

Zahlentafel 1

Zusammenstellung der im DK-Motor geprüften Öle.

	U 15020	B 30004	B 30010	B 30033 <sup>*)</sup>	Aero Shell mittel schwer	Z 21007	L 15060	L 15071	L 15087
Spez.Gew.20	0,882	0,893	0,894	0,869	0,915	0,905	0,878	0,894	0,880
Visk. E 20	111	120	115	113	140	180	108	58,6	52,9
E 50	17,1	17,4	17,4	17,7	17,1	24,0	17,2	10,1	11,0
E 100	2,82	2,78	2,83	2,95	2,61	3,40	2,91	2,09	2,18
E 150	1,54	1,50	1,51	1,55	ca. 1,5	1,6	1,54		1,56
Visk.Folhöhe	1,85	1,94	1,86	1,77	2,2	1,87	1,76	1,98	1,84
Visk.Index	99	94	98	103	78	98	104	91	93
Neutr.Zahl	unter 0,1	unter 0,1	unter 0,1	unter 0,1	0,11	0,11	0,03	unter 0,1	unter 0,1
Vers.Zahl	0,08	0,08	0,11	0,11	9,1	-	0,14	0,37	0,11

\*) Die Daten der weiter geprüften Öle B 30036, B 30040, B 30046, B 30050 und B 30055 entsprechen im wesentlichen den unter B 30033 aufgeführten.

Zahlentafel 2

Versuche über den Einfluß des Bleizusatzes zum Kraftstoff.

Datum	Schmierstoff	Bleigehalt	Laufzeit	Oelkohle	
				Nut	Boden
28.11.40	L 15020	o	8		
5.12.40	L 15020	o	8	0,03	0,33
7.1.41	L 15020	0,12	8 1/4	0,44	1,92
6.2.41	L 15020	0,12	7 1/2		
4.3.41	B 30033	o	11		
6.3.41	B 30033	0,12	10 3/4	0,57	1,79
29.1.41	L 15071	o	6	0,05	0,17
31.1.41	L 15071	0,12	5 1/2	0,14	1,50
1.12.40	L 15060	o	7	0,04	0,14
9.1.41	L 15060	0,12	5 3/4	0,26	1,29
3.3.41	Aero Shell mittel	o	4 1/2		
27.2.41		0,12	3 1/2	0,14	1,45
<hr/>					
3.12.40	L 15061	o	8 1/2	0,03	0,17
9.12.40	L 15061	0,12	6 1/2		
17.12.40	L 15062	o	10	0,02	0,23
24.2.41	L 15062	0,12	9	0,19	0,97
19.12.40	L 15063	o	7	0,05	0,28
12.1.41	L 15063	0,12	5	0,25	1,17
22.12.40	L 15064	o	10 1/2	0,05	0,22
14.1.41	L 15064	0,12	6 1/2	0,27	1,58
29.12.40	L 15065	o	7		
26.2.41	L 15065	0,12	6 1/2	0,36	1,85
4.2.41	L 15072	o	6 1/2	0,09	0,25
2.2.41	L 15072	0,12	5	0,82	1,26

Zahlentafel 3

Vergleich der in DKW-Motor mit verschiedenen Flugmotorenölen  
erzielten Laufzeiten mit denen des BMW-Einzylinders.

<u>Öl</u>	<u>Laufzeit in Stunden</u>	
	<u>DKW -</u>	<u>BMW-Motor</u>
Aero Shell mittel	3 1/2	2 3/4
L 15060	6	6 1/2
B 30004	8	8
B 30010	8	8
B 30035	10 3/4	11
Aero Shell schwer	5 1/2	5 1/2
Z 21007	12	11 1/2
B 30036	10	10
B 30040	10	10
B 30046	10 1/2	10 1/2
B 30050	9 3/4	10
B 30055	10	10
L 15087	10	9

03124

Versuche über die Schlamm- bildung im NSU-Motor.

Von Dr.-Ing. Fr. Schaub, Ruhrchemie A.-G.

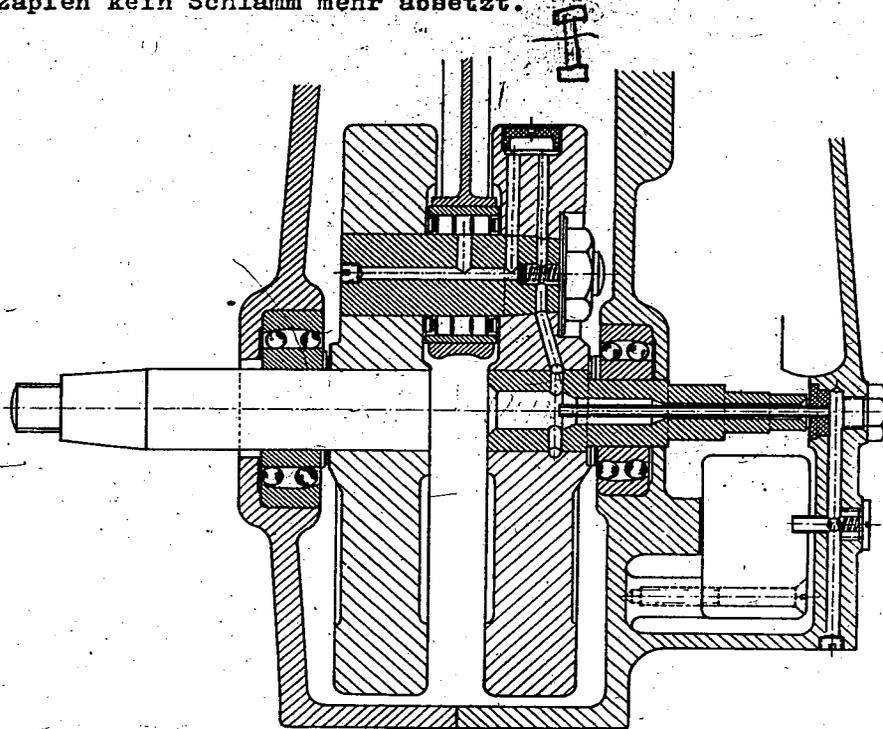
Nachdem für das Kolbenringstecken heute befriedigende Bewertungsmöglichkeiten der Öle entwickelt sind, ist auf Grund unangenehmer Erfahrungen an Flugmotoren neuerdings die Aufgabe gestellt, die Verschlammungsneigung der Öle im Motor zu beurteilen. Da dies bis jetzt laboratoriums-mäßige Analysenzahlen nicht gestatten, ist man auf eine motorische Prüfung angewiesen. Diese erfolgt bislang in kostspieligen Vollmotorenläufen, die überdies nur schwer reproduzierbare Ergebnisse lieferten.

Bei der Ölprüfung auf Ringstecken im NSU-Motor der Ruhrchemie - über die ich berichtet habe - gab es auch Störungen durch Schlamm- bildung. Es ist mehrfach Kolbenfressen aufgetreten, weil, wie sich nachher herausstellte, die Ölbohrung im Kurbelzapfen mit einer ziemlich festen, pastenartigen Masse, die sich aus dem Öl abgesetzt hatte, verstopft war. Wir haben daraufhin Maßnahmen ergriffen, um diese Schlammablagerung an eine für den Motor weniger gefährliche Stelle zu bringen, gleichzeitig mit der Absicht, diesen Schlamm mengenmäßig und analytisch erfassen zu können. (Abb.1 s.f.Seite)

Versuchseinrichtung

Wir haben, wie in Abb.1 dargestellt ist, das dem Kurbelzapfen zufließende Öl zu einem Umweg innerhalb der Kurbelwange gezwungen. Es wird durch eine zusätzliche Bohrung in einen am äußeren Umfang der scheibenförmigen Kurbelwange eingebohrten Hohlraum geschleudert, der durch ein eingeschraubtes Näpfchen nach außen abgeschlossen ist. Dort wird es um 180° umgelenkt und fließt durch eine zweite Bohrung dem Kurbelzapfen zu. Durch die Zentrifugalkraft werden die im Öl mitgeführten schwereren Teilchen am Boden des

Näpfchens abgesetzt. Die geschilderte Änderung der Ölführung bewirkt, daß sich, wie beabsichtigt war, im Kurbelzapfen kein Schlamm mehr absetzt.



**Abb.1:** Ölführung für Verschlammungsversuche im NSU-Motor.

**Durchführung der Verschlammungsversuche.**

Zur Beurteilung der Öle hinsichtlich der Schlamm-  
bildung führten wir nun unter ähnlichen Bedingungen wie bei  
der Prüfung auf Ringstecken besondere Versuchsläufe durch.  
Wir haben dabei lediglich die Zündkerzensitztemperatur etwa  
30° niedriger eingestellt und die Versuchsdauer auf 10 Stun-  
den festgelegt. Durch die herabgesetzte Temperatur sollte  
vermieden werden, daß die Kolbenringe festgehen und da-  
durch die Ergebnisse beeinflusst werden. Andererseits woll-  
ten wir das Temperaturniveau so hoch wie möglich halten,

weil dadurch die Schlammabildung vermutlich beschleunigt wird. Nach unseren bisherigen Erfahrungen können allerdings bei Ölen, die leicht zum Ringstecken führen, unter den gewählten Bedingungen die Kolbenringe noch festgehen, sodaß wir vielleicht die Versuchstemperatur noch weiter herabsetzen werden.

Nach 10 Stunden haben sich im allgemeinen einige 100 mg Schlamm abgesetzt, die zu einer Analyse ausreichend sind. Das oben beschriebene Nöpfchen kann leicht ein- und ausgebaut werden. Es wird für jeden Versuch natürlich frisch gereinigt. Nach der Auswägung der Schlammproben erfolgt dann im Laboratorium eine Ermittlung der Anteile an Brennbarem - wobei das benzollösliche Öl gesondert erfasst wird - Eisen,  $\text{SiO}_2$  und sonstigen anorganischen Stoffen.

Außer der Schlammprobe werden von jedem Lauf zwei Umlaufölproben untersucht, um die Alterung der Öle zu verfolgen. Außerdem bestimmen wir den Gewichtsverlust der Kolbenringe, um diesen als Maß für den Abrieb zu benutzen.

#### Versuchsergebnisse.

Bis jetzt wurden etwa 20 Verschlammungsversuche durchgeführt, die zum Teil noch als Vorversuche zu gelten haben, und bei denen die Versuchsbedingungen nicht ganz gleich gewesen sind. Insbesondere mußten wir bei diesen Versuchen mehrfach den Kraftstoff wechseln, was zu auffallenden Folgen geführt hat. Darauf will ich nachher noch zu sprechen kommen. Die mit einigen Ölen erzielten Werte sind in der Zahlent. 1 (s.f. Seite) aufgetragen.

Nach Rotring D haben wir Versuche mit dem synth. Versuchsöl der Ruhrchemie, 1880/5, dem gefetteten Flugöl ASM/D3 und mit einem Motorenöl der Wehrmacht durchgeführt. Man sieht, daß inbezug auf die Schlammmenge gewisse, wenn auch zunächst nur grobe Unterschiede zwischen verschiedenen Ölen erkennbar sind. So ist bei dem gefetteten Flugöl ASM/D3 die abgesetzte Schlammmenge offenbar geringer als

bei Rotring D. Auch das synth. Motorenöl der Wehrmacht und das Öl 1880 erscheinen günstiger als Rotring. Es bleibt natürlich noch zu klären, ob die hier gefundene Bewertung ungefähr mit den Erfahrungen der Vollmotoren übereinstimmt oder ob, um dies zu erreichen, die Versuchsbedingungen noch geändert werden.

Nr	Öl	Kraftstoff	Lagerzeit Stunden	Kolbenringe aufgez.	Ölverbrauch ml/25h	Ringe Abrieb mg/25h	Gesamt	Schlamm (mg)			Walterung nach 10 Stunden			
								Benzenlöslich	Eisen	Rest. Anorganisch	Zunahme von Vollschlamm-Eintrag	Zunahme von Vollschlamm-Eintrag	Werte	
175	Eckol	A	10	nein	4,7	6	437	201	22	42	3,8	20,8	1,6	0,13
176	"	A	"	"	4,4	22	452	333	4,4	63	3,8	20,8	1,6	0,13
177	"	B	"	"	5,9	18,5	379	288	5,1	41	2,6	10,4	0,65	0,03
178	"	B	"	"	8,5	16,8								
179	"	C	"	etwas	5,7	88	491	179	121	191	4,8	18,4	1,1	0,14
183	"	D	6 <sup>th</sup>	"	4,9	73	459	387	57	19	6,0	18,0	1,1	0,06
181	1882	A	10	nein	7,7	22,8	339	300	41	22	3	4,8	0,8	0,05
180	"	B <sup>6a</sup>	"	"	16	32	349	279	39	31	4	5,2	0,65	0,04
189	"	B <sup>6a</sup>	"	"	18	12	247	212	16	19	4,2	6,4	0,90	0,04
190	"	B	"	"	15	10,3	216	182	16	18	2,6	4,0	0,5	0,07
177	D3	A	8 <sup>th</sup>	total	12,2	65	275	178	27	35	4,6	12	1,5	0,12
178	"	A	10	nein	4,8	5,4	249	146	45	34	4,6	11	1,2	0,10
195	"	B	"	"	8	10	318	283	12	23	2,0	9,4	0,6	0,03
182	"	E	6 <sup>th</sup>	etwas	9,7	132	534	178	109	225	5,0	13	1,7	0,15
183	1880	B	10	nein	7,5	14	290	257	46	17	1,4	10	0,6	0,04
194	"	B	"	"	9,6	42	449	123	11	15	2,0	9,4	0,8	0,045
180	"	0	"	"	4,4	72	433	159	110	175	4,0	20,8	0,8	0,07
181	"	0	"	"	4,4	86	445	161	110	179	3,6	16,0	0,9	0,10

Zahlent.1: Verschleißversuche im NSU-Motor

Die Zusammensetzung des Schlammes ist im allgemeinen verhältnismäßig einheitlich. Er besteht im wesentlichen aus Brennbarem, davon ist der weitaus größte Teil benzollösliches Öl, während die Anteile an Eisen, SiO<sub>2</sub> und sonstigen anorganischen Bestandteilen meistens unter 10% liegen. Von den übrigen weichen die Ergebnisse der Versuche Nr.179 mit Rotring, 180 und 181 mit 1880 und 182 mit ASM/D 3 deutlich ab. Hier ist der Anteil des Eisens und sonstiger anorganischer Stoffe höher als normal. Gleichzeitig ist der Abrieb an den Kolbenringen beträchtlich höher. Dieses auffallende Ergebnis ist offenbar damit in Verbindung zu bringen, daß für diese Versuche ein anderer Kraftstoff als sonst verwendet werden mußte.

03128

Auf die Menge und Zusammensetzung des Schlammes hat auch der Ölverbrauch, zumindest, wenn man mit einer verhältnismäßig kleinen Umlaufölmenge arbeitet, einen gewissen Einfluß. Dies ist verständlich, weil bei hohem Ölverbrauch das Öl in der Zeiteinheit öfter umläuft, dadurch stärker beansprucht wird und mehr Schlamm und Alterungsprodukte absetzt.

Bei dem beschriebenen Versuchsverfahren verläuft auch die Alterung des Umlauföles verhältnismäßig gut reproduzierbar, und es lassen sich Aussagen über das Verhalten der Öle zumindest für die vorliegenden Betriebsbedingungen machen. Die nach 10 Stunden erhaltenen Änderungen der Alterungswerte sind in der Zahlentafel 2, in welcher auch noch einmal die Gesamtschlammmenge und der Kolbenringabrieb angegeben sind, für die gleichen Versuche aufgeführt. Man sieht hier zum Beispiel, daß das synthetische Öl 1880/5 eine eindeutig geringere Zunahme der Viskosität und auch des Conradsontestes zeigt als z.B. Rotring D, während das gefettete Flugöl ASM/D 3 in bezug auf die Viskositätszunahme zwischen beiden liegt. Die Werte des Conradsontestes dagegen erscheinen hier am höchsten.

Kraftstoff	Kolbenringabrieb (mg/100 St)			Gesamtschlamm (mg)			Eisen im Schlamm (mg)		
	A	B	C/D/E	A	B	C/D/E	A	B	C/D/E
Eichöl	19	17,5	80	115	373	175	33	30	183
1882	23	18	—	340	270	—	17	24	—
D3	60 <sup>*)</sup>	10	132 <sup>*)</sup>	268	348	534 <sup>*)</sup>	36	12	103
1880	—	13	80	—	220	133	—	19	110

<sup>\*)</sup> Kolbenringe teilweise fest, Laufzeit deshalb verkürzt

Kraftstoff	Ölalterung nach 10 Stunden						Zunahme von		
	Viskosität (50°C)			Harz und Asphalt			Conradsontest		
	A	B	C/D/E	A	B	C/D/E	A	B	C/D/E
Eichöl	3,8	2,6	6,9	20,4	10,9	12,2	1,6	0,65	1,1
1882	3	3,6	—	4,8	5,2	—	0,7	0,38	—
D3	4,6	2,0	5,0	11,5	3,9	13	1,35	0,6	1,7
1880	—	1,7	3,8	—	10,7	18	—	0,5	0,8

Zahlent.2: Verschlämmung, Abrieb und Alterung im NSU-Motor

Die Zunahme des Conradsontestes scheint zumindest bei den 3 Ölen 1880/5, Rotring D und ASM/D3 in einem gewissen Zusammenhang mit der Laufzeit bis zum Ringstecken zu stehen, wie aus Zahlent. 2 hervorgeht. Die Werte für den Harz- und Asphaltgehalt (Bleicherdenmethode) deuten auf einen gewissen Zusammenhang mit der ausgeschleuderten Schlammmenge hin.

Die Ergebnisse hinsichtlich des Abriebes erscheinen bis jetzt noch nicht so klar. Sie sind aber immerhin viel einheitlicher als die bei den Ringsteckversuchen ermittelten Werte. Hier zeigt sich zunächst, wie schon angeführt, ein beachtlicher Einfluß des Kraftstoffes, dem wir in der nächsten Zeit weiter nachgehen wollen. Wir glauben, daß bei weiterem Verfolgen des eingeschlagenen Weges wir auch hinsichtlich des Abriebes zu einer gewissen, wenn auch nur rohen, aber immerhin brauchbaren Bewertung der Öle im NSU-Motor kommen können. Im übrigen dürfte auch zwischen dem Abrieb und dem gebildeten Schlamm ein gewisser Zusammenhang bestehen, was wohl mit der katalytischen Wirkung der feinen Eisenteilchen erklärt werden kann. Das Ausschleudern des Schlammes in der beschriebenen Weise hat auf die Laufzeiten zum Ringstecken bis jetzt keinen Einfluß erkennen lassen, zumindest konnte eine Verlängerung der Laufzeit nicht beobachtet werden.

Unsere Erfahrungen mit der geschilderten Prüfungsmethode sind zwar noch nicht sehr umfangreich. Die Möglichkeit einer gleichzeitigen Ölprüfung auf Schlammbildung, Alterung des Umlauföles und Abrieb, wobei nebenher noch der Ölverbrauch und auch wenigstens besonders ungünstiges Verhalten hinsichtlich des Kolbenringsteckens beobachtet werden kann, ist uns aber doch heute schon wertvoll bei der Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der synthetischen Öle.

POOR  
COPY

1

Die motorische Ölalterungsprüfung in den USA.

Von Dr.-Ing. C.F.Krienke, DVL, Institut BS.

Die heute in Deutschland zur Anwendung kommenden Verfahren zur Prüfung von Motorenschmierölen hinsichtlich ihrer Alterungsneigung im Betrieb sind zweifellos noch stark verbesserungswürdig. Diese Feststellung gilt sowohl für die motorischen Möglichkeiten der Schmierölbeurteilung, wie auch in einem vielleicht noch stärkeren Maße für die laboratoriums-mäßigen Prüfverfahren. Andererseits haben wir im Augenblick offensichtlich einen Zustand erreicht, in dem das Tempo des Fortschrittes beträchtlich langsamer geworden ist. Da aber Forschungs- und Versuchsarbeiten auf diesem Arbeitsgebiet äußerst kostspielig sind, ist es zweckmäßig, sich in der Welt umzusehen, um festzustellen, ob fremde Länder einer Lösung der gleichen Probleme näher sind als wir, und ob wir gegebenenfalls vom Auslande etwas lernen können, ohne allzuviel Schulgeld zu zahlen.

Als weitaus interessantestes Land in dieser Hinsicht sind die USA anzusehen und in Anbetracht der Entwicklung der Kriegsergebnisse kann man wohl annehmen, daß ein Vergleich zwischen uns und den Staaten auf den einzelnen Gebieten der Motorisierung und insbesondere auch auf dem der Flugmotoren-betriebsstoffe in Zukunft noch aktueller werden wird. Diesen Gedanken entsprechend soll im folgenden über den Stand der Ölalterungsprüfung in den Vereinigten Staaten kurz berichtet werden.

Es soll hier aufgezeigt werden, wie weit man drüben mit der Lösung jener Probleme ist, welche die Erfassung der Ölalterung betreffen. Keineswegs soll über alle gemachten Versuche lückenlos berichtet werden, sondern einzelne, besonders charakteristische oder interessante Prüfverfahren und Versuchsdurchführungen wurden herausgegriffen, um entweder als Anregung zu dienen oder zum Beweis dafür, daß auch die

POOR  
COPY

1

Amerikaner nur mit Wasser kochen, d.h. mit Schmierölen fahren, welche die Ringe verkleben.

Zu bemerken wäre noch, daß infolge der Zeitumstände, welche einer Reise der neuesten Fachliteratur bis in unsere Hände wenig günstig waren, nur spärliche Berichte über die Ergebnisse allerneuester amerikanischer Versuchsarbeiten vorlagen.

Amerikanische Ansichten über die Erfassung der Öl-  
alterungseigenschaften.

Die Ansichten amerikanischer Fachleute über die Möglichkeiten der Erfassung der Alterungsneigung von Motorschmierölen sind ziemlich einheitlich und lassen sich darin zusammenfassen, daß sie nahezu alle der alleinigen laboratoriumsmäßigen Prüfung einen größeren Wert nur für Zwecke der Identitäts- oder Gleichmäßigkeitsuntersuchung zusprechen. Von größerer Bedeutung für die Praxis sind daher nach Ansicht amerikanischer Kreise allein die Ergebnisse von motorischen Versuchen im Betrieb oder auf dem Prüfstand, sei es in Mehrzylindermotoren oder in besonders entwickelten Einzylindermotoren. Als kennzeichnend für diese Anschauungen möchte ich einige typische Sätze aus einer Arbeit von Baxley und Stewart anführen: "Unglücklicherweise können nur wenige der erforderlichen Kennwerte eines für Hochleistungsflugmotoren geeigneten Schmieröles durch die gewöhnliche analytische Untersuchung bestimmt werden und oft sind die Bedingungen, welche bei einem derartigen Motor an das Öl gestellt werden, soweit entfernt von aller Erfahrung, daß sogar die augenblicklich anerkannten Methoden der Ölanalyse unter Umständen ein irreführendes Bild geben können, sodaß sie erst durch eine Prüfung im Motor bestätigt werden müssen."<sup>[1]</sup> Die bei diesen motorischen Versuchen auftretenden Schwierigkeiten sind drüben genau erkannt und analysiert worden. Umfangreiche und mit großen Mitteln durchgeführte Versuche haben dabei den überragenden Einfluß der Betriebstemperaturen

POOR  
COPY

1

auf die Rückstandsbildung, den gleicherweise überaus großen Einfluß des seitlichen Ringspieles auf die Zeit bis zum Ringfestgehen und andere Einflußgrößen klar erkennen lassen. Die so gewonnenen Erkenntnisse und die daraus gezogenen Folgerungen decken sich zum größten Teil mit den deutschen Erfahrungen.

Trotz der vielfach aufgeklärten Einflüsse scheint aber über die Frage der Übertragbarkeit der so gewonnenen Bewertung auf normale Betriebsverhältnisse keine volle Klarheit zu bestehen, denn allgemein wird in den USA eine Erprobung des Schmieröles im Betrieb, d.h. im Flug- oder Straßenversuch als unerlässlich und für eine endgültige Auswahl und Zulassung als allein entscheidend angesehen.

Wenig einheitlich sind immer noch die Ansichten über jenen Vorgang der Ölalterung, welcher in Form der Rückstandsbildung zum Ringstecken führt, und welcher im Flugmotor als unangenehmste Erscheinung der Ölalterung anzusehen ist. [2] [3] [4] Dies gilt aber auch für Erscheinungen, wie Lack- oder Schlammbildungen, welche auch für den Kraftwagenmotor von erheblicher Bedeutung sind und sich deshalb in USA besonderer Beachtung erfreuen, ohne daß sich jedoch über die chemischen und physikalischen Vorgänge selbst eine einheitliche Meinung durchgesetzt hätte. [5]

Neben der mehr theoretischen Erforschung dieser Vorgänge scheint auch in Amerika die Schaffung eines zuverlässigen Prüfverfahrens für die Ölalterungsneigung als besonders vordringlich angesehen zu werden, denn die auf den Startbahnen stehenden Flugzeuge werden starten müssen, ohne auf die noch ausstehende Einigung der Forscher warten zu können.

#### Die Erprobung von Schmierölen im Betrieb.

Die älteste und zugleich auch heute noch entscheidende Ölalterungsprüfung ist in den USA die der Erprobung im Betriebe selbst. Dies ist bemerkenswert, da man sich

der bei der Auswertung derartiger Betriebsversuche auftretenden Schwierigkeiten völlig bewußt ist. Neben Einzelversuchen mit ihren besonders schwer verwendbaren Ergebnissen führte die Beliebtheit von Großzahlversuchen beim Amerikaner in Verbindung mit der Größe der zur Verfügung stehenden Mittel zur Durchführung umfangreicher Straßen- oder Flugversuche. Die Bewertung der Alterungsneigung eines untersuchten Schmieröles geschieht hierbei im allgemeinen auf Grund einer Beurteilung des Motorzustandes nach der Verwendung des betreffenden Öles, wie sie in grundsätzlich gleicher Art bei Vollmotor-Prüfstandsläufen auch üblich ist. Ergebnisse von derartigen amerikanischen Betriebsversuchen sollen hier nicht gezeigt oder besprochen werden, sondern es möge die Feststellung genügen, daß auch in den USA auf diese Weise keine völlig eindeutigen und unanfechtbaren Werte für eine Schmierölbeurteilung erzielt wurden.

Die Prüfung von Schmierölen im Einzylinder-  
Prüfmotor.

Der Mehrzylinder-Prüfstandsversuch besitzt, wenn auch in geringerem Maße, die erwähnten Schwächen des Betriebsversuches ebenfalls und um dieselben nach Möglichkeit auszuscheiden, führten gleiche Überlegungen wie bei uns zu etwa gleicher Zeit - als in Deutschland Gosslau bei Siemens und die I.G. in Oppau, unabhängig von den Amerikanern ihre ersten diesbezüglichen Versuche durchführten - zur Untersuchung von Schmierölen in großen und kleinen Einzylinder-Motoren. Diese Versuche ermöglichten erstmalig die einigermaßen genaue Einhaltung vieler einflußreicher Betriebsbedingungen und damit den Übergang der Schmierölbeurteilung aus einer Art Geheimwissenschaft, um nicht zu sagen Hellseherei, in eine Spezialwissenschaft mit allerdings noch vielen dunklen Punkten.

Typische und interessante amerikanische Einzylinderversuche sollen im folgenden etwas eingehender besprochen werden.

I. Versuche am Flugmotoren-Einzylinder.

Derjenige Einzylinder-Prüfmotor, welcher weitgehend dem in Deutschland an mehreren Stellen verwendeten BMW 132-Einzylinder-Ölprüfmotor entspricht (abgesehen von seiner mit 25 PS etwas kleineren Leistungsgröße), ist in Amerika ein Prüfmotor, wie ihn Baxley und Stewart benutzen. [1] Bis auf das Kurbelgehäuse werden Flugmotoren-Einzelteile verwendet.

Die Abb.1 zeigt den Ölumlaufl des Versuchsmotors mit seinen Besonderheiten.

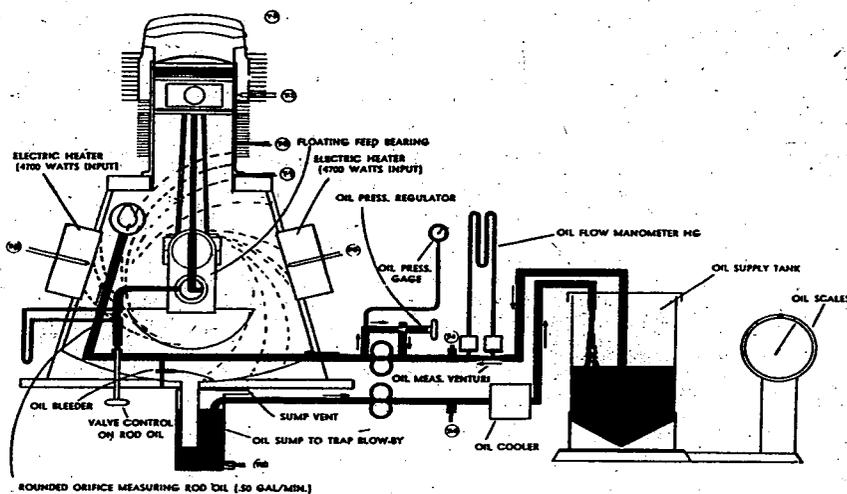
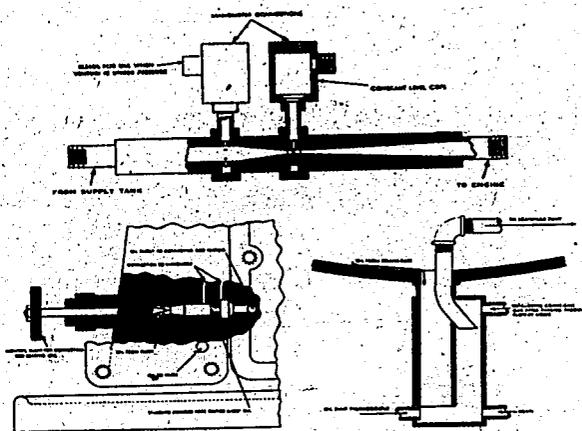


Abb.1: Ölumlaufl des Prüfmotors (n.Baxley u.Stewart)

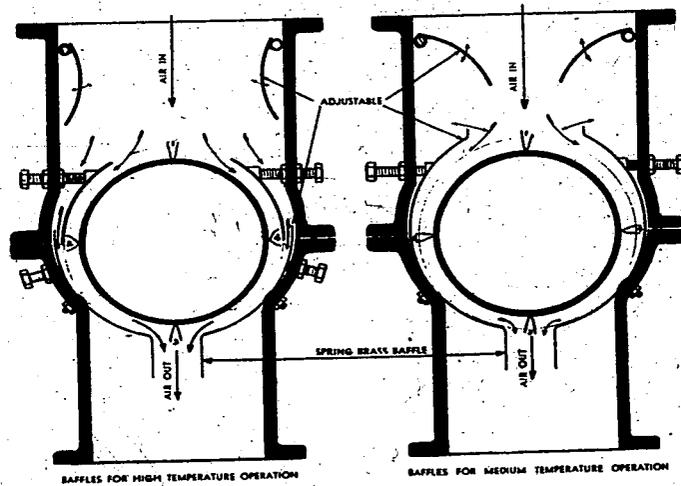
Bemerkenswert scheinen besonders die auf der nächsten Abbildung (Abb.2) gezeigten Einzelheiten des Ölumlaufls zu sein.

Eingebaute Meßeinrichtungen dienen einer genauen Ermittlung der Gesamtölmengen, sowie der Regelung der Ölzufuhr zum Hauptpleuellager. Eine besondere Bauart des Sumpfes ermöglicht die einwandfreie Messung der durchblausenden Gasmengen.



**Abb.2** : Einzelheiten vom Ölumlau (n.Baxley u.Stewart)

Ein weiteres Bild (**Abb.3**) zeigt die Regelung der Kühlluftführung durch einstellbare Klappen für den Betrieb bei hohen und mittleren Temperaturen.



**Abb.3**: Kühlluftführung eines Ölprüfmotors (nach Baxley u.Stewart)

Das nächste Bild (Abb.4) zeigt eine Gesamtansicht des Prüfstandes, welche die Ähnlichkeit mit den deutschen BMW 132-Ölprüfständen deutlich erkennen läßt.

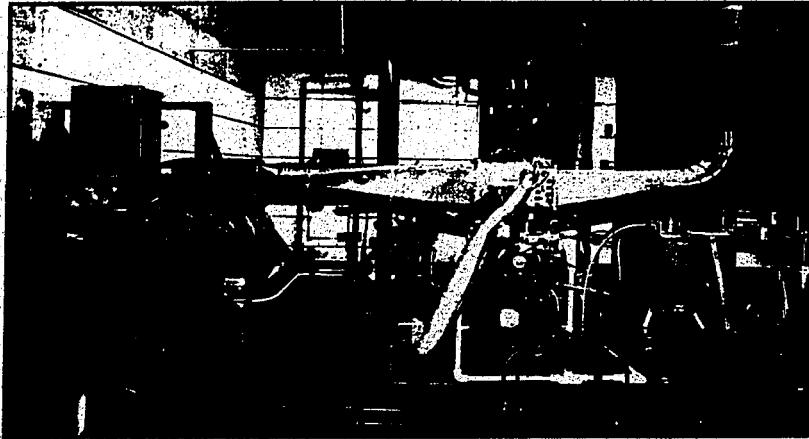


Abb.4: Prüfstand mit Einzylinder-Ölprüfmotor

Alle Einzelheiten, welche uns aus der täglichen Arbeit geläufig sind, finden wir auch an diesem Prüfstand wieder. Dies gilt im besonderen auch für das Instrumentenbrett (Abb.5) mit seinen Manometern, Schaltern u. Regulierwiderständen.



Abb.5: Instrumentenbrett des Ölprüfstandes.

Für die Festlegung der Versuchsbedingungen war bei den Amerikanern der Gedanke maßgebend, daß die Ergebnisse von Einzylinder-Motoren denen von Vollmotoren gut entsprechen, vorausgesetzt, daß die Bedingungen des Mehrzylinder-Motors einschl. seiner Ölverbräuche und Ölumlaufrufen genau reproduziert werden. Unter diesen, also nicht besonders verschärften, Bedingungen, von denen die wichtigsten nachstehend angeführt werden, ergaben verschiedene Flugmotorenöle nach Laufzeiten von 45 bis 75 Std. Ringstecken. Der Prüfmotor lief dabei mit einer Drehzahl von 2000 U/min und einer Volleistung von 25 PS bei einer durch Änderung der Kühlluftführung geregelten und aus 12 Zylindertemperaturen gemittelten Laufflächentemperatur von  $149^{\circ}\text{C}$ . Bei dieser Temperatur stellt sich am Kerzensitz eine solche von  $232$  bis  $240^{\circ}\text{C}$  ein. Geregelt und konstant gehalten wird ferner der Öldruck mit  $7,0 \text{ kg/cm}^2$  und die Gesamtölumlaufrufenmenge, sowie die zum Kurbelwellenlager geförderte Ölmenge. Die ebenfalls konstantgehaltene Ölsumpfemperatur liegt mit  $127^{\circ}\text{C}$  bemerkenswert hoch.

Die Abb.6 zeigt den Verlauf der wichtigsten Betriebstemperaturen während eines Prüflaufes.

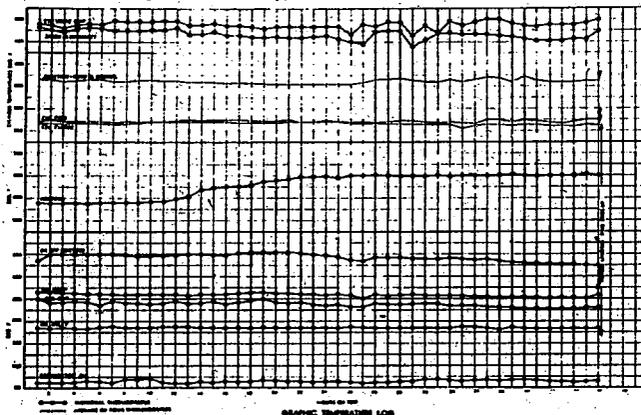


Abb.6: Temperaturen während eines Laufes (n. Baxley u. Stewart)

03138

Zur Feststellung des Zeitpunktes des Festgehens eines Kolbenringes dient die laufende Beobachtung des Gasdurchtrittes und des Ölverbrauches (Abb.7).

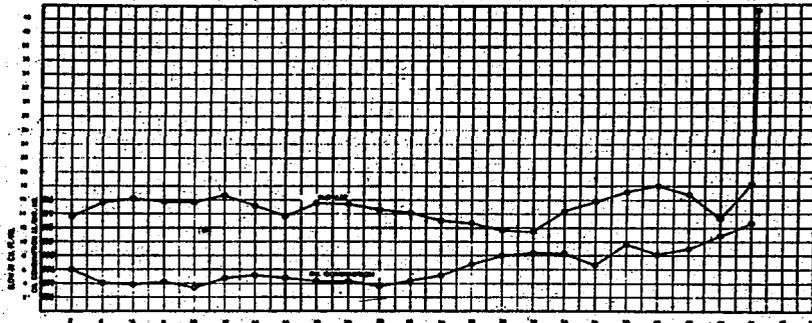


Abb.7: Gasdurchtritt u. Ölverbrauch (n. Baxley u. Stewart)

Auffälligerweise wird von Baxley und Stewart über die Kennzeichnung des Versuchsendes durch einen etwaigen Leistungsabfall als Folge des Ringfestgehens nichts berichtet.

Dagegen wurden die Auswirkungen vieler Einflüsse auf die Laufzeit eines Öles untersucht, so z.B. der Einfluß von hoher und geringer Gleichmäßigkeit in der Ringhöhe (Abb.8).

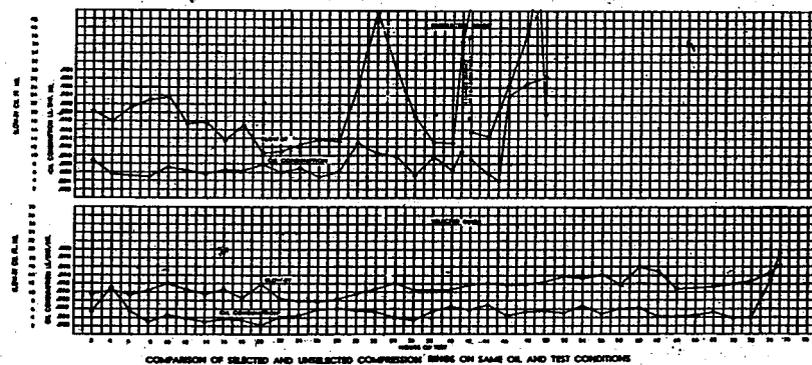


Abb.8: Einfluß verschiedener Ringe (n. Baxley u. Stewart)

Voraussetzung für einwandfreie Ergebnisse sind in bezug auf die Abmessungen einwandfreie Kolbenringnuten. Und zwar ist die Einhaltung dieser Bedingung nach Ansicht der amerikanischen Ingenieure infolge der Kolbenverformung während eines Laufes nur durch Verwendung eines jeweils neuen Kolbens für jeden Lauf zu erreichen.

Besonders wichtig und bedeutsam scheint mir der Hinweis von Baxley und Stewart zu sein, daß nämlich die Einflüsse mechanischer Bedingungen, wie z.B. die Größe des seitlichen Ringspieles die Ergebnisse in einem weitaus größeren Ausmaß beeinflussen können als die Unterschiede, welche sich aus der Verwendung verschiedener handelsüblicher Schmieröle ergeben.

Festgestellt wurde weiterhin, daß eine Verschärfung der Prüfbedingungen durch Steigerung der Versuchstemperaturen, und zwar hauptsächlich der Zylinderwandtemperaturen, Ringstecklaufzeiten in der Größenordnung von rund 8 Std. ergibt. Wesentlich ist nun die Behauptung, daß diese Ergebnisse übereinstimmen mit den Erfahrungen an neuen und in der Entwicklung befindlichen sehr hoch belasteten Motoren, sodaß sie die praktischen Verhältnisse wohl wiedergeben und diese Bedingungen infolgedessen für zukünftige Untersuchungen vorgesehen wurden.

## II. Versuche an kleinen Einzylindermotoren.

Naheliegende Gründe führten in den USA wie auch in Deutschland an vielen Versuchsstellen zur Verwendung kleinerer Einzylindermotoren zur Ölalterungsprüfung. So untersuchten Willey und Prutton die Ringsteckneigung und Lackbildung, sowie die Reinigungswirkung von Schmierölen an einem kleinen flüssigkeitsgekühlten Motor von 2 1/2 PS. [6] Dieser wurde aus verschiedenen Motortypen ausgewählt, weil er in seiner Größe bei äußerst einfacher Bauart wiederholbare Prüfergebnisse bringt. Die Kühltemperatur wird automatisch geregelt und registriert. Bei einer Prüfung von Flugmotorenölen wird mit besonders hoher Kühltemperatur gefahren.

Jeder Lauf wird mit neuen Kolben, Ringen und Lagerschalen durchgeführt. Diese Bauteile werden alle 25 Stunden ausgebaut und überprüft, vermessen und gewogen, sowie farbig fotografiert. Die beträchtlich langen Laufzeiten lassen vermuten, daß im ganzen gesehen die Versuchsbedingungen gegenüber denen des normalen Betriebes nicht wesentlich verschärft sind.

