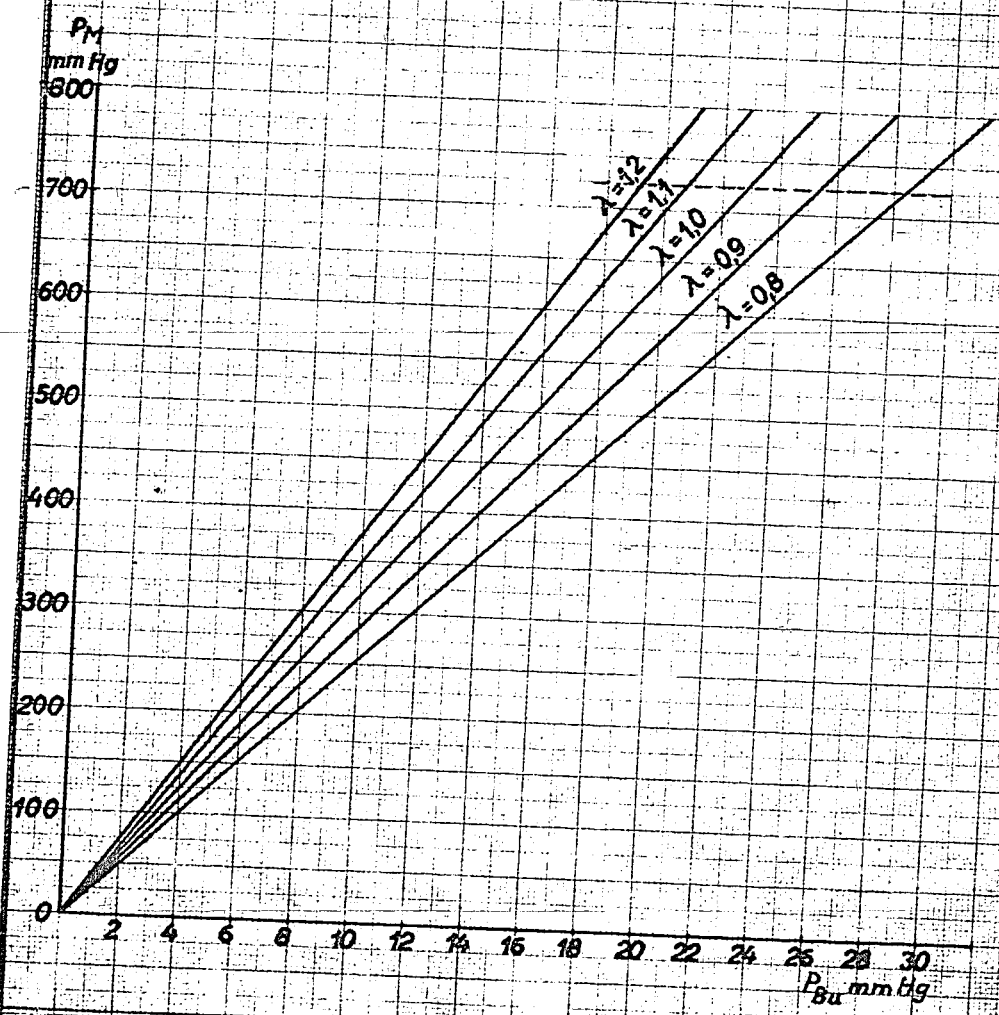


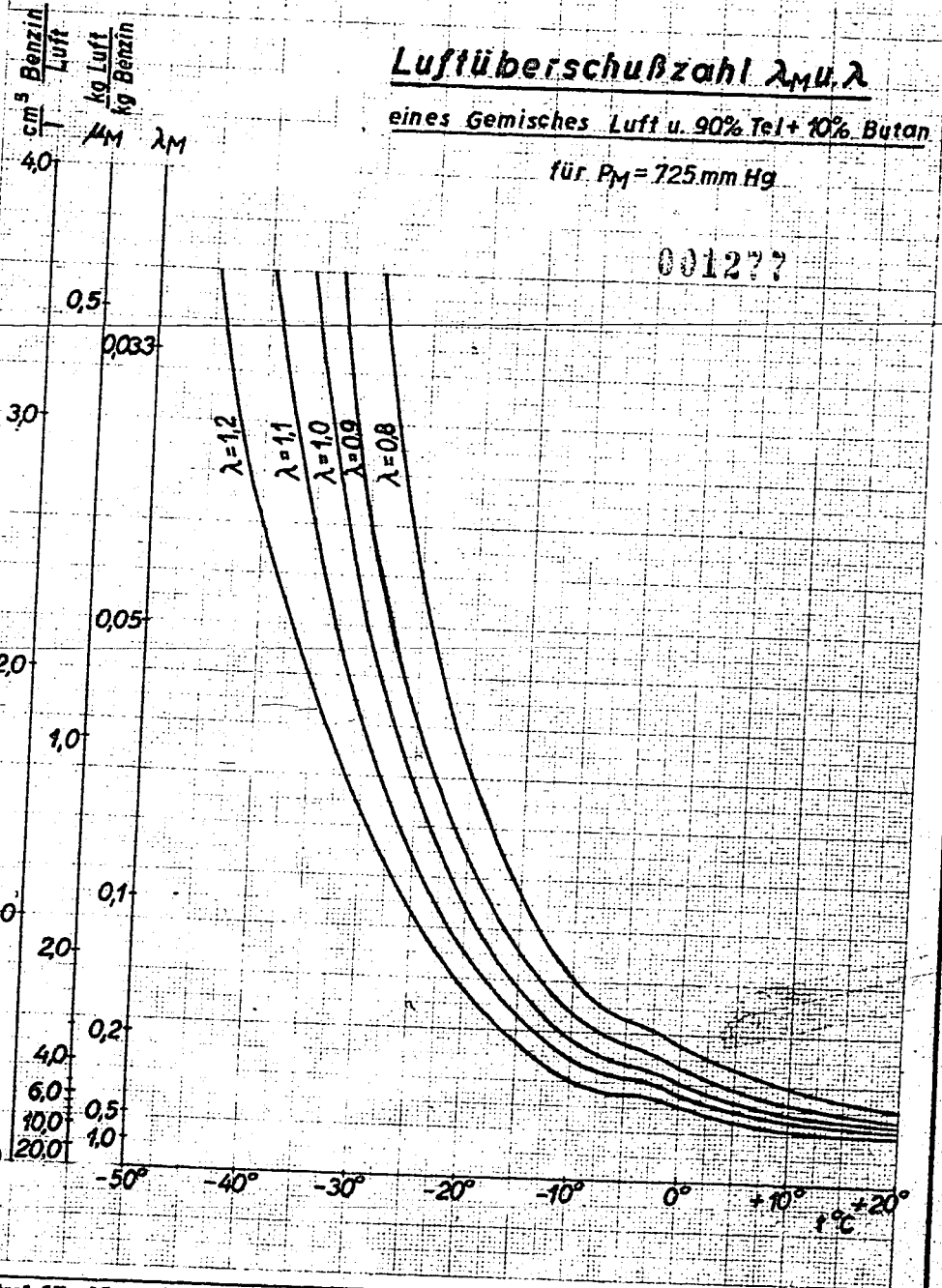
Archiv Nr. B-176-I Seite 34

Partialdruck des Butans P_{Bu}

In Abhängigkeit vom Gemischdruck Luft-Butan P_M
bei verschiedenem Luftüberschuss λ

001276





001279

Versuche zur Bestimmung der Druckbeständigkeit
von Schmierölen.*)

*) Vorliegende Arbeit ist ein Auszug aus der gleichnamigen Doktor-Arbeit von Dipl.Ing. Brigitte de Jong, angefertigt im Techn.chem.Institut der T.H. Berlin, Berichter: Dozent Dr.Helberger, Mitberichter: Prof.Dr.Heinze.

E i n l e i t u n g .

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit Untersuchungen über die Druckbeständigkeit von Schmierölfilmen. Die Ölfilme waren dabei so dünn, dass sie den bei der Grenzschnierung auftretenden geringen Filmdicken entsprachen, also sich im Nichtflüssigkeitszustand befanden und so ausserhalb der hydrodynamischen Gesetzmässigkeiten lagen. Ziel der Arbeit sollte einmal das Studium derartiger Ölfilme gegen Druckbeanspruchung sein, und zum anderen wurde erhofft, neue Kennzahlen für die Mineralöle zu schaffen, die diese für ihre Eignung zu Schmierzwecken im Gebiete der Grenzreibung charakterisieren können.

Klare Einblicke in das wichtige Problem der Grenzreibung würden für die Ölveredelungs- und Erzeugungsindustrie sowie für den Maschinenbau von Bedeutung sein. Es wäre denkbar, durch geeignete Ölverbesserungen den gefürchteten Abrieb (Laufspiegelbildung, weiterhin Fressen), der sich selbst bei Maschinen mit bester schmiertechnischer Konstruktion nicht vermeiden lässt, so zu verringern, dass sich Leistung und Lebensdauer der Maschine erhöhen.

Die bei der Bewegung zweier technischer Flächen auftretende Spitzenberührung ist keine metallische, sondern in jedem Falle befindet sich ein-wenn auch sehr dünner Ölfilm zwischen den reibenden Flächenelementen. Diese dünnen Ölfilme haften an festen Grenzflächen stark, infolge der Benetzungsfähigkeit der Öle, die durch die freien Oberflächenkräfte des festen Körpers - diese stellen ein elektrisches Feld dar - ganz wesentlich unterstützt werden. Dadurch wird die Adsorption der im Öl enthaltenen polaren Stoffe und der durch Feldwirkung induzierten polaren Stoffe an den

Grenzflächen bewirkt, die polaren Moleküle also an der Grenzfläche angereichert. Nach Ansicht vieler Forscher sind diese adsorbierten Ölfilme die bei der Spitzenberührung massgebenden Schichten, durch deren Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung die Grösse des Abriebs in der Maschine bedingt ist.

Zustand und Aufbau von an festen Grenzflächen unmittelbar haftenden Flüssigkeitsfilmen ¹⁾ sind viel untersucht und theoretische Vorstellungen experimentell bestätigt worden. Hierbei wurde eindeutig festgestellt:

1.) Polare Moleküle werden bevorzugt an Grenzflächen adsorbiert.

2.) Die Stellung der adsorbierten Moleküle zu ihrer Unterlage ist senkrecht ²⁾.

3.) Die adsorbierten Schichten können mehrere Moleküllagen dick sein und liegen derart übereinander, dass jeweils die unpolaren bzw. polaren Molekülen zweier Lagen zusammenstossen, die sogenannten Aufbaufilme bilden ^{3,4 u.1)}.

4.) Der Zustand der adsorbierten Flüssigkeitsfilme ist nicht flüssig, sondern halb fest (wurde in vorliegender Arbeit bestätigt). Nach K a r p l u s ⁵⁾ gleiten beim Schmiervorgang die orientierten Schichten aufeinander, wobei die Berührungsflächen der inaktiven Enden der Moleküle als Gleitschichten wirken.

Bei der wissenschaftlichen Erfassung der Nichtflüssigkeitsreibung muss nach dem Stand der heutigen Erkenntnisse die Wirkungsweise und die Gesetzmässigkeiten der adsorbierten und orientierten Schichten in Rechnung gesetzt werden. Die bisher beschrittenen verschiedensten Wege zur Untersuchung dieser Fragen führten wohl zu wertvollen Einzelergebnissen, liessen aber keine abschliessenden und umfassenden Erkenntnisse zu.

Bevor auf die hier angewandte neuartige Untersuchungsmethode eingegangen wird, sei kurz auf die bekanntesten in der Literatur angegebenen Messmethoden eingegangen, wodurch der Sinn und die Vorteile der neuen Methoden deutlich werden.

Theoretischer Teil.

I. Bekannte Messmethoden zur Bestimmung der Schmiereigenschaften von Ölen.

Die Schmierfähigkeit oder Schlupfrigkeit der Öle (englisch "Oiliness", französisch "onctuosité") ist weder ein streng definierter noch eindeutiger Begriff (H e r s c h e l⁶, S o u t h c o m b e⁷). Die bekanntesten Methoden zur Bestimmung der Vorgänge bei der halbtrockenen Reibung und der Oiliness-Eigenschaften der Öle sind:

1.) Die Messungen des dynamischen Reibungskoeffizienten in den Ölprüfmaschinen verschiedenster Bauart. Die besten und auch reproduzierbaren Ergebnisse wurden mit der Ölprüfmaschine von T h o m a⁹ erzielt. V o g e l p o h l fand nach eingehender Analyse des hydrodynamischen Schmiervorganges eine Parallele zwischen den mit der Thoma-Maschine gemessenen Werten und den physikalischen Grössen wie spezifische Wärme, Polhöhe und Raumgewicht, die früher noch nicht in Bezug auf die Schmiereigenschaften in Betracht gezogen worden waren. Diese Ergebnisse legen nahe, dass ein grosser Teil der Schmierfähigkeits-eigenschaften hydrodynamisch gedeutet werden kann. Die von K a d m e r¹¹ mit der Thoma-Maschine erhaltenen Messergebnisse an fetten Ölen, Mineralölen und synthetischen Produkten lassen sich sinngemäss neben diese physikalischen Grössen stellen, doch konnten befriedigende, für den Schmiervorgang charakteristische Kennzahlen mit der Thoma-Maschine nicht aufgefunden werden.

2.) Unabhängig von den oft komplizierten Verhältnissen der Praxis stellte erstmalig H a r d y¹² Messungen des s t a t i s c h e n Reibungskoeffizienten^{x)} zur Untersuchung der Grenzflächenvorgänge an. Sie führten zu den bekannten Vorstellungen der orientierten Struktur adsorbierter Flüssigkeitsfilme und zu der Annahme, dass Ausbildung und Dicke

x) Hardy benutzte eine einfache Versuchsanordnung von einer ebenen Fläche (Stahl, Glas usw.) und eine darauf liegende Kalotte (Uhrglas oder Metallhalbkugel) mit optischer Politur. Forts. s. S. 4.

solcher Schichten von den Oberflächenkräften des festen Körpers (der Messflächen) und den Molekularkräften der Flüssigkeiten abhängig sind. Diese Kräfte sollen massgebend für die reibungsvermindernde Wirkung sein, da sie die zwischen zwei sich berührenden Flächen bestehenden Kohäsionskräfte und damit auch die Reibungswerte verkleinern. Hardy fand weiter den günstigsten Einfluss polarer Gruppen in Schmiermitteln und gibt den statischen Reibungswert des Systems Stahl-Bronze ohne Schmiermittel mit 0,9 an, mit Octylalkohol 0,39 und mit Ölsäure mit nur noch 0,1. Genauere Einblicke in die Grenzschmierungsvorgänge fand Hardy nicht, auch waren seine Ergebnisse wegen Verschmutzung der Messflächen nicht streng reproduzierbar.

3.) Das System der Messflächen auf einer schiefen Ebene von W i l s o n und B a r n a r d ¹³⁾ führte ebenfalls zu keinen einheitlichen tieferen Einblicken in die Grenzflächenvorgänge.

4.) Mit den bekannten Maschinen von D e e l e y ¹⁴⁾ und W e l l s ¹⁵⁾ wurde der kinetische und statische Reibungskoeffizient gemessen. J.H. H y d e ¹⁶⁾ fand mit der D e e l e y-Maschine, dass der statische Reibungskoeffizient für Mineralöle um ca. 4/5 seines Wertes fällt, wenn die Öle Zusätze polarer Gruppen unter 1 % erhalten und weitere Steigerungen polarer Bestandteile im Öl die Werte der Reibung nur noch unbedeutend senken (Brit. Patent der Germ-Öle 130 377 u.a.). Die Reproduzierbarkeit der Messwerte war aber infolge Verkratzens der Messflächen nicht hinreichend.

5.) W i l s o n und B a r n a r d ¹³⁾ versuchten durch Messung des elektrischen Widerstandes die Dicke adsorbierter Ölfilme unter Druck zu messen. Die erhaltenen Werte müssen aber angezweifelt werden, da ihnen die Leitfähigkeit des Öles im flüssigen Zustand zugrunde liegt, diese aber im orientierten halbfesten Ölfilm zweifellos eine andere ist.

Forts.d. Fussnote von S.3: Es bleibt dabei dahingestellt, ob dies "optische Politur" nach heutigem Maßstab beurteilt werden darf, denn Hardy fand bei Messungen mit Platten aus gewöhnlichem Fensterglas ähnliche Reibungswerte wie für die mit "optischer Politur".

6.) Zur näheren Charakterisierung der die "oiliness" bewirkenden Stoffe dienten die bekannten Versuche von T r i l l a t und V a i l l e 17), die Öle mit Eisenspänen zu behandeln, wonach sich zwar die Reibungswerte tatsächlich verschlechtert hatten, aber die an den Spänen adsorbierten aktiven Ölbestandteile nicht isoliert werden konnten.

7.) Auf die Versuche von B a c h m a n n und B r i e g e r 18) sei noch verwiesen, die die Bindungsfähigkeit von Schmiermittelmolekülen aus den Adsorptionswärmen von Ölen an verschiedenen Metallen zur Ölbewertung heranzogen. Diese Messergebnisse reichen trotz der Befunde von B ü c h e 19) zu einer Gütebestimmung der Öle für die Praxis ebenfalls nicht aus.

II. Die neue Methode zur Bestimmung der Druckbeständigkeit adsorbierter Flüssigkeitsfilme mit dem Interferenzkomparator.

Im Gegensatz zu den oben angeführten Methoden, bei denen sich stets die Messflächen gegeneinander bewegen^{x)}, arbeitet das hier angewandte Messverfahren im ruhenden System und gestattet so unter Ausschaltung aller störenden äusseren Einflüsse das Verhalten an Flüssigkeitsfilmen unter Druck für sich allein zu beobachten.

Der neuartige Gedanke von L. U b b e l o h d e, die Grenzflächenvorgänge aus dem Druckverhalten adsorbierter Flüssigkeitsfilme im absolut statischen System zu erforschen, fand praktisch erst seine Verwirklichung, als der Interferenzkomparator nach K ö s t e r s für die hier erforderlichen Zwecke von der Fz. Carl Z e i s s, Jena, umgestaltet wurde. Die ersten Arbeiten mit diesem Interferenzkomparator - kurz Inko genannt - führte H. N e u m a n n 20) im Technisch-chemischen Institut der T.H. Berlin aus, der auch das optische Messprinzip, die Zusatzgeräte und die gesamte Anlage der Apparatur beschrieben hat. Den Messungen lag folgendes einfache Prinzip zugrunde; auf das hier zum weiteren Verständnis kurz eingegangen sei:

x) Auch bei den Messungen der statischen Reibung tritt nach Überschreitung des Schwellenwertes eine Bewegung ein, die ebenfalls ein Verkratzen der Messflächen zur Folge hat. 6 -

Zur Untersuchung der Druckbeständigkeit der Öle wurde ein Ölfilm zwischen zwei planparallele Platten Abb. 1 und 2) gebracht und mit verschiedenen Drucken stufenweise belastet, wodurch der Flüssigkeitsfilm langsam seitlich herausgedrückt wird. Die Schichtdicke des Flüssigkeitsfilmes wird mit dem Inko- also auf optischem Wege - dann gemessen, wenn sich das Gleichgewicht zwischen Schichtdicke und Druck eingestellt hat, was in der Regel nach 12 bis 20 Stunden Belastungszeit der Fall ist. Die gemessenen Schichtdicken der einzelnen Druckstufen werden über dem Druck graphisch aufgetragen, und aus dem Verlauf dieser Schichtdicken-Druck-Kurven ergibt sich die Druckbeständigkeit des Öles. Durch die Druckwirkung müssen sich die Platten einander soweit nähern lassen^{x)}, dass sich die an den Messflächen haftenden orientierten Schichten berühren. Je nach der Art der Flüssigkeit ist eine verschiedene Druckbeständigkeit dieser Schichten zu erwarten, d.h. ein flacher oder ein abfallender Verlauf der Kurven. Die Schichtdicken sollen grössenordnungsmässig denen der Grenzschnierung entsprechen, und daher war ein exakt arbeitendes Messgerät mit einem Messbereich von mindestens $0,02 \mu$ erforderlich. Mit dem Inko lassen sich Änderungen von $0,01 \mu$ genau bis $0,005 \mu$ durch Schätzung erfassen. Wegen der Temperaturabhängigkeit der Messung befand sich der Inko in einem Thermostaten, und er wurde durch Umwälzen warmer Luft auf $25^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ geheizt.

Die angewandten Messplatten (Glas und Stahl) waren so fein optisch poliert (in einem Falle feingeläppt), dass sie sich nach ausreichender Säuberung ansprengen liessen und so die Bestimmung des Nullpunktes (Dicke der aufeinander haftenden Platten, ohne Öl) prinzipiell möglich war. Um Ablesefehler bei den Messungen einzuschränken, wurden für eine Messung stets 10 Ablesungen ausgeführt. Die Schwankungen betrugen rund $0,01 \mu$, und der zulässige Fehler wurde auf $0,03 \mu$ - der genormten Genauigkeit für Endmaße - festgesetzt.

x) Die bei dieser Annäherung ausgeführte Bewegung der Platten zueinander ist relativ so gering, dass sie vernachlässigt und das System als statisch betrachtet werden kann.

Nach Bestimmung des Nullpunktes wurde das Öl durch eine der beiden Bohrungen in der kleinen Oberplatte eingebracht, in den ausgesparten Kalotten gesammelt, und nach Entweichen der Luftbläschen wurde der Ölfilm zwischen den Platten dadurch erzeugt, dass durch Auflegen eines heissen Hilfsplättchens unter Öl abgesprengt wurde und das Öl nun zwischen die Platten strömte; dann wurde das System mit Gewichten belastet und der Ölwert nach der Entlastung des Plattensystems bestimmt, was zunächst als ein Mangel der Methode erscheint. Da aber die für eine Druckstufe eingestellte Schichtdicke noch viele Stunden nach der Entlastung die gleiche blieb, ist anzunehmen, dass sie sich in den Minuten zwischen Entlastung und der ersten Messung ebenfalls nicht geändert hat und die Schichten also so dick gemessen werden, wie sie in Wahrheit unter Druck sind.

Die Öle wurden vor der Benutzung weitestgehend durch Filtration mit einem Bakterienfilter (G5 auf G3) von evtl. Schmutzteilen gereinigt.

Die angewandte Messmethode hat sich nach Überwindung einiger Schwierigkeiten bewährt, wie die Arbeit von N e u m a n n und die vorliegende Arbeit zeigen.

./.

Experimenteller Teil.

Frühere Untersuchungen²⁰⁾ zeigten, dass Substanzen mit polaren Molekülen, z.B. Oleinalkohol und einige Schmiermittel relativ dicke und druckbeständige Schichten bilden, dagegen Substanzen, die praktisch frei von polaren Stoffen sein sollten, wie ausgeraffinierte Weissöle, reine Kohlenwasserstoffe usw., sehr dünne und druckempfindliche Schichten lieferten. Um diese Beobachtungen für die Öle bewerten zu können, wurden die Versuche nun mit Schmierölen erweitert und die Untersuchungen nicht nur wie bisher zwischen Glasplatten, sondern auch zwischen Stahlplatten vorgenommen.

Die Untersuchungen wurden mit den Systemen Glas-Glas, Glas-Stahl (feingeläppt), Glas-Stahl (optisch poliert) und Quarz-Stahl ausgeführt.

Das Ansprengen.

Wie bereits gesagt, wird der Nullwert des Messplattensystemes im angesprengten Zustand der Platten bestimmt, was bei den Glassystemen stets in reproduzierbarer Weise möglich war. Bei der Übertragung des Messverfahrens auf Stahlplatten treten aber Schwankungen der Nullwerte weit über die zulässige Fehlerbreite hinaus auf. Diese Tatsache führte zu eingehenden Untersuchungen der bisher nicht berücksichtigten Ansprengverhältnisse überhaupt, wobei folgendes festgestellt wurde:

Zum Ansprengen zweier Platten ist in jedem Falle eine Zwischenschicht - die Ansprengschicht - erforderlich, die Überträgerin der Adhäsionskräfte der Oberflächenmoleküle der Platten ist. Bei Abwesenheit dieser Schicht, die nach P i e t z sch aus Fett, Öl, Talg, Lösungsmittel, Wasser u.dgl. bestehen kann, sprengen die Platten nicht an. Je nach der Dicke der Ansprengschicht, nach der Ebenheit, Weichheit und Elastizität der jeweiligen Politur (je nach Metall verschieden, vgl. Schoon²²) haften die Platten sehr fest oder weniger fest aneinander, ist die Ansprengung schlecht oder gut. Wegen der Weichheit und grossen Ebenheit der bisher ausschliesslich verwandten Glasplatten konnte die Ansprengschicht eine sehr dünne sein (schätzungsweise optimal 10 μ) und war bei der Reinigung der Platten (Benzin und Watte) unbedeutend aufgebracht worden, sodass ihre Gegenwart nicht in Erscheinung trat. Die übrigen Systeme benötigten zunehmend mit ihrer Rauigkeit dickere Schichten, und zwar vom System Quarz-Stahl, Glas-Stahl (optisch poliert) und feingeläppt) zum System Stahl-Stahl (Feinläppschliff) ansteigend. K a u b e²³ gibt für die Ansprengschicht von Stahl-Quarz eine optimale Dicke mit 24 μ und für Stahl-Stahl 30 μ bei maximalen Haftkräften an. Die theoretischen Vorstellungen über Orientierung und Struktur adsorbierter Flüssigkeitsfilme werden durch die Anwesenheit der Ansprengschicht noch komplizierter, doch zeigten die praktischen Messungen - abgesehen von den Schwankungen der Nullwerte - keine Beeinflussung auf die Schichtdicke und die Druckbeständigkeit

der Ölfilme, was sich wohl aus dem grossen Überschuss des Öles im Verhältnis zur Menge der Ansprensubstanz erklärt.

Die Öluntersuchungen.

1. Mit Stahlplatten .

Bei den Versuchen, die Nullwerte des Systems Stahl-Stahl zu bestimmen, traten - wie bereits erwähnt - unzulässige Schwankungen auf; diese sind darauf zurückzuführen, dass die Ansprennung der feingeläppt polierten Platten durchaus nicht immer gleich gut war, d.h. die Platten nicht in allen Fällen gleich fest aneinander haften. Der Grund hierfür ist die relativ dicke Ansprenschicht, die für diese Stahlplatten erforderlich war, und die nur schwer stets gleich dick und in gleicher Verteilung auf die Platten aufzubringen war. Es wurde versucht, den Nullwert der Stahlplatten indirekt durch Zusammenpressen einer Stahl- mit einer Glas- oder Quarzplatte zu bestimmen. Da für diese Systeme dünnere Ansprenschichten genügen, ergaben sich für das jeweilig gemessene System hinreichend konstante und reproduzierbare Nullwerte.

Die darauffolgenden Ölmessungen zeigten aber trotzdem deutlich, dass die gemessenen Nullwerte nicht den wirklichen entsprechen konnten. Es wurden nämlich für die Ölfilme negative Dicken erhalten, und zwar schon von der geringen Belastung von 1 bzw. 1,6 kg/cm² an. Danach haben sich die Platten der genannten Systeme unter dem Einfluss des Öles weiter genähert als mit der Ansprenschicht (Fig. 1, Kurve 1,3 und 4); der Ölfilm wurde selbst zur Ansprenschicht. Es wurde nun auf verschiedenste Weise versucht, diesen Mißstand zu beheben; u.a. wurden auch Stahlplatten mit optischer Politur (Politur entsprach also der Güte der Glasplatten) benutzt, ohne jedoch befriedigende Erfolge zu erzielen. Fehlmessungen mit dem Inko lagen hierbei nicht vor, denn die Messungen wurden in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt mit Erlaubnis Herrn Direktor K ö s t e r s unter der Leitung von Ober-Reg.Rat Dr. Lampe freundlicherweise nachgeprüft und bestätigt,

wobei ein anderes interferometrisches Messprinzip als es beim Inko vorliegt, zur Anwendung kam.

Da somit die wirklichen Nullwerte der Stahlplatten, sowohl der optisch-poliereten wie der feingeläppten weder direkt noch indirekt bestimmt werden konnten, musste auf die Ermittlung der Dicke von Ölfilmen zwischen Stahlplatten leider verzichtet werden und die Öluntersuchungen auf Glasplatten beschränkt bleiben. Auf weitere Einzelheiten der Versuche mit den Stahlplatten muss an dieser Stelle verzichtet werden. Es sei noch darauf hingewiesen, dass die relative Dicke der Ölfilme, also ihre Abnahme von Druckstufe zu Druckstufe, selbstverständlich zwischen Stahlplatten einwandfrei bestimmt werden kann und daher der Verlauf der Kurven - die Kurvencharakteristik - voll bewertet werden kann.

2. Mit Glasplatten.

Es wurden Reihenversuche mit Ölen verschiedener Provinienz ausgeführt, die entscheiden sollen, ob die Bestimmung der Druckbeständigkeit von Ölfilmen mit dem neuen Messverfahren möglich ist.

Durch zahlreiche Vorversuche war festgestellt worden, dass die Ölmessungen mit den Glasplattensätzen innerhalb der zulässigen Fehlerbreite reproduzierbar, unabhängig vom jeweils benutzten Plattensatz (3 Meßsätze standen zur Verfügung) und frei von subjektiven Einflüssen sind. Somit waren alle Vorbedingungen zur vergleichenden Bewertung erfüllt.

Fig. 2 zeigt 7 Messreihen, an verschiedenen Glasplattensätzen mit dem Straight-Run-Öl H₃. Die Kurven 3 bis 6 laufen in ihren horizontalen Teilen von der Druckstufe 2 kg/cm² ab fast zusammen, während Kurve 7 erst ab 2,7 kg/cm² Druck mit den anderen gemeinsam asymptotisch ausläuft. Bei 50 kg/cm² betragen die Schichtdicken dieser 5 Kurven übereinstimmend 0,13 μ , was für das gleiche Öl bereits von Neumann gefunden wurde. Die Kurven-1 und 2 fallen heraus. Die Ursache hierfür

war eine ungünstige Konstruktion der Pressen, unter denen die Ölfilme belastet wurden. Diese Pressen wurden daher ausgeschaltet. Die steil abfallenden Anfangsteile der Kurven 1 bis 7 haben alle voneinander abweichende Richtungen, und die flacher verlaufenden erreichen die Endschichtdicke bei höheren Druckstufen als die steiler verlaufenden. Diese Unterschiede entstehen durch die verschieden grossen Ölmengen, die beim Absprengen der Platten unter Öl mit dem heissen Hilfglasplättchen eingebracht und schwer reguliert werden können. Die Schichtdicken-Druck-Kurven können folglich nicht eher miteinander verglichen werden, als bis sich die Endschichtdicke annähernd eingestellt hat. (Näheres siehe Original). Vermutlich sind die Ölfilme bei den höheren Druckstufen schon so dünn, dass sich die Öle nicht mehr wie Flüssigkeiten verhalten, sondern nur noch die an den Glasflächen haftenden, halb festen Schichten entsprechend der Eigenart der Ölmoleküle dem Belastungsdruck Widerstand leisten. Die Versuche zeigen, dass vergleichende Messungen mit Glasplatten durchaus möglich sind, weshalb die folgenden Untersuchungen an Glasplatten durchgeführt wurden.

3. Untersuchungen an 30 handelsüblichen Schmierölen verschiedener Herkunft.

Bei den nun folgenden Reihenversuchen wurden die Druckstufen von Beginn an so hoch gewählt, dass die nach Einstellung des Gleichgewichtes zwischen Druck und Schichtdicke erhaltenen Werte in den zweiten wagerechten Teil der Kurven fielen. Das Messverfahren konnte dadurch erheblich verkürzt werden, denn die bisher übliche Messung in 10 Druckstufen konnte auf 3 Druckstufen verringert werden, ohne dass dadurch Änderungen der Endschichtwerte eintraten. (Siehe dazu Fig. 4 im Original). Die 3 Druckstufen wurden so gewählt, dass mit der ersten gerade der Übergang vom ersten zum zweiten Kurventeil (Umkehrpunkt) erfasst wird, während die zweite und dritte Druckstufe Messpunkte des wichtigen flachen zweiten Kurventeiles lieferten. Die Belastungen waren

5 kg, 25 kg und 35 kg entsprechend den Drucken von $1,07 \text{ kg/cm}^2$, $5,36 \text{ kg/cm}^2$ und $7,49 \text{ kg/cm}^2$.

Die untersuchten 30 Öle, darunter 20 Markenöle, wurden so ausgewählt, dass sie eine Skala vom "paraffinischen" zum "aromatischen" Charakter hin bilden, mit den Dichten von $d_{20} = 0,874$ bis $0,927$ und den dazugehörigen Brechungsexponenten von $n_D^{20} = 1,4862$ bis $1,5132$ ansteigend.

Zur Vermeidung von Zufälligkeiten wurde jedes Öl in zwei Meßsätzen untersucht. Da die Ergebnisse der Parallelmessungen nur innerhalb der zulässigen Fehlerbreite schwankten, wurden jeweils die Mittelwerte beider Messfolgen als Kurvenpunkte in Fig. 3 und 4 eingetragen.

Die Kurven dieser 29 Öle haben eine ähnliche Form, jedoch lassen sich zwei Gruppen unterscheiden, weshalb sie getrennt in Fig. 3 und 4, Tabelle 1 und 2^{x)} aufgeführt wurden. Von der ersten zur zweiten Druckstufe fallen die Kurven schräg ab, um dann in Fig. 3 von der zweiten zur dritten Stufe nur noch um geringe Beträge von der Abszisse nach oben oder unten abzuweichen. Dagegen fallen in Fig. 4 die Kurven von der zweiten zur dritten Druckstufe weiterhin schräg ab. Die Kurvenzüge der Öle 27 und 28 in Fig. 4 liegen so, dass sie eigentlich sowohl der einen wie der anderen Gruppe zugerechnet werden können. Der Verlauf der Kurven "flach" oder "schräg" ist nicht durch die Dicke der Endschicht bedingt. Die Mittelwerte der Schichtdicken für die flachen Kurven betragen in der dritten Druckstufe $0,185 \mu$ und desgleichen für die schrägen Kurven $0,180 \mu$. Die Endwerte beider Kurvengruppen liegen somit im selben Bereich und sagend daher über den Kurvenverlauf selbst nichts aus.

Die dünnsten Endschichten wurden bei den Ölen mit flachen Kurven, dem Straight-Run-Öl H 1 mit $0,12 \mu$ (Fig. 3, Kurve 16) und bei den schrägen Kurven beim Öl H₃ ebenfalls mit $0,11 \mu$ (Fig. 4, Kurve 20) gemessen. Auffallend ist jedoch, dass bei den Ölen mit flachem Kurvenzug zwei pennsylvanische Öle, das Pennoil medium (100 % pennsylv.)

x) Die Numerierung der Öle 1 bis 29 in den Tabellen stimmt mit der Bezifferung der Kurven in Fig. 5 und 6 überein.

mit 0,27 μ und das penns. Autoöl heavy medium XXXV mit 0,29 μ (Fig. 3, Kurven 8 und 1) die grösste Schichtdicke aufweisen. Die dickste Endsicht bei den Ölen mit schrägen Kurven erreicht das Audac-Motorenöl schwergold mit 0,25 μ .

Über die Dicken der Endsichten der Öle 18 - 29 (Fig. 4) lassen sich keine genauen Aussagen machen, da unbewiesen ist, ob nach der dritten Druckstufe ein weiterer Abfall eintritt oder nicht. Da aber die Werte der dritten Stufe zwischen 0,11 und 0,25 μ liegen, also in den Bereich der übrigen flachen Kurven fallen, ist nach den gemachten Erfahrungen anzunehmen, dass die Endsicht^{ch}dicken nicht wesentlich darunter liegen können, und ein Vergleich mit den Endsichtwerten der Öle 1 bis 15 (Fig. 3) ist wohl zulässig.

Zur Erklärung des schrägen Verlaufes der Kurven wurden die Belastungszeiten der dritten Druckstufe wesentlich verlängert, ohne dass eine weitere Abnahme der Schichtdicken eintrat. Das Gleichgewicht war also bereits nach der normalen Belastungszeit (15 - 20 Stunden) erreicht gewesen. Von den Dichten und den Brechungsexponenten liessen sich ebenfalls keine Abhängigkeiten ermitteln.

Eine unmittelbare Beziehung zwischen der Viskosität und dem Kurvenverlauf besteht ebenfalls nicht, obwohl bei flüchtiger Betrachtung der Tabellen dieser Anschein erweckt wird. Die Öle der flachen Kurven haben im Durchschnitt niedrigere Viskositäten als die der schrägen Kurven, jedoch streuen die Werte. Es ist einleuchtend, dass der Übergang vom flüssigen Zustand der dicken Ölfilme zu dem halbfesten Zustand der dünnen Filme an hochviskosen Ölen mehr Zeit oder höhere Belastungen beansprucht als dies für niedrigviskose Öle erforderlich ist. Die Bedingungen, mit hochviskosen Ölen so dünne Ölfilme zu erreichen, dass die Gesetze der Hydrodynamik vollkommen ausgeschaltet sind, müssen sehr hoch sein und würden trotz extrem langer Belastungszeiten bei den Ölen mit schräger Kurve anscheinend noch nicht erreicht. Streng genommen dürften die Schichtdicken-Druckkurven der Öle nur dann miteinander verglichen werden, wenn die Viskosität vollkommen ausgeschaltet ist. Die Kurven zeigen aber eine weitgehende Annäherung an

diesen Idealzustand, so dass der Vergleich der Kurven als zulässig erschien, wie oben schon gesagt.

Um über den Einfluss der Viskosität Genaueres aussagen zu können, müsste das Versuchsmaterial bedeutend erweitert werden.

Ein vollkommen ungewohntes Bild zeigten die Kurven des Shell-Voltol-Öles (Fig.5), dessen Werte in wiederholten Messreihen nicht reproduzierbar waren. Entsprechend der Eigenart des mit Hochfrequenz behandelten Öles und seiner Viskosität nach (12,5 E°/50°C, Tabelle 2, Öl Nr. 30) wurde erwartet, dass sich die Endsicht schon in der zweiten Druckstufe einstellt. Alle Kurven fallen jedoch schräg ab. Eine befriedigende Erklärung für das eigenartige Verhalten wurde nicht gefunden.

4. Untersuchungen an 2 synthetischen Ölen der Ruhrchemie, an 1 Öl aus Spaltparaffin und an 1 Öl aus Chlor-Gatsch.

Es wurden weiterhin Messungen an 2 synthetischen Ölen der Ruhrchemie, Öl A und Öl B, von heller goldgelber Farbe durchgeführt, sowie ein Öl aus Spaltparaffin, Öl V 17 und ein Öl aus Chlor-Gatsch, Öl V 18, durchgemessen. An diesen Ölen sollte der eventuelle Einfluss der chemischen Struktur der Öle auf ihr Druckverhalten untersucht werden. Die Daten der synthetischen Öle sind:

	d_{20}	n_{20}	cSt bei 50°	E°/50°	V.P.
Öl A	0,856	1,4760	79	10,5	1,95
Öl B	0,861	1,4776	225	25	1,90

Die beiden Öle weisen niedrigere Dichten und Brechungsexponenten auf als die anderen 30 Öle und sind also von ausgeprägt paraffinischem Charakter. Beide Öle haben eine gleiche und gute Polhöhe, doch steht ihre Viskosität im Verhältnis 1 : 2,5. Trotz dieses Viskositätsunterschiedes ist der Verlauf der Kurven 1, 2 und 3 in Fig. 6 einander sehr ähnlich.

Die Kurve 1 (Öl A) und Kurve 3 (Öl B) laufen zufällig einander parallel, während sich bei der Kurve 2 (Öl B) ein deutlicher Einfluss der eingebrachten Ölmenge bemerkbar macht. Doch weisen die beiden Kurven 2 und 3 des Öles B nahezu die gleichen Schichtdicken bei $7,49 \text{ kg/cm}^2$ auf und liegen mit ihrem Mittelwert von $0,17 \mu$ Endschichtdicke durchaus im Bereich der anderen 30 untersuchten Öle. Dagegen liegt beim Öl A der niedrige Endwert von $0,09 \mu$ unter dem niedrigsten der 30 Öle, die für das Öl H 1 und das Öl "3" mit $0,11 \mu$ gefunden wurden. Auch kann man für das Öl B annehmen, dass sich bei weiterer Belastung die Schicht noch vermindern lässt, denn es besitzt mit 25 E/50° eine sehr hohe Viskosität, die nach den oben angeführten wahrscheinlichen Ursachen für die "schrägen" Kurven eine Einstellung der wirklichen Endschicht in der dritten Druckstufe innerhalb der normalen Belastungszeit nicht gestattet. Da die beiden Öle paraffinischen Charakter haben, sind ihre schrägen Kurven und niedrigen Endwerte besonders auffallend und stehen in einem deutlichen Gegensatz zu den beiden ebenfalls paraffinischen pennsylvanischen Ölen Nr. 1 und 8, deren Kurven 4 und 5 zum Vergleich in die Figur 6 gestrichelt eingezeichnet sind. Aus diesen unterschiedlichen Kurvenbildern der pennsylvanischen und der synthetischen Öle der Ruhrchemie muss man schliessen, dass für das Druckverhalten der Öle ihr chemischer Charakter nicht ausschlaggebend ist und dass die pennsylvanischen Öle noch Inhaltsstoffe besitzen, die die Druckbeständigkeit begünstigen und den synthetischen Ölen fehlen.

Durch das eigenartige Ergebnis der Ruhrchemie-Öle angeregt, wurden nun Versuche an zwei weiteren Ölen mit einem gegensätzlichen paraffinischen und aromatischen Charakter ausgeführt. Das Öl V 17 ist aus Spaltparaffin und das Öl V 18 aus Chlor-Gatsch (38,5 % Cl) 1937 im Technisch-chemischen Institut der Technischen Hochschule Berlin hergestellt. Vor der Verwendung für die Messungen wurden beide Öle mit Terrana-Bleicherde bei Zimmertemperatur mehrmals raffiniert, wobei die ursprünglich dunkelbraunen bis schwarzen Öle in klare gelbe Raffinate übergingen. Die Daten der Öle nach der Raffination waren:

	d_{20}	ρ_{20}	ost bei 50°C	$E^{0/50^{\circ}C}$	V.P.
Öl V 17	0,868	1,4762	250,0	33,5	1,41
Öl V 18	0,923	1,5096	47,9	6,3	2,05

Den unterschiedlichen paraffinischen und aromatischen Charakter der beiden Öle kann man aus den beiden UV-Absorptionskurven (Fig. 7) erkennen, die mit dem Zeiss'schen Quarzspektrographen aufgenommen wurden. Die gestrichelten Kurven stellen die UV-Absorption der Öle vor der Raffination und die ausgezogenen Kurven nach der Raffination dar. Aus dem Absorptionsmaximum des Öles V 18 ist deutlich sein aromatischer Charakter erkennbar, während das Öl V 17 in dem für die Aromaten in Betracht kommenden Absorptionsgebiet überhaupt kein Maximum besitzt, da es paraffinisch ist und als solches keine Aromaten enthält.

Ein gewisser Einfluss der Raffination auf den Aromatengehalt des Öles V 18 ist durch das Absinken des Absorptionsmaximums erkennbar, doch sind die beiden Öle wesentlich voneinander verschieden.

Die Messergebnisse dieser Öle sind in Fig. 8 wiedergegeben, aus dem ein Unterschied im Druckverhalten der Öle nicht herausgelesen werden kann. Während in Fig. 6 Öle mit ähnlicher Struktur verschiedene Kurven ergaben (synthetische Ruhrchemie-Öle schräger Verlauf und dünne Schichten, pennsylv. Öle flacher Verlauf und dicke Schichten), zeigen hier die Öle mit verschiedener Struktur ein sehr ähnliches Druckverhalten. Dieses Ergebnis zeigt ebenfalls, dass die chemische Struktur für die Ausbildung und das Verhalten der adsorbierten Ölfilme gegen eine statische Druckbeanspruchung nicht allein massgebend sein kann, sondern noch andere unbekannte Faktoren dabei eine Rolle spielen müssen.

./.

5. Diskussion der Messergebnisse.

Die Endschichtdicken der Öle 1 bis 29 liegen im Bereich von 0,1 bis 0,25 μ , stehen also im Verhältnis 1 : 2,5 und zeigen somit deutliche Unterschiede der Druckbeständigkeit

von Schmierölen. Jedoch liessen sich die Endschichtdicken dieser Öle sowie die der Ruhrchemie-Öle und der beiden anderen Ölen aus Spaltparaffin und Chlor-Gatsch in keinen eindeutigen Zusammenhang mit ihren physikalischen Daten und ihrer chemischen Beschaffenheit bringen. Die Druckbeständigkeit der Öle muss somit andere Ursachen haben und allem Anschein nach sind die druckbeständigen Schichten der verschiedenen Öle mehr oder weniger verschiedener Natur. Dieses wird besonders deutlich, wenn man die dicken Endschichten der pennsylvanischen Öle mit den dünnen Endschichten der Ruhrchemie-Öle vergleicht, denn letztere hätten ihrem stark paraffinischen Charakter nach die dicksten Schichten aller gemessenen Öle überhaupt ergeben müssen. Polare Moleküle können nicht allein ausschlaggebend für die Ausbildung adsorbierter Schichten sein, denn schlecht schmierende Öle werden wohl durch ihren Zusatz verbessert⁷⁾, doch erreichen sie den Gütegrad eines pennsylvanischen Öles dadurch nicht.

Aus diesen Gründen ist es heute noch nicht möglich, die gemessenen Werte der Endschichtdicken unmittelbar als Grundlage für die gesuchten Kennziffern der Öle anzusehen. Erst dann kann mit ihrer Hilfe eine neuartige Bewertung der Öle geschaffen werden, wenn durch geeignete Versuche in der Maschine bestätigt wird, dass z.B. die Öle mit dicken Endschichten auch gute Schmierwerte geben. Wenn dies der Fall ist, kann die Druckbeständigkeit als ein gutes Charakteristikum der Öle gelten. Aus solchen Versuchen würde sich dann ergeben, ob man das hier zwischen zwei ebenen Platten im Zustand der Ruhe untersuchte Druckverhalten der Öle in Beziehung zu dem Schmierfilm zwischen zwei unter Grenzreibung laufenden Flächen der Maschine setzen darf oder nicht. Die Beantwortung dieser Frage und die Möglichkeit der Klassifizierung der Öle für das Gebiet der Grenzschmierung mit Hilfe der angeführten Messmethode muss vorläufig offen gelassen werden.