Bemerkenswert ist vielleicht noch die Erkenntnis dieser Versuchsingenieure, daß nämlich das gute Verhalten eines Öles unter gewissen Bedingungen noch keine Gewähr ist für eine Brauchbarkeit unter sämtlichen praktisch vorkommenden überaus verschiedenen Betriebsbedingungen.

Ebenfalls ziemlich milde, d.h. den normalen Betriebsbedingungen im Kraftwagenmotor entsprechende Bedingungen wendeten Everett u. Kaller bei ihren motorischen Untersuchungen zur Ermittlung der Ölrückstandsmengen an. [7] Um Vergleichswerte für die Prüfstandsversuche zu bekommen, wurden zuerst Straßenversuche mit einer Reihe von 6-Zylindermotoren durchgeführt. Diese ergaben bereits bei Verwendung des gleichen Öles beachtliche Streuungen in der Menge der abgelagerten Ölkohle bei völlig gleichen Versuchsbedingungen und zwar auch in demselben Motor. Da diese Streuungen bis zu 20% der Werte betragen, können Ölunterschiede innerhalb dieser Größenordnung nicht mehr ermittelt werden.

Die eigentlichen Prüfmotoren waren je 6 Motoren von zwei besonders kleinen luftgekühlten Einzylinderbaumustern der Firmen Delco bzw. Lawson. Das Hubvolumen beträgt 52 bzw. 67 ccm.

Die Versuchsdurchführung erstreckte sich über 40 Std. mit Unterbrechungen nach je 8 Std., um mittels Wägung der Zylinderköpfe auf einer analytischen Waage die Menge der an dieser Stelle gebildeten Ölkohle zu bestimmen. Die Rückstände wurden dabei nicht entfernt, sondern die Zylinderköpfe wurden vorsichtig wieder aufgebaut und die Läufe dann fortgesetzt. Nach Beendigung der 40-stündigen Prüfläufe wurden auch die Kolben gewogen und so die an den Kolben befindlichen Rück-

standsmengen ermittelt.

Von den 6 jeweils für eine Prüfserie eingesetzten Motoren gleicher Bauart wurden drei mit dem zu prüfenden Öl und die anderen drei mit einem Vergleichsöl gefahren und die Prüfläufe dann mit einem Austausch der beiden Ölsorten wiederholt. Auf diese Weise sollten die Einflüsse des Motorzustandes ausgeschaltet werden, sowie eine statistische Auswertung der Ergebnisse ermöglicht werden, welche eine Auswirkung von Unterschieden zwischen den einzelnen Prüfmotoren abschwächt. Um auch den Einfluß der Motorbauart auszuschalten, wurde dann die gleiche Prüfserie mit den 6 Motoren des anderen Baumusters durchgeführt.

Die Versuchsbedingungen entsprachen der Höchstleistung bei ärmstem Gemisch und die Temperaturen betragen z.B. bei einem der beiden Prüfmotorentypen 191°C am Zylinderkopf und 121°C für die Öltemperatur im Kurbelgehäuse.

Die Ergebnisse waren nicht sehr eindeutig und zeigten nur geringe Unterschiede zwischen verschiedenen Ölen. Noch ungünstiger wirkt ein Vergleich der Versuchsergebnisse von allen verwendeten Motoren, wie aus der nächsten Abbildung zu ersehen ist (Abb.9).

Prüföl Nr.	Ölkohlewerte (Bezugsöl = 1,00)		
	Vollmotor (6-Zylinder)	Kleiner Prüfmotor (Delco)	Kleiner Prüfmotor (Lawson)
12	0,85	0,94	0,96
13	1,19	1,40	0,98
14	0,98	1,04	1,11
15	1,10	1,01	1,12
16	0,95	1,16	0,94

Abb.9: Motorische Ölprüfung (n. Everett u. Kaller)

Auf ähnliche Weise untersuchte Neely auf einem Prüfstand der Standard Oil of California die Alterungsneigung von Dieselschmierölen. [8] Kleine Otto-Motoren von 1/2 PS Leistung sollen auf Grund von Ringsteckzeiten eine Beurteilung der Öle ermöglichen. Das nächste Bild (Abb.10) zeigt eine Reihe dieser Prüfmotoren auf dem Prüfstand.

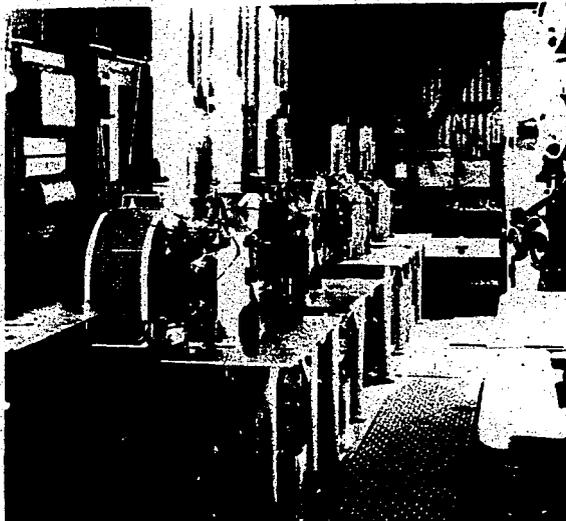


Abb.10: Kleine Ölprüfmotoren (Standard Oil of Calif.)

Die Motoren werden mit Volleistung bei einer Zylinder-temperatur von 190°C betrieben. Über die Versuchsergebnisse berichtet Neely, daß dieselben nicht völlig mit den Betriebsergebnissen von Dieselmotoren übereinstimmen und führt dies auf die nicht ganz gleichen Betriebsbedingungen zurück. Vor allem den aus der mehr oder weniger vollkommenen Verbrennung von Dieseltreibstoffen stammenden Rückständen weist Neely beim Vorgang des Ringsteckens eine größere Bedeutung zu. Festgestellt werden konnte aber, daß Öle, welche bei der Prüfung im kleinen Ringsteckmotor schlechte Ergebnisse bringen, sich auch im großen Dieselmotor ungünstig verhalten. Wie das folgende Bild (Abb.11) zeigt, stimmten die bei der Untersuchung des Einflusses von Zusätzen im Schmieröl mit verschiedenen Motoren gewonnenen Werte nur mäßig miteinander überein.

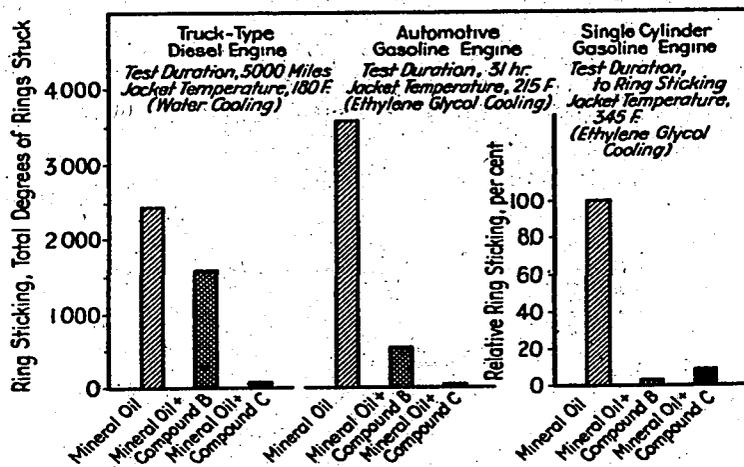


Abb. 11: Ringstecken in verschiedenen Motoren

Die Abb. 12 zeigt ebenfalls Ergebnisse von Zusatzversuchen und zwar in einer Gegenüberstellung der Werte eines kleinen Ringsteckmotors mit denen von Betriebsversuchen an Dieselmotoren.

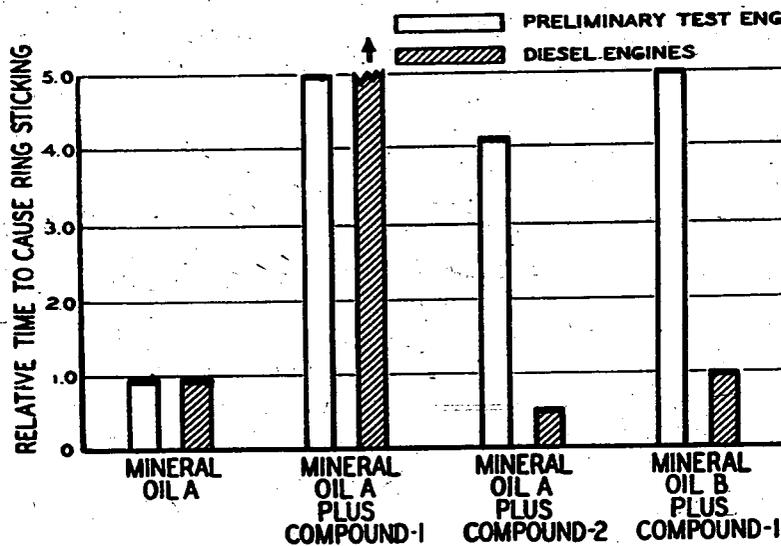
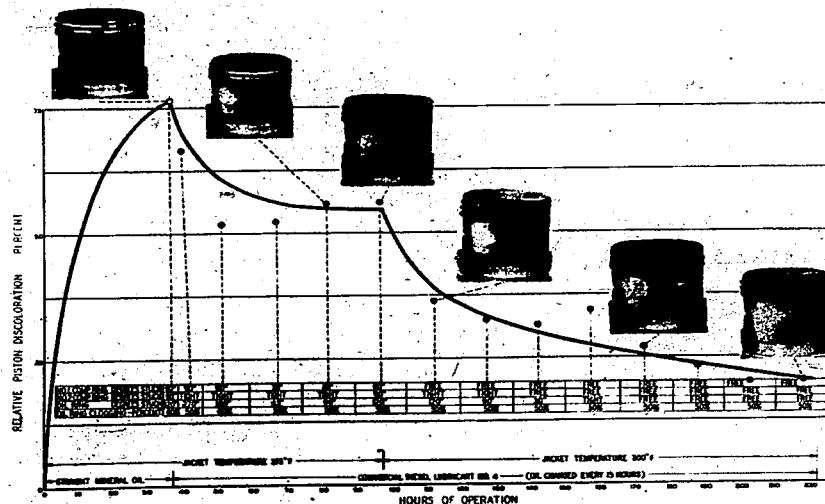


Abb. 12: Ringsteckzeiten im Ölprüfmotor und im Dieselmotor (Standard Oil of Calif.)

Von allgemeinem Interesse dürfte noch sein, daß von dieser Stelle auch motorische Versuche durchgeführt wurden, um die reinigende Wirkung von Schmierölen zu ermitteln. Das nächste Bild (Abb.13) zeigt das Ergebnis eines derartigen Prüflaufes.



**Abb.13:** Motorreinigung durch Ölwechsel (Standard Oil of Calif.)

Hier wurde das Aussehen des Versuchskolbens als Bewertungsmaßstab genommen. Nach einem 36-Stundenlauf mit einem reinen Mineralöl war ein Ring festgegangen und als Folge davon der Gasdurchtritt angestiegen, sowie die Leistung abgefallen. Nach dem Wiederausammenbau der ungereinigten Bauteile wurde nun mit einem anderen Öl weitergefahren. Nach einer gewissen Laufzeit wurde der Ring wieder frei und das Kolbenaussehen zusehends besser. Allerdings wurde von einem bestimmten Zeitpunkt ab die Zylinderlauftemperatur von  $190^{\circ}\text{C}$  auf etwa  $150^{\circ}\text{C}$  herabgesetzt, um die Reinigungswirkung zu beschleunigen.

### III. Versuche am Einzylinder-Diesel-Motor.

Bemerkenswert sind die Erfahrungen einer der größten amerikanischen Herstellerfirmen von Dieselmotoren. Es stell-

te sich hier bei zahlreichen Betriebsversuchen mit verschiedenen Schmierölen heraus, daß bezüglich Ölalterungserscheinungen derartig streuende Ergebnisse auftraten, daß aus denselben keine klaren Schlüsse gezogen werden konnten, wenn man von der Erkenntnis absieht, daß ein Dauerbetrieb mit hoher Last die kürzeste Laufzeit bis zum Festgehen der Kolbenringe ergibt.

Daher wurden von der Caterpillar Tractor Co. durch Rosen Versuche an einem leicht auszubauenden Einzylinder-Dieselmotor durchgeführt, unter den Bedingungen, die bei Betriebsversuchen in kürzester Zeit zum Ringfestgehen geführt hatten. Die Abb.14 zeigt diesen Caterpillar-Ölprüfmotor mit hochgezogenem Zylinder und Kopf.

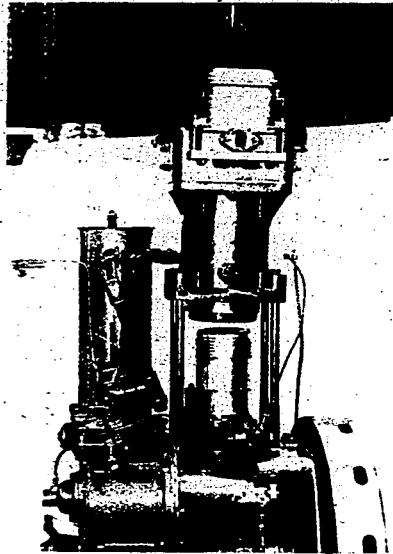


Abb.14: Caterpillar-Einzylinder-Diesel für Ölprüfungen

Als Kennzeichen für den Zeitpunkt des Festgehens der Ringe wurde eine Steigerung des Gasdurchblasens in das Kurbelgehäuse vom normalen Durchschnittsbetrag auf etwa das Fünffache gewertet. Eine Verschärfung der Versuchsbedingungen, um dadurch wesentlich kürzere Laufzeiten zu erzielen, brachte Ergebnisse, welche in keiner befriedigenden Beziehung zu den Betriebswerten standen. Als entscheidender Einflußfaktor

wurde die Temperatur in der Ringträgerpartie erkannt und diese als verantwortlich für das Verhalten von Schmierölen angesehen.

Die Ergebnisse der Schmierölprüfungen zeigten nun vor allem einen Einfluß der Herkunft und Verarbeitung des betreffenden Rohöles. Und zwar wurden mit naphthenbasischen Ölen längere Laufzeiten als mit gleichbehandelten paraffinbasischen erreicht. Andererseits ergab eine schärfere Raffination kürzere Laufzeiten bis zum Ringverkleben als eine schonende Behandlung wie auch aus Abb.15 zu ersehen ist.

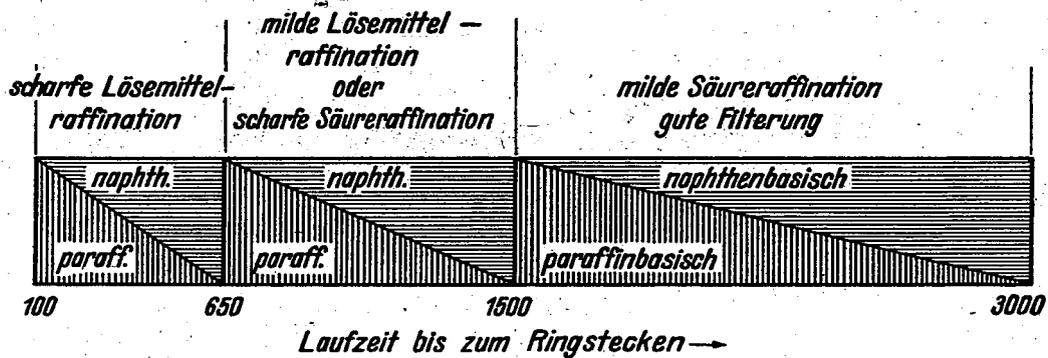


Abb.15: Beziehung zwischen Ringstecklaufzeiten und Art der Raffination (n.Rosen, 1937)

Eine sehr interessante Feststellung wurde bei Läufen mit höheren Temperaturen gemacht, denn diese Versuche ergaben für die Verwendung eines paraffinbasischen Schmieröles bei höheren Versuchstemperaturen ein günstigeres Verhalten als bei gewöhnlichen Betriebsbedingungen, wie Abb.16 eindeutig zeigt. Und zwar wurde der linke Kolben mit einer um 30 bis 40° gegenüber normalem Betrieb erhöhten Temperatur gefahren. Die Folge war einwandfreies Arbeiten der Ringe und bedeutend geringere Rückstandsbildung.

Weitere Untersuchungen ließen als beachtlichen Unterschied im Betriebsverhalten von paraffinbasischen Ölen die Eigenart erkennen, den ersten Ring vorzugsweise zu verkleben und vom naphthenbasischen dieselbe Fähigkeit beson-

POOR  
COPY

1

ders für die unteren Kolbenringe.

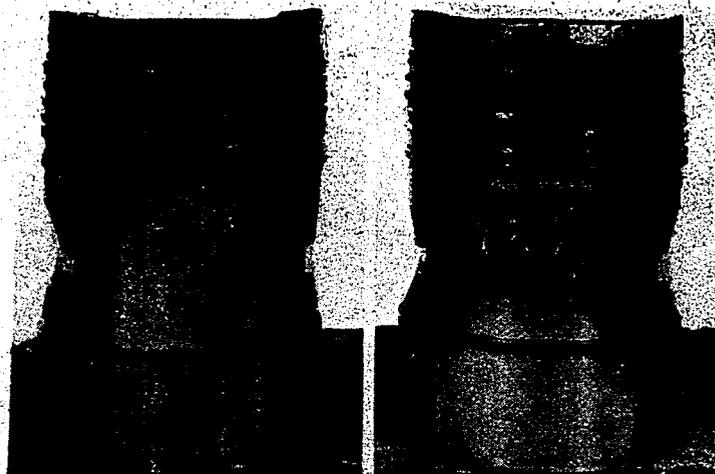


Abb.16: Lauf mit paraffinbasischem Öl bei erhöhter (links) und normaler (rechts) Temperatur

Andere Versuche sollten die Möglichkeit der Verbesserung der Temperaturbeständigkeit durch Zusätze zum Schmieröl klären und nach Meinung dieser amerikanischen Versuchsstelle ist in der Verwendung geeigneter Zusätze die kommende Entwicklungsrichtung zu sehen. Die Abb.17 zeigt einen bei Verwendung von Zusätzen erzielten Erfolg.

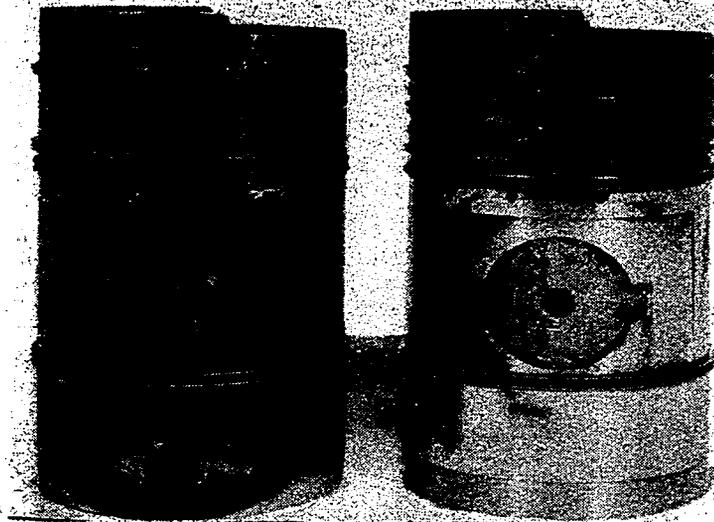
Der linke Kolben wurde mit einem gewöhnlichen  $SO_2$ -behandelten reinen Mineralöl gefahren, und es zeigten sich nach einer bestimmten Laufzeit mehrere festgegangene Kolbenringe. Dagegen ergab der rechte Kolben bei Verwendung desselben Schmieröles mit geringen Mengen von Zusätzen bei gleicher Laufzeit vollkommen freie Ringe und ein gutes Aussehen.

Aus der folgenden Abbildung (Abb.18) ersehen wir die Ergebnisse von Prüfläufen mit verschiedenen Ölen aus ihren Durchblaskurven, welche das Versuchsende anzeigen. Die Höhenlage der Durchblaskurven wird nicht bewertet, sondern nur der allgemeine Verlauf.

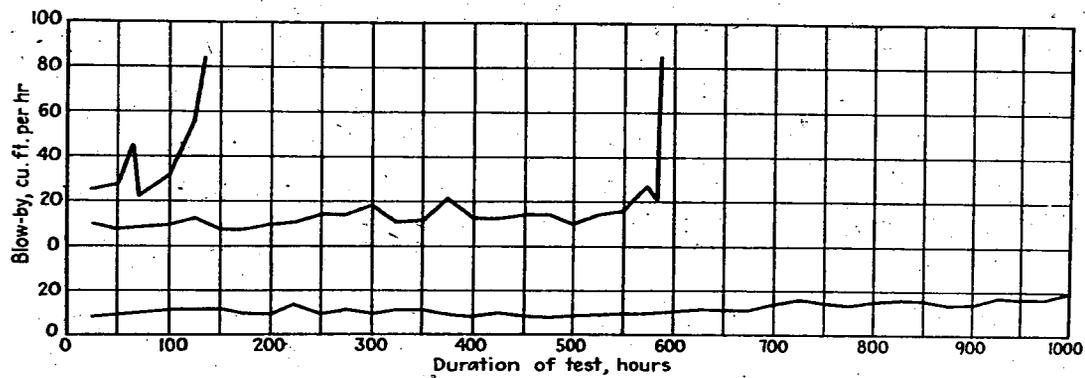
14105

- 229 -

03148



**Abb.17:** Verbesserung der Temperaturbeständigkeit durch Zusätze



**Abb.18:** Durchblaskurven bei Läufen mit verschiedenen Ölen

In den Versuchsberichten ist übrigens ein interessanter Hinweis darauf zu finden, daß am Kolbenhemd gebildete Rückstände eine Verbesserung für die Abdichtung bedeuten können und dadurch möglicherweise das Erkennen eines durch Ringfestgehen erhöhten Durchblasens erschweren. (Diese Feststellung konnten wir in der DVL am kleinen Siemens-Ölprüfmotor ebenfalls machen).

#### Die Prüfung von Schmierölen im Vollmotor.

Wie bereits erwähnt, sehen die amerikanischen Fachleute und hier insbesondere die Ingenieure der Flugmotorenfirmen die Ergebnisse von Einzylinderversuchen nicht als maßgebend für eine Öl Auswahl und damit als entscheidend für die Zulassung zum Betrieb an, sondern geben Prüfstandsläufen mit Vollmotoren das letzte Wort. Die Ölbewertung geschieht dann allgemein in Form einer Beurteilung des nach dem Prüflauf in seine Bauteile zerlegten Motors, wie sie in Deutschland ganz ähnlich für Flugmotorenöle durch die Bauvorschriften des RLM (BVM) vorgeschrieben ist. Diese Beurteilung und die damit gefundenen Werte sind naturgemäß sehr abhängig von der Erfahrung und der Einstellung des betreffenden Prüfers.

Um diese Art der motorischen Ölbewertung auf eine sachlichere Grundlage zu stellen und damit die Willkür in der Beurteilung des Motorzustandes etwas zu beschränken, führte die Wright-Aeronautical Corporation eine zahlenmäßige Bewertung der Ergebnisse derartiger Ölprüfläufe in Vollmotoren ein, wie sie im folgenden nach den Berichten von Nutt bzw. Beall beschrieben werden. [11]

Es wurde von letzterem ein Punktsystem entwickelt, welches in Verbindung mit einer Formel, die auch einen laboratoriumsmäßig gewonnenen Altöl-Analysenwert enthält, eine Bewertungsziffer für untersuchte Öle ergibt, welche dadurch untereinander verglichen werden können. Dies ist nach Ansicht der Amerikaner unbedingt erforderlich, da eine Auswahl der Öle nur auf Grund der Analysenwerte nicht mehr beibehalten werden kann. Andererseits sei Schmieröl noch der einzige

POOR  
COPY

1

in Flugmotor verwendete Werkstoff, der noch mit der "Elle" gemessen würde.

Das Verfahren, welches diesen Zustand beseitigen soll, erfordert den 50-stündigen Prüfstandslauf eines Vollmotors unter bestimmten Versuchsbedingungen. Nach dem Auseinanderbau des gelaufenen Motors werden die einzelnen Bauteile genau untersucht und zwar sowohl auf Verschleißerscheinungen, wie auch auf Bildung von Rückständen einschl. festgegangener Kolbenringe als deren Folge. Harz- und Schlammanhäufungen werden ebenfalls vermerkt und das Aussehen und die allgemeine Sauberkeit einzelner Teile werden bewertet. Wie die Abb. 19 zeigt, besitzt jeder Bauteil eine Höchstpunktzahl und der Prüfer gibt jedem Einzelteil Strafpunkte in der Größenordnung, um die der Zustand vom besten Aussehen abweicht.

Wie aus den nachstehenden Abbildungen hervorgeht, sind die auf die Verwendung eines mehr oder weniger guten Schmieröles zurückzuführenden Erscheinungen an den einzelnen Teilen ihrer Bedeutung entsprechend mit verschiedenen Höchstpunktzahlen bewertet.

Die Abb. 20 bringt als Beispiel für eine derartig motorische Prüfung das Ergebnis eines Prüflaufes mit dem Schmieröl X.

Zu berücksichtigen ist noch, daß dieses Prüfverfahren Ergebnisse bringt, welche neben der Alterungsneigung auch die Größe der verschleißverhindernden Eigenschaften in ihren Prüfwerten enthalten. Somit ist dies kein reines Alterungsprüfverfahren im engeren Sinne des Themas dieses Vortrages, aber seine Kenntnis dürfte trotzdem von Wert sein. Die zusammengezählte Punktzahl aus der Begutachtung des Zustandes der einzelnen Bauteile stellt noch keineswegs den endgültigen Prüfwert dar, sondern dieser ergibt sich erst aus einer Formel, welche auch das Punktzahlergebnis einer vorzunehmenden Altölanalyse enthält. (Abb. 21)

s. folgende Seite

POOR  
COPY

1

Punktbewertung für den Motorszustand nach 50-stündigen Prüfläufen.

	Höchstpunktzahl		Höchstpunktzahl
Kolben, Verschleiß und Aussehen	5	Kolbenbolzen, Verschleiß	1
Verschleiß der Kolbenbolzenaugen	1	Anlenkbolzen, Verschleiß u. Aussehen	4
Aussehen der Kolbenböden	4	Anlenkbolzenbüchsen, Verschleiß	1
Kolben insgesamt	.... 10	Kolbenbolzenbüchsen, Verschleiß	1
Kolbenringe, Verschleiß	20	Kurbelzapfen, Verschleiß u. Aussehen	8
Festsitzen	5	Hauptpleuellager, Verschleiß	14
Spannung	5	Untersetzungstrieb, Lagerbüchsen	3
Kolbenringe insgesamt	.... 30	Kurbelgehäuse, allgemeine Sauberkeit	6
Zylinder, Verschleiß und Aussehen der Laufflächen	.... 10	Kurbelgehäuse, Ölschlamm	5
		Schmiermuten im Hauptlager	2
		Filter	5
Kolben, Kolbenringe und Zylinder	.... 50	Kurbeltrieb und Kurbelgehäuse	.... 50

Abb.19: Prüfung von Flugmotorenschmierölen (Wright Aeron.Corp.)

	Optimum or Par Values	Engine Inspection, Oil X
Pistons, wear and appearance	5	4
Piston-pin bosses, wear	1	1
Piston thrust surface, appearance	4	3
Piston total	10	8
Piston-rings, wear	20	14
Piston-rings, stuck	5	5
Piston-rings, feather	5	3
Piston-rings, total	30	22
Cylinder, wear and appearance	10	10
Piston-pin, wear	1	1
Link-pin, wear and appearance	4	3
Link-pin bushings, wear and appearance	1	1
Piston-pin eye, wear and appearance	1	1
Master-rod bearing, wear and appearance	14	12
Master-rod journal, wear	8	7
Spider bushings, wear and appearance	3	2
Crank system and bushings, total	32	27
Crankcase, general cleanliness	6	5
Crankcase, sludge	5	4
Master-rod journal cavity	2	1
Filter	5	4
Cleanliness and sludge, total	18	14
Total engine-inspection score	100	81

Abb.20: Prüfung von Flugmotorenschmierölen (Wright Aeron.Corp.)

Untersuchung des Altöles nach 50-stündigen  
Prüfläufen im Motor auf:

1. Schlammgehalt
2. Asphaltgehalt
3. Zunahme der Viskosität
4. Zunahme der Neutralisationszahl

Endgültige Bewertung =  $\frac{1x \text{ Altölanalyse} + 2x \text{ Motorzustand}}{3}$

Abb.21: Prüfung von Flugmotorenschmierölen  
(Wright Aeron. Corp.)

Diese Altölanalyse besteht aus einer Bestimmung des Schlamm- und des Asphaltgehaltes, sowie der Veränderung von Viskosität und Neutralisationszahl und die so gewonnenen Werte werden in Punktziffern umgerechnet.

Von den mit diesem Ölprüfverfahren erzielten Ergebnissen wird behauptet, daß sie in gewisser Übereinstimmung stehen mit den Erfahrungen des Linien-Flugbetriebes. So haben sich die bei der Prüfung bewährten Öle auch im Flugbetrieb günstig verhalten und Öle mit weniger guten Prüfwerten führten im Betrieb zu häufigeren Beanstandungen.

#### Zusammenfassung.

Die gemachten Ausführungen sollten einen kurzen Überblick geben über die in den USA zur Anwendung kommenden motorischen Verfahren zwecks Erfassung der Alterungsneigung von Motorenschmierölen. Die Erkenntnis der Tatsache, daß die Ergebnisse von laboratoriumsmäßigen Prüfungen ebenso wenig wie die Erfahrungen aus Straßen- oder Flugversuchen eine einwandfreie Aussage über die Brauchbarkeit von Schmierölen im Betrieb von Verbrennungsmotoren erlauben, führte in Amerika zur Durchführung motorischer Versuche an grossen und kleinen Einzylinder-Prüfmotoren der verschiedenen Bauart. Infolge der nicht restlos geklärten Übertragbarkeit werden aber allgemein Vollmotoren-Versuche auf dem Prüfstand als letztlich ausschlaggebend für die Zulassung eines neuen Schmieröles angesehen. Die Durchführung einiger

typischer amerikanischer Motorprüfverfahren wurde kurz besprochen.

Bei einem Vergleich mit deutschen Verhältnissen kann zusammenfassend festgestellt werden, daß die USA auf dem Gebiet der Ölprüfung etwa auf derselben Entwicklungsstufe stehen wie wir. Die Verfahren sind in beiden Ländern zu annähernd gleichen Reife entwickelt worden und unterscheiden sich in Einzelheiten kaum und im grundsätzlichen eigentlich nur in der Frage der Schärfe der Versuchsbedingungen. Wie die Abb. 22 noch einmal in einer Übersicht zeigt, wird in den USA im Gegensatz zu uns allgemein unter mildereren Bedingungen gefahren, die höchstens den oberen Grenzen des ungünstigsten Betriebszustandes in der Praxis entsprechen. Dies bedingt als Nachteil sehr lange Laufzeiten, welche aber drüben scheinbar lieber in Kauf genommen werden als die Unsicherheit der noch nicht völlig geklärten Frage der Übertragbarkeit.

		Prüfbedingungen entsprechend:				
		I	II	III		
Flug- oder Straßenversuch	Vollmotor	Flugmotor	+			
		Kraftwagenmotor	+			
Prüfstandsversuch	Einzylinderm.	Flugmotor		+	+	
		Kleiner Ottom.	Willey u. Prutton		+	
			Everett u. Kaller		+	
			Neely	+	+	+
	Dieselmotor	Rosen		+		
	Vollmotor	Kraftwagenmotor	Wiggins u. Hunter		+	
		Flugmotor	Nutt u. Beall		+	

I: normaler Betrieb  
 II: obere Grenze des normalen Betriebes  
 III: weitere Verschärfung der Bedingungen

1) vorgeschlagen

Abb. 22: Amerikanische Prüfbedingungen

POOR  
 COPY

1

Die erheblichen Mittel, die den amerikanischen Versuchsingenieuren bislang immer zur Verfügung gestanden haben, erlaubten die Durchführung überaus vielseitiger Untersuchungen, welche dann auch teilweise zu besonders aufschlußreichen Ergebnissen führten. Der augenblickliche Stand der motorischen Schmierölprüfung läßt sprunghaft zu erreichende Erfolge aber kaum erwarten, sondern weitere Fortschritte dürften nur durch eine zähe und unermüdliche Kleinarbeit zu erreichen sein, wie sie vor allem auch in Deutschland durchgeführt wird.

Schrifttum.

- [1] Baxley, C.H. u. Stewart, J.F., Methods and equipment used in the development of lubricants for high output service with special reference to aviation oils, Sonderdruck eines Vortrages auf dem 2. Weltpetroleumkongress in Paris 1937
- [2] Bridgeman, O.C., The problem of ring-sticking in aviation engines. SAE-Journ. Bd.41 (1937) Nr.6 (Dez.) S.545/47
- [3] Gruse, W.A. u. Livingstone, C.J. Engine deposits - causes and effects. Symposium of lubricants (1937) S.1/20, ASTM - Baltimore 1937
- [4] Gruse, W.A. u. Livingstone, C.J., Piston deposits. Automobile engineer, 1940 (Nov.) S.374/379
- [5] Kishline, F.F., A symposium on varnish in engines. SAE-Journ. Bd.45 (1939) Nr.2 (August) S.321/324
- [6] Willey, A.O. u. Prutton, C.F., The use of small-scale single-cylinder engines for the evaluation of motor oils. Sonderdruck eines Vortrages auf der SAE-Tagung Juni 40
- [7] Everett, H.A. u. Kaller, G.H., A laboratory method for evaluating the influence of lubricating oils on carbon deposition. Engineering Bd.148 Nr.3857 (15.12.39) S.676/678
- [8] Neely, G.L., Recent developments in Diesel lubricating oils. SAE-Journ. Bd.45 (1939) Nr.5 (Nov.) S.485/500
- [9] Rosen, C.G.A., Engine temperature as effecting lubrication and ring sticking. SAE-Journ. Bd.40 (1937) Nr.4, S.165/172
- [10] Rosen, C.G.A. Cylinder lubrication of small-bore Diesel-engines. General discussion on lubrication and lubricants. Group II. Institution of mechanical engineers, London (Okt.) 1937 S.169/177
- [11] Beall, A.L. Selection of oils for high output engines. Sonderdruck eines Vortrages auf der Luftfahrttagung der SAE in Los Angeles (Okt.) 1936

Übertragbarkeit der Prüfergebnisse  
auf die Praxis.

Von Dipl.-Ing. Adam, R L M - GI/A-M 2 0

Ein Schmierstoff, der für den Betrieb in Flugmotoren an der Front freigegeben werden soll, wird z.Zt. zunächst einer chemisch-physikalischen Prüfung, sodann einer oder mehreren Einzylinder-Erprobungen unterzogen, dann erfolgt die Vollmotorenprüfung in ca. 6-8 Flugmotoren.

Die Bestrebungen gehen nun dahin, die Vollmotorenläufe, welche sehr viel Zeit, Geld und Aufwand erfordern, lediglich durch die Vorprüfung vor allen Dingen im Einzylinder zu ersetzen.

Es soll hier in erster Linie von der Übertragbarkeit der Einzylinderergebnisse auf die Praxis gesprochen werden.

Die chemisch-physikalische Untersuchung dient ja bis jetzt vor allem zur Kontrolle der Gleichmäßigkeit einer Qualität und zur Festlegung grundsätzlicher Eigenschaften eines Stoffes; die Eignung eines gänzlich neuen Öles lediglich aus dieser Untersuchung ist auch dann nicht zu erkennen, wenn die gefundenen Daten mit den normalen Werten bekannter Öle übereinstimmen.

Der Einzylinderlauf ist heute die Form der Prüfung, die schon gewisse Schlüsse auf die motorische Eignung zuläßt. Im folgenden sind nun die Ergebnisse der letzten 2-3 Jahre zusammengetragen und zwar von den Stoffen, mit denen nach der Einzylindererprobung noch Vollmotorenläufe durchgeführt wurden.

Es ist selbstverständlich, daß bei diesen Versuchen, die nicht mit absoluten Werten zu messen sind, wie z.B. der positive oder negative Ausgang eines 100 Std.-Laufes, nur eine sehr große Anzahl von Gegenüberstellungen zu einer richtigen Schlußfolgerung führen kann.

Zu den Einzylinderläufen ist zu sagen, daß bei den verschiedenen Untersuchungsstellen große Unterschiede in der Durch-

führung und Auswertung der Versuche vorhanden waren. Dadurch muß eine Streuung der Ergebnisse bei den vorliegenden Vergleichen in Kauf genommen werden.

Zu den Vollmotorenläufen ist zu sagen, daß ein Lauf in einem Motor kein Urteil für einen Schmierstoff zuläßt; d.h. mit Ausnahme der Lauf ist völlig negativ verlaufen, so daß das Öl also auch negativ zu bewerten ist. Im anderen Falle kann man sich aber erst ein Bild machen, wenn man die Ergebnisse einer Reihe von Läufen vor sich liegen hat. Allerdings gibt es da eine Reihe kritischer Motoren; vor allem sind das natürlich die hochgezüchteten, leistungsstarken Neuentwicklungen, dann aber auch solche Typen, die eine unangenehme Eigenschaft besonders bevorzugt aufzeigen, wie z.B. das Ringstecken.

Die Kriterien bei der Beurteilung von Vollmotoren sind nun:

- 1) Ringstecken
- 2) Schmierfähigkeit
- 3) Rückstände
- 4) Verschlammung
- 5) sonstige Beanstandungen, z.B. Ölverbrauch, Abnutzung usw.

Ich habe mir nun die Frage gestellt, ob man aus der Laufzeit eines Einzylindermotors Rückschlüsse auf die einzelnen erwähnten Punkte ziehen kann oder vielleicht auf das Gesamtbild des Motors oder vielleicht auf das Bild besonderer Motortypen.

Zwei Punkte kann man dabei fortfallen lassen u. zwar sind das die Rückstandsbildung und die Schmierfähigkeit. Es ist nur je ein Fall bekannt, wobei diese Beanstandungen zum Abbruch eines Vollmotorenlaufes geführt haben. (Abb.1 s.f.S.)

Um nun zu einer graphischen Gegenüberstellung von Einzylinder- auf Vollmotoren-Läufe zu kommen, bin ich folgendermaßen vorgegangen: Ich habe auf der Unterseite des Bildes von verschiedenen Ölen, die durch die Buchstaben A, B, C usw. gekennzeichnet sind, auf der Abszisse die Laufstunden aufgetragen. Dabei habe ich die Öle so angeordnet, daß von links

nach rechts ein Absinken der Laufzeit dargestellt ist. Die Mittellinie zeigt die als allgemein für normal angesehenen Laufzeit von 8 Stunden. Die schraffierten Felder zeigen die Schwankungen bei der Ermittlung der Laufzeit in den einzelnen Untersuchungsfällen.

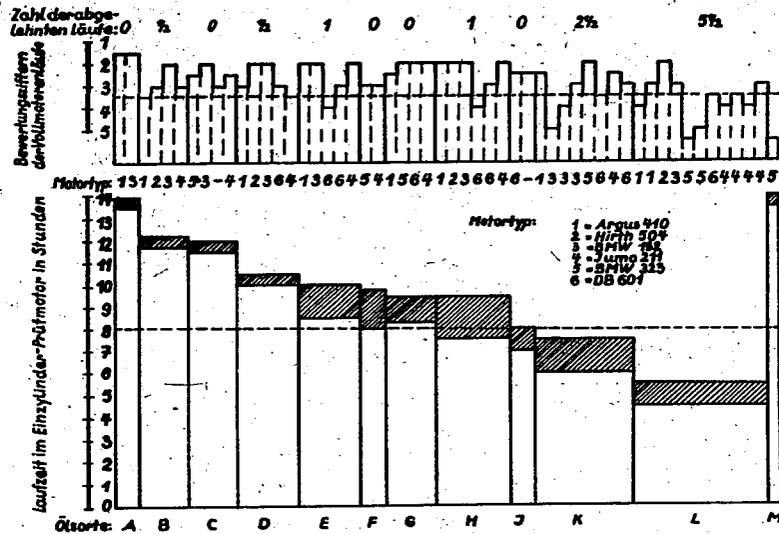


Abb. 1: Allgemeine Bewertung

Darüber sehen Sie das Ergebnis der mit den entsprechenden Ölen durchgeführten Vollmotorenläufe. Auf Grund der bei mir vorhandenen Unterlagen, und da ich die Mehrzahl der Läufe selbst gesehen habe, bin ich zu einer zahlenmäßigen Bewertung übergegangen. Die eingezeichnete Mittellinie gibt die Grenze an für die Zulassung eines Vollmotorenlaufes. Alle Läufe, die darüber liegen, wurden einwandfrei zugelassen, alle Läufe, die darunter liegen, mußten abgelehnt werden. Die Zahlen über der oberen Darstellung geben die Anzahl der abgelehnten Läufe an. Die Zahl "1/2" bedeutet dabei, daß über die Ablehnung oder Zulassung des Laufes keine Einigkeit erzielt werden konnte.

Ich glaube nun, aus der Darstellung erkennen zu dürfen, daß die Tendenz der Versager mit sinkender Laufzeit

wächst. Daß man allerdings die Laufzeit nicht aussch. zur Bewertung heranziehen darf, zeigt wiederum die Darstellung des Öles M, welches, bei 14 Std. Prüfmotoren-Laufzeit, im Vollmotor nach 35 Stunden völlig versagte. (Abb.2)

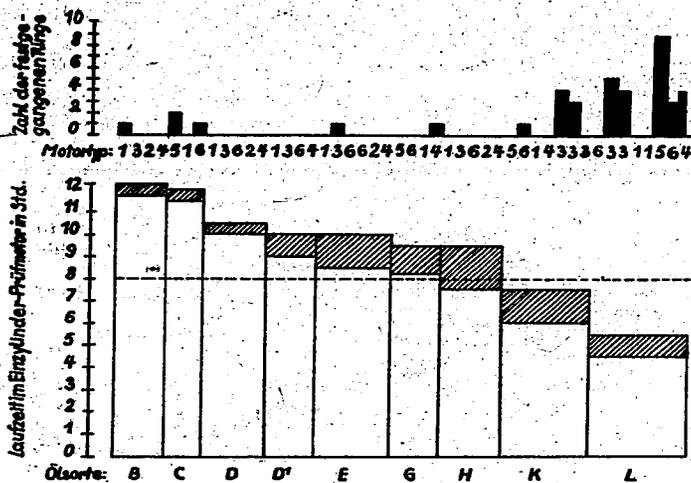


Abb.2: Kolbenringstecken

Im zweiten Bild habe ich im unteren Teil die gleiche Darstellung der Laufzeiten gegeben. Oben sehen Sie für eine große Reihe von Vollmotorenläufen die Anzahl der festgegangenen Ringe. Es ist daraus wieder ganz klar ersichtlich, daß die Anzahl der festen Ringe mit sinkender Laufzeit ansteigt. Man kann ferner darauf erkennen, daß die kritische Laufzeit von 8 Stunden in Beziehung auf das Ringstecken eben doch die unterste Grenze ist. Ferner kann man erkennen, daß die empfindlichsten Motoren in dieser Beziehung die luftgekühlten sind. (Abb.3 s.f.S.)

Um den Einfluß der Laufzeit auf ein bestimmtes Motorenmuster zu erkennen, habe ich hier die Ergebnisse aus Abb.1 für jedes Motorenmuster getrennt herausgezogen. Die Anzahl der Gegenüberstellungen ist jedoch dabei zu gering, um zu einem eindeutigen Ergebnis zu kommen. Ein gewisses Absinken der Bewertungsziffer mit sinkender Laufzeit ist hier jedoch auch zu erkennen, wenn auch nicht mit der Klarheit des

ersten Bildes. (Abb.4)

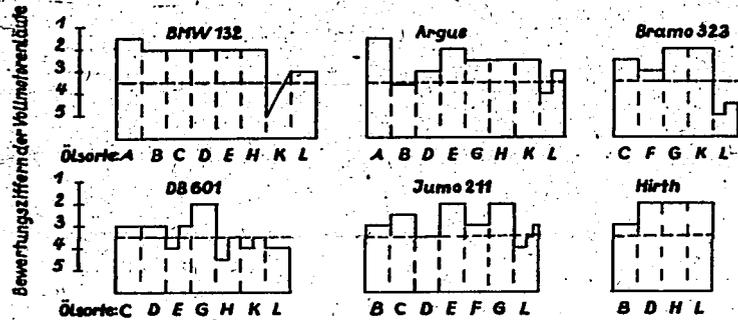


Abb. 3: Einzelbewertung

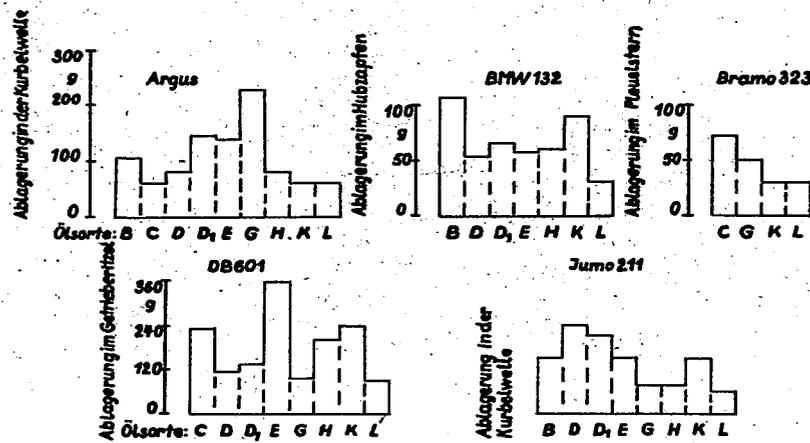


Abb. 4: Verschlammung

Hier habe ich einmal für verschiedene Öle an den einzelnen Motorentypen die an kritischen Stellen abgesetzten Schlammengen aufgetragen, also z.B. bei Argus in der Kurbelwelle, beim BMW 132 im Hubzapfen usw. Wie erwartet, zeigt sich hier keinerlei Abhängigkeit von der Laufzeit. Auch die Öle untereinander verglichen geben keinen Hinweis auf einen ausgesprochenen Schlammbildner unter ihnen.

Um nun in Zukunft zu einer sicheren Beurteilung der Schmierstoffe lediglich aus den Voruntersuchungen zu kommen, wird es erforderlich sein, vor allem die Zustände in den Vollmotoren einmal genau zu erforschen und zu messen, was leider bis heute durchaus nicht der Fall ist.

Aus dem Gezeigten glaube ich nun ableiten zu können, daß die Gefahr des Ringsteckens und der Ausfall der Vollmotoren aus diesem Grund eindeutig aus der Laufzeit im Einzylindermotor erkannt werden kann. Die Durchführung der Vollmotorenläufe in letzter Zeit haben jedoch gezeigt, daß bei modernen Ölen der Ausfall an Motoren durch festgegangene Ringe nicht mehr so im Vordergrund steht, wie andere Schwierigkeiten; diese sind vor allem Verschlammung und Schmierfähigkeit beim Start. Es wird also meines Erachtens in Zukunft die Aufgabe der Forschung sein, Verfahren auszubilden, welche gestatten, auch diese Schwierigkeiten durch eine Vorprüfung zu erkennen. Dieses kann einzeln für sich oder auch gekoppelt mit der bestehenden Einzylindereprobung geschehen. Z.Zt. sind wir jedoch leider noch weit davon entfernt, die Vollmotorenläufe lediglich durch Voruntersuchungen zu ersetzen.

D i s k u s s i o n .

(1.Tag)

Aussprache nach den Vorträgen von A.v.Philippovich,  
Morghen, Gießmann.

Gießmann: v.Philippovich sprach von einer Abdichtung des Kurbelgehäuses zur Messung des Sauerstoffgehaltes. Der Sauerstoff kann in das Kurbelgehäuse durch Atmen des Kolbens gelangen, aber ebenso auch Verbrennungsgas in viel größerer Menge; ohne Abdichtung des Kurbelgehäuses hätte dieses den Sauerstoff wahrscheinlich viel schneller verdrängt. Dafür spricht auch, daß beim Kaltstartverfahren (Benzinzusatz zum Öl) sich nur beim Anlassen des Motors im Kurbelgehäuse ein zündfähiges Gemisch ausbildet, später jedoch nicht mehr, da zu wenig Sauerstoff da ist.

v.Philippovich: Daß während der Verbrennung unverbranntes Gemisch am Kolben vorbeigedrückt wird, ist wohl sicher; auch Williams kommt wegen des verhältnismäßig geringen Verdichtungsdrückes zu dieser Auffassung. Daß auch beim Kaltstart ausser am Anfang keine Zündungen auftraten, dürfte aber kein Nachweis für Sauerstoffmangel, sondern eher für Benzinüberschuß sein.

Glaser: Das Kurbelgehäuse war natürlich nicht vollkommen abgedichtet. Es ist selbstverständlich so, daß die Kurbelgehäusegase abgeleitet und daraus die Analysenproben entnommen werden.

Penzig: Wie lange dauerten die Versuche? Wenn das Kurbelgehäuse an einer Stelle offen ist, dann kann Sauerstoff herein, deshalb müssen auch Abgasanalysen 2 bis 3m vom Auspuffstutzenende entnommen werden. Beim Kurbelgehäuse ist die Strömung noch geringer als beim Auspuff, wirkt sich also hier stärker aus.

v.Philippovich: Die Versuche dauerten bis zu 8 Stunden. Im Gegensatz zum Auspuff ist die Strömung im Kurbelgehäuse weniger stark pulsierend; der Sauerstoff gelangt also wohl doch beim Verbrennungshub in das Kurbelgehäuse, sodaß eine Oxydation des Öles an den Kolbenringen selbst in Frage kommt. - Die Vollmotoren müßten in dieser Hinsicht untersucht werden.

Glaser: stimme v.Philippovich zu; wir hatten nie einen negativen Druck; im allgemeinen strömen Gasmengen von 200 bis 1000 Ltr/Std. aus, sodaß nur geringfügige Sauerstoffmengen von aussen hereinkommen können.

Baeder: (zum Vortrag Morghen) Sind auch Versuche mit ihrer Apparatur dahingehend gemacht worden, ob ein Unterschied besteht, wenn man Luft oder Sauerstoff verwendet?

Morghen: Nein! Wir haben die Versuche nur mit Luft und Stickstoff gemacht, mit reinem Sauerstoff nicht.

Müller: Ist bei der Abgasanalyse der CO, CO<sub>2</sub>- oder O<sub>2</sub>-Gehalt gemessen worden?

POOR  
COPY

1

v. Philippovich: Es wurde sowohl O als CO<sub>2</sub> und manchmal CO gemessen (teilweise laufend mit einem Mofo-Apparat).

Pongratz: Könnten als Vorstufe der chemischen Veränderung und Alterung primär Isomerisierungen usw. vorausgehen, z. B. die Bildung von sekundären oder tertiären Kohlenstoffatomen? Hat es einen Sinn, daran zu denken, daß dies in der C-Kette auftritt in dem Sinne, daß sich ständig tertiäre und sekundäre Kohlenstoffatome ausbilden, die dann die erhöhte Reaktionsfähigkeit bewirken würden.

Morghen: Man kann sich auch ein Zwischenstadium denken; daß ein tatsächlicher Zerfall bzw. eine Umlagerung bei Flugmotorenölen eintritt, ist nicht gesagt.

Pongratz: Es kann ja ein Zerfall sein, der sofort durch Eingehen der Verknüpfungsstelle stabil gemacht wird. Das wäre durchaus möglich. Man könnte das vielleicht auch so messend verfolgen, daß Viskositätsänderungen bereits nach kurzen Versuchsstadien festgestellt werden.

Morghen: Eine solche Messung bzw. Auswertung eines Öles ist jedenfalls schwierig. Das Ganze ist schon eine etwas zu weitgehende Frage von rein wissenschaftlichem Interesse.

Pongratz: Das wissenschaftliche Interesse ist unter Umständen schon technisch sehr wertvoll.

Morghen: Es wird aber nicht so leicht sein, diese Frage eindeutig zu entscheiden. Das Einzige, was augenblicklich gesagt werden kann, ist, daß die Vorbehandlung des Öles bei gleicher Temperatur unter Stickstoff sich nur unwesentlich auf die folgende eigentliche Alterung auszuwirken braucht, wie im Vortrage gezeigt wurde. Wenn ein Dauerzerfall ohne Rückbildung eintritt, dann kann er also minimal sein.

Beader: (zum Vortrag v. Philippovich) Ist es zulässig, aus einem Sauerstoffgehalt einer koksenthaltenden Ablagerung zu schließen, daß sie durch Oxydation entstanden ist. Sie kennen den Ölprüfapparat von Evers. Es zeigte sich, daß die Öle, die bei der Herstellung oder Vorbehandlung stark mit Sauerstoff oder Luft gerührt oder mit Preßluft zerstäubt waren, eine hohe Sauerstoffaufnahme zeigten, während die nicht in dieser Weise vorbehandelten Öle eine niedrige Sauerstoffaufnahme ergaben. Daraus geht hervor, daß dieser Apparat - (in seinem damaligen Zustand) - tatsächlich den adsorbierten Sauerstoff gemessen hat und nicht den chemisch gebundenen oder die Summe beider. Wäre es nicht ebenso gut möglich, bei einem Rückstand, der wahrscheinlich Koks enthält, dessen starke adsorptive Eigenschaften bekannt sind, den adsorptiv gelösten Sauerstoff zu messen.

v. Philippovich: Dagegen spricht die Zunahme des O-Gehaltes mit der Temperatur, auch sind die aufgenommenen Mengen zu groß für einen rein physikalischen Vorgang. Von den Gasen ist im übrigen CO<sub>2</sub> rund um eine Zehnerpotenz leichter in Öl löslich als Luft oder H<sub>2</sub>.

Marder: Ich möchte kurz auf die Frage eingehen, ob bei der thermischen Oxydation von Ölen eine Kohlenwasserstoffumwandlung, z.B. eine Isomerisation, stattfindet, sodaß tertiäre Kohlenstoffe entstehen, die labiler und infolgedessen leichter oxydierbar sind. Die Frage kann mit ziemlicher Sicherheit verneint werden. Es ist von den Spaltreaktionen her bekannt, daß Isomerisationen im allgemeinen nur eintreten, wenn man Katalysatoren benutzt und zwar sind die Katalysatoren, die bei der Ölalterung vorhanden sein können, im allgemeinen keine Isomerisationskatalysatoren, sondern eher Spaltkatalysatoren, wie z.B. das Kupfer. Ich habe z.B. festgestellt, daß bei einem Öl, das bei etwa 200° gealtert wurde, nach einer Oxydationszeit von 100 Stunden eine Säurezahl von 10 gemessen wurde. Bei einer Wiederholung des Versuches unter Zusatz von metallischem Kupfer betrug die Säurezahl nach derselben Alterungszeit nur 0,3. Die Oxydation ist in einer ganz anderen Richtung verlaufen.

v. Philippovich: Wie war die Verseifungszahl?

Marder: Die Verseifungszahl ist nicht gemessen worden. Die Versuche wurden zu anderen Zwecken durchgeführt.

v. Philippovich: Die Säurezahl nimmt ab, weil Seifen entstehen, führt also irre.

Morgen: Es wäre doch einfacher, anzunehmen, daß das Kupfer den Sauerstoff überträgt und einen anderen Oxydationsmechanismus hervorruft. Man kann das also nicht gut als Beispiel für eine Spaltung oder Isomerisierung von KW nehmen!

Marder: Aber es sind Spaltreaktionen bekannt, an denen Sauerstoff gar nicht teilnimmt.

Tramm: Daß Polymerisationsreaktionen gerade im Beginn der Oxydation verlaufen, ist auf Grund unserer Versuche zu verneinen. Bei unseren Alterungsversuchen zeigte sich im Anfang der Alterung die erwähnte Induktionsperiode, während der keine Änderung der Viskosität des Öles eintritt; das würde gegen eine Polymerisation sprechen. Dagegen haben wir in sehr vielen Fällen beobachtet, daß gerade dann Peroxyde auftreten, die bei der Beendigung der Induktionsperiode verschwinden.

Zorn: Zu der Frage der Isomerisierung von Kohlenwasserstoffen auf rein thermischem Wege möchte ich sagen, daß, solange eine gesättigte paraffinische Kette vorliegt, ich nicht glaube, daß sich thermisch das Molekül unterhalb der Temperatur ändert, bei der überhaupt eine Spaltung stattfindet. Dagegen, wenn eine Doppelbindung im Molekül vorhanden ist, bin ich überzeugt, daß dieses Molekül sich unterhalb der Spalttemperatur ändert, denn Doppelbindungen wandern gar zu leicht. Der Einfluß des gelösten Sauerstoffes wird, solange wir mit natürlichen Kohlenwasserstoffgemischen arbeiten, außerordentlich verschieden sein (Naphthene, Paraffine).

Spengler: Hat man Versuche mit reinen Kohlenwasserstoffen, mit reinen Paraffinen durchgeführt? Es gibt so viele Überlagerungsreaktionen, daß es richtiger wäre, wenn man reine Paraffine usw. untersuchte.

Morghan: Wir haben die verschiedensten Öle, synthetische und mineralische Flugmotorenöle, genommen, und wir haben bei allen Ölen praktisch die gleichen Sauerstoffbindungstypen bekommen.

Spengler: Man kann trotzdem nicht mit Sicherheit schließen, woraus sie entstanden sind.

Morghan: Der erste Schritt ist, zu sehen, was sich überhaupt für Sauerstoffbindungsformen bilden. An den Gruppen können wir dann sehen, auf welche Modells-substanzen wir zurückgreifen können.

Marder: Es ist sicherlich zuzugeben, daß bei einer thermischen Oxydation unter Umständen Verlagerungen von Doppelbindungen stattfinden können, denn wie Dr. Zorn richtig sagte, ist die Verlagerung von Doppelbindungen besonders leicht. Aber eine Isomerisation in der Weise, daß aus sekundären Kohlenstoffatomen tertiäre Kohlenstoffatome werden, tritt bei einer solchen Oxydation nicht ohne weiteres ein.

Morghan: Ein System, das aus mehreren Doppelbindungen besteht, befindet sich im mesomeren Zustände. Es gibt da entsprechend dem jeweiligen Energieniveau alle möglichen Gleichgewichtszustände. In welchem momentanen Gleichgewichtszustand es gerade reagiert, ist eine andere Frage. Ein Grenzzustand ist bei effektiver Verlagerung gegeben. Aber wenn wir vorher irgendwo eine Doppelbindung nicht nachweisen können, wissen wir nicht ohne weiteres, ob sie nicht doch bei der Reaktion in Erscheinung treten wird.

Baader: Ich muß bestätigen, daß Katalysatoren den Alterungsvorgang qualitativ und quantitativ ändern können und zwar Kupfer weniger als Blei. Oft findet man, daß die Säurezahl gesunken und die Verseifungszahl (VZ) gestiegen ist, seltener sinken beide Werte. Dabei scheint es nicht auf die Art des verwendeten Bleies anzukommen. Mir ist eine Arbeit bekannt, wonach im Gegensatz zum Vortragenden (v. Philippovich) das Aluminium einen sehr starken Einfluß ausgeübt hat. Es dürfte sich jedoch da um verunreinigtes Aluminium gehandelt haben. Es ist unheimlich, wie die Reinheit der Metalle hier einget. Ich habe die größten Schwierigkeiten gehabt, ein geeignetes Kupfer für meinen Apparat zu finden, und seit längerer Zeit kann das Kupfer überhaupt nicht mehr hergestellt werden. Es muß heute mit dem alten Draht gearbeitet werden, der einem bestimmten Reinigungsverfahren unterworfen wird.

Diese Zusammenhänge zeigen ganz klar, daß man nicht generell von der Wirkung eines Metalles sprechen kann, sondern daß auch die Beschaffenheit des Metalles in Rechnung gestellt werden muß.

v. Philippovich: Sicherlich muß bei Verwendung von Katalysatoren die Oberfläche und Reinheit möglichst genau festgelegt werden. - Aluminium ohne Angabe der Reinheit erwies sich bisher als inaktiv.

Seemann: Kann durch Verwendung von verschiedenen Treibstoffen nicht mehr Klarheit gebracht werden? Ich denke z.B. an

den Einfluß von Alkohol und unsere Versuche mit Sauggas. Da hatten wir entgegen den sonstigen Befunden eine Neutralisationszahl von 0,8 bei einer Verseifungszahl von 5 und zum Teil noch höher gefunden. Es wäre denkbar, daß man so irgendwie die Alterungsreaktion klären könnte.

v. Philippovich: Man kann wohl von der Verwendung verschiedener Kraftstoffe interessante Ergebnisse erwarten, muß aber bedenken, daß man dabei nicht nur die Kraftstoffe, sondern auch Temperaturen usw. verändert, sodaß die Vorgänge vielleicht verschleiert werden. Genaue Kontrolle des Motors, wie z.B. durch Kolbentemperaturmessung ist dazu erforderlich.

Schick: Ich begrüße die Anregung von Seemann. Wenn man schon den Alterungsvorgang wissenschaftlich verfolgt, dann müßte man auch den Einfluß von Oxydationsprodukten vom Brennstoff auf den Alterungsvorgang verfolgen.

Wenn man sich die Mühe macht, eine Art Sauerstoffbilanz bei der Verbrennung mit irgendeiner der gasanalytischen Methoden aufzustellen, dann wird man meist feststellen, daß sie nicht stimmt. Das erklärt sich zum Teil dadurch, daß man als Endverbrennungsprodukt nicht immer Kohlensäure bekommt, sondern auch andere, nicht gasförmige Oxydationsprodukte übrig bleiben. Ich vermute, daß auch eine Reihe der sogenannten Abgasanalysen unter diesem Mangel leidet. In den Verbrennungsgasen können Sauerstoffverbindungen auftreten, die einen Einfluß auf den Alterungsvorgang haben.

v. Philippovich: Kraftstoffeinflüsse sollen heute nicht eingehender besprochen werden. Infolge der guten Gemischeinregulierung des Flugmotors kommt ein nennenswerter Betrag an O-Verbindungen im Auspuffgas nicht in Frage; der Verbrauch stiege ja dann schon unzuverlässig an.

Müller: v. Philippovich sagte zu seinem Vortrag, daß beim Flugmotor kaum eine Lackbildung auftritt. Ich möchte da auf das Gebiet des Dieselmotors hinweisen, wo wir eine starke Lackbildung haben und wo wir eigentlich sehr schön den Temperatureinfluß sehen können. Bei einer Temperatur von 180 bis 200° tritt am Kolbenmaterial eine Lackbildung auf. Bei Temperaturen unter 170° wurden nur schmierige, zähe Massen ermittelt. Die Laboratoriumsversuche haben sehr schön mit der Praxis übereingestimmt. Wir konnten die Kolbentemperaturen ungefähr feststellen und haben auch gesehen, daß bei dickeren Kolbenplatten die Lack-schicht nach oben wandert.

v. Philippovich: Für den Dieselmotor trifft dies natürlich zu, an den ich vorhin nicht dachte. Die Veränderung des Gesamtaufbaues des Öles bei der Crackung müßte durch Fraktionierung und Bestimmung des Molekulargewichtes verfolgt werden, um zu sehen, ob man nicht auch noch größere Moleküle erhält als ursprünglich vorgesehen waren.

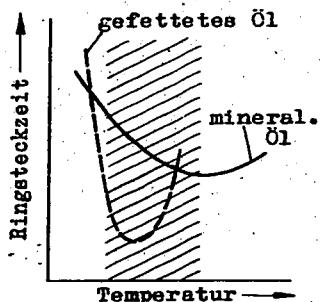
v. Philippovich (zum Vortrag Gießmann): Der Vortrag brachte eine große Menge sachlicher Unterlagen für Gebiete, auf denen bisher nur wenig bekannt war, z.B. die stärkere Verände-

ring des nur einmal aufgefüllten Öles als der öfters nachgefüllten Öle. War hierbei der Tankinhalt vergrößert worden? Und wurde die Verkokungszahl gemessen? Bei Nachfüllung kommen immer neue Inhibitoren ins Öl, die bei einmaliger Füllung verbraucht werden. Die leichte Verbrennlichkeit des gefetteten Öles wirkt sich beim Dieselmotor günstig aus und überdeckt die Oxydationsneigung, die sich beim Otto-Motor auswirkt. Die Schlammerfassung beim DB 600 E durch Auszentrifugieren weist eine Möglichkeit (Einbau eines Schleuderelementes), doch wäre die Zusammensetzung des Schlammes auch noch zu bestimmen, das wäre sogar sehr wichtig. Anwendung magnetischer Füllung wäre zu erwägen.

**Gießmann:** Es wurde immer dieselbe Ölmenge verwendet. Die Viskosität und die Verseifungszahl stiegen ohne Nachfüllung immer steiler an, während sie sich mit Ölnachfüllung einem Grenzwert näherten.

**Glaser:** Die Frage, weshalb gefettete Öle unter Umständen in Flugmotoren anders bewertet werden als bei Automotoren möchte ich folgendermaßen erklären:

Bei früheren Versuchen, bei denen die Ringsteckzeit in Abhängigkeit von der Temperatur untersucht wurde, konnten folgende Kurven gefunden werden (s. Abb.). Für ein gefettetes Öl hatten wir also eine wesentlich steilere Abhängigkeitskurve gefunden als für ein mineralisches Öl. Die Flugmotoren arbeiten anscheinend in dem schraffierten Gebiet. Hier sind also tatsächlich die gefetteten Öle wesentlich schlechter als etwa Rotring oder Grünring. Man sieht, daß das gefettete Öl im niedrigeren Temperaturgebiet viel steiler ansteigt, also auch längere Laufzeiten als das Mineralöl ergibt.



Im Dieselmotor dichten die Feuerringe besser ab und bringen eine bessere Wärmeableitung. Daher ist alles, was unterhalb der Feuerringe liegt, thermisch weniger beansprucht. Folglich müßte ein gefettetes Öl auch längere Laufzeiten als ein mineralisches haben. Andererseits sind dort aber die Spiele sehr fein, sodaß Abrieb und Reibung eine größere Rolle spielen. Ein gefettetes Öl muß daher auch eine geringe Temperatur ergeben, weil die durch Reibung erzeugte Wärme wegen seiner besseren Schmierfähigkeit nicht so groß ist als bei mineralischen Ölen.

**v. Philippovich:** Livingstone und Gruse sind bisher die einzigen, die für die Laufzeit bis zum Ringstecken Maxima fanden, die sie allerdings auf eine andere Art der Ölkohle zurückführen. Sonst steht die DVL mit ihrem Befund bisher ziemlich allein.

**Beader:** Sind die Untersuchungen an dem im Motor gelaufenen Öl gemacht worden oder mit Frischöl?

**Gießmann:** Normalerweise war es Öl aus dem Motor; nur bei der letzten Kurve nicht.

Baader: Das ist wesentlich für die Beurteilung der ganzen Sachlage. Asche und Dichte geben keinen Hinweis auf die Alterung, weil ihre Änderungen zu klein sind und bei der Asche auch mechanische Verunreinigungen erfaßt werden. Wichtig ist die Viskosität, die im allgemeinen zunimmt. Was die Einwirkung von Wasser auf die Schlammausfällung anbelangt, ist die Frage, ob es nur gelöste Alterungsprodukte ausfällt oder auch die Bildung der Alterungsprodukte beschleunigt.

Der Schlamm selbst müßte untersucht werden. Er besteht aus verhältnismäßig einfach voneinander zu trennenden Bestandteilen: Öl, Koks, Ruß, dann Ölalterungsprodukte, mechanische Verunreinigungen usw. (Metallseife u. Metallabrieb). Benzin wird mit Öl gelöst. Ölalterungsprodukte sind in der Regel mit Benzol, evtl. unter Anwendung von Chloroform abzutrennen. Mechanische Verunreinigungen bleiben übrig und können unter Umständen mikroskopisch geteilt werden. Koks und Ruß verursachen besonders große Schwierigkeiten.

Wir untersuchen zunächst den Schlamm, nachdem er vom Öl befreit ist, mikroskopisch. Dann untersuchen wir noch mit der Ultra-Lichtpunktlampe von Heraeus. Den Rest versuchen wir durch Schwemmen in organischen Lösungsmitteln zu trennen. Beim Ruß haben wir es ja mit hochpolymeren Kohlenwasserstoffen zu tun, die sich vielleicht anders verhalten als Koks. Nachteilig ist nur, daß Koks und Ruß aneinander kleben und deshalb Schwierigkeiten ergeben.

Was die Kurven anbelangt, so glaube ich, daß das Bild nicht vollständig ist; denn in 90 Std. kann die Kurve ihren Endverlauf noch nicht zeigen.

Gießmann: Schon 100 Stunden des Musterprüfprogrammes haben erheblichen Kummer bereitet, sodaß längere Zeiten nicht in Frage kommen.

Krienke: Sind die Überholungszeiten und die Ölerneuerungszeiten zahlenmäßig festgelegt?

Gießmann: Die Vorschrift des RLM lautet, daß ein Ölwechsel grundsätzlich erst nach 100 Stunden vorzunehmen ist, falls nicht bei neuen Motoren das Öl früher versagt. Man kann sämtliche Öle verwenden, die heute grundsätzlich zugelassen sind.

Baader: Sie haben in Abhängigkeit von verschiedenen Treibstoffen die Rückstände gemessen.

Nun ist es möglich, daß die Kraftstoffe eine verschiedene Temperatur an jenen Stellen ergeben, an denen die Rückstandsmengen gemessen wurden, die also nicht durch den anderen Kraftstoff, sondern durch die andere Temperatur bedingt sein können.

Gießmann: Die Temperaturen wurden auch gemessen. Aber sie waren nicht so unterschiedlich.

Glaser: Gießmann hat auf dem letzten Bild zu zeigen versucht, daß die Fliegerbenzine sich besser verhalten als die Aromaten. Frühere Versuche in der DVL haben eine Gleichwertigkeit gezeigt: Reine, besonders von ungesättigten Kohlenwasserstoffen freie Aromaten ergaben die gleichen Laufzeiten wie das Fliegerbenzin A 2. Auf der Tabelle sind wohl ge-

gewichtsmäßig bestimmte Werte angegeben, bei denen der Bleigehalt eine Rolle spielt. Wenn man ihn ausschaltet, wird man sicher auf die gleichen Werte kommen.

Gießmann: Das Beispiel ist hauptsächlich auf den Bleigehalt zurückzuführen. Ich wollte damit ein extremes Beispiel nennen.

Lauer: Wie verhalten sich die Gesamtölmengen zum Schluß, wenn Sie mit Ergänzung fahren und wenn Sie die Ölmengen ohne Ergänzung ganz aufarbeiten?

Gießmann: Wir fahren auf etwa  $\frac{1}{3}$  der ursprünglichen Menge herunter. Den Einfluß haben wir noch nicht festgestellt.

Penzig: Ich will noch einmal darauf zurückkommen, daß die Aromaten kürzere Laufzeiten ergeben sollen. Wir haben das aber bei unseren Versuchen nicht gefunden, obwohl es immer wieder behauptet wird. Wo sind die Unterlagen dazu?

Gießmann: Die einzigen Unterlagen, die ich habe, sind vom Einzylindermotor 132. Ich habe gesagt, daß die Unterschiede nicht groß sind, etwa eine halbe Stunde. Ich stimme Ihnen darin bei, daß wir in der Praxis keinen Fall kennen, in dem aromatische Kraftstoffe besonders große Schwierigkeiten ergeben hätten.

Noack: Wir haben Versuche mit aromatischen Kraftstoffen gemacht und hatten zunächst Mißerfolge und Kolbenringfestgehen. Wir haben dann die mittlere Brennraumtemperatur bei normalem Betrieb gegenüber aromatischen Kraftstoffen gemessen und festgestellt, daß bei gleichen Motorbedingungen eine Erhöhung der mittleren Brennraumtemperatur bei aromatischen Kraftstoffen vorhanden ist. Es gibt Motoren, bei denen eine verhältnismäßig geringfügige Erhöhung der mittleren Brennraumtemperatur bereits dazu führt, daß das Kolbenringstecken einsetzt. Andere Motoren vertragen diese Veränderung noch. Dadurch entsteht die Verschiedenheit der Auffassungen. Außerdem haben wir durch Veränderung der Motorbedingungen, bei gleicher Leistung die Betriebszustände so ausgewählt, daß die mittlere Brennraumtemperatur die gleiche war und haben dann im Vollmotor bewiesen, daß kein Kolbenringstecken mehr vorkam.

So gehen wir bei der Bewertung neuer Kraftstoffe von vornherein derart vor, daß wir von einem bekannten Kraftstoff ausgehen und versuchen, die richtigen Betriebsbedingungen dafür zu bekommen, insbesondere im Hinblick auf die mittlere Brennraumtemperatur.

v. Philippovich: Die mittlere Betriebstemperatur der Motoren ist von den Amerikanern auch weitgehend als Maßstab der Kraftstoffbewertung verwendet worden.

Aussprache nach dem Vortrag von H. Tramm.

v. Philippovich: Sinn der Tagung ist eine gewisse Einigung über die "zulässigen" Alterungsverfahren und die einzuhaltenden Bedingungen. Dabei wäre als Alterung nur die thermisch-oxydative Veränderung des Öles (Einwirkung von Katalysatoren inbegriffen) zu bezeichnen, die Veränderung des Öles im Motor dagegen nicht als Alterung, sondern eben als Veränderung aufzufassen, weil dabei Ruß, Betriebsstoff, Verbrennungswasser, Abrieb usw. zufällig mit hineinkommen; Alterung im Motor wäre wiederum nur die dabei auftretende thermisch-oxydative Veränderung. Übereinstimmung zwischen Motor- und Laborversuch wäre demnach dann zu erwarten, wenn auch im Motor vor allem eine Alterung, nicht aber eine komplexe Veränderung erfolgt. Zu einem gewissen Grade trifft dies zu für Indiana-Test und Air Ministry-Test und Ölverhalten im Dieselmotor. Bessere Erfassung des praktisch bedeutungsvollen "Asphaltes" nach Tramm erweckt ebenfalls gewisse Hoffnungen.

Baader: Man sollte als "Alterung" allgemein die Summe aller Vorgänge bezeichnen, so wie es auf anderen Gebieten üblich ist. Das andere ist Oxydation oder chemische Beständigkeit.

Seeles: Ich bin der Meinung, daß die Alterung so aufzufassen ist, wie sie Dr. v. Philippovich definiert hat. Kohlebildung, Staub oder Metallabrieb im Verbrennungsmotor sind nicht als Alterungsstoff zu bezeichnen.

Schick: Was will man in der Praxis erreichen, wenn man die Forderung stellt, daß das Öl nicht altern soll? Soll das Öl nicht korrodieren, thermisch beständig bleiben, keinen Ruß bzw. Koks oder kein Ringstecken geben?

Velde: Wir müssen uns darüber klar sein, was wir bei diesen Alterungsprüfungen aussagen wollen. Wollen wir die Veränderung des Öles im Motor in den Laboratoriumsversuchen nachahmen, beispielsweise die Veränderung der NZ, VZ, der Viskosität usw.? Oder wollen wir die Veränderungen, die durch diese Eigenschaften des Öles im Motor hervorgerufen werden, mit der Laborprüfung erfassen, also beispielsweise das Ringstecken? Das sind zwei Dinge, die meines Erachtens nichts miteinander zu tun haben.

v. Philippovich: Man sollte im Laboratorium nur eine Alterung zu erreichen versuchen, nicht aber ein komplexes Motorverhalten nachahmen, das stets nur für bestimmte Fälle zutrifft. Bei Kenntnis der Motorbedingungen könnte man dann zur Beurteilung der Öle die jeweils in Frage kommenden Punkte des Alterungsdiagrammes wählen.

Seeles: Man müßte dann feststellen können, welche Alterungsstoffe bei einer Alterung im Motor entstehen und wie man laboratoriumsmäßig diese selben chemischen Individuen erzeugen kann. Ich glaube aber, daß wir diesen Weg auf absehbare Zeit nicht beschreiten können.

v. Philippovich: Die Ölcharakteristik in der Weise, wie sie Dr. Morghen begonnen hat, dürfte rein chemisch Erfolg versprechen; bisher konnte nach 23 Stunden so laboratoriums-mäßig eine ähnliche Ölalterung erzielt werden, wie im Motor nach 11 Stunden.

Schick: Ich möchte vom Standpunkt derjenigen Kreise sprechen, die sich mit Normen, Lieferbedingungen usw. zu befassen haben. Ich glaube, auf allen Gebieten, wo ein chemischer oder physikalischer Vorgang nicht voll erfaßt werden kann, ist die einzige mögliche Richtung die eines Anwendungstestes. Ich mache einen Unterschied zwischen Eigenschafts- und Anwendungstesten. Im vorliegenden Falle kommt es im Augenblick weniger auf den Eigenschaftstest an, d.h. die Erforschung des Alterungsvorganges - obwohl auch dies von grosser Bedeutung ist - als auf den Anwendungstest, nämlich die Messung der Menge abgeschiedener fester Substanz.

v. Philippovich: Die Unterscheidung zwischen Anwendungstest und Eigenschaftstest ist sehr zweckmäßig, leider ist aber der beim Schmieröl einzig brauchbare Anwendungstest (Ringsteczeit) im Motor nicht ohne weiteres auf andere Motoren übertragbar, sodaß man eine grundsätzliche Charakteristik erstreben muß, die auf die vielen Fälle der Praxis anwendbar ist.

Schick: Die Anwendung analytischer Verfahren kann irreführend sein, wie der Vortrag von Dr. Tramm betr. der Asphaltbestimmung zeigt. Einen absoluten Asphaltgehalt gibt es ja nicht, schon das Öl ist für das Maß des Anfalles an Asphalt von großem Einfluß.

v. Philippovich: Wenn wir einen komplexen Anwendungstest im Labor nehmen, müssen wir sämtliche praktischen Verhältnisse nachahmen, d.h. alle im Ölumlaufl herrschenden Temperaturen berücksichtigen, und dies wieder in dem zeitlichen und mengenmäßigen Verhältnis des Motors, sodaß man auch den Motor physikalisch und chemisch genau kennen muß, um richtige Bedingungen zu wählen.

Als Maß der Alterung kann man die Zeit nehmen, innerhalb derer eine bestimmte Menge Asphalt entsteht, dh Temperatur, bei der eine bestimmte Menge innerhalb gegebener Zeit entsteht oder die Menge Asphalt, die bei bestimmten Zeiten und Temperaturen auftritt. Für das Kurbelgehäuse ist wohl die Zeit am brauchbarsten, für den Verbrennungsraum die Temperaturcharakteristik als Bewertungsmaßstab.

Müller: Zur Arbeit von Tramm wäre noch zu sagen: Der Wassergehalt des Kryoliths spielt eine Rolle, ebenso wie die Gesetze der Absorptionsanalyse. Diese Frage muß noch forschungsmäßig geklärt werden, wenn wir die Asphaltbestimmung zur Untersuchung heranziehen wollen.

Morghen: Zu der Bezeichnung "Alterung" möchte ich noch sagen: Wir wollen im Labor einen Anhaltspunkt für das motorische Verhalten bekommen, wir altern. Warum soll man die-

sen Begriff nicht aus dem Motor herauschälen und für sich betrachten? Beim Motor kommt noch einiges hinzu - was und wieviel wissen wir nicht genau. Wir wollen versuchen, es herauszubekommen. Wir müssen trachten, nach Möglichkeit bei der chemischen Charakteristik der Öle zu Werten zu kommen, die Absolutwerte sind. Man soll nicht bei rein empirischen Auffassungen stehen bleiben, sondern versuchen, etwas zu finden, was mehr aussagt.

Tramm: Bei der Alterung muß man unterscheiden zwischen der Induktionsperiode und der Periode der eigentlichen Alterung. Wir haben eine besondere Alterungsmethode entwickelt, wobei wir den ganzen Alterungsverlauf aufnehmen. Es kommt darauf an, ob im Motor solche Bedingungen sind, daß die Induktionsperiode einmal überschritten wird. Von zwei Ölen, die sich sonst ziemlich gleich verhalten, hatte das eine Öl eine etwas andere Alterungskurve, und es gelangt bei längerer Prüfdauer in den steil aufsteigenden Ast der Alterungskurve hinein. Wenn es nur ganz kurze Zeit in dem steil aufsteigenden Ast gewesen ist, wirkt es sich so aus, als wenn es 100 Stunden lang in dem langsam aufsteigenden Ast gewesen wäre und das kann ein entscheidend anderes Bild geben als bei der kurzen Versuchsdauer.

Schick: Ich glaube, es laufen drei Fragen in der Diskussion nebeneinander. Die eine Frage betrifft die Forschung. Ich könnte mir vorstellen, daß man eine irgendwie gewählte Asphalt- und Harzbestimmung als vollkommen charakteristisches Maß für das feststellt, was an störenden Ausscheidungen im Motor stattfindet. Insofern ist die Forschung nach dieser Seite sehr berechtigt.

Die zweite Frage betrifft den Anwendungstest. Hierbei ist noch die Frage zu klären, welche Abscheidungen störend sind und wie man sie erfassen kann.

Nun die dritte Frage. Wie finde ich einen Weg, um im Laboratorium die Bedingungen zu schaffen, damit die im Laboratorium gemessenen Vorgänge dem praktischen Motorvorgang angepaßt werden?

Ich glaube, wenn man diese drei Fragen im Auge behält, wird man in der Diskussion bei der Entwicklung der Methoden auch zu einem Resultat kommen.

Ich möchte noch auf den grundsätzlichen Unterschied hinweisen, daß beim Laborverfahren das gesamte Öl einer relativ hohen Beanspruchung unterworfen wird, während im Motor nur ein Teil des Öles sich an der Front befindet und der größte Teil des Öles in der Etappe der Wanne. Ich sehe darin durchaus eine Erklärung für die vorhingemachte Bemerkung, daß man im allgemeinen ein Öl, das künstlich gealtert ist, nicht mehr regenerieren kann; denn ein Teil dieser Vorgänge - wenn nicht der grundlegende - ist kolloidchemisch und es kommt auf den Lösungszustand der durch die Alterung sich allmählich abscheidenden Anteile an.

Morghen: Wenn man das thermisch-oxydative Verhalten genauer erfaßt, so wird man auch ungefähr sagen können, unter welchen Bedingungen das Öl im Motor beansprucht wurde. So einfach ist es allerdings nicht, weil im Motor das Öl verschiedenen Temperaturen unterworfen ist.