Ausserhalb dieser Frage stellt die vorliegende Arbeit aber einen Beitrag zu der wissenschaftlichen Erfassung über das Verhalten dünner Ölfilme unter Druck dar und fördert darüber hinaus die Kenntnisse zur genauen interferometrischen Messung dünnster Schichten.

. / .

001297

- 18 -

Es sei noch darauf hingewiesen, dass nach Beendigung der vorliegenden Arbeit im Mai 1940 eine Veröffentlichung von N e e d s ²⁷⁾ erschienen ist, die Versuche behandelt, das Verhalten von Schmierölfilmen zwischen zwei planparallelen Metallplatten (Stahl) unter Druck zu bestimmen. Diese Versuche stellen Ergänzungen der in der vorliegenden Arbeit aufgeführten Ergebnisse dar. Die Genauigkeit der Nullwertbestimmung der Stahlplatten von N e e d s muss allerdings bezweifelt werden. Am Schluss des Textes der Originalarbeit wird die Veröffentlichung eingehender behandelt.

001298

Literatur-Verzeichnis.

- 1.) R.Brill, Über monomolekulare Schichten.
Z.f.Elektrochemie u. angew. physik. Chemie
44, 459 f (1938)
- 2.) G.Briegleb, Zwischenmolekulare Kräfte und Molekülstruktur
(1937)
- 3.) Trillat, Röntgenologische Untersuchungen von orientierten
Filmen. Metallwirtschaft 7 (1928), S. 101
- 4.) G.Schmalz, Technische Oberflächenkunde (1936)
- 5.) Karplus, Der Aufbau der Schmierschicht und die Kolloid-
graphitschmierung, Petrol. 25 (1929), 375
- 6.) Herschel, J.Soc. Automotive Eng. vol. 10 pp 31, 369 (1922).
- 7.) J.E.Southcombe, The Fundamental Principles of Lubrication.
The Gas-World-The Coking Section
April (1938), S. 11 f.
- 8.) Gumbel-Everling, Reibung und Schmierung im Maschinenbau
- 9.) R.Voitländer, Mitt.Hydr.Inst.d.T.H. München, Heft 3, S. 145,
München und Berlin 1929
- 10.) G.Vogelpohl, Öl und Kohle, 12, 943 (1936) Prüfen u. Messen,
S. 177, VDI-Forschungsheft 386, S. 24
- 11.) E. Kadmer, S. 95 (6)
- 12.) W.B. und J.K.Hardy, Philos. Mag. 6 Series B. 38, 1919, S. 32
Note on static friction and on lubricating
properties of certain chemical substances
- 13.) R.E.Wilson u.R.Barnard (S. 95 (7))
- 14.) Doeley, The Engineer Bd. 147 (1929) S. 454
- 15.) Wells, The kinetic boundary friction. The Engineer Bd. 147
(1929) S. 454
- 16.) J.H.Hyde, Engineering Bd. 111 (1921) S. 708
- 17.) Trillat und Vaille, J.chim.physique Rev.gen.kolloids 33
(1936)-S.742
- 18.) Bachmann u.Brieger, S. 95 (8)
- 19.) W. Büche, Diss.T.H. Karlsruhe 1930, Petr.Bd. 27 (1931) S. 587
- 20.) H.Neumann, Diss.T.H.Berlin (1938)
- 21.) H.Pietzsch, Über die Länge eines Parallel-Endmaßes bei
Messung in Lichtwellenlängen (Diss. 1929)
- 22.) Th.Schoon, Erkundung des Feinbaues von Grenzflächen
Z.f.Elektrochemie u. angew. physik. Chem.
44, Nr. 8 Aug. (1938) S. 498
- 23.) E. Kaube, Der Einfluss der Ansprengschicht auf die Länge von
Endmaßen (Diss. 1931)
- 24.) Berndt, Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen
(1929)
- 25.) T.Lonsdale, The Structure of polished Metal
Mech. World Nr. 2686 Juni 24 (1938) S. 603 f.
- 26.) H.Mouquin u.E.Rideal, The Rigidity of Solid Unimolecular Film
Proc. Roy. Soc. of London (A) 114 (1927) S. 690
- 27.) J.S.Needs, Boundary Film Investigations, Trans. Am. Soc. Mech.
Engrs. 62 (1940) S. 331

001298

Literatur-Verzeichnis.

- 1.) R.Brill, Über monomolekulare Schichten.
Z.f.Elektrochemie u. angew. physik. Chemie
44, 459 f (1938)
- 2.) G.Briegleb, Zwischenmolekulare Kräfte und Molekülstruktur
(1937)
- 3.) Trillat, Röntgenologische Untersuchungen von orientierten
Filmen. Metallwirtschaft 7 (1928), S. 101
- 4.) G.Schmalz, Technische Oberflächenkunde (1936)
- 5.) Karplus, Der Aufbau der Schmierschicht und die Kolloid-
graphitschmierung, Petrol. 25 (1929), 375
- 6.) Herschel, J.Soc. Automotive Eng. vol. 10 pp 31, 369 (1922)
- 7.) J.E.Southcombe, The Fundamental Principles of Lubrication.
The Gas-World-The Coking Section
April (1938), S. 11 f.
- 8.) Gumbel-Everling, Reibung und Schmierung im Maschinenbau
- 9.) R.Voitländer, Mitt.Hydr.Inst.d.T.H. München, Heft 3, S. 145,
München und Berlin 1929
- 10.) G.Vogelpohl, Öl und Kohle, 12, 943 (1936) Prüfen u. Messen,
S. 177, VDI-Forschungsheft 386, S. 24
- 11.) E. Kadmer, S. 95 (6)
- 12.) W.B. und J.K.Hardy, Philos. Mag. 6 Series B. 38, 1919, S. 32
Note on static friction and on lubricating
properties of certain chemical substances
- 13.) R.E.Wilson u.R.Barnard (S. 95 (7))
- 14.) Daeley, The Engineer Bd. 147 (1929) S. 454
- 15.) Wells, The kinetic boundary friction. The Engineer Bd. 147
(1929) S. 454
- 16.) J.H.Hyde, Engineering Bd. 111 (1921) S. 708
- 17.) Trillat und Vaille, J.chim.physique Rev.gen.kolloids 33
(1936) S. 742
- 18.) Bachmann u.Brieger, S. 95 (8)
- 19.) W. Büche, Diss.T.H. Karlsruhe 1930, Petr.Bd. 27 (1931) S. 587
- 20.) H.Neumann, Diss.T.H.Berlin (1938)
- 21.) H.Pietzsch, Über die Länge eines Parallel-Endmaßes bei
Messung in Lichtwellenlängen (Diss. 1929)
- 22.) Th.Schoon, Erkundung des Feinbaues von Grenzflächen
Z.f.Elektrochemie u. angew. physik. Chem.
44, Nr. 8 Aug. (1938) S. 498
- 23.) E. Kaube, Der Einfluss der Ansprengschicht auf die Länge von
Endmaßen (Diss. 1931)
- 24.) Berndt, Grundlagen und Geräte technischer Längenmessungen
(1929)
- 25.) T.Lonsdale, The Structure of polished Metal
Mech. World Nr. 2686 Juni 24 (1938) S. 603 f.
- 26.) H.Mouquin u.E.Rideal, The Rigidity of Solid Unimolecular Film
Proc. Roy. Soc. of London (A) 114 (1927) S. 690
- 27.) J.S.Needs, Boundary Film Investigations, Trans. Am. Soc. Mech.
Engrs. 62 (1940) S. 331

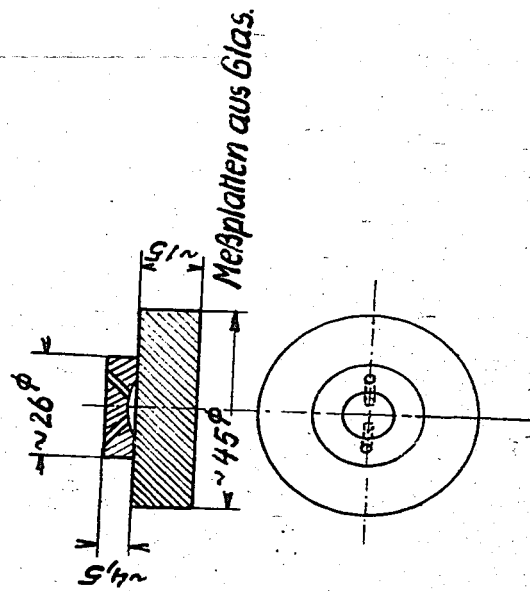


Abb. 1

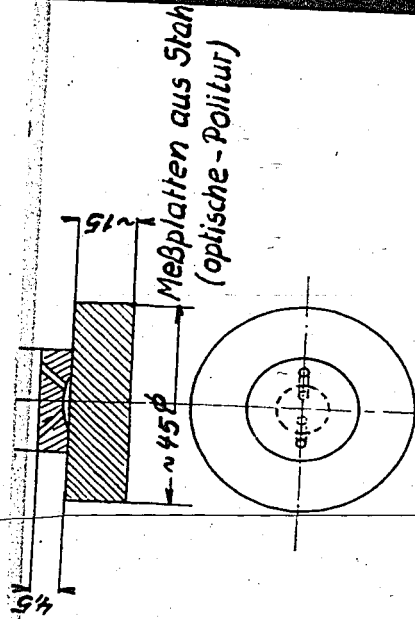
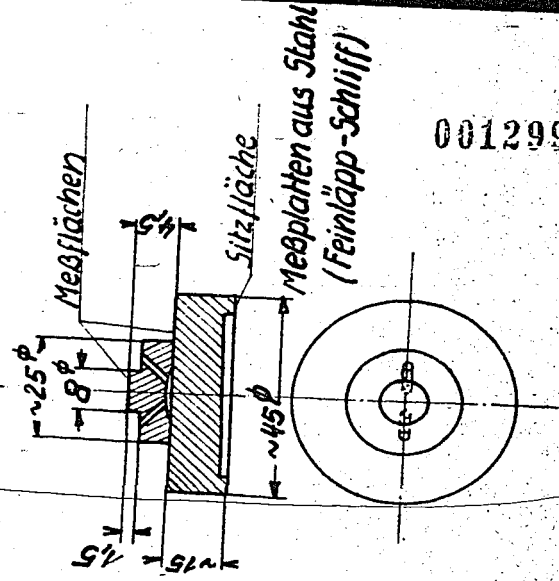


Abb. 2

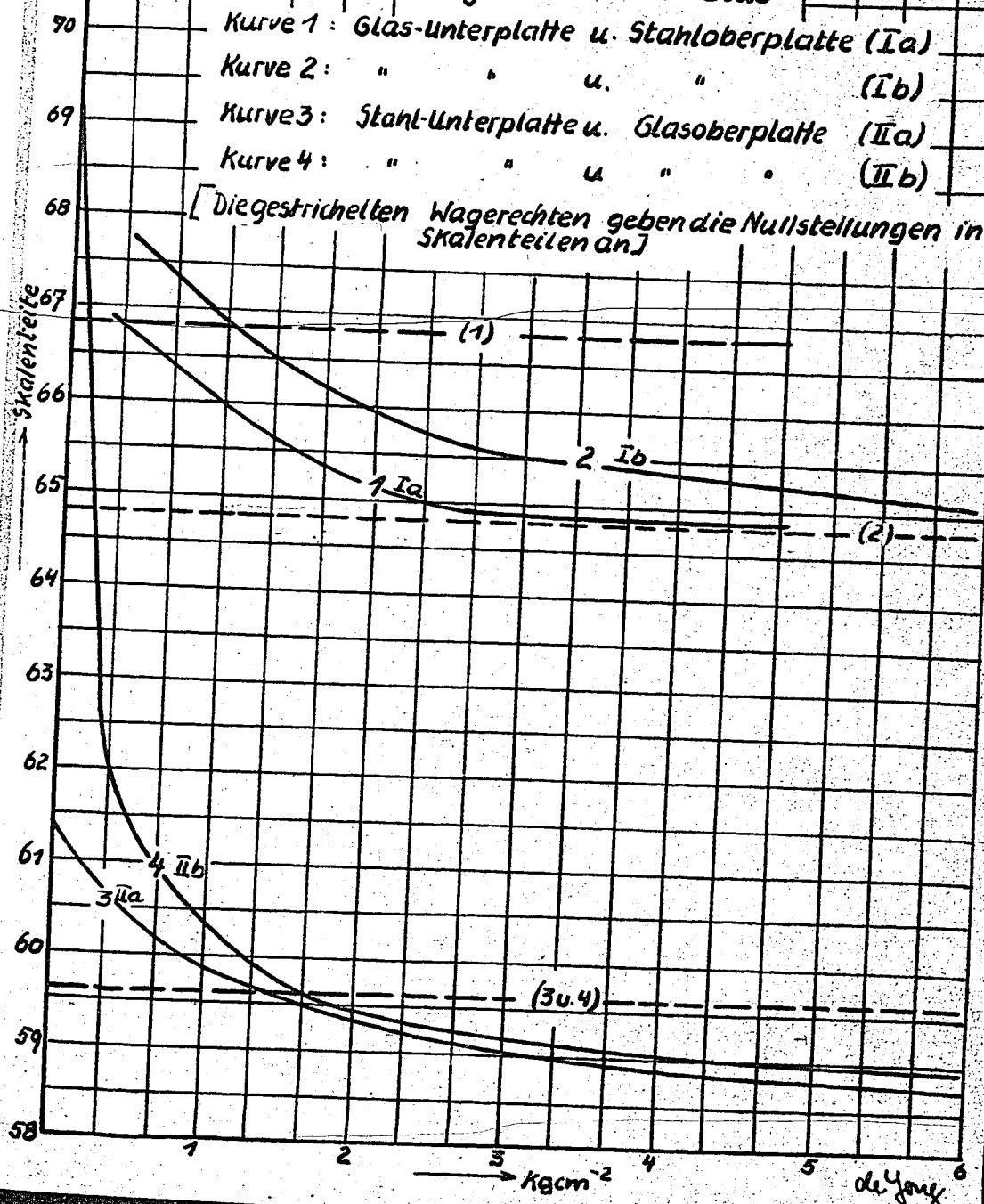


001299

Figur 1

001300

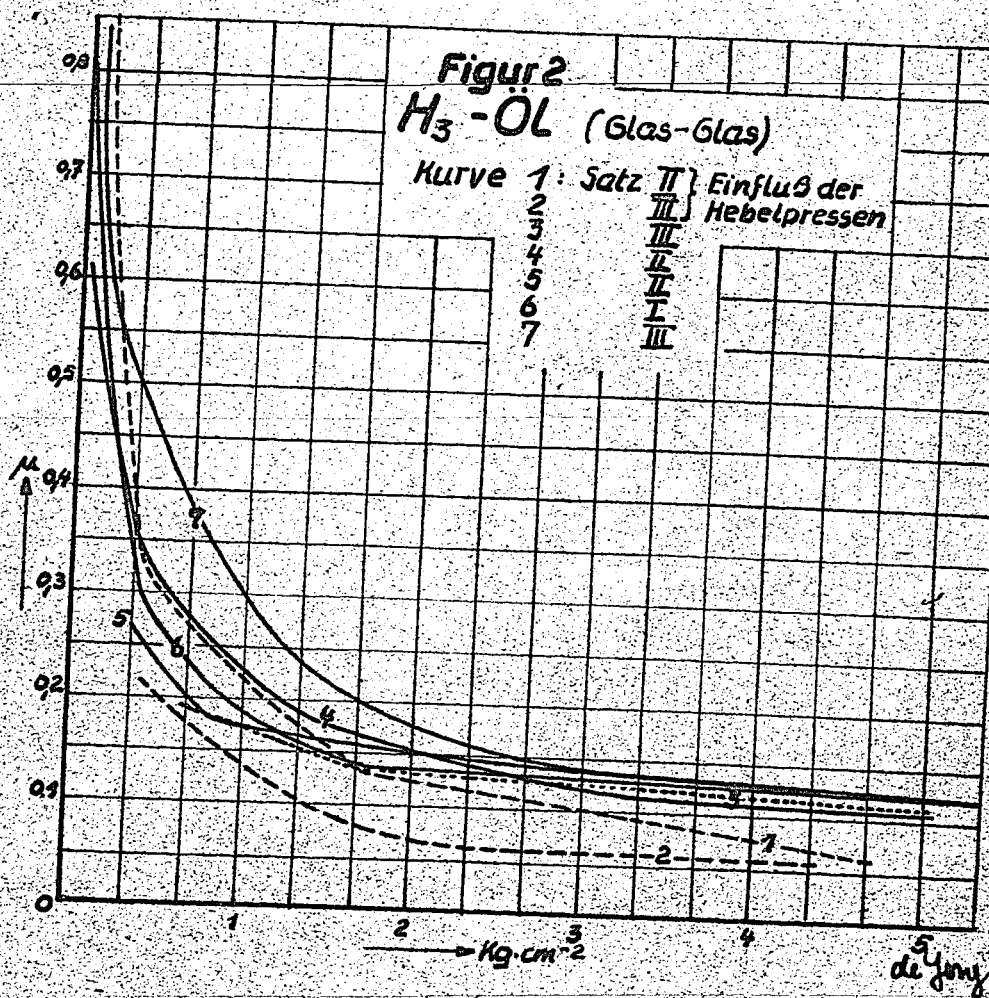
H₃ Öl mit Stahl-Glas



001301

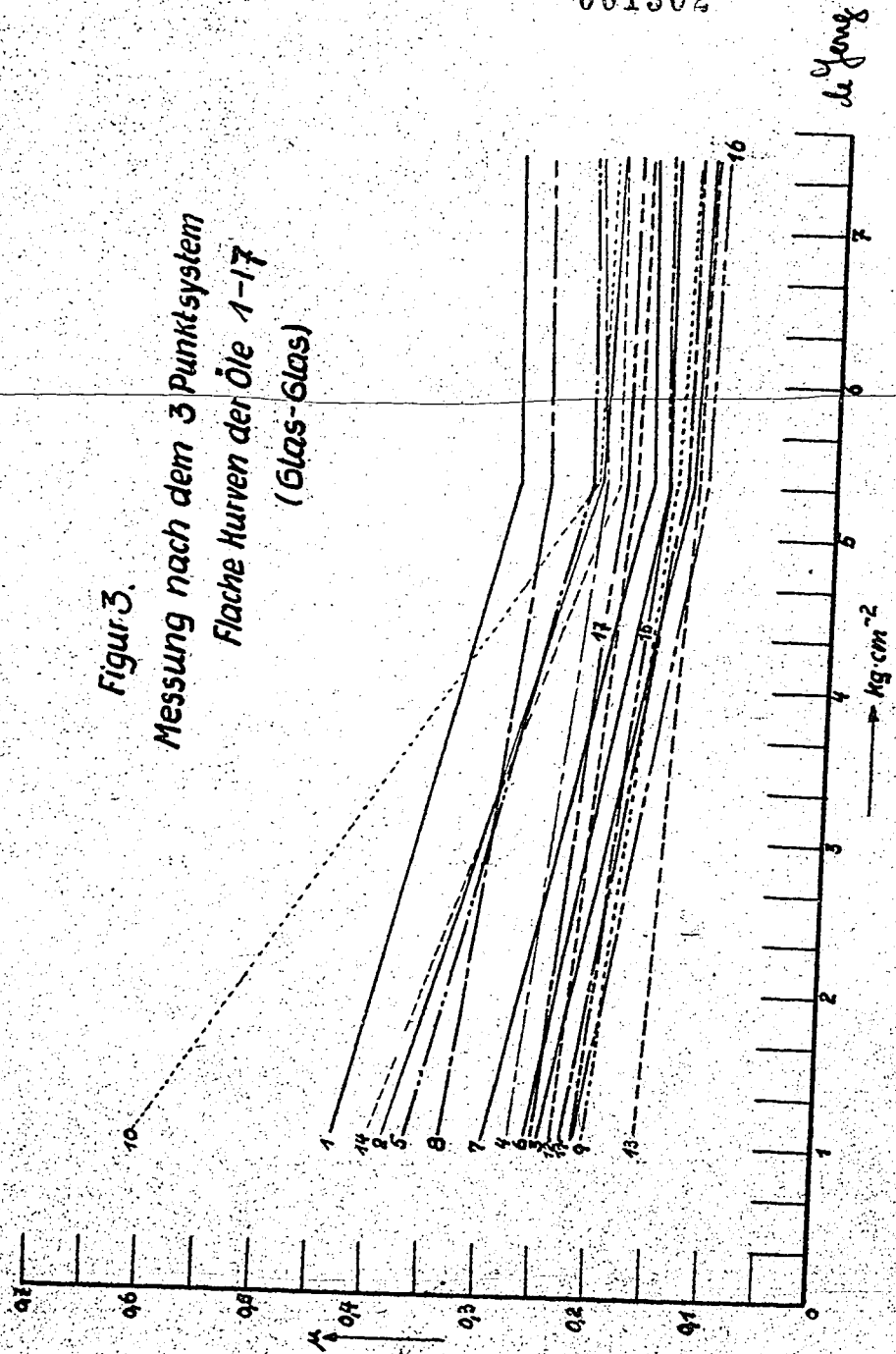
Figur 2
H₃-ÖL (Glas-Glas)

Kurve 1: Satz II } Einfluß der
2 III } Hebelpressen
3 III
4 II
5 II
6 I
7 III



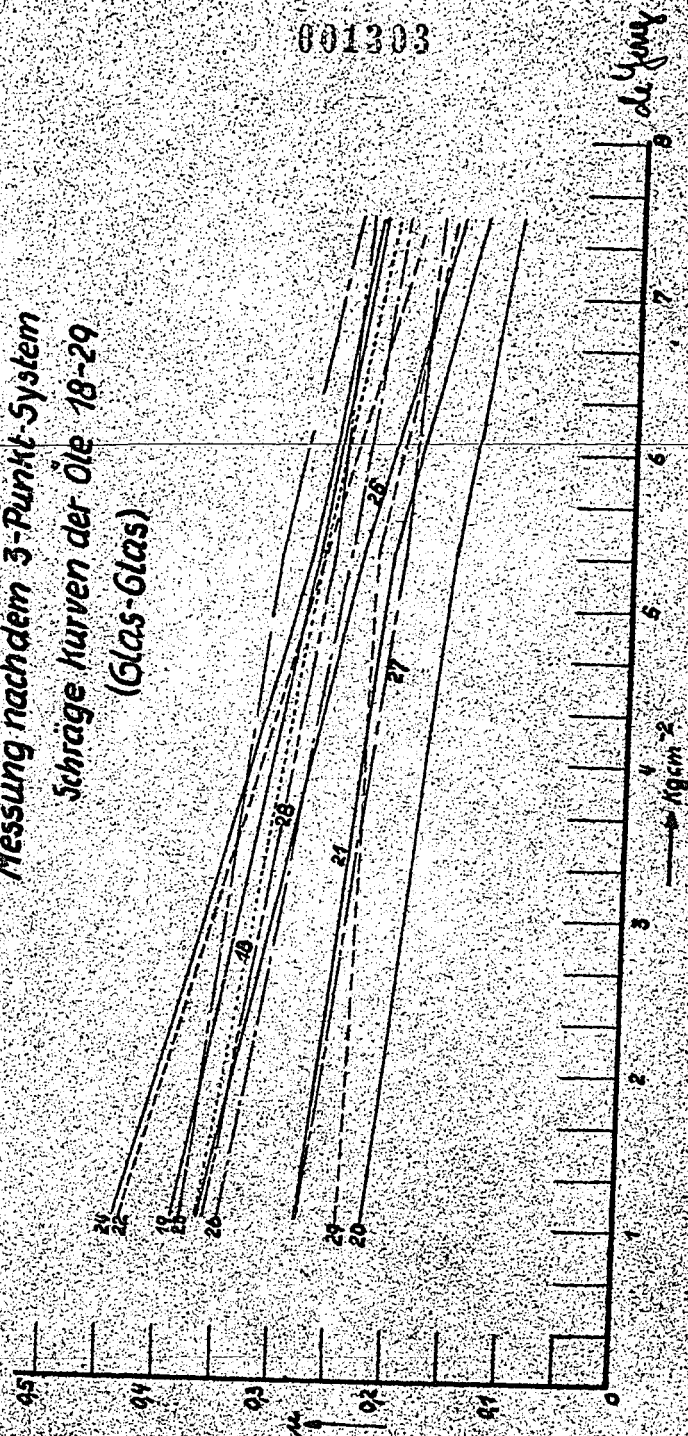
001302

Figur 3.
Messung nach dem 3 Punktssystem
Flache Kurven der Öle 1-17
(Glas-Glas)



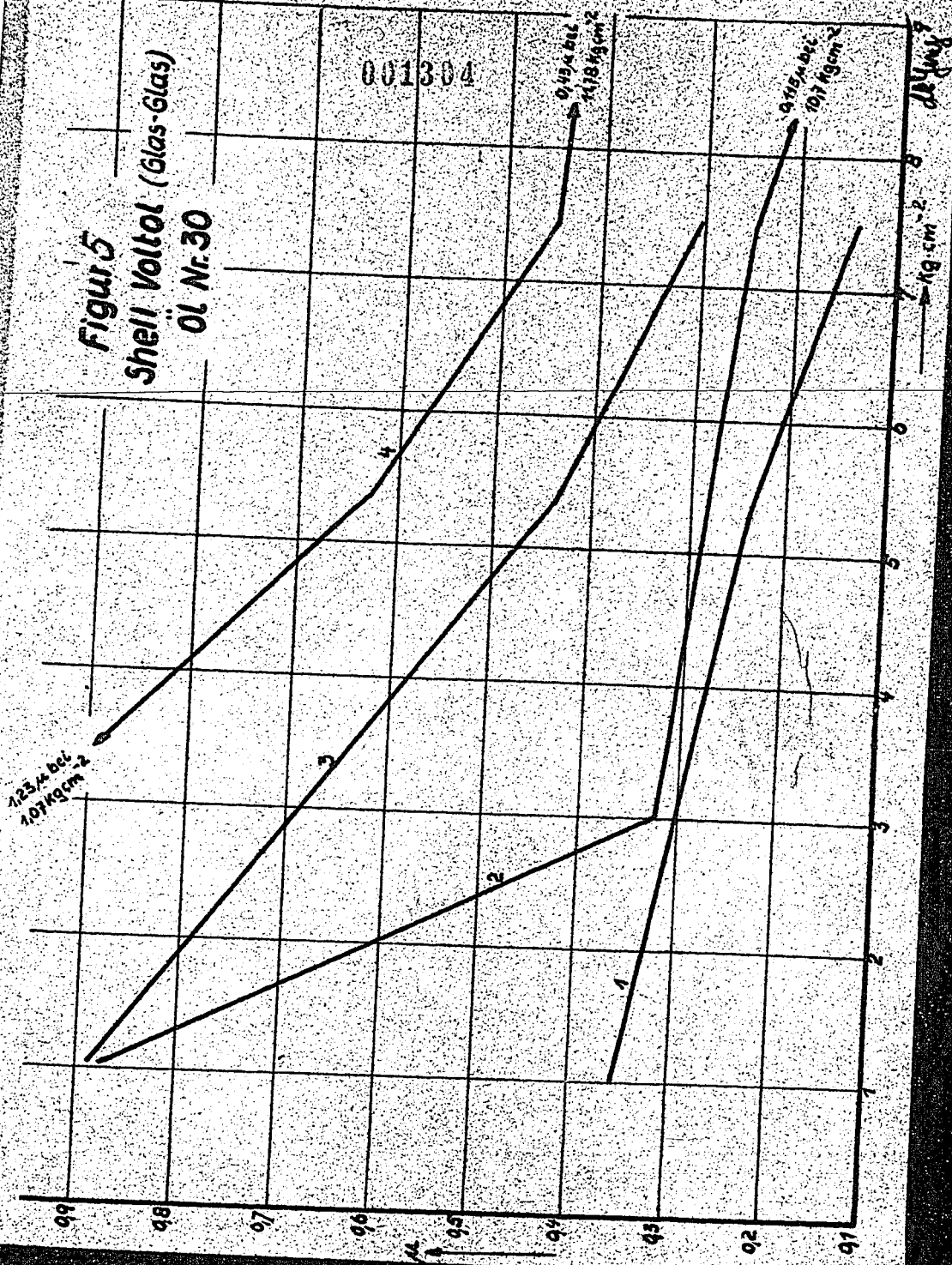
001303

Figur 4.
Messung nach dem 3-Punkt-System
Schräge kurven der Öle 18-29
(Glas-Glas)

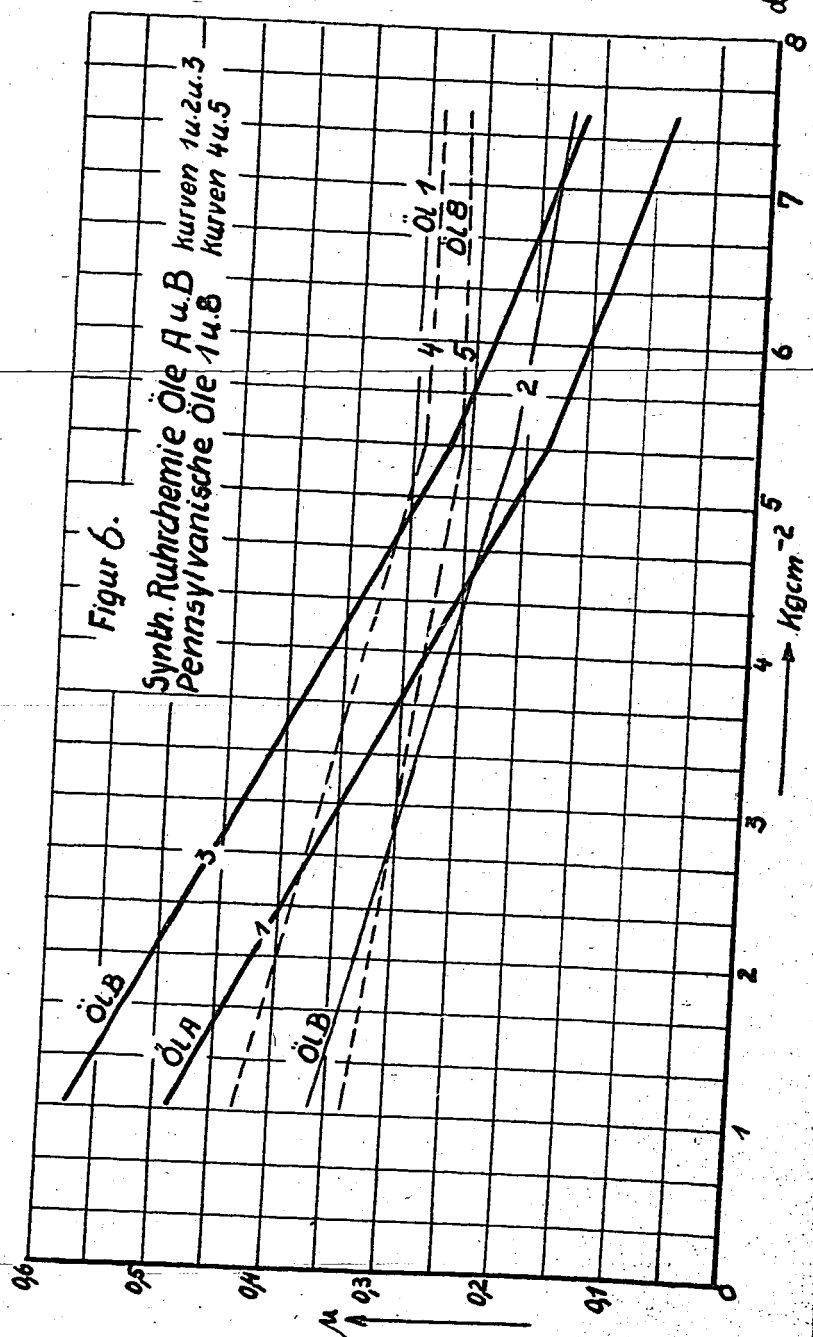


Figur 5
Shell Vitol (Glas-Glas)
ÖL Nr. 30

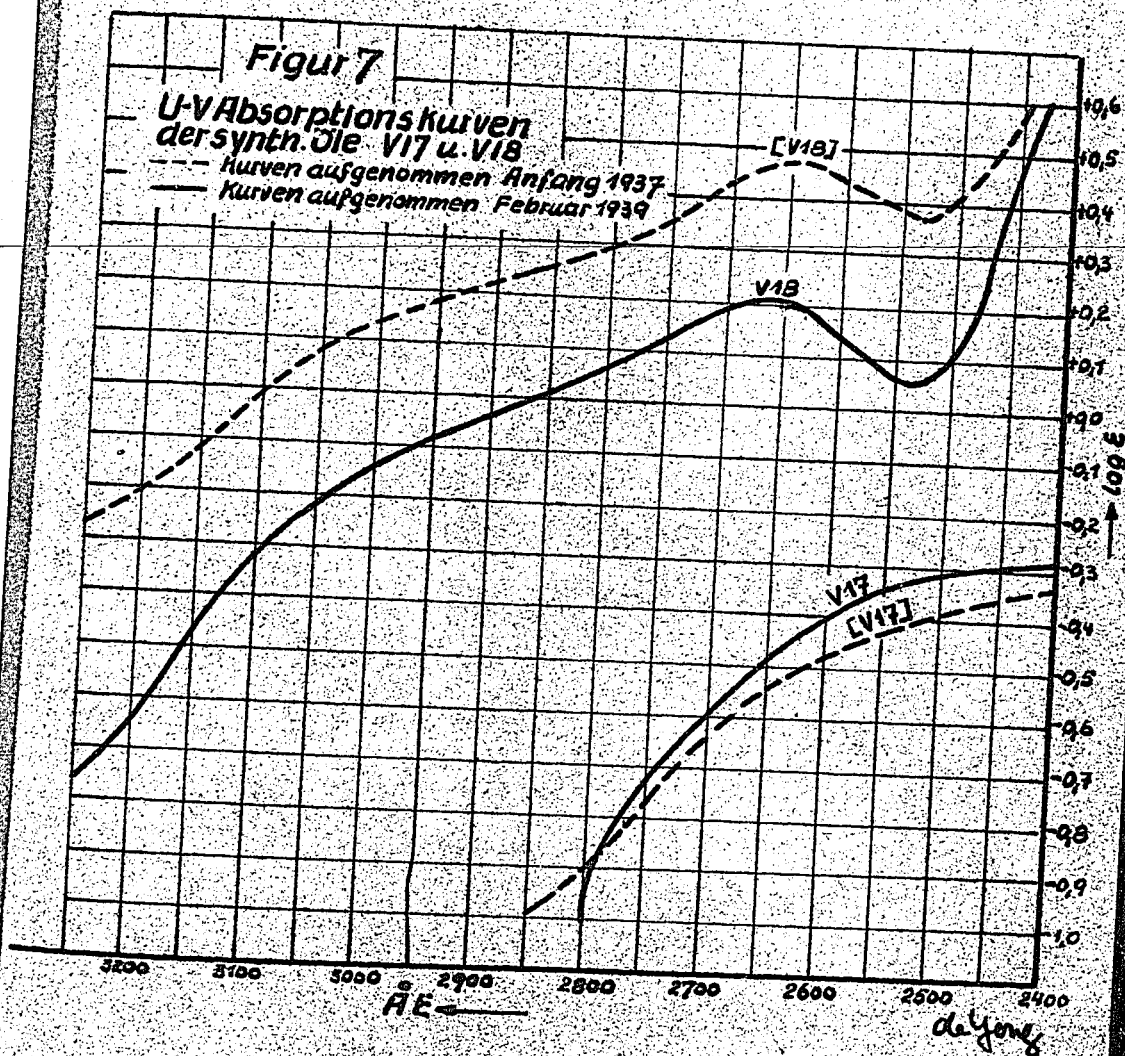
001304



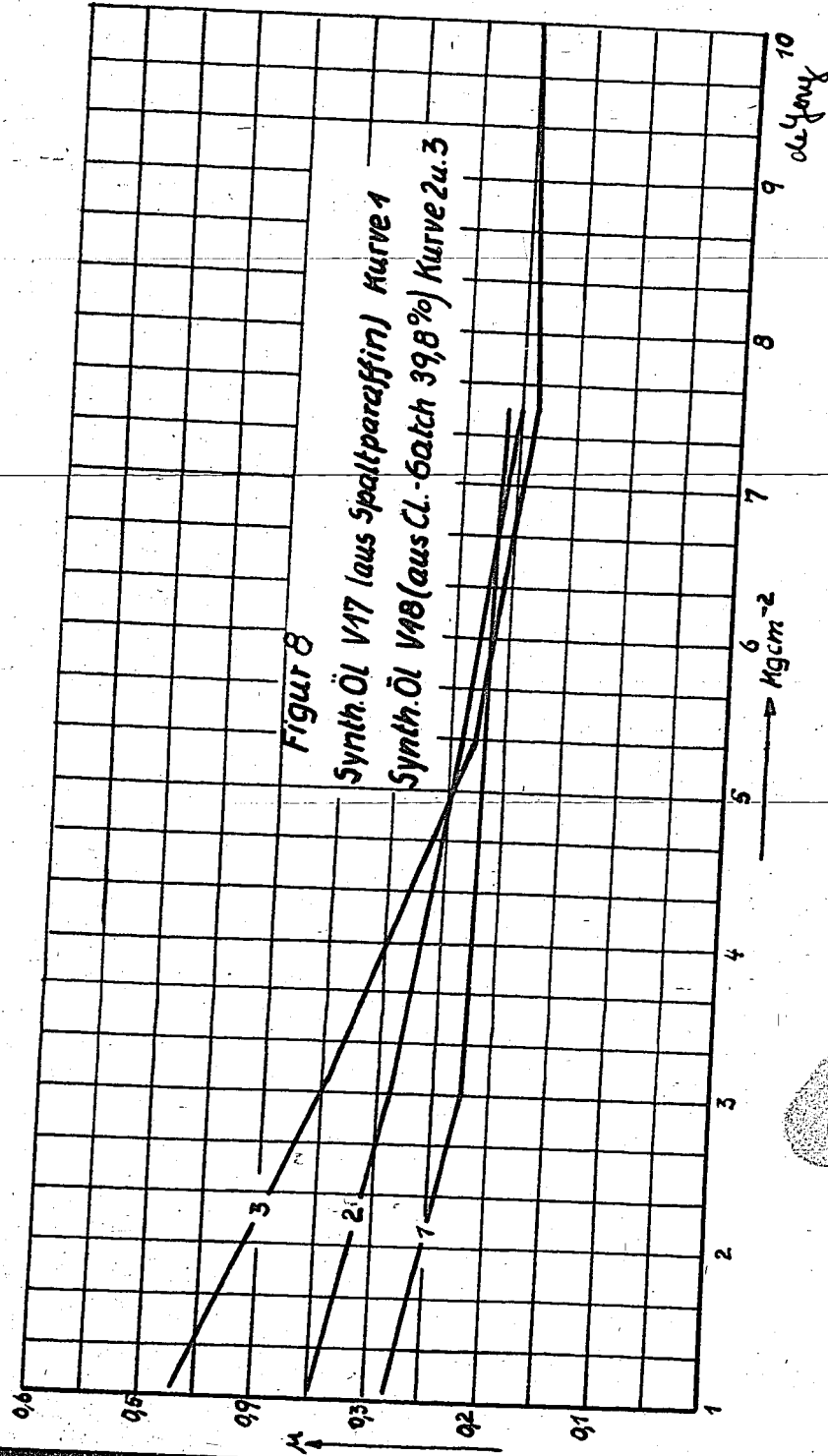
001395



001396



Q01307



T a b e l l e 1

Daten der Öle Nr. 1 - 17. Flache Kurven.

Nr.	Name d. Öles	d ₂₀	n ₂₀	E°/50°C	V.P.	Schichtdicken d. Öle in mm bei den Belastungen		
						107 kg ₂ pro cm ²	5,36 kg pro cm ²	7,49 kg pro cm ²
1.	Penns. Autoöl heavy medium XXXV	0,882	1,4909	10	1,73	0,430	0,287	0,291
2.	Shell Autoöl 2 X	0,904	1,4997	9,9	2,33	0,382	0,206	0,196
3.	Andac Motoren- öl, Schwere Silber	0,916	1,5074	15,0	2,75	0,247	0,128	0,119
4.	Öl " " "	0,917	1,5090	14,8	2,3	0,277	0,209	0,223
5.	Öl PAV sehr dick	0,887	1,4942	20	1,90	0,365	0,216	0,225
6.	Gargoyl Mobilöl Arctic	0,897	1,4978	4,8	2,2	0,259	0,149	0,150
7.	Penns. Auto- öl, light medium XX	0,874	1,4862	5	1,82	0,291	0,161	0,171
8.	Pennöl medium 100 Pennsylv.	0,886	1,4922	12	1,98	0,333	0,254	0,268
9.	Straight-Run H ₅	0,911	1,5051	3,88	2,98	0,205	0,140	0,130
10.	Straight-Run H ₄	0,916	1,5071	6,7	2,8	0,603	0,210	0,200
11.	Bedford Auto- öl medium	0,917	1,5077	12	2,95	0,229	0,135	0,131
12.	Straight-Run H ₂	0,922	1,5092	-	3,75	0,225	0,175	0,170
13.	Viscobil 13	0,917	1,5132	11,5	2,4	0,151	0,129	0,116
14.	Straight-Run H ₅	0,920	1,5047	7,0	3,25	0,395	0,191	0,195
15.	Lubitz-Öl 37/II	0,889	1,4868	14,6	2,01	0,211	0,150	0,153
16.	Straight-Run H ₁	0,894	1,4956	2,31	2,3	0,217	0,120	0,109
17.	SpidoLin B schwerflüssig	0,918	1,5081	13,5	2,65	0,259	0,165	0,163

001308

T a b e l l e 2

Daten der Öle Nr. 18 - 30 . Schräge Kurven

Nr.	Name d. Öles	d_{20}	n_{20}	$E^{\circ}/50^{\circ}C$	V.P.	Schichtdicken der Öle in μ bei d. Belastungen 1,07 kg 5,36 kg 7,49 kg pro cm^2 pro cm^2 cm^2		
18.	Uspeco, Auto-medium	0,920	1,5081	12	3,7	0,364	0,271	0,216
19.	Penns. Auto-öl, heavy	0,887	1,4923	15	1,98	0,383	0,273	0,223
20.	Öl "3"	0,891	1,4944	15,5	1,78	0,218	0,151	0,109
21.	Öl "2"	0,917	1,5077	15,7	2,27	0,278	0,206	0,135
22.	Esso lub Standard Vollschutz Motorenöl SAE 40M	0,885	1,48,75	10,5	2,2	0,433	0,277	0,189
23.	Audac Motorenöl, schwerköl	0,883	1,4896	15,5	1,9	0,387	0,305	0,249
24.	Auto-Parabol extra heavy	0,899	1,4995	15	2,09	0,434	0,278	0,227
25.	Öl "4"	0,901	1,4997	14,8	2,23	0,361	0,231	0,154
26.	Bayonne Auto medium	0,903	1,5021	12	2,38	0,346	0,244	0,202
27.	Spezialdieselmotorenöl P.R.Q. sehr dünn	0,897	1,4933	8,5	2,4	0,277	0,198	0,172
28.	Shell Auto-öl 3 X	0,906	1,5009	12,5	2,36	0,364	0,257	0,234
29.	Öl "5"	0,908	1,5018	15,0	1,8	0,238	0,220	0,170
30.	Shell Vollöl	0,927	1,5130	12,5	2,5	0,352 0,879 0,890 1,230	0,233 0,281 0,449 0,623	0,138 0,244 0,305 0,453

001309

Bezug: Kriegsauftrag Nr. 4010-0015-9501/43, Sonderstufe 4010/44 des
OKH, Wa Prüf. 6 (IV) v. 10.2.1944
Betrifft: Untersuchung der Schmierfähigkeit von Ölen
Teilbericht

113 Neue Beobachtungen über Reibung, Verschleiß und Schmierfähigkeit
mit der Almen-Wieland Ölprüfmaschine.

Bau, Einrichtung und Wirkungsweise der SAK-Ölprüfmaschine
nach Almen, Bauert Wieland, werden als bekannt vorausgesetzt.
Schrifttum: Kadner, Schmierstoffe u. Maschinenschmierung, 2. Aufl. (1941)
S. 517-520 - Paul, Öl u. Kohle 1940, 475-477.

In den folgenden Tabellen bedeutet P die Belastung in An-
zahl Platten je 1 kg. Die Belastung wird auf hydraulischem Wege auf
das auswechselbare Prüflager übertragen. Beim Modell 1936 beträgt
die Übersetzung 1:02,5, d.h. 1 kg der aufgelegten Platte wirkt
sich mit einem Druck von 02,5 kg auf das Prüflager aus. Beim Modell
1941 beträgt die Übersetzung 1:00. In beiden Fällen zeigen die
Prüflager Zapfendurchmesser 0,3 mm, tragende Zapfenlänge 12,8 mm
und Lagerschalenbohrung 0,5 mm, also Lagerspiel 0,2 mm.

Die eigenen Versuche wurden mit Modell 1936 durchgeführt;
Ergebnisse mit Modell 1941 hat Herr Luers, Bremen, in dankenswerter
Weise zur Verfügung gestellt.

1. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe kamen verschiedene Mineralölräf-
finate der Erdölverarbeitung zu Vergleich, und zwar:

Öl Nr.	Bezeichnung	Farbe	d/20	mL/20	E/20	E/50	Wp	m
1	Nitrobenzol-Raff.	3,5	.862	1.477	13	3,5	1.85	3.75
2	"	5,5	.836	-	60	3,0	2.38	3.78
3	"	5,0	.879	1.483	45	8,1	1.97	3.56
4	Schwefels.-Raff.	7,5	.904	1.501	57	8,6	2.50	3.83
5	Nitrobenzol-Raff. (AP 99)	-	.867	1.431	10,5	3,0	1.61	3.61
6	Duo-Sol-Raff. (AP 117°C)	-	.875	1.485	49	9,0	1.83	3.44
7	" " " (AP 109°C)	-	.830	1.484	118	16,4	2.07	3.50
8	" " "	6,0	.870	1.480	49	9,2	1.85	3.42
9	" " "	6,0	.870	1.480	49	9,2	1.85	3.42
10	Schwefels.-Raff. (Regenerat)	-	.903	-	84	12,8	2.05	3.52
11	Flugmot. 61 (Grünring)	-	.878	1.487	178	20,4	2.04	3.41
12	" " (Rotring)	-	.878	1.483	124	17,6	2.04	3.45
13	Brightstock (VZ 0,5)	8,0	.908	1.507	425	42,4	2.25	3.45
14	Flugmot. 61 (St. 100)	-	.885	1.488	-	17,2	1.86	3.35
15	" " (St. 120) AP 120°C	-	.880	-	180	20,0	1.85	3.25
16	" " (St. 140)	-	.888	-	220	30,0	1.88	3.24
Modell 1941								
17	Schwefels.-Raff. (d)	-	.910	-	15	3,5	2.30	3.89
18	" " (a)	-	.895	-	13	3,6	1.44	3.40
19	" " (p)	-	.920	-	20	4,5	2.89	4.10

001310

1. Versuchsgruppe: Tabelle, Werte der Reibungskraft R (kg)

Oel Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Belastung, Anzahl der Plattengewichte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Modell 1936	6	10	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	6	18	36	55	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	6	16	31	44	57	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5	16	31	44	57	74	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	8	12	26	37	45	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	7	13	20	30	42	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	5	19	28	41	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	10	21	36	54	73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	5	12	20	28	38	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	8	11	15	26	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6	12	18	26	35	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	5	12	22	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	6	23	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	4	13	28	48	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	2	9	16	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	4	11	19	27	32	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	2	18	29	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Modell 1941	9	20	35	48	60	72	82	100	-	-	-	-	-	-	-
17	9	20	35	48	60	72	82	100	-	-	-	-	-	-	-
18	9	19	32	43	53	64	75	107	-	-	-	-	-	-	-
19	9	25	40	56	87	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anm. Die Steigerung der Belastung erfolgte stufenweise nach je 30 Sekunden.

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 1: Die Filmfestigkeit (Haftfestigkeit) der Mineralöl-Raffinate ist eine beschränkte. - Unterschiede im Raffinationsverfahren (Schwefelsäurebehandlung, Lösemittelverfahren) sind mit Bezug auf die Höhe der R-Werte oder den tg des Steigungswinkels oder $\mu = R/P$ nicht zu erkennen. - Es scheint, dass die Streuung der R-Werte unabhängig von den Mineralschmierölen erheblich ist. - Zwischen den R-Werten bei Modell 1936 und 1941 und der Schmierung mit Mineralöl-Raffinaten besteht keine wünschenswerte Übereinstimmung. - Der Streubereich der erhaltenen Resultate ist, wie folgt, anzugeben:

	1	2	3	4	5	6	7	8
..... Belastung P, Anzahl der Plattengewichte	1	2	3	4	5	6	7	8
Modell 1936								
R, Mittelwert	5,56	14,75	25,3	36,0	51,8	56,0	-	-
R-Minimum	2	9	15	20	32	41	-	-
R-Maximum	10	21	36	55	80	74	-	-
% Streuung	144%	81%	83%	80%	93%	59%	-	-
Modell 1941								
R, Mittelwert	9,00	20,70	35,6	49,0	66,6	67,9	77,5	103
R-Minimum	9	19	32	53	64	64	73	100
R-Maximum	9	23	40	56	87	72	82	107
% Streuung	0%	19%	22%	26%	50%	12%	12%	7%

- Zur Wertbestimmung von Mineralöl-Raffinaten genügt der gegenwärtige Feinbearbeitungszustand der Zwerglager durch Feindreihen und Schleifen noch nicht.

2. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe werden Fettöle und gefettete Mineralöle betrachtet, die sonst keine weiteren Zusätze erhalten haben.

001311

Oel Nr. 20 ist Klauenöl, Oel Nr. 21 ist Sperml und die Oele Nr. 22 u. 23 sind rohe Rüböle. - Oel Nr. 18a ist ein Verschnitt von 97% Oel Nr. 18 mit 3% Rüböl, Oel Nr. 18b ein solcher mit 3% Rübölfettsäure. Die Oele 20-23 u. 18a, b wurden in der Almen-Wieland Maschine, Modell 1941 untersucht.

Die Oele Nr. 24-27 und 13a kamen im Modell 1936 in Erprobung; die Kennzahlen dieser Oele sind:

Oel Bezeichnung	Farbe	d/20	nd/20	E/20	E/50	Wp	m
Nr.							
24 Getriebeöl m. 3% Sperml		10	.925	1.517	200	20,8	2.69 3.78
25 " m. 3% Sperml		10	.930	1.519	510	42,5	2.70 3.69
26 " m. 4% Sperml		10	.927	1.518	445	40,0	2.49 3.59
27 Aero-Shell S(1936)			.914	-	148	17,5	2.50 3.72
13a Brightst. Nr. 13+15% Sperml		8	.904	1.500	124	19,2	1.76 3.23

2. Versuchsgruppe: Tabelle, Werte der Reibungskraft R (kg)

Oel	Belastung, Anzahl der Plattengewichte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Nr.																
Modell 1941																
20	6	14	23	33	41	59	57	65	73	81	95	109	122	135	142	...
21	5	15	24	33	42	50	57	66	75	83	99	114	128	145	155	...
22	10	17	25	34	42	50	57	64	72	78	92	102	112	122	135	...
23	8	15	21	28	33	38	43	47	51	56	66	75	84	93	101	...
18a	6	16	25	34	43	52	61	71	81	93	125	165	-	-	-	-
18b	6	14	24	33	40	47	55	65	74	83	99	-	-	-	-	-
Modell 1936																
24	2	10	28	45	59	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	2	9	20	37	50	66	69	76	82	92	-	-	-	-	-	-
26	3	8	27	53	78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	7	15	24	32	42	48	58	66	74	83	117	-	-	-	-	-
13a	3	12	22	32	42	50	59	65	75	-	-	-	-	-	-	-

Ann. Belastungsteigerung nach je 30 Sekunden.
Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 2: Die Filmfestigkeit der Fettöle ist eine hohe, auch steigen die R-Werte mit zunehmender Belastung viel weniger an, als bei den Mineralölen. - Bei den mit 3-4% gefetteten Mineralölen besteht in der Reibungsanzeige zwischen Modell 1936 und 1941 eine gewisse Übereinstimmung, nicht aber im Grade der Belastbarkeit. - Während von den Fettölen 20-22 sich durch grosse Gleichartigkeit auszeichnen, liefert Oel Nr. 23 (rohes Rüböl) eine aussergewöhnlich niedrige Reibungsanzeige.

3. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe stehen die geschwefelten Mineralöle zur Betrachtung, und zwar a) Mineralöle mit natürlichem Schwefelgehalt, der meist wenig grenzflächenwirksam ist, b) mit künstlichem Schwefelzusatz ohne Fettölverschnitt und c) mit künstlichem Schwefelzusatz bei gleichzeitiger Fettölzugabe durch sog. "Faktis". - In dieser Versuchsgruppe stehen nur Ergebnisse mit Modell 1936 zur Verfügung. - Die Kennzahlen der untersuchten Oele sind:

Oel Bezeichnung	Farbe	d/20	nd/20	E/20	E/50	Wp	m
Nr.							
28 1,9% S natürl., (An.P.80)	4	.928	1.519	56	8,5	2.40	3.78
29 2,1% S natürl., (An.P.68)	5,5	.932	1.521	24	4,4	2.90	4.12
30 2,5% S natürl., (VZ o.35)	8	.904	1.503	70	10,8	2.11	3.59
31 3,7% S natürl., (An.P.57)	7,5	.950	1.516	11,5	2,8	2.75	4.10
13b 0,5% lac sulf. in Oel Nr. 13	8,5	.911	1.507	440	42,4	2.28	3.47

Oel Bezeichnung Nr.	Farbe	d/20	nD/20	E/20	E/50	Wp	m
30a Oel Nr. 30 m. 5% Rüböl	7	.897	1.497	58	10,1	1.87	3.45
30b Oel Nr. 30 m. 5% Rübölfaktis		.901	1.499	77	12,1	2.06	3.54
32 Zyl.öl m. 5% Rübölfaktis	10	.952	1.520	650	55,0	2.42	3.52
33a 1,5% S nat. + 3% Rizinusöl		.900	-		9,2	2,6	1.95
33b 1,5% S nat. + 5% Tran		.894	-		9,5	2,7	1.98
33c 1,5% S nat. + 1% Olein + 5% Tran		.895	-		9,5	2,7	1.98
33d 1,5% S nat. + 10% Tran		.896	-		9,5	2,7	1.98
34 2,1% S und 12% Rüböl (Hamig)		.892	-		11,3	3,1	1.76
35 Zylöl + 16% Rübölfaktis	10	.931	1.513	270	33,2	1.95	3.28
13c Oel Nr. 13 m. 15% S-Spermöl		.918	1.505	351	42,8	1.88	3.19

3. Versuchsgruppe: Tabelle, Werte der Reibungskraft R (kg)

Oel Belastung, Anzahl der Plattengewichte
Nr. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 12. 14. 16. 18. 20

28	8	16	30	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	8	15	32	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	4	14	34	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	6	17	34	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13b	2	9	20	38	50	68	91	121	170	-	-	-	-	-	-
30a	5	11	21	33	42	52	61	-	-	-	-	-	-	-	-
30b	3	10	32	46	52	66	76	-	-	-	-	-	-	-	-
32	2	18	31	45	58	69	82	99	115	132	-	-	-	-	-
33a	4	10	19	29	36	46	65	78	91	100	-	-	-	-	-
33b	5	12	21	30	38	45	60	79	99	130	-	-	-	-	-
33c	5	19	33	53	74	95	108	119	135	157	-	-	-	-	-
33d	5	19	31	45	58	69	83	97	112	132	-	-	-	-	-
34	4	18	28	40	48	59	69	80	89	96	113	172	-	-	-
35	5	12	29	42	68	73	88	99	109	117	132	147	167	190	-
13c	2	8	14	32	32	48	57	69	80	93	126	150	160	-	-

Anm. Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden.
Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 3: Von den von Natur auf schwefelreichen Mineralölen hat man sich lange Zeit besondere Grenzflächenwirksamkeit und damit Schmierfähigkeit erwartet. Mittelt man die Ergebnisse der Oele Nr. 28-31 und vergleicht sie mit den Querschnittswerten der Kohlenwasserstofföle von Versuchsgruppe 1 so ergibt sich folgendes Bild:

Belastung P, Zahl der Plattengewichte
1. 2. 3. 4. 5. 6

Mineralöle d. Versuchsgruppe 1	5,56	14,75	25,30	30,00	51,80	56,00
Mineralöle, mit natürlichem S-Gehalt	6,50	15,50	32,50	51,00	-	-

Die Filmfestigkeit der Mineralöle mit natürlichem Schwefelgehalt ist offensichtlich mit 4 Plattengewichten Belastbarkeit geringer als die der Mineralöle von Versuchsgruppe 1; umgekehrt steigt bei den schwefelreichen Mineralölen die Reibungsanzeige wesentlich stärker, und dies könnte seinen Grund in der Natur dieser Oele haben, andererseits aber auch damit erklärt werden können, dass die S-reichen Oele einerseits durch hohe Werte für d und nD, andererseits durch ungünstige Werte für m (Visk. steilheit) charakterisiert sind. Sicher ist, dass in diesen Oelen der Schwefel nicht in der grenzflächenwirksamen Form vorliegt.

001313

Die geringe Fettung Naturschwefel-hältiger Mineralöle, wie sie in Nr. 30a, b und 33a-c dargestellt ist, wirkt sich nicht nur in der Schmierfilm-Belastbarkeit, sondern auch in einer Verminderung der Reibungswerte sehr günstig aus, so zwar, dass die Ergebnisse hierbei nicht hinter denen zurückbleiben, wo Mineralöl mit aktivem Rübölfaktis verschnitten ist. - Ein beachtliches Ergebnis zeigt auch Versuch Nr. 10b, wobei Mineralöl Nr. 13 mit 0,5% Schwefelmilch (léc sulfuris) kombiniert ist.

4. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe ist die Wirkung geringer Mengen organischer Phosphor-Verbindungen auf Mineralöle dargestellt. Die Kennzahlen der untersuchten Öle sind:

Öl Bezeichnung	Farbe d/20	n _D /20	E/20	E/50	Wp	m
36 Nitrobenzol-Raff. mit 1% Trikresylphosphat	.887	1.491	105	15,2	2.07	3.51
37 " " "	.881	1.428	60	10,4	1.93	3.48
38o Kogasöl ohne -	.855	-	65	10,7	1.95	3.48
38p " m. 1% Trikresylphosphat	.855	-	65	10,7	1.95	3.48
39 Schwefelsäure-Raff. mit 1% Trikresylphosphat	.877	1.487	29	9,9	1.94	3.62
40 Nitrobenzol-Raff. mit 1% Trikresylphosphat	.886	1.492	65	11,0	1.79	3.36
1a Öl Nr. 1 m. 12% Lecithin	-	-	-	-	-	-
4a Öl Nr. 3 m. 3% Trikresylph.	.904	1.501	57	8,6	2.50	3.83
4b " mit 3% Triphenylph.	.904	1.501	57	8,6	2.50	3.83
18c Öl Nr. 18 m. 3% Trikresylph.	-	-	-	-	-	-
18d Öl Nr. 18 m. 5% Paraffin und 1% Trikresylphosphat.	-	-	-	-	-	-

4. Versuchsgruppe: Tabelle, Werte der Reibungskraft R (kg)

Öl	Belastung	Anzahl der Plattengewichte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Nr. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20			
Modell 1936																	
36	2	8	16	26	34	43	53	61	73	84	122	144	162	182	220		
37	6	15	25	35	42	48	57	69	74	82	94	112	140	172	218		
38o	3	12	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38p	2	12	27	41	58	72	85	95	105	115	137	158	-	-	-	-	-
39	3	8	17	29	39	49	59	67	74	80	97	120	155	150	178		
40	3	11	23	34	43	53	65	77	88	100	119	148	-	-	-	-	-
40	3	10	22	36	45	54	65	75	84	95	115	126	140	-	-	-	-
1a	6	10	17	25	33	40	45	55	59	72	82	88	106	103	114		
4a	6	17	28	38	48	56	60	74	97	126	154	-	-	-	-	-	-
4b	6	8	16	28	48	60	72	88	105	124	156	190	-	-	-	-	-
Modell 1941																	
18c	8	19	29	39	46	55	64	72	81	89	104	120	135	151	175		
18d	10	19	26	35	46	57	71	84	97	110	134	165	200	-	-	-	-

Anm. Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden.

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 4. Der Zusatz geringer Mengen Trikresylphosphat zu Mineralölen erhöht deren Filmbelastbarkeit in der Almen-Wieland-Oelprüfmaschine ausserordentlich. Die Reibungsanzeige bleibt deutlich unter derjenigen gefetteter, schwefelhaltiger Öle und hält sich auf der Höhe leichtgefetteter Mineralöle der Versuchsgruppe 2. Auffallend sind die niederen R-Werte bei Versuch Nr. 1a mit 12% Sojalecithin technisch, welches erfahrungsgemäss neben 20-30% Lecithin 80-70% Sojaöl enthält. - Es scheint nützlich zu sein, Aktivzusätze wie S und P mit geringen Fettzusätzen zu Mineralöl zu kombinieren.

Fettölmengen zu verschneiden.

001315

5. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe wird die Wirkung chlorierter Produkte auf Mineralöle beobachtet.

Die Kennzahlen der untersuchten Öle sind:

Nr.	Oel Bezeichnung	Farbe d/20	MD/20	E/20	E/50	Wp	m
4c	Oel Nr. 4 + 3% Dichlor- ölsäureäthylester	.904	1.501	57	8,6	2.50	3.23
41	Chlor.Spindelöl BG/H 10 10	-	1.509	18,9	3,7	2.93	4.15
41a	- Aceton-Raff.v.Oel Nr. 41 10	-	1.502	13,8	3,2	2.29	3.96
41b	- Aceton-Extr.v.Oel Nr. 41 10	-	1.524	29,2	4,6	3.71	4.30
17a	Oel Nr. 17 + 10% a-Chlornaphtalin	-	-	-	-	-	-
17b	" + 10% Chlorthymol	-	-	-	-	-	-
17c	" + 10% Trichlorphenol	-	-	-	-	-	-
18e	Oel Nr. 18 + 3% C ₄ Cl ₆	-	-	-	-	-	-
18f	" + 3% chlor.Diphenyl	-	-	-	-	-	-
18g	" + 3% C ₄ Cl ₆	-	-	-	-	-	-
18h	" + 6% C ₄ Cl ₆	-	-	-	-	-	-
18i	" + 12% C ₄ Cl ₆	-	-	-	-	-	-
42	4,5E/50 + 2,5% Ceresin + 2,5% Chlornaphtalin	.904	-	20,0	4,5	2.25	3.80
43	Synth.öl m. 2% Dichloräthy- len + 3% C ₄ Cl ₆	1 .885	-	5,5	2,1	1.70	3.70

5. Versuchsgruppe: Tabelle, Werte d. Reibungskraft R (kg)

Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Modell 1936															
4c	5	8	14	26	38	52	64	75	85	100	118	147	168	-	-
41	0	4	16	19	27	39	40	50	63	55	66	85	92	+	+
41a	0	2	5	8	20	23	38	50	57	65	92	108	121	149	160
41b	0	1	5	9	22	28	36	50	53	67	84	105	122	165	182
Modell 1937															
41	11	22	32	44	60	67	85	82	102	128	128	147	170	170	172
Modell 1941															
17a	10	18	29	40	50	61	72	83	92	103	130	180	-	-	-
17b	11	21	32	43	53	63	74	85	96	109	147	195	220	+	+
17c	7	12	19	36	40	50	61	72	85	96	117	138	161	183	206
18e	9	20	30	40	50	59	68	76	83	90	108	130	156	195	250
18f	6	16	26	35	44	53	63	72	81	90	115	149	220	250	+
18g	5	18	35	49	65	76	88	99	110	122	153	200	-	-	-
18h	7	20	36	52	69	82	94	105	117	129	157	210	250	-	-
18i	7	20	35	52	68	81	92	103	115	126	147	170	196	219	250
42	13	29	45	59	70	73	83	93	103	116	152	-	-	-	-
43	3	16	31	45	58	71	83	94	104	115	137	163	205	-	-

Anm. Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 5. Organische Chlorverbindungen der mannigfaltigsten Art haben ihre unverkennbare Grenzflächenwirkung, was die Erhöhung der Filmfestigkeit von Mineralölen betrifft. - Die Reibungsanzeigen der einzelnen Modelle der Almend-Wieland-Oelprüfmaschine zeigen erhebliche Abweichungen; allerdings scheint bei den Modellen 1937 und 1941 unterlassen werden zu sein, die Reibungsanzeige im Leerlauf der Prüfmaschine auf den Nullpunkt einzustellen. - Nachstehend sind für das Modell 1941 die Querschnitts-Reibungswerte für reine Mineralöle (Versuchsgruppe 1), Fettöle und gefettete Mineralöle (Versuchsgruppe 2), P-hältige Mineralöle (Versuchsgruppe 4) und Cl-hältige

001316

- 7 -

ge Mineralöle (Versuchsgruppe 5) verglichen:

Mittelwerte von R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16
Mineralöle	9	21	36	49	67	68	78	103	-	-	-	-	-
Fettöle	7	15	23	32	40	49	53	61	68	74	88	100	112 +
Gefettete Mineralöle	6	15	25	34	42	50	58	68	78	88	110	165	-
P-hältige Öle	9	19	27	37	46	56	68	78	89	100	119	144	167 -
Cl- "	8	19	32	45	57	67	78	88	99	110	136	171	215 -

Aus dieser Aufstellung erkennt man, dass hochaktive, chemische Zusätze (P-, Cl-Verbindungen usw.) die Filmfestigkeit der Mineralöle in der Almen-Wieland Maschine wohl sehr stark erhöhen, dass aber dadurch die Schmierfähigkeit der Fettöle und gefetteten Mineralöle zufolge der Reibungsanzeige nicht erreicht wird, sofern man die Schmierfähigkeit als das Reziprokom der Reibungswerte betrachten will.

6. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe sollen Mehrfach-Verbundöle untersucht werden d.h. solche Öle, die zwei und mehr der bereits genannten "Hochdruckzusätze" enthalten.

Die Kennzahlen der untersuchten Öle sind:

Öl Nr.	Bezeichnung	Farbe	d/20	mD/20	E/20	E/50	Wp	m
44	Schneidöl (HM) mit S u. Cl							
45	" (CFO) mit S u. X, VZ <1	10	.898	-	10	2,8	1.82	3.77
45a	- Aceton-Raff. v. Öl Nr. 45	10	-	1.511	11,6	2,86	2.43	4.05
45b	- Aceton-Extr. v. Öl Nr. 45	10	-	1.502	10,9	2,76	2.34	4.02
46	Schneidöl (CFO), S u. C ₄ Cl ₆	10	-	1.540	11,0	2,56	3.57	4.38
46a	- Aceton-Raff. v. Öl Nr. 46	10	-	1.515	8,7	2,47	2.20	4.01
46b	- Aceton-Extr. v. Öl Nr. 46	10	-	1.504	8,2	2,44	1.96	3.90
				1.541	9,7	2,51	2.71	4.18
17d	Öl Nr. 17+10% Trichlorphenol+							
	1% Trikresylphosphat							
17e	Öl Nr. 17+ je 0,8% Faktis, Chlor-							
	naphthalin, Paraffin u. Trikresyl-							
	-phosphat							
17f	Öl Nr. 17+ je 1% der Zusätze							
	wie b. Nr. 17e							
18k	Öl Nr. 18+ je 0,8% der Zusätze							
	wie b. Nr. 17e							
18l	Öl Nr. 18+2% chlor. Ceresin							
	+1% Trikresylphosphat							
18m	Öl Nr. 18+2% chlor. E-Wachs							
	+1% Trikresylphosphat							
18n	Öl Nr. 18+3% chlor. E-Wachs							
	+1% Trikresylphosphat							
18o	Öl Nr. 18+10% chlor. E-Wachs							
	+1% Trikresylphosphat							
18p	Öl Nr. 18+3% Faktis+3% chlor.							
	E-Wachs+1% Trikresylphosphat							
18q	Öl Nr. 18+3% Faktis+3% C ₄ Cl ₆ +2%							
	C ₂ H ₂ Cl ₂ +0,25% Trikresylphosphat							
18r	Öl Nr. 18+ Zusätze wie b. 18q,							
	aber 0,5% Trikresylphosphat							
18s	Öl Nr. 18+1,5% Faktis+1,5% C ₄ Cl ₆							
	+1% C ₂ H ₂ Cl ₂ +0,25% Trikresylph.							

001317

- 8 -

Oel Nr.	Bezeichnung	Farbe	d/20	mD/20	E/20	E/50	Wp	m
18t	Oel Nr.18+5%Chlor.E-Wechs+ 6%C ₄ Cl ₆ +2%C ₂ H ₂ Cl ₂ +o,5%Tri- kresylphosphat	-	-	-	-	-	-	-
18u	Oel Nr.18+ die Hälfte der Zu- sätze wie b.18t	-	-	-	-	-	-	-
42a	4,5E/50 mit+ je 1% Faktis, Pa- raflow, Cl-Naphtalin u. Tri- kresylphosphat	-	-	-	-	-	-	-
47a	Solar-Red + je 1% Faktis, Pa- raflow, Cl-Napht. u. Tri-kresyl- phosphat	-	-	-	-	-	-	-
47b	Solar Red + je o,5% des Zu- sätze wie b.42a u. 47a	-	-	-	-	-	-	-
48a	5,3E/20 + 3%Faktis+3%C ₄ Cl ₆ + 2%C ₂ H ₂ Cl ₂	-	-	-	-	-	-	-
48b	5,3E/20 +3%Faktis+3%C ₄ Cl ₆ + 2%C ₂ H ₂ Cl ₂ +1%Tri-kresylph.	-	-	-	-	-	-	-

6. Versuchsgruppe: Tabelle, Werte der Reibungskraft R (kg)

Oel Nr.	Belastung, Anzahl der Plattengewichte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
<u>Modell 1936</u>																
44	5	13	22	33	42	48	68	93	125	136	170	-	-	-	-	-
45	0	1	3	12	21	24	41	48	63	84	109	-	-	-	-	-
45a	0	1	9	16	28	33	45	54	61	80	103	220	-	-	-	-
45b	3	12	15	18	28	34	50	57	73	88	107	-	-	-	-	-
46	0	2	4	5	26	27	42	45	70	77	98	128	166	+	+	+
46a	0	2	5	9	23	26	55	61	76	91	126	144	168	190	231	+
46b	0	2	5	8	20	31	43	52	64	68	84	102	125	142	172+	+
<u>Modell 1941</u>																
17d	7	13	24	35	48	60	72	84	96	107	130	150	171	190	211+	+
17e	13	28	42	55	70	83	94	105	116	122	143	164	181	201	240+	+
17f	12	25	37	50	65	75	81	82	90	98	119	137	153	168	182+	+
18k	10	25	39	54	68	81	92	102	109	118	138	158	172	186	196+	+
18l	7	19	33	45	56	70	81	91	102	115	141	168	207	238	-	-
18m	7	17	30	44	56	69	81	91	101	111	135	158	185	206	212+	+
18n	5	15	29	40	53	66	79	90	101	111	132	151	172	200	250-	-
18o	4	15	30	42	55	64	75	85	92	100	116	130	144	157	165+	+
18p	6	20	35	48	61	74	86	98	110	123	155	193	217	220	220+	+
18q	6	15	28	42	54	67	82	95	106	118	140	159	183	218	233+	+
18r	3	15	32	46	60	73	86	98	110	121	145	170	202	225	240+	+
18s	6	19	35	46	59	71	83	94	105	116	139	162	197	226	237+	+
18t	5	15	29	41	52	63	75	85	95	101	119	133	150	166	178+	+
18u	2	14	26	39	50	63	75	85	93	101	118	132	149	173	225+	+
42a	9	25	38	52	63	73	86	96	103	113	129	140	154	174	200+	+
47a	5	7	12	15	35	41	51	61	72	82	92	112	130	144	163	183+
47b	4	6	14	23	35	44	52	62	73	83	93	113	135	161	177+	+
48a	6	18	31	43	56	68	80	91	101	111	131	146	161	174	189+	+
48b	6	19	34	48	62	75	88	101	113	126	151	177	216	239	-	-
<u>Modell 1937</u>																
45	13	24	36	47	59	64	82	89	105	125	-	-	-	-	-	-
46	11	22	33	48	61	67	85	90	98	120	134	161	183	198	-	-

Anm. Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden
Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 6. Bei Oel Nr. 45 und 46 ergibt sich bei den Modellen 1936 und 1937 der Almen-Wieland-Oelprüfmaschine wohl Übereinstimmung hinsichtlich der Film-Belastbarkeit, nicht aber bezüglich der Reibungsanzeige. - Die Aceton-

behandlung bei derart aktivierten Oelen wirkt nicht selektiv, denn die sog. "Hochdruckzusätze" verteilen sich auf Lösemittel-Raffinat und -Extrakt nahezu gleichermaßen. - Die Almen-Wienland-Oelprüfmaschine, Modell 1941, liefert relativ gut reproduzierbare Werte. Mittelt man die Ergebnisse in dieser Versuchsgruppe mit Modell 1941, wobei es sich vorwiegend um chlorierte, teilweise auch P-hältige, jedenfalls aber fettfreie Oelverschnitte handelt, und vergleicht sie mit den Querschnitten von R für Cl-hältige Oele, vgl. Seite 7, so ergibt sich gute Übereinstimmung:

Oele mit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Cl+P	6	17	30	48	56	68	79	90	100	110	125	152	173	194	208
Cl	8	19	32	45	57	67	78	88	99	110	136	171	215	-	-

7. Versuchsgruppe

Hier sind einige Verbundöle verschiedenartigster Zusammensetzung beschrieben, die nicht Anspruch erheben wollen, durchaus "Hochdruckschmiermittel" zu sein.

Die Kennzahlen der Oele sind:

Oel Nr.	Bezeichnung	Fa	rbed/20	nd/20	E/20	E/50	Wp	m
49	Vacuum-Stossdämpferöl	-	-	-	-	-	-	-
49a	" " ,graphitisiert	10	-	-	3,6	1,6	-	-
50	K-15 mit Al-stearat	10	-	-	3,6	1,6	-	-
51a	3E/50 raff. + 5% Oppanol	-	.916	-	465	47,0	2.12	3.36
51b	" " + 2% Gummi-Crepe	-	-	-	-	-	-	-
51c	" " + 3% Kolophonäum	-	-	-	-	-	-	-
51d	" " + 1% Butylrizinolat	-	-	-	-	-	-	-
51e	" " + 3% "	-	-	-	-	-	-	-
51f	" " + 3% Schmelzfaktis	-	-	-	-	-	-	-
51g	" " + 5% "	-	-	-	-	-	-	-
51c	" " ohne Zusatz	-	-	-	-	-	-	-
5a	Oel Nr. 5 + 1% Dibutylphtalat	.903	-	-	16,6	3,4	1.88	3.75
5b	" " + 0,5% Dibutylphtalat +	.867	1.481	10,5	3,0	1.61	3.61	
	0,5% Trikresylphosphat	.867	1.481	10,5	3,0	1.61	3.61	
5c	" " + 3% Dibutylphtalat	-	-	-	-	-	-	-
18v	Oel Nr. 18 + 3% Montanwachs, roh	.890	-	-	6,8	2,5	-	3.40
18w	" " + 3% " ,getleicht	.890	-	-	6,8	2,5	-	3.40
18x	" " + 3% " ,doppelt	.890	-	-	6,8	2,5	-	3.40
18y	" " + 5% Parafflow	-	-	-	-	-	-	-
17g	Oel Nr. 17 + 1% Parafflow	-	-	-	-	-	-	-
17h	" " + 5% "	-	-	-	-	-	-	-
17i	" " + 5% Benzaldehyd	-	-	-	-	-	-	-

7. Versuchsgruppe, Tabelle: Werte der Reibungskraft R (kg)

Oel Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Modell 1936															
49	3	8	11	19	26	36	65	-	-	-	-	-	-	-	-
49a	2	5	9	17	26	37	50	72	86	-	-	-	-	-	-
50	5	12	18	32	46	52	60	68	82	-	-	-	-	-	-

Oel	Belastung, Anzahl der Plattengewichte																		
Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20				
Modell 1936																			
51a	3	12	24	38	53	55	77	83	103	106	140	-	-	-	-	-	-	-	
51b	4	10	20	34	45	57	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
51c	5	14	27	35	45	54	64	84	104	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
51d	9	17	33	50	60	70	82	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
51e	5	22	40	50	64	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
51f	5	13	27	40	57	68	82	90	102	120	144	174	184	194	+	-	-	-	
51g	1	9	23	38	55	70	83	95	112	118	161	185	175	184	+	-	-	-	
51o	10	24	37	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5a	4	12	23	35	48	60	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5b	2	10	21	33	44	56	69	84	95	110	127	147	175	-	-	-	-	-	
5c	3	11	20	30	40	49	59	66	74	84	102	128	165	-	-	-	-	-	
Modell 1941																			
18v	8	20	30	38	45	56	60	68	76	84	98	116	126	146	-	-	-	-	
18w	6	15	24	33	45	58	69	74	80	86	102	126	-	-	-	-	-	-	
18x	6	15	25	34	42	50	60	69	76	83	96	111	-	-	-	-	-	-	
18y	11	18	29	39	51	65	79	89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17g	13	26	41	56	70	81	90	92	98	107	129	155	-	-	-	-	-	-	
17h	12	26	40	55	68	79	88	95	97	102	122	147	-	-	-	-	-	-	
17i	13	26	40	54	65	70	82	91	100	110	133	160	-	-	-	-	-	-	
Anm. Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden.																			

Anm. Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden.

8. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe werden einige handelsübliche Hochdrucköle, Getriebeöle, Schneidöle u. ähnliches dargestellt. Die Kennzahlen der Öle sind:

Oel	Art	Marke	Farbe	d/20	nd/20	E/20	E/50	Wp	m
52	Getriebeöl	handelsüblich	10	.930	1.523	340	36,0	2.16	3.42
53	"	Motanol (1938) VZ 7	10	.910	1.505	250	28,8	2.13	3.44
54	"	Hamig (1938) VZ 6	10	.915	1.510	186	25,2	1.92	3.31
55	"	Dentoline K (1938) VZ 3	10	.941	1.518	-	60,0	3.50	3.96
56	"	Dentol extra (1937)	-	.894	-	95	15,1	1.88	3.38
57	"	Vac. Mobil-Comp. 3 (HD)	-	.935	-	110	16,1	1.98	3.43
58	"	S&M 15 (ohne Trikesylph)	-	-	-	-	-	-	-
58a	"	S&M 15 (mit Trikr.) VZ 9	-	-	1.519	280	26,0	2.81	3.80
59	"	S&M 25 (ohne ") VZ 7	-	-	1.519	280	26,0	2.81	3.80
60	Terpedöl	HD (VZ 1,7)	7	.910	1.507	126	33,0	2.84	3.78
61	Einfahröl	Essolub (VZ 3,9)	-	.870	-	22	15,0	2.05	3.80
62	"	Firstoline (VZ 2,4)	-	.898	-	58	5,2	1.55	3.36
63	Schneidöl	G&S (VZ 1,9)	3,5	.918	1.511	7,5	9,0	2.36	3.77
64	"	S&M 42-A (VZ 8)	-	-	1.497	7,5	2,3	2.35	4.11
65	"	S&M 44-A (VZ 34,8)	-	-	1.498	13,0	3,2	2.25	4.06
66	"	S&M 44-B (VZ 18)	-	-	1.501	9,5	2,7	2.02	3.61
67	"	S&M 44-extra (VZ 23)	-	-	1.497	13,0	3,2	1.65	3.61
68	"	S&M M-02 (VZ 13)	-	-	1.503	9,2	2,6	1.91	3.85
69	"	Houghton HD 4E/50 NZ	0,4	.955	-	19,4	4,4	1.88	3.72
70	"	" 3 (NZ 1,4)	-	.937	-	18,0	3,6	3.07	4.19
71	"	" 6 (NZ 1,5)	-	.943	-	27,0	5,0	2.30	3.85
72	"	" T8 (NZ 0,2)	-	.904	-	55,0	8,8	2.17	3.67
73	Schneidöl	Optimol Beta	4	.898	-	7,0	2,3	1.82	3.80
74	"	Gasolin K (1940)	5	.875	-	6,6	2,1	-	-
75	"	" K (1943)	8	.890	-	6,0	2,1	-	-
76	"	" K-25	-	-	-	-	-	-	-

001320

- 11 -

Oel Nr.	Art	Marke	Farbe	d/20	nd/20	E/20	E/50	Wp	m
77	Schneidöl	Wasure	AK 1526	8	.910	-	15,2	5,5	220 3.90
78	"	"	AK 1526M	8	.912	-	19,2	4,1	2.10 3.80
79	"	Shell	LB 22	8	.928	-	30,0	5,5	2.20 3.80
80	"	Vacuum	Sultren AX	7	.904	-	10,0	3,8	1.90 3.70
81	Schleiföl	Shell	MC 1	-	-	-	-	-	-
82	"	Shell	1254	7	.908	-	10,0	2,5	2.80 4.20

8. Versuchsgruppe, Tabelle: Werte der Reibungskraft R (kg)

Oel Belastung, Anzahl der Plättengewichte
 Nr. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 12. 14. 16. 18. 20

Modell 1936	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
52	5	18	31	40	48	57	64	80	-	-	-	-	-	-	-
53	5	12	25	40	50	58	67	80	-	-	-	-	-	-	-
54	6	19	32	48	60	70	78	85	-	-	-	-	-	-	-
55	2	5	19	32	42	50	58	65	73	82	-	-	-	-	-
56	7	22	37	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	3	11	20	36	46	70	85	133	151	166	163	196	-	-	-
58	3	8	22	43	53	60	70	80	100	-	-	-	-	-	-
58a	2	6	12	23	37	42	55	65	76	85	107	138	-	-	-
59	2	6	16	25	40	58	77	-	-	-	-	-	-	-	-
60	3	9	14	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
61	3	12	23	32	44	56	66	78	85	94	107	130	-	-	-
62	2	10	22	34	48	60	75	89	99	108	135	149	181	220	+
63	9	12	20	30	41	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	9	18	28	35	50	56	71	82	88	-	-	-	-	-	-
65	6	12	23	35	44	55	65	80	91	110	130	155	178	-	-
66	3	8	15	27	40	51	60	-	-	-	-	-	-	-	-
67	5	8	18	27	39	45	50	65	73	82	120	145	162	-	-
68	5	7	12	28	40	55	63	89	99	128	175	-	-	-	-
69	8	20	33	48	59	73	93	-	-	-	-	-	-	-	-
70	4	13	24	41	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
71	6	15	34	48	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	4	15	28	42	53	65	76	87	97	105	-	-	-	-	-
Modell 1941	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
73	11	19	29	39	48	56	66	76	85	94	103	122	121	156	179 +
74	7	20	32	43	53	66	78	89	101	116	139	161	-	-	-
75	6	15	25	35	42	50	56	68	78	89	113	145	160	200	-
76	5	13	21	33	43	53	69	83	96	109	135	162	195	222	250 -
77	7	18	28	38	48	56	66	75	85	94	112	135	159	202	220 +
78	7	15	26	37	47	56	66	78	88	112	133	144	146	149	162 +
79	5	15	27	40	51	61	70	80	89	98	108	127	-	-	-
80	8	18	26	36	46	56	66	76	86	96	127	147	200	-	-
81	10	22	34	45	54	63	72	81	90	98	117	135	155	210	-
82	6	16	26	38	49	58	68	78	90	105	146	-	-	-	-

Anm. Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden.

9. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe kamen künstlich und natürlich gealterte Öle zur Untersuchung. Bei den Ölen 83-86 handelt es sich um Produkte der Ruhrchemie-Synthese (Fischer-Tropsch), die jeweils in einer 100 cm Probe mit stündlich 25-lit. Luftdurchsatz einen Tag lang auf 130°C erhitzt wurden. (Die mit dem Index "0" bezeichneten Öle sind die Ausgangsmaterialien). - Bei den Ölen 87-90 handelt es sich um die Aceton-Extrakte von Altölen des natürlichen Gebrauches in Kraftfahrzeugen, wobei angenommen wurde, dass sich dieselben nach zweijähriger Standzeit von Fremdkörpergeschweben weitgehend geläutert haben. Wo

diese Altöle trotzdem noch zu dunkel erschienen, wurden sie vor Extraktion mit Aceton noch einer leichten Bleicherde-Behandlung (B) unterworfen. Das Frischöl der Proben Nr. 87-90 war Motol S mit d/20 o. 915, nD/20 1.510, 12,6E/50, Wp 2.40, m 3.72. Oel Nr. 87 ist Altöl aus einem Kfz, welches mit Methan als Kraftstoff betrieben wurde, Oel Nr. 88 ist Altöl aus einem Kfz, welches mit Braunkohlen-Dieselmkraftstoff betrieben wurde, Oel Nr. 89 stammt aus einem mit Methanol gefahrenen Kfz und Oel Nr. 90 aus einem Kfz mit Flüssiggasbetrieb. Die Fussnoten "R" bzw. "E" bei den Ölen Nr. 87-90 bedeuten: Aceton-Raffinat bzw. Extrakt. - Schliesslich ist Oel Nr. 91 der Aceton-Extrakt eines mit Tri-kresylphosphat aktivierten Nitrobenzol-Raffinates (Frischöl: Farbe 7, d/20 o. 881, nD/20 1.489, 35E/20 = 6,6E/50, Wp 1.83, m 3.52), welches sich nach kurzem Prüfstandlauf in einem Faun-Ottomotor kaum wesentlich verändert hatte (Altöl: 91). - Oel Nr. 92 ist ein Brightstock, Nr. 92R das Aceton-Raffinat, Nr. 92E der Aceton-Extrakt desselben. Oel Nr. 93 ist Edelölsau-Extrakt. Die Kennzahlen der Öle sind:

Oel Nr.	Bezeichnung	Farbe	d/20	nD/20	E/20	E/50	Wp	m	NZ	VZ
83o	(AP 114) (Fp222)	3,4	.852	1.476	27	5,6	1.92	3.62	-	-
83	(AP 90)	5,5	.879	1.479	71	10,9	2.14	3.61	-	-
84o	(AP 124) (Fp244)	3,8	.856	1.477	71	12,0	1.83	3.38	-	14,0
84	(AP 95)	6,5	.862	1.481	221	26,0	2.20	3.49	-	-
85o	(AP 132) (Fp250)	3,0	.860	1.478	113	17,4	1.85	3.32	-	11,5
85	(AP 108)	6,0	.880	1.481	244	28,8	2.12	3.42	-	-
86o	(AP 116)	3,5	.851	1.475	27	5,7	1.83	3.55	-	4,0
86	(AP 101)	8,5	.864	1.478	39	7,2	1.97	3.59	-	-
87o	(AP 94, Fp 224)	10	.919	1.515	150	19,0	2.24	3.57	-	-
87R	(AP 102)	10	.914	1.512	141	19,0	2.10	3.49	-	2,5
87E	(AP 40)	10	.977	1.544	206	18,3	3.65	4.11	-	-
88oB	(AP 92)	7,8	.911	1.509	72	11,6	2.02	3.52	-	-
88R	-77% (AP 102)	8,2	.900	1.500	95	15,0	1.86	3.36	-	0
88E	-23% (AP 56)	7,0	.942	1.532	48	6,7	3.48	4.20	-	-
89oB	(AP 94)	8,1	.913	1.508	86	12,7	2.11	3.56	-	-
89R	-78,5% (AP 103)	8,9	.903	1.501	103	15,5	1.94	3.41	-	0,4
89E	-22,5% (AP 60)	8,6	.943	1.530	65	8,0	3.06	3.04	-	0,02
90oB		8,2	.912	1.508	84	12,8	2.10	3.56	-	1,30
90R		8,7	.904	1.502	96	14,5	1.93	3.42	-	0,31
90E		7,1	.942	1.528	55	7,9	2.85	3.98	-	0,06
91o	m. Trikresylph.	10	.885	1.491	38	7,4	1.85	3.50	-	0,82
91R	-72% von 91o	10	.877	1.486	49	9,1	1.78	3.41	-	-
91E	-28% von 91o	8,5	.917	1.511	25	4,6	2.57	3.97	-	2,00
92			.906	1.507	555	43,0	2.82	3.73	-	0,51
92R	-84% von 92		.902	1.500	485	44,0	2.44	3.55	-	-
92E	-16% von 92		.948	1.526	740	48,0	3.40	3.95	-	-
93	SO2-Extr. v. Spindel 811.005	1.569	14	2,7	6,00	4,66	-	-	-	-

9. Versuchsgruppe, Tabelle: Werte der Reibungskraft R (kg), Modell 136

Oel Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
83o	4	13	29	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
83	4	19	32	41	55	68	81	-	-	-	-	-	-	-	-
84	4	19	31	42	51	62	75	87	-	-	-	-	-	-	-
85	5	20	36	45	56	64	83	-	-	-	-	-	-	-	-
86	2	12	25	31	42	53	65	-	-	-	-	-	-	-	-

001322

- 15 -

Oel Nr.	Belastung, Anzahl der Plattengewichte															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	
87E	2	10	27	42	51	65	75	82	92	106	128	-	-	-	-	
88E	2	18	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
89E	2	8	22	35	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
90E	2	16	30	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
91E	2	12	22	29	39	49	59	68	75	84	99	118	135	+	+	
92E	2	10	19	27	33	61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
93	8	11	17	22	32	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Anm. Belastungssteigerungen nach je 30 Sekunden.																

Anm. Belastungssteigerungen nach je 30 Sekunden.

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 9: Die Filmbelastbarkeit der Synthesoße Ruhrchemie ist, wie nicht anders zu erwarten war, entsprechend anderen Kohlenwasserstoffölen, gering. Bei künstlicher Alterung verschauern sie erfahrungsgemäss, wodurch sie gleichzeitig aktiviert werden, was auch die vorstehenden Versuche mit der Almen-Wieland-Maschine bestätigen. - Die Aceton-Extrakte natürlich beanspruchter Öle aus Kraftfahrzeugen enthalten erwartungsgemäss ebenfalls grenzflächenwirksame Stoffe, was durch das Ergebnis 87E bestätigt wird. In den Fällen 88E-90E hat offensichtlich die Bleicherdebehandlung der abgeklärten Altöle diese wirksamen Substanzen entfernt. - Im Extrakt des Oeles Nr. 91 ist natürlich noch das Trikresylphosphat wirksam. - Der Aceton-Extrakt des Brightstocks Nr. 92 (Atlantic Ref. "Cero") ist arm an aktiver Substanz, da dieser Brightstock schliesslich nur das Rückstandöl der Vacuum-Destillation eines lösemittel-reffinierten Rohölschnittes darstellt. - Der Edeleanu-Spindelöl-Extrakt Nr. 93 ist merklich grenzflächenwirksamer als Mineralöl-Raffinat der gleichen Zähflüssigkeitsstufe.

10. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe werden die Grundtypen von Schmierfetten beobachtet und zwar ist:
 Nr. 94 ein Ca-seifenschmierfett auf Basis Tranfettsäure (Epple-Stuttgart, 1957),
 Nr. 95 ein Ca-seifenschmierfett auf Basis Talgfettsäure (Epple-Stuttgart, 1957),
 Nr. 96 ein Na-seifenschmierfett, faserig, (G&S 1958),
 Nr. 97 ein Metalseifenschmierfett transp. (Snell 6255),
 Nr. 98 ein graphitiertes Ca-seifenschmierfett (S&M 1958) und
 Nr. 99 "Keenoil KG 20", ein engl. Fabrikat, eine Dispersion von 20% ZnO in Mineralöl.

und in Mineralöl.

10. Versuchsgruppe, Tabelle: Werte der Reibungskraft R (kg)

Fett	Belastung, Anzahl der Plattengewichte															
Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	
94	6	12	26	35	34	48	46	60	93	116	138	-	-	-	-	
95	6	13	24	35	48	65	70	90	107	115	126	146	-	-	-	
96	5	15	24	43	53	68	86	98	113	134	-	-	-	-	-	
97	6	12	19	32	40	47	54	64	70	84	107	145 x)	-	-	-	
98	2	6	9	15	24	29	38	41	41	48	58	80	-	-	-	
99	7	13	25	38	46	48	78	120	-	-	-	-	-	-	-	

Ann. Belastungsteigerung

Anm. Belastungssteigerungen nach je 30 Sekunden.