Aussprache nach dem Vortrag Glaser, Lauer.

v. Philippovich: Um zu dem Ringstecken eine Laboratoriumsprüfung in Beziehung zu setzen, müssen wir wissen, ob es überhaupt ein einheitlicher Vorgang ist.

Glaser: Die Feststellung von Herrn Lauer, daß beim Einspritzbetrieb die Temperaturabhängigkeit viel flacher verläuft als beim Vergaserbetrieb läßt sich vielleicht folgendermaßen erklären: Bei der I.G. liegt die Richttemperatur im Scheitel des Zylinderkopfes. Selbstverständlich gibt diese Meßstelle umso besser die Temperatur, die im Motor herrscht, wieder, je mehr irgendwelche Temperaturänderungen in dem Scheitel liegen. Beim Einspritzen wird der Kolben ganz anders als bei Vergaserbetrieb gekühlt, da der Kraftstoffnebel auf den Kolben spritzt. Dies wird dadurch bewiesen, daß Herr Lauer beim Vergaserbetrieb mit höherem Kraftstoffverbrauch tatsächlich auch eine flachere Abhängigkeit gefunden hat. Dieser Einfluß wird wohl mit der Kolbentemperaturmessung besser erfaßt werden können.

Die Feststellung von Herrn Lauer, daß das Kolbenspiel keinen Einfluß hat, bezieht sich sicherlich nur auf die zulässigen Grenzen. Frühere Versuche der DVL, bei denen das Kolbenspiel auf einen Mittelwert von etwa 1,2mm gebracht wurde, zeigten nämlich eine beträchtliche Laufzeitenkürzung, weil nicht mehr genügend Wärme an die Zylinderwand abgegeben wird.

Lauer: Ist das Kolbentemperaturmeßgerät beim BMW 132 betriebs-sicher?

Glaser: Beim kleinen Motor ist es absolut betriebssicher. Es wurden Laufzeiten - natürlich mit Unterbrechungen - von 40 bis 60 Stunden erreicht. In dem BMW 132 habe ich die neue Ausführung mit der eingelegten Schiene bisher nur kurz ausprobiert. Ich hoffe aber, auch hier nunmehr Betriebszeiten von mindestens 20 Stunden zu erreichen.

v. Philippovich: Weil der Motorzustand die Ergebnisse stark beeinflusst, muß man ihn entweder durch Verwendung eines Bezugsöles ausschalten oder durch bessere Überwachung konstant halten, wie es Dipl.-Ing. Glaser zeigte.

Glaser: Bei Versuchen am NSU-Motor hat sich bisher mit ein und demselben Kolben eine gute Reproduzierbarkeit gezeigt. Trotz verschiedener Zylinderwandtemperaturen unterschieden

03174

sich die Laufzeiten bei gleichen Kolbentemperaturen nur um etwa 12 Minuten.

**Schaub:** Das würde bedeuten, daß wir auf diese Weise einen Fortschritt erzielen? Ich frage deshalb, weil wir auch schon solche Kolbentemperaturmessungen an einem kleineren Triumph-Motor vorgenommen haben. Wir hatten Kolbenfressen untersucht und haben dabei festgestellt, daß man sich auch auf diese Messungen nicht 100%ig verlassen kann. Wir haben den Eindruck, daß eine solche Vorrichtung für die Temperaturmessung des Kolbens auch als Ölprüfeinrichtung, also zur Schmierfähigkeitsprüfung benutzt werden kann, und zwar ist die Meßhöhe im wesentlichen davon abhängig, wie stark die Abnutzung der Kontakte ist. Wir haben das auch an Modellen festgestellt, die wir außerhalb der Maschine beobachtet haben.

**Glaser:** Deshalb komme ich heute erst mit dieser Sache, obwohl ich schon vor 1½ Jahren damit begonnen habe. Auch wir hatten anfangs diese Schwierigkeiten. Störende Thermokräfte mußten beseitigt werden und außerdem fiel der Anpreßdruck der Feder sehr schnell ab, sodaß sogar ein Instrument, das 1/100 mV noch anzeigte, nicht mehr ausreichte, um den Strom Null genau einzustellen.

Ende der Diskussion am 1.Tag der Tagung.

D i s k u s s i o n.  
(2.Tag)

Aussprache nach den Vorträgen von Halder, Schaub, Wenzel.

Wenzel: Ich möchte ein Diagramm aufzeichnen, das den Zusammenhang zwischen dem Kolbenringverkleben und der Betriebstemperatur m.E. recht anschaulich darstellt (Abb.1). Das Kolbenringverkleben ist doch praktisch nichts anderes als die Folgeerscheinung eines gestörten Gleichgewichtszustandes zwischen Rückstandsbildung und Rückstandsbesichtigung. Wenn ich auf der Abszissenachse die Betriebstemperaturen und auf der Ordinatenachse die gebildeten Rückstandsmengen auftrage, so erhalte ich ungefähr die Kurve a. Die Rückstandsbesichtigung erfolgt einmal durch Spülung und dann durch Abbrand. Die Rückstandsbesichtigung durch Spülung hätte vielleicht den Verlauf des Linienzuges b. Trage ich auf diese Kurve additiv die Rückstandsbesichtigung durch Abbrand auf, so erhalte ich etwa die Kurve c. Zwischen den Kurven a und c liegt dann das Gebiet, in dem Kolbenringverkleben durch Rückstandsbildung bei einer bestimmten Betriebstemperatur zu erwarten ist.

Ich habe die beiden Kurven gestrichelt gezeichnet, weil es noch kein Öl gibt, das sich an diese Darstellung hält.

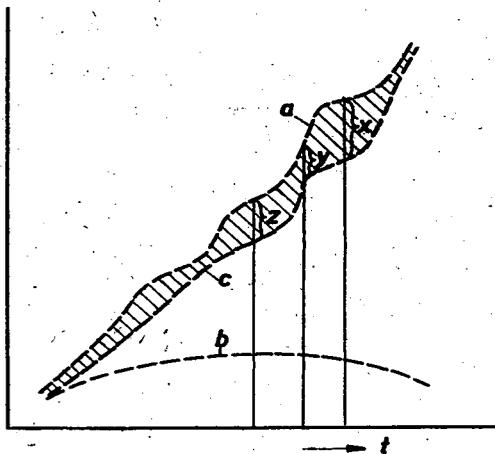


Abb.1: Rückstandsmenge in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur.

Wir haben für die Rückstandsbildung einige Werte gefunden, die ich einzeichnen möchte. Für die Rückstands-beseitigung haben wir noch keine Werte erhalten; ich nehme an, daß sie ungefähr entsprechend liegen werden. Wenn ich bei einer bestimmten Betriebstemperatur eine senkrechte Linie ziehe, habe ich einmal die Rückstandsmenge  $x$  und bei einer anderen Betriebstemperatur, die niedriger ist, habe ich diese Rückstandsmenge  $y$  oder  $z$ . Das erklärt nach meiner Auffassung, warum ich bei niedriger Temperatur oft zu schnellerem Kolbenringverkleben komme als bei höherer Temperatur. Ich glaube das auch beweisen zu können durch die Kurven, die uns Herr Glaser zeigte, die besonders beim BMW-Motor sehr steil verlaufen. Ich habe sie zwar nicht so steil, aber in der Tendenz genau so gefunden.

Für Forschungszwecke ist der Motor weniger geeignet. Er ist hauptsächlich geeignet, eine laufende Produktion zu überwachen.

Inzwischen sind weit über 100 Versuche durchgeführt worden; der Motor hat sich dabei recht gut bewährt.

v. Philippovich (zum Vortrag Lauer): Die Unterschiede in den Ergebnissen der einzelnen Prüfläufe (mit gleichen Kolben und Zylindern waren sie übrigens nicht so groß) könnten vielleicht doch mit der Windrichtung zusammenhängen, wenn die gezeigte "Windrose" auch nicht sehr klar ist; bei Berücksichtigung der übrigen Wetterverhältnisse erscheint aber dieser Zusammenhang interessant, besonders was die chemische Zusammensetzung der Luft anbelangt. Was die Einzylinderprüfung betrifft, ist es notwendig, dafür zu sorgen, daß nicht viel Arbeit in einen Motor gesteckt wird, der später nicht mehr gebaut wird.

Glaser (zum Vortrag Wenzel): Wir haben früher festgestellt, daß der Einfluß des Bleies auf das Ringstecken nicht so groß ist, wie es Herr Wenzel beobachtet hat. Da der Zweitakter mit Gemisch arbeitet, enthält das Öl unter Umständen in den Schmierflächen noch etwas Blei, sodaß es sich hier viel stärker auswirkt als beim Viertakter.

Gießmann: Ich glaube, es ist gut, wenn wir uns überlegen, warum wir zum BMW 132 A-Motor gekommen sind. Für die Wahl des 132 A-Zylinders sprach, daß dieser besonders empfindlich ist, und daß wir mit diesem Motor die Temperaturabhängigkeit am Schmieröl besonders gut messen können. Ich glaube, daß die Tendenz, beim Prüfmotor auf den flüssigkeitsgekühlten Motor überzugehen, absolut richtig ist, und daß das auch die Ansicht der Luftwaffenstellen sein wird. Deshalb ist es begrüßenswert, daß gerade bei einem Motor, der für serienmäßige Lieferungen in Frage kommt wie der I.G.-Motor, dieses Verfahren weiter ausgebaut wird und man würde dann auch die Möglichkeit haben, von dem Einpunktverfahren wegzukommen. Ich möchte allerdings noch darauf hinweisen, daß die mechanischen Mängel, die beim I.G.-Prüfmotor bestehen, beseitigt werden müssen, vielleicht indem man den Motor verstärkt.

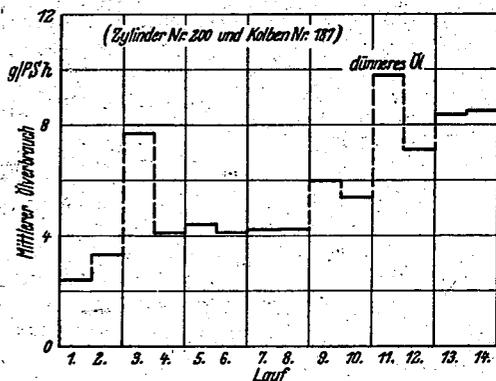
+) der DVL

POOR  
COPY

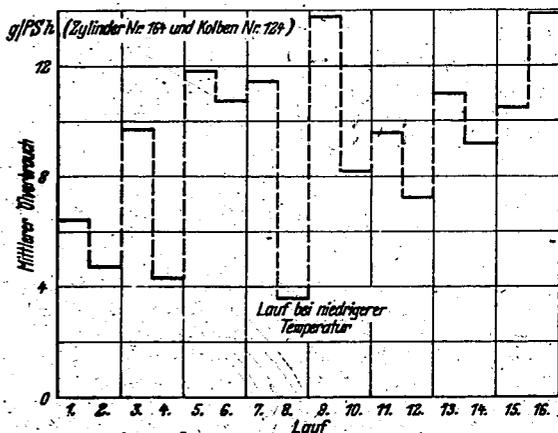
1

**Kritik:** Eine gute Reproduzierbarkeit bei Schmierölprüfungen durch Ringsteckläufe ist nur dann zu erwarten, wenn von Lauf zu Lauf die Menge des an die Kolbenringpartien gelangenden Schmieröles und die an dem Kolben vorbei ins Kurbelgehäuse gelangenden Gasmengen gleich groß sind. Hierfür kommen als Meßgrößen der mittlere Ölverbrauch und die mittlere Gasdurchtrittsmenge in Frage.

Bei Versuchen, welche die Abhängigkeit dieser Größen von den Eigenschaften verschiedenster Schmieröle klären sollten, ergaben jedoch die Kontrollläufe mit dem Bezugsöl, daß auch bei Verwendung ein und desselben Öles gleiche Verhältnisse von Lauf zu Lauf nicht zu erreichen sind. Wie die **Abb. 1 und 2** zeigen, - jeder dritte oder vierte Lauf wurde mit dem Bezugsöl durchgeführt - ist der Ölverbrauch in erster Linie eine Funktion des Motorzustandes und zwar nimmt er mit laufender Abnutzung zu.



**Abb. 1:** Ölverbrauchs-messungen



**Abb. 2:** Ölverbrauchs-messungen

03178

Die gleichen Erkenntnisse brachten die Ergebnisse von Durchblasmessungen, die in den Abb. 3 und 4 dargestellt sind.

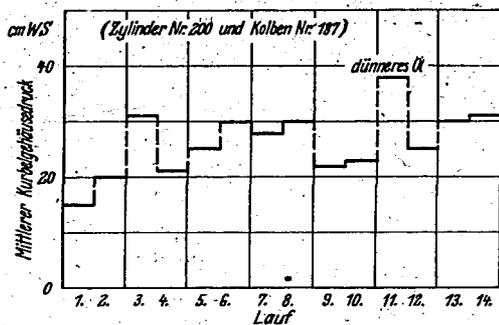


Abb. 3: Durchblasmessungen

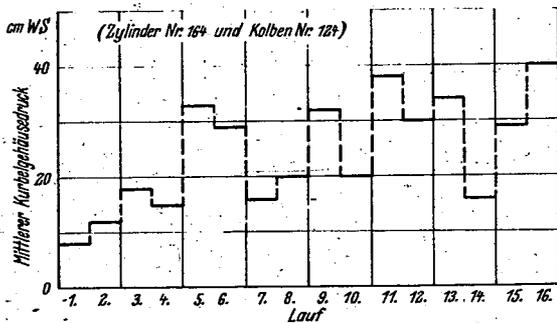


Abb. 4: Durchblasmessungen

Wohl bemerkt, es handelt sich hier um Prüfläufe, welche bis auf die vermerkten Ausnahmen unter vollkommen gleichen Motorbedingungen (Betriebstemperaturen, Öldruck, Einbauspielen usw.) durchgeführt werden und um Schmieröle von annähernd gleicher Viskosität.

Zur Frage der Entwicklung von neuen kleinen Ölprüfmotoren möchte ich bemerken, daß deren Betrieb auch ein Fortschritt auf dem Gebiet der motorischen Ölprüfung bedeuten muß, wenn die allgemeine Einführung gerechtfertigt sein soll. Zur historischen Entwicklung wäre festzustellen, daß die von Dr. Goßlau bei Siemens und später von Dr. Wenzel bei der DVL 1934/35 mit dem kleinen Siemens-Ölprüfmotor erzielten Ergebnisse immer noch nicht überholt sind und deren Übereinstimmung mit den an einem großen Flugmotoreinzylinder gefundenen Ergebnissen später ebenfalls bewiesen worden ist. So muß ich leider feststellen, daß in den vergangenen 7 Jahren keine im Betrieb billigeren Ölprüfmotoren mit besser reproduzierbaren oder wesentlicheren Ergebnissen entwickelt worden sind, obwohl diese dringend benötigt werden.

v. Philippovich: Der Grund für den Übergang vom Siemens-Motor auf den NSU war seinerzeit die Undeutlichkeit des Ringsteckens (manchmal fiel die Leistung nur wegen Ölein-dickung am Kolbenhemd) und größere konstruktive Ähnlichkeit, für den Übergang auf den DKW die Hoffnung, infolge der Ben-zin-Öllösung zu guten Ergebnissen zu kommen. Vielleicht ist mit einem Ölbrenner Benzin-Ölgemisch so verbrennbar, daß man auf Grund dieser Ergebnisse laboratoriumsmäßig Aussagen über die Eignung von Ölen machen kann.

Tramm (zum Vortrag Halder): Tritt der das Versuchsende kenn-zeichnende langsame Leistungsabfall nur beim synthetischen Öl und bei Rotring auf und bei gefetteten Mineralölen nicht oder ist er unabhängig vom Öl?

Halder: Ich habe festgestellt, daß er bei Rotring öfters auf-getreten ist als bei Aero Shell.

Tramm: Eine Bemerkung zu dem Vortrag Lauer, und zwar zu der Windrose: Die Luft enthält einen bestimmten Gehalt an Verun-reinigungen, der aber in verschiedenen Windrichtungen durch die spezielle Lage des Werkbetriebes verändert wird. Sind Versuche gemacht worden, diese Stoffe kontinuierlich zu-zusetzen?

Lauer: Wir wollen längere Zeit Luftanalysen durchführen. Das ist natürlich eine umfangreiche Arbeit, aber man könnte auf diese Windrose Rücksicht nehmen.

Tramm (zum Vortrag Schaub): Herr Schaub hat ausgeführt, daß von der Alterung kein Schluß auf die Laufzeit hätte gezogen werden können. Das ist so zu verstehen: Erstens war s. Zt. die neue Asphaltbestimmungsmethode noch nicht entwickelt; zweitens handelt es sich um die Untersuchungen von im Motor gebrauchten Ölen, welche keine Beziehung zu den Laufzeiten ergaben. Im übrigen verweise ich auf meine Ausführungen.

Wenzel: Die Wahl des DKW-Motors zur Prüfung von Schmierölen ergab sich aus der zu Beginn des Krieges vorliegenden Notwen-digkeit, möglichst rasch und billig Öle zu untersuchen.

v. Philippovich: Es stehen jetzt drei, mit dem Siemensmotor vier kleine Prüfmotoren für die Ölprüfung zur Diskussion. Um uns auf eine einzige Richtung zu einigen, sollten nach etwa 1/2 Jahr die Ergebnisse der Motoren durch Vergleichsver-suche miteinander verglichen und ausgewertet werden; dann wird man sehen, ob man sich auf einen der drei Motoren wird einigen können. Die Ersatzteilbeschaffung spielt dabei eine große Rolle.

Buske: Ich war gestern leider nicht hier und weiß nicht, ob das, was ich sagen will, schon behandelt worden ist. Was ich bei den Öluntersuchungen, vor allem an den großen Flugmotoren, vermißt habe, ist die Gleichhaltung der Ausgangsbedingungen. Z. B. wird bei dem luftgekühlten BMW-Motor die Laufbahn in-folge der unterschiedlichen Temperaturen von Ein- und Aus-las im Betrieb oval. Wenn man nun Kolbenringe verwendet, die

dem Rechnung tragen, so sind selbstverständlich die Gasdurchtrittsmengen jedesmal verschieden. Wir sind darauf gekommen, daß wir reproduzierbare Versuche nur dann erhalten, wenn wir Kolbenringe bekannter Spannungsform verwenden und diese Kolbenringe außerdem noch im Kolben selbst festlegen. Außerdem muß dafür gesorgt werden, daß der Ringstoß auf der belasteten Seite des Kolbens zu liegen kommt, da an dieser Stelle der Kolben selbst schon eine gewisse Abdichtung übernimmt und kleine Unterschiede im Stoßspiel damit überdeckt werden.

v. Philippovich: Treten gegenüber der Praxis durch solche die Gleichmäßigkeit erhöhende Maßnahmen keine Änderungen der Bewertungsreihenfolge ein, so wären sie durchaus zu begrüßen. Dieser Beweis müßte aber erbracht werden.

Glaser: Ich möchte im Anschluß an die Ausführungen des Herrn Buske folgendes sagen. Der ganze Zweck meines Vortrages ging dahin: Ich wollte durch die Kolbentemperaturmessung während des Laufes untersuchen, inwieweit irgendwie verschiedene Ringspiele und die verschiedensten anderen Dinge, die von außen nicht beobachtet werden können, die Kolbentemperatur beeinflussen. Ich glaube, daß es dringend notwendig ist, diese Sache weiter zu verfolgen, damit wir dann vielleicht unabhängig vom Motor die Temperatur angeben können, bei der das Öl beansprucht worden ist. Dabei ist es vielleicht gleichgültig, ob wir einen wasser- oder luftgekühlten Motor verwenden; wichtig ist nur, daß wir die Kolbentemperatur und selbstverständlich auch die übrigen Temperaturen, die auf den Kolben Einfluß haben, möglichst konstant halten.

Halder: (Zur Festlegung der Ringe). Ich glaube, daß man sich dadurch, daß man erhöhte Zylindertemperaturen verwendet, bereits von der Praxis weiter entfernt hat als dadurch, daß man die Ringe festlegt; denn durch das Festlegen der Ringe kann ich unter Umständen eine bessere Reproduzierbarkeit bekommen als Herr Glaser angedeutet hat.

Glaser: Die Reproduzierbarkeit wird schlechter, denn bei festgelegtem Ring kann nur noch das Atmen desselben beobachtet werden, während das Wandern ausgeschaltet wird.

v. Philippovich: Bei nicht festgelegten Ringen können sich die Cleigenschaften stärker auswirken.

Lauer: (Zur Zweitakterschmierung). Ich bin auch der Ansicht, daß man die Dosierung der Schmiermittelmenge beim Zweitakter günstiger vornehmen kann als beim Viertakter. Nun sind aber die Spülungsvorgänge im Zweitakter sehr stark von der Drehzahl abhängig. Es kann also auch bei gleichem Gemischverhältnis eine Veränderung der Ölmenge eintreten, und wir hätten hier eine Möglichkeit, daß Streuungen auftreten. Andererseits sehe ich einen Weg darin, beim Viertakter die Ölmenge zu dosieren, in dem man zu einer getrennten Schmierung übergeht. Ich möchte fragen, ob bei irgendwelchen Stellen diesbezügliche Messungen über die Abhängigkeit der Laufzeit von der

Schmierölmenge, d.h. von der Menge, die an den Kolben kommt, durchgeführt worden sind.

Wenzel: Wir haben das Mischungsverhältnis im Kraftstoff verändert, wir sind von dem üblichen Mischungsverhältnis 20:1 auf 10:1 heruntergegangen. Die Laufzeiten gingen dabei, glaube ich, um 50% zurück.

Lauer: Ist dabei das Kraftstoff-Luftverhältnis gleich geblieben?

Wenzel: ja.

Reichel: Es ist schon des öfteren über Ölverbrauch, Zylinderabnutzung und deren Beziehungen zum Ringstecken gesprochen worden. Wir haben versucht, die Ölverbrauchsschwankungen in engen Grenzen zu halten und glauben, zu einem gewissen Erfolg gekommen zu sein, seitdem die Messmethode für den Ölumlau im mittleren Teil des BMW-Motors angewendet wird. Wir haben die Ölumlaufrate auf 200 kg/h festgesetzt und haben einen Ölverbrauch von ungefähr 6 g/PS-h bekommen, wobei die Viskosität auch eine Rolle spielen dürfte. Ich kann an Hand von Abbildungen zeigen, daß die Zylinder ganz verschieden abnutzen.

Die Rückstands-bildung gleicher Öle kann man in Beziehung zur erhaltenen Laufzeit bringen. Wir messen die Rückstände auf dem Kolbenboden, im Verbrennungsraum, in den Kolbenringnuten und am Schaft des Kolbens. Die Rückstandsbildung in den Kolbenringnuten ist bei diesen Ölen fast die gleiche. Die Gesamtmenge - bezogen auf die Betriebsdauer - wobei die Betriebsdauer meist länger ist als die gewertete Laufzeit - steht bei diesen Ölen in einer ganz annehmbaren Beziehung zur Laufzeit. Man muß berücksichtigen, daß infolge der verschiedenen Struktur des Öles sich weichere oder härtere Ölkohle bilden kann.

Kibler: Bei gefetteten Ölen ist der Leistungsabfall viel deutlicher als bei reinen Mineralölen, bei denen er langsamer vonstatten geht.

Wir haben in Zusammenarbeit mit Reclin bei einem Gesamtumlaufrate von 1500 kg pro Stunde im Kurbelgehäuse eine Ölmenge von 500 kg - also 1/3 - bei einem Druck von rund 4 Atmosphären gemessen.

Wir haben aber nur eine Beziehung vom Conradson-Test und Ramsbottomtest zu den Laufzeiten gefunden, wenn man Öle gleicher Provenienz vergleicht.

Lange: Wie untersucht die DVL das Kolbenringwandern und führt dies zu einer Temperaturspitze, wenn der Stoß des Kolbenringes an der jeweiligen Meßstelle vorbeiwandert?

Glaser: Ich habe eine größere Zahl von Versuchen durchgeführt, bei denen das Kolbenringwandern am laufenden Motor beobachtet wurde. Wir haben den Zylinder an der Stelle, an der der oberste Kolbenring den unteren Totpunkt erreicht, durchgebohrt, sodaß ein kleines Fenster entstand, und haben

POOR  
COPY

1

ein Glas davor angebracht. Dann wurde das Fenster immer nur in dem Augenblick, in dem der obere Kolbenring den unteren Totpunkt erreichte, angeleuchtet. Der Kolbenring trug irgendwelche Merkmale (Punkte oder Zahlen), sodaß wir auf diese Weise das Kolbenringwandern sehr gut beobachten konnten. Es hat sich gezeigt, daß die Unrunde des Zylinders das Kolbenringwandern sehr ungleichmäßig macht. Außerdem ist das Kolbenringwandern abhängig von der Füllung und andererseits auch von der Drehzahl. Bei etwa 1500 U/min stand der oberste Ring still, während die anderen Ringe wanderten; bei mehr als 1500 U/min hatte der oberste Ring eine Drehung in dem einen Sinne und bei einer Drehzahl von weniger als 1500 U/min hatte der oberste Ring eine Drehung in entgegengesetztem Sinne. Man kann beinahe sagen, daß die Geschwindigkeit des Kolbenringwanderns eine sinusförmige Abhängigkeit von der Drehzahl hat, denn bei hoher Drehzahl - etwa bei 1800 - wurde sie wieder langsamer. Man kann daraus schließen, daß die Wandergeschwindigkeit wahrscheinlich mit irgendwelchen Eigenschwingungen des Ringes zusammenhängt. Wir haben das weiterhin auch bei unserem Ringstecklauf am Gasdurchtritt beobachten können. Die Gasstöße treten besonders am Anfang des Laufes ganz periodisch auf und zwar sind die Abstände zwischen den einzelnen Stößen zeitlich völlig gleich.

Bartel: Zur katalytischen Einwirkung des Abriebs auf die Alterung erwähne ich das amerikanische Ferritexverfahren. Es ist so, daß die Oberfläche des Zylinders meist aus Ferrit und Perlit besteht. Nun löst der Amerikaner Forster die Ferritkörner heraus, sodaß der übrigbleibende Teil nur noch aus Perlit besteht. Dadurch steigt die Dauerfestigkeit des Ölfilms um ungefähr 50%.

Aussprache nach dem Vortrag Schaub.

v. Philippovich: Bei den Versuchen von Schaub ist die verschiedene Abnutzung interessant, die vielleicht durch das Auflösen des Öles durch den Kraftstoff verursacht wird.

Schaub: Daran haben wir auch gedacht, es könnten aber auch noch andere Momente sein, wie z.B. das verschiedene Siedeverhalten der Kraftstoffe.

v. Philippovich: Es ist der gleiche Weg eingeschlagen worden, den Herr Gießmann erwähnt hat: ein Element in den Motor einzubauen und den Schlamm auszuschleiden. Ich glaube, daß das eine grundsätzlich wichtige Möglichkeit ist, überhaupt zu einer Zahl zu kommen. Man kann auch daran denken, eine Zentrifuge außerhalb zu nehmen. Aber einer von diesen Wegen wird notwendig sein, wenn wir Zahlen bekommen wollen. Herr Reichel hat wohl auch Ergebnisse in dieser Richtung.

Reichel: Wir machen schon lange Schlammversuche im Zusammenhang mit den BMW-Ringsteckversuchen und zwar in der Weise, daß wir aus dem alten Öl hinterher den Schlamm auszentrifu-

POOR  
COPY

1

gieren, wie es Ricardo vor vielen Jahren gemacht hat. Ricardo hat aber keine Trommelzentrifuge genommen, sondern eine den Verhältnissen der Kurbelwelle angepasste Zentrifuge. Dieser Gedanke hat uns veranlaßt, beim BMW-Motor die Zentrifuge in die Kurbelwelle hineinzuverlegen, wie es Herr Schaub ebenfalls gemacht hat. Wir haben bisher in der Hauptsache immer gefettete Öle untersucht, und die gefettete Komponente hat die Eigenschaft, den Schlamm in Lösung zu halten. Wir bekamen also sehr große Laufzeiten ohne Störung. Mit halbsynthetischen Ölen 50:50 trat dagegen eine stärkere Schlamm-Bildung, sowie auch ein viel größeres Ausschleudern auf. Wenn wir sehr viel Schlamm im Öl finden, muß die Kurbelwelle auseinander genommen werden, da sich dann der Schlamm nicht mehr darin ablagert. Die auszentrifugierte Schlammmenge (es wurden 6 kg Restöl 24 Stunden lang zentrifugiert) je Laufstunde betrug für gefettete Öle stets 0,25 g, für synthetische Öle lag dieser Wert höher. Wenn man Rückschlüsse auf das Ringstecken ziehen wollte, dann müßte man die absoluten Schlamm-mengen erfassen können. Gefettete und mit Zusätzen versehene Öle halten den Schlamm beständig in Lösung, sodaß er nicht auszentrifugiert wird. Andere, besonders mineralische Öle können dagegen so leicht entschlammt werden.

v. Philippovich: Bei Ringsteckversuchen ist die Frage, ob man das Ergebnis nicht durch die Schlammabscheidung (zwecks Messung des Schlammes) beeinträchtigt. Dabei faßt man als Schlamm wohl am besten nur das Abgeschiedene auf und nennt suspendierte Teilchen im Gegensatz dazu potentiellen Schlamm. Einen absoluten, mit Lösungsmitteln gewaschenen Schlamm gibt es nicht, weil er ja ein kolloides System darstellt, das durch diese Behandlung zerstört wird.

Schaub: Wir haben bei unseren Versuchen das Nöpfchen drin gehabt, aber es hat sich praktisch nicht ausgewirkt. Jedenfalls haben wir keine Verlängerung der Laufzeiten bekommen. Auch zwischen den ausgeschleuderten Mengen und den Laufzeiten beim Ringstecken hat man eine Beziehung gefunden.

v. Philippovich (zum Vortrage von Krienke u. Adam): Der Befund von Herrn Adam ist erschütternd, denn er führt eigentlich dazu, daß man die Prüfmotoren überhaupt aufgibt. Das ist nun trotzdem nicht zulässig, weil die Versuchskosten Vollmotorenversuche bei allen Entwicklungs- und Prüfstellen verhindern. Vollmotor und Einzylindermotor müssen möglichst unter vergleichbaren Bedingungen betrieben werden, um die Öle richtig zu bewerten; das ist aber sehr schwer erreichbar, selbst wenn man die Belastungen jenen des Vollmotors anpaßt. Nun sind aber die Vollmotoren in ihren Ansprüchen selbst untereinander verschieden, weil jeder Motor besondere Eigenschaften hat. Der von Herrn Krienke erwähnte Vorschlag von Nutt scheint sehr beachtlich, die einzelnen Bauteile in ihrem Verhalten zu bewerten und zusammen mit der chemischen Beurteilung des Öles ein Urteil zu fällen; da in dieser Bewertung jeder Motorenbauteil nach seiner Wichtigkeit für die Ölbeurteilung eingesetzt wird, ergibt sie zugleich ein Bild über die kritischen Stellen des Motors und

POOR  
COPY

1

den Hinweis, welche Öleigenschaft am meisten gewünscht wird. Eine zweite Möglichkeit wäre die Beurteilung der Öle nach der Zahl der festen Ringe innerhalb einer bestimmten Zeit bei einem Musterprüflauf, eine dritte die Messung der Schlammenge.

Gießmann: Mir erscheint das Verhältnis des Einzylinder - motors zum Mehrzylinder nicht so schlecht übereinzustimmen. Denn sowohl Ringstecken wie Rückstands-bildung ist bei den Ölen praktisch kein Problem mehr, die mittels des BMW 132-Einzylinder-Prüfverfahrens entwickelt wurden. Für die Schlamm-bildungsneigung müßte man allerdings möglichst in Verbindung mit der Ringsteckprüfung noch ein besonderes Verfahren entwickeln.

Adam: Die Schlammengen wurden immer im kritischen Teil des jeweiligen Motors (z.B. beim Jumo in der Kurbelwelle) mengenmäßig festgestellt, sodaß verschiedene Motor-Typen nicht ohne weiteres verglichen werden können.

Gießmann: Es wird immer wieder Rückstands-bildung und Schlamm-bildung durcheinandergeworfen. Das sind zwei ganz verschiedene Dinge. Rückstand braucht mit Schlamm-bildung nichts zu tun zu haben.

Lorenz: Ich möchte ganz allgemein sagen, daß durch die Vorträge und Diskussion allgemein ein scharfer Schnitt geht, und zwar zwischen Forschung und Erprobung. Für die Forschung ist zweifellos das Ergebnis nicht besonders erfreulich. Ich glaube, das liegt daran, daß die Forschung noch etwas stärker in Erscheinung treten muß und daß die positivsten Arbeiten augenblicklich die Leute leisten, die an der Verbesserung der Analysemethoden arbeiten.

v.Philippovich: Es wird ein Hauptbestreben sein müssen, in den Verfahren zur Erfassung der Alterung des Öles zu gewissen absoluten Werten zu kommen und von den empirischen Werten abzugehen.

Mosting: Weder der Schlamm noch das Ringstecken, sondern die Schaumbildung in Flugzeugen ist zur Zeit die größte Sorge.

Schaub: Hinsichtlich der verschiedenen Kleinmotoren finde ich die Lage gar nicht so betrüblich, wie sie nach Darstellung der verschiedenen Analysemethoden usw. ausgesehen hat. Bei den Untersuchungen in Kleinmotoren kann doch zum mindesten eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung der Bewertung herbeigeführt werden. Die Bewertung der verschiedenen Motoren hinsichtlich des Ringsteckens schein ja verhältnismäßig einheitlich. Man kann feststellen: Wenn das Öl beim Kleinmotor zum Ringstecken neigt, dann neigt es auch im Großmotor dazu.

v.Philippovich: Man kann die Lage wohl als katastrophal bezeichnen, wenn teure und zeitraubende Versuche nach dem Ringsteckverfahren zur Praxis keine rechte Beziehung haben. Deshalb müssen die Prüfläufe möglichst bald auf ergänzende Messungen ausgedehnt werden.

POOR  
COPY

1

Gießmann: Nach den Werten von Livingstone und Gruse bewertet sich der Ölgehalt in derselben Größenordnung wie bei uns: zwischen 50 und 70%. Es ist also relativ viel Öl darin. Das ist das, was der Praktiker als festen oder weichen Schlamm bezeichnet.

Schlammuntersuchungen von BMW zeigten übereinstimmend hohen Eisengehalt; der Hauptabrieb stammt also vom Zylinder und nicht vom Lager. Allerdings ist auch Blei darin, sowie die üblichen Alterungsprodukte. Ich habe auch darauf hingewiesen, daß dasselbe Öl Schlammengen von 1:5 ergeben kann, je nachdem wieviel Öl im Schlamm enthalten ist. Woher das kommt, ist unklar.

Bader: Wir sind früher auf allen diesen Gebieten erst dann vorwärts gekommen, als wir während des Laufes die Änderung im Öl verfolgt hatten, denn die Zustände, die wir am Ende der Laufzeit haben, sind nicht eindeutig, sondern sie resultieren aus vielerlei Erscheinungen. Meines Erachtens können nur Mikrountersuchungen wesentlich weiter führen.

Tramm: Wir haben Mikromethoden für Verseifungszahl, Neutralisationszahl, Aschegehalt, Viskositätsindex usw. mit regelmäßigen Probeentnahmen während der Laufzeit schon früher angewendet.

Bader: Ich bin gern bereit, Versuche mit mir zuzusendenden Proben durchzuführen.

Krienke: Wie wir gehört haben, ist die Hauptschwierigkeit augenblicklich in mangelnder Schmierfähigkeit beim Start zu suchen. Ist unter ungenügender Schmierfähigkeit in diesem Falle ein übermäßiger Verschleiß zu verstehen?

Adam: Bei den neuesten Motoren konnte man feststellen, daß der Motor startet und bevor einwandfreie Schmierung einsetzte, die Lager schon verschlissen waren. Es gibt neue Motortypen, die noch nicht einsatzfähig sind, weil sie über diesen Punkt nicht hinwegkommen.

Krienke: Ist es nicht eine konstruktive Schwäche des Motors, die man dem Öl in die Schuhe schiebt?

Adam: Selbstverständlich ist es eine konstruktive Schwäche des Motors. Es bestehen aber wahrscheinlich Möglichkeiten, daß man diese durch andere Schmierstoffe beheben kann, welche Zusätze enthalten oder eine andere Viskositätslage besitzen.

Krienke: Diese hätten aber vielleicht Nachteile, welche sich nur wiederum beim Dauerbetrieb auswirken würden.

Adam: Es liegt die Aufgabe vor, ein Öl zu schaffen, welches die Schwierigkeiten beim Start und beim Dauerbetrieb überwindet.

Krienke: Es wäre zweckmäßig, wenn vom RLM eine Punktwertung für die verlangten Öleigenschaften herausgegeben würde: Ein Öl müßte insgesamt 100 Punkte haben. Davon wären z. B. bei der augenblicklichen Lage der Ringsteckneigung etwa

POOR  
COPY

1

33 Punkte zuzuteilen, der Schlammabildung 20 Punkte, der mangelhaften Schmierfähigkeit beim Start 35 Punkte usw. Diese Bewertung könnte ruhig von Jahr zu Jahr geändert werden, dann hätte man eine Vorstellung von den jeweils bestehenden Schwierigkeiten.

Adam: Die Startschwierigkeiten sind erst allerneuesten Datums, und man kann noch nicht sagen, wie man sie einordnen soll. Ich sehe es so, daß die Aufgaben von der Mineralölindustrie zu lösen sind.

v. Philippovich: Sind schmierfähigkeitssteigernde Zusätze versucht worden?

Mosting: Sie haben auch nichts gebracht, weil in diesen Fällen Öl mangel vorliegt. Das Öl sucht sich den bequemsten Weg im Motor und geht nicht in die Pleuellwelle. Die Pumpen sind bei den modernen Motoren an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit.

Borchard: Wir haben beim Motor 222 außerordentlich große Schwierigkeiten beim Lager. Nach Versuchen eines von Junkers zur Verfügung gestellten Öles mit einem Zusatz haben die Lager gehalten. Das RLM wollte aber nicht, daß ein besonderes Öl in die Beschaffung hineinkam. Das ist auch ein Punkt, den man nicht vergessen darf.

v. Philippovich: Man sollte den Öldruck für den Moment des Starts irgendwie steigern.

Mosting: Dies geschieht bereits, indem man Öl vorher hineindrückt und damit die Kanäle vollfüllt. Soweit sind wir heute schon.

Müller: Wenn wir jetzt mit der Leistungssteigerung der Motoren noch weiter gehen und das Kaltstartproblem beibehalten, tritt folgender Zustand ein: Die Ausdampfung hat noch nicht stattgefunden und das Öl ist bereits so erwärmt worden, daß eine Zähigkeit unter  $2^{\circ}\text{E}$ , nämlich 1,7 bis 1,8 E erreicht wird. Dann tritt unweigerlich ein Fressen des Lagers ein, obwohl nachweislich noch genug Öl da ist. Ich möchte allen denen, die auf diesem Gebiete arbeiten, doch noch die Bitte vortragen, sich mit diesem Problem zu befassen.

Gießmann: Ich muß sagen, daß die Schwierigkeiten, die in diesem Junkers-Motor auftreten, doch ziemlich vereinzelt dastehen. Wir haben das Kaltstartverfahren bei jedem Motor mit Erfolg anwenden können. Ich glaube, es handelt sich da um Dinge, die vielleicht konstruktiv beherrschbar sind.

Um die Schwierigkeiten, die durch das sogenannte Kaltstartverfahren entstehen, d.h. die Methode, dem Schmierstoff Benzin zuzusetzen, zu beseitigen, soll dieses Verfahren durch entsprechend bessere Winteröle ersetzt werden. Daran wird seit Jahren gearbeitet. Ich glaube, wir kommen dann soweit, daß wir den Benzinzusatz verringern können, daß wir z.B. bei  $-20^{\circ}\text{C}$  mit Öl ohne Benzinzusatz fahren können und bei  $-40^{\circ}\text{C}$  nur noch den halben Benzinzusatz brauchen.

POOR  
COPY

1

Zusammenfassung.

Von Dr. v. Philippovich, DVL.

1. Grundsätzliches: Unter Alterung von Ölen versteht man einerseits die wesenseigene Veränderung des Öles unter dem Einfluß von Sauerstoff und Temperatur (gegebenenfalls in Anwesenheit von Katalysatoren), wie sie im Laboratorium vorgenommen wird, andererseits aber auch die komplexe Veränderung des Öles, wie sie im Gebrauch in Maschinen eintritt. Die Veränderung beim Gebrauch umfaßt nun sowohl die wesenseigene Veränderung des Öles (wobei auch Verbrennungsprodukte des Kraftstoffes chemisch miteinander wirken können) als auch die Verschmutzung durch mehr oder weniger zufällige Bestandteile, wie Restbenzin, Wasser, Bleioxyd, Abrieb, Staub, Ölkohle usw. Die unterschiedslose Gleichsetzung von Alterung im Sinn der wesenseigenen Veränderung und im Sinne der komplexen Veränderung des Öles im Gebrauch hat viel Verwirrung angerichtet, sodaß es zweckmäßig erscheint, zwischen beiden Vorgängen streng zu unterscheiden. Deshalb wird vorgeschlagen, die Begriffe in Zukunft in folgendem Sinne anzuwenden:

- a) Alterung als die wesenseigene Veränderung der Öles (vor allem thermisch oxydativer Art), gleichgültig, ob sie im Laboratorium oder im Motor erfolgt.
- b) Veränderung des Öles im Gebrauch als Summe der wesenseigenen Veränderung (Alterung) und der wesensfremden Veränderung (Verschmutzung).

Bei genauer Kenntnis der motorischen Vorgänge sollte theoretisch eine Vorhersage des Verhaltens von Schmierölen auf Grund von Laboratoriumsversuchen möglich sein. Wie gezeigt, müßte aber eine solche Laboratoriumsprüfung eine große Zahl von Einzeluntersuchungen umfassen, deren praktische Bedeutung für den Motor dann wieder sowohl im einzelnen, wie auch im Zusammenhang mit den anderen Prüfergebnissen des chemisch-physikalischen Verhaltens für jeden Einzelfall bekannt sein müßte. Eine solche Untersuchung muß den prak-

tisch interessierenden Vorgang der Alterung einerseits nach rein wissenschaftlichen Verfahren erforschen, andererseits ihn auf möglichst einfache Weise laboratoriumsmäßig nachahmen. Alle diese Untersuchungen laufend vorzunehmen, ist unmöglich - sogar für einen einzelnen Fall erscheint dies schwierig - sodaß man laboratoriumsmäßig vor allem jene Einflüsse wird untersuchen müssen, die sich am allerstärksten auswirken. Dies erfordert 1) eine gründliche Analyse der motorischen Schmierölveränderung und der dabei herrschenden Bedingungen, 2) die Auswahl geeigneter Prüfverfahren, 3) die Kenntnis der für den motorischen Einzelfall in den Prüfdiagrammen maßgebenden Punkte, um eine richtige Beurteilung vornehmen zu können.

2. Motorische Ölveränderung: Der wesentlichste Vorgang im Motor ist die Alterung des Öles, d.h. die wesenseigene Veränderung vor allem unter dem Einfluß von Sauerstoff und/oder Temperatur. Dazu kommen noch eine Reihe von anderen Einflüssen, die für den motorischen Vorgang eine so große Bedeutung erlangen können, daß sie die nach der rein thermisch-oxydativen Alterung vorgenommene Einreihung der Öle ändern, z.T. sogar umkehren können. Bei Flugmotoren hat der Vorgang der Alterung wegen der verhältnismäßig kurzen Betriebszeit des Öles wohl weniger praktische Bedeutung für die Gesamtumlaufrmenge des Öles als bei Automobilen. Bei der Veränderung des Öles im Verbrennungsraum, in den Kolbenringnuten und an der Unterseite des Kolbens wirkt neben der Alterung in verschieden hohem Maße eine Reihe anderer Einflüsse mit, sodaß bisher keine einwandfreie Beziehung zwischen Laboratoriumsalterung und Laufzeiten bis zum Ringstecken gefunden wurde. Außer der Asphalt- und Rückstandsbildung spielen wohl die Abhängigkeit der Asphaltlöslichkeit von der Temperatur, sowie die Flüchtigkeit, das Suspensionsvermögen usw. eine wesentliche Rolle. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Asphalt kein wissenschaftlicher, sondern ein rein konventioneller Begriff ist. Für die Veränderung des Öles im Umlauf sind alle Temperaturen von Einfluß, die hier auftreten; sie können also bis zur Temperatur der Kolbeninnenseite ansteigen. Für das Ringstecken

sind hingegen die Temperaturen der Kolbenaußenseite (besonders der Ringnuten) maßgebend, während für die Rückstandsbildung im Verbrennungsraum die Temperaturen der abgrenzenden Bauteile in Frage kommen.

3. Wahl geeigneter Laboratoriums-Prüfverfahren: Eine Universallösung für sämtliche Zwecke gibt es nicht. Zur Prüfung der Alterungsneigung kann man entweder die Menge verschiedener Oxydationsprodukte wählen, die bei einer Temperatur innerhalb bestimmter Zeit entstehen, die Zeit, innerhalb derer bei einer Temperatur eine bestimmte Menge von Oxydationsprodukten auftritt oder - seltener - die Temperatur, bei der sich innerhalb einer gegebenen Zeit bestimmte Mengen von Oxydationsprodukten bilden. Für Alterungsprüfungen empfiehlt es sich vor allem, die zeitliche Abhängigkeit zu untersuchen, für Untersuchungen des Ringsteckens dagegen die Abhängigkeit von der Temperatur. Die übermäßige Abkürzung der Versuchszeit durch übersteigerte Bedingungen (Temperatur oder Sauerstoffkonzentration) ist bedenklich. Reproduzierbarkeit ist wie immer die erste Voraussetzung der Eignung eines Prüfverfahrens, sie wird bestimmt durch einfache Verhältnisse und Beherrschung des gesamten Alterungsvorganges. Die Verwendung von praktisch in Frage kommenden Katalysatoren ist zulässig, sofern sie nach ihren Eigenschaften genügend genau festgelegt werden können. Der Einfluß der Mengenverhältnisse, des Verteilungsgrades des Öles, sowie der Art der Ölzugabe ist bisher wenig bekannt, obwohl er vielleicht eine Rolle spielt.

Zur Beurteilung erscheinen derzeit zwei verschiedene Verfahren der Alterung aussichtsreich: Luftdurchleiten durch das Öl (Indiana, Air Ministry) für die Prüfung der Alterung im Kurbelgehäuse, Schalenoxydation bei verschiedenen Temperaturen für die Ringsteckneigung (DVL, Wright).

Die Vorschrift für die Asphaltbestimmung nach BVM hat sich nach Versuchen der Ruhr-Chemie als unverlässlich erwiesen und muß deshalb baldigst abgeändert werden.

4. Wahl des Bezugspunktes im Prüfdiagramm: Um eine Charakteristik der Öle für verschiedene Verwendungszwecke geben zu können, muß man Diagramme über die Temperatur und die Zeit aufnehmen. Die Zuordnung des Prüfwertes zu dem praktischen Einzelfall ist dann so vorzunehmen, daß man jene Temperatur oder Betriebszeit des Motors zu Grunde legt, die für den betreffenden Fall in Frage kommt. Dabei ist Voraussetzung, daß diese Motortemperaturen bekannt sind.

5. Motorische Prüfung: Der Vollmotor bzw. der Flugversuch bleiben nach wie vor die entscheidende Instanz für die Beurteilung der Öle. Zur Vereinfachung muß man aber Einzylinder-Motoren wählen, die entweder einen Zylinder des Flugmotors verwenden oder sich bezüglich des zu untersuchenden Vorganges dem Flugmotor ähnlich verhalten. Zahlenmäßige Beziehung zwischen Vollmotor und Einzylindermotor muß angestrebt werden; dazu muß aber zuerst einmal die zahlenmäßige Bewertung des Vollmotors für die Öle vorliegen, sei es, daß sie die Schlammmenge oder die Zahl der festen Ringe unter bestimmten Bedingungen angibt oder ein summarisches Maß verwendet, wie es z.B. Nutt erwähnt; Unterlagen in dieser Richtung sind dringendst nötig, da sie ja das Maß der Arbeit bestimmen, die in die Öluntersuchung gesteckt wird. Versuche mit einer größeren Zahl von kleineren Motoren dürften eine gewisse Aussicht auf Erfolg bieten. Die Anwendung der Überladung erscheint solange unnötig, als nicht Übereinstimmung bei den Versuchen ohne Überladung erreicht wird. Alle Motorversuche sollten die Charakteristik über die Temperatur erstreben. Da die Betriebsbedingungen größeren Einfluß haben können als die Bauart der Motoren, müssen sie sorgfältig ausgewählt werden! Automatisierung der Bedienung erscheint für Beschleunigung der Arbeit sehr notwendig. Die Neigung der Öle zur Verschlammung, sowie der Verschleiß der Kolbenringe (als Maß der Schmierreinigung) sollten bei den Einzylinderläufen miterfaßt werden. Dazu erscheint der Einbau eines schlammabscheidenden Elementes in den Motor oder die einheitliche Verwendung einer Zentrifuge zweckmäßig.

Zur besseren Überwachung der Betriebsbedingungen ist die laufende Messung der Kolbentemperaturen und der in den Teilkreisläufen umlaufenden Ölmengen anzustreben.

Die Untersuchungsergebnisse der I.G., Ruhrchemie und Intava mit kleinen Motoren sollen innerhalb von 6 Monaten miteinander und mit den Ergebnissen des 132-Motors verglichen und auf ihre Zuverlässigkeit geprüft werden, um eine Entscheidung über die allgemeine Verwendung eines dieser Motoren zur Ölprüfung fällen zu können.

6. Grenzwertlegung: Da die motorische Charakteristik der Öle über Brauchbarkeit oder Unbrauchbarkeit entscheidet, muß sie auf Grund eines überprüfbaren Grenzwertes erfolgen, gleichgültig, ob es sich um die Schlamm- oder das Ringstecken handelt. Dieser Grenzwert müßte nach genügender Bewährung dann auch in den Lieferbedingungen erscheinen. Zahlenmäßige Ergebnisse von Firmen in der angedeuteten Richtung sollten dem RLM über die DVL (BS) zugeschickt werden.

Ds.

JFM	MSD-Entwicklungs-Prüfstand Dieselflugmotoren	Versuchs-Bericht	Nr. 1339-MD
Berichts-Inhalt:			
<u>Eignungsprüfung des synthetischen Schmierstoffes</u> <u>"SS 902-15 Fr" (Endstufe)</u> <u>im Dieselflugmotor Jumo 205 D.</u>			
Tag der Berichts- Ausfertigung	17.3.41.	Bearbeiter	Scheibe-Rode
		Versuchstag	17.2.-26.2.41.
<p><u>A. Einleitung:</u></p> <p>Von dem Ammoniakwerk Merseburg der I.G. wurde ein synthetischer Schmierstoff geschaffen, der sich durch seinen niedrigen Stockpunkt mit <math>-40</math> Grad (<math>-25</math> Grad bei "ASM" und "Rotring") und den flachen Verlauf der Viskositätskurve vorteilhaft gegenüber den Beschaffungsschmierstoffen auszeichnet. Durch diese Eigenschaften muß der Schmierstoff nach seiner Bewährung besonders für den "Kaltstart" geeignet sein. Die Prüfung des Schmierstoffes erfolgt bevorzugt im Dieselflugmotor, um möglichst bald den "Kaltstart" Bereich mit Benzinzusatz ablösen zu können.</p> <p>Die Untersuchung wurde im Rahmen eines Entwicklungsangebotes unter Teilnahme der Bauaufsicht durchgeführt. Entwicklungsangebot: Nr. W 10064 "Erprobung von Kaltstart-Schmieröl (Vorstufe) SS 970 p 25 F."</p> <p><u>B. Versuchsanordnung:</u></p> <p>Für die Erprobung wurde der Seriemotor 205 D/17055 mit Bremsdruckschraube eingesetzt. Kolben vollständig neu. (Laufspiel i.M. 0,1 mm kleiner als Serienkolben). Feuer- ringe neu, Werkstoff Goetze K9, karafittiert. Kolbenringe und Ölabstreifringe neu, karafittiert. Die Laufbüchsen waren gereinigt. Die Grundlagen waren bereits eingelaufen. Grundlagenlager 3 u. 5 der Auspuffkurbelwelle wurden erneuert. Die Pleuellags. mit Dunkers Bleibronze waren ebenfalls eingelaufen. Die Kurbelwellen waren nachnitriert.</p> <p>Der Zusammenbau des Motors erfolgte unter Verwendung des Prüf-Schmieröles. Die Schmierstoffanlage des Prüfstandes wurde vor dem Auftanken gesäubert.</p>			
Berichts Umfang	8	Blätter	Anlagen.

Versuchs-  
gruppe:

xRLM  
xRLM Gl. 5-  
xE' Stelle  
xBAL-  
xProf. Ma.  
xYst.-  
xDr. Helb-  
xBn.-  
xGi.-  
xDr. Zorn, I. u.  
xAkte-

Als Kraftstoff wurde das handelsübliche Gasöl  
(Beschaffungskraftstoff) der Intava verwendet.

### C. Versuchsdurchführung und Ergebnis:

Der Motor wurde in 6 Stunden bis zur Startleistung  
( $N_e = 880$  PS) eingefahren. Anschließend Kontrolle der Aus-  
puffkolben durch die Auspufföffnungen. Die Kolbenkörper  
zeigten auf den Gleitbahnen eine schwache bräunliche Fä-  
rbung. Die Ölkoksabridung in der Kolbenringzone und am Nute-  
ring war nicht stärker als bei "ASM"-Betrieb.

Der Dauerlauf wurde nach Musterprüfungs-Vorschrift  
DIN 50025 D in einzelnen 10 Stundenläufen gefahren.

#### Prüfvorschrift.

5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
30 min Kampf- und Steigleistung	$N_e = 750$ PS	$n_k \sim 2550$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
60 min Kampf- und Steigleistung	$N_e = 750$ PS	$n_k \sim 2550$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
45 min höchstzul. Dauerleistung	$N_e = 680$ PS	$n_k \sim 2450$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
30 min Kampf- und Steigleistung	$N_e = 750$ PS	$n_k \sim 2550$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
60 min Kampf- und Steigleistung	$N_e = 750$ PS	$n_k \sim 2550$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
45 min höchstzul. Dauerleistung	$N_e = 680$ PS	$n_k \sim 2450$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
30 min Kampf- und Steigleistung	$N_e = 750$ PS	$n_k \sim 2550$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
60 min Kampf- und Steigleistung	$N_e = 750$ PS	$n_k \sim 2550$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
45 min höchstzul. Dauerleistung	$N_e = 680$ PS	$n_k \sim 2450$ min <sup>-1</sup>
5 min Startleistung	$N_e = 880$ PS	$n_k \sim 2800$ min <sup>-1</sup>
30 min Kampf- und Steigleistung	$N_e = 750$ PS	$n_k \sim 2550$ min <sup>-1</sup>
60 min höchstzul. Dauerleistung	$N_e = 680$ PS	$n_k \sim 2450$ min <sup>-1</sup>
55 min Drosselleistung und	$N_e = 500$ PS	60... PS

Motor stoppen.

10 h

Ölaustrittstemperatur 65 °C

Wasseraustrittstemperatur 85 °C

Am Schluß einer Laufperiode wurde gestoppt und nach einer Pause von 5-10 Minuten wieder angefahren. Der Motor wurde in 10 Minuten bis zur Startleistung hochgefahren und damit die neue Laufperiode begonnen.

Über die gesamte Erprobungszeit wurde am Kurbelgehäuse-Entlüfter ein starker weißer Nebel abgeschieden, der aus leichtflüchtigen Anteilen des Schmierstoffes bestehen dürfte. Die bei Otto-Motoren eingetretene Eindickung dieses Schmierstoffes wurde in der laufenden Kontrolle durch Viskositätsmessungen nicht festgestellt. Es ist anzunehmen, daß diese Eindickung durch das verhältnismäßig niedrige Temperaturniveau im Kolbenraum dieses Motormusters nicht zustande kam.

Während des Laufes wurden Proben zur Kontrolle der Zustandsänderung des Schmieröls nach folgender Tabelle entnommen:

1.	Probe nach	2	Gesamtbetriebsstunden		
2.	" "	5	" "		
3.	" "	9	" "		
4.	" "	14	" "		
5.	" "	22	" "		
6.	" "	28	" "		
7.	" "	38	" "		
8.	" "	50	" "		
9.	" "	69	" "		
10.	" "	80	" "		
11.	" "	92	" "		
12.	" "	103	" "		

Die Proben wurden wie folgt entnommen:

Die Untersuchung der Proben erfolgte nach dem Verfahren "Florschung", Bericht Nr. 103/104/105/106/107/108/109/110/111/112/113/114/115/116/117/118/119/120/121/122/123/124/125/126/127/128/129/130/131/132/133/134/135/136/137/138/139/140/141/142/143/144/145/146/147/148/149/150/151/152/153/154/155/156/157/158/159/160/161/162/163/164/165/166/167/168/169/170/171/172/173/174/175/176/177/178/179/180/181/182/183/184/185/186/187/188/189/190/191/192/193/194/195/196/197/198/199/200/201/202/203/204/205/206/207/208/209/210/211/212/213/214/215/216/217/218/219/220/221/222/223/224/225/226/227/228/229/230/231/232/233/234/235/236/237/238/239/240/241/242/243/244/245/246/247/248/249/250/251/252/253/254/255/256/257/258/259/260/261/262/263/264/265/266/267/268/269/270/271/272/273/274/275/276/277/278/279/280/281/282/283/284/285/286/287/288/289/290/291/292/293/294/295/296/297/298/299/300/301/302/303/304/305/306/307/308/309/310/311/312/313/314/315/316/317/318/319/320/321/322/323/324/325/326/327/328/329/330/331/332/333/334/335/336/337/338/339/340/341/342/343/344/345/346/347/348/349/350/351/352/353/354/355/356/357/358/359/360/361/362/363/364/365/366/367/368/369/370/371/372/373/374/375/376/377/378/379/380/381/382/383/384/385/386/387/388/389/390/391/392/393/394/395/396/397/398/399/400/401/402/403/404/405/406/407/408/409/410/411/412/413/414/415/416/417/418/419/420/421/422/423/424/425/426/427/428/429/430/431/432/433/434/435/436/437/438/439/440/441/442/443/444/445/446/447/448/449/450/451/452/453/454/455/456/457/458/459/460/461/462/463/464/465/466/467/468/469/470/471/472/473/474/475/476/477/478/479/480/481/482/483/484/485/486/487/488/489/490/491/492/493/494/495/496/497/498/499/500/501/502/503/504/505/506/507/508/509/510/511/512/513/514/515/516/517/518/519/520/521/522/523/524/525/526/527/528/529/530/531/532/533/534/535/536/537/538/539/540/541/542/543/544/545/546/547/548/549/550/551/552/553/554/555/556/557/558/559/560/561/562/563/564/565/566/567/568/569/570/571/572/573/574/575/576/577/578/579/580/581/582/583/584/585/586/587/588/589/590/591/592/593/594/595/596/597/598/599/600/601/602/603/604/605/606/607/608/609/610/611/612/613/614/615/616/617/618/619/620/621/622/623/624/625/626/627/628/629/630/631/632/633/634/635/636/637/638/639/640/641/642/643/644/645/646/647/648/649/650/651/652/653/654/655/656/657/658/659/660/661/662/663/664/665/666/667/668/669/670/671/672/673/674/675/676/677/678/679/680/681/682/683/684/685/686/687/688/689/690/691/692/693/694/695/696/697/698/699/700/701/702/703/704/705/706/707/708/709/710/711/712/713/714/715/716/717/718/719/720/721/722/723/724/725/726/727/728/729/730/731/732/733/734/735/736/737/738/739/740/741/742/743/744/745/746/747/748/749/750/751/752/753/754/755/756/757/758/759/760/761/762/763/764/765/766/767/768/769/770/771/772/773/774/775/776/777/778/779/780/781/782/783/784/785/786/787/788/789/790/791/792/793/794/795/796/797/798/799/800/801/802/803/804/805/806/807/808/809/810/811/812/813/814/815/816/817/818/819/820/821/822/823/824/825/826/827/828/829/830/831/832/833/834/835/836/837/838/839/840/841/842/843/844/845/846/847/848/849/850/851/852/853/854/855/856/857/858/859/860/861/862/863/864/865/866/867/868/869/870/871/872/873/874/875/876/877/878/879/880/881/882/883/884/885/886/887/888/889/890/891/892/893/894/895/896/897/898/899/900/901/902/903/904/905/906/907/908/909/910/911/912/913/914/915/916/917/918/919/920/921/922/923/924/925/926/927/928/929/930/931/932/933/934/935/936/937/938/939/940/941/942/943/944/945/946/947/948/949/950/951/952/953/954/955/956/957/958/959/960/961/962/963/964/965/966/967/968/969/970/971/972/973/974/975/976/977/978/979/980/981/982/983/984/985/986/987/988/989/990/991/992/993/994/995/996/997/998/999/1000/1001/1002/1003/1004/1005/1006/1007/1008/1009/1010/1011/1012/1013/1014/1015/1016/1017/1018/1019/1020/1021/1022/1023/1024/1025/1026/1027/1028/1029/1030/1031/1032/1033/1034/1035/1036/1037/1038/1039/1040/1041/1042/1043/1044/1045/1046/1047/1048/1049/1050/1051/1052/1053/1054/1055/1056/1057/1058/1059/1060/1061/1062/1063/1064/1065/1066/1067/1068/1069/1070/1071/1072/1073/1074/1075/1076/1077/1078/1079/1080/1081/1082/1083/1084/1085/1086/1087/1088/1089/1090/1091/1092/1093/1094/1095/1096/1097/1098/1099/1100/1101/1102/1103/1104/1105/1106/1107/1108/1109/1110/1111/1112/1113/1114/1115/1116/1117/1118/1119/1120/1121/1122/1123/1124/1125/1126/1127/1128/1129/1130/1131/1132/1133/1134/1135/1136/1137/1138/1139/1140/1141/1142/1143/1144/1145/1146/1147/1148/1149/1150/1151/1152/1153/1154/1155/1156/1157/1158/1159/1160/1161/1162/1163/1164/1165/1166/1167/1168/1169/1170/1171/1172/1173/1174/1175/1176/1177/1178/1179/1180/1181/1182/1183/1184/1185/1186/1187/1188/1189/1190/1191/1192/1193/1194/1195/1196/1197/1198/1199/1200/1201/1202/1203/1204/1205/1206/1207/1208/1209/1210/1211/1212/1213/1214/1215/1216/1217/1218/1219/1220/1221/1222/1223/1224/1225/1226/1227/1228/1229/1230/1231/1232/1233/1234/1235/1236/1237/1238/1239/1240/1241/1242/1243/1244/1245/1246/1247/1248/1249/1250/1251/1252/1253/1254/1255/1256/1257/1258/1259/1260/1261/1262/1263/1264/1265/1266/1267/1268/1269/1270/1271/1272/1273/1274/1275/1276/1277/1278/1279/1280/1281/1282/1283/1284/1285/1286/1287/1288/1289/1290/1291/1292/1293/1294/1295/1296/1297/1298/1299/1300/1301/1302/1303/1304/1305/1306/1307/1308/1309/1310/1311/1312/1313/1314/1315/1316/1317/1318/1319/1320/1321/1322/1323/1324/1325/1326/1327/1328/1329/1330/1331/1332/1333/1334/1335/1336/1337/1338/1339/1340/1341/1342/1343/1344/1345/1346/1347/1348/1349/1350/1351/1352/1353/1354/1355/1356/1357/1358/1359/1360/1361/1362/1363/1364/1365/1366/1367/1368/1369/1370/1371/1372/1373/1374/1375/1376/1377/1378/1379/1380/1381/1382/1383/1384/1385/1386/1387/1388/1389/1390/1391/1392/1393/1394/1395/1396/1397/1398/1399/1400/1401/1402/1403/1404/1405/1406/1407/1408/1409/1410/1411/1412/1413/1414/1415/1416/1417/1418/1419/1420/1421/1422/1423/1424/1425/1426/1427/1428/1429/1430/1431/1432/1433/1434/1435/1436/1437/1438/1439/1440/1441/1442/1443/1444/1445/1446/1447/1448/1449/1450/1451/1452/1453/1454/1455/1456/1457/1458/1459/1460/1461/1462/1463/1464/1465/1466/1467/1468/1469/1470/1471/1472/1473/1474/1475/1476/1477/1478/1479/1480/1481/1482/1483/1484/1485/1486/1487/1488/1489/1490/1491/1492/1493/1494/1495/1496/1497/1498/1499/1500/1501/1502/1503/1504/1505/1506/1507/1508/1509/1510/1511/1512/1513/1514/1515/1516/1517/1518/1519/1520/1521/1522/1523/1524/1525/1526/1527/1528/1529/1530/1531/1532/1533/1534/1535/1536/1537/1538/1539/1540/1541/1542/1543/1544/1545/1546/1547/1548/1549/1550/1551/1552/1553/1554/1555/1556/1557/1558/1559/1560/1561/1562/1563/1564/1565/1566/1567/1568/1569/1570/1571/1572/1573/1574/1575/1576/1577/1578/1579/1580/1581/1582/1583/1584/1585/1586/1587/1588/1589/1590/1591/1592/1593/1594/1595/1596/1597/1598/1599/1600/1601/1602/1603/1604/1605/1606/1607/1608/1609/1610/1611/1612/1613/1614/1615/1616/1617/1618/1619/1620/1621/1622/1623/1624/1625/1626/1627/1628/1629/1630/1631/1632/1633/1634/1635/1636/1637/1638/1639/1640/1641/1642/1643/1644/1645/1646/1647/1648/1649/1650/1651/1652/1653/1654/1655/1656/1657/1658/1659/1660/1661/1662/1663/1664/1665/1666/1667/1668/1669/1670/1671/1672/1673/1674/1675/1676/1677/1678/1679/1680/1681/1682/1683/1684/1685/1686/1687/1688/1689/1690/1691/1692/1693/1694/1695/1696/1697/1698/1699/1700/1701/1702/1703/1704/1705/1706/1707/1708/1709/1710/1711/1712/1713/1714/1715/1716/1717/1718/1719/1720/1721/1722/1723/1724/1725/1726/1727/1728/1729/1730/1731/1732/1733/1734/1735/1736/1737/1738/1739/1740/1741/1742/1743/1744/1745/1746/1747/1748/1749/1750/1751/1752/1753/1754/1755/1756/1757/1758/1759/1760/1761/1762/1763/1764/1765/1766/1767/1768/1769/1770/1771/1772/1773/1774/1775/1776/1777/1778/1779/1780/1781/1782/1783/1784/1785/1786/1787/1788/1789/1790/1791/1792/1793/1794/1795/1796/1797/1798/1799/1800/1801/1802/1803/1804/1805/1806/1807/1808/1809/1810/1811/1812/1813/1814/1815/1816/1817/1818/1819/1820/1821/1822/1823/1824/1825/1826/1827/1828/1829/1830/1831/1832/1833/1834/1835/1836/1837/1838/1839/1840/1841/1842/1843/1844/1845/1846/1847/1848/1849/1850/1851/1852/1853/1854/1855/1856/1857/1858/1859/1860/1861/1862/1863/1864/1865/1866/1867/1868/1869/1870/1871/1872/1873/1874/1875/1876/1877/1878/1879/1880/1881/1882/1883/1884/1885/1886/1887/1888/1889/1890/1891/1892/1893/1894/1895/1896/1897/1898/1899/1900/1901/1902/1903/1904/1905/1906/1907/1908/1909/1910/1911/1912/1913/1914/1915/1916/1917/1918/1919/1920/1921/1922/1923/1924/1925/1926/1927/1928/1929/1930/1931/1932/1933/1934/1935/1936/1937/1938/1939/1940/1941/1942/1943/1944/1945/1946/1947/1948/1949/1950/1951/1952/1953/1954/1955/1956/1957/1958/1959/1960/1961/1962/1963/1964/1965/1966/1967/1968/1969/1970/1971/1972/1973/1974/1975/1976/1977/1978/1979/1980/1981/1982/1983/1984/1985/1986/1987/1988/1989/1990/1991/1992/1993/1994/1995/1996/1997/1998/1999/2000/2001/2002/2003/2004/2005/2006/2007/2008/2009/2010/2011/2012/2013/2014/2015/2016/2017/2018/2019/2020/2021/2022/2023/2024/2025/2026/2027/2028/2029/2030/2031/2032/2033/2034/2035/2036/2037/2038/2039/2040/2041/2042/2043/2044/2045/2046/2047/2048/2049/2050/2051/2052/2053/2054/2055/2056/2057/2058/2059/2060/2061/2062/2063/2064/2065/2066/2067/2068/2069/2070/2071/2072/2073/2074/2075/2076/2077/2078/2079/2080/2081/2082/2083/2084/2085/2086/2087/2088/2089/2090/2091/2092/2093/2094/2095/2096/2097/2098/2099/2100/2101/2102/2103/2104/2105/2106/2107/2108/2109/2110/2111/2112/2113/2114/2115/2116/2117/2118/2119/2120/2121/2122/2123/2124/2125/2126/2127/2128/2129/2130/2131/2132/2133/2134/2135/2136/2137/2138/2139/2140/2141/2142/2143/2144/2145/2146/2147/2148/2149/2150/2151/2152/2153/2154/2155/2156/2157/2158/2159/2160/2161/2162/2163/2164/2165/2166/2167/2168/2169/2170/2171/2172/2173/2174/2175/2176/2177/2178/2179/2180/2181/2182/2183/2184/2185/2186/2187/2188/2189/2190/2191/2192/2193/2194/2195/2196/2197/2198/2199/2200/2201/2202/2203/2204/2205/2206/2207/2208/2209/2210/2211/2212/2213/2214/2215/2216/2217/2218/2219/2220/2221/2222/2223/2224/2225/2226/2227/2228/2229/2230/2231/2232/2233/2234/2235/2236/2237/2238/2239/2240/2241/2242/2243/2244/2245/2246/2247/2248/2249/2250/2251/2252/2253/2254/2255/2256/2257/2258/2259/2260/2261/2262/2263/2264/2265/2266/2267/2268/2269/2270/2271/2272/2273/2274/2275/2276/2277/2278/2279/2280/2281/2282/2283/2284/2285/2286/2287/2288/2289/2290/2291/2292/2293/2294/2295/2296/2297/2298/2299/2300/2301/2302/2303/2304/2305/2306/2307/2308/2309/2310/2311/2312/2313/2314/2315/2316/2317/2318/2319/2320/2321/2322/2323/2324/2325/2326/2327/2328/2329/2330/2331/2332/2333/2334/2335/2336/2337/2338/2339/2340/2341/2342/2343/2344/2345/2346/2347/2348/2349/2350/2351/2352/2353/2354/2355/2356/2357/2358/2359/2360/2361/2362/2363/2364/2365/2366/2367/2368/2369/2370/2371/2372/2373/2374/2375/2376/2377/2378/2379/2380/2381/2382/2383/2384/2385/2386/2387/2388/2389/2390/2391/2392/2393/2394/2395/2396/2397/2398/2399/2400/2401/2402/2403/2404/2405/2406/2407/2408/2409/2410/2411/2412/2413/2414/2415/2416/2417/2418/2419/2420/2421/2422/2423/2424/2425/2426/2427/2428/2429/2430/2431/2432/2433/2434/2435/2436/2437/2438/2439/2440/2441/2442/2443/2444/2445/2446/2447/2448/2449/2450/2451/2452/2453/2454/2455/2456/2457/2458/2459/2460/2461/2462/2463/2464/2465/2466/2467/2468/2469/2470/2471/2472/2473/2474/2475/2476/2477/2478/2479/2480/2481/2482/2483/2484/2485/2486/2487/2488/2489/2490/2491/2492/2493/2494/2495/2496/2497/2498/2499/2500/2501/2502/2503/2504/2505/2506/2507/2508/2509/2510/2511/2512/2513/2514/2515/2516/2517/2518/2519/2520/2521/2522/2

Motor wurde rückmontiert und in ungewaschenem Zustand gemeinsam von der BAL, I.G., Jumo-OMW besichtigt: Das Besprechungsprotokoll ist als Teil 2 dem Bericht beigelegt.

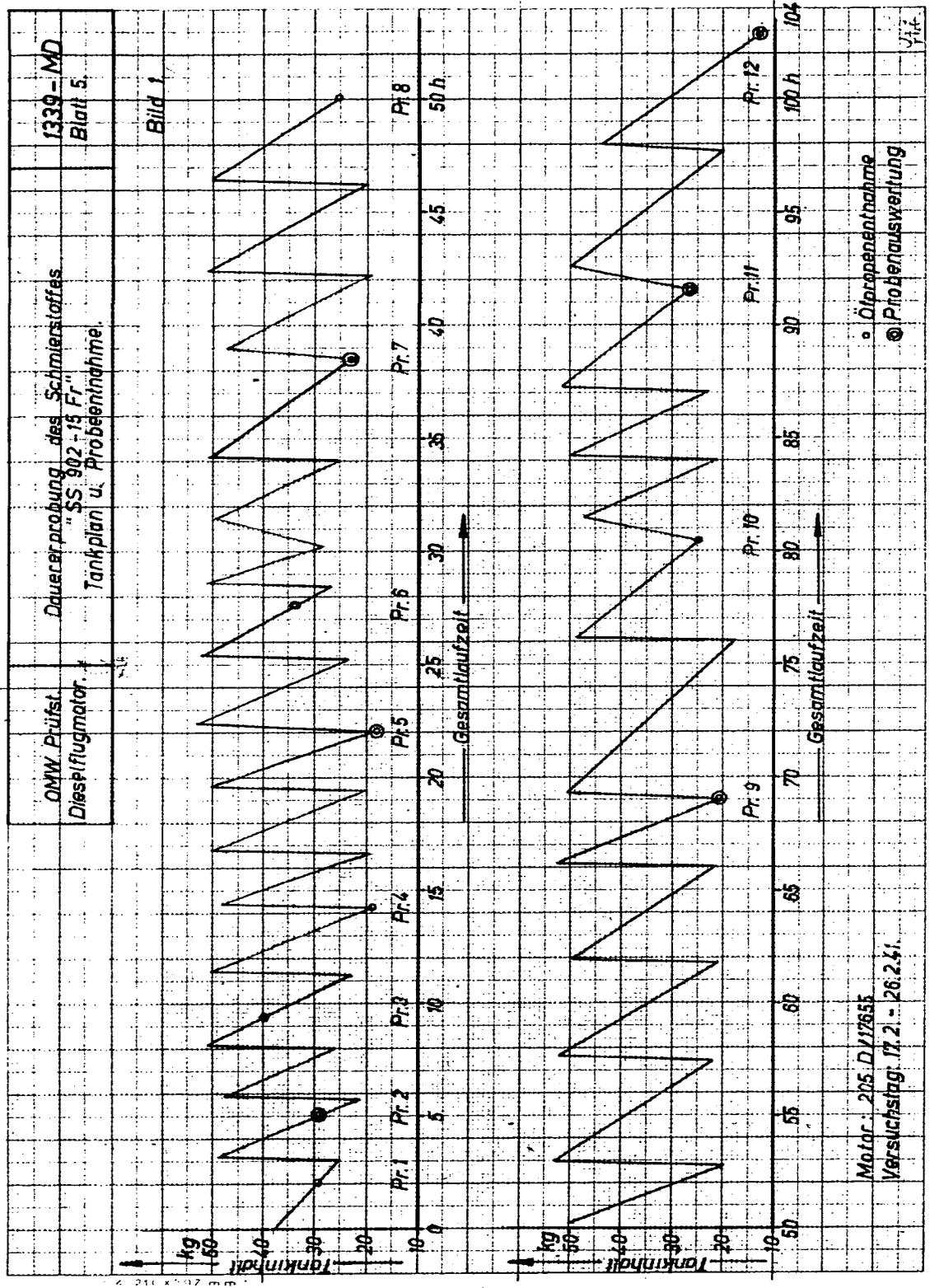
Die Laufbilder der Laufbüchsen, Kolben, Kurbelwellen und Lager zeigten keine Unterschiede gegenüber denen der mit "ASM" betriebenen Motoren. Die Rückstandsbildung im Totraum der Laufbüchsen ist normal. In der Ringzone und teilweise auf der Gleitbahn der Kolbenkörper hatte sich eine dünne lackartige Rückstandsschicht gebildet (Bild 2 und 3). An den Freiarbeitungen der Kolbenbolzenaugen hatten sich stärkere Rückstände von weicher Beschaffenheit abgelagert. Die Kolbenringe saßen lose in den Nuten. In den Ölräumen der Kurbelwellen- Trag- und Pleuelzapfen hatten sich geringe Mengen Rückstände von weicher schmieriger Beschaffenheit abgelagert. Im Saalfilter der Motore und den Filtern der Prüfstandsanlage wurden keine Rückstände festgestellt. Die von Schmierstoff bespülten Bauteile zeigten einen dünnen, schwarzen, leicht abwischbaren Überzug. Bild 4.

Der Verschleiß der Feuerringe ist gering und liegt in normalen Grenzen. Bei den Kolbenringen wurde kein meßbarer Verschleiß festgestellt. Der Verschleiß der Grundlager, Pleuellager, Trag- und Pleuelzapfen der Kurbelwellen ist ebenfalls gering und als normal zu bezeichnen.

#### D. Zusammenfassung

Der synthetische Schmierstoff hat sich im Jumo 205 D in einer 100 Stunden Dauertprobung bewährt. Durch das gute Kälteverhalten und den flachen Verlauf der Viskositätskurve kann auf "Kalstart" mit Benzinbeimischung zum Schmierstoff verzichtet werden. Für den Dieselflugmotor sind diese Eigenschaften von besonderer Wichtigkeit.

OMW Prüfstand  
Dieselflugmotoren



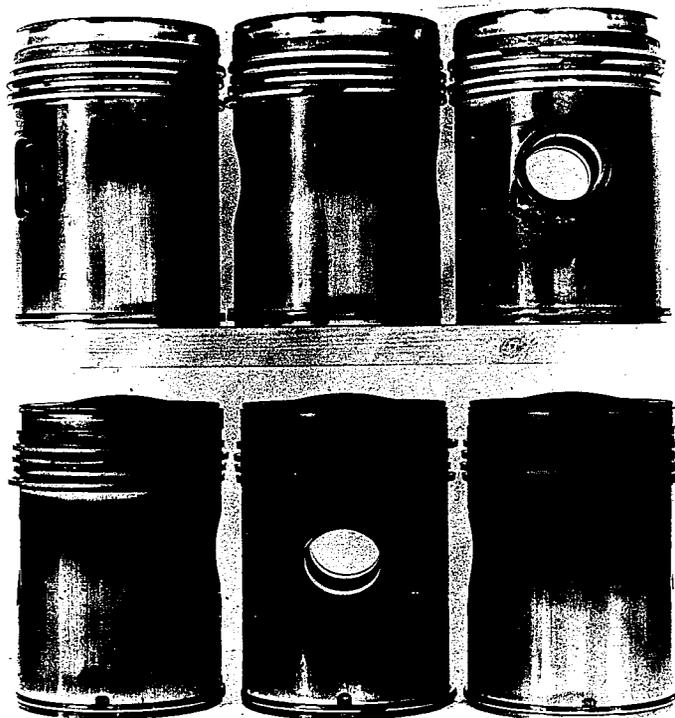
JFM MSP Enk

Prüfung-Prüfstand

Versuchs Bericht

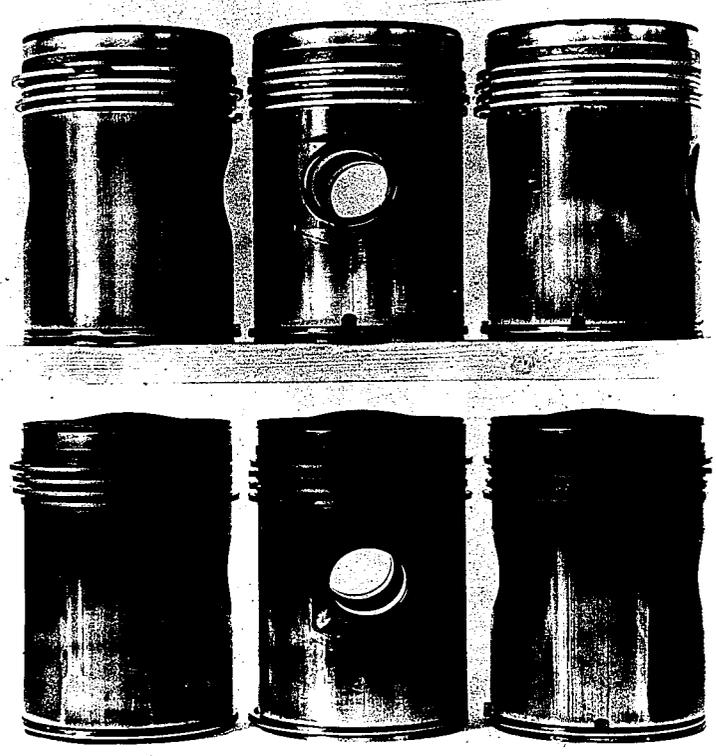
VR

23/97

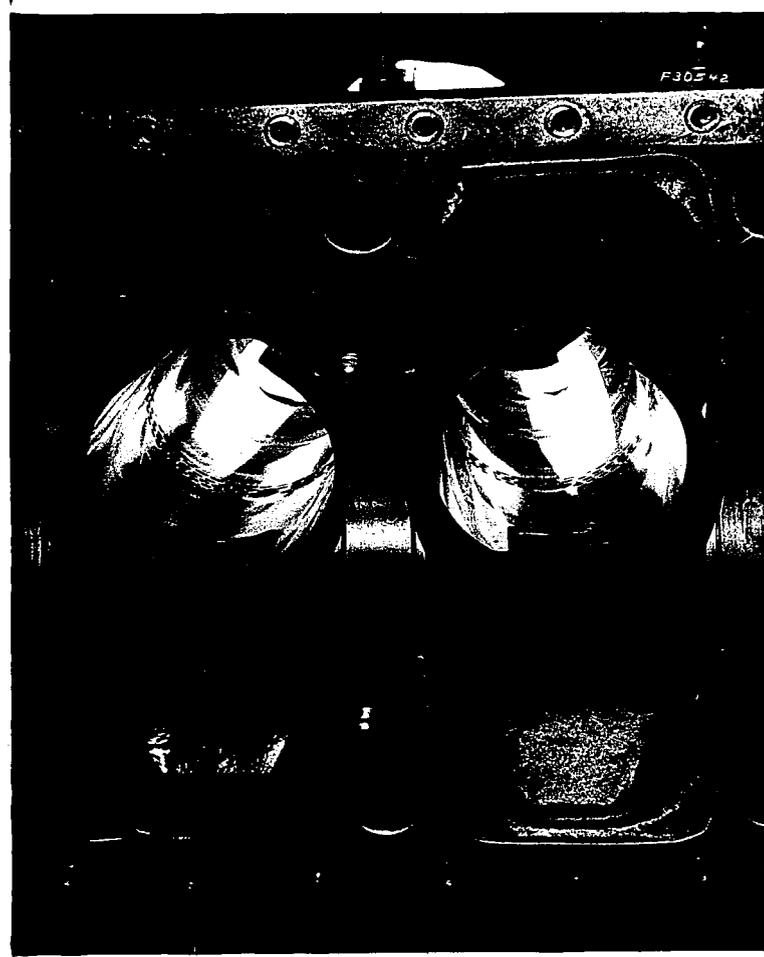


03100

Versuchsbericht



03199



Abbauzustand

zum Vergleich

Abbildung

Bild

M. 15802

Abschrift.Dauererprobung des Schmierstoffes "SS 902-15 Fr"  
im Jumo 205 D/17655.