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 10: Es ist fürs erste überraschend, dass die Schmierfette so deutliche Effekte zeigen, dies umso mehr, als zu befürchten stand, dass sie zufolge ihrer Konsistenz nicht genügend zwischen die Gleitflächen der Prüflager gelangen

würden. Zwischen den einzelnen Schmierfetten ergeben sich keine bemerkenswerten Unterschiede. Zinkweiss dient in Staufferfetten (Ca-seifenfetten) vielfach als Beschwerungsmittel, sein Schmierwert erscheint zweifelhaft, wenn auch in England das "Keenol" lange Jahre von sich reden machte, und die "Keenolisation" d.h. die Schmierung mit kolloiden ZnO-Öl-Dispersionen zum geflügelten Begriff wurde. Auffallend hingegen ist der günstige Einfluss von Kolloidgraphit (Fett Nr. 99), insbesondere auf die sehr starke Absenkung der Reibungsanzeige.

11. Versuchsgruppe

Bei den bisher beschriebenen Versuchen ist offenkundig, dass die Streuungen in den erhaltenen Ergebnissen nicht ausschliesslich Ausdruck einer unterschiedlichen Schmierfähigkeit der Öle und ihrer Zusätze sein können, sondern dass auch sehr wesentlich die Schwankungen in den mechanischen Eigenschaften und der Fertigung der kleinen Prüflager mitsprechen. Es ist zwar gewisse Sorgfalt darauf verwendet worden, die Einflüsse von dieser Seite aus möglichst gleichartig zu gestalten, doch sind gerade hier Streuungen unvermeidlich. Wieland gibt an, dass die Härte der Miniatur-Stahlzapfen durchschnittlich 80 Rockwell B beträgt, und die der weicheren Lagerhälften 60-70 Rockwell B. Zapfen und Lagerhälften wurden fein abgedreht und normal geschliffen.

In der Versuchsgruppe 11 wurde nun bei jedem einzelnen Prüflauf die Härte von Prüfzapfen und Prüflager gemessen. Ausserdem dient ein Mineralölraffinat der Erdölverarbeitung (M) und ein Synthese-Schmieröl, Ruhrchemie, (S) als Basis für steigende Zusätze an Trikresylphosphat (Tkp).

Die Kennzahlen der beiden Öle sind:

Öl	Farbe	Fluoresz.	d/20	E/50	E/100	Wp
M	rot	sattgrün	.883	8,9	2,13	1.62
S	gelb	grünlich	.853	8,2	2,00	1.78

11. Versuchsgruppe: Härte der Prüflager u. Werte der Reibungskraft R (kg)

Ver- such Nr.	Zu- satz %Tkp	Rockwellhärte B		Lagerbelastung, Plattenzahl											
		Zap- fen	La- ger	Diffe- renz	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	
100	0	68	58	= 10	17	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
101	0,5	78	58	= 20	17	28	39	50	59	69	78	97	-	-	-
101	0,5	79	65	= 14	12	23	34	44	54	64	73	95	115	142+	-
102	1,0	81	61	= 20	13	24	36	47	58	69	80	98	106	-	-
103	1,5	78	68	= 10	15	27	40	52	61	68	77	96	109	-	-
103	1,5	80	59	= 21	17	27	36	44	52	57	66	84	102	120-	-
104	2,0	76	67	= 9	15	27	37	47	56	64	72	86	100	115+	-
104	2,0	75	62	= 13	18	27	37	47	55	63	67	83	97	116+	-
105	2,5	76	67	= 9	13	24	35	45	56	64	72	86	98	112+	-
106	3,0	73	60	= 13	14	25	36	47	56	64	72	88	100	-	-
107	4,0	77	62	= 15	13	24	34	46	54	62	68	85	96	110+	-
108	4,5	80	61	= 19	13	25	35	45	53	63	71	84	97	107-	-
109	5,0	74	64	= 10	15	25	35	45	53	63	71	84	97	107-	-
109	5,0	85	61	= 24	14	25	36	47	56	66	75	90	104	113+	-
110	5,5	75	58	= 17	13	24	36	46	55	64	72	86	99	113-	-
111	6,0	69	61	= 8	13	24	35	45	53	61	69	84	87	108-	-
112	0	78	56	= 22	15	29	41	-	-	-	-	-	-	-	-
113	0,5	79	59	= 20	12	25	39	48	53	61	70	93	106	119+	-
114	1,5	77	62	= 15	17	27	38	50	54	60	67	84	100	110+	-
115	2,0	79	64	= 15	18	30	40	49	58	65	72	92	104	115-	-
116	3,0	76	60	= 16	14	25	36	45	52	59	64	80	92	104-	-

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 11: Die Härteunterschiede (Rockwell B) zwischen Zapfen und Lager schwanken in erheblichen Grenzen; trotzdem ist ein spezifischer Einfluss auf die R-Werte nicht erkennbar. Im allgemeinen ergibt sich sogar, unabhängig von der Höhe des Zusatzes an Trikresylphosphat, eine gute Übereinstimmung der Werte für die Reibungskraft, denn das Mittel der Reibungskraft R beträgt bei

	Lagerbelastung, Plattenzahl											
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14		
Oel M	15	20	36	47	55	64	72	88	102	115		
Oel S	15	27	39	49	54	61	68	87	100	112		
..... R max	18	38	41	52	61	69	80	98	126	142		
..... R min	12	23	34	44	52	57	65	78	87	107		
Diffz. R	6	5	7	8	9	12	15	20	39	35		

Auch die Streuungen (Diffz. R) um diese Mittelwerte der Reibungskraft bei Oel M und Oel S mit steigenden Zusätzen an Trikresylphosphat bleibt in tragbaren Grenzen.

12. Versuchsgruppe

Hier werden Zahlenwerte zu Vergleich gestellt, die P. Hildebrand mit einer Almen-Wieland-Maschine, Modell 1937, erhielt, und über welche auszugswise von ihm auch berichtet wurde (vgl. Gelorgan 1943, Nr. 5/6). Soweit sich zu diesen Ergebnissen in den eigenen Arbeiten Parallelen finden, sind sie in der nachstehenden Tabelle dargestellt. Die Abkürzungen zur Kennzeichnung der Maschinen-Modelle bedeuten: H-1937 = Hildebrand mit Modell 1937, K-1936 Kadmer mit Modell 1936 und L-1941 = Luere mit Modell 1941.

Modell	Oel, Bezeichnung	Belastung, Plattengewichte											
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20		
H-1937	Ruböl, NZ 5,8	17	38	56	60	70	95	96	118	119	157+		
L-1941	Ruböl (vgl. Nr. 22)	17	34	50	64	78	92	102	112	122	155+		
H-1937	Rizinöl	18	34	55	70	70	89	89	-	-	-		
H-1937	Rizinöl+10% Olein	12	33	52	60	74	94	102	125	125	150+		
H-1937	Spindelöl 5-6/20+												
	0,5% S gelöst	20	42	77	84	-	-	-	-	-	-		
H-1937	Sp.öl+8% Fektis	14	40	52	101	120	144	170	190	196	211+		
H-1937	Sp.öl+5% Fektis	22	44	68	91	112	124	145	177	215	+		
H-1937	Sp.öl+2,5% S-Paste (Sulfluid)	22	41	67	90	150	-	-	-	-	-		
	-dass. n. 4 Tagen												
	Standzeit	22	48	80	-	-	-	-	-	-	-		
H-1937	Sp.öl+5% Trikresylph.	18	43	69	78	104	128	175	180	203	215+		
K-1936	Oel Nr. 4a	17	38	56	74	126	154	-	-	-	-		
L-1941	Oel Nr. 18c	19	39	55	72	89	104	120	135	151	175		
K-1936	Oel Nr. 39	8	29	49	67	80	97	120	135	150	178		
H-1937	Sp.öl, gechlort	20	52	65	84	105	130	136	152	175	172+		
H-1937	Sp.öl, gechlort	20	49	65	85	105	150	183	215	+	+		
K-1936	Sp.öl, chloriert	4	19	39	50	55	60	85	92	+	+		
K-1936	Sp.öl, chloriert	1	9	28	50	67	84	105	122	165	182+		

Anm. Belastungsteigerung nach je 30 Sekunden.

001325

- 16 -

13. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe wurden bestimmte Öle konstant gehalten und die Prüflager entweder bezüglich Bearbeitung oder Material geändert, um deren Einfluss auf Reibung und Verschleiss deutlich zu machen. - Versuchsdurchführung mit Modell 1936.

a) Einheitlich gewähltes Schmieröl war hier ein Nitrobenzol-Raffinat (Atlantic Ref. Cie) mit 1% Trikresylphosphat, d/20 0,884, $\eta_D/20$ 1.494, Anilinpkt 115°C , Visk. $46\text{E}/20 = 8,5\text{E}/50 = 2,01\text{E}/100$, Wp 1.82, μ 0.44.

Zapfen Rockw. Lager Rockw. Belastung, Plattengewichte		B . 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . 9 . 10 . 12 . 14											
Klaus	95 Röchling												
Klaus	95 " VCN 100	20	30	42	54	67	76	80	86	100	111		
Klaus	95 " RFFh 93	18	27	36	48	56	66	70	77	83	105	124	134
Klaus	95 " RFFh 93	20	26	34	42	49	56	63	70	77	87	106	
Klaus	95 Klaus .. 63	24	34	47	56	64	76	85	90	110	125		

b) Öl "PL 150", Zusatzfrei

Zapfen Rockw. Lager Rockw. Belastung, Plattengewichte		B . 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . 9 . 10 . 12 . 14											
Klaus	95 Röchling VCN 100	17	32	45	57	67	80						
Klaus	95 " RFFh 93	16	30	40	54	63	76	83	95				
Klaus	95 Klaus .. 63	28	43	57									

c) Öl S&M d/20 0,910, $\eta_D/20$ 1.507, $126\text{E}/20 = 15\text{E}/50$, Wp 2.65, μ 5.80, VZ 1,7

Zapfen Rockw. Lager Rockw. Belastung, Plattengewichte		B . 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . 9 . 10 . 12 . 14											
Klaus	95 Klaus .. 63	14	31										
Klaus	95 Ferrozell	20	44	50	43	44x							

Das Ferrozell-Lager aus Kunstharz-Gewebe bricht auseinander, wurde aber an den Laufflächen durch Reibungswärme nicht verbrannt.

d) Schmierstoff: Rizinusöl

Zapfen Lager Belastung, Plattengewichte		2 . 4 . 6 . 8 . 10 . 12 . 14 . 16 . 18 . 20											
- geschliffen u. poliert		2	4	16	29	43	60	76	97	+			
- " u. sandstrahlmattiert		8	28	44	60	72	85	102	121	130	138		

Schmierstoff: 17E/50 raff. Belastung, Plattengewichte

Zapfen Lager Belastung, Plattengewichte		2 . 4 . 6 . 8 . 10 . 12 . 14 . 16 . 18 . 20											
- geschliffen u. poliert		16	38										
- " u. sandstrahlmattiert		52	67	95	124	126	164						

e) Schmierstoffe: HD = Hochdrucköl (Lösungsmittelraffinat mit 1% Trikresylphosphat) Penna = Pennsylv. Motorenöl, Prüfzapfen u. Prüflager Stahl, 1. Lauf mit Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden, 2. Lauf bei Belastung mit 1. und 2. Plattengewicht je 1 Stunde Einlaufen, dann übliche Belastungssteigerung nach je 30 Sekunden:

..... Belastung, Plattengewichte		1 . 2 . 3 . 4 . 5 . 6 . 7 . 8 . 10 . 12 . 14											
HD - 1. Lauf	8	20	30	40	50	62	70	80	100	110	134		
2. Lauf	11	20	28	38	50	58	68	78					
Penna 1. Lauf	15	25	38	42	60								
2. Lauf	8	18	28	35	45	55	65	78					
	10	20	25	32	43	56	65	80					

Anm. Die Wirksamkeit des HD-Zusatzes scheint nach längerer Laufzeit zu schwinden, obwohl die Öltemperatur 50°C nicht überschritten hat.

f) Schmierstoff "O" wie unter a) Nitrobenzol-Reffinat (Atlantic) mit 1% Triäthylphosphat, d/20 0,884, n_D/20 1,464, An.P. 115°C, Visk. 46E/20 = 8,5E/50 = 2,01E/100, Wp 1.82, m 3.44, - Schmierstoff "V" wie unter e) Pennsylvan. Motorenöl ohne MB-Zusatz, d/20 0,804, n_D/20 1,4795, Visk. 21E/20 = 4,8E/50 = 1,05E/100, Wp 1.72, m 3.52. - Das Material des Prüfzapfens war wie unter a-e) Stahl von Rockwellhärte B 95, das Material der Prüflager war abwechselnd: Rotguss 8 (RG 8), Gussbronze 14 (GBz 14), Bleibronze Z 55 (PbB) und Phosphorbronze (PB). In allen Fällen wurden hier bei der 1. und 2. Belastungsstufe die Lager je 1 Stunde lang einlaufen gelassen, worauf die weitere Belastung in der üblichen Form nach je 30 Sekunden Laufzeit erfolgte. Der Abschlusslauf wurde bei den mit x) bezeichneten Versuchen 30 Minuten lang durchgeführt. Da sich während eines Halb- oder Ganztunden-Laufes die Reibungsanzeige natürlich veränderte, sind in der folgenden Aufstellung bei diesen Belastungswerten 2 Reibungswerte angegeben. Bei diesen Versuchen wurde auch neben der Reibungsanzeige (R) der Temperaturanstieg (t) im Prüfol verfolgt, und findet sich in der nachfolgenden Tabelle.

Öl Lager		 Belastung, Zahl der Plattengewichte													
		1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14			
O	RG 8	R	8-13	25-28	35	48	60	80	98	115	158	168	180-200		
		t	20-32	32-44	45	45	40	47	49	51	58	64	65-110		
V	RG 8	R	5-10	15-18	25	35	45	58	70	95	140	155	170-200		
		t	18-32	32-39	39	40	41	43	45	50	50	55	72-100		
O	GBz 14	R	8-12	22-28	40	50	65	80	100	125	180	180-140	-		
		t	23-35	35-45	47	49	51	53	50	59	68	68-97			
V	GBz 14	R	9-20	25-32	40	50	60	80	105	130	185	-	-		
		t	24-45	45-60	60										
O	PbB	R	10-10	20-20	28	40	50	60	70	80	105	130	-		
		t	22-31	31-39	40	41	42	43	45	46	50	54			
V	PbB	R	5-10	18-30	60	70	85	100	120	140	200	-	-	+	
		t	22-32	32-45	46	47	48	52	56	60	70				
O	PB	R	5-15	30-32	50	70	110	122	150	170-180	-	-			
		t	22-33	33-48	50	52	59	64	68	72-94					
V	PB	R	10-10	20-30	28	45	65	90	122	152	180-200	-	-		
		t	32-36	36-58	40	41	43	47	51	57	61-80				

h) Schmierstoff: faktisiertes Getriebeöl, d/20 0,880, 107E/20 = 15,4E/50 = 2,51E/100, Wp 2.12, m 3.52, VZ 5,1, 0,41% S. - Lagerwerkstoff beim 1. und 2. Lauf Stahl Röchling VCN Rockwell B 100, beim 3. und 4. Lauf Aluminium-Gleitlagermetall Lg-40 (93,5% Al, 6% Fe u.o. 5% Mg).

Öl Lager		 Belastung, Zahl der Plattengewichte													
		1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	
G/P	VCN	15	30	45	60	73	86	96	110	115	-	-	-	-	
	VCN	13	27	43	55	69	78	86	98	107	117	-	-	-	
	Lg-40	3	5	7	13	18	22	27	31	40	51	67	80	85+	
	Lg-40	2	6	14	23	28	31	34	40	46	60	71	80	80+	

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 10: Die Abmessungen der Prüflagen sowie die Übersetzung der Drücke wurden bereits S.1 dieses Berichtes angegeben. Die Berechnung einer tragenden Fläche (üblicher Weise Zapfendurchmesser mal Zapfenlänge) ergäbe im vorliegenden Fall kein brauchbares Bild; auch soll auf die Angabe der spezifischen Flächenpressung verzichtet werden. Der Druck erfolgt zunächst auf einer Berührungsebene, einer Kontaktstrecke von 12,8 mm und ist mit rund 60 kg je aufgelegtem Plattengewicht ganz aussergewöhnlich hoch. Es erfolgt beim Lauf und der fortgesetzten steigenden Belastung Abrieb und die Bildung einer Lauffspur von erfahrungsgemäss 2-3 mm Spurbreite. Die rechnerische Erfassung dieser Vorgänge begegnet beträchtlichen Schwierigkeiten. - Immerhin ist es zulässig, aus Reibungsanzeiger R (kg) und der Belastung P (kg) den Quotienten R/P als dimensionslose Kennzahl zu entwickeln. Setzt man für P den übersetzten Druck ein, so erhält man die Reibungszahl μ ,

$$\mu = R : P$$

Soll aber, nach einem Vorschlag von W. Paul (Oel u. Kohle 1940, 475), P lediglich die Anzahl der aufgelegten Plattengewichte bedeuten, so kommt man zu einer Charakterisierung des Steigungswinkels im Diagramm zwischen R und P ,

$$f = R : P$$

Nun behauptet Paul aufgrund ausgedehnter Versuche im "Versuchsfeld Kraftfahrt der Deutschen Vacuum Oel AG", dass f eine gradlinige Funktion zwischen R und P sei, und dass diese Gerade im Diagramm $R:P$ nur dann einen Knick nach oben erfahre, wenn - unter Umständen lange vor dem endgültigen Verschleissen der Flächen - stärkerer Verschleiss auftritt und den Einfluss des Schmierstoffes überlagere und fortschreitend verdränge. Das ausfarbige Zerkleinerungs- und mit der vorliegenden Arbeit angebotene wird, zeigt, dass diese theoretische durchaus zu begründende Behauptung Pauls praktisch nicht ganz zutrifft. Bei keiner Oelgruppe ist die Relation R zu P geradlinig, ... immer handelt es sich um schwach nach unten durchgekrümmte Kurven, bei denen allerdings das endgültige Verschleissen der Gleitflächen durch einen deutlichen Knick nach oben kenntlich ist. Um diese nicht unwesentliche Korrektur unter Beweis zu stellen, sind aus den bisherigen 10 Versuchsgruppen in den folgenden drei Zahlentafeln die gewonnenen Ergebnisse zusammengefasst.

Versuchsgruppe	Oel und Zusätze	Werte der Reibungskraft R (kg)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Mineralöl, nat.	0	15	25	30	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Synth. Öl (ST)	4	19	26	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3a	Min. Öl + 3 Kinet.	0	16	30	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3b	" " + 3 Kinet.	0	16	30	51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	" " + P Kinet.	0	19	27	37	40	50	52	57	61	121	-	-	-	-	-
11	" " + P "	0	15	27	37	40	50	52	57	61	78	100	119	144	167	-
5	" " + Cl "	0	15	32	45	57	67	78	88	110	136	171	115	-	-	-
6	" " + P+Cl "	0	17	30	48	58	68	79	90	110	125	152	175	215	-	-
10	Schmierfette	0	15	25	38	48	58	69	70	90	115	120	140	-	-	-
10	" + Graphit (kd)	2	0	10	15	24	29	38	41	48	58	80	-	-	-	-
2a	Reitöl	7	15	25	32	40	48	55	61	74	88	100	112	-	-	-
2b	Min. Öl, gefettet	0	15	25	34	42	50	58	68	88	110	135	-	-	-	-
3c	" " + Rektis	3	15	31	44	59	69	82	99	125	152	147	167	-	-	-

001328

- 10 -

Vers. gruppe	Lager Oel	Werte der Reibungskraft R (kg)															
		Belastung P, Zahl der Plattengewichte															
13f	RG Min."	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16			
13f	RG " +P	10	20	35	45	52	60	70	85	100	115	130	140	155	170		
13f	GBz Min.öl	15	22	40	50	60	80	105	130	165							
13f	GBz " +P	10	25	40	50	65	80	100	125	160	180						
13f	PbB Min.öl	10	24	60	70	85	100	120	140	200							
13f	PbB " +P	10	20	22	40	50	60	70	80	105	130						
13f	FE Min.öl	10	25	28	45	55	60	122	152	180							
13f	FE " +P	10	31	50	70	85	110	122	150	170							
13c	Ferrozell Min.öl	..	..	20	44	50	45	44									
13h	Al Min.öl	3	6	10	18	23	27	30	36	43	55	68	80+				

Vers. gruppe	Oel u. Zu- sätze	Werte der Reibungszahl R bei 100															
		Belastung P, Zahl der Plattengewichte															
1	Mineralöl, nat.	30	120	135	164	180	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Synth.öl (PT)	64	152	125	172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3a	Min.öl + S nat.	30	128	176	204	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3b	" " + S katl.	32	72	107	152	180	181	208	242	-	-	-	-	-	-	-	-
4	" " + P katl.	144	152	144	148	147	149	155	156	160	159	165	167	-	-	-	-
11	" " + P katl.	-	120	144	148	151	149	146	144	138	133	131	-	-	-	-	-
5	" " + Cl "	128	152	171	180	183	179	172	176	176	181	195	215	-	-	-	-
6	" " + P+Cl "	90	136	160	192	179	181	180	180	176	167	174	173	-	-	-	-
10	Schmierfette	90	104	133	152	154	173	180	180	184	168	167	-	-	-	-	-
10	" + Graphit (kd)	52	48	53	60	77	77	87	82	77	77	91	-	-	-	-	-
2a	Fettöle	112	120	123	128	128	131	121	122	118	117	114	112	-	-	-	-
2b	Min.öl, gefettet	30	120	135	136	135	133	132	136	141	147	189	-	-	-	-	-
3c	" " + Fektis	48	104	105	176	189	184	187	198	200	170	168	167	-	-	-	-

Vers. gruppe	Lager Oel	Werte für f = R/P															
		Belastung P, Zahl der Plattengewichte															
1	Mineralöl, nat.	6	7,5	8,5	9	10,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Synth.öl (PT)	4	9,5	7,7	10,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3a	Min.öl + S nat.	6	8	11	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3b	" " + S katl.	2	4,5	6,6	8,5	10	11,3	13	15	-	-	-	-	-	-	-	-
4	" " + P katl.	9	8,5	9	9,2	9,2	9,3	9,7	9,7	10	10	10,3	10,5	-	-	-	-
11	" " + P katl.	-	7,5	9	9,2	9,4	9,3	9,1	9	8,6	8,3	8,2	-	-	-	-	-
5	" " + Cl "	8	9,5	10,6	11,2	11,4	11,2	11,1	11	11	11,3	12	13,5	5	-	-	-
6	" " + P+Cl "	6	8,5	10	12	11,2	11,3	11,3	11,2	11	10,4	10,8	10,8	-	-	-	-
10	Schmierfette	6	6,5	8,5	9,5	9,6	10,8	10	11,2	11,5	10,5	10,4	-	-	-	-	-
10	" + Graphit (kd)	2	3	3,8	4,8	4,8	5,4	5,1	4,8	4,8	5,6	-	-	-	-	-	-

Vers. Oel u. Zus.		Werte für $f = R/P$														
Gruppe Stehllager		Belastung P, Zahl der Plattengewichte														
2a	Fettöle	1	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16			
2b	Min.öl, gefettet	7	7,5	7,7	8	8,2	8,4	8,5	8,6	8,7	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,3
2c	" " + Faktis	5	5,5	5,7	5,9	6,1	6,3	6,5	6,7	6,9	7,1	7,3	7,5	7,7	7,9	8,1
Lager Oel																
13f	RG	Min.öl	8	8	8,5	8,8	9	9,7	10	11,9	14	15	12,1	-		
13f	RG	" " + P	10	15	11,6	12	12	13,3	14	14,4	15,8	15	12,9	-		
13f	GBz	Min.öl	15	14	13,5	12,5	12	13,3	14	14,4	15,8	15	12,9	-		
13f	GBz	" " + P	10	12,5	13,5	12,5	13	13,3	14,3	15,6	18	13,3	-			
13f	PbB	Min.öl	10	12	20	17,5	17	16,8	17,1	17,5	20	13,3	-			
13f	PbB	" " + P	10	10	9,3	10	10	10	10	10	10,5	10,8	-			
13f	PB	Min.öl	10	12,5	9,3	11,2	15	15	17,4	19	18	-				
13f	PB	" " + P	10	15,5	16,8	17,5	22	20,3	21,4	2,2	-					
13c	Ferrozell	Min.öl	..	..	8,7	11	10	7,2	6,3	-						
13h	Al	Min.öl	3	3	3,5	4,5	4,6	4,5	4,3	4,5	4,3	4,6	4,9	5,0	-	

Die Abbildung 3.22 R/P zeigt deutlich die bei allen Oelen nach unten leicht durchgebogene Kurve. Im übrigen erkennt man, dass:

- die schwefelhaltigen Oele (Vers. Gruppe 2a, 2b, 2c) mit der Belastung den steilsten Reibungsanstieg nehmen, eine Wahrnehmung, die nicht übersehen werden sollte. Man sieht ferner, dass
- auch die chlorhaltigen Oele mit der Belastung steil ansteigen, die Reibungsanzeige liefern und dass
- die phosphorhaltigen Oele (Vers. Gruppe 4 u. 11) eine Mittelstellung einnehmen.
- Die fetthaltigen, besonders aber die fettreichen Oele zeigen sehr günstiges Reibungsverhalten (Vers. Gruppe 2a, 2b) und in besonderem Masse überrascht der Effekt
- eines kolloidispersierten Natriumseifen-Schmierfettes (V.G. 10).

Nicht uninteressant ist auch das Ergebnis der Abbildung 3.22, p/P. Man fühlt sich versucht, bei allen Oelen drei Zustände gegenüber den Laufeigenschaften zu unterscheiden:

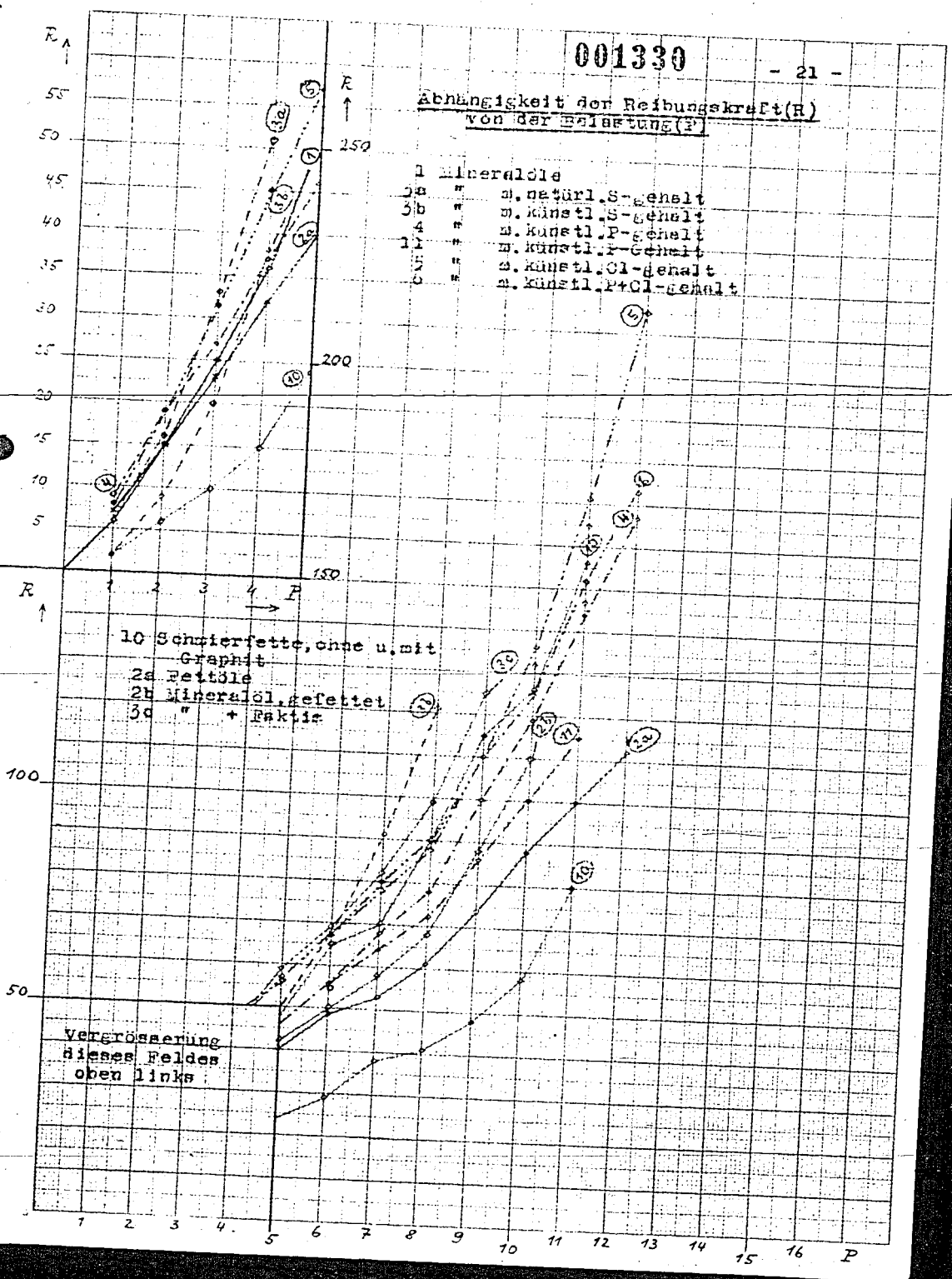
- Das Einlaufen unter Last mit steilem Anstieg der Reibungszahl bis auf einen für das jeweilige Oel oder Oelgemisch charakteristischen Wert,
- Das Laufen unter Last in einer für alle aktivierten Oele ziemlich langen Zone mit nahezu konstanter Reibungszahl, und schließlich
- das Laufen unter Überbelastung mit nunmehr zweifellos starkem Abrieb und endlichem Verschleissen der Gleitflächen. Hier zeigen sich bei Oelen, deren Filmfestigkeit durch die herrschenden Versuchsbedingungen überwunden wird, sehr hohe Reibungszahlen. Bei "Höchstdruckölen" aber, aktiviert mit Phosphor (V.G. 4 u. 11) oder Chlor und Phosphor (V.G. 6), insbesondere aber Fettöl (V.G. 2a) bleibt auch die Reibungszahl in diesem Gebiet noch konstant und zwar: bei Fettölen etwa 0,110, bei P-haltigen Oelen im Mittel 0,150, bei faktisierten Oelen 0,170, bei Cl+P-haltigen Oelen 0,175, während bei nur chlorhaltigen Oelen die Reibungszahl über 0,200 ansteigt und damit fortgesetzten Verschleiss zu erkennen gibt.

001330

- 21 -

Abhängigkeit der Reibungskraft(R)
von der Belastung(P)

- 1 Mineralöle
 - 2a " " a. natürl. S-gehalt
 - 3b " " b. künstl. S-gehalt
 - 4 " " c. künstl. P-gehalt
 - 11 " " d. künstl. P-gehalt
 - 5 " " e. künstl. Cl-gehalt
 - 6 " " f. künstl. P+Cl-gehalt



001331

- 22 -

Reibungszahl ($\mu = R/P$) und Belastung

1 Mineralöle

3a " n. natürl. S-gehalt

3b " n. künstl. S-gehalt

4 " n. künstl. P-gehalt

11 " n. künstl. P-gehalt

5 " n. künstl. Cl-gehalt

6 " n. künstl. Cl+P-gehalt

10 Schmierfett, graphitisiert

2a Fettöle

2b Mineralöl, defettet

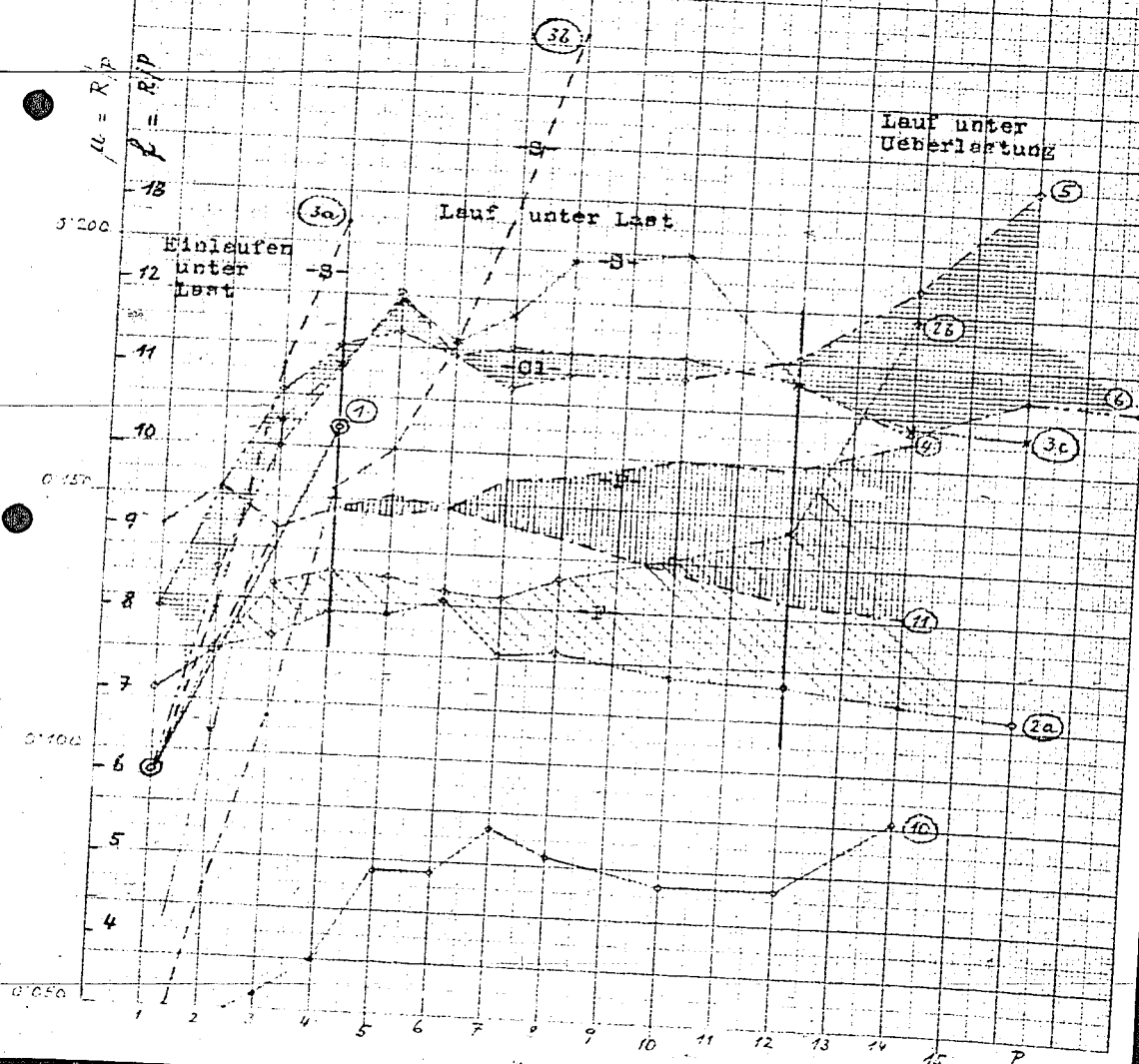
2c " + Fektis

-S- schwefelhaltige Öle

-Cl- chlorhaltige Öle

-P- phosphorhaltige Öle

-F- fetthaltige Öle



Die Beziehung f/P ist als zweite Messstabelle in der Abbildung S. 22 nebeneinander gestellt.

Im übrigen ist bei Versuchsgruppe 13 noch folgendes bemerkenswert:

- a) Der Wechsel der Stahlqualität als Lagerwerkstoff (Röchling VCH, Röchling RFFh, Klaus) ist auf die Ergebnisse R bei Konstanthaltung des Schmiermittels (Nitrobenzol-Raffinat mit HD-Zusatz) von entscheidendem Einfluss; das gleiche gilt von Schlässe gezogen werden sollen. Bei
- b) hat ein Versuch mit Ferrozell als Lagerwerkstoff bedingtes Interesse. Unter
- d) ist bemerkenswert, dass ohne Zweifel das Ankerungsvermögen der Schmierstoffe (und damit wohl auch die "Schmierfähigkeit") an hochpolierten Gleitflächen geringer ist, als an geeignet gefertigten und gepassten, dann aber durch Sandstrahlmattierung aufgerauten Gleitflächen. Ueberraschend ist unter
- e) die Beobachtung, dass die Wirksamkeit gewisser HD-Zusätze (auch wenn sie nicht wie niedere Chlorkohlenwasserstoffe leicht flüchtig sind) mit der Laufdauer zu schwinden scheint. Die Temperatur der Öelfüllung ist dabei weniger aufschlussreich, als die an den Kontaktstellen, und es soll später versucht werden, die hierbei auftretenden Verhältnisse mittels Thermocolor-Farben wenigstens annähernd klarzustellen. Unter
- f) ist schliesslich der Einfluss von Nichteisen-Metallen als Lagerwerkstoff gegenüber Stahl als Lagerkörper deutlich gemacht. Der Wechsel der Lagerwerkstoffe ist für den Reibungs- und Schmierzustand vereinzelt noch kontrastreicher als der Wechsel zwischen aktivierten und nicht-aktivierten Schmierstoffen. Bei den Bronzen erfolgt auch kein eigentliches Verfressen, sondern ein fortgesetzter Abrieb, der sich mit zahllosen flitterigen Teilchen im Öl suspendiert. In einzelnen Fällen zeigt das nicht-aktivierte Öl V(RG 8 als Lager) dieselbe Filmfestigkeit wie das aktivierte Öl O, und zudem auch geringere Reibungswerte R (Lagerwerkstoff RG 8 und PB); in anderen Fällen (Lager PbB) zeigt das aktivierte Öl wieder konstant niedere Reibungswerte. Die Versuche sind vorderhand nicht zahlreich genug, um zu weiteren Überlegungen zu berechtigen. - Als sehr günstiger Werkstoff erweist sich
- h) Aluminium-Gleitlagermetall, im Beispielsfalle LG-40, worauf M. v. Schwarz in seinen zahlreichen Entwicklungsarbeiten schon hingewiesen hat. Die Reibungsanzeige liegt bei LG-40 aussergewöhnlich niedrig. Es wird notwendig sein, zur Beurteilung dieser Verhältnisse, auch massgebliche Kenngrößen für das Verhalten metallischer Werkstoffe zu Rate zu ziehen, was naturgemäss das Bild über Schmierung und Schmierfragen kompliziert.

14. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe werden einige Öle in Prüflagern gefahren, die vorher in vorgeschriebener Weise entfettet und dann "gebondert" bzw. "atramentiert" wurden. Die Behandlung der Prüflager erfolgte im besonderen Fall mit "Atramentol K" der IGF, einer mutmasslich nitratthaltigen Zinkphosphatlösung.

Bei Versuch 14 a, b wurde ein hydriertes Braunkohlenteer-Schmieröl der Brabag (ZR 50 mit d/20 0,877, n_d/20 1,4856, 10, 4E/20 = 2,76E/50 = 1,56E/100, Wp 2.11, m 3.90, Farbe n. Ostw. 3) zuerst in unbehandelten, dann in atramentierten Prüflagern gefahren.

001333

Bei Versuch 14c,d wurde als Bohreröl blank, (also nicht vermischt mit Wasser) in unbehandelten, die Atramentierten Lager aufgetragen; dieses Bohreröl wurde selbst hergestellt aus 27% Bohreröl "Trupon IL 20 A", 30% Spindelöl-Isobutyl und 43% Wasser. - Bei Versuch 14-e,f wurde statt des Bohreröls lediglich ein Öl Bohreröl 140, welches aus 32% "Trupon IL 20 A", 68% Mineralöl Bohreröl ZR 50 und 2% Wasser hergestellt wurde.

In der folgenden Emulsionsstellung bedeutet: die Belastung, Anzahl der Plättengewichte, R die Reibungsaufzugskraft in kg, t der Temperaturanstieg der Gleitfläche und t/min der auf die Zeiteinheit bezogene Temperaturanstieg. Das Zeichen "x" bedeutet, dass die Prüflager entweder durch Verschleissung festgelaufen waren oder die Hauptkammer des Prüfzappens abgewirrt wurde; das Zeichen "-" bedeutet, dass die Prüflager zwar nicht verschoren waren, aber doch mehr oder minder starke Verschleisserscheinungen aufwiesen; das Zeichen "x" bedeutet auf erhaltenen Laufflächen.

Modell 14a	14b	14c	14d	14e	14f
P	Strament	Werte für R	Strament	Strament	Strament
1	0	0	0	1	0
2	3	7	10	2	2
3	7	13	15	3	2
4	21	25	27	5	12
5	30	30	33	13	22
6	44	42	47	16	31
7	52	58	62	43	34
8	71	65	84	51	51
9	74	80	88	200	58
10	80	85	102	x	72
11	90	95	122		78
12	112	120	131-115		105
13	122	122	140-128		109
14	132	130	114-120		108
15	143	123	131-138		115
16	155	127	130-108		122
17	200	-	218-200		126-135
18	x	-	-		-
dt(°C)	17-45	24-32	20-22	18-53	22-26
t/min(°C)	3,4	3,7	4,1	3,4	3,4

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 14: In allen drei Fällen erwies sich die Atramentierung der Gleitflächen für die Schmierung als nützlich, wenn auch teilweise bei niedriger Belastung etwas höhere Reibungswerte in Erscheinung treten. Die Atramentschicht vermittelt das bessere Haften des Schmierstoffes an den metallischen Flächen. - Notwendig wird es sein, durch zeitlich länger ausgedehnte Laufversuche die Haltbarkeit der Atramentschicht zu erproben.

15. Versuchsgruppe

In der Versuchsgruppe 15 wurden verschiedene wässrige Emulsionen ohne und mit Atrament-Behandlung der Prüflager erprobt und zwar: Versuch 15a, 1. Viskose Emulsion aus 70 Teilen Bohreröl (aus 34% Trupon A, 64% Bohreröl ZR 50 u. 2% Wasser) mit 30 Tln Wasser, - Versuch 15c, d. dichtweisse Emulsion aus 50 Teilen d. des Bohreröls mit 50 Teilen Wasser, - Versuch 15e d. dichtweisse Emulsion aus 50 Teilen Bohreröl (2% Emulgator Trupon A, 71% Bohreröl ZR 50 u. 2% Wasser) mit 50 Teilen Wasser, sowie Versuch 15f, blau-

001334

- 25 -

graue Emulsion aus 25 Teilen Bohrol (27% Trupon A, 71% Brabag-Oel, 2% Wasser) mit 0,5% wasserdispergierbarem Kolloidgraphit (Hydrokol-
lag, Riedel de Haen AG) und 74,5 Teilen Wasser, - Versuch 15g,
milchweisse Emulsion aus 10 Teilen Bohrol (34% Trupon, 64% Brabag-
Oel, 2% Wasser) und schliesslich Versuch 15h, i, milchweisse Emul-
sion aus 10 Teilen aktiviertem Bohrol "v/Ka 1" (aus 30% Trupon A,
60% Spindelöl mit 8% Trikresylphosphat und 2% Wasser) und 90 Teilen
Wasser.

Modell 1930	15a	15b	15c	15d	15e	15f	15g	15h	15i
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	atram	atram	atram	atram	atram	atram	atram	atram	atram
P	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1	2	1	0	1	0	0	0	1	0
2	0	16	2	3	0	2	0	0	0
3	9	20	6	5	16	3	4	5	4
4	10	29	12	17	18	13	13	8	13
5	25	41	28	32	27	19	23	20	19
6	42	57	50	41	-41	20	28	31	29
7	57	75	64	56	54	20	35	33	31
8	73	98	78	71	58	31	46	47	49
9	240	107	88	80	76	28	48	50	51
10	x	105	92	105	78	32	64	64	60
11		112	110	101	80	33	72	68	69
12		240	240	111	90	36	99	81	81
13		x	x	137	94	37	94	85	90
14				200	104	39	95	100	100
15				x	117	40	101	104	100
16					127	34	200	117	104
17					136	36	x	118	112
18					-	+		123	119
19								+	+
20								+	+
dt(°C)	25-31	25-34	20-36	22-47	25-40	20-38	20-48	22-44	30-47
t/min(°C)	1,5	1,8	2,7	3,5	2,5	1,4	2,8	2,4	2,0
pH-Wert	7.2	7.2	7.1	7.1			6.9	6.3	6,3

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 15: Man könnte rein gefühlsmässig
der Erwartung sein, dass die Schmierkraft von Emulsionen umso bes-
ser sei, je geringer der Wasseranteil in ihnen ist. Diese Versuchs-
reihe erweist das Gegenteil, und man findet nun auch sehr rasch
zu einer Erklärung, indem man annehmen muss, dass die Schmierfähig-
keit von Emulsionen mit dem Grade ihrer dispersen Aufbereitung
zunimmt. Erwartungsgemäss müsste dieses Schmierverhalten von Emul-
sionen mit deren optimaler Haltbarkeit kulminieren. Die optimale
Haltbarkeit derartiger Mineralöl-Emulsionen ist erfahrungsgemäss
bei 5-10% Oelanteil in der Emulsion gegeben, und tatsächlich
wächst auch die Schmierfilmfestigkeit in dieser Richtung. Die
Atramentierung der Prüflager hat einen durchwegs günstigen Er-
folg, denn sie begünstigt das Ankerungsvermögen der Emulsion an
den Metallflächen. Ueberraschend ist in diesem Zusammenhang der
Effekt von wasserdispergierbarem Kolloidgraphit (Versuch 15f), man
ist geneigt, aus diesem Resultat günstige Voraussagen zu machen
für die Verwendung graphitierter Emulsionen beim Tiefziehen atra-
mentierter Bleche oder Stadien. Beim Vergleich der Versuche 15g
und 15h, i fällt auf, dass sich die Aktivierung des Mineralölbe-
standteils durch Trikresylphosphat deutlich zur Geltung bringt.
Dies ist nur möglich, wenn im Schmiervorgang zwischen den im
Bereich fortgesetzten Verschleisses wirkenden Flächen die Oel-
teilchen (von meist nicht über 1-3 μ) aufgeschlossen werden und
an den Gleitflächen zur Wirkung kommen. Es dürfte sich aus dieser

Ueberlegung heraus die Folgerung als berechtigt ergeben, für schwerere Zerspunnungsarbeiten (etwa anstelle von nicht mit Wasser mischbaren Schneidölen) aktivierte Mineralöl-Emulsionen einzusetzen.