Beschreibung nach einer Laufzeit von insgesamt

Am heutigen Tage wurde der Motor Jumo 205 D/17655  
nach einer Dauererprobung von 86  
Stunden beendet.

Schwarz, BAL

Horsche, BAL

Scheibe, OMW

Dr. Held, OMW

Dr. Kern, Ammenlohwerk, Merseburg

Der Lauf konnte ohne auf den Schmierstoff zurückzuführen-  
de Störungen beendet werden. Der Lauf wurde nach 86-stün-  
diger Dauererprobung abgebrochen, da die zur Verfügung  
stehende Ölmenge aufgebraucht war. Die Öldecke, Öltem-  
peraturen und der Ölverbrauch lagen in normalen Grenzen.

Ergebnis:

Sämtliche mit dem Schmierstoff in Verbindung kommende  
Bauteile zeigten einen sehr dicken schwarzen leicht ab-  
wischbaren Überzug auf. Das Laufbild der Kolben und der  
Laufbüchsen war, verglichen mit Läufen von Aero Shell  
mittel, gleichwertig. Die Rückstände in den Laufbüchsen  
waren normal, die Lackschicht in der Kolbenringpartie  
und an den Freiarbeitungen der Kolbenbolzenaugen war et-  
was stärker als bei ASM. Die Rückstände selbst waren  
weich. Sämtliche Ringe waren nicht scharfkantig und zeig-  
ten keine Gratbildung und die Kolbenringnuten waren rück-  
standsfrei. Die Feuerlinge zeigten normales Laufbild.

03201

JFM

MSD-Entwicklungs-Prüfstand  
Dieselmotoren

## Versuchs-Bericht

Nr. .... / Blatt .... (von ... Blättern)

Die Gleitflächen der Kurbelwellen- Haupt- und Pleuellager  
zeigten keine Unterschiede gegenüber Läufen mit ASM.

Die Ablagerungen in den Kurbelwellen- Haupt- und Pleuellager  
waren sehr gering und der Schlamm von weicher, salbhar-  
tiger Beschaffenheit.

In den Filtern wurden keine Rückstände festgestellt.

Auf Grund dieses Ergebnisses bestehen keine Bedenken, den  
Schmierstoff SS 902-15Fr für das Motorenmuster Jumo 2000  
zuzulassen.

BAL-Jumo

gez. Horsche.

OMW

gez. Gerlach.

gez. Heid.

Ammoniakwerk  
Merseburg

gez. Zorn.

OMW-Wefo-Süd  
Dr.H./Ap.

Dessau, den 10.3.1941.

Beurteilung der während des Dauerlaufs  
gezogenen Schmierstoffproben und Rückstände  
im Juno 205 D, Nr. 17 655.

In der Anlage 1 sind die Analysen-Ergebnisse der Rückstände aus den Pleuellagern 1-6 der Antriebswelle zusammengestellt.

Mengenmässig sind die Rückstände nach der Dauereyprobung von 101 Stunden als sehr gering zu betrachten, wobei die selbstenartige Beschaffenheit des Schlemmes für das Öl spricht.

Der Abrieb ist, wie aus der Anlage 1 hervorgeht, nicht gross. Die Alterungsprodukte des Öles wie Ölkohle, Hartasphalt und Erdölharze sind ebenfalls im Vergleich zum "Acro Shell mittel" durchaus normal.

Auf Seite 2 der Anlage ist der Abrieb und der Gehalt an festen Fremdstoffen aus den Rückständen des Pleuellagers 1-6 auf reine Ölfreiheit berechnet. Bei dieser Analyse fällt besonders der hohe Eisengehalt mit 21,65 % auf. Der Kupfer- und Bleigehalt - wahrscheinlich auf einen geringen Abrieb der Bleibronzelager zurückzuführen - liegen bei 2,45 bzw. 0,22 %. Der Kieselsäuregehalt mit 7,94 % liegt gegenüber den bisher ermittelten Werten aus Dauerläufen von 1-2% weit darüber. Die Anwesenheit der Kieselsäure kann auf einen gewissen Sandstaubgehalt der Luft, die während der Montage bzw. während des Laufs in den Motor gelangte, zurückzuführen sein.

In der Anlage 2 sind die Analysendaten der Schmierölproben, die während des Dauerlaufs gezogen wurden, aufgezeichnet.

- 2 -

auf Grund der erhöhten Verdampfbarkeit des Schmierstoffes wurde von der Bestimmung der Kraftstoffverdünnung abgesehen, da zu erwarten war, dass bei der Evakuierung des Öles grössere Schmierstoffanteile mit flüchtig gehen würden.

Die Dichte des Schmierstoffes beträgt nach der 4. Laufstunde 0,866, nach der 39. Laufstd. 0,857 und nach der 101. Laufstd. wiederum 0,861 gr/cm<sup>3</sup>. Eine leichte Bindung des Öles, das im Frischölzustand 0,856 gr/cm<sup>3</sup> aufweist, kann aus diesen Zahlen erschen werden.

Die Alterungsprodukte wie der Asphaltgehalt und der Gehalt an festen Fremdstoffen, worunter die Ölkohle zu rechnen ist, liegen stark hoch wie beim Beschaffungsgöl "Asphaltmittel".

Die Neutralisationszahl ist im Vergleich zum Frischöl etwas angestiegen, während die Verseifungszahl zwischen 8,22 mgKOH/gr und 13,69 mgKOH/gr abgesunken ist.

Auch aus den Messungen der Zähigkeit der von Wasser und festen Fremdstoffen befreiten Schmierstoffproben geht hervor, dass das Öl eine leichte Bindung erfahren hat.

Ein Abrieb konnte weder im Motorfilter noch in den Filtern am Irzustand festgestellt werden.

Der Schmierstoff "SS 902, 15 Fr" hat sich schmierstechnisch - wie aus dem Besichtigungsprotokoll zu erschen ist - sowie bei der chemisch-physikalischen Untersuchung, nach der Dauererprobung als für den Betrieb des Motors Jumo 205 D geeignet erwiesen.

GMW 1000000 10 1000000

POOR  
COPY

2

03204

<b>Junkers Flugzeug- und -Motorenwerke AG.</b> Motorenbau Stammwerk Dessau Werkstoff-Forschung	<b>Dauererprobung des Schmierstoffes</b> "SS 902, 15 Fr."	Nr. zu Auftr.-Nr.
		42 997
		Kto. 540 399
		Tag: 8.3.1941

Anlage 1.

Gewichtsbestimmung der Ölschlammrückstände.Pleuellager 1-6:

1	=	2,09	gr
2	=	1,92	"
3	=	1,76	"
4	=	1,65	"
5	=	2,44	"
6	=	1,63	"

Zur Untersuchung wurde von Pleuellager 1-6 eine Durchschnittsprobe genommen.

Die Untersuchung der Rückstände ergab folgende Resultate:

Pleuellager 1-6:

Pb	=	0,09	%
Fe	=	9,42	"
Cu	=	1,07	"
SiO <sub>2</sub>	=	3,47	"
Al	=	0,14	"
Ölkohle	=	18,72	"
Reinöl	=	56,33	"
Erdölharze	=	3,81	"
Asphalharze	=	0,86	"
Hartasphalt	=	5,30	"
S+N+O-Verb.	=	0,79	"

Die Metalle liegen z.T. als metallorganische Verbindungen vor. Stoffe, die nur in geringen Mengen als Legierungsbestandteile im Abrieb vorhanden waren, wurden nicht bestimmt.

- 2 -

POOR  
COPY 2

Prüfungsergebnisse:

zu Wefo-Auftrag Nr.: 42 997

Seite 2

Um die Bildung der Alterungsprodukte mit anderen Läufen vergleichen zu können, wurde auf reinölfreie Substanz umgerechnet.

Fluendlager 1-6:

Pb	=	0,22 %
Fe	=	21,65 %
Cu	=	2,45 "
SiO <sub>2</sub>	=	7,94 "
Al	=	0,32 "
Ölkohle	=	42,83 "
Erdölharze	=	8,72 "
Asphalharze	=	1,94 "
Hartasphalt	=	12,12 "
S+N+O-Verbindung	=	1,81 "

Bearbeiter: Graf/Meinhardt

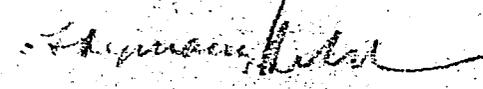
8.3.1941  
Ap.

OMV-WERKSTOFF-FORSCHUNG

POOR  
COPY

2

1545205

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren				<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938				
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)						<b>Anlage 2.</b> Prüflauf-Nr.: .....		
<b>aus dem 100 Stunden-Prüflauf</b>								
Motormuster: <u>Jump 205 D</u>				Werk-Nr.: <u>17.655</u>				
Schmieröl: <u>"SS. 902, 15. Pr."</u>								
Probenahme:		<del>10</del>	<del>20</del>	<del>30</del>	<del>60</del>	<del>90</del>	<del>100</del>	
<b>Eigenschaften der Proben</b>								
Zähigkeit bei 50°C	cSt		69,85	66,31	59,70	68,31	64,16	70,45
	°E		9,22	8,74	7,89	9,01	8,47	9,30
Wassergehalt	Gew. %		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kraftstoff- verdünnung	Gew. %		-	-	-	-	-	-
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben:</b>								
Dichte + 20°C	g/cm <sup>3</sup>		0,866	0,860	0,857	0,860	0,859	0,861
Zähigkeit bei 50°C	cSt		-	-	-	-	-	-
	°E		-	-	-	-	-	-
Aschegehalt	Gew. %		0,032	0,025	0,020	0,023	0,028	0,025
Asphaltgehalt	Gew. %		0,100	0,100	0,080	0,120	0,100	0,060
Gehalt an benzol- unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %		0,080	0,140	0,040	0,280	0,160	0,340
Neutralisationszahl	mgKOH/g		0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
Verseifungszahl	mgKOH/g		8,92	10,99	12,18	13,24	13,41	13,69
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>								
Zähigkeit bei 50°C	cSt		68,78	65,84	60,36	67,85	61,73	69,04
	°E		9,08	8,69	7,97	8,95	8,16	9,10
Aschegehalt	Gew. %		0,008	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b>								
				OMW-WERKSTOFF-FORSCHUNG				
Bearbeiter: <u>Tautenhahn</u>								
10.3.1941.								

03207

Bestvorschriften für Flugmotoren (BVM) Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung für O.N.-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 1</b> Ausgabe März 1938		
<b>Anlage 3.</b>				
<b>Ergebnisse der Laboratoriumsprüfung</b> <small>(siehe BVM 2050 bis 2116)</small> <b>des Flugmotoren-Schmieröles "S 902, 15 Fr" frisch</b>				
<b>I. Äußere Erscheinung:</b> a) Farbe: <i>bräunlich gelblich</i> b) Geruch: <i>normal</i>		<b>VI. Flammpunkt und Brennpunkt:</b> a) Flammpunkt: i.o.T. 164 °C b) Brennpunkt: i.o.T. 192 °C		
<b>II. Brechungsvermögen:</b> <i>1,4671</i>		<b>VII. Neutralisationszahl:</b> 0,045 mg KOH/g		
<b>III. Dichte bei 20° C:</b> 0,856 g/cm <sup>3</sup>		<b>VIII. Verseifungszahl und Fettgehalt:</b> a) Verseifungszahl: 18,29 mg KOH/g b) Fettgehalt: Gew. %		
<b>IV. Zähigkeit:</b> a) bei 20° C: 252,5 cSt <i>33,20 E</i> b) bei 50° C: 55,57 cSt <i>7,38 E</i> c) bei 100° C: 12,15 cSt <i>2,03 E</i> d) bei 150° C: cSt E e) Zähigkeitspolhöhe f) Richtungsfaktor m g) Zähigkeitsindex nach Dean u. Davis		<b>IX. Aschengehalt:</b> 0,015 Gew. % <b>X. Gehalt an Hartasphalt und festen Fremdstoffen:</b> a) Hartasphalt: 0,0 Gew. % b) Feste Fremdstoffe: 0,0 Gew. %		
<b>V. Kälteverhalten:</b> a) Stockpunkt: -40 °C b) Fließbeginn: °C		<b>XI. Wassergehalt:</b> 0,0 Gew. % <b>XII. Verkokung nach Conradson:</b> 0,074 Gew. % <b>XIII. Alterung nach der Indiana-Methode:</b> mg Asphalt nach Std.		
<b>XIV. Alterungsprüfung nach BVM 2055</b>				
Eigenschaften	Maß	ursprüngliches Öl	gealtertes Öl	Änderung
Dichte bei 20° C	g/cm <sup>3</sup>			
Zähigkeit bei 37,8° C	cSt E			
Zähigkeit bei 50° C	cSt E			
Verkokung nach Ramsbottom	Gew. %			

POOR COPY 2

03208

**B e r i c h t**

**über die Sitzung der Arbeitsgruppe "Schmiertechnik"  
des Fachausschusses für Maschinenelemente des VDI  
am 29. Juni 1943 in H a l l e**

**Vertrauliche Mitteilung Nr.10  
für die Mitglieder der Arbeitsgruppe "Schmiertechnik"  
des Fachausschusses für Maschinenelemente des VDI**

**Zu beachten: Eine Veröffentlichung auch von Auszügen  
oder Teilen des Berichtes, sowie Weiterleitung an Per-  
sönlichkeiten ausserhalb des Dienstbereiches des Emp-  
fängers bedarf der Genehmigung der Geschäftsstelle des  
Fachausschusses für Maschinenelemente des VDI.**

SitzungsberichtFachausschuss für Maschinenelemente

Arbeitsgruppe: Schmiertechnik

Sitzung am 29. Juni 1943

Ort: Halle

Verhandlungsleiter: Hr. Prof. Dr. Ing. E. Heidebroek  
VDI, DresdenAnwesend die Herren:

Bartel, Dr.	Kaiser-Wilhelm-Institut f. physikal. Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem, Faradayweg 4/6
Bochmann, Dr.	Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, Werner-Siemens-Str. 8/12
Dunkel, Dr.	Institut für physikal. Chemie der Univ. Halle, Halle/Saale, Mühlpforte 1
Elsner, Dr.	VDI, Berlin NW 7, Ingenieurhaus
Halder, Dipl.-Ing.	Techn. Prüfstand I.G. Oppau, Mannheim, Otto-Becker-Str. 12
Klemencic, Dr.-Ing., Dozent	Techn. Hochschule, Graz, Kopernikus-Gasse
Kluge, Dr., Reg.-Rat	Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, Werner-Siemens-Str. 8/12
Kramer, Dr., Reg.-Rat (Gast)	Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, Werner-Siemens-Str. 8/12
Morghen, J., Dr. techn., Dipl.-Ing.	Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, Berlin-Adlershof, Rudower-Chaussee 16/25
Philippovich, A. von, Dr.	Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, Berlin-Adlershof, Rudower Chaussee 16/25
Seelich, Dr., Dozent	Kaiser-Wilhelm-Institut für physikal. Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem, Faradayweg 4/6
Siebel, Präsident, Professor, Dr.-Ing.	Staatl. Materialprüfungsamt, Berlin-Dahlem, Unter den Eichen 86/87
Stuart, Professor, Dr.	Technische Hochschule, Dresden
Wolf, Direktor, Professor Dr.	Institut f. physikal. Chemie der Universität Halle, Halle/Saale, Mühlpforte 1
Zorn, Dr.	Ammoniakwerk Merseburg GmbH., Leuna Krs. Merseburg

Verhindert:

Holm, Dr.	Siemens-Schuckertwerke AG., Berlin-Siemensstadt
Pfender, Dr.	AEG-Forschungsinstitut, Berlin-Oberschöneweide
Thiessen, Professor Dr.	Kaiser-Wilhelm-Institut für physikal. Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem, Faradayweg 4/6
Brandt, Dir., Prof. Dr.-Ing.	Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung, Göttingen
Vogelpohl, Dr.-Ing.	Kaiser-Wilhelm-Institut, Berlin NW 87, Franklin-Str. 27/29

Hr. Heidebroek begrüßt die anwesenden Herren und dankt Hrn. Wolf dafür, daß er es ermöglicht hat, die Tagung in Halle durchzuführen. Dadurch hätten die Teilnehmer Gelegenheit, sein Institut kennenzulernen.

Hr. Halder berichtet über

"Verschleißmessungen",

die im technischen Prüfstand der I.G. gemacht wurden. Seine Ausführungen sind in dem anliegenden Sonderheft enthalten.

Hr. Wolf, Halle, spricht über

"Über die zwischen festen Körpern bestehende Reibung der Ruhe und der Bewegung"

### I

#### Das Problem

Überall wo feste Körper aufeinander reiben oder bei (mittelbarem oder unmittelbarem) stofflichem Kontakt gegeneinander bewegt werden, spielt, wenn die Bewegung derselben gegeneinander eingeleitet oder aufrechterhalten werden soll, neben dem Widerstand des Mediums oder der "inneren" die zwischen diesen Körpern unmittelbar wirksame "äussere Reibung" eine entscheidende Rolle. Im umgekehrten Verhältnis zu dieser ihrer Bedeutung steht die geringe Beachtung, welche der äusseren Reibung in der auf Galileischem und Newtonschem Gedanken-gut beruhenden "modernen" Physik geschenkt wird. So tut z.B. ein so verbreitetes Buch wie das "Lehrbuch der Physik" von Westphal ihrer kaum Erwähnung, das dreibändige Lehrbuch von Grimsehl-Tomaschek handelt sie auf knappen drei, Pohl im ersten Band seines Lehrbuches auf e i n e r Seite ab. In A. Sommerfelds soeben erschienener "Mechanik" tritt die periphere Beachtung, welche man der äusseren Reibung zollt, schon in der Einteilung hervor, indem der einzige, von der mechanischen Reibung handelnde Paragraph den Titel "Anhang über Reibungsgesetze" trägt, gebracht wird auch hier - neben einem Paradestück formaler Eleganz - in physikalischer Hinsicht nur Primitives.

Sowohl die grundsätzliche Frage, was Reibung überhaupt und welches die Konsequenzen ihrer Vernachlässigung in der modernen Physik seien, wie die eminent praktische Frage nach den Möglichkeiten der Verminderung der äusseren Reibung, d.h. nach den Möglichkeiten der Schmierung veranlassen uns, die Frage der äusseren Reibung und ihrer Verminderung systematisch zu untersuchen. Über erste Ergebnisse dieser Untersuchungen, die sich auf die Reibung der Bewegung (Reibungszahl  $\mu$ ) bei Verwendung von Messing als Werkstoff und Fettsäuren (bzw. deren Lösungen in unpolaren Flüssigkeiten) als Schmiermittel bezogen, wurde bereits früher (H. Dunken, I. Fredenhagen und K.L. Wolf, Koll. Z. S. 101, 21, 1942) berichtet. Seitdem sind die Untersuchungen auf eine grosse Reihe von Schmiermittelflüssigkeiten bzw. Flüssigkeitsgemischen sowie auf die Werkstoffkombinationen Messing-Glas und Glas-Glas ausgedehnt worden. Über die Ergebnisse dieser vor allem von I. Gauditz und I. Fredenhagen ausge-

führten Messungen sowie ihre Beziehungen zu gleichzeitig von H. Dunker mit einer a.a.O. beschriebenen Apparatur zur Messung der Reibung der Ruhe (Reibungszahl  $\mu_0$ ) erhaltenen Beobachtungen soll im folgenden kurz berichtet werden. Daß diese Ergebnisse im gegenwärtigen Stadium noch mehr Probleme aufwerfen als lösen, mag die Dringlichkeit ihrer Erweiterung und Vertiefung hinreichend dartun.

## II

Arten der Reibung zwischen festen Körpern

Mechanische Reibung wird gemessen als diejenige Kraft, welche aufgewandt werden muß, wenn es gilt, in unmittelbarem oder mittelbarem stofflichem Kontakt befindliche Körper gegeneinander in Bewegung zu setzen oder, falls sie bereits relativ zueinander bewegt sind, den Zustand dieser Bewegung aufrechtzuerhalten. Art und Größe der Reibung hängen dabei sowohl von der stofflichen Kombination wie von der Art der Bewegung ab.

Nach der stofflichen Kombination unterscheiden wir, wenn von der Reibung zwischen festen Körpern gehandelt wird, drei einander wesensfremde Arten der Reibung

die Trockenreibung

die Grenzreibung (oder besser Grenzflächenreibung)

die Flüssigkeitsreibung.

Diese umschreiben wir wie folgt:

a) Trockenreibung:

Stehen feste Körper miteinander unmittelbar in Berührung, so tritt Trockenreibung auf. Da bereits die Zwischenlagerung einer monomolekularen Schicht eines Fremdstoffes, ja nach Untersuchungen von Deveaux einer die Grenzfläche noch nicht einmal zusammenhängend bedeckende Fremdschicht ausreicht, die Reibung größenordnungsmäßig herabzusetzen, und da adsorptiv an feste Oberflächen gebundene Fremdstoffe nur schwer vollständig zu entfernen sind, ist der Zustand der Trockenreibung nur selten realisiert. Die Schwierigkeit, ihn im betrachtenden Versuch herzustellen, und die verhältnismäßig geringe praktische Bedeutung der Trockenreibung sind wohl auch die Ursache dafür, daß unser Wissen von der Trockenreibung nur recht spärlich ist.

Theoretisch soll für die Trockenreibung das Coulombsche Reibungsgesetz gelten, nach dem die zur Überwindung des Reibungswiderstandes erforderliche Kraft  $R$  unabhängig von der Größe der einander berührenden Flächen der Kraft  $P$ , mit welcher die beiden Körper aneinander gedrückt werden, proportional sein soll; die als Reibungskoeffizient, Reibungsbeiwert oder Reibungszahl durch die Beziehung

$$(1) \mu = R/P$$

definierte Zahl  $\mu$  soll also eine für eine bestimmte stoffliche Kombination charakteristische, von  $P$  unabhängige Größe sein.

Anlaß zum Auftreten von Trockenreibung geben sowohl grobe oberflächliche Rauigkeiten wie die unmittelbare Wirkung

zwischenmolekularer bzw. zwischenatomarer Kräfte. Die zur Überwindung des durch die Rauigkeit hervorgerufenen Reibungswiderstandes erforderliche Arbeit ist dadurch bedingt, daß bei der gegenseitigen Verschiebung von einander berührenden, oberflächlich rauhen Festkörpern diese - ähnlich wie ein über schlechtes Pflaster fahrender Wagen von der Straße - periodisch voneinander abgehoben werden und daß - vor allem bei stärkerer Rauigkeit und verschiedener Härte der miteinander in mechanischer Wechselwirkung stehenden Festkörper - aus den Oberflächen herausragende Teilchen verbogen oder abgerissen werden. Da auch bei bestpolierten Oberflächen die Rauigkeiten das Ausmaß vieler Moleküllängen haben, ist diese Art der Reibung, in deren Gefolge grobe mechanische Verformungen und Zerstörungen der Oberflächen auftreten, praktisch nie auszumischen.

Im Extremfall geringster Oberflächenrauigkeit, die etwa an vollkommenen Einkristallen beobachtet werden könnte, bleibt die grundsätzlich nicht unterschreitbare molekulare Rauigkeit bestehen; deshalb ist auch die selbst bei höchster Oberflächenglätte beobachtbare Reibung letztlich immer noch unter dem oben angeführten Bild des polternden Wagens zu verstehen. Dabei bleibt indes zu beachten, daß mit abnehmender Rauigkeit der Bruchteil der Moleküle bzw. Atome beider Körper, welche einander bis zu Entfernungen von der Größenordnung der Gitterabstände genähert werden und somit stärkere Anziehungskraft aufeinander ausüben können, immer größer wird. Da diese Kräfte mit abnehmendem Abstand sehr schnell steigen, wird bei zunehmender Oberflächenglättung schließlich die unmittelbare Wirkung der zwischenmolekularen bzw. zwischenatomaren Kräfte entscheidend. Wenn noch, wie das insbesondere bei der Wechselwirkung gleichartiger Stoffe der Fall ist, die metrischen Abmessungen der Gitter beider Festkörper kommensurabel sind (s. Bild 33), tritt schließlich unter der Wirkung der molekularen Kräfte Kaltschweißen und Fressen ein. So ist es zu verstehen, daß die Reibung oft gerade dann, wenn bestpolierte und von adsorbierten Schichten befreite gleichartige Stoffe gegeneinander reiben, besonders groß wird und zwar nicht nur, wenn der Vorgang sich im stoffleeren Raum abspielt, sondern auch wenn er in einer Atmosphäre solcher Gase verläuft, welche wie etwa Edelgase oder Stickstoff an den Oberflächen der aneinander reibenden Festkörper nicht oder nur sehr schwach adsorbiert werden.

#### b) Flüssigkeitsreibung:

Befindet sich zwischen zwei aneinander reibenden Festkörpern eine Flüssigkeit, so wird die Reibung grundsätzlich vermindert. Im Extremfall, in dem die flüssige Zwischenschicht so dick ist, daß sich in ihr der für die betreffende Flüssigkeit charakteristische molekulare bzw. übermolekulare Ordnungszustand voll entwickeln kann, wird die Reibung stets vollständig in das Innere der Zwischenschicht als den Ort kleinsten Widerstandes verlagert. Die zur Überwindung des Reibungswiderstandes zu leistende Arbeit ist dann ausschließlich Arbeit gegen die durch die Zähigkeit oder innere Reibung der Flüssigkeit bedingten Widerstände. In ihrer Größe (und Temperaturab-

hängigkeit) wird die Reibung dementsprechend entscheidend durch die Koeffizienten der inneren Reibung der Schmierflüssigkeit bestimmt.

Seiner Art nach wird das durch die Reibung im Innern der Schmierflüssigkeit hervorgerufene Geschehen - unter Absehen von der für dieses Geschehen unwichtigen, den Festkörpern nächstbenachbarten Flüssigkeitsschicht - durch die Kontinuumshydrodynamik beschrieben, wie u.a. auch die im bekannten Stribeck-Diagramm dargestellte Abhängigkeit der Reibungszahl von der Relativgeschwindigkeit  $v$  der reibenden Flächen zueinander, von der andrückenden Kraft  $P$  und von der Viskosität  $\eta$  im Gebiet der Flüssigkeitsreibung zeigt. Bei kleiner Geschwindigkeit, großen Lasten und kleinen Viskositäten treten indes systematische Abweichungen von dem bei reiner Flüssigkeitsreibung zu erwartenden Vorgang ein, die über einen Bereich, in welchem die Vorgänge im Innern der Flüssigkeit noch mitbestimmend sind (Gebiet der gemischten Reibung), schließlich in das von der inneren Reibung der Flüssigkeit unabhängige und der systematischen theoretischen Bearbeitung noch harrende Gebiet der Grenzreibung führen.

Der bei Flüssigkeitsreibung auftretende Energieverschleiß kann durch die hydrodynamische Theorie erfaßt werden. Dagegen tritt der wichtigere Materialverschleiß in ihr überhaupt nicht auf. Er dürfte ebenso wie die gesamte Grenzreibung nur auf Grund molekularer Vorstellungen zu verstehen sein.

#### c) Die Grenzreibung

Grenzreibung besteht dann, wenn der Ordnungszustand der Moleküle auch im Innern der Schmiermittelschicht ganz durch die bei der Theorie der Flüssigkeitsreibung vernachlässigte, den festen Grenzflächen unmittelbar anliegende und an diesen mehr oder weniger fest und in bestimmter Ordnung der Moleküle haftende Grenzschicht bestimmt wird; besteht bei einer Dicke der Schmiermittelschicht von nur einer oder zwei Moleküllagen die ganze Schmiermittelschicht aus den Festkörpern unmittelbar anliegenden Molekülen, so spricht man auch von Epilamenreibung.

Grenzreibung liegt u.a. vor, wenn Mangel an Schmiermittelflüssigkeit besteht, sowie stets dann, wenn die Geschwindigkeit  $v$  klein oder die anpressende Kraft  $P$  groß ist. Sie ist dementsprechend bei vielen Bewegungsvorgängen stets und bei solchen, die sich überwiegend bei hohen Geschwindigkeiten abspielen, immer dann verwirklicht, wenn etwa - wie beim An- und Auslaufen - die Geschwindigkeit  $v$  klein ist. Der Materialverschleiß ist offenbar überwiegend durch sie bedingt.

Über Art und Größe der z.B. für alle Fragen der technischen Schmierung und insbesondere für den Materialverschleiß wichtigen Grenzreibung lassen sich im allgemeinen Aussagen noch nicht machen. Es ist der Sinn der im folgenden noch zu bringenden Untersuchungen, gerade zur Klärung dieser Fragen einen ersten Beitrag zu geben.

Das durch Gl. (1) definierte Reibungszahl, die im Fall der Trockenreibung unabhängig von  $P$  ist und im Gebiet der Flüssigkeitsreibung mit wachsendem  $P$  abnimmt, steigt im Bereich der Grenzreibung mit  $P$  zunächst an. Ob sie bei großen Drucken oder kleinen Geschwindigkeiten schließlich, wie im Falle der Trockenreibung konstant wird, ist noch nicht entschieden. Messungen von Herrn Kluge sprechen dafür, Messungen von Herrn Klemencic, wenn ich diesen recht verstanden habe, dagegen. Damit bleibt auch in vollem Umfang die Frage offen, ob und wie der aus Messungen der Abhängigkeit der Reibung von der Geschwindigkeit auf die Geschwindigkeit Null extrapolierte Werte der Reibungszahl mit dem gleich noch einzuführenden Beiwert, für die Reibung der Ruhe zusammenhängt. Die Vermutung von Fräulein Jakob, daß die Reibungszahl beim Durchgang durch die Geschwindigkeit Null gleich Null sein soll, trafe indes wohl nur dann zu, wenn bis herab zur Geschwindigkeit Null der Zustand der reinen Flüssigkeitsreibung aufrechterhalten werden könnte.

d) Reibung der Bewegung und Reibung der Ruhe (oder Gleitreibung und Haftreibung)

Außer von der stofflichen Kombination hängt die Reibung von der Art und Stärke der Bewegung ab. So unterscheidet man, wenn man die Art der Bewegung ins Auge faßt, je nachdem ob die reibenden Körper aufeinander gleiten oder rollen, zwischen gleitender und wälzender Reibung. Faßt man andererseits die Größe der Bewegung ins Auge, so unterscheidet man, je nachdem ob von der Kraft die Rede ist, welche die reibenden Körper aus der Ruhe gegeneinander in Bewegung setzen, oder welche sie im Zustand vorhandener Bewegung erhalten soll, zwischen der Reibung der Ruhe und der Reibung der Bewegung. Die dabei auftauchende Frage, ob die Reibung der Bewegung beim Übergang zur Geschwindigkeit Null stetig in die Reibung der Ruhe übergeht, ist - wie bereits gesagt - noch nicht entschieden. Ich möchte indes vermuten, daß auch Reibung der Bewegung und Reibung der Ruhe wesensverschiedene Erscheinungen sind.

e) Zur Nomenklatur

Nomenklatorisch bestehen einige Gebräuche, welche - wie sich gerade in letzter Zeit wiederholt gezeigt hat - geeignet sind, Verwirrung zu schaffen:

1) Die Reibung der Ruhe wird auch als Haftreibung bezeichnet. Man dachte dabei wohl an das grober Betrachtung in die Augen springende Haften zweier aufeinander lastender Körper vor dem Übergang von der Reibung der Ruhe in die Reibung der Bewegung. Da indes auch die Grenzreibung im Zustand der Bewegung durch ein Haften, nämlich das Haften der Schmiermittelflüssigkeit am Festkörper, bedingt ist, sollte man die Bezeichnung Haftreibung für Reibung der Ruhe nicht mehr benutzen.

2) Der Name Grenzreibung gibt leicht Anlaß zu dem Mißverständnis, als handele es sich um einen Grenzwert im Sinne

einer Extrapolation. Man sollte deshalb entweder den Namen der Epilamenreibung auf das gesamte Gebiet der heute noch mit dem Wort Grenzreibung bezeichneten Reibungsvorgänge ausdehnen oder aber das Wort Grenzreibung durch Grenzflächenreibung ersetzen.

### III

#### Experimentelle Untersuchungen zur gleitenden Grenzflächenreibung

Unter den Arten der Reibung ist die Grenzflächenreibung, wie bereits betont wurde, die bisher undurchsichtigste. Sie aufzuklären, wurden experimentelle Untersuchungen in Angriff genommen, über deren erste Ergebnisse im folgenden berichtet werden soll.

##### a) Gleitreibung der Bewegung

Als einfachster mechanischer Vorgang zur Messung der gleitenden Reibung der Bewegung wurde die Reibung eines Zylinders an einer ebenen Platte gewählt. Das Schema der Meßanordnung wurde bereits a.a.O. (I. Fredenhagen, Diss. Halle 1942; H. Dunken, I. Fredenhagen und K.L. Wolf, Koll. Z. S. 101, 21, 1942) bekanntgegeben. Die lastende Kraft  $P$  kann durch Auflegen von Gewichten variiert werden; die zur Überwindung der Reibungskraft erforderliche Kraft  $R$  wird nach einer Nullmethode durch direkte Wägung bestimmt.

Auf die Fülle der experimentellen Schwierigkeiten sei nicht im einzelnen eingegangen. Es genüge der Hinweis, daß sie in erster Linie durch die laufende Zerstörung und das dadurch geforderte Neueinschleifen der reibenden Oberflächen bedingt sind sowie durch die Schwierigkeiten der Entfernung der letzten Reste einmal verwandter, gut haftender Schmiermittelflüssigkeiten, welche besonders bei der Messung von Konzentrationsabhängigkeiten systematische Fehler verursachen können. Es wird Aufgabe einer besonderen Untersuchung sein müssen, den Einfluß dieser zunächst vernachlässigten Fehlerquelle (etwa dadurch, daß die Konzentrationsabhängigkeiten sowohl im Sinne steigender wie fallender Konzentration an grenzflächenaktivem Stoff gemessen werden) aufzuklären, wobei die eine oder andere der im folgenden gebrachten Kurven noch eine Präzisierung erfahren möge. Weiter macht sich störend der Umstand bemerkbar, daß die Reibung oft und in zunächst unkontrollierbarer Weise von einem Zustand in einen anderen, offenbar von der Reibung der Bewegung in diejenige der Ruhe überspringt. Dadurch tritt Blocken der Apparatur ein, mit dem, wie Beobachtungen durch Glasplatten als Werkstoff ergaben, offenbar ein Reißen des Schmiermittelfilms verbunden ist. Dieses Blocken, das bei gewissen Schmierstoffen bzw. bei gewissen Konzentrationen von Flüssigkeitsgemischen bisweilen so stark wird, daß eine reproduzierbare Messung kaum mehr durchführbar ist, konnte schließlich nach einem Vorschlag Klemencie durch Anbringen einer zusätzlichen Dämpfung weitgehend ausgeschaltet werden. Trotz allem blieb ein verhält-

nismäßig starkes, von Schmiermittel zu Schmiermittel variierendes Streuen der Meßpunkte bestehen. Erreicht wurde vorläufig eine relativ große Genauigkeit innerhalb der meisten Meßreihen; die Absolutwerte stragen dagegen, wie stetig eingeschobene Messungen mit dem als Bezugstoff gewählten Cyclohexan zeigten, stärker.

Die Messungen wurden ausgeführt an den Werkstoffkombinationen Messing-Messing, Glas-Messing und Glas-Glas.

#### b) Gleitreibung der Ruhe

Die Reibung der Ruhe wurde mit einer von H. Dunken auf den derzeitigen Stand entwickelten, äußerst einfachen Apparatur durch Bestimmung des Neigungswinkels gemessen, bei welchem unter dem Einfluß des Eigengewichts eines auf einer Messingschiene liegenden Messingcylinders Gleiten eintritt. Auf die bereits a.a.O. behandelte Verwendbarkeit des gleichen Apparats zum Nachweis selektiver Adsorption aus Lösungen braucht im folgenden nicht eingegangen zu werden.

#### c) Ergebnisse

Den Gang der Reibungszahl  $\mu$  (Reibung der Bewegung) mit der Kettenlänge in homologen Reihen zeigen für die Werkstoffkombinationen Messing-Messing, Glas-Messing und Glas-Glas die Bilder 1 bis 3, denjenigen der Reibungszahl  $\mu_0$  (Reibung der Ruhe) für die homologe Reihe der Alkohole am Werkstoffpaar Messing-Messing Bild 4.

Die Abhängigkeit der Reibungszahl  $\mu$  vom Mischungsverhältnis (Molenbruch  $c$  des jeweils erstgenannten Stoffes) lassen für Gemische unpolarer Flüssigkeiten die Bilder 5, 6 und 7 erkennen. Die Reibung ändert sich hier entsprechend der Tatsache, daß ausgesprochene selektive Adsorption nicht vorliegen dürfte, praktisch linear mit der Konzentration. Ähnlich liegen die Verhältnisse für das Gemisch Chlorbenzol-Cyclohexan an Messing-Messing g, während bei Brombenzol entsprechend der vermutlich bestehenden Grenzflächenaktivität (s. I. Fredenhagen, Diss, Halle 1942) bereits geringe Mengen des Halogenbenzols eine verhältnismäßig starke Erniedrigung der Reibungszahl zu bedingen scheinen. Systematische Messungen der Grenzflächenaktivität und der Haftreibung sollen im Hinblick auf eine weitere theoretische Ausdeutung dieses Befundes sobald wie möglich folgen.

Komplexere Formen der Konzentrationsabhängigkeit der Reibungszahl liegen bei den Lösungen von Estern, Aminen, Alkoholen und Fettsäuren in unpolaren Flüssigkeiten vor (Bild 9-17). Das scharfe Maximum, das die Reibungszahl  $\mu$  bei kleinen Fettsäurekonzentrationen durchläuft, konnte bereits früher durch Heranziehen von Messungen der Grenzflächenaktivität an Hand eines ausgedehnten Meßmaterials auf die Verschiebung des Gleichgewichtes zwischen stark grenzflächenaktiven Säure-einer- und weniger aktiven-Doppelmolekülen zurückgeführt werden (Dunken, Fredenhagen-Wolf, Koll. Z. S. 95, 186, 1941; zusammenfassend s. K.L. Wolf, Theoretische Chemie, Teil 3, Leipzig 1943, S. 651). Bei den Alkoholen, bei denen eine nach

Größe und Art wesentlich mannigfaltigere Übermolekülbildung besteht (s. K.L. Wolf, Theoretische Chemie, Teil 3, Leipzig 1943, S. 495 ff.), dürfte die Konzentrationsabhängigkeit der Reibungszahl ähnlich bedingt sein. Ob bei Aminen und Estern Analoges vorliegt, müssen die hier noch ausstehenden Untersuchungen über Übermolekülbildung zeigen. Vor allem aber bedürfen alle in Bild 9-16 dargestellten Verhältnisse noch der Ergänzung durch die Beobachtung der Konzentrationsabhängigkeit der Grenzflächenspannung. Diesbezügliche Untersuchungen, welche genaue Messungen der "Randwinkel", die sich an der Grenzfläche zwischen Festkörper, Flüssigkeit und Dampfraum einstellen, voraussetzen, werden von Dr. v. Eichborn seit einigen Monaten vorbereitet; bis wann brauchbare Ergebnisse vorliegen werden, ist bei der Schwierigkeit der Ausführung solcher Messungen und bei den hohen Anforderungen an die Reinheit der Stoffe noch nicht abzusehen.

Der Beachtung wert erscheint, daß die (an der Werkstoffpaarung Messing-Messing beobachtete) Konzentrationsabhängigkeit der Reibungszahl  $\mu_H$  für die Alkohole, wie ein Vergleich der Bilder 15 und 16 mit den Bildern 30 und 31 zeigt, derjenigen der Reibungszahl  $\mu$  weitgehend entspricht. Von Bedeutung mag ferner die Tatsache sein, daß Schmiermittel auf die Werkstoffkombination Glas-Messing offenbar ebenso wirken wie auf Messing-Messing; man möchte vermuten, daß die Größe der Reibung durch die Besetzung bereits einer, nämlich der grenzflächenaktivsten Grenzfläche, wesentlich bestimmt wird.

Weiter ins einzelne untersucht wurde die Abhängigkeit der Reibungszahl  $\mu$  an Glas-Glas. Die Bilder 19-29 geben die Resultate der diesbezüglichen Messungen wieder. Man erkennt eine starke, offenbar durch die ausgesprochene Grenzflächenaktivität bedingte, mit wachsender Kettenlänge des polaren Stoffes zunehmende Beeinflussung der Reibungszahl durch äußerst geringe Mengen von Fettsäuren oder Alkoholen. Auch die Reibungszahl  $\mu_H$  wird, wie Beobachtungen am Werkstoffpaar Messing-Messing zeigen, durch Zusatz gerinster Mengen von Fettsäuren zu Kohlenwasserstoffen erheblich (fast um eine um Größenordnung!) herabgesetzt; aus diesen Beobachtungen muß, wie H. Dunken bereits a. a. O. mitteilte, gefolgert werden, daß die durch grenzflächenaktiven Stoff stattfindende Erniedrigung der Reibungszahl bereits dann ihren endgültigen Wert erreicht, wenn gerade soviel Fettsäure zugegeben ist, daß sich an den reibenden Flächen eine monomolekulare Schicht davon ausbilden kann. Es ist zu vermuten, daß das Werkstoffpaar Glas-Glas sich gegenüber Fettsäuren und Alkoholen entsprechend verhält. Kettenverzweigung übt auf diese Erscheinung, wie Bild 24 und 29 zeigen, einen entscheidenden Einfluß aus.

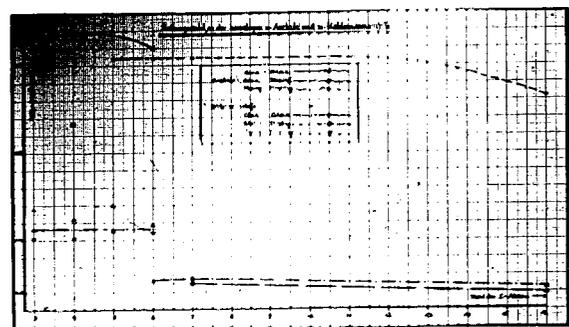
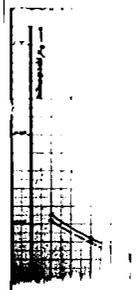
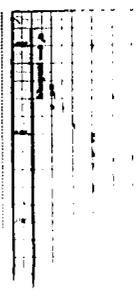
#### IV

##### Verknüpfung mit anderen Erscheinungen

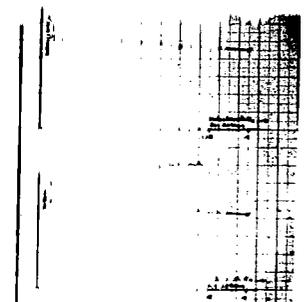
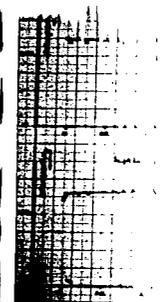
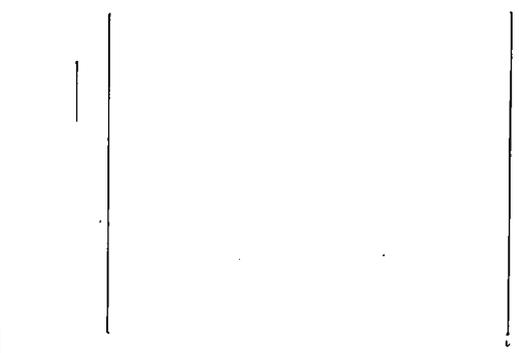
Die voranstehenden Messungen bedürfen, soll das Wesen der Grenzreibung und ihre Abhängigkeit von Schmiermittel und Werkstoff aufgeklärt werden, abgesehen von der noch zu fordernden Verbreiterung des Meßmaterials, der - in den Anfängen bereitete bestehenden - Verknüpfung mit einer Reihe von anderen, dem exakten theoretischen Zugriff und damit dem grundsätzlichen Verständnis geneigteren Erscheinungen. Auf die Bedeutung der

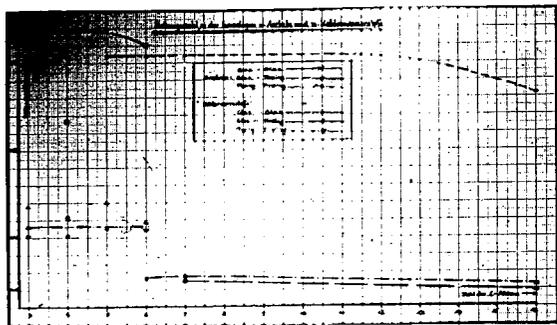
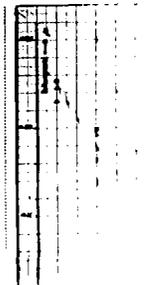
Grenzflächenspannung bzw. Grenzflächenaktivität und der Haftfestigkeit wurde bereits des öfteren (u.a. K.L. Wolf, Die Chemie Jg. 5 (1942) S. 295) hingewiesen; speziell am Beispiel der Fettsäuren könnten Zusammenhänge aufgewiesen werden (H. Dunken, I. Fredenhagen und K.L. Wolf, Koll. Z. S. 95, 186 (1941)). Für eine entsprechende Diskussion des Verhaltens der Alkohole, Ester u. dgl. bedarf das bisher benutzte Verfahren zur Messung der Grenzflächenspannung gegen Quecksilber der Verfeinerung; vorbereitende Untersuchungen dieser Art sind im Gang (Dr. v. Eichborn). Darüber hinaus müssen die Beobachtungen über Grenzflächenspannung und selektive Adsorption auf Grenzflächen gegen feste metallische und nichtmetallische Stoffe ausgedehnt werden. Entsprechende Untersuchungen, unter denen diejenigen von v. Eichborn über Randwinkel und über die Leistungsfähigkeit der Gleichungen von Dupree und Young sowie diejenigen von H. Harms und E. Baschant (s. Koll. Z. (1943) S. 103, 202) über die Rangfolge der selektiven Adsorption und die Dichte der Belegung einer Grenzschicht mit Fremdmolekülen ("Besetzungszahlen") einen breiteren Raum einnehmen, sind im Gange. Sie dürften, da metrische Beziehungen zwischen Gitterabständen und Molekülabmessungen, wie besonders neuere Untersuchungen von A. Neuhaus über orientierte Aufwachsung (s. Bild 33) zeigen, eine entscheidende Bedeutung für die Ausbildung von Grenzflächenschichten und für deren Haftfestigkeit zukommen dürfte, wesentliche Gesichtspunkte für das Verständnis des unterschiedlichen Verhaltens der gleichen Schmiermittel an verschiedenen Werkstoffen erbringen. Die Verbindung mit Herrn Neuhaus ist seit längerer Zeit bereits aufgenommen. Daß neben dieser Abstimmung der Metrik der innermolekularen und innerkristallinen Abstände auch Größe und Art des Polmomentes der zu adsorbierenden Moleküle auf Zustandekommen und Eigenschaften der Grenzflächenschichten Einfluß haben, konnte in einer theoretischen Untersuchung kürzlich (H. Dunken, Z. S. phys. Chem. im Erscheinen) gezeigt werden.

Die Messungen der Reibungszahlen bedürfen ferner Ergänzung durch qualitative und quantitative Untersuchungen über die Abhängigkeit des Werkstoffverschleißes vom Schmiermittel. Orientierende Untersuchungen (I. Gauditz, im Erscheinen begriffene Hallesche Diss.) ergaben, daß zwischen beiden Größen kein unmittelbarer Zusammenhang besteht. Durch Verknüpfung dieser Befunde mit Messungen von v. Engelhard über Schleifhärte (Göttinger Nachrichten 1942), welche ebenfalls einen deutlichen Zusammenhang mit Grenzflächenspannung und Übermolekülbildung erkennen lassen, dürfte hier, vor allem durch Ausdehnung des v. Engelhardschen Verfahrens auf Metalle, weitere Klarheit gewonnen werden. Die Arbeitsverbindung mit Herrn v. Engelhard ist bereits aufgenommen. Zugehörige Untersuchungen über Übermolekülbildung werden in Fortsetzung früherer Arbeiten (zusammenfassende Darstellung s. K.L. Wolf, Theor. Chemie, Teil 3, Stück I, § 4) durchgeführt, über ihre Ergebnisse wird a. a. O., §. auch G. Metzgers im Erscheinen begriffene Hallesche Diss.) zusammenhängend berichtet werden.

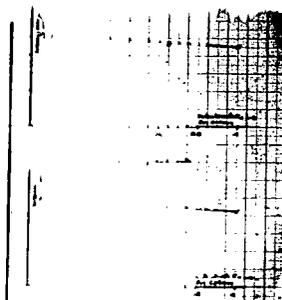
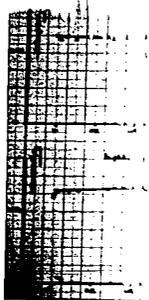


01110



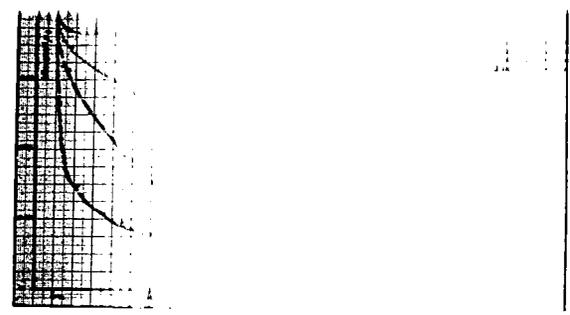
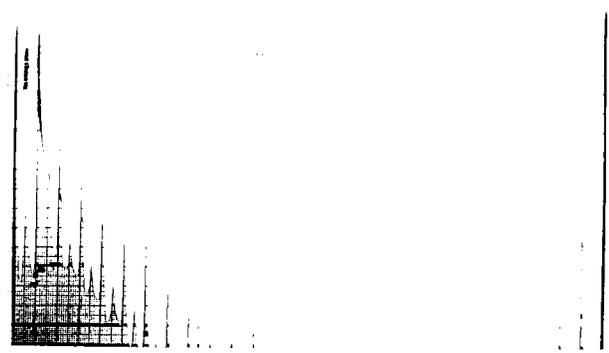
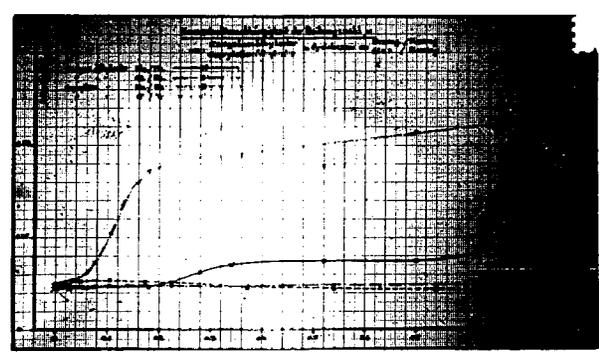
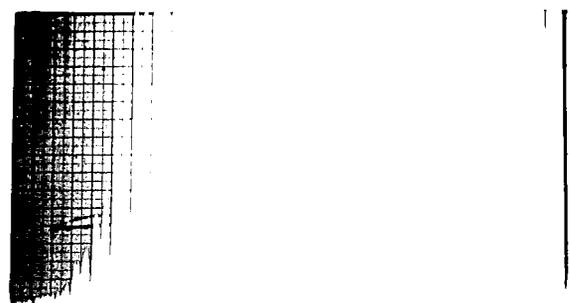
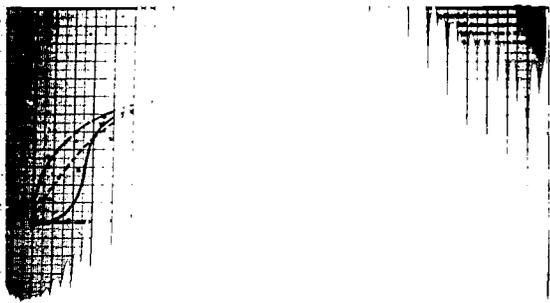


01113

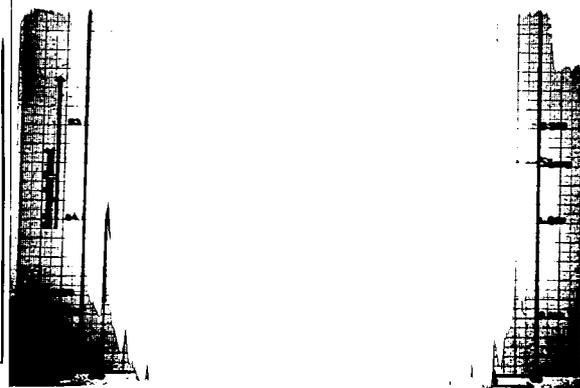
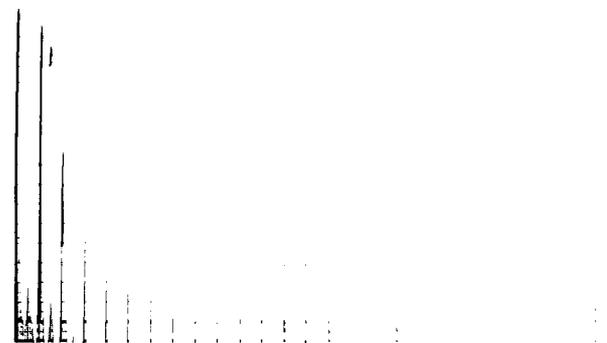
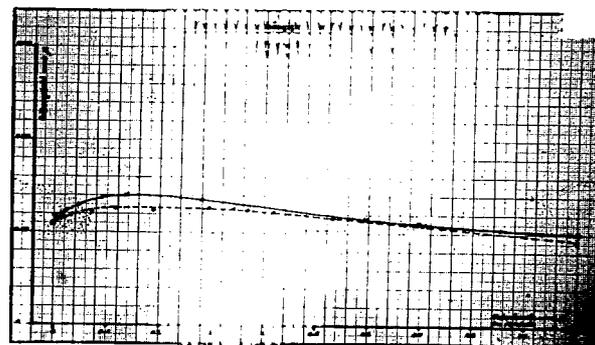
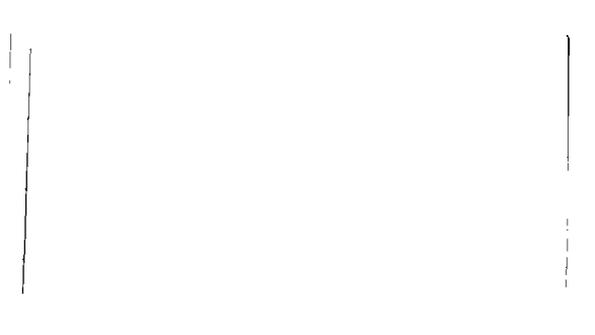
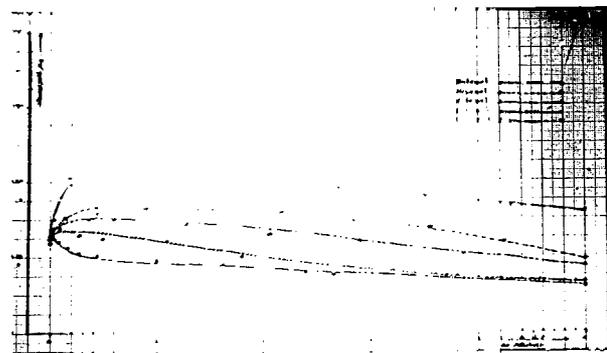
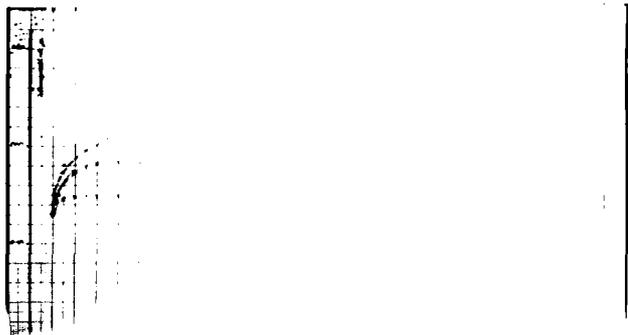


POOR COPY

3



POOR  
COPY 3

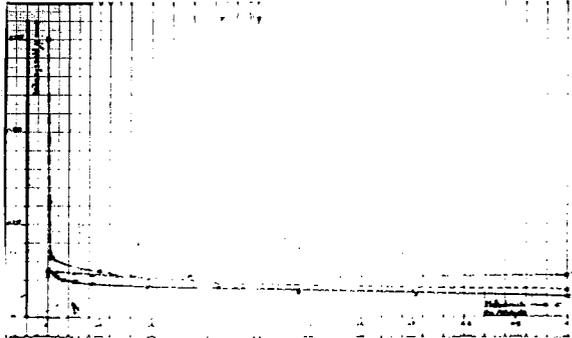


POOR  
COPY

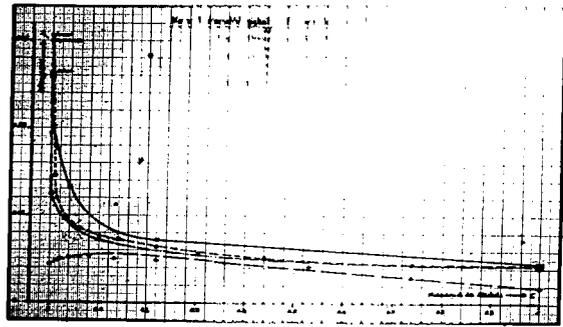
3

POOR  
COPY

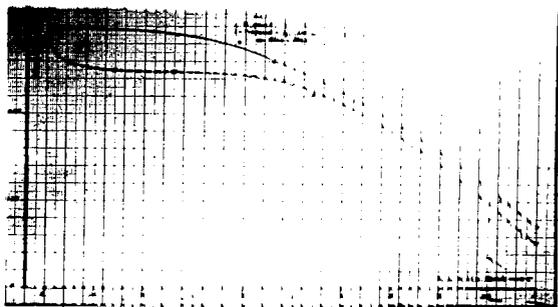
3



DATA 27



DATA 28



DATA 29

POOR  
COPY

3

03224

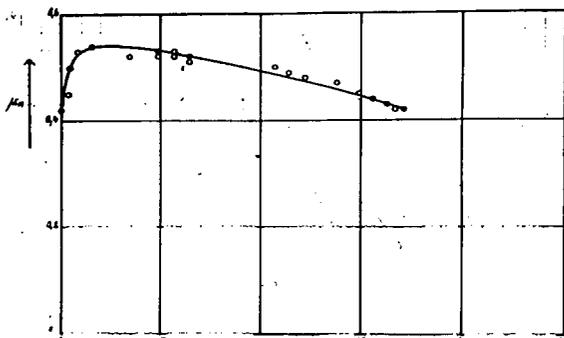


Abb. 31  
Konzentrationsabhängigkeit der Brechzahl von Ethylalkohol

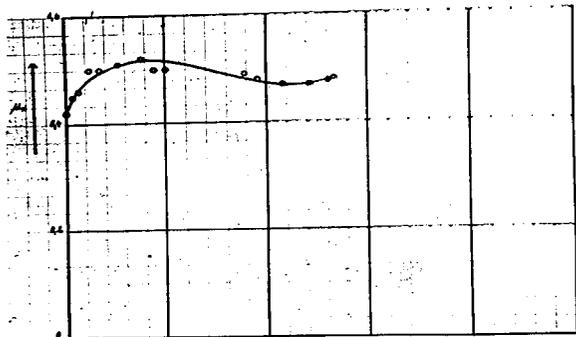


Abb. 32  
Konzentrationsabhängigkeit der Brechzahl von i-Amylalkohol

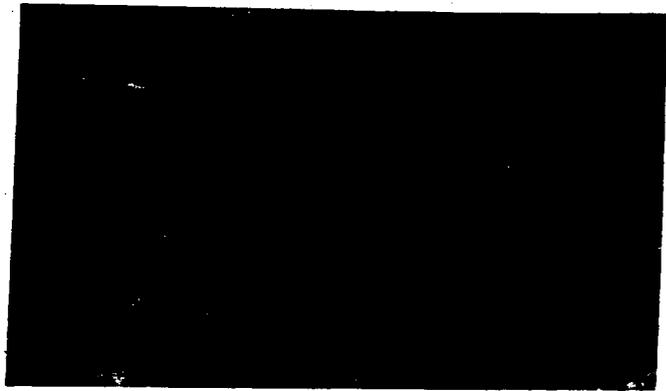


Abb. 33  
Orientierte Aufwachsung von Kaliumjodid auf Glimmer

POOR COPY 3

Hr. Heidebroek dankt den Herren für die Berichte und gibt der Hoffnung Ausdruck, daß die Untersuchungen von Hrn. Wolf manche Aufklärung über die noch ungeklärten Vorgänge der Grenzreibung bringen werden.

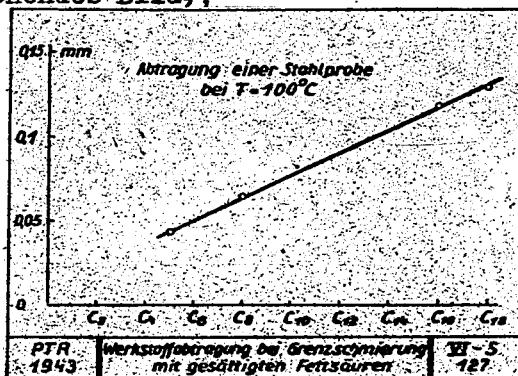
Zum Problem der "Haftreibung"

gibt Hr. Bärtel, Berlin, einen kurzen Bericht. Nähere Einzelheiten können erst Ende des Jahres gemacht werden, wenn die laufenden Untersuchungen weiter fortgeschritten sind.

Hr. Kluge, Berlin, gibt zu den Ausführungen des Hrn. Halder folgenden Beitrag:

Die von Hrn. Halder mitgeteilten Versuche an seiner Verschleiß-Prüfmaschine ergaben bei Verwendung aufgerauter Stahl-Gleitflächen in Übereinstimmung mit früheren Beobachtungen der Reichsanstalt für ein Fettöl (Rüböl) eine wesentlich größere Werkstoffabtragung als für ein reines Zusatzfreies Mineralöl. Darüber hinaus ordnen sich die von Halder untersuchten Ester zwischen dem Rüböl und dem Mineralöl ein. Diese Einordnung ist nach den Untersuchungen der Reichsanstalt ein besonderes Kennzeichen für den Zustand der Grenzschmierung, der offenbar durch die Aufrauung der Stahlgleitfläche bei der genannten Verschleißprüfmaschine nahezu vollkommen erreicht ist.

Neuere Untersuchungen der Reichsanstalt an chemisch einheitlichen Stoffen zeigen nun, daß die Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung sehr stark von der polaren Natur des jeweiligen Schmiermittels abhängt. So ergaben die gesättigten Fettsäuren eine größere Werkstoffabtragung als die entsprechenden Alkohole, und diese wiederum führen zu größeren Werten als die Kohlenwasserstoffe. Außerdem wurde ein deutlicher Einfluß der Kettenlänge festgestellt. Messungen an dem Werkstoffpaar Stahl-Stahl ergaben z.B., daß die Werkstoffabtragung bei den homologen gesättigten Fettsäuren mit der Kettenlänge zunimmt (vgl. nebenstehendes Bild).



während bekanntlich die Reibungszahl mit der Kettenlänge abnimmt. Die Beobachtungen über die Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung stehen nun offenbar in einem gewissen Zusam-

03226

- 12 -

menhang mit den Untersuchungen, wie sie von Engelhard über die Schleifhärte von Quarz bei verschiedenen Schleifflüssigkeiten durchgeführt hat. Wahrscheinlich kann unter gewissen Voraussetzungen die Abtragung metallischer Werkstoffe bei Grenzschmierung ebenso als ein Vorgang aufgefaßt werden, wo fortgesetzt Benetzungsarbeit an den neu gebildeten Abriebteilchen aufgebracht werden muß, die aber umso kleiner ist, je kleiner die Grenzflächenspannung des Systems Flüssig - Fest ist. Somit ist verständlich, daß polare Schmiermittel bzw. Schmiermittelzusätze eine größere Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung ergeben als unpolare. Andererseits scheint der Einfluß der Kettenlänge innerhalb einer homologen Reihe für die Wirkung der unterschiedlichen Grenzflächenaktivität zu sprechen. Die Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung ist somit nicht nur technisch von großer Bedeutung, sondern sie wird auch geeignet sein, den physikalisch-chemischen Grundvorgang der Schmierung wesentlich aufzuklären. Wie weit die vorstehenden Überlegungen eine allgemeinere Gültigkeit haben, wird zur Zeit in der Reichsanstalt durch entsprechende Versuche an anderen Werkstoffen überprüft. Außerdem muß noch beachtet werden, daß bei dem technischen Schmiervorgang auch mikrochemische Wirkungen zwischen dem Schmiermittel bzw. Zusatz und dem Lagerwerkstoff eine Rolle spielen.

Um die verschiedenen Schmiermittel-Prüfeinrichtungen genauer in ihrer Wirkung zu erfassen, wurde bereits auf der letzten Ausschusssitzung am 4.3.1943 vorgeschlagen, Vergleichsmessungen mit den sogenannten H-Ölen durchzuführen. Mit Rücksicht auf die vorstehend kurz beschriebenen Versuche wäre zu erwägen, ob man die genannten Vergleichsöle noch durch bestimmte chemisch-einheitliche Stoffe ergänzen soll.

Hr. Seelich, Berlin, weist auf die Arbeit von Engelhard in der Kolloid-Zeitschrift Heft 101/1943 hin und glaubt, daß der Teilchenabstand abhängig ist vom molekularen Kraftfeld im Sinne der Engelhard'schen Ausführungen. Versuche über das Sedimentvolumen von Eisenpulver in verschiedenen Suspensionsmitteln haben gezeigt, daß das Sedimentvolumen eines Pulvers in Hexan oder Heptan durch Zusatz von gewissen Stoffen beeinflusst werden kann und zwar im Sinne einer Verminderung des Volumens. So vermindern z. B. Spuren von Stearinsäure das Volumen um bis zu 25%. Alkohol hat einen geringen Effekt in der Größenordnung von 3%.

Hr. Heidebroek dankt den Herren für ihre Ausführungen und stellt die Aufgabe, zu überlegen, ob an eine Gesetzmäßigkeit für gewisse verwandte Stoffe ohne weiteres geglaubt werden kann. Die Reibungsschwierigkeiten wären zu klären, ebenso die Veränderlichkeit der Metalle. Hr. Heidebroek stellt dann fest, daß die Gedanken sich immer mehr von dem Problem der Schmierung auf das Problem des Verschleißes hinüberschieben und u. U. eine Kollision mit dem von Hrn. Siebel geleiteten Verschleiß-Ausschuß entstehen könne.

Hr. Siebel möchte auf alle Fälle Doppelarbeit vermieden wissen. Die Arbeiten sollen möglichst zusammengefaßt werden. Es könnte für die beiden Ausschüsse eine Trennung gemacht werden zwischen der Trockenreibung, die sehr stark im Ver-

schleissausschuß verfolgt wird, und dem Verschleißproblem bei der reinen Ölschmierung.

Hr. Philippovich verweist auf die Ausführungen von Hrn. Halder und ist der Meinung, daß die Trennung nicht ohne weiteres einzuhalten sei und es notwendig ist, auf die Erfassung der Prüfmaschinen die Aufmerksamkeit zu richten, diese zu vergleichen und einheitliche Prüfmethode aufzustellen.

Am Nachmittag hielt Herr. Kramer folgendes Referat:

"Die nichtmetallische Phase bei den Metallen und die Beilby-Schicht"

Inhaltsangabe:

1. Einleitung: Die Oberfläche der Metalle.
2. Die nichtmetallische Phase und die Beilby-Schicht.
3. Die nichtmetallische Phase in den Gleitebenen.
4. Nachweis der nichtmetallischen Phase durch die Umwandlungsenergie.
5. Die nichtmetallische Phase im Gleitlager.
6. Schluß: Der metallische Zustand.

1. Einleitung: Die Oberfläche der Metalle. Die Ansichten über den Zustand der Oberfläche der Metalle und seine Veränderung durch die Bearbeitung sind immer noch geteilt, obwohl in den letzten Jahren mit den modernsten Hilfsmitteln intensiv an diesem Problem gearbeitet worden ist. In Deutschland vor allem neigt man dazu, die Besonderheiten an der Oberfläche der Metalle durch Oxydation, Gasadsorption oder andere chemische Vorgänge, im wesentlichen also durch Fremdatome zu erklären, während in England und Amerika anscheinend überwiegend die Ansicht vertreten ist, der Aufbau der Oberfläche des Metalls unterscheidet sich von dem im Innern. Beilby hat die Behauptung aufgestellt, daß sich beim Bearbeiten der Metalloberfläche, besonders also beim Polieren eine *a m o r p h e* Oberflächenschicht bildet, die etwa als fest-flüssig anzusehen sei.

2. Die nichtmetallische Phase der Metalle und die Beilby-Schicht. Ich bin von einer andern Seite an dieses Problem herangeführt worden, und zwar von den dünnen Metallschichten her, an denen besonders der Hall-Effekt untersucht werden sollte. Es stellte sich bei diesen Untersuchungen heraus, daß sich jedes Metall unter geeigneten Bedingungen in eine nichtmetallische Phase abbauen läßt, die den elektrischen Strom nicht leitet. Weiter stellte sich heraus, daß diese anomale Phase - genügend dicke Schichten vorausgesetzt - bei einer für jedes Metall charakteristischen Temperatur, der Umwandlungstemperatur, in das normale Metall übergeht. Die dabei auftretenden Leitfähigkeitssprünge können bis 8 Größenordnungen betragen und müssen im Idealfalle noch weit größer sein. Das Verhalten des Selen oder des Antimons oder anderer Halbmetalle, bei denen solche

Umwandlungen schon bekannt waren, ist also keine Besonderheit, sondern eine allgemeine Eigenschaft des metallischen Zustandes. Die nichtmetallische Phase des Silbers und die des Tellurs beispielsweise unterscheiden sich nur durch die verschiedenen großen Schwierigkeiten bei der Herstellung. Je besser der metallische Charakter eines Elements ausgebildet ist, desto schwieriger ist die Herstellung der nichtmetallischen Phase, und die Umwandlungstemperatur liegt um so tiefer, je besser das Metall den elektrischen Strom leitet.

Bei meinen ersten Untersuchungen habe ich die anomale Phase "amorph" genannt, erstens, weil die schon bekannten anomalen Phasen der Halbmetalle unter dieser Bezeichnung angegeben wurden, zweitens, weil Röntgenaufnahmen an den durch Kathodenzerstäubung hergestellten Schichten keine Linien zeigten. Ich hoffe aber, daß in dieser Angelegenheit noch nicht das letzte Wort gesprochen ist, vielmehr ist anzunehmen, daß auch in dieser Phase die doch vorhandenen Kräfte bei entsprechender Behandlung zu einem geordneten Aufbau ausreichen. Vorläufig ist diese Frage noch unwesentlich, das Wesentliche ist, daß diese Phase nichtmetallisch ist und sich grundsätzlich im Aufbau und in den Eigenschaften vom normalen Metall unterscheidet.

Weiter habe ich dann die Behauptung aufgestellt, daß der Abbau des normalen Metalls zur nichtmetallischen Phase auch durch mechanische Bearbeitung möglich ist, und daß daher die Beilby-Schicht mit dieser Phase identisch ist. Meine Aufgabe bei diesem Problem war also, zu zeigen, daß die Beilby-Schicht die Eigenschaften besitzt, wie ich sie an meinen nichtmetallischen Schichten, die hauptsächlich durch Kathodenzerstäubung gewonnen waren, gefunden hatte, und besonders, daß auch die Beilby-Schicht durch Erwärmen auf eine für jedes Metall charakteristische Umwandlungstemperatur in das normale Metall übergeführt werden kann.

Untersuchungen dieser Art, die sich auf Leitfähigkeitsmessungen bezogen, wurden an polierten Platinfolien und Platinstiften ausgeführt. Ein langer polierter Platinstift kann durch diese Bearbeitung oberflächlich so weitgehend in den nichtmetallischen Zustand übergeführt werden, daß er bis zu beträchtlichen Voltzahlen technisch isoliert. Beim Erwärmen über die Umwandlungstemperatur, die bei Platin bei 230°C liegt, hört das hohe Isolationsvermögen irreversibel auf. Es sei erwähnt, daß auch das gefürchtete Kontaktrauschen sicher zu einem Teil auf die Bildung der nichtmetallischen Phase im Betrieb selbst durch die gegenseitige Bearbeitung der Kontaktflächen zurückzuführen ist. Die am Kontakt liegende Spannung schwankt zwischen der Durchschlagsspannung der nichtmetallischen Schicht und dem Spannungsabfall in der sich beim Durchschlag bildenden Brücke hin und her, da diese Brücke immer wieder durch Bewegungen in atomaren Dimensionen zerstört wird. Diese Verhältnisse lassen sich auch makroskopisch in einer nichtmetallischen Kohleplatte, die übrigens isoliert wie Glas, reproduzieren. Eine technische Anwendung hat die nichtmetallische Oberflächenschicht schon vor Jahren

im Fritter gefunden, bei dem das Isolationsvermögen bis zu einer bestimmten Spannung zum Nachweis elektrischer Wellen benutzt wurde. Ein kleiner Versuch möge die Wirksamkeit der nichtmetallischen Phase im Fritter näher dartun. (Abb. 1) In einer ausgepumpten und abgeschmolzenen Apparatur aus Jenaer Glas können Nickelspäne im Rohr links erhitzt werden, in der Kugel in der Mitte nach Art der Kugelmühle mit Nickelkugeln bearbeitet und im Fritter rechts auf Leitfähigkeit untersucht werden. Die erhitzten Nickelspäne zeigen keine Fritterwirkung. schon bei den kleinsten Spannungen fließt ein Strom, Kurve a. Wird jetzt das Gut in der Kugelmühle eine Stunde bearbeitet, ist die Fritterwirkung ausgezeichnet: bis 6,5 Volt fließt kein Strom, oberhalb dieser Spannung kommt es zum Durchschlag der nichtmetallischen Oberflächenschicht, so daß dann auch bei kleinen Spannungen ein Strom fließt, bis durch Erschütterungen die Strombahn unterbrochen wird. Durch Erwärmen kann diese nichtmetallische Schicht wieder zum Verschwinden gebracht werden, wodurch auch die Fritterwirkung verschwindet, Kurve c. Auch durch Stehenlassen kommt eine Fritterwirkung nicht wieder zustande, Kurve d, es ist nur eine Verschiebung zu beobachten, die auf Adsorption der Gasreste zu schieben sein wird, aber der Strom setzt schon bei kleinen Spannungen ein. Man kann übrigens die geschilderten Verhältnisse auch makroskopisch reproduzieren, indem man an eine mehrere Millimeter dicke Platte aus nichtleitendem Kohlenstoff, der mit der nichtmetallischen Phase der Metalle identisch ist, eine entsprechend hohe Spannung legt. Auch dann bilden sich beim Durchschlag leitende Brücken, die durch Erschütterungen unterbrochen werden. Die nichtmetallische Phase des Kohlenstoffs leitet den elektrischen Strom nicht besser als Glas, die Umwandlungstemperatur, bei der die metallische Phase, das ist der Graphit, auftritt, liegt bei 600°C. Es bestehen keine prinzipiellen Unterschiede etwa in der nichtmetallischen Oberflächenschicht des Nickels oder der nichtmetallischen Phase des Kohlenstoffs.

3. Die nichtmetallische Phase in den Gleitebenen. Die hier geschilderten Versuche und weitere Ergebnisse an dünnen Schichten und an der Oberfläche der Metalle zeigen, daß die Beilby-Schicht existiert, aber sie ist ganz etwas anderes, als das was sich Beilby und andere darunter vorgestellt haben. Wenn man sich dabei nur auf Versuche an der Oberfläche der Metalle berufen könnte, bestände immer noch die Möglichkeit, alle Anomalitäten auf Gasbeladung, Oxydation oder andere Erscheinungen zurückzuführen, die Oberfläche ist immer noch ein sehr unerforschtes Gebiet. Nun hat man aber gerade bei den Metallen die Möglichkeit, sich von diesen Schwierigkeiten weitgehend frei zu machen. Man kann die Bearbeitung eines Metalles nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Inneren in den Gleitebenen vornehmen. Zwar ist die nichtmetallische Phase in engen Kontakt mit dem normalen Metall immer instabil, so daß auch unterhalb der Umwandlungstemperatur ein allmählicher Übergang in den normalen Zustand stattfindet, da aber diese Umwandlung bei genügendem Abstand von der Umwandlungstemperatur nur langsam vor sich geht, müßte bei

intensiver Bearbeitung der Metalle in den Gleitebenen die nichtmetallische Phase an einer Unstetigkeit bei der Umwandlungstemperatur nachgewiesen werden können.

Versuche zu diesem Punkt wurden mit Nickel vorgenommen, das bis zum Zerreißen des Materials gewalzt wurde. Anschließend wurde das gewalzte Blech bei verschiedenen Temperaturen in Paraffinöl angelassen und jedesmal der Widerstand in Eis bestimmt. Das Ergebnis dieser Versuche ist in Abbildung 2 wiedergegeben. Die früher an dünnen Schichten bestimmte Umwandlungstemperatur tritt auch hier in einem Knick in die Erscheinung. Es ist auch der instabile Anteil an einer kleinen Leitfähigkeitsverbesserung unterhalb der Umwandlungstemperatur zu erkennen.

Weit intensiver müßte sich in den Gleitebenen der Metalle die nichtmetallische Phase dann bilden, wenn die Bearbeitung nicht durch plastische Verformung, sondern durch Wechselbeanspruchung vorgenommen wird. Wir kommen damit zu dem technisch außerordentlich wichtigen Gebiet der Wechselfestigkeit, also der Tatsache, daß ein Metall bei wechselnder Belastung nur einen Bruchteil der Belastung beim statischen Zerreißenversuch aushält. Dieses Gebiet, auf dem bisher nur sehr wenig physikalisches Material vorliegt, gehört zu den wichtigsten der Technik überhaupt, da fast alle Brüche in der Praxis Ermüdungsbrüche infolge Werkstoffzerrüttung durch Wechselbeanspruchung sind. Unsere Folgerungen bezüglich der nichtmetallischen Phase bei Wechselbelastung wurden an wechseltordierten Eisenproben geprüft, und zwar in gleicher Weise wie an der plastisch verformten Nickelprobe. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 zu sehen, die sowohl den instabilen Anteil als auch die Umwandlungstemperatur und damit das Bestehen der nichtmetallischen Phase erkennen läßt.

Mit diesen Versuchen ist aber noch nicht erwiesen, daß die nichtmetallische Phase auch für die technisch allein interessierende Wechselfestigkeit verantwortlich ist, sie könnte eine belanglose Nebenerscheinung sein. Wenn sie auch für die Werkstoffzerrüttung, also den Ermüdungsbruch verantwortlich ist, müßte die Umwandlungstemperatur auch in der Temperaturabhängigkeit der Wechselfestigkeit in die Erscheinung treten. Auf diesem Gebiete liegen schon genügend Messungen für Eisen und Stahl vor, um diese Folgerung zu prüfen. In der Abbildung 4 ist die Temperaturabhängigkeit der Wechselfestigkeit für zwei Stahlsorten nach einer Tabelle aus dem Handbuch der Werkstoffprüfung Bd. 2, herausgegeben von Siebel, angegeben. Das Minimum kommt mit einer Deutlichkeit zum Ausdruck, die nichts zu wünschen übrig läßt, auch wenn der scharfe Knick experimentell nicht faßbar sein sollte. Nachgeprüft wurde dieser Befund - allerdings nach einem abgekürzten Verfahren - an Nickel, und auch dort zeigt die Wechselfestigkeit bei der Umwandlungstemperatur ein sehr ausgeprägtes Minimum bei der Umwandlungstemperatur, wie Abbildung 5 zeigt. In noch stärkerem Maße kommt die überragende Bedeutung der Umwandlungstemperatur und damit der nichtmetallischen Phase auch für die technischen Eigenschaften des Stahls dann zum Ausdruck, wenn das Verhältnis von Wechselfestigkeit

zu statischer Festigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur aufgetragen wird, wie es ebenfalls nach einer Tabelle des Handbuchs der Werkstoffprüfung in Abbildung 6 geschehen ist. Nach derselben Quelle ist in Abbildung 7 die Dehnung bei einer Schwellbelastung in Abhängigkeit von der Temperatur wiedergegeben. In der Nähe der Umwandlungstemperatur verhält sich der Stahl unter den angegebenen Verhältnissen beinahe wie ein spröder Körper.

4. Nachweis der nichtmetallischen Phase durch die Umwandlungsenergie. Nach diesen Versuchen kann man wohl sicher schließen, daß die nichtmetallische Phase der Metalle -- man stoße sich nicht an dem im Wortgebrauch liegenden Widerspruch -- existiert und daß sie sowohl an der Oberfläche als auch im Innern in den Gleitebenen von größter technischer Bedeutung ist. Alle diese Untersuchungen, die sich auf die nichtmetallische Phase in engster Nachbarschaft zum normalen Metall beziehen, sind ausserordentlich dadurch erschwert, daß die Eigenschaften des normalen Metalls die des kleinen Anteils an nichtmetallischer Phase sehr leicht überdecken. Das ist der Fall bei Leitfähigkeitsmessungen, bei Röntgenaufnahmen und auch bei Elektronenbeugungsversuchen. Es gibt unter diesen Umständen keine genügend empfindliche Methode zum Nachweis der nichtmetallischen Phase. Das ist auch der Grund dafür, daß sich diese Phase so lange der Auffindung entziehen konnte. Durch Zufall bin ich auf eine Methode gestoßen, deren Empfindlichkeit nicht mehr zu überbieten ist, da sie kleinste Bereiche an nichtmetallischer Phase nachweisen kann, ohne daß das normale Metall stört. Der Übergang vom nichtmetallischen zum normalen Zustand ist ein stark exothermer Vorgang, wie schon die Bezeichnung "explosibles" Antimon besagt. Es hat sich nun herausgestellt, daß ein Geiger-Spitzenzähler und das Zählrohr auf die bei der Umwandlung freiwerdende Energie ansprechen, und zwar durch Abgabe von Elektronen und Quanten. Wenn auch die genau physikalischen Vorgänge dabei noch nicht geklärt sind, so läßt sich auf Grund dieser Beobachtung ein ideales Gerät zum Nachweis der nichtmetallischen Phase herstellen.