10. Versuchsgruppe

In dieser Versuchsgruppe wird das Bohrmittel H₀ der IGF (Kogesin-Sulfonat auf dem Wege über das Sulfochlorid) blank und in verschiedenen Wassereinstellungen betrachtet, sowie andere Metallbearbeitungs-Emulsionen und Geschwebe-Dispersionen in hoher Verdünnung und mit Zusätzen geliefender Verdickungsmittel ("Colloresin" IGF, "Tylose" Kalle & Co). Versuch 10a verwendet H₀ blank im unbehandelten Lager, - Versuch 10b eine Emulsion von 10% H₀ mit 90% Wasser im unbehandelten Lager, - Versuch 10c dieselbe im stramentierten Lager, - Versuch 10d eine 2%ige Dispersion von Kolloidschwefel "Cosan" (Riedel-de Haen) in 98% Wasser, bei Benutzung eines unbehandelten Lagers, - Versuch 10e eine 2%ige Dispersion von Kolloidgraphit "Hydrokollag" (Riedel-de Haen) in Wasser, mit unbehandeltem Lager, - Versuch 10f eine Kombination: 8% H₀, 2% Cosan, 90% Wasser, stramentiertes Lager, - Versuch 10g eine Kombination: 8% H₀, 2% Hydrokollag, 90% Wasser, stramentiertes Lager. - Bei Versuch 10i kommt im unbehandelten Lager eine Quellung der 1%-igen wasserlöslichen Cellulose "Colloresin" der IGF zur Anwendung, - bei Versuch 10k die Kombination von 90 Teilen dieser 1%-igen Cellulose-Quellung mit 10% Bohrröl, im unbehandelten Lager. - Versuch 10l zeigt die 2,5%ige Emulsion des mit Trikresylphosphat aktivierten Emulsionsöles "V/Ka 1" (vgl. Seite 25) in Wasser, Lager unbehandelt, - Versuch 10m eine 2,5%ige H₀-Lösung, Lager unbehandelt, - und Versuch 10n eine 3%ige Schmierseifenlösung, Lager unbehandelt. - Es kommen nunmehr 1%-ige Emulsionen zur Erprobung und zwar Versuch 10o 1% "V/Ka 1", Lager unbehandelt. [Fortsetzung Textteil Seite 27]

Modell 1936	10a	10b	10c	10d	10e	10f	10g	10h
P	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1	2	3	4	5	6	7	8
4	3	9	16	11	48	3	1	2
5	14	19	23	20	55-60	22	10	9
6	26	28	36	30	80-100	42	22	15
7	28	33	52	36	140-230	47	25	20
8	45	43	58	47	250	62	42	26
9	48	52	74	55	-	68	40	28
10	62	54	72	59		95-115	55	39
11	66	71	93	67		130-140	60	41
12	71	72	94	79		160-165	73	45
13	100	76	99	84		172-168	78	50
14	104	106-119	119	97		195-185	100-95	63-59
15	109	131-167	121	102		198-182	105-140	75-69
16	123	179-172	126	105		200-192	115-145	80-75
17	128	178-159	153	114		203	130-150	82
18	+	-	+	129		219	140-150	85
19				174-184		223	173	92
20						223-210	+	+
						230-250		
dt(°C)	22-53	29-58	20-46	24-46	31-44	24-63	33-56	33-45
t/min(°C)	3,7	3,4	3,0	2,6	3,8	3,9	2,4	1,3
pH	-	7,0	7,0	-	6,0	8,3	6,3	-

Versuch 16p 1% H₂O, Lager unbehandelt, - Versuch 16q 1% Schmierseifenlösung, Lager unbehandelt, - Versuch 16r 1% Schmierseifenlösung, Lager atramentiert, - Versuch 16s 1%ige Bohrerl-Emulsion, Lager unbehandelt und Versuch 16t 1%ige Bohrerl-Emulsion, Lager atramentiert, - Bei Versuch 16u kam in unbehandeltem Lager lediglich eine Dispersion von 0,5% Hydrokollag in Wasser zur Anwendung und bei Versuch 16v die gleiche Graphit-Dispersion in atramentiertem Lager. - Versuch 16w zeigt eine Kombination von 1% H₂O, 0,1% Colloresin, Rest Wasser, Lager unbehandelt, - Versuch 16x die Kombination 1% H₂O, 0,4% Colloresin, Rest Wasser, Lager unbehandelt und - Versuch 16y 1% V/Ka 1", 0,4% Colloresin, Rest Wasser, Lager unbehandelt. - Bei Versuch 16z wurde ein unbehandeltes Prüflager schliesslich nur in einem vorschriftsmässigen Atrament-Beschleuniger u. 91,2% Wasser gefahren.

Modell 1936 . 16i . . 16k . . 16l . 16m . 16n

P	.....	Werte für R	.....		
2	15-18	2	2	2	1
4	50-55	10	15	19	10
5	78-95	22-25	27	32	19
6	115-250	39	41	39	21
7	x	61-64	52	47	27-25
8		68	64	55	28
9		100-250	76	65-61	31-28
10		x	86	70-67	36-32
11			97	78-73	37
12			105	85	45-40
13			110-106	93-89	47-44
14			109-105	100-92	51
15			112-109	103	57
16			118	114	60
17			125	126	67
18			130	140-150	74
19			136	168-162	85-79
20			142	179-181	100-91
dt(°C)	18-24	25-28	22-54	18-46	23-39
t/min(°C)			3,1	2,8	1,6
pH			6,9	6,9	9,3

P	16 o	16p	16q	16r	16s	16t
2	2	2	2	atram.	-	atram.
4	6	4	7	7	1	1
5	14	8	9	21	5	7
6	18	10	11	28-25	8	12
7	24	9	15	31	9	18
8	33	11	17	35-32	15	24-28
9	35	15	20	41	22	34
10	38-30	20	22	50-65	25	40
11	34-40	20	25	80	40-90	49
12	43	21	29	85-80	140-245	56-65
13	55	24	32	81	x	100-115
14	65-70	28	35	90	-	140-245
				99		x

(Fortsetzung ./.)

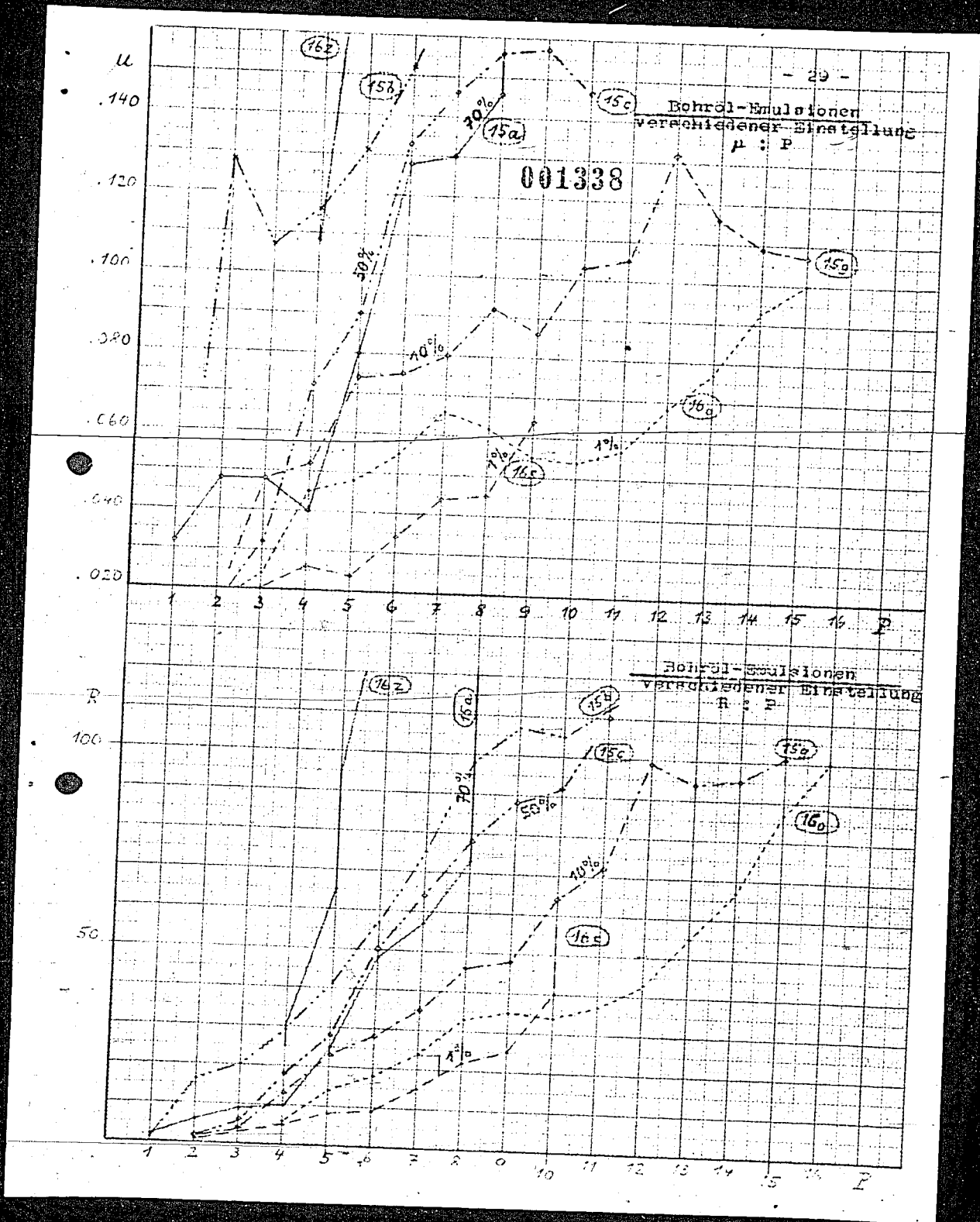
001337

- 28 -

Porta.	16 o	16p	16q	16r	16s	16t
P	-	-	-	atram.	-	atram.
15	85-89	30	38	106-109	-	-
16	103-98	35-40	40	120-130	-	-
17	125	49	45	140-155	-	-
18	125-250	49	48-43	180-245	-	-
19	-	55-58	52	x	-	-
20	-	58-60	55-60	-	-	-
dt(°C)	25-38	22-32	11-27	20-43	20-24	22-28
t/min(°C)	1,7	1,0	1,6	2,6	-	-
pH	-	-	8,3	8,3	6,8	6,8

P	16u	16v	16w	16x	16y	16z
2	-	atram.	-	-	-	-
4	4	0	6	1	4	0
5	30-37	20	10	6	15	25-30
6	55-59	33	13	8	25	35-45
7	75-80	50	18	11	30	150-250
8	90	64	20	15-20	42-50	20-250
9	120-125	79-75	22	24	69	-
10	185-195	83-90	27	31	85-100	-
11	220-210	90	33	41	245	-
12	245	110-115	37	48-43	x	-
13	+	140-150	41	47	-	-
14	-	170-175	42	51	-	-
15	-	190-180	45	60-80	-	-
16	-	182-185	46	245	-	-
17	-	194-175	52-55	x	-	-
18	-	189-193	57	-	-	-
19	-	215-220	61	-	-	-
20	-	245	66-62	-	-	-
dt(°C)	22-50	21-55	19-29	16-23	19-26	-
t/min(°C)	5,1	3,6	1,0	1,0	1,3	-

Erkenntnisse aus Versuchsgruppe 16: Das Bohrmittel H₂O der IGF hat in reinem Zustande eine hohe Filmfestigkeit und zeigt Reibungswerte, die sogar niedriger liegen wie die der fetten Öle. Die Laufflächen der Lager sind nach hoher Beanspruchung blank und riefenfrei. Eine 10%ige H₂O-Lösung in Wasser zeigt ein ähnlich günstiges Verhalten. Verwendet man bei 10%iger H₂O-Lösung ein stramentiertes Lager, so liegt die Reibungsanzeige bei niedriger Belastung merklich höher, was durchaus erklärt werden kann. Erstaunlich ist, dass sich die 5%ige H₂O-Lösung noch günstiger verhält als das blanke Produkt und die 10%ige Lösung. - Wider Erwarten befriedigt die 2%ige Dispersion von Kolloidschwefel (Cosan) in keiner Weise. Wesentlich günstiger verhält sich wasserdispergierbarer Kolloidgraphit (Hydrokollag) in gleicher Konzentration. - Ueberraschend ist aber, dass Kolloidschwefel in Kombination mit wasser-emulgierbaren Fettstoffen nicht nachteilig wird; es scheint sogar, dass er in der Kombination: 8% H₂O, 2% Cosan (vgl. 16g) gegenüber 10% H₂O (vgl. 16c) bei hoher Belastung gewisse Vorteile bringt, denn die Reibungsanzeige liegt merklich niedriger und die Prüflager sind nach dem Lauf mit Ueberlastung völlig riefenfrei, was bei 10%iger H₂O-Lösung allein nicht der Fall ist. Ungleich günstiger aber verhält sich die Kombination: 8% H₂O, 2% Hydrokollag; die Reibungswerte bleiben aussergewöhnlich niedrig, die Laufflächen des Prüflagers bleiben in den besten Zustände; die Bonderung ist vorteilhaft.



Wasserquellbare Cellulose ist, wie nicht anders zu erwarten, kein Schmiermittel; auch das Schmierverhalten einer 10%igen Bohrlösung, deren Viskositätssteigerung in gewissen Fällen nützlich wäre, wird durch dieses und ähnliche Verdickungsmittel nicht günstig beeinflusst. - Die 2,5%ige Emulsion des aktivierten Emulsionsöls "V/Ka 1" verhält sich gleich günstig einer ebenso konzentrierten H₂O-Lösung; bei hohen Drücken zeigt die aktivierte Emulsion sogar niedrigere Reibungswerte. - Von unerreicht günstigem Schmierverhalten ist eine 5%ige Schmierseifenlösung, und hier finden die Erfahrungen alter Praktiker beim Draht- und Blechziehen ihre Bestätigung, denen zufolge Seifenlösungen nicht ohne weiteres bei Ziehvorgängen ersetzt werden können. Immer wieder zeigen sich Seifenlösungen den gewöhnlichen Bohrlösungen deutlich überlegen, was in der Standzeit der Matrizen und der Oberflächenfertigung der Stadien unverkennbar zum Ausdruck kommt.

In den beiden Abbildungen Seite -29- ist dargestellt, dass bei Bohrlösungen (in gleicher Weise natürlich auch bei H₂O-Lösungen) mit dem Grade der Verdünnung die Reibungswerte absinken; 1%-ige Dispersionen haben ersichtlich noch niedrigere R- und μ -Werte, als 10%ige Dispersionen. Man könnte geneigt sein, zu sagen, dass sich hierbei eben die Kühlwirkung des Wassers als wesentlich erweise, denn die Schmierwirkung des Oeles. Diese Meinung lässt sich aber sofort widerlegen, denn bei einer 1%igen Cellulosequellung in Wasser ist die Kühlwirkung des Letzteren in gleicher Weise vorhanden; es lässt sich bei diesem Ansatz aber weder niedere Reibungsanzeige, noch Filmkraft des gelösten Stoffes entwickeln. So bleibt für das günstige Schmierverhalten hochverdünnter Bohrlösungen, besonders wenn sie, nach einer Idee des Berichterstatters, aktiviert sind, (vgl. 150) nur die Erklärung über, dass die Öltröpfchen-Aufbereitung auch bei dieser Verdünnung noch ausreichende Schmierung gewährleistet; allerdings ist die Filmfestigkeit einfacher Bohrlösungen (vgl. 168) beschränkt. Vergleicht man die Abbildungen Seite -29- mit denen von Seite -21- und -22-, welche das Schmierverhalten nicht-wassermischer Oele darstellen, so findet man, dass die R- und μ -Werte der Emulsionen wesentlich niedriger liegen als die der blanken Oele. In der Praxis der Metallbearbeitung findet sich für dieses Ergebnis vorerst noch keine Parallele. Ein besonders interessantes Bild gibt die Versuchsreihe 160-t. mit dem Vergleich 1%iger Emulsionen untereinander. Die Filmfestigkeit der 1%igen einfachen Bohrlösung (168) ist mit 11P beschränkt; dieselbe ist mit 18P bei einer aktivierten Bohrlösung (169) ganz wesentlich höher. Allerdings zeigt sich bei hoher Belastung auch hier ein starkes Ansteigen der Reibungswerte, sodass die 1%ige H₂O-Lösung diesbezüglich günstiger abschneidet. Mit der Letzteren aber ist der Endzustand der Gleitflächen kein erfreulicher mehr, denn Riefenbildung an Zapfen und Lagerhälften ist bei Versuch 169 unverkennbar. Den besten Effekt hat auch hier die 1%ige Seifenlösung (169). Die Reibungsmomente bei 1%igen Emulsionen und Gleitflächen von hoher Feinbearbeitung sind hier aussergewöhnlich niedrig. Sobald man diesen Feinbearbeitungszustand durch Atramentierung aufhebt, steigen die Reibungswerte ganz beträchtlich an (vgl. 169 gegenüber 169), aber bei Schmierstoffen oder Schneidflüssigkeiten mit unzureichender Filmfestigkeit bzw. Haftvermögen, ist die Atramentierung oder eine ähnliche Oberflächenbehandlung der Gleitflächen nützlich (vgl. 164 gegenüber 168).

Die Atramentierung hat auch einen ersichtlich günstigen Effekt, wenn man nur wässrige Kolloidgraphit-Dispersionen (vgl. 16u, 16v) in Anwendung bringt. - Aus den Versuchen 16w-y ist zu erkennen, dass "Verdickungsmittel" für Emulsionen, wie "Colloresin" (IGF), "Lete-koll" (IGF), "Colloperol" (IGF) und die verschiedenen "Tylose"-Marken (IGF/Kalle & Co) nur bei hoher Verdünnung den Schmiereffekt von Mineralöl-Emulsionen, Typ Oel-in-Wasser nicht beeinträchtigen. - Interessanter wurde, diese Versuchsgruppe beendend, ein Versuch nur mit vorschriftsmässig eingestellter Atramentierbad-Lösung als "Schmiermittel" gefahren, da schon mehrfach mit freppendem Erfolg Sonder- und Atramentiersalz-Lösungen als Schneid-Flüssigkeiten bei der Metallzerspanung erprobt wurden. Das Ergebnis hier befriedigt nicht; das Prüflager lief unter lauten Kreisentwicklung, allerdings ohne endgültig zu verfressen; in Zapfen- und Lagerflächen hatten sich tiefe Laufspuren eingegraben.

Zum Abschluss dieses Berichtes, sei kurz darauf verwiesen, dass es notwendig ist, Zapfen und Prüflager vor und nach dem Verlogischen Kontrolle zu unterziehen.

Sofortne Stahlzapfen und Stahlager nicht miteinander verfressen und die Schmierstoffe (Mineralöle bis zu begrenzter Belastbarkeit, Fettsäure bis zu hoher Belastung) frei sind von chemisch wirkenden Grenzflächenzusätzen, zeigen sich in den Lagerhülften schmale, blank gefahrene Laufspuren von 2-3 mm Breite in Achsrichtung. - Beim etwaigen Verschweissen unter Überlastung solcher Stahllager wird Material aus den Lagerhülften bis zu 1 mm Rillentiefe herausgerissen und wulstförmig an dem Zapfen festgeschweisst; dass lokal hierbei enorme Reibungstemperaturen auftreten, ist ohne weiteres klar.

Von den chemisch wirkenden Zusatzstoffen erzeugen organische Phosphor-Verbindungen einen bläulichen Laufspiegel; die Prüflager verfressen hierbei nicht, es könnte sich um Anlauffarben handeln, gegebenenfalls auch um eine irisierende Schicht organischer Fe-P-Verbindungen. Dieser Laufspiegel ist rotsicher. K.O. Müller (Zell u. Kohle 1958, 457) hat bei seinen Laufversuchen mit gekapselten Getrieben im verlustlos gesammelten Oel bei Hochdruckweise beträchtliche Steigerung des Aschegehaltes der Öle nachgewiesen. Es scheint also, dass P-Zusätze in Schmierstoffen nur das Verschweissen gleitender Flächen unter Überlastung verhindern; nicht aber den Abrieb derselben, zumal anzunehmen ist, dass beispielsweise Trikresylphosphat durch lokale Überhitzung in Phosphorsäure und Kresol gespalten wird und mit beiden Spaltstücken kontinuierlich korrodiert.

Hochdruckzusätze auf Schwefel-Basis erzeugen stets eine Schwärzung der Laufflächen der Zwerglager in der Almen-Wieland-Maschine, sofern der Schwefel irgendwie aktiv ist. Diese Schwärzung wird nicht beachtet bei Mineralölen, die von Natur auf schwefelhaltig sind, und, wie bekannt, den Schwefel auch meist in der inaktiven, nicht-korrodiierenden Form enthalten. In der Merksapten-Bindung, in faktis, aber auch als elementarer Schwefel wird er (um mit Blok zu sprechen) durch die "Temperaturblitze" der einklinkenden Gleitflächenhocker verflüssigt und derart aktiviert, dass er auf den Gleitflächen ausgesprochene Sulfidschichten entwickelt. Es ist anzunehmen, dass die Sulfidschichten fortschreitendem Verschleiss und fortschreitender Aschbildung unterliegen. Selbst bei Kolloidschwefel in wässriger Dispersion ist eine

Sulfidierung der Laufräder erkennbar; die Sulfidierung der Gleitflächen wird sofort deutlich, wenn elementarer Schwefel mit organischen Substanzen, also nicht-wassermischbarem Öl, aber auch emulgierbarem Öl (Bohröl) oder Emulgatoren ("H₂" usw.) kombiniert ist. Sulfidschichten schützen bei Stahl vor atmosphärischer Korrosion, auch wenn nur S-Wasser-Dispersionen oder S-haltige, wässrige Emulsionen zur Anwendung kamen.

Chlorkohlenwasserstoffe der mannigfaltigsten Art oder andere chlorierte organische Verbindungen als Schmierstoffzusätze vertragen sich bei den getauchten Prüflägern spätestens nach wenigen Wochen Lagerzeit durch unverkennbare Rostspuren, es wird demnach berechtigt sein, den Gebrauch derartiger Zusätze auf jene Fälle der Metallbearbeitung (Zerpannung und spanlose Formung) zu beschränken, die eine Nachbearbeitung erfordern, sodass die Frage der Korrosion auf bearbeiteten Werkstücken von untergeordneter Bedeutung ist. Auf Cl-Zusätze in Hochdruckschmiermitteln für Getriebe und hochbelastete Lager wird man verzichten müssen.

Grasnitrierte wässrige Dispersionen hinterlassen auf den Prüflägern ebenfalls eine deutliche Schwärzung.

Die Atramentierung der Prüfläger bewirkt die bekannte Grauschwarzverfärbung und Mattierung auf Stahl und Eisen.

Es wird nicht uninteressant sein, bei künftigen Messungen zur Feststellung der Temperaturzonen in den Prüflägern die sog. "Thermocolor-Farben" zur Anwendung zu bringen. An den Stellen fortgesetzten örtlichen Verschleißes wird eine Temperaturmessung natürlich auf diese Weise nicht möglich sein. Jedenfalls hat die Messung der Ölbad- oder Emulsionstemperatur solange nicht viel Sinn, solange es nicht möglich ist, die Wärmestrahlung des Prüfgefäßes entsprechend abzusichern. Aus diesem Grunde sind die diesbezüglichen Ergebnisse in der Besprechung derselben nicht ausgewertet worden.

+++++

W. H. Dünning

T_{2,5}

2. Ausfertigung

114

Institut für die Materialprüfungen des Maschinenbaues

Staatliche Materialprüfungsanstalt

an der

Technischen Hochschule Stuttgart

001342

Prüfungsbericht.

Antragsteller: Oberkommando des Heeres (Heereswaffenamt Wa Prüf 6 (IV b)
Berlin - Charlottenburg 2
Jebensstrasse 1

Gegenstand: Zahnradversuche bei Oelsumptemperaturen von 150°C.

Datum des Berichts: 5. August 1944.

Auftrag M 10580

9 Textseiten.

5 Beilagen.

ausgefertigt: 2 x Oberkommando des Heeres - Wa Prüf 6 (IV b) mit Chemisch-
Technische Reichsanstalt.
1 x Reichsverkehrsministerium, Abt.K, Berlin,
1 x Reichsminister für Rüstung und Kriegsproduktion - Kraft-
fahrzeugkommission, Forschungskreis 5 -
z.Hd.v. Herrn Dipl.-Ing. B o k e m ü l l e r.
5 x Herrn Dipl.-Ing. B o k e m ü l l e r i.Firma Daimler-Benz
A.G., Gaggenau.



Stuttgart, den 5. August 1944.

001343

An das

Oberkommando des Heeres
Heereswaffenamt
Wa Prüf 6 (IV b)

Berlin - Charlottenburg 2
Jebensstrasse 1.

Betreff: Kriegsauftrag Nr. SS 0015-8734/43 -
Hitzebeständigkeit der Getriebschmierstoffe
unter Einbeziehung der neuen ungefetteten Getriebeöle.
3. Bericht: Zahnradversuche bei Oelsumpftemperaturen
von 150°C.

Unser Zeichen: M 10580
Gz/Pr.

Gemäss Ziffer 1) des Abschnittes VI unseres 1. Berichtes vom 9.5.1944 wurden mit verschiedenen Getriebeölen der Wehrmacht (GÖW SE/50) Zahnradversuche bei gleichbleibender Oelsumpfemperatur von rd 150°C durchgeführt, um festzustellen, ob und inwieweit dabei eine Oelalterung, insbesondere die im praktischen Betrieb bei verschiedenen Getrieben beobachtete starke Oeleindickung versuchsmässig auftritt 1).

I. Versuchsoele.

Die Versuche wurden mit den folgenden Oelen durchgeführt:

- 1) Über diese Versuche wurde auf der Arbeitstagung des Forschungskreises 5 der Kraftfahrzeugkommission in Oberhausen am 15.6.44 bereits kurz berichtet.

Zahlentafel 1

Versuchsöle

001344

Nr.	Kenn- zeich- nung im Institut	Benennung	Art	Hersteller	Liefe- rung	Daimler- Benz Analysen- Nr.
1	XXII	GÖW 8 E/50	ungefet- tet	Rhenania-Ossag Hamburg	Februar 1944	S. 849
2	XXIII	GÖW 8 E/50	ungefet- tet	Deutsche Vacu- um-Öl A.-G., Hamburg	Januar 1944	S. 849
3	XX	GÖW 8 E/50	gefettet	Rhenania-Ossag Hamburg	Nov./Dez. 1944	S. 813

Die Öle der Rhenania-Ossag waren nach Angabe auf Raffinatbasis, das Öl der Deutschen Vacuum-Öl A.-G., auf Destillatbasis hergestellt.

II. Versuchseinrichtung

Die Versuche wurden mit dem im ersten Bericht ausführlich beschriebenen Versuchsgetriebe durchgeführt. In Abweichung davon wurde im Ölsumpf ausser dem Wärmefühler des Temperaturmessgerätes eine elektrische Heizvorrichtung eingebaut, mit Hilfe der die Ölsumpftemperatur dauernd gleich gehalten wurde.

Ausserdem wurden am Deckel des Getriebes zwei Lüftungslöcher von je 16 mm Durchmesser angebracht, welche gegen Spritzer von innen abgedeckt waren, ohne dass die Abdeckungen den Luftzutritt zum Gehäuseinneren wesentlich beeinträchtigten.

III. Versuchsdurchführung

Der Zahndruck wurde gegenüber den Versuchen des 1. Berichtes soweit gesenkt, dass auch längere Laufzeiten ohne Zahnbruch möglich

wurden. Er betrug jetzt

001345

$$P = 485 \text{ kg.}$$

Das bedeutet die folgenden Beanspruchungsverhältnisse im Getriebe:

Zahlentafel 2

Beanspruchungsdaten des Versuchsgetriebes

Nr.	Beanspruchung	Formel und Zahlenwert	Einheit
1	Leistung	$N = \frac{P \cdot r \cdot n}{71620} = \frac{485 \cdot 3,3 \cdot 2050}{71620} = 46$	PS
2	Vergleichswert	$C = \frac{P}{b \cdot t} = \frac{485}{1 \cdot 0,94} = 516$	kg/cm ²
3	Walzenpressung im Teilkreis	$\sigma_{max} = 2390 \sqrt{\frac{P \cdot r}{b \cdot d^2} \cdot \frac{i+1}{i+0,14}} = 2390 \sqrt{\frac{485 \cdot 3,3}{1 \cdot 6,6^2} \cdot \frac{1,45+1}{1,45+0,14}} = 180$	kg/mm ²
4	Wärmestauwert	$S_a = \frac{m \cdot z \cdot b}{20N} = \frac{3 \cdot 22 \cdot 10}{20 \cdot 46} = 0,72$	mm ² /PS
5	Spezifische Ölfüllung	$v = \frac{V}{N} = \frac{600}{46} = 13,0$	cm ³ /PS

Zum Vergleich mit diesen Werten sind in Zahlentafel 3 einige Beanspruchungs - Werte aus Fahrzeuggetrieben nach Angabe der Firmen A. Opel A.G., Rüsselsheim/Main (Schreiben Ass/Pr. vom 28.6.44) und Daimler-Benz A.-G., Gaggenau (Schreiben TD-Entw.Bo/Ot.550/44) wiedergegeben.
v.19.7.1944

Es zeigt sich, dass die C-Werte in Fahrzeuggetrieben noch wesentlich über dem des Versuchsgetriebes liegen, dass aber die Sicherheit gegen Kriechen - ausgedrückt durch den Wärmestauwert - im Versuchsgetriebe, ebenso wie die spezifische Ölfüllung geringer sind als in üblichen Fahrzeuggetrieben.

001346

Zahlentafel 3

Beanspruchungswerte von Fahrzeuggetrieben

Fahrzeug- bezeichnung	Getriebe- bezeichnung	Radsatz	Beanspru- chungsver- gleichswert c	Wärme- stau-wert Sa	spezifische Ölfüllung v
			kg/cm ²	mm ² /PS	cm ³ /PS
Opel-Blitz 3 to	5 Gang- Schaltgetriebe	Kupplungsantrieb	450		
		I. Gang	1045		
		II. Gang	785		
		III. Gang	595		
		IV. Gang	520		36 ²⁾
	Verteiler- getriebe	Antrieb-Strassengang	615		
		Antrieb-Geländegang	1015		
		Ritzel II-Geländegang	1095		23,5 ²⁾
	Achse- getriebe	Antrieb-Kegelräder			
		Ausgleich	800		27,2 ²⁾
Daimler-Benz	L 3000 bzw.	Schalt- getriebe FAKS 40	I. Gang		
	L 3000A	Verteiler- getriebe		3,75	84
	L 4500 bzw.	Vorder- achs- getriebe	Schrägverzahnung	2,77	33,4
	L 4500A	Kegelradtrieb 8/27	350/397		67
		Stirnradtrieb	290		33
		Kegelradtrieb	690/770		33,5
		Stirnradtrieb	925		16,5

2) Unter Zugrundelegung einer Leistung von 70 PS (nach Typenbuch 1938).

Unter den genannten Verhältnissen lief das Getriebe jeweils 8 Stunden. Vor Beginn jeder Laufstufe wurde das Öl vorgewärmt und mit einer Temperatur von rd 150°C in das Getriebe gegeben. Infolge des Wärmeentzuges durch das kalte Getriebe konnte der Versuch dann bei rd 100°C Ölsumpftemperatur begonnen werden. Der weitere Temperaturverlauf geht beispielsweise aus Abb. 1 hervor. Im Mittel nach einer Stunde war die Solltemperatur erreicht. Sie wurde dann bei allen Versuchen zwischen 150 und 152°C gehalten. Als Laufzeit wurde die Zeit bezeichnet, während der Solltemperatur herrschte, also je Laufstufe 7 h. Die Versuchsreihen wurden solange festgesetzt, bis eine merkbare Eindickung des Öles eingetreten war.

Zum Ausgleich der beim Umfüllen und durch Verdampfen auftretenden Ölverluste wurde jede Versuchsreihe mit einer Anfangsölmenge von 700 cm^3 begonnen, wovon jedoch nur jeweils 600 cm^3 in das Getriebe gefüllt wurden. Diese Füllung wurde nach jeder Laufstufe mit dem Rest vermischt, sodass am Schluss jeder Versuchsreihe rd 600 cm^3 praktisch gleichmässig gealtertes Öl zur Verfügung stand. Die Temperatur des Versuchsraumes betrug $20 + 25^{\circ}\text{C}$.

Zur Feststellung der im Öl während einer derartigen Versuchsreihe aufgetretenen Oleindickung wurde die Ölzähigkeit während der Versuche zunächst nur gefühlsmässig beurteilt und dann nach Abschluss derselben der Chemisch-Technischen Reichsanstalt (CTR Dr. Noack), zusammen mit Frischölproben, zur eingehenden physikalischen bzw. chemischen Untersuchung übergeben.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind für die Versuchsreihen unseres 1. Berichtes vom 9.5.1944, sowie die vorliegenden Versuche mit den Ölen XXII und XXIII³⁾ im Bericht Tgb.Nr. 1045/44 C vom 30.6.1944 der CTR enthalten.

3) Die Untersuchung des Öles XX erübrigt sich, nachdem inzwischen auf Grund der Ergebnisse dieses Berichtes das Versuchsverfahren geändert wurde.

IV. Versuchsergebnisse

1.) Oel XXIII: GÖW 8 E/50 ungefettet der Deutschen Vacuum.

Nach einer Laufzeit von 35 h zeigten sich an den Rädern und anderen Getriebeteilen erste klebende Ansätze, die mit der üblichen Waschung in Benzin nicht zu entfernen waren. Nach einer Laufzeit von 42 h hatte das Ritzel des Getriebes das in Abb. 2a wiedergegebene Aussehen. Die Oberfläche des alle freien Flächen bedeckenden Belages hat ein lackartiges Aussehen. Das Oel war nach dieser Laufzeit bereits merkbar eingedickt. Nach 63 h zeigten die Räder das in Abb. 2b wiedergegebene Aussehen. Der Belag ist stärker geworden. Seine Struktur ist gegenüber der körnigen nach 42 h mehr streifig. Der Versuch wurde nach dieser Laufzeit abgebrochen. Abb. 3a zeigt eine kennzeichnende Zahnflanke nach dem Versuchslauf. Auf Grund der im 1. Bericht niedergelegten Erfahrungen ist festzustellen, dass der Verschleiss während dieses Versuchs verhältnismässig gering war und sich nur in der Tieflage befand.

2.) Oel XXII: GÖW ungefettet der Rhenania-Ossag.

Die ersten klebenden Ansätze an den Getriebeteilen zeigten sich nach 21 h Laufzeit. Nach 28 h hatte der Belag den in Abb. 4 wiedergegebenen Umfang erreicht. Er hat gegenüber dem des Oeles XIII ein rauhes, ölkohlearartiges Aussehen. Nach 35 h wurde der Versuch wegen starker Eindickung des Oeles abgebrochen. Die in Abb. 3b wiedergegebene Flanke zeigt, dass der Verschleiss während dieses Versuchs die Hochlage erreicht hat.

3.) Oel XX: GÖW gefettet der Rhenania-Ossag.

Erste klebende Ansätze an den Rädern zeigten sich nach 28 h (Abb. 5a). Nach 56 h Laufzeit wurde der Versuch infolge

starker Oleindickung abgebrochen. Der Belag an den Rädern (Abb.5b) hatte bei diesem Öl wieder ein lackartiges Aussehen. Die Flanken (Abb.3c) zeigen sehr geringen Verschleiss (Tief-
lage).

Die Veränderungen der Öle XXII und XXIII durch die geschilderten Versuchsläufe gegenüber dem Frischöl gehen aus den in Zahlentafel 4 zusammengestellten dem genannten Bericht der CTR entnommenen Werten hervor.

Zahlentafel 4

Kennzeichnung im Institut	Art und Her- steller	Frischöl		Im Zahnradbetrieb bei 150° gealtertes Öl							Bemerkungen
		Zäh- ig- keit °E50	Harz und As- phalt %	Ge- samt ver- schmut- zung %	Benzol- lös- liches %	Benzol- Alkohol lös- liches %	Feste Fremd- Stoffe %	Harz %	Harz und Asph. ohne feste Fremd- stoffe %		
XXII ⁴	GÖW, un- gefettet Rhenania Ossag	8,35	2,1	10,7	8,3	0,4	2,0	16,7	25,4	nicht homogen	
4. XXIII	GÖW, un- gefettet Deutsche Vacuum	7,62	2,2	15,1	8,3	0,6	6,2	13,35	22,25	nach 12 stünd. Schütteln noch nicht homogen gen. Gesamtmenge im Mörser ver- rieben	

4) Es werden nur die Werte der im Bericht der CTR mit XXII/2 bzw. XXIII/2 benannten Restölproben aufgeführt.

V. Zusammenfassung.

Getriebeöle der Wehrmacht mit einer Zähigkeit von 8 E/50 ungefettet und gefettet aus Lieferungen von Dezember 1943 bis Februar 1944 wurden Versuchsläufen im Zahnradbetrieb bei Oelsumpftemperaturen von rd 150°C unterzogen, wobei die Oeltemperatur ausser durch die Zahnbelastung entsprechend einem σ -Wert von 516 kg/cm² durch zusätzliche Heizung auf gleicher Höhe gehalten wurde. Nach Laufzeiten zwischen 35 und 63 h traten Oeleindickungen und Asphalt- bzw. Oelkohlebeläge der Getriebe-
teile auf, die für den praktischen Betrieb nicht tragbar sind.

VI. Geplante Fortsetzung der Versuche

Auf Grund der bisher gemachten Versuchserfahrungen und den Vereinbarungen auf der Arbeitstagung des Forschungskreises 5 in Oberhausen am 15.6.44 werden die Versuche über die Hitzebeständigkeit der Getriebeschmierstoffe wie folgt fortgesetzt:

- 1) Erniedrigung der Versuchstemperatur auf 130°C.
- 2) Erhöhung der spezifischen Oelfüllung auf rd 30 cm³/PS.
- 3) Durchführung von je 3 gleichartigen Versuchen mit bisheriger und vergrösserter Oelfüllung zur Feststellung des Grades der Reproduzierbarkeit derartiger Versuche, wobei letztere ausschliesslich durch die physikalischen und chemischen Werte der gealterten Oele beurteilt wird.
- 4) Versuchsöle jetziger Erzeugung.

Der mit der Untersuchung betraute Ingenieur: gez. Glaubitz

Abteilung für den
allgemeinen Maschinenbau

Der Direktor

(gez.) Wellinger



I. V. (gez.) Wellinger.

001351

Verteiler: OKH - Wa Prüf 6 (IV b) mit Chemisch-Technische
Reichsanstalt, 2-fach,
Reichsverkehrsministerium, Abt.K, Berlin,
Reichsminister für Rüstung und Kriegsproduktion
- Kraftfahrzeugkommission, Forschungskreis 5 -
z.Hd.v. Herrn Dipl.-Ing. Bokemüller,
Herrn Dipl.-Ing. Bokemüller i.Firma
Daimler-Benz AG., Gaggenau, 5-fach,
zur Verteilung an:
Mineralöl-Industrie,
Herrn Dr.-Ing. Schaub i.Fa. Ruhr-Chemie,
(Abt. Prüfstand) Oberhausen-Holten,
Herrn Dr.-Ing.habil. F. Karas,
Techn.Hochschule Dresden.

001352

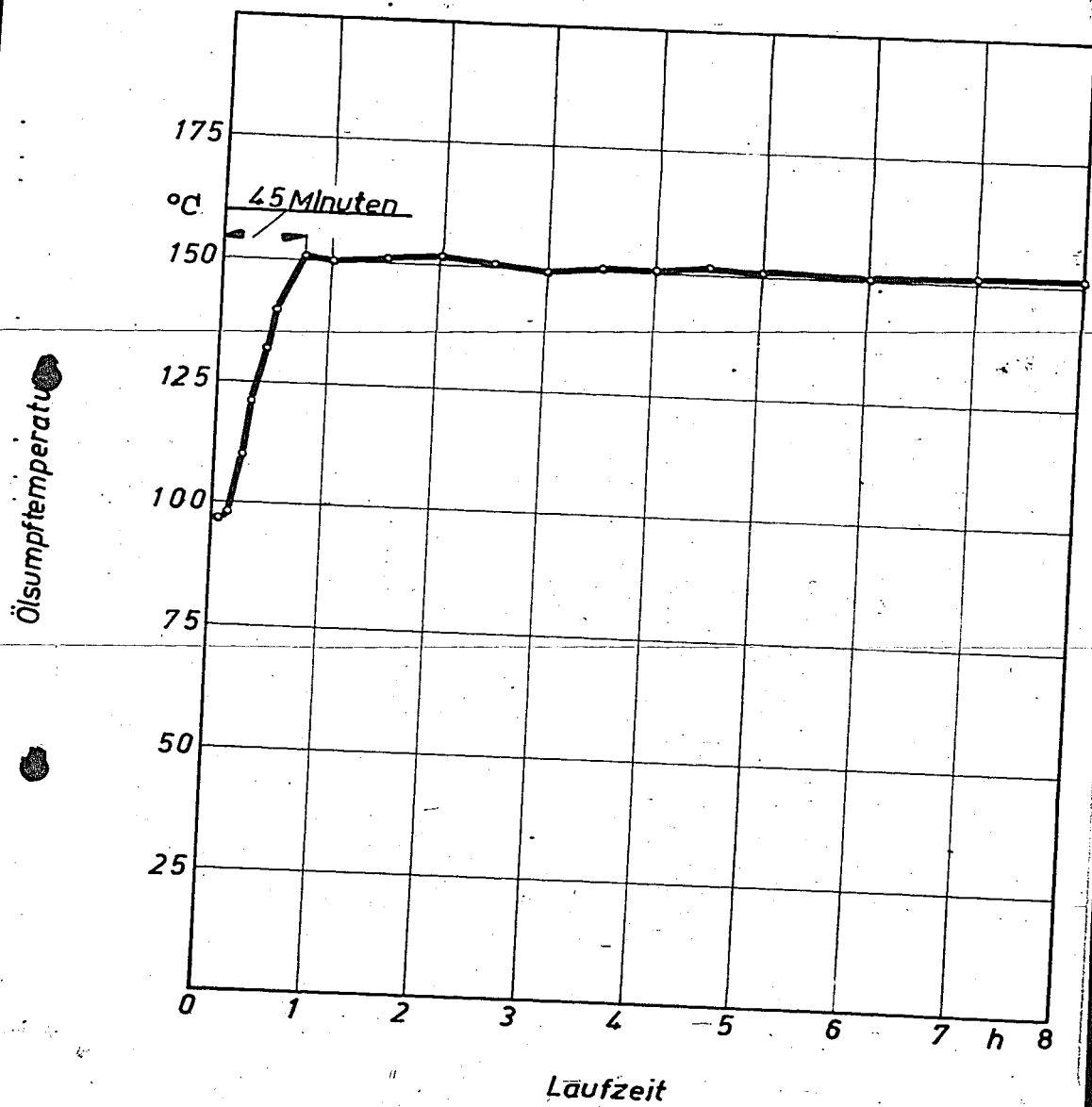
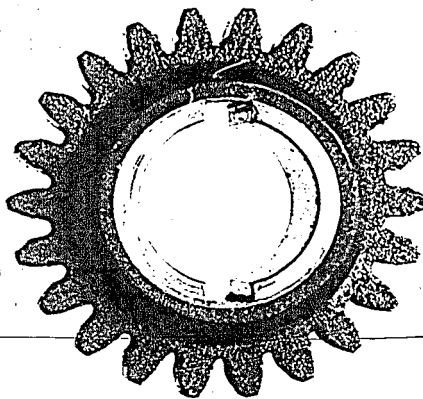


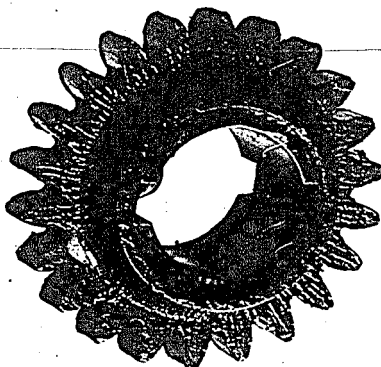
Abb. 1 Verlauf der Ölsumpftemperatur während einer Laufstufe.



001353



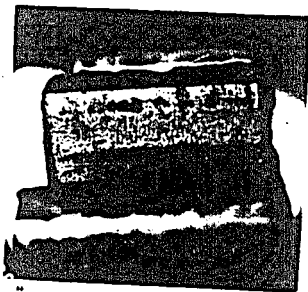
a) Laufzeit 42 h bei 150°C



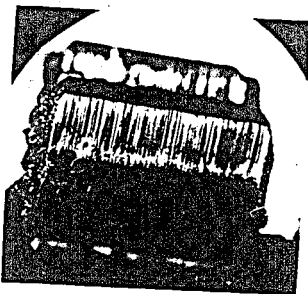
b) Laufzeit 63 h bei 150°C

Abb. 2. Ritzel nach verschiedenen Laufzeiten
in GOW, ungefettet, Deutsche Vakuum.

001354



a) GÖW 8 E/50, ungefettet,
Deutsche Vakuum
Laufzeit 63 h



b) GÖW 8 E/50, ungefettet,
Rhenania-Ossag
Laufzeit 35 h



c) GÖW 8 E/50, gefettet, Rhenania-Ossag
Laufzeit 50 h

Abb. 3. Zahnflanken nach Versuchslauf bei einer Oelsumpf-
temperatur von 150°C.

001355

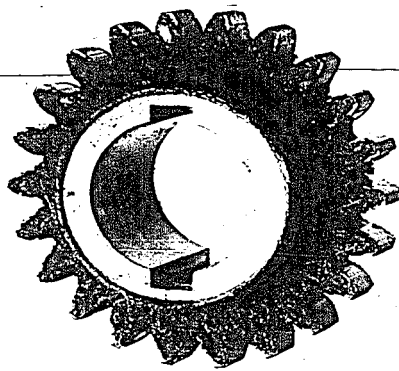
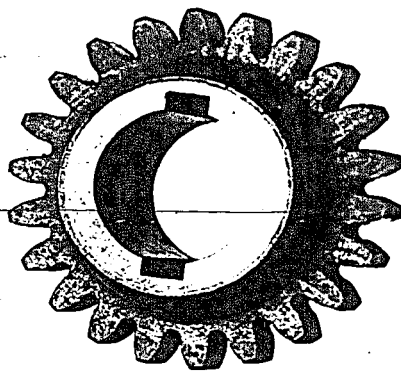
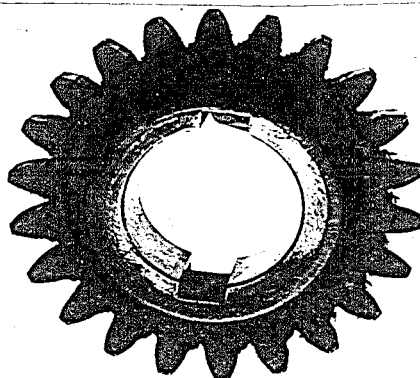


Abb. 4. Ritzel nach einer Laufzeit
von 28 h bei 150°C mit GOW
ungefettet, Rhenania-Ossag.

001356



a) Laufzeit 28 h bei 150°C



b) Laufzeit 56 h bei 150°C

Abb. 5. Ritzel nach verschiedenen Laufzeiten
in GOW, gefettet, Rhenania-Ossag.

115

001357



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN UND
FAHRZEUGMOTOREN
TECHNISCHE HOCHSCHULE STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung
des Selbstzündungs- und Betriebs im ge-
mischverrichtenden Motor

FKFS 392

Prüfung
22.11.1961

9. November 1961
an Herrn Prof. Dr. H. H. H. H.

Herrn Prof. Dr. H. H. H. H.



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

001358

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbst-
zündungsbetriebs im gemischverdichtenden
Motor.

Uebersicht:

Bei gegebenem mittlerem Arbeitsdruck ist eine Er-
höhung der Hubraumleistung durch Steigerung der Motor-
drehzahl möglich, was für gleichbleibende mittlere Kol-
bengeschwindigkeit eine Verkleinerung des Einzelzylinders
und eine Vergrößerung der Zylinderzahl zur Folge hat.
Die Verkleinerung des Hubraums ergibt Schwierigkeiten,
besonders auch hinsichtlich der Zündanlage, da diese in
Gewicht und Abmessungen einen immer grösseren Anteil an
der gesamten Motoranlage einnimmt. Der Wegfall der Zünd-
anlage durch Anwendung des Selbstzündungsverfahrens würde
also besondere Vorteile bringen.

Für die Selbstzündung kommen nur zündwillige Kraft-
stoffe mit entsprechend geringer Klopfestigkeit in Be-
tracht, Da bekanntlich bei der Synthese die Kraftstoff-
ausbeute mit abnehmender Klopfestigkeit zunimmt, lag der
Gedanke nahe, Synthese-Kraftstoffe im Selbstzündungsver-
fahren zu erproben.

Vom Selbstzündungsbetrieb ist mithin eine wirtschaft-
lichere Verwendung von Kraftstoffen niedriger Oktanzahl,
ein vereinfachter Motoraufbau und eine Steigerung der
Schnellläufigkeit zu erwarten.

Die Untersuchungen, die auf Vorversuchen im
Auftrag des Reichsverkehrsministeriums aufbauen, dienen
dem Zweck, die für Selbstzündung erforderlichen Betriebs-
bedingungen von der Kraftstoff- und Motorseite her weiter-

Unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Dat.: 29.3.41

Ersatz für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bl. 2

001359

gehend zu klären, den Verbrennungsablauf bei Selbstzündung zu erforschen und damit die Grundlagen des motorischen Betriebs mit Selbstzündung zu erarbeiten.

Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart.

Institutsleiter:

W. Kamm
W. Kamm.

Die Untersuchungen wurden im Auftrag des Reichsamts für Wirtschaftsausbau durchgeführt. Die erwähnten Vorarbeiten im Auftrag des Reichsverkehrsministeriums werden in der Deutschen Kraftfahrtforschung als Zwischenbericht veröffentlicht.

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRZEUGE
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bl. 3

001360

Gliederung:

1. Stand der Erkenntnisse
2. Voraussetzung für Selbstzündung bei Gemisch-
verdichtung
3. Durchführung der Versuche
4. Ergebnisse der Untersuchungen
 - a) Schaffung eines Selbstzündungsbetriebs
 - b) Versuche zur Anpassung des Kraftstoffs
an die Selbstzündung
 - c) Verringerung der Klopfneigung
 - d) Einfluss der Gemischzusammensetzung
 - e) Versuche zur Verbreiterung des Gebiets der
klopffreien Selbstzündung
 - f) Betriebsverhalten bei klopffreier Selbst-
zündung
 - g) Anfahrversuche
 - h) Untersuchung des Druckverlaufs und der
Strahlung
5. Beurteilung der Ergebnisse
 - a) Glüh-, Restgas- und Selbstzündung
 - b) Die weiteren Aufgaben
6. Zusammenfassung.

Der Bericht umfasst: 27 Seiten Beschreibung
13 Bilder.

Abteilungsleiter:

L. Huber

L. Huber.

Bearbeiter:

H. Ernst / E. Dörr

H. Ernst / E. Dörr.

Stuttgart, den 29.3.1941.

FKFS-Nr. 392

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



1. Stand der Erkenntnisse.

001361

Selbstzündungsvorgänge ergeben sich nicht nur bei der dieselmotorischen Verbrennung, sondern u.U. auch bei der Umsetzung des Kraftstoffes im Ottomotor. Während jedoch beim Dieselmotor die Selbstzündung Voraussetzung für den Verbrennungsablauf ist, erscheint die Selbstzündung beim Ottomotor in Form des unerwünschten und störenden Klopfvorgangs. Diese bei beiden Verfahren auftretenden Erscheinungen sind ähnlich.

Die Umsetzung des Kraftstoffs gliedert sich allgemein in die zur Zündung führenden Vorgänge und die restliche Umsetzung des Gemisches. Der Umsetzungsvorgang beginnt schon bei Druck- und Temperaturverhältnissen unterhalb der Entzündungstemperatur [1]. Die Reaktionen laufen dabei bei kleinen Umsetzungsgeschwindigkeiten ab. Die freiwerdenden Wärmemengen können zunächst an die umgebenden Schichten abgeleitet werden und brauchen somit nicht zu einer Entzündung des Gemisches zu führen. Erfolgt jedoch der Umsatz unter Verhältnissen, bei denen der Wärmeverlust der erzeugten Wärmemenge gleich ist, so ist nach van't Hoff die Entzündungstemperatur erreicht. Damit kann eine fortschreitende Selbsterwärmung des Gemisches eintreten, die ihrerseits wieder zu beschleunigter Umsetzung führt. An örtlich überhitzten Stellen kann schliesslich Explosion einsetzen (Wärmeexplosion). Von diesen Zündstellen breitet sich eine Verbrennungsfront hoher Temperatur mit grosser Brenngeschwindigkeit und Umsetzungsbeschleunigung aus.

Neben dieser Wärmeexplosion kann bei der Reaktion von Kohlenwasserstoffverbindungen immer eine sogenannte Kettenreaktion mit Kettenverzweigung nachgewiesen werden, d.h. ein Freiwerden aktiver Atome und Radikale, die ihrerseits wieder weiter reagieren und damit den Umsetzungsprozess beschleunigen. Von wenigen aktiven Ausgangsstoffen

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41
Tag:

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



001362

kann damit ein sehr grosser Umsatz bewältigt werden. Reine Kettenreaktionen treten ebenso wie reine Wärmeexplosionen selten auf. Die in Bombenversuchen und auch im Motorbetrieb nachgewiesenen sogenannten "kalten Flammen" werden als reine Kettenreaktionen gewertet.

Bei den motorischen Verbrennungsvorgängen ist die Wärmeexplosion immer mit Kettenreaktionen verbunden.

Die Selbstzündung im Ottomotor ist auf andere Ursachen zurückzuführen als die bei der Dieselverbrennung. Der Kraftstoff im verdichteten Kraftstoffluftgemisch ist vor der durch einen Zündfunken erfolgenden Entzündung praktisch verdampft. Von der Zündstelle breitet sich die Verbrennungsfront mit verhältnismässig geringer Geschwindigkeit aus. Dabei steigt im unverbrannten Teil der Ladung die Temperatur als Folge der durch die Verbrennung hervorgerufenen Druckernöhung, wobei das Restgemisch eine sehr lebhaft oxydation erfährt. Geht diese Oxydation in Selbstzündung über, bevor die von der Zündstelle ausgehende Verbrennungsfront den Restteil der Ladung durchheilt hat, so brennt der Restteil praktisch gleichzeitig ab und erreicht örtlich hohe Drücke und Temperaturen.

Als Folge dieser Druckunstetigkeiten entsteht eine Stoss- oder Schallwelle, die mit Geschwindigkeiten über der Schallgeschwindigkeit den Verbrennungsraum durchheilt, verbunden mit dem als Klopfen bezeichneten Geräusch. Voraussetzung für das Zustandekommen des Klopfs bzw. Selbstzündungsvorganges ist also eine Vorreaktion im unverbrannten Restteil der Ladung.

Da bei der Dieselumsetzung der Kraftstoff in die verdichtete Luft eingespritzt wird, überlagern sich hier Zerstäubung, Verdampfung und Umsetzung des Kraftstoffes, wodurch für diese Selbstzündung ein verwickelter chemisch-physikalischer Vorgang entsteht. Die Verdampfung des Kraftstoffstrahls setzt bei den früh eingespritzten Randteil-

Bearbeitet: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41
Tag:

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRZEUGE
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor

Bl. 6

001363

chen ein, da hier die kleinste Tropfengeschwindigkeit und der kleinste Tropfendurchmesser vorhanden sind. Diese verdampften Teilchen werden zuerst aktiv und leiten durch Zusammenstoß mit den Sauerstoffmolekülen der Luft den chemischen Umsatz ein; dann verbrennt mit sehr kurzer Zündzeit der bis dahin eingespritzte Kraftstoff, worauf der restliche in der Einspritzung befindliche Kraftstoff entsprechend der Einspritzgesetzmässigkeit vollends abbrennt.

Auch beim Dieselmotor kann Klopfen einsetzen und zwar dadurch, dass der Kraftstoff einen zu grossen Zündverzug besitzt. Dann ist beim Beginn der Entzündung schon so viel Kraftstoff eingespritzt, dass das plötzliche Abbrennen dieser verhältnismässig grossen Kraftstoffmengen zu sehr steilem Druckanstieg und damit zum Klopfen führt.

Beim Ottomotor liegt somit die Ursache der Selbstzündung (Klopfen) in einer zu grossen Zündwilligkeit (zu rasches Abbrennen des Ladungsrestes), beim Dieselmotor dagegen in einer zu geringen Zündwilligkeit des Kraftstoffes. Aus diesem Grunde verwendet man auch zur Verringerung der Klopfneigung eines Ottokraftstoffes Zusätze, die infolge ihrer kettenabbrechenden Wirkung die Zündwilligkeit des Kraftstoffes herabsetzen.

2. Voraussetzungen für Selbstzündung bei Gemischverdichtung.

Die zu erwartenden Umsetzungsvorgänge bei Selbstzündung mit Gemischverdichtung lassen sich in ihrer Gesamtheit weder mit der üblichen Diesel-, noch mit der Ottoverbrennung vergleichen.

Mit dem Ottoverfahren ist die Gemischaufbereitung gemeinsam. Beim Ottomotor wird aber die Verbrennung durch einen Zündfunken eingeleitet. Die Flamme breitet sich von der Zündstelle nicht infolge einer selbsttätigen Reaktion

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer: Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor

Bl. 6

001363

chen ein, da hier die kleinste Tropfengeschwindigkeit und der kleinste Tropfendurchmesser vorhanden sind. Diese verdampften Teilchen werden zuerst aktiv und leiten durch Zusammenstoss mit den Sauerstoffmolekülen der Luft den chemischen Umsatz ein; dann verbrennt mit sehr kurzer Zündzeit der bis dahin eingespritzte Kraftstoff, worauf der restliche in der Einspritzung befindliche Kraftstoff entsprechend der Einspritzgesetzmässigkeit vollends abbrennt.

Auch beim Dieselmotor kann Klopfen einsetzen und zwar dadurch, dass der Kraftstoff einen zu grossen Zündverzögerung besitzt. Dann ist beim Beginn der Entzündung schon so viel Kraftstoff eingespritzt, dass das plötzliche Abbrennen dieser verhältnismässig grossen Kraftstoffmengen zu sehr steilem Druckanstieg und damit zum Klopfen führt.

Beim Ottomotor liegt somit die Ursache der Selbstzündung (Klopfen) in einer zu grossen Zündwilligkeit (zu rasches Abbrennen des Ladungsrestes), beim Dieselmotor dagegen in einer zu geringen Zündwilligkeit des Kraftstoffes. Aus diesem Grunde verwendet man auch zur Verringerung der Klopfneigung eines Ottokraftstoffes Zusätze, die infolge ihrer kettenabbrechenden Wirkung die Zündwilligkeit des Kraftstoffes herabsetzen.

2. Voraussetzungen für Selbstzündung bei Gemischverdichtung.

Die zu erwartenden Umsetzungsvorgänge bei Selbstzündung mit Gemischverdichtung lassen sich in ihrer Gesamtheit weder mit der üblichen Diesel-, noch mit der Ottoverbrennung vergleichen.

Mit dem Ottoverfahren ist die Gemischaufbereitung gemeinsam. Beim Ottomotor wird aber die Verbrennung durch einen Zündfunken eingeleitet. Die Flamme breitet sich von der Zündstelle nicht infolge einer selbsttätigen Reaktion

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Ersetzt für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



001364

des Gemisches, sondern infolge der durch das Fortschreiten einer dünnen Flammenfront gegebenen chemischen Umsetzung aus. Erst wenn Selbstzündung des unverbrannten Restgemisches (Klopfen) eintritt, sind ähnliche Verhältnisse vorhanden, wie sie für das Selbstzündungsverfahren in Frage kommen.

Das Restgemisch brennt im Ottomotor bei Selbstzündung praktisch gleichzeitig ab. Da bei gemischverdichtender Selbstzündung für das ganze Gemisch die Voraussetzungen gegeben sein müssen, die für eine plötzliche Verbrennung erforderlich sind, sind hierbei eine ähnlich rasche Umsetzung des Gemisches und damit auch Klopferscheinungen zu erwarten.

Der Vergleich mit der Dieselerverbrennung führt zu ähnlichen Schlussfolgerungen. Nimmt man an, der eingespritzte Kraftstoff habe im Dieselmotor einen grösseren Zündverzug als der Einspritz- und Verdampfungszeit des gesamten Strahls entspricht, so dass also vor der Entzündung der gesamte Kraftstoff diffundiert und verdampft ist, so liegen ähnliche Verhältnisse vor, wie bei der gemischverdichtenden Selbstzündung. Für einen so grossen Zündverzug ergeben sich aber nach den allgemeinen Erfahrungen im Dieselmotor infolge der plötzlich verbrennenden grossen Kraftstoffmenge sehr harter Gang, starker Druckanstieg und dabei heftige Klopferscheinungen.

Sowohl der Vergleich mit der Otto-, als auch mit der Dieselerverbrennung lässt somit klopfende Verbrennung bei gemischverdichtender Selbstzündung erwarten.

Wenn auch eine restlose Beseitigung des Klopfbetriebs bei Selbstzündung zunächst nicht möglich erscheint, so ist doch bekannt, dass hohe Brenn- und Reaktionsgeschwindigkeiten Voraussetzung für Klopferscheinungen sind. Eine Herabsetzung dieser Geschwindigkeiten müsste somit auch zu einer Verringerung des Klopfens führen.

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer: Tag: 29.3.41

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



3. Durchführung der Versuche.

001365

Zur Klärung der Selbstzündungsverhältnisse wurden praktische Versuche an zwei Motoren von 200 und 700 cm³ Hubraum durchgeführt:

Der 200 cm³-Motor war ein luftgekühlter Einzylindermotor und wurde üblicherweise als Ottomotor im Viertakt betrieben. Der Verbrennungsraum war halbkugelig mit hängenden Ventilen.

Der 700 cm³-Motor war ein wassergekühlter Einzylindermotor, der mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis als Dieselmotor verwendbar ebenfalls im Viertakt arbeitete mit seitlich stehenden Ventilen.

Mit diesen beiden Motoren konnten die Einflüsse der Kopfform, der Drehzahl, der Zylindergrösse und der Art der Motorkühlung untersucht und verglichen werden. Dabei wurden das Betriebsverhalten, die Leistungs- und Verbrauchswerte, der Druckverlauf und der Einfluss der Gemischzusammensetzung bei Selbstzündung untersucht. Die Art der Durchführung der Versuche war die übliche mit den gebräuchlichen Hilfseinrichtungen.

Die bei den späteren Untersuchungen hauptsächlich verwendeten Kraftstoffe haben folgende Kennwerte (Zahlentafel 1).

Zahlentafel 1 - Kennwerte der verwendeten Kraftstoffe

Kraftstoff	Siedekennzahl	Cetan- zahl	Oktan- zahl	Wichte
Primärbenzin	73	34	50,5	0,666
RCH-Diesel- Kraftstoff	240,5	78	(-80)	0,766
Mischung: 60 RT Primär- benzin 40 RT RCH-Diesel- Kraftstoff	129	49	~+5	0,708

Bearbeiter:

Prüfer: Ernst/Dürr

Tag:

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor

Bl. 9.

001366

4. Ergebnisse der Untersuchungen.

a) Schaffung eines Selbstzündungsbetriebs.

Der 200 cm³-Motor wurde bei seiner üblichen Verdichtung von 6,3 mit Kerzenzündung warm gefahren. Mit Leunabenzin und 3% Aethylnitrat als Kraftstoff konnte die Zündung bei einer Temperatur am Zündkerzensitz von rund 230° abgeschaltet werden und der Motor mit der gleichen Leistung von 4,5 PS bei Verbräuchen von 400 g/PSH weiter betrieben werden. Der Betrieb war kloppfrei, doch war der Motor nur in einem sehr kleinen Belastungs- und Drehzahlbereich betriebsfähig. Die Motortemperatur erhöhte sich dabei teilweise bis zum Glühen des Kerzensitzes, so dass mit grosser Wahrscheinlichkeit Glühzündung vorhanden war.

Bei höheren Verdichtungen (7,7 und 10,2) war ebenfalls nur bei Zusatz von Aethylnitrat Selbstzündung zu erreichen. Die Temperatur, bei der die Kerze abgeschaltet werden konnte, wurde dabei nach kürzerer Laufzeit erreicht. Vor und nach dem Ausschalten der Zündkerze lief der Motor klopfend. Er erreichte ebenfalls hohe Temperaturen und musste mit einem Gebläse stark gekühlt werden. Die Verbräuche lagen im Mittel mit 400 bis 500 g/PSH verhältnismässig hoch, während die Leistung wenig unterhalb der Leistung mit dem gleichen Kraftstoff im Ottobetrieb lag. Immerhin war aber der Motor regelbar und sprach auf einen Drehzahlbereich von 2500 bis 5000 U/min an. Wurde die Drossel noch weiter geöffnet, so stellte sich ein sehr hartes Klopfen ein, das den Motor innerhalb weniger Sekunden über die höchstzulässigen Temperaturen erhitzte. In einem solchen Bereich konnte trotz stärkster Kühlung nicht gefahren werden.

Der Betrieb ergab somit die kennzeichnenden Merkmale eines wesentlich gesteigerten Ottokloppbetriebs. Beim Ausbau der Kolben nach mehrstündigem Betrieb zeigten sich die bekannten Klopfanfressungen mit z.T. fingerstarken

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:
Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



001367

Aushöhlungen am Kolbenboden, Bild 1. Ausserdem könnten häufig Ringbrüche und Lagerbeschädigungen festgestellt werden. Durch entsprechende Behandlung der Kolbenoberflächen und Einbau von Soncerringen wurde zunächst versucht, diesen Schwierigkeiten entgegenzuwirken. Die Versuche erbrachten aber keine wesentliche Verbesserung.

b) Versuche zur Anpassung des Kraftstoffs an die Selbstzündung.

Die in der Synthese anfallenden Kraftstoffe von verhältnismässig niedriger Oktanzahl, mit höherer Zündwilligkeit als der Ottokraftstoff und niedriger Siedekennzahl sind weder für den Otto- noch für den Dieselmotor geeignet. Diese Kraftstoffe schienen aber gerade infolge dieser Eigenschaften zur Verwendung im vorgesehenen Selbstzündungsbetrieb besonders geeignet, da einerseits die niedrige Siedekennzahl eine leichte Zerstäubung und Verdampfung gewährleistet, andererseits eine gute Zündwilligkeit für Selbstzündung erwünscht ist.

Die in Frage kommenden Kraftstoffe (Zahlentafel 1), wurden durch Erprobung im Motorbetrieb auf ihre Selbstzündungseignung untersucht⁺).

Zunächst wurde das Verhalten des Primärbenzins ohne jeden Zusatz untersucht. Bei einer Verdichtung von 7,7 konnte auch bei sehr hohen Betriebstemperaturen ein Selbstzündungsbetrieb nicht erzielt werden.

Bei Zusätzen von Äthylnitrat arbeitete der Motor mit Eigenzündung, doch waren verhältnismässig hohe Zuzusätze notwendig; bei 5% Äthylnitrat konnte auch bei mittleren Temperaturen gefahren werden. Bei geringeren Zusätzen war dies praktisch nicht möglich.

⁺) Die Kraftstoffe für die Untersuchungen wurden von der Ruhrbenzin A.G., Oberhausen-Kolten, kostenlos zur Verfügung gestellt. Das Institut dankt auch an dieser Stelle für das grosse Entgegenkommen.

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:
Tag:

29.3.41

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor

Bl. 11

001368

Offenbar war die Verdichtung 7,7 zu niedrig. Bei Erhöhung der Verdichtung auf 10,2 war ohne jeden Zusatz ein Betrieb möglich, allerdings nur bei hohen Betriebstemperaturen, so dass auch hier Aethylnitratzusätze zur Verwendung kamen. Die Zusätze konnten entsprechend geringer gehalten werden. Mit 0,5 bis 2% Zusatz liess sich ein Selbstzündungsbetrieb ohne weiteres durchführen.

Geringe Zusätze von Dieselöl brachten keine Verbesserung. Weitere Untersuchungen mit verschiedenen Mischungen können hier übergangen werden, da keinerlei Verbesserungen erzielt wurden. Die bisherigen Ergebnisse lassen vermuten, dass die Ursache des ungünstigen Betriebsverhaltens in der zu geringen Zündwilligkeit des Primärbenzins zu suchen ist.

Für die weiteren Versuche gelangten daher Gemische von Primärbenzin mit RCH-Dieselmkraftstoff, einem zündwilligeren höhersiedenden Kraftstoff, zur Verwendung. Die Untersuchungen wurden wieder mit der Verdichtung 7,7 begonnen.

Bei einem Zusatz von 2% Aethylnitrat wurden verschiedene Mischungen Primärbenzin-RCH-Dieselmkraftstoff erprobt. Sie brachten bei geringen Anteilen von RCH-Kraftstoff keine feststellbaren Verbesserungen, doch zeigte sich, dass mit Erhöhung des RCH-Kraftstoffgehalts Selbstzündungsbetrieb leichter erreicht wurde. Bei 40% RCH-Kraftstoffanteilen war der Betrieb gut, so dass bei dieser Mischung der Aethylnitratgehalt auf 0,5% gesenkt werden konnte. Mit weiterer Erhöhung des RCH-Dieselmkraftstoffgehalts (50 bis 80%) wurden die Betriebseigenschaften bei Selbstzündung wieder ungünstiger, infolge der schlechten Verdampfungseigenschaften dieses Dieselmkraftstoffs.

Daraus wurde geschlossen, dass bei Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses auch ohne Aethylnitrat gefahren werden kann. Zuerst wurden bei $\epsilon = 10,2$ wieder Gemische mit niedrigen Anteilen an RCH-Dieselmkraftstoff erprobt.

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41
Tag:

Ersatz für

Erstellt durch

A Nr.1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor

Bl.12

001369

Auch hier zeigte sich erst bei 30 % Anteil von RCH-Diesekraftstoff ohne Zusatz von Aethylnitrat ein brauchbarer Betrieb; bei 40 % RCH-Diesekraftstoff ergaben sich günstige Verhältnisse, die auch bei Zusatz von Aethylnitrat nicht verbessert werden konnten.

Wurden die Anteile an RCH-Kraftstoff noch mehr erhöht, so wurden die Betriebseigenschaften wieder ungünstiger. Erwähnenswert ist noch, dass eine weitere Erhöhung der Verdichtung bei diesem Motor auf 11,9 wohl gute Betriebseigenschaften, aber keine genügende Leistung mehr ergibt.

Die günstigsten Selbstzündungsverhältnisse lagen somit bei einer Mischung von 60 % Primärbenzin und 40 % RCH-Kraftstoff. Mit dieser Mischung wurden die weiteren Untersuchungen durchgeführt.

Bei allen bis jetzt untersuchten Mischungen wurde kein kloppfreier Betrieb erzielt.

Die weiteren Untersuchungen konnten damit in zwei Richtungen angesetzt werden:

1.) Belassung des Klopfbetriebs und Versuche zur Behebung der Klopf Auswirkungen.

2.) Untersuchung aller in Frage kommenden Massnahmen, um einen kloppfreien Selbstzündungsbetrieb zu erzwingen.

In Bild 2 sind die bei der günstigsten Mischung gemessenen Leistungs- und Verbrauchswerte eingezeichnet, ausserdem zum Vergleich die im Ottobetrieb mit Kerzenzündung bei einer Verdichtung von 6,3 sich ergebenden Werte. Die im Selbstzündungsbetrieb ermittelten Leistungen liegen demnach unter den Ottobetriebswerten; der Verbrauch ist mit rd. 370 g/PS_h bei 5000 U/min ebenfalls ungünstiger als der Verbrauchswert bei Betrieb mit Kerzenzündung.

Bearbeiter:

Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



001370

c) Verringerung der Klopfneigung.

Obwohl nach den heutigen Erkenntnissen nicht damit zu rechnen war, dass sich eine Kraftstoffmischung finden liesse, die klopffreien Selbstzündungsbetrieb ergibt, wurde doch bei den Untersuchungen immer wieder versucht, durch Wahl verschiedenster Mischungen und Veränderungen am Verbrennungsraum, Erfassung der Temperatur- und Verdichtungs-einflüsse möglichst kloppfrei zu fahren oder das Klopfen zu verringern.

Der für Selbstzündung besonders geeigneten Mischung aus 60 R.T. Primärbenzin und 40 R.T. RCH-Dieselskraftstoff wurden geringe Zusätze von Eisenkarbonyl als Klopfbremse beigegeben und diese Zusätze dann erhöht. Dabei zeigte sich, dass bei Zusätzen bis zu 0,25% Eisenkarbonyl ein Selbstzündungsbetrieb noch möglich war, bei dem aber immer noch hartes Klopfen auftrat. Bei 0,5% Eisenkarbonyl liess das Klopfen nach, doch war damit bereits die Selbstzündungsgrenze erreicht. Für noch grössere Zusätze von Eisenkarbonyl war Selbstzündung nicht mehr möglich. Die Grenze der Zündwilligkeit war unterschritten.

Das gleiche Ergebnis erhielt man auch bei anderen Mischungen, z.B. bei einer Mischung Aethylnitrat-Primärbenzin. Auch hier war bei Zumischung von 0,5% Eisenkarbonyl kein Betrieb möglich. Wird der Gehalt an Eisenkarbonyl verringert, so tritt in dem Augenblick Klopfen auf, in dem wieder Selbstzündung möglich ist. Die Versuche, von der Kraftstoffseite her das Klopfen zu unterbinden, wurden damit abgebrochen.

Schliesslich wurden noch einfache Veränderungen am Verbrennungsraum vorgenommen mit dem Ziel, durch Zerklüftung des Verbrennungsraumes die Klopfneigung zu verringern.

Im Kolbenboden wurde eine Aussparung ausgefräst und am Zylinderkopf ein Stift, der als glühende Zündstelle dienen sollte, in den Verbrennungsraum eingeschraubt mit der Absicht, auf diese Weise eine Verlangsamung des Ab-

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



001371

brennens zu erreichen. Irgendwelche nennenswerten Verbesserungen wurden dabei nicht erzielt.

d) Einfluss der Gemischzusammensetzung.

Eingangs wurde festgestellt, dass die Ursache des Klopfens in der plötzlichen Umsetzung des Kraftstoffluftgemisches zu suchen ist. Versucht man, durch Klopfbremsen die Umsetzung des Gemisches zu verlangsamen, so führt dies zu einer Verringerung der Zündneigung ohne Beseitigung der Klopferscheinungen. Daraus ergibt sich, dass die Zündneigung als solche nicht verschlechtert werden darf, wenn mit Selbstzündung gefahren werden soll. Weitere Versuche wurden daher nur noch mit zündwilligen Kraftstoffen durchgeführt.

Die Untersuchungen über das Klopfen führten zu der Erkenntnis, dass Klopfen mit entsprechend erhöhter Umsetzungsgeschwindigkeit vor sich geht. Eine Verringerung der Umsetzungsgeschwindigkeit muss also zwangsläufig zu einer Verminderung des Klopfens führen. Damit bestand eine weitere Möglichkeit darin, bei Belassung einer Kraftstoffmischung mit guten Zündeigenschaften zu versuchen, die Verbrennungsgeschwindigkeit zu verringern. Bekanntlich wird die Umsetzungsgeschwindigkeit wesentlich von der Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemisches beeinflusst. Als nächster Schritt wurde daher bei gemischverdichtender Selbstzündung mit dem obigen Kraftstoffgemisch der Einfluss der Kraftstoff-Luft-Gemischzusammensetzung auf das Klopfverhalten festgestellt.

Die Gemischzusammensetzung ist bei üblichen Vergasern nur beschränkt veränderlich; zu der für diesen Zweck notwendigen beliebigen Einstellung des Kraftstoff-Luftgemisches für verschiedene Drehzahlen sind sie ungeeignet. Für die Untersuchung des Einflusses des Kraftstoff-Luftgemisches wurde deshalb ein besonderer Vergaser ent-

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41
Tag:

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



001372

wickelt, der eine getrennte Regelung des Kraftstoff-Luftgemisches unabhängig vom Betriebszustand des Motors ermöglichte. Der Vergaser wurde zunächst für den seitengesteuerten wassergekühlten 700 cm³-Motor gebaut. Das Mischungsverhältnis wurde durch getrennte Messung der angesaugten Luft mittels Drehkolbengasmesser und der verbrauchten Kraftstoffmenge mit üblichen Einrichtungen festgestellt. Bei einer Verdichtung von 10 wurde die für Selbstzündung besonders geeignete Mischung aus 60 R.T. Primärbenzin und 40 R.T. RCH-Kraftstoff verwendet.

Im Drehzahlbereich von 800 bis 2400 U/min wurde bei voll geöffneter Drossel der Einfluss des Mischungsverhältnisses auf das Klopfverhalten ermittelt und dabei Leistung und Verbrauch gemessen.

Wie aus Bild 3 zu ersehen ist, konnte der Motor bei Selbstzündung innerhalb eines gewichtsmässigen Mischungsverhältnisses λ von Luft zu Kraftstoff von 6 bis 28 betrieben werden. Dabei zeigten sich folgende beachtenswerten Erscheinungen:

Bei 2200 U/min war unterhalb eines Mischungsverhältnisses von rd. 8 kein Betrieb möglich. In einem Mischungsverhältnis von 8 bis 10 (reiche Einstellung) ergab sich ein praktisch klopfreier Selbstzündungsbetrieb. Bei Verhältniswerten λ zwischen 10 und 25, war die Selbstzündung mit teilweise heftigem Klopfen verbunden. Ein längerer Betrieb war unmöglich, da sich mit dem Klopfen sehr hohe Zylindertemperaturen einstellten, die nach einiger Zeit zum Abstellen des Motors zwangen. Zwischen $\lambda = 25$ und $\lambda = 28$ (arme Einstellung) stellte sich wiederum klopfreier Betrieb ein. Ueber $\lambda = 28$ war der Motor nicht mehr betriebsfähig. Bei niederen Drehzahlen waren die Ergebnisse ähnlich, z.B. lagen bei 1200 U/min die klopfreien Bereiche zwischen $\lambda = 6$ und $\lambda = 7$ und zwischen $\lambda = 24$ und $\lambda = 27$. In den Uebergängen von klopfreiem zum Klopfbetrieb

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



001373

war bei geringer Aenderung des Mischungsverhältnisses sofort ein stärkeres Klopfen festzustellen, der Uebergang war also nicht stetig. In Bild 3 sind oben die bei den Messungen festgestellten Verbrauchszahlen und Leistungen eingetragen. Die Leistungen betragen im klopfreien Gebiet bei reicher Einstellung bei 2200 U/min rd. 8 PS, bei armer Einstellung rd. 7 PS. Dies entspricht einer Hubraumleistung von ungefähr 12 PS/l.

Die Verbrauchszahlen des klopfreien kraftstoffreichen Betriebszustands waren mit 400 bis 900 g/PS_h sehr hoch; die des klopfreien armen Zustandes betrugen 190 bis 240 g/PS_h. Diese Werte gelten für den Einzylinder-motor mit seinem verhältnismässig schlechten mechanischen Wirkungsgrad. Die Verbrauchszahlen im Klopfbetrieb lagen zwischen denen bei armen und reichem klopfreiem Betrieb.

Die Zylinderkopftemperaturen am Sitz eines in das Kerzengewinde eingeschraubten Bolzens zwischen Ein- und Auslaßventil waren in den klopfreien Bereichen mit 150°C verhältnismässig niedrig. Die Betriebstemperaturen des Kühlwassers des wassergekühlten Versuchszylinders lagen zwischen 60 und 90°C.

Der klopffreie Selbstzündungsbetrieb bei kraftstoffreicher Mischung kommt infolge seines hohen Verbrauchs wirtschaftlich nicht in Frage, ebensowenig der Klopfbereich wegen seiner ungünstigen Betriebseigenschaften (Abfallen der Leistung nach kurzem Betrieb, Klopfanfresungen); lediglich der klopffreie arme Betrieb erscheint für die Verwirklichung des Selbstzündungsbetriebs günstig. Schwierigkeiten bereitet dabei hauptsächlich noch die grosse Empfindlichkeit der klopfreien Selbstzündung auf das Mischungsverhältnis.

e) Versuche zur Verbreiterung des Gebiets der klopf-
freien Selbstzündung.

Die Ursache der Klopffreiheit im Selbstzündungsbe-

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41
Tag:

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



001374

trieb liegt nicht in einer Verringerung der Zündwilligkeit, sondern lediglich in einer Verringerung der Verbrennungsgeschwindigkeit. Eine praktische Anwendung des klopfreien Selbstzündungsmotors verlangt eine Verbreiterung des klopfreien Bereichs, daneben aber die Entwicklung eines genau arbeitenden Regelgeräts zur Einstellung der erforderlichen Gemischzusammensetzung.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeiten wurde versucht, von der Motorseite her den klopfreien Bereich zu verbreitern. Zur Beeinflussung des Verbrennungsablaufs wurde in den seitengesteuerten Motor eine Beikammer aus hitzebeständigem Werkstoff eingesetzt, Bild 4. Diese erste Beikammer hatte einen Inhalt von 6 cm^3 und wurde mit verschiedenen Mündungsquerschnitten erprobt, ebenso eine zweite Kammer mit 12 cm^3 Inhalt.

Die erste Beikammer mit einem Mündungsdurchmesser von 6 mm brachte zunächst keine sichtbare Verbesserung. Erst nach Erweiterung des Mündungsdurchmessers auf 12 mm war eine gewisse Verbreiterung des klopfreien armen Bereichs festzustellen. Die zweite Beikammer zeigte schliesslich mit einem Mündungsdurchmesser von 12 mm die besten Ergebnisse. Mit dieser Beikammer war ein mehrstündiger Dauerlauf zu erreichen, ohne dass die Gemischeinstellung nachgestellt werden musste; doch blieb auch hier der klopfreie arme Mischungsbereich noch klein. Grundsätzlich wurde aber eine Verbesserung gegenüber dem Betrieb ohne Beikammer festgestellt, da ohne Beikammer der Betrieb dauernd überwacht und der Vergaser nachgestellt werden musste, während dies bei Anordnung der Beikammer nicht nötig war.

Bei der Schaffung eines betriebsfähigen Motors wäre eine weitere Verbreiterung dieses Bereichs eine wesentliche Erleichterung. Dies soll späteren Untersuchungen vorbehalten sein.

Bearbeiter:

Prüfer: Ernst/Dörr

Tag:

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



001375

f) Betriebsverhalten bei kloppfreier Selbstzündung.

700 cm³-Motor, seitengesteuert, wassergekühlt.

Die beim Anlassen des Motors sich ergebenden besonderen Verhältnisse sind später besprochen. Für den Prüfstandsbetrieb wurde der Motor mit Kerzenzündung hochgefahren, in den kloppfreien armen Bereich eingestellt und sofort die Zündung ausgeschaltet; der Motor lief dann ohne Klopfen weiter. Im kalten Zustand des Motors liess sich kloppfreier Selbstzündungsbetrieb bei sehr niederen Drehzahlen nur schwer halten. War der Motor betriebswarm, so konnte im ganzen Drehzahlbereich des Motors kloppfrei gefahren werden. Wesentliche Veränderungen in der Betriebswärme, ebenso grosse Drehzahlunterschiede erforderten eine entsprechende Nachregelung der Gemischeinstellung.

Die Zylinderkopftemperaturen blieben bei diesem wassergekühlten Motor auch bei längerem Betrieb gleich.

Im Klopfbetrieb war, wie schon erwähnt, die günstigste Verdichtung 10. Für den kloppfreien Bereich ergaben sich praktisch die gleichen Verhältnisse. Auch hier war bei Verkleinerung des Verdichtungsverhältnisses auf 8 die Selbstzündungsgrenze erreicht. Bei Erhöhung der Verdichtung war ein Abfallen der Leistung festzustellen, obwohl die Selbstzündungsneigung grösser wurde, was hier auf die Eigenart des Motors zurückgeführt werden kann (seitengesteuerte Ventile).

Bild 5 zeigt die bei kloppfreiem Selbstzündungsbetrieb und voll geöffneter Drossel sich ergebenden Leistungs- und Verbrauchswerte. Die Leistung von 7 PS bei 2200 U/min entspricht einer Hubraumleistung von 10 PS/l. Der Verbrauch mit 200 g/PS_h über fast dem ganzen Drehzahlbereich ist für einen Einzylindermotor als günstig zu bezeichnen. Die Werte liegen ungefähr bei den üblichen Dieselwerten. Der Leerlauf war bis auf Drehzahlen von 300 U/min herab kloppfest einstellbar und gleichmässig, allerdings war eine

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



001376

gewisse Mindest-Betriebstemperatur dazu erforderlich.

Irgendwelche Anfrassungen, Erosionen oder dergl. am Kolbenboden oder an den Wänden des Brennraums wurden auch nach langen Betriebszeiten (über 100 Stunden) bei kloppfreiem Betrieb nicht festgestellt.

200 cm³-Motor, obengesteuert, luftgekühlt.

Der 200 cm³-Motor konnte ebenso wie der 700 cm³-Motor kloppfrei im armen Bereich gefahren werden. Der Betrieb verlangte verhältnismässig hohe Zylinderkopfttemperaturen von etwa 220°C am Zündkerzensitz. Der luftgekühlte Motor durfte zur Vermeidung zu starker Abkühlung nur mit Unterbrechungen angeblasen werden.

Nach den bis jetzt vorliegenden Ergebnissen, Bild 6, erreicht der Motor bei 4300 U/min bereits seine Höchstdrehzahl (5000 U/min beim Ottobetrieb); unterhalb 2500 U/min konnte er nicht mehr kloppfrei gefahren werden. Die Ursache dieser Erscheinung wurde noch nicht restlos geklärt, sie hängt wahrscheinlich mit der starken Abmagerung des Gemisches zusammen. Die bis jetzt gewonnenen Leistungs- und Verbrauchswerte sind in Bild 6 dargestellt. Aus der Leistungsschaulinie sind ebenfalls die vorläufigen Betriebsgrenzen ersichtlich. Die Höchstleistung beträgt 2,5 PS bei 3700 U/min (Hubraumleistung 12,5 PS/l), der Verbrauch 190 bis 200 g/PS_h im günstigsten Bereich. Er ist wie beim seitengesteuerten Motor, für einen Einzylinder-Motor gering.

g) Anfahrversuche.

Kaltstart bei Selbstzündung kann durch folgende Mittel erreicht werden:

- 1.) Erwärmung des Ansauggemisches oder Erhöhung der Verdichtung.

Bearbeiter:

Prüfer: Ernst/Dörr

Tag:

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



001377

2.) Steigerung der Zündwilligkeit des Kraft-
stoffes z.B. durch Zusatz von Aethylnitrat
beim Anfahren.

Daneben bestehen noch die Hilfsmittel.

3.) Anfahren mit Kerzenzündung.

4.) Anfahren mit Glühkerzen.

Am untengesteuerten Motor (700 cm^3) konnte die
Verdichtung bis zu $\epsilon = 17$ gesteigert werden. Bei allmäh-
licher Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses wurden am
kalten Motor ($+15^\circ\text{C}$) Startversuche durchgeführt. Diese
ergaben für das erprobte Mischungsverhältnis von 60 RT.
Primärbenzin und 40 RT. RCN-Kraftstoff einen Kaltstart
von einer Verdichtung von 16,5 an. Unterhalb dieses Ver-
dichtungsverhältnisses war der Kaltstart unmöglich.
Vorwärmung des Ansauggemisches wurde nicht untersucht.
Dagegen konnten beide Motoren in gut warm gefahrenem Zu-
stand bei einer Verdichtung von 10 ohne Zündung angefahren
werden.

Die Steigerung der Zündwilligkeit kann durch Zusatz
von Aethylnitrat zu dem üblichen Gemisch erreicht werden.
Zugaben unter 5 % verlangten noch eine Temperatur des
Zylinders von 25 bis 30°C , während Zusätze von 5 bis 10 %
einen Kaltstart ermöglichten.

Der Kaltstart mit Kerzenzündung wurde bei den Ver-
suchen in der Regel angewendet.

Soll auf eine Zündanlage verzichtet werden, so kann
- ähnlich wie beim Dieselmotor - mittels Glühkerzen an-
gefahren werden. Die Kaltstartversuche mit Glühkerzen ge-
langen ohne weiteres. Lediglich ein Zurückschlagen der
Flammen in den Ansaugkanal war bisweilen festzustellen.
Demnach ist das einfachste Mittel der Zusatz von 5 bis
10 % Aethylnitrat beim Anlassen. Weitere chemische Mittel
dürften entwicklungsfähig sein.

Bearbeiter:

Prüfer: Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Hr. 1063



001378

h) Untersuchung des Druckverlaufs und der
Strahlung.

Die heute zur Verfügung stehenden Messgeräte lassen
wesentliche Schlüsse auf den Zündvorgang, den Druckan-
stieg und den weiteren Druckverlauf sowie auf die Strah-
lung im Verbrennungsraum zu.

Der Druckverlauf wurde durch Quarzgeber über Ver-
stärker mittels Schleifenoszillograph bzw. Braunscher
Röhre aufgenommen. Zur Aufnahme der Strahlung wurde am
Verbrennungsraum durch ein Quarzfenster eine Photozelle
angesetzt, mit der die Ausstrahlung, damit auch das erste
Aufleuchten der brennenden Gase, mit den anderen Verbren-
nungsvorgängen aufgenommen wurde.

200 cm³-Motor, obengesteuert.

An diesem Motor konnten nur Druckaufnahmen durch-
geführt werden. Der über dem Kurbelwinkel aufgezeichnete
Druckverlauf bei Selbstzündung ist für klopfenden Zu-
stand bei einer Verdichtung von 10,2 aus Bild 7 zu er-
sehen. Kennzeichnend für diesen klopfenden Betriebszu-
stand ist der plötzliche, praktisch senkrechte Druckan-
stieg mit hoher Druckspitze beim Einsetzen der Zündung.
Dies lässt auf ein gleichzeitiges Abbrennen der ganzen
Gemischmenge schliessen.

Einige ⁰KW vor dem Einsetzen des Drucksprungs ist
im Diagramm eine kleine Druckstufe festzustellen, die eine
Vorreaktion im unverbrannten Gemisch vermuten lässt.

Die Aufnahme zeigt ähnliche Merkmale wie Druckauf-
zeichnungen bei klopfendem Ottobetrieb.

Aus Bild 7 bis 10 ist ersichtlich, dass mit späte-
rem Druckeinsatz das Klopfen abnimmt und zuletzt ganz
ausbleibt.

Bearbeiter: Ernst/Dörr Tag: 29.3.41
Prüfer: Tag:

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor

Bl. 22

001379.

700 cm³-Motor, seitengesteuert.

Am seitengesteuerten Motor wurden neben dem Druckverlauf die Strahlung und der obere Totpunkt aufgenommen. (2000 U/min, 2 = 10, Vollast).

Eine Aufnahme klopfenden Betriebs zeigt Bild 11. Bei der Kurbelstellung 8° v.o.T. beginnt der Druck im Verbrennungsraum steil anzusteigen mit einem höchsten Druckanstieg von rd. 9 at/^{°KW} und erreicht bei 2,5 °KW v.o.T. den Höchstdruck von 72 atü. Zwischen etwa 2,5° v.o.T. und 9° n.o.T. ist praktisch Gleichdruck vorhanden.

Das Aufleuchten der Flamme im Verbrennungsraum setzt gleichzeitig mit dem steilen Druckanstieg bei 8° v.o.T. ein.

Klopfender Betrieb ergab immer ein helles weisses Licht im Verbrennungsraum, so dass die Aufzeichnung dieser Strahlung leicht durchzuführen war.

Im kloppffreien Bereich bei armer Gemischeinstellung und niedrigem spezifischem Verbrauch, Bild 12, war der Beginn des Druckanstiegs etwas später (9° KW n.o.T mit ziemlich weichem Uebergang und wesentlich flacherem Druckanstieg (rd. 2,5 at/^{°KW}). Der Höchstdruck bei 17° KW n.o.T. betrug nur noch rd. 50 atü.

Besonders schwierig war, wie das Bild zeigt, die Aufnahme der Strahlung im kloppffreien Betrieb. Während sich, wie erwähnt, bei Klopfbetrieb eine helle weisse Flamme zeigte, war die Flamme im kloppffreien Bereich mattblau und ergab auch bei grosser Verstärkung des Photozellenstroms zunächst keinen Ausschlag im Aufnahme-gerät. Nachdem versucht worden war, durch besondere Zusätze die Leuchtkraft der Flamme zu verstärken und durch Wahl der richtigen Photozelle im festgestellten Spektralbereich zu arbeiten, was jedoch nicht zum Ziel führte, wurde der lichte Durchmesser des Fensters wesentlich vergrössert. Damit gelang schliesslich die Aufnahme der Strahlung. Im kloppffreien Kraftstoffarmen Bereich setzt

Bearbeiter: Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Erste für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



001380

nach diesen Messungen die Strahlung ebenfalls gleichzei-
tig mit dem Beginn des steilen Druckanstiegs ein und zwar
zwischen 6 und 9° KW n.o.T.

Im kloppfreien kraftstoffreichen Betrieb (Bild 13)
setzt der steile Druckanstieg erst bei 22° KW n.o.T., also
verhältnismässig spät ein. Zu gleicher Zeit beginnt auch
die Strahlung im Verbrennungsraum.

Die Druckspitze mit rd. 35 atü liegt bei 30° KW n.
o.T. Bemerkenswert ist ferner eine Vorreaktion vor dem
steilen Druckeinsatz.

Die Flammenfarbe war ebenfalls wie beim kloppfreien
armen Betrieb dunkelblau. Der Druckverlauf bei kloppfreiem
kraftstoffarmen und kloppfreiem kraftstoffreichem Zustand
ist, wie Bild 12 und 13 zeigen, ähnlich.

5.) Beurteilung der Ergebnisse.

a) Glüh-, Restgas- und Selbstzündung.

Bei den eingangs behandelten Messungen kam es ledig-
lich darauf an, überhaupt einmal bei Gemischverdichtung
eine Zündung ohne Zündfunken zu erzielen. Dabei bestand
durchaus die Möglichkeit einer sogenannten Glühzündung.
Unter Glühzündung ist zu verstehen, dass bestimmte Motor-
teile, z.B. die Zündkerzenelektroden, während des Ver-
dichtungsraubs noch eine so hohe Temperatur besitzen, dass
von dieser Stelle die Zündung ausgeht. Die ersten Versuche
zur Erzielung einer Selbstzündung mussten bei so hohen
Temperaturen durchgeführt werden, dass zum Teil ein
Glühen einzelner Motorteile beobachtet wurde. In solchen
Fällen ist Glühzündung ähnlich den Verhältnissen bei
Glühkopfmotoren oder beim Glührohr-Motor Gottlieb Daimlers
anzunehmen.

Wenn bei dieser ausgesprochenen Glühzündung kein
Klopfen auftrat, so kann das einerseits damit erklärt
werden, dass ähnliche Verhältnisse wie bei Kerzenzündung

Bearbeiter:

Prof.: Ernst/Dörr

Tag:

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor

Bl. 24

001381

vorlagen: Ausbreitung der Flamme von der heissen Stelle aus, die mit bestimmter Geschwindigkeit den Verbrennungsraum durchheilt. Andererseits besteht die Möglichkeit, dass die praktisch gleichzeitige Verbrennung des Gemischs erst verhältnismässig spät nach dem oberen Totpunkt auftritt, wenn der Kolben sich unter Brennraumvergrösserung bereits abwärts bewegt. Die später durchgeführten Druckaufnahmen bestätigen, dass dies grundsätzlich möglich ist.

Eine weitere Erklärung des Nachlassens des Klopfens bei sehr hohen Betriebstemperaturen wurde bereits von Dumanois bzw. Serruys gegeben [2]:

Mit starker Erhöhung der Motortemperatur zerfallen die für plötzliches Abbrennen verantwortlichen kettenbildenden Peroxyde schon vor der eigentlichen Verbrennung. Dumanois erzielte in der Tat mit Steigerung der Motortemperatur zunächst eine Verstärkung des Klopfens, das aber mit noch weiterer Temperaturerhöhung nachliess.

Eine Restgaszündung ist bei Viertaktmotoren wohl nicht anzunehmen und dürfte somit für die geschilderten Untersuchungen ausscheiden.

Die bei den späteren Versuchen festgestellten Betriebszustände können somit als reine Selbstzündung bezeichnet werden. Als Beweis lässt sich anführen, dass bei einer Verdichtung von 16,5 ein Kaltstart möglich war und bei der Verdichtung von 10 im betriebswarmen Zustand ein Anfahren bei Selbstzündung ebenfalls gelang. Bei diesen Zuständen, in denen die Verdichtungsendtemperatur wesentlich über der Wandtemperatur liegt, ist nicht mehr damit zu rechnen, dass die Zündung von heissen Wandstellen ausgeht.

Daraus kann geschlossen werden, dass bei den später hergestellten Betriebszuständen reine Selbstzündung vorliegt, die voraussichtlich nicht von der Wand, sondern von den wärmsten mittleren Gasteilen, die am wenigsten Wärme zur Wand ableiten, ausgeht.

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



001382

b) Die weiteren Aufgaben.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden motor- und insbesondere kraftstoffseitig die Verhältnisse geklärt, die für eine Selbstzündung bei Gemischverdichtung notwendig sind. Die erwarteten Schwierigkeiten, dass ein zu starkes Klopfen infolge der fast gleichzeitigen Verbrennung sich sehr störend auswirkt, konnten behoben werden, indem es gelang, kloppfreien Selbstzündungsbetrieb über einen grösseren Drehzahl- und Lastbereich herzustellen. Ein Hindernis für die Entwicklung eines betriebsfähigen Selbstzündungsmotors besteht noch hauptsächlich in dem verhältnismässig engen Bereich des Mischungsverhältnisses, in dem ein kloppfreier Betrieb möglich ist. Deshalb ist vor allem eine Verbreiterung dieses kloppfreien Bereichs anzustreben. Darüber hinaus muss ein genau arbeitendes Regelgerät zur Steuerung des richtigen Kraftstoff-Luftgemisches entwickelt werden. Neben diesen Arbeiten sind noch die sich bei Betrieb des Mehrzylindermotors ergebenden Fragen, die Anlassfragen und die zur Schaffung eines zuverlässigen Betriebs allgemein nötigen Arbeiten durchzuführen.

Die bis jetzt geklärten Fragen lassen einen späteren praktischen Betrieb bei Selbstzündung erwarten, wenn es gelingt mit dem zu entwickelnden Regelgerät das jeweils richtige Mischungsverhältnis herzustellen.

Der festgestellte Verbrauch von etwa 200 g/PS_h ist für einen Einzylindermotor als niedrig zu bezeichnen und kommt etwa dem Verbrauch des heutigen Fahrzeug-Dieselmotors gleich. Die gemessenen Hubraumleistungen liegen ebenfalls in der Grössenordnung der Werte des Dieselmotors.

Infolge dieses geringen Verbrauchs und der Möglichkeit einer wirtschaftlicheren motorischen Verwertung von niedersiedenden kloppfreudigen Kraftstoffen erscheint die Entwicklung eines Selbstzündungsmotors auch vom wirtschaft-

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESSEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor

Bl. 26

001383

lichen Standpunkt aus geraten. Sie wird auch geeignet sein, weitere wertvolle Erkenntnisse und Erfahrungen über den Verbrennungsvorgang zu liefern.

Die noch verhältnismässig geringen Hubraumleistungen lassen sich voraussichtlich durch Anwendung der Aufladung und durch höhere Schnellläufigkeit steigern.

6. Zusammenfassung.

Der vorliegende Bericht behandelt grundlegende Untersuchungen über die mit Gemischverdichtung arbeitende Selbstzündung, die als neues motorisches Arbeitsverfahren in Betracht zu ziehen ist.

An zwei verschiedenen Einzylinder-Motoren von 200 und 700 cm³ Hubraum wurden praktische Versuche bei Selbstzündung durchgeführt.

Bei der Erprobung der für Gemischverdichtungs-Selbstzündung sich eignenden Synthese-Kraftstoffe wurde eine Kraftstoffmischung aus 60 RT niedersiedendem Primärbenzin und 40 RT RCH-Dieselskraftstoff als günstig festgestellt.

Nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse war zu erwarten, dass bei Gemischverdichtungs-Selbstzündung die Umsetzung des Kraftstoffes im Motor fast gleichzeitig, also unter heftigem Klopfen erfolgt.

Die ersten Versuche an den Motoren ergaben in der Tat klopfenden Betrieb.

Eine Untersuchung über die Möglichkeiten zur Unterbindung des harten Klopfens zeigte, dass durch die Wahl von Kraftstoffen, die weniger zündwillig sind, nur die Selbstzündungsneigung verringert wird, während das Klopfen nicht beseitigt werden kann. Änderungen am Verbrennungsraum (Zerklüftung) brachten ebenfalls keine Verminderung oder Beseitigung des Klopfens.

Versuche mit verschiedenen Zusammensetzungen des Kraftstoff-Luft-Gemisches ergaben indessen für sehr reiche und sehr arme Gemischzusammensetzungen jeweils einen kloppfreien Selbstzündungsbereich, während sich bei den

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor

Bl. 27

001384

üblichen Mischungsverhältnissen heftiges Klopfen einstellte. Zur Verbreiterung des klopffreien armen Bereichs wurden Beikammern an den Verbrennungsraum angeschlossen, die eine Verbesserung brachten.

Die im klopffreien armen Bereich gemessenen Leistungs- und Verbrauchswerte entsprachen ungefähr den beim Fahrzeugdieselbetrieb vorliegenden Werten.

Im klopfenden Bereich war der Druckanstieg sehr steil mit einem Höchstdruck von 72 atü, bei klopfreiem Betrieb wurde ein flacher Druckanstieg mit weicherem Uebergang und einem Höchstdruck von 52 atü gemessen.

Im klopffreien Kraftstoffarmen Bereich konnte im ganzen Drehzahlgebiet unter Last und im Leerlauf gefahren werden. Die Temperaturen an der vermutlich heissesten Stelle des Zylinders waren während eines Dauerbetriebs von mehreren Stunden gleich und mit 150°C verhältnismässig niedrig. Die günstigsten Verhältnisse wurden bei einer Verdichtung von 10 erreicht. Auch das Anfahren des kalten Motors ist möglich.

Als weitere Aufgabe ergibt sich die Entwicklung eines Regelgeräts, das für die verschiedenen Betriebszustände das für klopffreien Betrieb jeweils richtige Mischungsverhältnis herstellt. Diese Aufgabe wird erleichtert, wenn es gelingt, durch Massnahmen am Motor den klopffreien Bereich zu verbreitern. Eine Steigerung der Hubraumleistung ist von der Anwendung der Ueberladung und von einer Erhöhung der Schnellaufigkeit zu erwarten.

Schrifttum.

- [1] W. Jost, Explosions- und Verbrennungsvorgänge in Gasen, Berlin 1939, Julius Springer
- [2] The Science of Petroleum, Bd. 4, S. 3054
C.R. Akad. Sci. Paris Bd. 197 (1933) - S. 224

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41
Tag:

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 1

001385

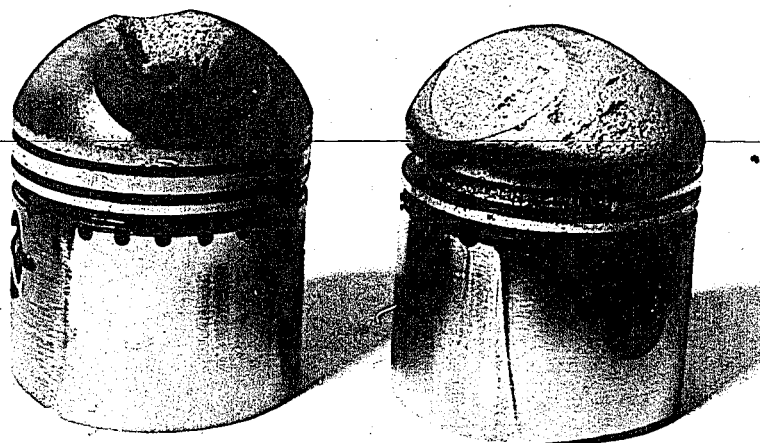


Bild 1 Klopfauswirkungen am Kolben.

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063

Se. 106. A 9. Albert Marts, Stuttgart.



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemisch- verdichtenden Motor.

Bild 2

001386

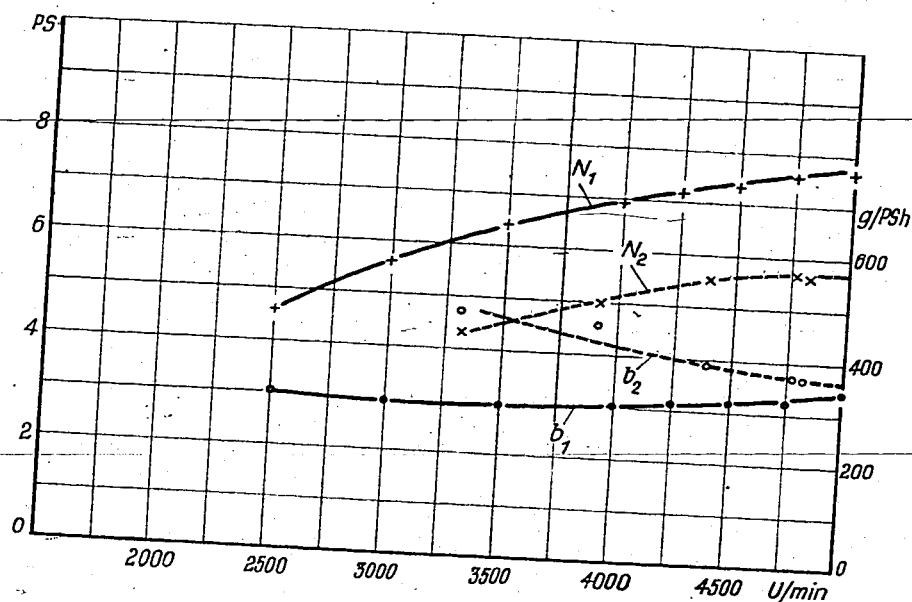


Bild 2 Leistung N und Verbrauch b bei Ottobetrieb (Zeiger 1) und gemischverdichtender Selbstzündung, klopfender Betrieb (Zeiger 2) am 200 cm^3 -Motor.

- (1) Ottobetrieb üblich, $\epsilon = 6,3$, Kraftstoff Aral
- (2) Klopfende Selbstzündung, $\epsilon = 10,2$, Kraftstoff 60 RT. Primärbenzin + 40 RT. RCH-Dieselskraftstoff.

Bearbeiter: Ernst/Dörr Tag: 29.3.41

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESSEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 3

001387

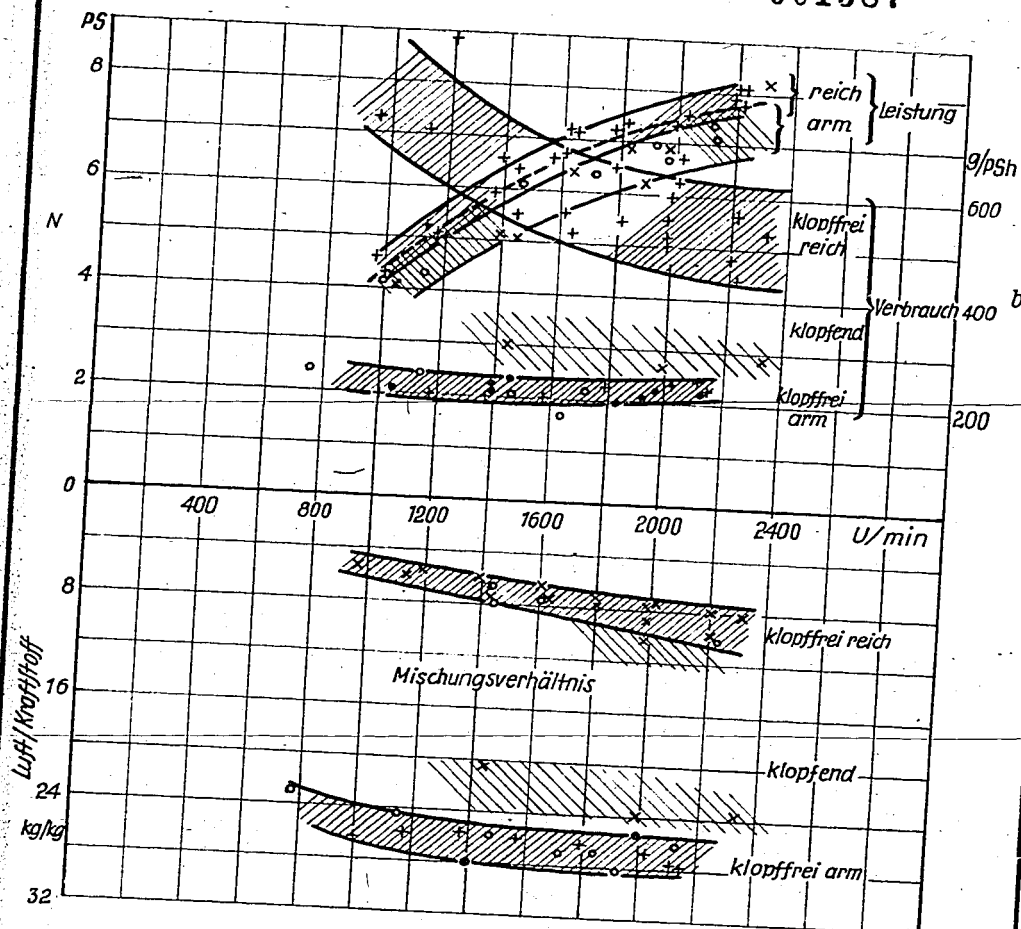


Bild 3 Leistung (PS), Verbrauch (g/PSH) und Mischungsverhältnis bei klopfendem und kloppfreiem Selbstzündungsbetrieb am 700 cm³-Motor, $\epsilon = 10,0$, Kraftstoff 60 RT. Primärbenzin + 40 RT. RCH-Dieselskraftstoff.

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063

Se. 116. A 4. Albert Hertz, Stuttgart.



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 4

001388

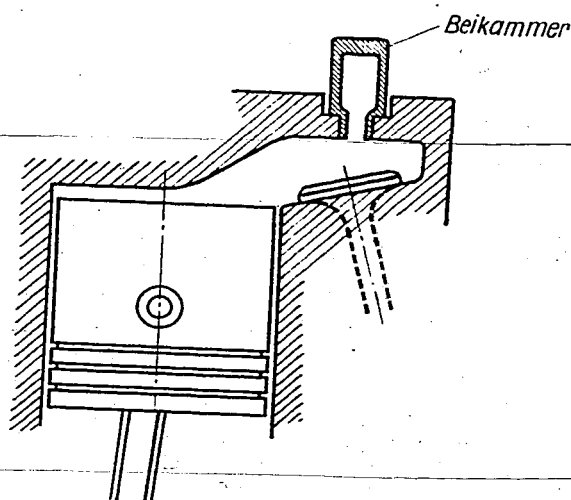


Bild 4 Anordnung der Beikammer.

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41
Tag:

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063

Se. 106. 44. Adolf Martin Stuttgart



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 5

001389

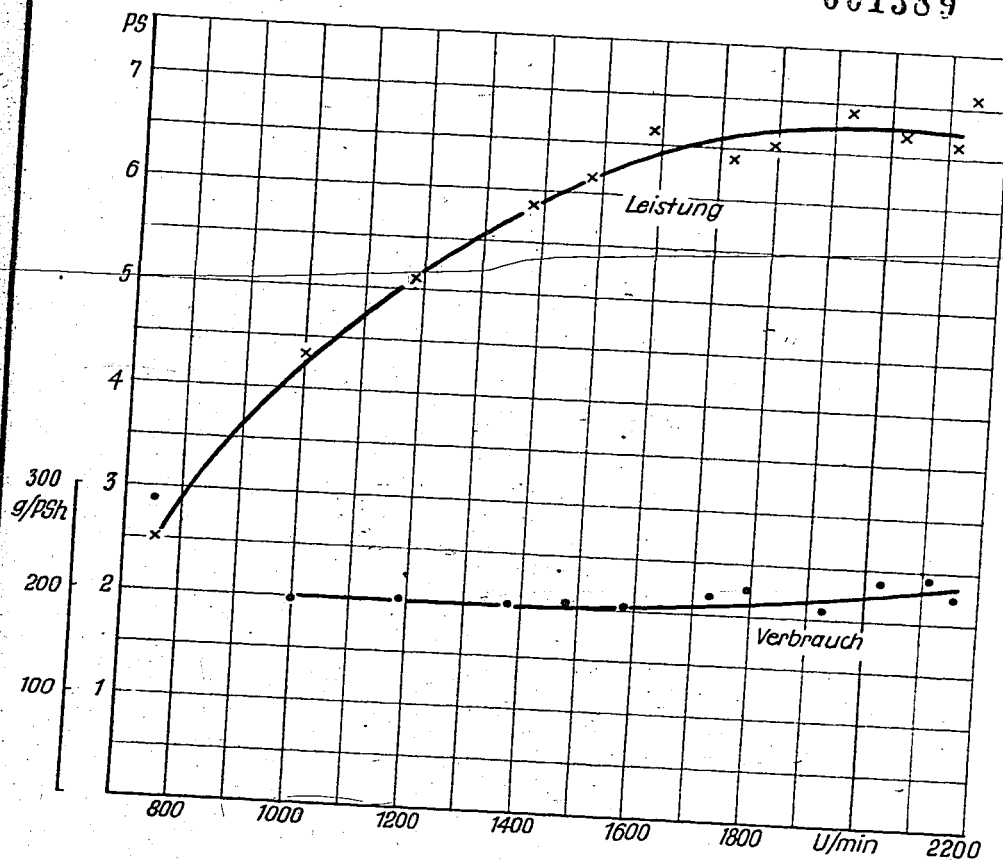


Bild 5 Leistung und Verbrauch am seitengesteuerten
700 cm³-Motor bei kloppfreier Selbstzündung
und magerer Gemischeinstellung.

Bearbeiter:
Prüfer:

Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1065

So. 146. A 4. Albert Moritz, Stuttgart.



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 6

001390

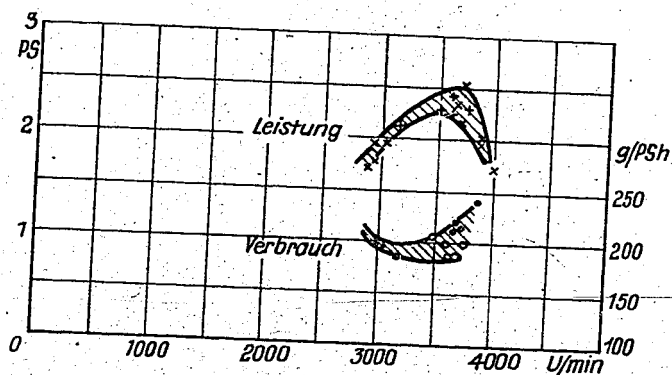


Bild 6 Leistung und Verbrauch an 200 cm³-Motor
bei kloppfreier Selbstzündung im mageren
Zustand ($\epsilon = 10,2$, Kraftstoff 60 RT,
Primärbenzin + 40 RT. RCH-Dieselskraftstoff).

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 7 bis
10

001391

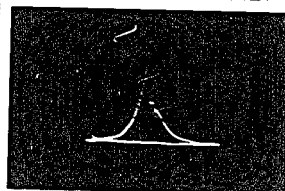


Bild 7 sehr hart klopfend

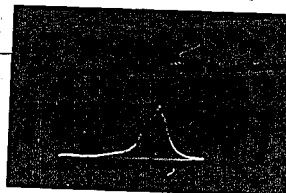


Bild 8 noch klopfend

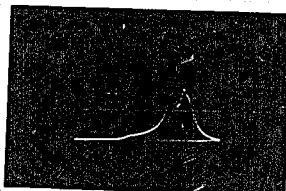


Bild 9 kloppfrei

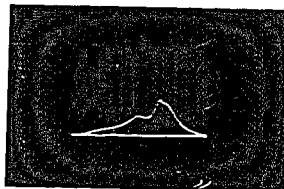


Bild 10 kloppfrei

Bild 7 bis 10 Druckverlauf am 200 cm³-Motor bei
Selbstzündung. Rückgang des Klopfens
mit späterem Druckeinsatz (geringe
Belastung, rd. 3500 U/min).

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41

Ersatz für

Ersatz durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 11

001392

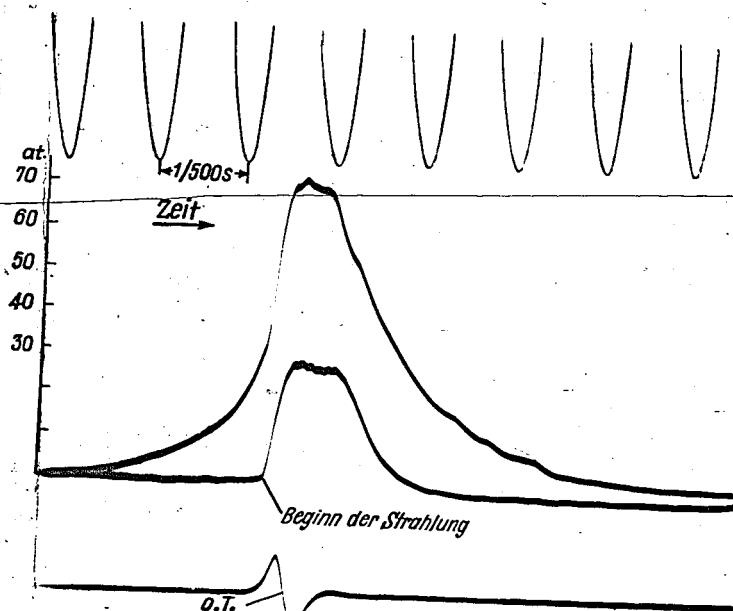


Bild 11 Druck- und Strahlungsaufnahmen bei gemischver-
dichtender Selbstzündung und klopfenden Betrieb
 $\varepsilon = 10$, 2000 U/min, Vollast, 700 cm³-Motor.

Bearbeiter: Ernst/Dörr
Prüfer:

Tag: 29.3.41
Tag:

Ersatz für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTT GART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 12

001393

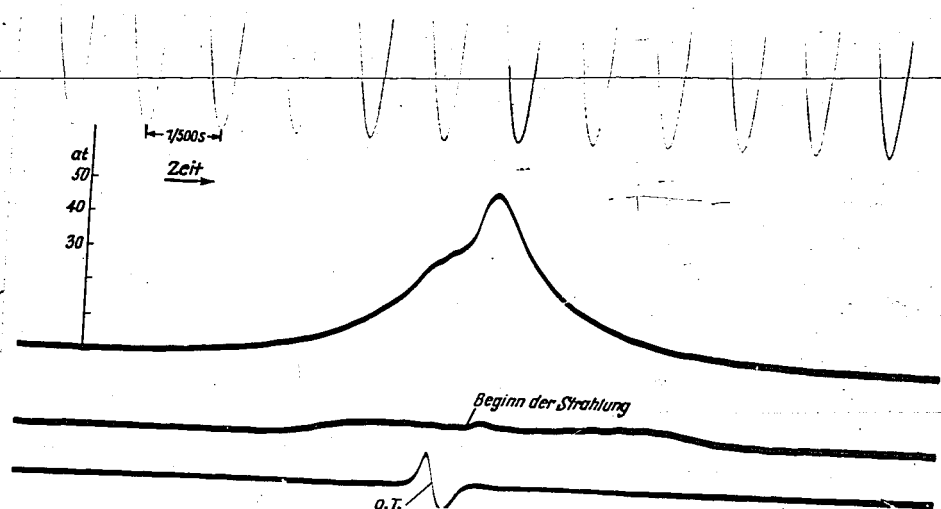


Bild 12 Druck- und Strahlungsaufnahmen bei gemisch-
verdichtender Selbstzündung und kloppfreien
armen Betriebszustand. $\epsilon = 10$, 2000 U/min,
Vollast, 700 cm³ Motor.

Bearbeiter:

Prüfer: Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Erstellt für

Erstellt durch

A.Nr. 1063



FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR KRAFTFAHRWESEN
U. FAHRZEUGMOTOREN
TECHN. HOCHSCHULE
STUTTGART

Untersuchungen zur Entwicklung des
Selbstzündungsbetriebs im gemisch-
verdichtenden Motor.

Bild 13

001394

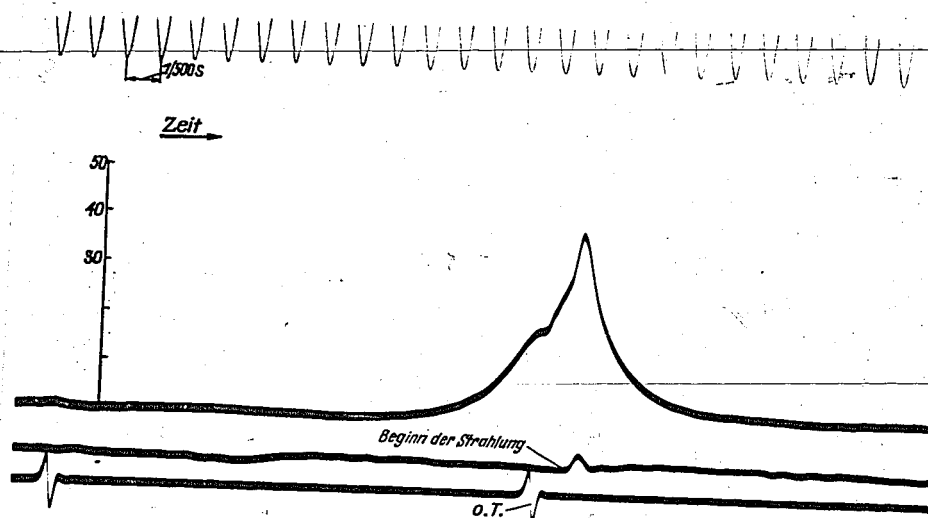


Bild 13 Druck- und Strahlungsaufnahmen bei gemisch-
verdichtender Selbstzündung und klopfreiem
reichem Betriebszustand. $\phi = 10$, 2000 U/min,
Vollast, 700 cm³-Motor.

Bearbeiter:

Prüfer: Ernst/Dörr

Tag:

29.3.41

Ersetzt für

Ersetzt durch

A.Nr. 1063

116

Staatl. Materialprüfungsanstalt

an der

Technischen Hochschule Stuttgart

Institut für die Materialprüfungen des Maschinenbaues

001395

Prüfungsbericht

EINLAGE
68485

001396

Institut für die Materialprüfungen des Maschinenbaues

Staatliche Materialprüfungsanstalt

an der

Technischen Hochschule Stuttgart

Prüfungsbericht.

Antragsteller: Oberkommando des Heeres - Heereswaffenamt Wa Prüf 6 (IV b) -
Berlin-Charlottenburg.

Gegenstand: Versuche über die Hitzebeständigkeit der Getriebeschmier-
mittel unter Einbeziehung der neuen ungefetteten Getriebe-
öle.

Datum des Berichts: 9. Mai 1944.

Auftrag M 10580.

1 Textseiten.

10 Beilagen.

ausgefertigt siehe Verteiler am Schluss des Berichtes.



Institut für die
Materialprüfungen des Maschinenbaus
Staatl. Materialprüfungsanstalt an der
Techn. Hochschule Stuttgart
Cannstatter Straße 212

Stuttgart, den 9. Mai 1944.

001397

An das

Oberkommando des Heeres
Heereswaffenamt
Wa Prüf 6 (IV b)

Berlin - Charlottenburg 2
Jebensstrasse 1.

Betreff: Kriegsauftrag Nr. SS 0015-8734/43 -
Hitzebeständigkeit der Getriebschmierstoffe
unter Einbeziehung der neuen ungefetteten Getriebeöle.
Unsere Zeichen: M 10580
Gz/ Schu.

Im Rahmen des obengenannten Kriegsauftrages wird entsprechend den Vereinbarungen auf der Arbeitstagung des Forschungskreises 5 am 20.3.1944 in Erfurt, sowie verschiedenen Besprechungen mit dem Leiter dieses Forschungskreises, Herrn Dipl.-Ing. Bokemüller, hiermit ein erster

Zwischenbericht
über

"Zahnradversuche bei Oelsumpftemperaturen von 130 - 160°C"
erstattet.

Ziel dieser ersten Versuche im Rahmen des Gesamtauftrages war vor allem die Feststellung, inwieweit und unter welchen Versuchsbedingungen eine Oelalterung, insbesondere die im praktischen Betrieb gelegentlich beobachtete starke Oeleindickung vermögensmäßig auftritt.

I. Versuchsöle.

Auf Veranlassung von Herrn Dipl.-Ing. Bokemüller wurden bisher die folgenden Versuchsöle zur Verfügung gestellt, auf welche sich der vorliegende Versuchsbericht ausschliesslich bezieht:

mit unserer Zustimmung zulässig.

./.

Zahlentafel I

001398

Versuchsöle

Nr.	MPA-Kennzeichen	Benennung	Art	Hersteller	Lieferung	Daimler-Benz-Analysen-Nr.
1	XXII	GÖW 8 E/50	ungefettet	Rhenania-Ossag Hamburg	Februar 1944	S 849
2	XXIII	GÖW 8 E/50	ungefettet	Deutsche Vacuum-Öel A.-G., Hamburg	Januar 1944	S 849
3	XX	GÖW 8 E/50	gefettet	Rhenania-Ossag Hamburg	Nov./Dez. 1943	S 818
4	XXI	Hypoidöl 8 E/50		Rhenania-Ossag Hamburg	Nov./Dez. 1943	S 820

Die Erzeugungsart dieser Öle (Raffinat oder Destillat) war nach Angaben der Hersteller nicht mehr in allen Fällen mit Sicherheit festzustellen, so dass diese bei den vorliegenden Versuchen noch nicht berücksichtigt werden konnte.

II. Versuchseinrichtung

Es wurde ein Zahnradgetriebe benutzt, welches nach Abb. 1 aus einem zweiseitig kugellagerten Zahnradpaar mit den folgenden Abmessungen bestand:

Zahlentafel II

Versuchszahnräder.

Modul	$m = 3 \text{ mm}$
Zahnteilung	$t = m \pi = 0,94 \text{ cm}$
Zahnezahl	$z_1/z_2 = 22/32$
Teilkreis halbmesser	$r = \frac{d}{2} = 3,3 \text{ cm}$ bei $z_1 = 22$
Untersetzung	$i = \frac{32}{22} = 1,45$
Eingriffswinkel	$\alpha = 20^\circ$
Zahnbreite	$b = 1,0 \text{ cm}$
Werkstoff	ECN 20 (0,19% C, 1,87% Cr, 1,88% Ni)
Flankenoberfläche	Maag - Doppelschlichtschliff

Die Innenmaße des Getriebegehäuses waren:

Breite 210 mm

Länge 70 mm

Höhe 170 mm.

Bei dem in Abb.1 eingezeichneten Ölstand betrug die Ölfüllung etwa 600 cm^3 . Im Ölsumpf war der Wärmefühler des elektrischen Temperaturmessgerätes angeordnet. Die Länge dieses Fühlers betrug etwa zwei Drittel der Gehäusebreite, so dass die durch dieses Gerät angezeigte Temperatur weitgehend als mittlere Temperatur des ganzen Ölsumpfes anzusehen ist.

Wie aus Abb.1 ersichtlich, wurde der Ölstand so gewählt, dass das grosse Rad im Stillstand etwas mehr als der Zahnhöhe entsprechend in den Ölsumpf eintauchte.

Der Antrieb der Zahnräder erfolgte mit einem Elektromotor. Der Zahndruck wurde in bekannter Weise durch mechanisches Verspannen aufgebracht.

Teile aus Nichteisenmetallen befanden sich nicht im Versuchsgetriebe.

III. Versuchsdurchführung

Mit einer Drehzahl von 2050 am kleinen und demgemäss 1410 U/min am grossen Rad lief das Getriebe mit einem konstanten Zahndruck von $P = 680 \text{ kg}$. Mit den Zahnradabmessungen der Zahlentafel II ergibt dieser Zahndruck die folgenden Beanspruchungsdaten:

Zahlentafel III

Beanspruchungsdaten des Versuchsgetriebes

Nr.	Beanspruchung	Formel und Zahlenwert	Einheit
1	Leistung	$N = \frac{P \cdot r \cdot n}{71620} = \frac{680 \cdot 3,3 \cdot 2050}{71620} = 64$	PS
2	Vergleichswert	$c = \frac{P}{\delta \cdot t} = \frac{680}{1 \cdot 0,94} = 722$	kg/cm ²
3	Walzenpressung im Teilkreis	$\sigma_{max} = 2390 \sqrt{\frac{P \cdot r}{\delta \cdot d^2} \cdot \frac{i+1}{i+0,74}} = 2390 \sqrt{\frac{680 \cdot 3,3}{7 \cdot 6,6^2} \cdot \frac{1,45+1}{1,45+0,74}} = 213$	kg/mm ²
4	Wärmestauwert	$S_a = \frac{m \cdot Z \cdot \delta}{20 \cdot N} = \frac{3 \cdot 22 \cdot 10}{20 \cdot 64} = 0,52$	mm ² /PS
5	Spezifische Oelfüllung	$v = \frac{V}{N} = \frac{600}{64} = 9,4$	cm ³ /PS

Unter diesen Verhältnissen lief das Getriebe ohne zusätzliche Heizung oder Kühlung. Nach jeweils 4 Stunden Laufzeit, während der alle 1/4 Stunden eine Ablesung der Oelsumpf-temperatur erfolgte, wurde das Oel abgefüllt und der Verschleiß der Räder durch Wägung auf einer Analysenwaage festgestellt.

Zum Ausgleich der beim Umfüllen und durch Verdampfen auftretenden Oelverluste wurde jede Versuchsreihe mit einer Anfangsölmenge von 700 cm³ begonnen, wovon jedoch nur jeweils 600 cm³ in das Getriebe gefüllt wurden. Die Versuchsreihen wurden stets bis zum Eintritt eines Zahnbruches durchgeführt. Die Temperatur des Versuchsraumes betrug 20 ÷ 25 °C.

Zur Feststellung der im Oel während einer derartigen Versuchsreihe aufgetretenen Oeleindickung wurde die Oelzähigkeit während der Versuche zunächst nur gefühlsmässig beurteilt und dann nach Abschluss derselben der Chemisch-Technischen Reichsanstalt (Dr.Noak), zusammen mit Frischölproben, zur eingehenden physikalischen bzw. chemischen Untersuchung übergeben.

./.

Die gemessenen Oelsumpftemperaturen sind in den Abb. 2 - 5 für die 4 verschiedenen Öle über der Laufzeit dargestellt, beispielsweise in Abb. 2 für GÖW 8 E/50, ungefettet, der Firma Rhenania-Ossag. Die während einer vierstündigen Laufstufe mehr oder weniger voll erreichte Beharrungstemperatur ergibt sich in den ersten Laufstufen immer zu etwa den gleichen Werten. Nach einer bestimmten Laufzeit (in Abb. 2, Versuch 1, beispielsweise nach 30 Stunden) springt die Beharrungstemperatur auf einen wesentlich höheren Wert (in Abb. 2 beispielsweise um rd 30°C). Bei weiteren Laufstufen wird wiederum immer etwa die gleiche (hohe) Beharrungstemperatur erreicht. Vergleicht man diesen Sprung von der Temperaturtiefe in die Temperaturhochlage mit den entsprechenden Verschleisskurven, die in Abb. 6 als Gewichtsverlust über der Laufzeit aufgetragen sind, so kann festgestellt werden, dass mit dem Temperatursprung der Beginn eines wesentlich höheren Verschleisses verbunden ist. Zur Überprüfung dieses Ergebnisses wurde mit demselben Öl ein zweiter gleichartiger Versuch durchgeführt (Abb. 2 u. 6). Er zeigte dieselben Erscheinungen, wenn auch der Sprung bereits nach 14 Stunden auftrat.

Dieselben Versuche mit dem zweiten Öl (GÖW 8 E/50, ungefettet, Deutsche Vacuum A.G.) ergaben grundsätzlich ein anderes Bild. Schon in der ersten Laufstufe lag der Verschleiss in der Hochlage (Abb. 6). Auch im Temperaturverlauf ist kein scharf ausgeprägter Sprung festzustellen¹⁾, wenn auch während der ersten Laufstufe die Temperatur um etwa 15° tiefer lag, als bei den folgenden Stufen (Abb. 3). Abb. 7 zeigt eine Flanke, bei der schon nach der ersten Laufstufe von 4 Stunden erhebliche Anfresserscheinungen sichtbar sind. Eine Wiederholung desselben Versuchs mit diesem Öl brachte ein mit dem ersten im Hinblick auf Verschleiss- und Temperaturverhältnisse übereinstimmendes Ergebnis (Abb. 3).

¹⁾ Die verhältnismässig tiefe Temperatur in der zweiten Laufstufe des Versuchs 1 ist vermutlich auf eine Unstimmigkeit am Versuchsstand zurückzuführen, welche nach dem Versuch nicht mehr aufzuklären war. Sie hat aber auf die Ergebnisse des vorliegenden Berichts keinen Einfluss. - Da Temperaturen über 160°C eine Überlastung des Messgerätes bedeuteten, wurde ihre Messung nur stichprobenartig durchgeführt; im allgemeinen wurde das Gerät bei etwa 160°C abgeschaltet. Die Endtemperatur der einzelnen Laufstufen dürfte schätzungsweise 165 - 170°C betragen haben.

Das Verhalten des dritten Oeles (GÖW 8 E/50, gefettet, Rhenania-Ossag) zeigt ein dem ungefetteten Oel derselben Firma ähnliches Verhalten (Abb. 4 und 6). Der Temperatur- und Verschleißsprung trat allerdings erst nach viel längerer Laufzeit (rd 52 Stunden) auf. Die Abb. 8 und 9 zeigen dieselbe Flanke einmal im Gebiet der Verschleißstief-, zum andern in der -Hochlage. Während der Tieflage fällt die Beharrungstemperatur in den ersten Laufstufen noch um etwa 10 - 15°C ab, um dann bis zum Sprung etwa gleich zu bleiben (Abb. 4). Diese Erscheinung dürfte mit Einlaufvorgängen auf den Flanken zusammenhängen.

Das vierte Oel (Hypoid-Oel 8 E/50 der Rhenania-Ossag) zeigt keinen ausgeprägten Sprung in Temperatur und Verschleiß (Abb. 5 und 6), wenn auch nach der ersten (Versuch 1) bzw. den ersten beiden (Versuch 2) Laufstufen der Verschleiß geringer ist als in den späteren (Abb. 6). Die jeweils nach 4 Stunden Laufzeit erreichten Temperaturen steigen von Laufstufe zu Laufstufe an (Abb. 5). Dabei ist zu bemerken, dass der 2. Versuch mit diesem Oel mit einer Oelfüllung von 800 cm³ gegenüber 600 cm³ bei sämtlichen anderen Versuchen durchgeführt wurde. Durch diese Massnahme wird eine Senkung der Oeltemperatur bis zu 35°C je nach Laufstufe erreicht. (Versuch 2 läuft bei Berichterstattung noch weiter). Die Abb. 10 bis 15 zeigen dieselbe Flanke nach verschiedenen Laufzeiten.

Ausser Zahnradversuchen wurden mit den 4 Oelen einige Stichprobenversuche auf dem Vierkugelapparat (Bauart Rhenania-Ossag) durchgeführt, und zwar wurden im ungebrauchten Zustand des Oeles die vollständigen Verschleißkurven aufgenommen und zudem die Schweissbelastung von allen Oelen nach dem geschilderten Zahnradversuch²⁾ ermittelt (Abb. 16 und 17). Diese Versuche erbrachten für den bei Hoch- und Höchstdruckölen bekannten Sprung von der Verschleiß-

²⁾ In den Fällen, in denen je Oel 2 Zahnradversuche durchgeführt wurden, ist die Schweissbelastung mit dem Oel des Versuchs mit der längeren Laufzeit ermittelt worden.

tief- in die -Hochlage sowie für die Schweissbelastung die folgenden Werte:

Zahlentafel IV
Ergebnisse der Versuche auf dem Vierkugel-
apparat

Nr.	MPA-Kenn- zeichen	Benennung	Sprung- Belastung kg	Schweissbelastung	
				neu	gebraucht
1	XXII	GÖW 8 E/50 ungefettet Rhen.Ossag	125	240	240
2	XXIII	GÖW 8 E/50 ungefettet Dtsch.Vacu.	90	280	280
3	XX	GÖW 8 E/50 gefettet, Rhen.Ossag	90	280	300 ^{2a)}
4	XXI	Hypoidöl 8 E/50 Rhen.Ossag	130	>1200	400

Die Werte der Frischöle sind als normal anzusehen, wenn auch die Schweissbelastung des ungefetteten Öls der Deutschen Vacuum und die des gefetteten Oeles der Rhenania-Ossag etwas höher als normal (220 ÷ 240 kg) liegen. Die Schweissbelastung des gebrauchten Oeles entspricht etwa der dem Frischzustand bei den 3 Ölen GÖW, während sie beim Hypoidöl von >1200 kg auf 400 kg absinkt. Auch die Verschleissdurchmesser sind nur beim Hypoidöl im gebrauchten Zustand wesentlich grösser als im frischen.

Sämtliche Versuchsöle ergaben im Hinblick auf die Oeleindickung keine Schwierigkeiten. Dem Augenschein nach beurteilt, trat zwar eine geringfügige Erhöhung der Zähigkeit ein, und zwar bei allen Ölen; Anzeichen, welche eine Weiterverwendung der Öle im praktischen Fall irgendwie fraglich erscheinen lassen würden, konnten jedenfalls nicht festgestellt werden.

2a) Der Anstieg der Schweissbelastung beim gebrauchten Öl GÖW-8E/50, gefettet, um 20 kg liegt im Rahmen der beim Vierkugelapparat allgemein beobachteten Streuungen.

Genauere Aufschlüsse über den Grad der Eindickung wird die noch nicht abgeschlossene Untersuchung bei der Chemisch-Technischen Reichsanstalt liefern.

Bei der gewählten Versuchsart sind die Laufzeiten der einzelnen Öle, da sie vom Auftreten des ersten Zahnbruchs abhängig sind, verschieden. Sie schwanken zwischen 16 und 65 Stunden. Im Zusammenhang mit den vorliegenden Versuchen nicht besonders interessierend, allgemein jedoch bemerkenswert erscheint die Tatsache, dass die Laufzeiten bis zum Zahnbruch bei den Versuchen bzw. Ölen am längsten waren, bei denen der Sprung von der Verschleissstief- in die -Hochlage verhältnismässig spät auftrat.

Im Hinblick auf die Erforschung der Hitzebeständigkeit von Getriebeölen durch derartige Versuche kann folgendes festgestellt werden: Bei gleichen Belastungs- und Drehzahlverhältnissen ergaben die untersuchten Öle ohne Kühlung bzw. Aufheizung die folgenden Ölsumpftemperaturen:

Zahlentafel V
Ölsumpftemperaturen und Verschleisswerte.

Nr.	MPA-kennzeichen	Benennung	Versuch	Sprung nach Laufzeit h	Ölsumpftemperatur °C		mittl. Verschleiss mg/h	
					vor Sprung	nach Sprung	vor Sprung	nach Sprung
1	XXII	GÖW 8 E/50 ungefettet Rhen.Ossag	1	30	130	160	8	161
			2	13	130	160	15	185
2	XXIII	GÖW 8 E/50 ungefettet Dtsch.Vac.	1	sofort	-	165 - 170	-	135
			2	sofort	-	165 - 170	-	69
3	XX	GÖW 8 E/50 gefettet Rhen.Ossag		52	130	165 - 170	8	280
4	XXI	Hypoidöl 8, E/50 Rhen.Ossag	1	(~ 4)	-	130 - 195 ³⁾	(45)	150
			2	(~ 8)	-	125 - 145 ³⁾	(30)	123

3) je nach Laufstufe.

Demnach ergeben bei gleichen Belastungs- und Drehzahlverhältnissen dann alle Öle bis auf das Hypoidöl etwa gleiche Ölsumpftemperaturen, wenn man allein die Verhältnisse in der Verschleisshoch- oder -Tieflage unter sich vergleicht. Das Hypoidöl ergibt mit fortschreitender Laufzeit steigende Temperaturen. Da der Sprung von der Tief- zur Hochlage bei den verschiedenen Ölen, wie bemerkt, nach stark unterschiedlichen Laufzeiten eintritt, ist die Einhaltung gleicher Temperaturen bei Versuchen, welche ausschliesslich der Untersuchung der Hitzebeständigkeit dienen sollen, bei verschiedenen Ölen und gleichen Belastungs- und Drehzahlverhältnissen über lange Laufzeiten nicht ohne weiteres möglich.

V. Zusammenfassung.

- 1) Bei Versuchen mit gleicher Belastung und gleicher Drehzahl ergeben die untersuchten Hochdrucköle (GÖW 8 E/50) nach unterschiedlicher Laufzeit einen Sprung in der Beharrungstemperatur von etwa 30°C (Abb. 2, 3 und 4).
- 2) Beim Hypoidöl steigt im Rahmen der hier untersuchten Laufzeiten die Temperatur mit der Laufzeit (Abb.5).
- 3) Der Temperatursprung tritt gleichzeitig mit einem Sprung im Verschleiss von einer Tieflage in eine Hochlage auf (Abb.6).
- 4) Bei den hier erreichten Ölsumpftemperaturen von 130 - 160°C verhalten sich im Hinblick auf den Flankenverschleiss die beiden Öle GÖW 8 E/50 der Rhenania-Ossag, gefettet und ungefettet, etwa gleichwertig. Erst nach einer gewissen Laufzeit springen Verschleiss und Temperatur in die Hochlage. Beim Öl GÖW 8 E/50, ungefettet, der Deutschen Vacuum und dem Hypoidöl 8 E/50 der Rhenania-Ossag tritt die Verschleisshochlage gleich mit Beginn des Versuchs bzw. nach kurzer Laufzeit von wenigen Stunden ein (Zahlentafel V).

- 5.) Bei Beurteilung der Schmierfähigkeit durch die Schweissbelastung im Vierkugelapparat tritt nach den durchgeführten Versuchsläufen eine Verringerung der Schmierfähigkeit nur beim Hypoidöl ein, während bei den GOW-Ölen die Schweissbelastungen vor und nach dem Versuch etwa gleich bleiben (Zahlentafel IV).
- 6.) Versuche ohne Heizung und Kühlung des Getriebes bei gleichen Belastungs- und Drehzahlverhältnissen sowie Ölsumpftemperaturen sind wegen des durch die verschiedenen Öle bedingten stark unterschiedlichen Verschleisses und damit Temperaturverhaltens über längere Laufzeiten nicht möglich.
- 7.) Bei Laufzeiten bis zu rd 60 h traten bei keinem der Öle derartig stark Eindickungen auf, dass eine Weiterverwendung der Öle aus diesem Grunde in Frage gestellt sein könnte. Den Grad der Zähigkeitserhöhung werden die bei der Chemisch-Technischen Reichsanstalt derzeit laufenden Untersuchungen ergeben.

VI. Geplante Fortsetzung der Versuche.

Auf Grund dieser Versuchsergebnisse ist zur weiteren Erforschung der Hitzebeständigkeit der Getriebeöle vorgesehen, zunächst noch folgende Einflüsse zu untersuchen:

- 1) Längere Laufzeiten (bis zu 200 h) bei dauernd konstanter Ölsumpftemperatur von 150°C. Zu diesem Zweck wird in das Getriebegehäuse eine Heizvorrichtung eingebaut und gleichzeitig die Belastung soweit gesenkt, dass mit einem Raderpaar diese Laufzeiten ohne Bruch gefahren werden können. Es steht zu erwarten, dass die Belastung dann trotzdem noch so hoch ist, dass wesentliche Verschleisstellen in das Öl gelangen.
- 2) Bessere Belüftung des Gehäuseinnern durch Anbringung einer nur gegen Spritzer von innen her abgedeckten Gehäuseöffnung.

./.

- 3) Versuche mit ungefetteten Oelen GÖW 8 E/50 jetziger
Lieferung auf Raffinatbasis.

Der mit der Untersuchung betraute Ingenieur: gez. Glaubitz.

Abteilung für den
allgemeinen Maschinenbau

gez. Wellinger.

Der Direktor

gez. Graf.



Verteiler: OKH - Wa Prüf 6 (IV b) mit Chemisch-Technische
Reichsanstalt, 3-fach,
Reichsverkehrsministerium, Abt.K, Berlin,
Reichsminister für Rüstung und Kriegsproduktion
- Kraftfahrzeugkommission, Forschungskreis 5 -
z.Hd.v. Herrn Dipl.-Ing. B o k e m ü l l e r ,
Herrn Dipl.-Ing. B o k e m ü l l e r i.Fa.Daimler-Benz AG,
Gaggenau, 8-fach, zur Verteilung an:
Mineralöl-Industrie,
Herrn Dr.Ing. S c h a u b i.Fa. Ruhr-Chemie,
(Abt. Prüfstand) Oberhausen-Holten,
Herrn Dr.Ing.habil. F. K a r a s , Techn.Hochschule
Dresden.

001408

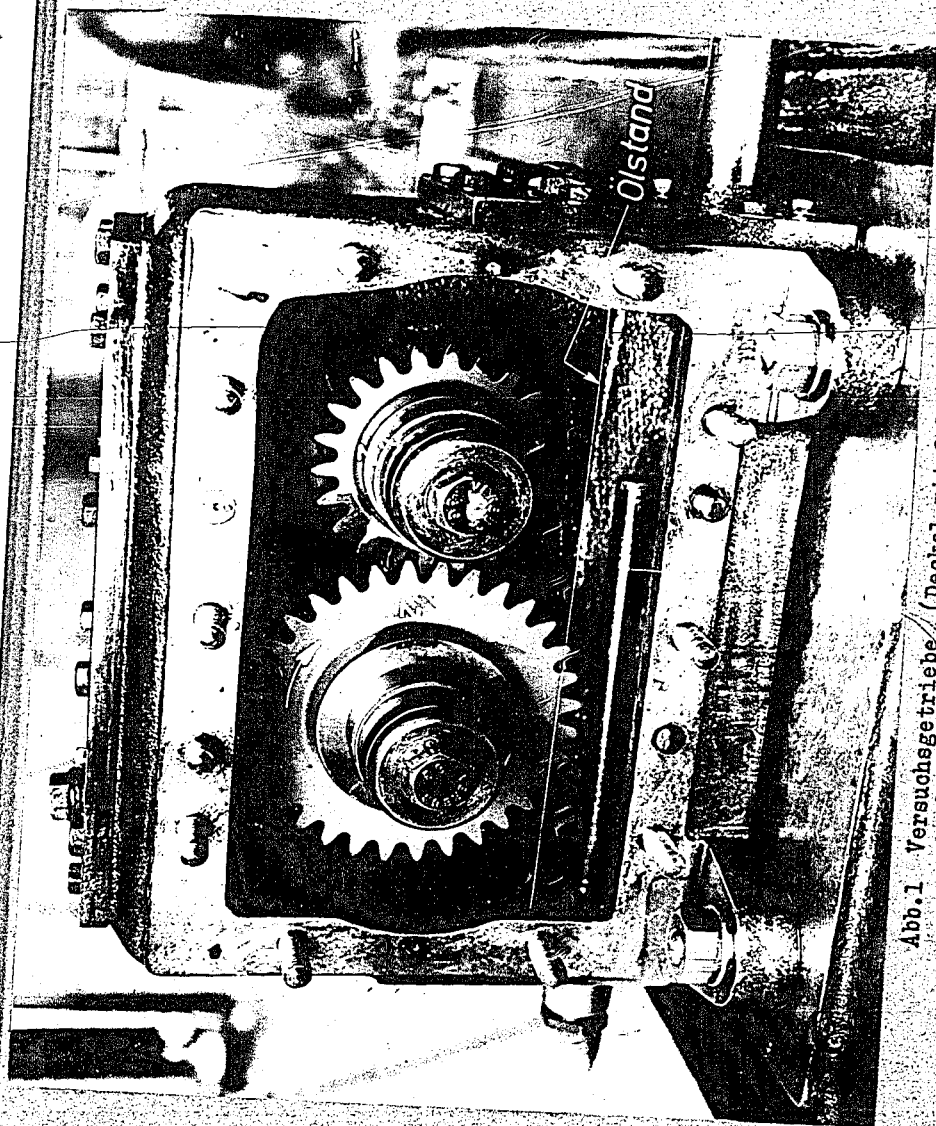
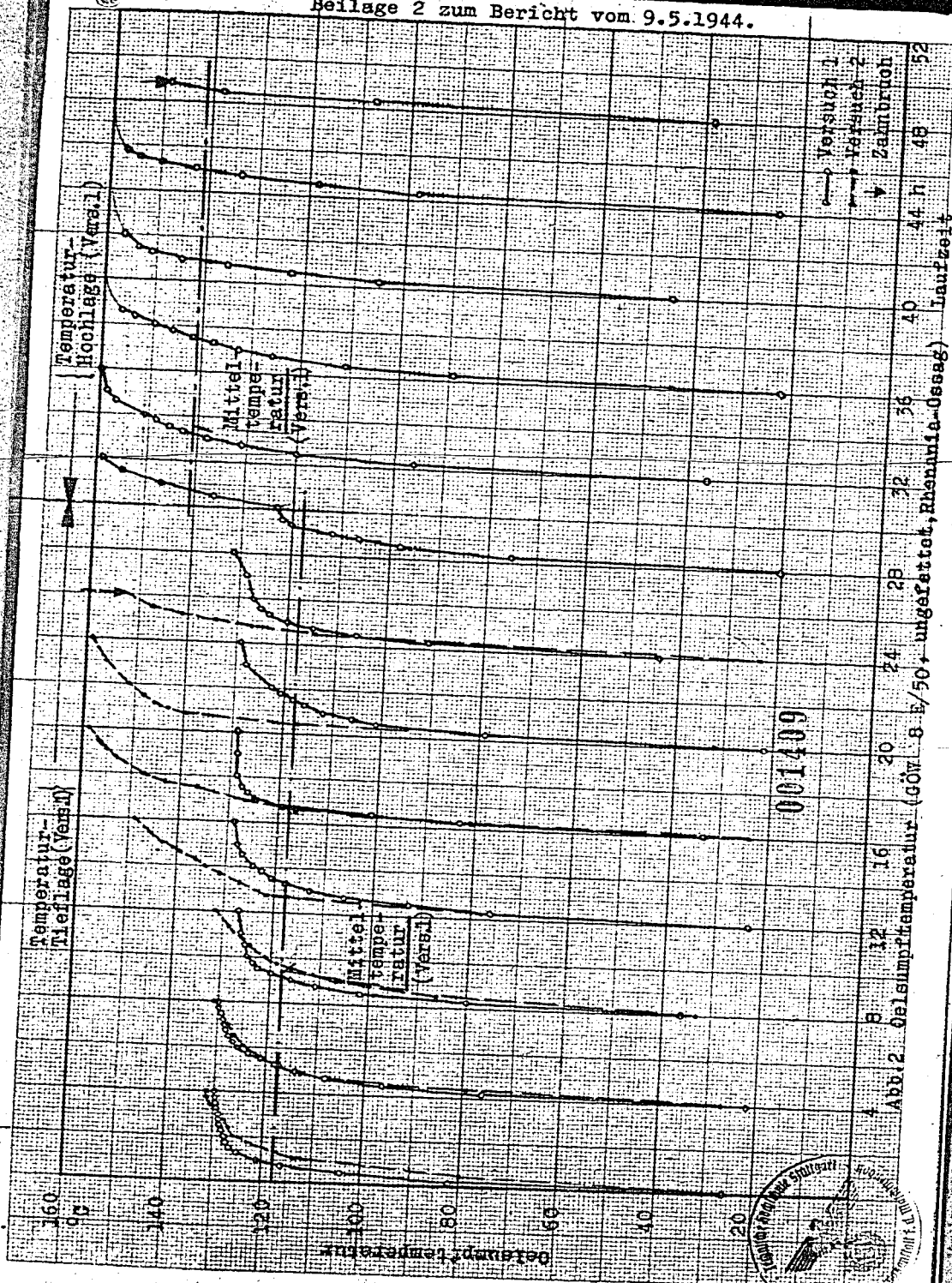


Abb. 1 Versuchsgetriebe (Deckel mit 2 Kugellagern entfernt)
z₁ kleines Zahnrad, w Wärmefühler des Temperatur-
z₂ grosses Zahnrad, Anzeigergerätes.

Beilage 2 zum Bericht vom 9.5.1944.



Beilage 3 zum Bericht vom 9.5.1944

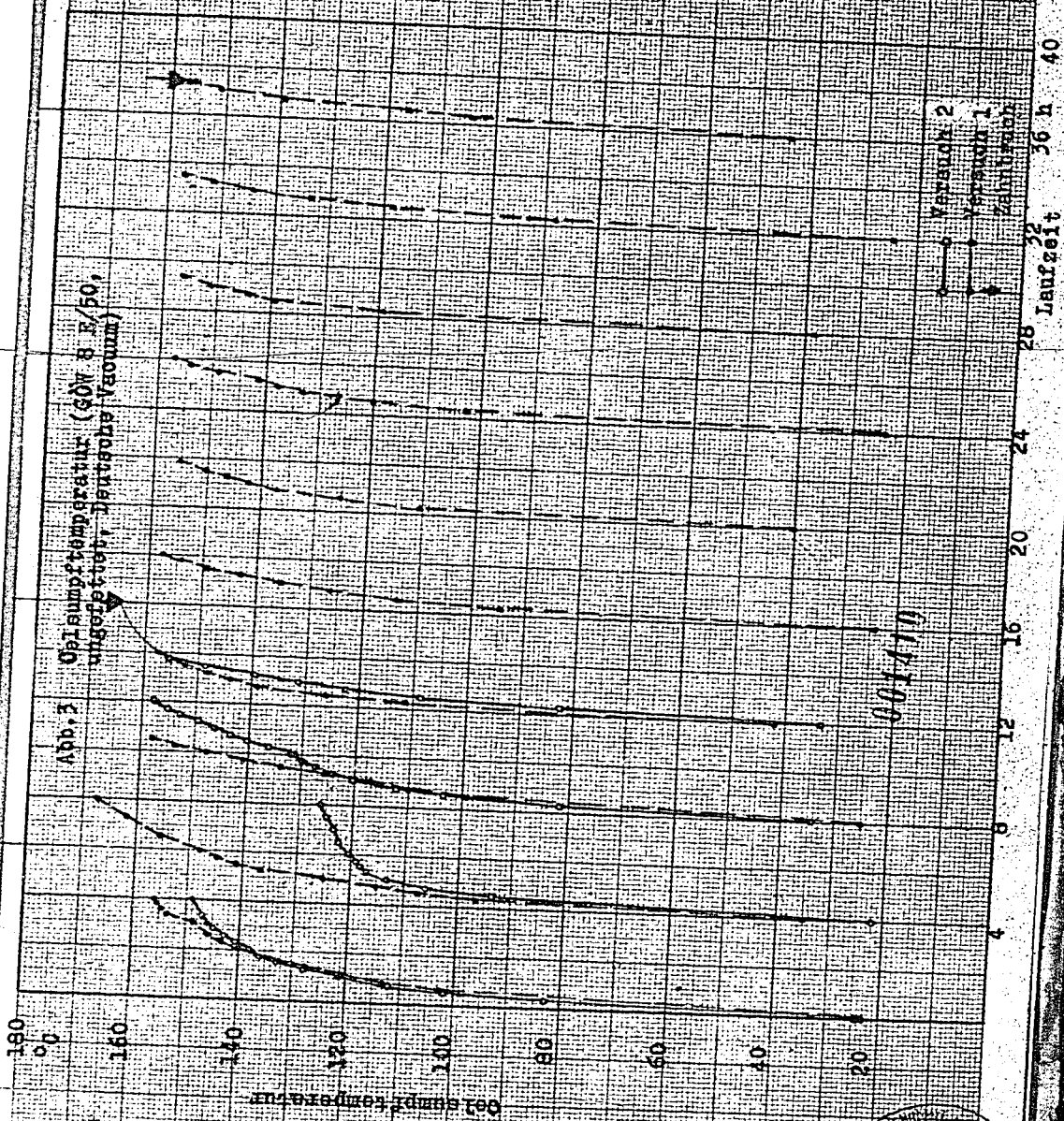


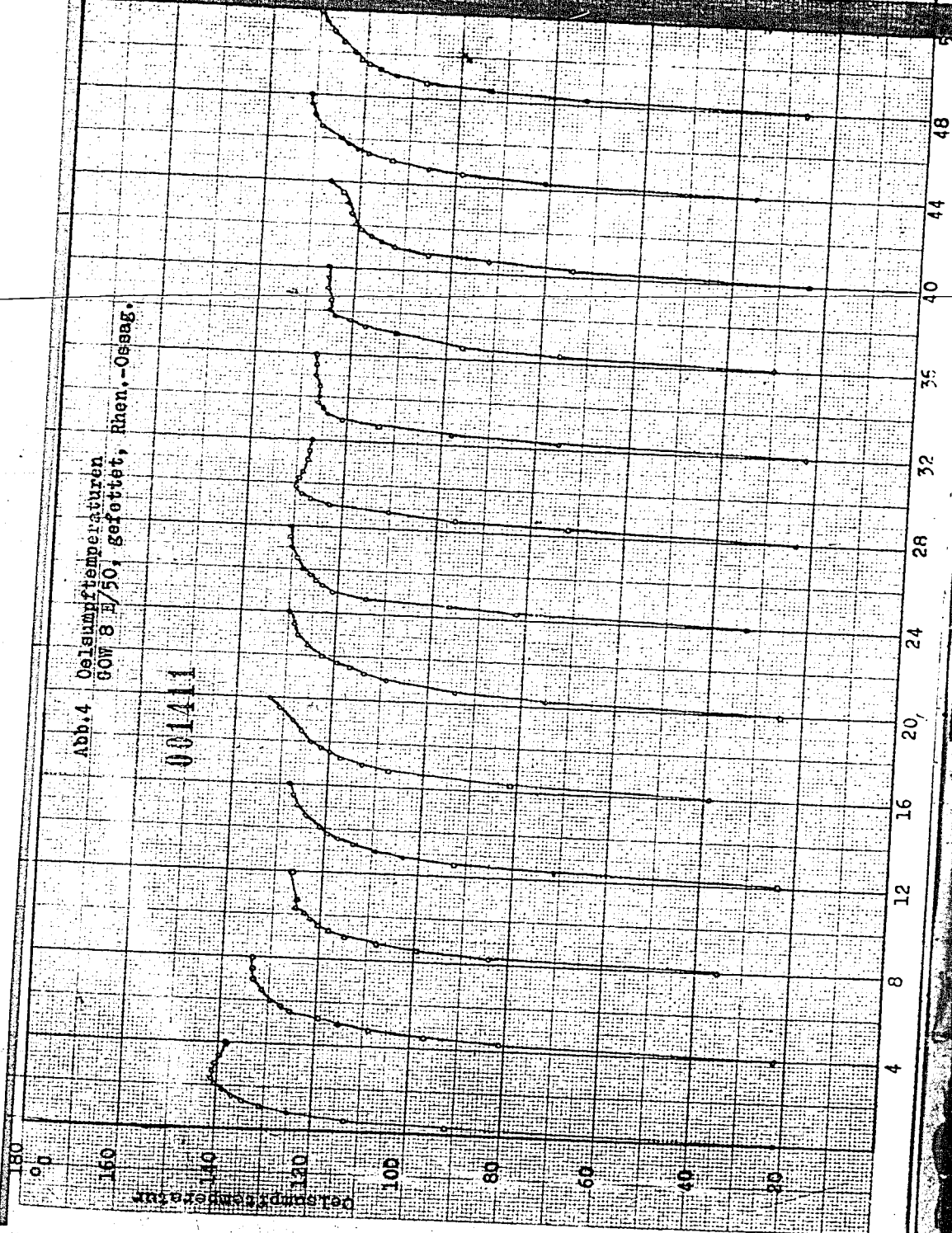
Abb. 3 Öltemperatur (500 8 B/50, ungegeteilt, Deutsche Vacuum)

001419



Abb. 4. Oelsumptemperaturen
90W 8 E/50, gefettet, Rhen.-Ossag.

03411



60	64	h	66
Laufzeit			

001412



Beilage 5 zum Bericht vom 9.5.1944.

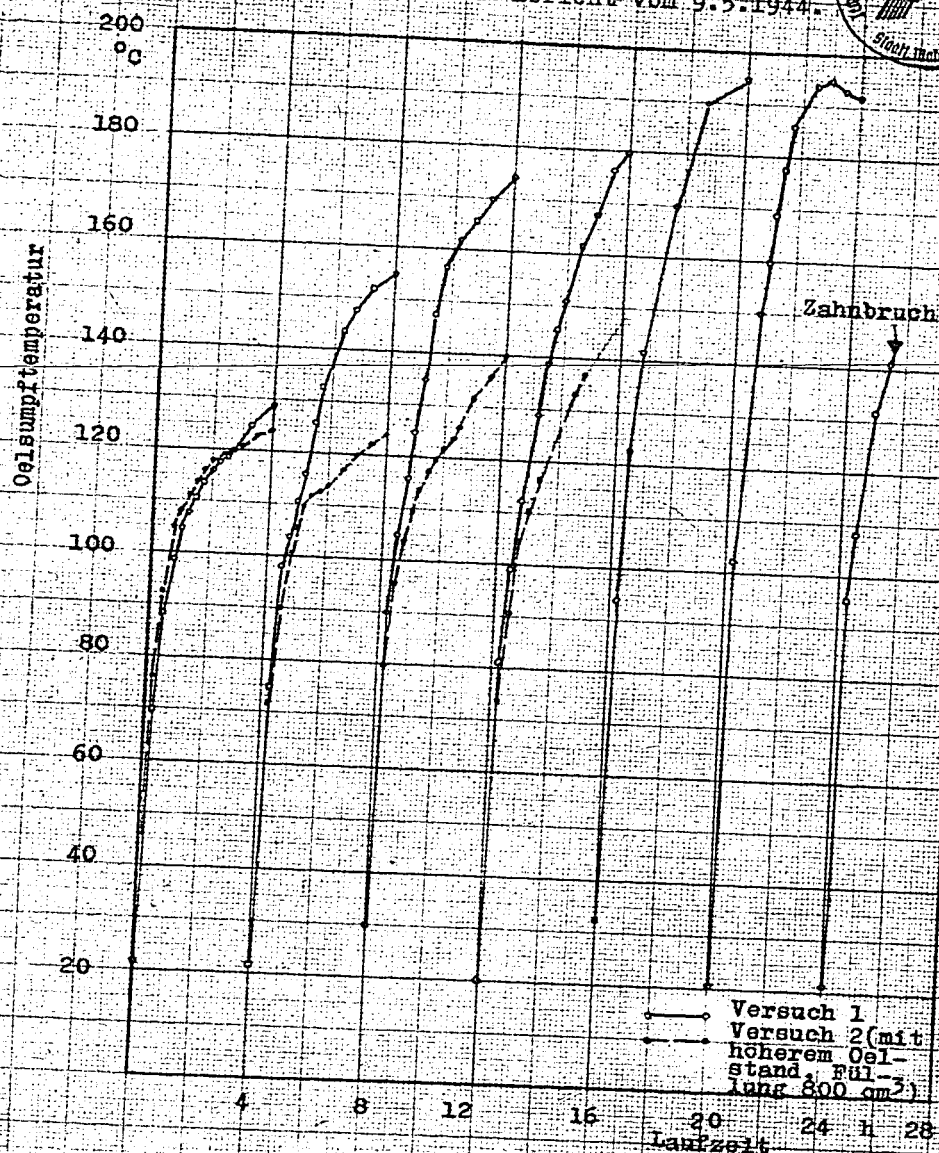


Abb. 5 Oelsumptemperaturen
Hypoidöl 8 9/50, Rheania-Ossag.

Beilage 6 zum Bericht vom 9.5.1944.



001413

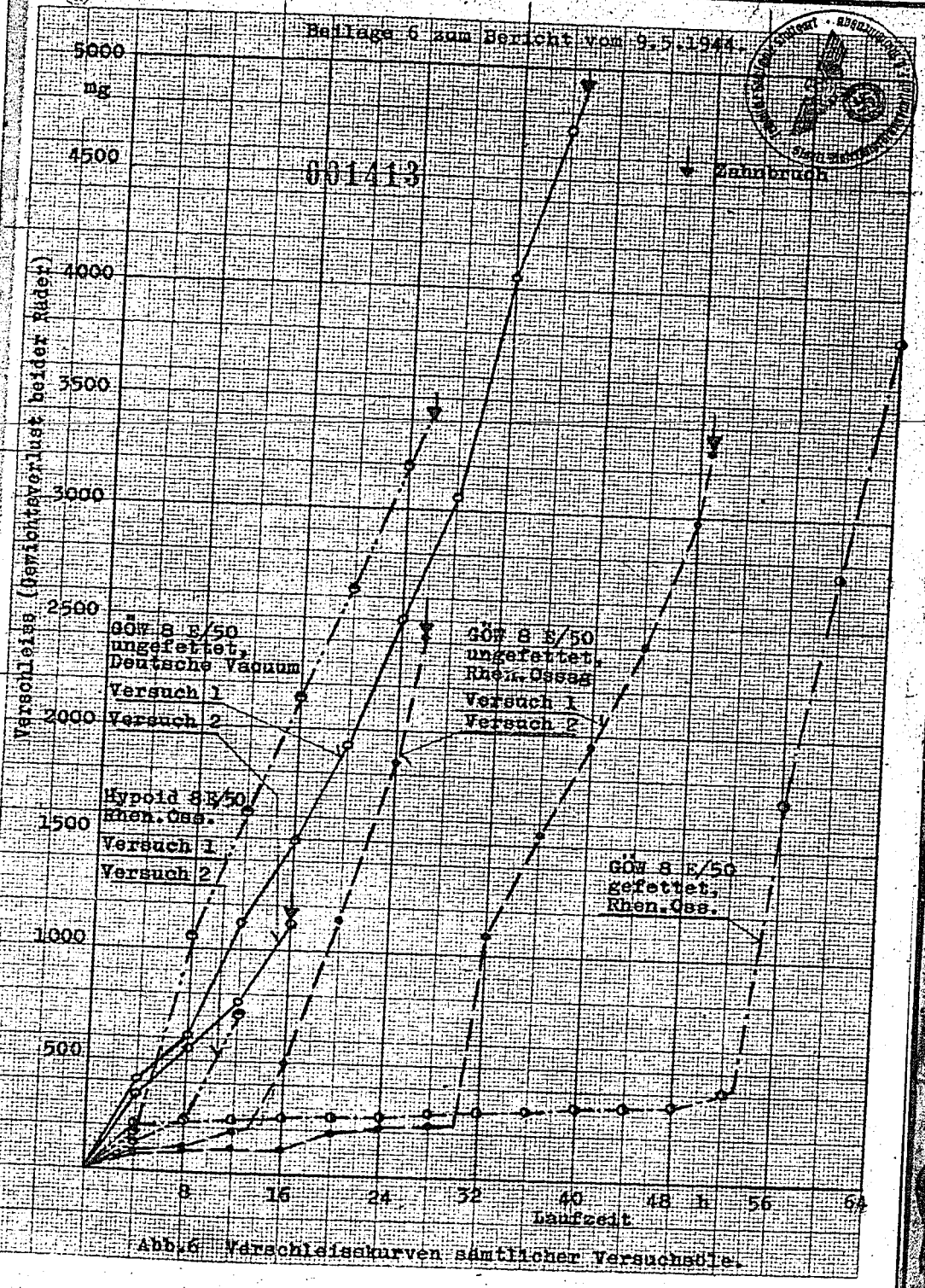


Abb. 6 Verschleißkurven sämtlicher Versuchsstelle.

001414

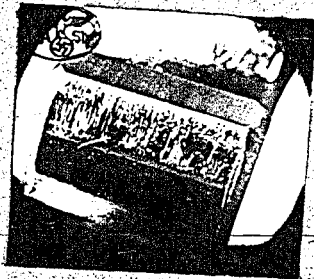
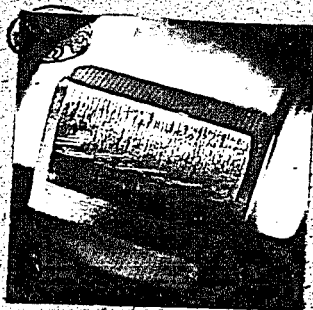


Abb. 7 Zahnflanke nach 4-stündiger Laufzeit mit
GÖW 8 E/50, ungefettet, Deutsche Vacuum.



Nach 4 h Laufzeit
Verschleisstieflage



Nach 56 h Laufzeit
Verschleisshochlage

Abb. 8 u. 9 Zahnflanke nach Lauf mit GÖW 8 E/50,
gefettet, Rhenania-Ossag.



Abb.10 Nach 4 h



Abb.11 Nach 8 h

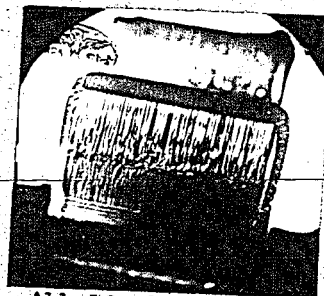


Abb.12 Nach 12 h

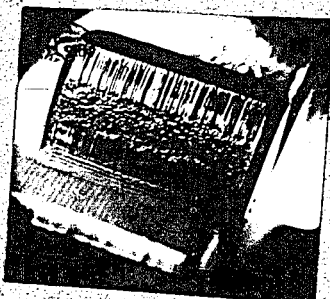


Abb.13 Nach 16 h



Abb.14 Nach 20 h



Abb.15 Nach 24 h

Abb.10 - 15 Zahnflanke nach verschiedenen Laufzeiten
mit Hypoidöl 8 E/50, Rhenania-Ossag.

001415

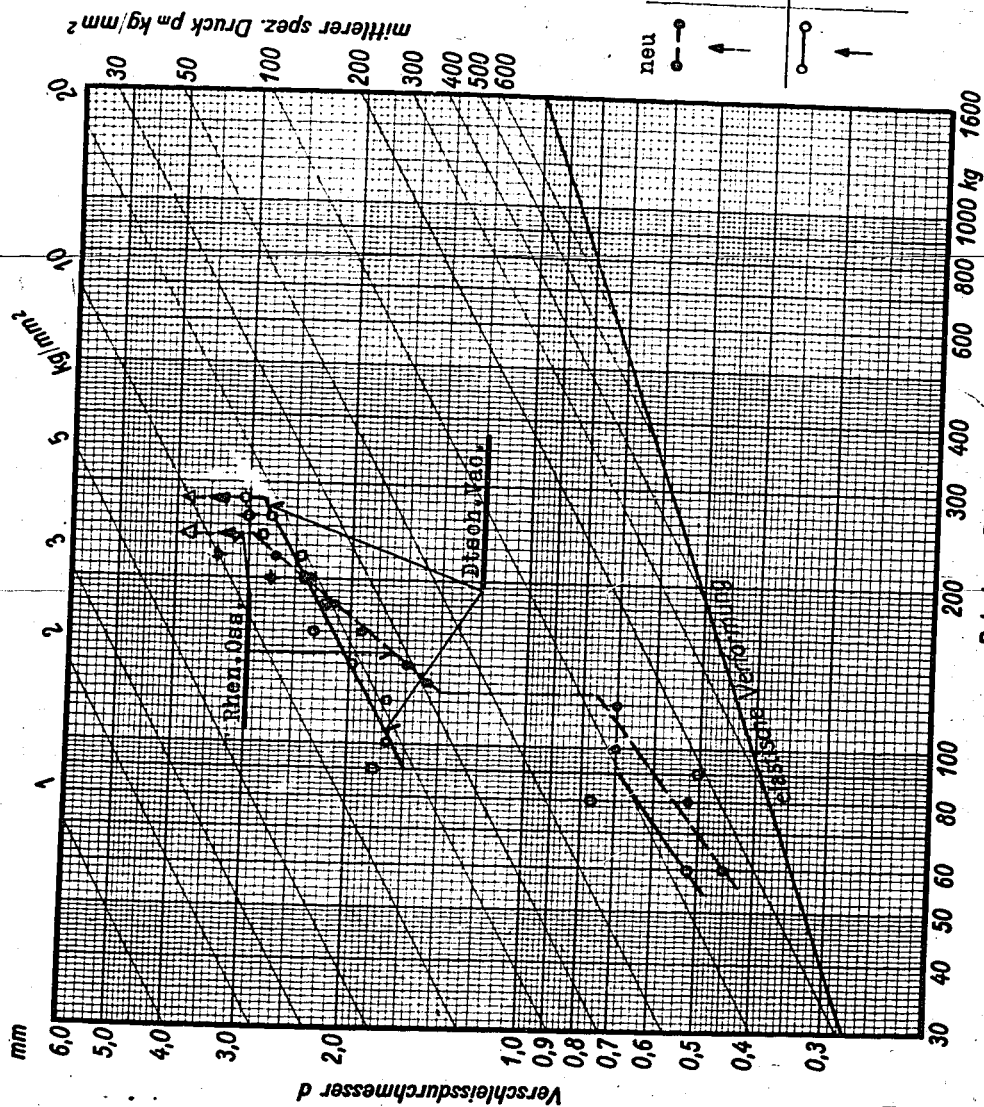


Abb. 16 Vierkugelapparat-Verschleißkurven der Oele GÖW 8 E/50, ungefettet.



Beilage 10 zum Bericht vom 9.5.1944.

001416

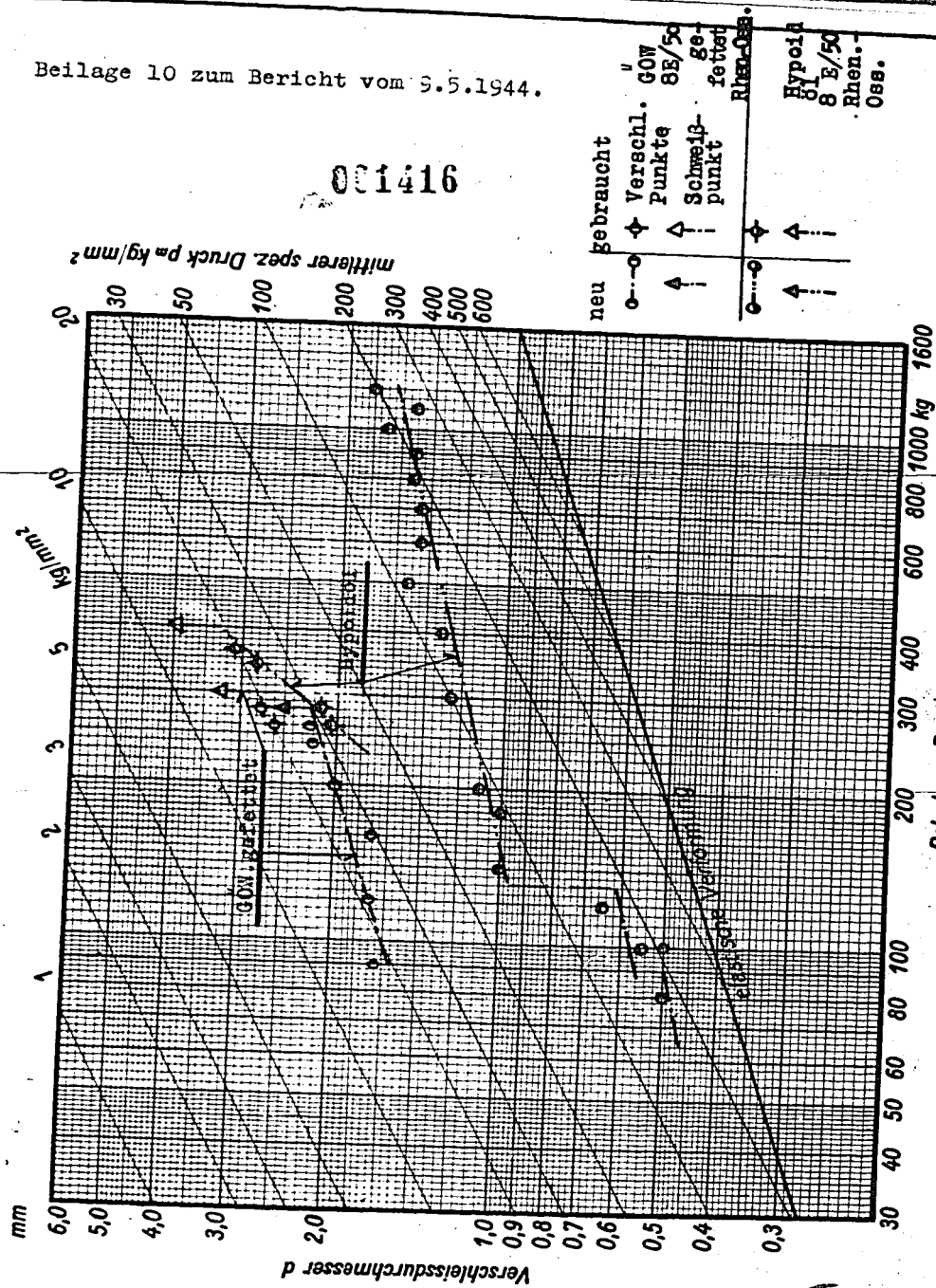


Abb. 17 Vierkugelapparat-Verschleißkurven des Oeles GOW 8 E/50 gefettet und des Hypoidöles 8 E/50.

END OF

REEL NO.

9

TARGET

000000

30 / OPPORTUNITY

DOCUMENTS EVALUATED
FROM THE RESIDENCE OF
DR. SCHAVE OF RUHRCHENIE

CONTINUED ON
REEL # 10

SERIES G

K O D A K S A F E T Y F I L M

LIST OF ITEMS

ON THIS

REEL

LIST OF ITEMS

ON THIS

REEL

(C)

DEUTSCHE KRAFTFORSCHUNG

72	75	On the attack of Anti-freeze materials on Metal and Rubber (Staatliche Materialprüfungsamt, Berlin-Dahlem)	Schikorr & Alex	
73	52	The State of Knowledge on Mixture Formation in I.C. and Diesel Engines. (T.L. Dresden)	Zinner	
74	96/1941	Test on the Use of Power Gas in the Pure Diesel Process (T.H. DRESDEN)	Dreyhaupt	
75	94/1941	Bomb Tests on Mixture formation and Combustion with Gasoline Injection (T.H. Craz)	Bianchi	
76	52	Knock Processes in Multi-cylinder Engines (T.H. Munich)	Schmidt & Hegel	
77	99/1941	Tests with a Carburettor Engine with Self Ignition (T.H. Stuttgart)	Ernst & Dorr	
78	74	Tests on the Engine Behaviour of Synthetic I.C. Fuels (T.H. Stuttgart)	Kamm	
79	54	Engine Method of Testing Diesel Fuels (T.H. Stuttgart)	Ernst & Gross	
80	82	The Position of 2-Stroke Research	(Various)	6. 6.40
81	91	Mixture Formation and Combustion (Diesel)	(")	1.10.40.
82	103/1941	2. Meeting of the Working Group for 2-stroke questions	(")	20. 5.41.
83	111/1942	2. Meeting of the Working Group for Questions of Engine Combustion	(")	10.10.41.
84	Vol.3.	Power and Economy of Gas Operated Automobile Engines	Rixmann	1938
85	Vol.4.	New Oil Lubrication of a Connecting Rod Bearing. Investigation of a Automotive Diesel Engine	Huber & Eiberger. Riekert & Ernst.	1938

(C)

DEUTSCHE KRAFTFAHRTFORSCHUNG

CIOS NO.	REPT. NO.	TITLE	AUTHOR(S)	DATE
		Investigation of the Exhausting of the Combustion Chamber of High Speed Diesel and I.C. Engines	Bisong	
86	Vol.5.	Contribution to the Exploration of the Combustion Process in High Speed Diesel Engines	Kneule	1938
87	Vol.29.	Cylinder and Piston Ring Wear	Eock	1939
88	Vol.31.	Measurement of Knock Resistance in I.C. Engines	Schutz	1939
89	Vol.33.	Investigation of Knock Clatter of I.C. Engines with an Electro-Acoustic Measuring Apparatus	Schmidt & Generlich	1939
90	Vol.34.	Mechanical Losses of the High Speed Diesel Engine and their Determination with the Towing Test (Schleppversuch)	Ullman	1939
91	Vol.52	Comparative Investigation of Bearing Shell Materials	Heidebroek & Doring	1941
92	Vol.53	Injection of Fuels in the Diesel Engine. Ignition Delay Measurement by means of Photo Cells in various Crank Regions	Blume	1941
93	Vol.54	Detection of Lubricating Film Breakdown by Measuring the Electrical Resistance between Piston Ring and Cylinder	Stallechner	
94	Vol.55	Fuel and Engine in the Starting of Automotive Diesel Engines	Poppinga	1941
95	Vol.57	Fuel Preparation by the Injection Nozzle	Rixmann, Scheut & Conrad	1941
96	Vol.59	The Lubricant in the Spur Gear with special Regard for Limit Friction	Gschetz	1941
97	Vol.60	The Operation with Liquid Gas of Mixture Flushed 2 stroke Engines	Pietsch	1941
98	Vol.61	The Scavenging Process on the Basis of a new Conception of Expansion Streaming	Schmidt	1941
99	Vol.62	Increased Loading of 4-Stroke Diesel Engines. The Scavenging Process	Schultz-Crumow & Wiegardt	1941
100	Vol.63	Ignition Delay and the Evaluation of Fuels Ignition Delay Measurement of Diesel and I.C. Engine Fuels	Riedel	1941
101	Vol.76	Influence of Air Swirl on the formation of Fuel Stream in the Swirl Chamber	Ernst	1941
			Widmaier	
			Sauberlich	
		(D) REPORTS FROM THE ERPROBUNGSSTELLE, RECHLIN		
102	2363	Method for Cetane Number Determination of Diesel Fuels	Lange	18.11.41.
103	2337	SECRET. Behaviour of Aviation Fuels at High Altitude	Ginssmann	18. 4.42.
104	2485	Sludge Formation in Aero Engine Oils	Baier et al.	20. 7.42.
105	2525	Circulation of Lubricating Oil in an Engine with Low Temperature Resistant Aero Engine Oil	Muller & Baier	12. 2.43.

(D.)

REPORTS FROM THE ERPROBUNGSSTELLE, RECHLIN

CIGS NO.	REPT. NO.	TITLE	AUTHOR(S)	DATE
106	2363	Determination of Cetane Number of Diesel fuels (with the Inertic Indicator according to Dr. Nouranu)	Starke	1. 4. 44.
(E.) REPORTS BY THE VERBODERUNG-TECHNISCHE ERPROBUNGSSTELLE				
107	-	Development and testing of Low temperature Viscosity	Sillenberg	1944
108	-	(F.) DVL REPORT Proposals for (Clarification of) Terminology	Philippovich	13. 5. 42.
109	-	Discussion on Aviation Fuel Problems	-	17. 6. 41.
(G.) REPORTS FROM TECHNISCHE ERPROBUNGSSTELLE				
110	-	Evaluation of fuels in relation to Vapour Lock Troubles (Dresden)	Hager & v. Theren	30. 3. 44.
111	-	Mixture Formation in Otto Engines at Starting Fuel Vapour Tension and Starting Process at Low Temperatures (Dresden)	Gerlachhoff v. Schieszl & Kinske	1. 12. 43.
112	-	Tests to Determine the Pressure Stability of Lubricating Oils (Doctor Thesis, Berlin)	de Jong	-
113	-	Investigation of the Lubricating Ability of Oils (Munich)	Yadner	May 1944
114	-	Gear Tests at 150°C. Oil Bath Temperature (Stuttgart)	Wellinger	5. 8. 44.
115	392	Investigations on the Development of Self Ignition Operation in a mixture Compressing Engine (Stuttgart)	Ernst & v. Theren	29. 3. 41.
116	-	Tests on the Heat Stability of Gear Lubricants in respect of the new Uncompounded Gear Oils	Wellinger	2. 5. 44.