Bekanntlich besteht der Spitzenzähler aus einem Gehäuse, in das isoliert eine "Spitze" eingeführt ist, die gewöhnlich aus einem dünnen Platin-Draht mit angeschmolzener Kugel besteht. Es wird dann an das Gehäuse und die Spitze eine je nach Gasfüllung und Druck verschieden hohe Spannung angelegt, so daß ein Überschlag gerade nicht eintritt. Wird nun ein Elektron, ein Quant oder ein anderes ionisierend wirkendes Teilchen hereingeschossen, entsteht ein Stromstoß, der im Elektrometer direkt nachgewiesen werden kann, oder der über einen Verstärker einem Lautsprecher oder einem Registriergerät zugeleitet wird. Beim Zählrohr liegt die Spannung zwischen einem Rohr und einem axial ausgespannten Draht. Wird die Umwandlung der nichtmetallischen Phase in diesen Geräten vorgenommen, so kann man aus der Zahl der Stromstöße, die bei unsern Versuchen als Ausschläge im Elektrometer und als Knacke im Lautsprecher nachgewiesen wurden, auf den Zustand der Schicht oder der Oberfläche schließen.

In einigen Beispielen soll jetzt gezeigt werden, in welcher Weise die neue Methode für Metalluntersuchungen eingesetzt werden kann und welche Ergebnisse die ersten Versuche damit gezeitigt haben. Für die hier beschriebenen Versuche wurde der Spitzenzähler benutzt. Die Gasfüllung bestand aus Wasserstoff von etwa 10 cm Hg, die Spitze war positiv. Ihr gegenüber befand sich die zu untersuchende Platte, die mit einem kleinen elektrischen Ofen erwärmt werden konnte. Die Temperatur wurde mit einem Thermoelement gemessen.

In der Abbildung 8 ist für Eisen und Nickel die Zahl der Ausschläge in Abhängigkeit von der Temperatur der Platte angegeben. Die Oberfläche dieser Metalle war durch Schmirgeln und Polieren mit dem Polierachat bearbeitet worden. Man erkennt, daß mit dem Überschreiten der Umwandlungstemperaturen ein starker Anstieg der Ausschlagszahlen verbunden ist, ein Zeichen für das Bestehen einer nichtmetallischen Oberflächenschicht. Beim Nickel erkennt man weiter noch einen kleinen Anteil an instabiler Mischung mit normalem Metall, wie aus dem kleinen Anstieg schon unterhalb der Umwandlungstemperatur zu entnehmen ist. In der Abbildung 9 ist dieselbe Messung für bearbeitetes Antimon wiedergegeben. Auch hier ist der Anstieg sehr deutlich, aber die Unterschiede vor und nach der Umwandlungstemperatur sind nicht so groß wie beim Eisen und Nickel. Obwohl gerade Antimon in dünnen Schichten besonders leicht in den nichtmetallischen Zustand übergeführt werden kann, läßt es sich durch mechanische Bearbeitung an der Oberfläche des massiven Metalls nur schwer in diesen Zustand bringen, da das spröde Metall bei der Bearbeitung wegsplittert. Diese Messungen bestätigen also die früheren Ergebnisse, die sich auf dünne Schichten und die Oberfläche des normalen Metalls bezogen und im allgemeinen durch Leitfähigkeitsbestimmungen ausgeführt wurden, auf das beste.

Die Methode wurde weiter benutzt, den Einfluß einer technischen Bearbeitung der Oberfläche auf das Metall zu untersuchen, ein Gebiet, dem in dieser Beziehung bisher überhaupt nicht beizukommen war. In der Abbildung 10 ist zum Beispiel eine gedrehte Eisenplatte untersucht, die besagt, daß durch diese Bearbeitung sowohl eine instabile Mischung von normalem Metall mit der nichtmetallischen Phase entsteht, als auch eine nichtmetallische Phase, die beim Erreichen der Umwandlungstemperatur in das normale Metall übergeht. Der instabile Anteil würde auch ohne Erwärmen verschwinden, wenn lange genug gewartet würde, die Kurve würde dann etwa die Form der gestrichelten annehmen. Die Abbildung 11 zeigt Beispiele dafür, daß einmal der instabile Anteil überwiegen kann, das andere Mal die bis zur Umwandlungstemperatur stabile nichtmetallische Phase. Der Unterschied zwischen geschmirgelten, sandgestrahlten und gelappten Platten ist bei diesen Versuchen nicht sehr groß.

Die nächste Abbildung 12 deutet eine weitere Möglichkeit für Anwendung des Spitzenzählers für Metalluntersuchungen an, wobei sich ebenfalls ganz neue und überraschende Effekte ergaben. Bei diesem Versuch ist eine Kupferplatte geschmirgelt

03233

und dann möglichst schnell in den Spitzenzähler eingesetzt. Die Zahl der Ausschläge ist, ohne Temperaturerhöhung zunächst sehr groß, sie nimmt aber zunächst schnell, später mit einer "Halbwertszeit" von etwa 35 Stunden ab. Ein Metall, das in irgend einer Weise bearbeitet wird, "lebt" also noch nach Tagen. Wird eine so bearbeitete und "abgeklungene" Kupferplatte im Spitzenzähler erwärmt, steigt die Zahl der Ausschläge mit steigender Temperatur wieder an, wie in der Abbildung 13 angegeben ist.

Bei den bisher beschriebenen Versuchen findet die Untersuchung im Spitzenzähler *n a c h* der Bearbeitung statt. Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, *w ä h r e n d* der Bearbeitung ein Metall im Spitzenzähler oder im Zählrohr zu untersuchen. Die Effekte müßten dann noch größer sein, oder es lassen sich noch kleinere Bearbeitungen nachweisen. Wie schon oben gesagt wurde, soll sich auch bei plastischer Verformung die nichtmetallische Phase bilden, die in Gegenwart des normalen Metalls weitgehend instabil ist. Es liegt nahe, diese Behauptung auch im Spitzenzähler zu prüfen. Zu dem Zwecke wurde eine Kupferfolie im Spitzenzähler durch eine Schraubspindel zerrissen. Wie die Abbildung 14 zeigt, ist tatsächlich bei einer bestimmten Belastung ein starkes Ansteigen der Ausschlagszahlen zu beobachten. Unerwarteter Weise fällt aber der Effekt schon weit vor dem Bruch wieder ab. Es ist anzunehmen, daß das Maximum mit der Hauptverformung im untersuchten Gebiet vor der Spitze im Spitzenzähler zusammenfällt. Um zu zeigen, daß der Effekt auch bei der technisch weit wichtigeren Wechselbelastung auftritt, wurde ein Spitzenzähler in eine kleine Torsions-Wechselbelastungsmaschine eingebaut und die Zahl der Ausschläge in Abhängigkeit von der Belastung an einem Kupfer-Probestab bestimmt. Auch hier stellte sich heraus, daß die Zahl der Ausschläge beim Überschreiten einer bestimmten Belastung ansteigt, wie Abbildung 15 wiedergibt. Die beiden letzten Versuche lassen erkennen, daß der Effekt vielleicht geeignet ist, auch im Betrieb zur Überwachung der metallischen Werkstoffe eingesetzt zu werden.

5. Die nichtmetallische Phase im Gleitlager. Die Oberfläche der Metalle ist in der Praxis den verschiedensten Einflüssen ausgesetzt. Es liegt jetzt nahe, für alle diese Fälle den Spitzenzähler oder das Zählrohr einzusetzen, um über die Vorgänge an der Oberfläche Klarheit zu bekommen. Für die Arbeitsgruppe "Schmiertechnik" ist vor allem die Frage wichtig, wie verändert sich die metallische Oberfläche im Gleitlager unter den verschiedensten Bedingungen. Schon auf diesem einzelnen Gebiet gibt es eine unübersehbare Fülle von Fragen, für die die neue Methode eingesetzt werden könnte. Aus zeitbedingten Umständen heraus konnte bisher auch diesem Gebiete nicht näher getreten werden, so daß nur in einigen Beispielen die Möglichkeiten bei diesen Untersuchungen angedeutet werden können.

Zunächst wurde eine Mercedes-Benz-Lagerschale untersucht, die nach 40000 km aus dem Pleuellager eines Lastwagens ausgebaut war und schon einige Zeit gelegen hatte. Die Zahl der Ausschläge im Spitzenzähler in Abhängigkeit von der Temperatur

der Platte ist in Kurve 1 der Abbildung 16 wiedergegeben. Bis zu einer bestimmten Temperatur - etwa 190°C - ist die Zahl der Ausschläge unabhängig von der Temperatur, beim Überschreiten dieser Temperatur setzt aber ein steiler Anstieg ein, ein Zeichen dafür, daß sich auf dem Gleitlager eine stabile nichtmetallische Oberflächenschicht gebildet hat. Wird die Lauffläche abgeschliffen, verschwindet der steile Anstieg bei 190°C, eine Temperatur, die man als die Umwandlungstemperatur der nichtmetallischen Phase anzusehen hat. Es bleibt nur ein kleiner Anstieg, der auf die Bearbeitung der Oberfläche durch das Abschleifen zu schieben sein wird.

Herr Professor Schmid hatte die Freundlichkeit, weitere Lager in seiner Prüfmaschine zu belasten und zur Untersuchung im Spitzenzähler einzuschicken. Aus dem ersten Lager wurden zwei Stücke herausgearbeitet, das erste mit, das andere ohne Laufspiegel. Das Ergebnis der Untersuchung im Spitzenzähler ist in Abbildung 17 angegeben. Die Stelle mit Laufspiegel zeigte wieder bei 190°C einen steilen Anstieg, während die Stelle ohne sichtbare Einwirkung der Lagerbelastung nur eine Andeutung für einen solchen Anstieg zeigt. Bei einem zweiten Lager, das aus demselben Material bestand, aber anders vorbehandelt war, hatte die Belastung in der Prüfmaschine keinen Laufspiegel, sondern Laufspuren erzeugt, die vielleicht auf ein Fressen zurückzuführen sind. Die Untersuchung im Spitzenzähler ergab für eine Stelle mit diesen Laufspuren keinen Anstieg bei 190°C, während eine Stelle aus demselben Lager ohne Laufspuren wieder bei derselben Temperatur einen steilen Anstieg zeigte. Bei diesen wenigen Beispielen hat also ein einwandfrei arbeitendes Lager immer ein Verhalten im Spitzenzähler gezeigt, das auf eine stabile nichtmetallische Oberflächenschicht schließen läßt. Wenn auch zu einer Verallgemeinerung noch sehr viele Messungen nötig sind, so ist doch denkbar, daß eine nichtmetallische Oberflächenschicht für das einwandfreie Arbeiten eines Lagers günstig ist. Sicher nicht zufällig verwendet man zu Lagermetallen besonders solche Metalle, die einen hohen Umwandlungspunkt haben, oder solche, die leicht in den nichtmetallischen Zustand übergeführt werden können. Die sogenannte Kaltverschweißung und sicher auch das Fressen eines Lagers ist auf die Umwandlung einer nichtmetallischen Oberflächenschicht zurückzuführen. Diese ist aber nur dann möglich, wenn die Betriebstemperatur die Umwandlungstemperatur überschreitet, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß durch Druck die Umwandlungstemperatur herabgesetzt wird.

Aus den angeführten Beispielen für das Verhalten eines Lagers im Spitzenzähler darf noch nicht geschlossen werden, daß der Zustand der Oberfläche, wie er in diesen Versuchen festgestellt wird, auch tatsächlich während des Betriebes vorhanden ist. Die angeführten Beispiele bezogen sich auf Untersuchungen, bei denen zwischen der Bearbeitung im Betrieb oder der Prüfmaschine und der Messung im Spitzenzähler eine längere Zeit verstrichen war. Wenn während des Betriebes neben der stabilen nichtmetallischen Phase eine instabile Mischung beider Metallphasen vorhanden wäre, würde dieser Anteil

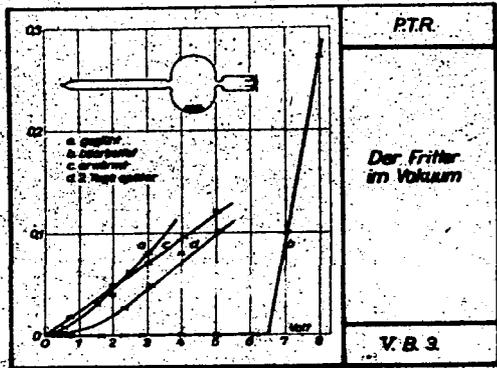


Bild 1

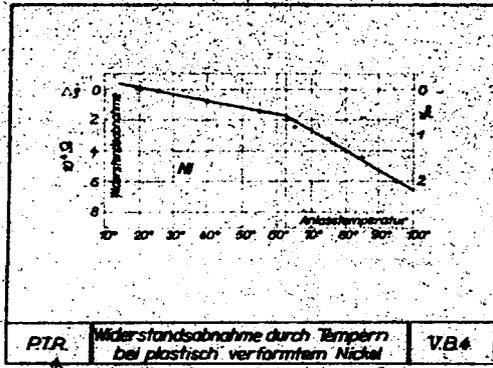


Bild 2

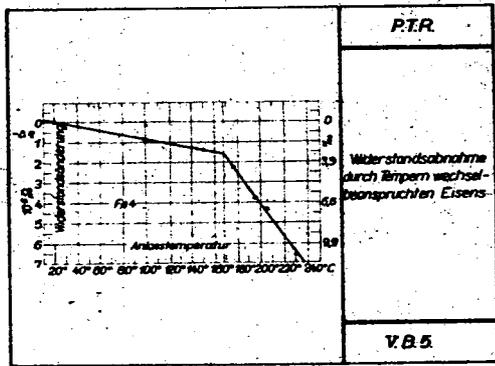


Bild 3

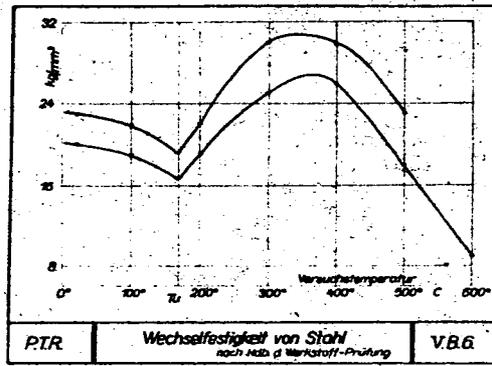


Bild 4

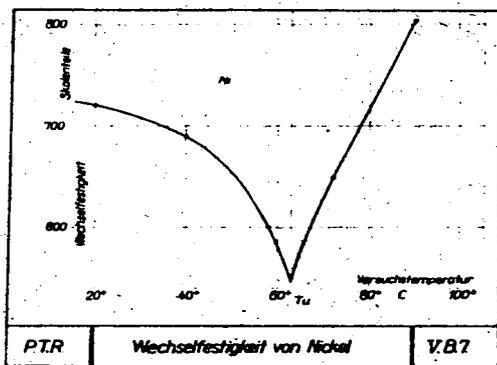


Bild 5

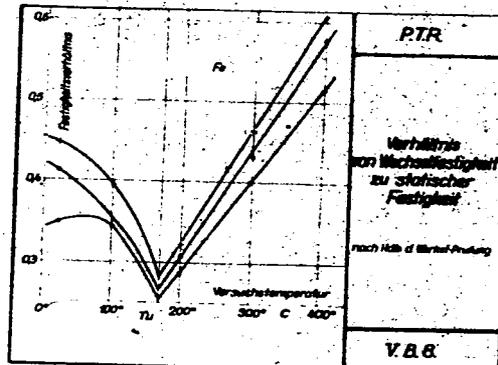


Bild 6

03236

Dr. Kramer  
S. 2

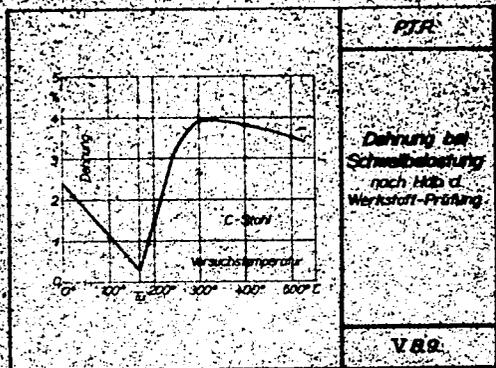


Bild 7

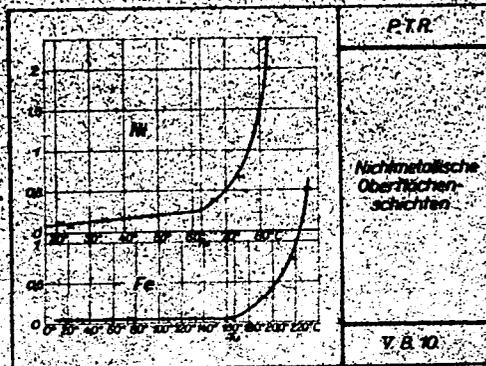


Bild 8

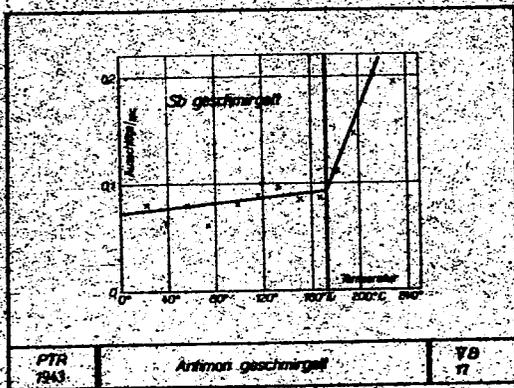


Bild 9

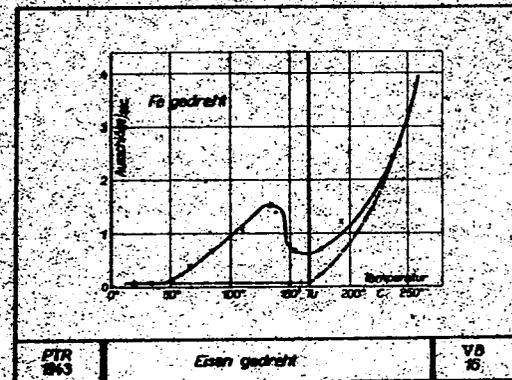


Bild 10

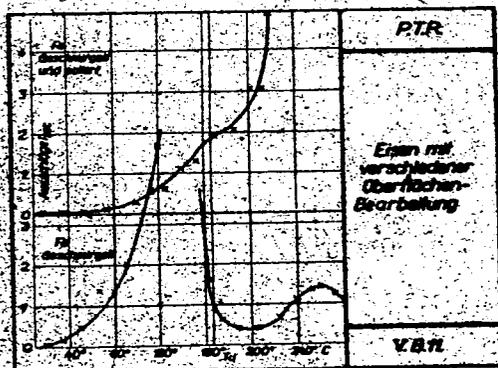


Bild 11

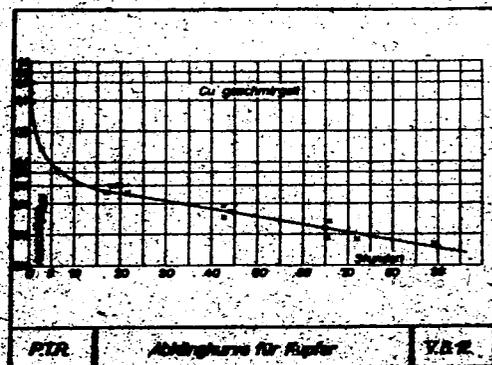


Bild 12

03287

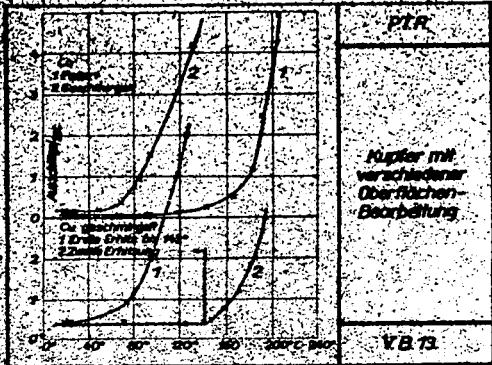


Bild 13

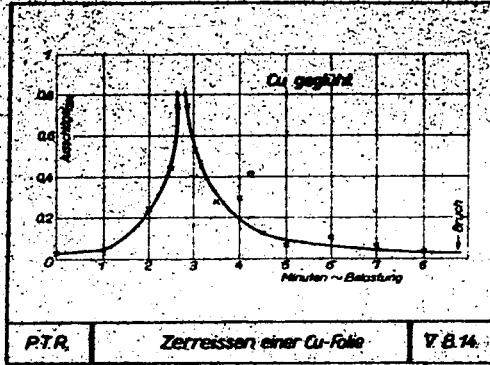


Bild 14

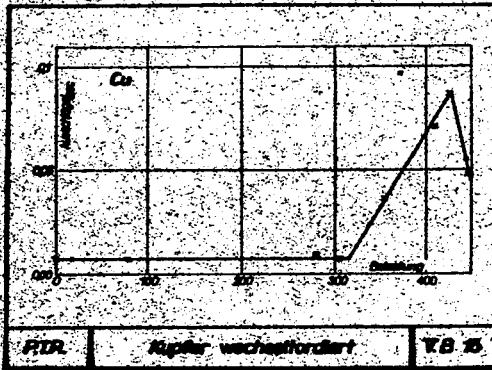


Bild 15

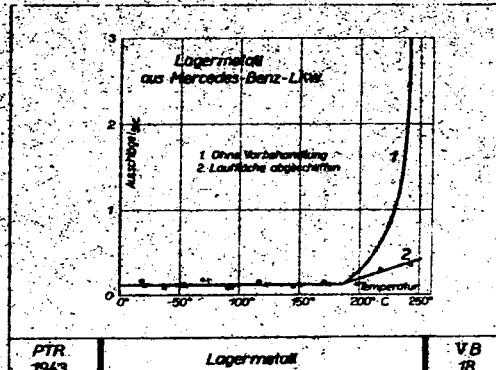


Bild 16

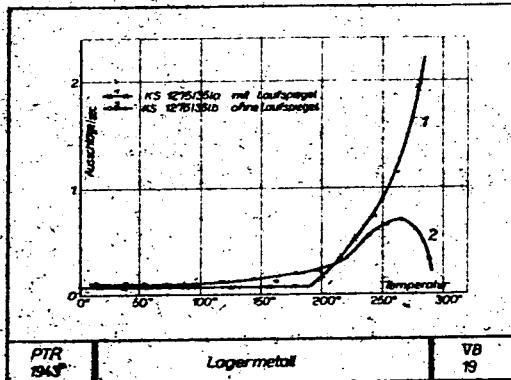


Bild 17

POOR  
COPY

3

03238

Dr. Kramer  
S. 4

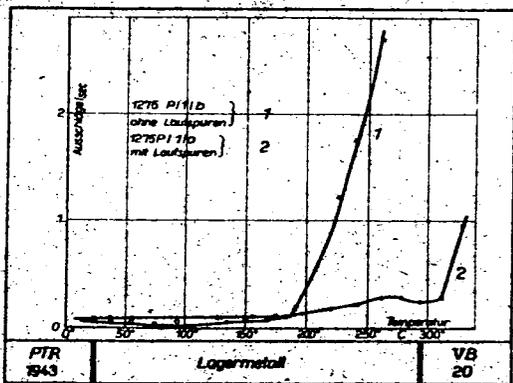


Bild 18

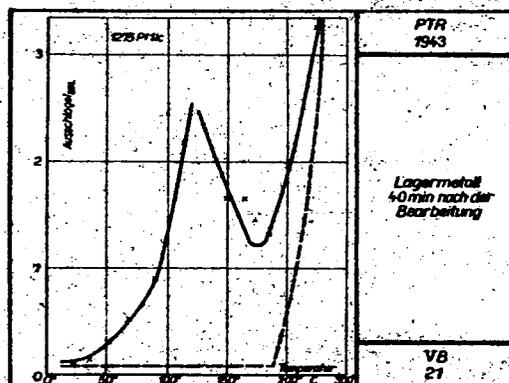


Bild 19

POOR  
COPY

3

in der Zwischenzeit abgeklungen sein. Um festzustellen, ob bei der Bearbeitung im Lager auch die instabile Mischung entsteht, wurde ein Stück der zuletzt untersuchten Lager gegen eine rotierende Welle gedrückt und dann sofort nach der Belastung im Spitzenzähler untersucht. Das Ergebnis dieses Versuches ist in Abbildung 19 angegeben, die zeigt, daß schon unterhalb der Umwandlungstemperatur von 190°C ein starker Anstieg der Ausschlagszahlen wahrzunehmen ist. Es ist daraus zu schließen, daß schon während der Bearbeitung im Lager eine dauernde Bildung und Rückbildung beider Phasen stattfindet. Würde man nach der Belastung genügend Zeit verstreichen lassen, würde auch in diesem Falle die Kurve die Form der in Abbildung 19 gestrichelt wiedergegebenen Linie annehmen. Auch in diesem Falle erkennt man, daß das Metall auf jede Bearbeitung mit einem äußerst intensiven "Leben" reagiert und daß dieses "Leben" noch recht lange nach der Bearbeitung anhält.

**6. Schluß: Der metallische Zustand.** In dem vorliegenden Bericht sind die Erkenntnisse über die nichtmetallische Phase im wesentlichen dafür angewandt, um das Verhalten der Metalle im Besonderen an der Oberfläche während des Betriebes und bei der Bearbeitung zu studieren. Es ist natürlich selbstverständlich, daß unsere ganze Auffassung vom metallischen Zustand durch die Existenz der nichtmetallischen Phase grundlegend verändert wird. Ebenso nahe liegt es, daraufhin ein neues Bild vom metallischen Zustand aufzubauen. Es sei nur erwähnt, daß auch auf diesem Gebiete die neuen Erkenntnisse durchaus erfolgreich eingesetzt werden können. Zum Beispiel wurde auf Grund dieses Bildes der Supraleiter mit dem derzeit höchsten Sprungpunkt vorausgesagt und dann auch gefunden. Es dürfte damit die Hoffnung berechtigt sein, daß bei der Anwendung dieses Bildes für Theorie und Praxis noch weitere Erfolge erzielt werden können.

Hr. Heidebroek erinnert an die Hypothesen von Dr. Holm über das Wesen der Epilamenschicht.

Die Mitglieder werden gebeten, einen schriftlichen Vorschlag über Begriffsbestimmungen, Haftreibung, Gleitreibung: Bewegung, Grenzreibung, Schwingreibung, gemischte Reibung, Grenzflächenreibung, Haftreibung bei Grenzreibung einzureichen.

Ferner wird noch auf die Arbeit von Lüpfer über Verschleißreibung hingewiesen.

Zum Schluß wurde von Hr. Dunken der Inhalt zweier Arbeiten über "Ordnungszustand in Flüssigkeiten"

vorgetragen, deren eine inzwischen veröffentlicht 1) und deren andere im Druck ist 2). Deshalb soll hier nur ein orientierendes Referat gegeben werden.

Werden zwei Flüssigkeiten gemischt, so ist das Volumen der Mischung im allgemeinen nicht gleich der Summe der

1) H. Dunken, Z. Phys. Chem. (B) 55 (1943), 264-279.  
2) In der gleichen Zeitschrift

Volumina der Bestandteile vor der Vermischung. Insbesondere beanspruchen Flüssigkeiten, deren Moleküle miteinander und untereinander in keine engere energetische Wechselwirkung treten (Assoziation und Solvatation) in Mischungen mehr Raum als unvermischt. Die Abweichungen des Molvolumens der Mischungen von der Summe der Volumina der unvermischten Bestandteile der Mischung hängen in typischer Weise von der Zusammensetzung der Mischung, als deren Maß der Molenbruch dient, ab. Abbildung 1 zeigt einige Beispiele. Über dem Molenbruch  $c_1$  sind die Differenzen  $\Delta V = V_{M 12 \text{ exp}} - V_{M 12 \text{ add}}$  aufgetragen.  $V_{M 12 \text{ exp}}$  ist das experimentell gefundene,  $V_{M 12 \text{ add}}$  das aus den Anteilen der beiden Stoffe zusammengesetzte additive Molvolumen. Dieser Kurvenverlauf konnte nun auf Grund von Vorstellungen über die Struktur von Flüssigkeiten, die sich schon in anderem Zusammenhang bewährten<sup>3)</sup>, theoretisch abgeleitet werden. Die in Flüssigkeiten herrschende Ordnung besteht darin, daß jedes Molekül im Mittel von Raum und Zeit von einer bestimmten Anzahl von Nachbarn umgeben ist (Koordinationszahl), daß diese Ordnung sich aber nicht wie im Kristall streng periodisch in endlichen Bereichen fortsetzt. In flüssigen Mischungen der eingangs gekennzeichneten Art muß nun die Zusammensetzung der Nachbarschaft eines Moleküls der Zusammensetzung der Mischung gleich sein. Wenn man nun die Volumenaufweitung zwischen zwei verschiedenen Molekülen stattfinden läßt, so ist damit die Konzentrationsabhängigkeit der Aufweitung  $\Delta V$  festgelegt und hat die Form

$$\Delta V = (c_1 - c_1^2) \cdot Z \cdot \delta V \quad (1)$$

wenn  $Z$  die Koordinationszahl und  $\delta V$  die je Mol in der Mischung vorhandener Berührungen von verschiedenartigen Molekülen auftretende Volumenzunahme bedeuten. Die ausgezogenen Kurven der Abb. 1 sind nach Gleichung 1 berechnet und verbinden die als Kreise eingetragenen Meßpunkte innerhalb der Fehlergrenze. Das Verhalten, das Flüssigkeitsmischungen hinsichtlich ihrer Raumbeanspruchung zeigen, konnte nun auch an Mischungen von Metallstücken verschiedener, aber einfacher Gestalt aufgefunden werden.

Die Abbildung 2 zeigt eine <sup>solche</sup> Mischung. Anhand solcher Bilderreihen konnte der Aufweitungsmechanismus studiert werden, der wahrscheinlich nur geringe Ähnlichkeit mit dem in Flüssigkeiten besitzt, trotzdem aber eine Aufweitung - Konzentrationsabhängigkeit ergibt, die dem gleichen Gesetz folgt. Das kommt daher, daß dieses Gesetz (Gleichung 1) von allgemeiner Bedeutung ist und in weniger spezialisierter Form aus einem morphologischen Ähnlichkeitsprinzip folgt, wie in der angeführten Arbeit eingehender gezeigt wurde.

3) H. Dunken, H. Klapproth u. K.L. Wolf, Kolloid - Z. 91 (1940) 232  
K.L. Wolf, Theoretische Chemie; Teil 3 Leipzig 1943

03241

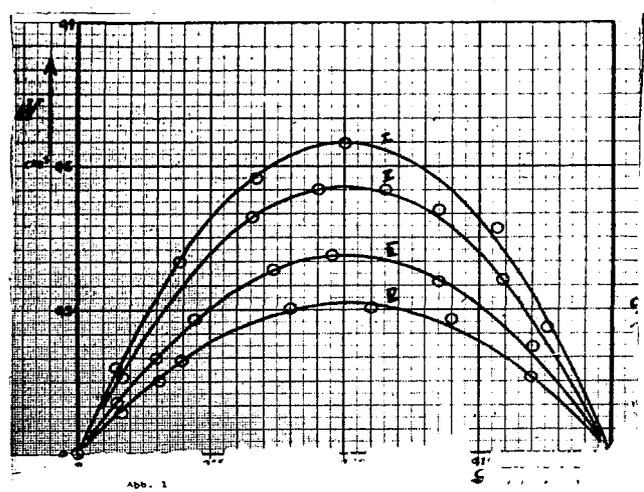


Abb. 1  
 Abweichung der experimentellen von der theoretisch berechneten  
 Sauerstoffbindung bei Cyclohexan - Benzol (I), Schwefelkoh-  
 lenstoff - Benzol (II), Hexan - Benzol (III), und Cyclohex-  
 an - Benzol (IV).

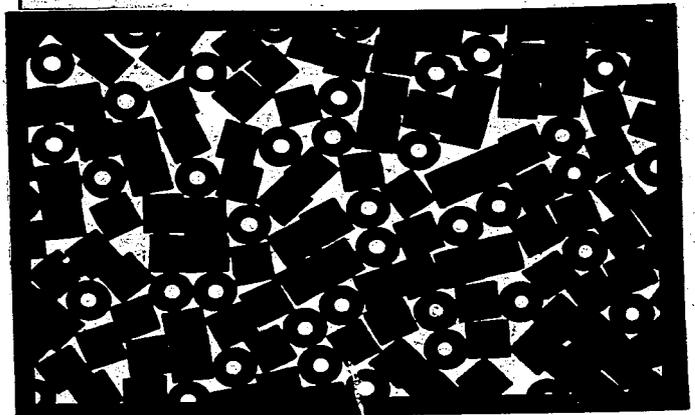


Abb.: 2  
 Mischung von Vierecken und Kreisen

Agenda Vorgehen:

1. Die Mitglieder überlegen sich, ob aus den Haldersehen Ver-  
suchen eine Gesetzmäßigkeit für gewisse verwandte Stoffe  
aufgestellt werden kann.
2. Die Mitglieder reichen einen schriftlichen Vorschlag über  
Begriffsbestimmungen ein.
3. Die nächste Sitzung wird voraussichtlich im Kaiser-Wilhelm-  
Institut, Berlin-Dahlem, stattfinden.

gez.: Heldebrock

gez.: Kraft

0320

03242

**B e r i c h t**  
**Über die Sitzung der Arbeitsgruppe "Schmiertechnik"**  
**des Fachausschusses für Maschinenelemente des VDI**  
**am 29. Februar 1944 in H a l l e**

**Vertrauliche Mitteilung Nr. 11**  
**für die Mitglieder der Arbeitsgruppe "Schmiertechnik"**  
**des Fachausschusses für Maschinenelemente des VDI**

**Zu beachten:** Eine Veröffentlichung auch von Auszügen  
oder Teilen des Berichtes, sowie Weiterleitung an Per-  
sönlichkeiten ausserhalb des Dienstbereiches des Emp-  
fängers bedarf der Genehmigung der Geschäftsstelle des  
Fachausschusses für Maschinenelemente des VDI.

Inhaltsübersicht

	Seite
Zusammenfassung .....	3
1. Dr. Bartel .....	4
Aussprache .....	14
2. Dr.v.Philippovich .....	19
Aussprache .....	20
3. Dr.v.Philippovich u. Dr. Krienke .....	21
Aussprache .....	24
4. Dr.v.Philippovich .....	25
5. Dr. Seelich .....	27
Aussprache .....	30
6. Aussprache über Begriffsbestimmungen der Schmiertechnik .....	31

Verein deutscher Ingenieure im NSBDT Berlin NW 7, im Juni 1944  
FE Kr/KI

Sitzungsbericht

Fachausschuss für Maschinenelemente

Arbeitsgruppe Schmiertechnik

Sitzung am 29. Februar 1944

Ort: Halle

Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. E. Heidebroek VDI, Dresden,  
zeitweise Prof. Wolf, Halle

Schriftführung: Dipl.-Ing. G. Kraft VDI, Berlin

Anwesend die Herren:

Bartel, Dr.	Kaiser-Wilhelm-Institut f. physikal. Chemie und Elektrochemie, Berlin-Dahlem, Faradayweg 4/6
Bussmann, Prof.	St. MPA, Berlin-Dahlem, Unter den Eichen 87
Dunken, Dr.	Institut f. physikal. Chemie d. Univ. Halle, Halle/Saale, Mühlpforte 1
v. Eishorn, Dr.	Universität Göttingen
v. Engelhardt, Dr. phil.	Universität Göttingen
Farkert, Frl., Lab.	Kaiser-Wilhelm-Institut f. physikal. Chemie u. Elektrochemie, Berlin-Dahlem
Finger, Dipl.-Chem.	I. G. Farbenindustrie, Ludwigshafen
Gauditz, Frl.	Universität Halle
Glaser, Dipl.-Ing.	Deutsche Versuchsanstalt f. Luftfahrt, Berlin-Adlershof, Rudower Chaussee 16/25
Halder, Dipl.-Ing.	I. G. Farbenindustrie, Ludwigshafen
Holm, Dr.	Siemens-Schuckertwerke A. G., Berlin-Siemensstadt
Heidebroek, Prof. Dr.-Ing.	Technische Hochschule Dresden
Klemencic, Dr. z. Dr.-Ing. habil.	Technische Hochschule Graz
Kluge, Reg.-Rat Dr.	Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, Werner-Siemens-Str. 8-12
Kraft, Dipl.-Ing.	VDI, Berlin
Krienke, Dr.-Ing.	Deutsche Versuchsanstalt f. Luftfahrt, Berlin-Adlershof
Metzger, Dipl.-Chem., Frl.	Universität Halle
Pfender, Dr.	AEG-Forschungsinstitut, Berlin-Oberschöneweide
v. Philippovich, Dr.	Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, Berlin-Adlershof
Seelich, Dozent Dr.	Kaiser-Wilhelm-Institut f. physikal. Chemie u. Elektrochemie, Berlin-Dahlem
Vogelpohl, Dr.-Ing.	Kaiser-Wilhelm-Institut f. Strömungsforschung, Berlin NW 87, Franklinstr. 27/29
Weber, Dipl.-Ing.	Physikalisch-Techn. Reichsanstalt, Berl.-Charl., Werner-Siemens-Str. 8-12
Wolf, Direktor, Prof. Dr.	Institut f. physikal. Chemie der Universität Halle, Halle/Saale
Zorn, Dr.-Ing.	Ammoniakwerk Mersburg, Leuna/Krs. Mersburg

Verhindert:

Fritz, Reg.Rat, Dipl.-Ing.	Physikalisch-Techn.Reichsanstalt, Berl.-Charl., Werner-Siemens-Str.8-12
Prandtl, Dir. Prof.Dr.-Ing.	KWI f. Strömungsforschung, Göttingen
Siebel, Präsident, Prof.Dr.-Ing.	St.MPA, Berlin-Dahlem
Stuart, Prof. Dr.	T.H. Dresden
Thiessen, Prof. Dr.	KWI f. physik.Chemie u. Elektrochemie, Berlin-Dahlem, Faradayweg 4/6
Wewerka, Prof. Dr.-Ing.	T.H. Stuttgart

Zusammenfassung.

In Vertretung von Hrn.Prof. Heidebroek, der wegen Zugverspätung erst später eintraf, eröffnete Hr.Prof. Wolf die Sitzung. Er wies darauf hin, dass die in Angriff genommene Arbeit der aufgewandten Zeit und Mühe wert sei und dass sich insbesondere hinsichtlich des chemischen Anteils des Schmierproblems schon wertvolle Ergebnisse abzeichnen. Die Sitzung wurde durch Fliegeralarm unterbrochen, konnte jedoch in einem Luftschutzraum fortgeführt werden, so dass kein allzu grosser Zeitverlust entstand. Immerhin musste die Schlusssprache wegen der fortgeschrittenen Zeit in einem besonders interessanten Stadium abgebrochen werden. Hr. Prof.Heidebroek brachte zum Ausdruck, dass die Schmierfrage gerade im Hinblick auf die jetzige Umstellung von Wälzlagern auf Gleitlager eine besondere Bedeutung angenommen hat und dass deshalb bald einmal eine gründliche Bereinigung der bei den Mitarbeitern offenstehenden Fragen herbeigeführt werden muss. Das lässt sich erfahrungsgemäss nur ermöglichen, wenn eine ausreichende Zeit für die drängendsten Vorträge und deren Aussprache vorgesehen wird. Er stellt deshalb eine 2- bis 3tägige Veranstaltung in Aussicht. Hr. Dr. Klemencic wird gebeten, einen Rahmen für die Abhaltung eines solchen Treffens in oder bei Graz vorzuschlagen.

Weiterarbeit. Von Hrn.Dr.v.Philippovich wird eine Liste der gemeldeten, für Schmierstoffprüfung geeigneten Prüfeinrichtungen und ein Vorschlag für ein Versuchsprogramm sowie ein Entwurf "Richtlinien für die Schmierstoffprüfung" eingereicht. Hr.Dr.Zorn erklärt, dass es möglich sein wird, von den zu prüfenden Schmierstoffen je etwa 50 kg zur Verfügung zu stellen. Es wird besonders hervorgehoben, dass wegen der Empfindlichkeit der fraglichen Schmierstoffe gegen Verunreinigungen sowie gegen Luft und Licht die Proben in verschlossenen und lichtundurchlässigen Behältern angeliefert werden müssen. Der Entwurf des Hrn.Dr.v.Philippovich zu "Richtlinien für die Durchführung von Schmierversuchen" wird weiter bearbeitet und möglichst bald in Form von VDI-Richtlinien gedruckt herausgegeben.

Die gemeldeten Lagerprüfeinrichtungen werden einem näheren Studium unterzogen. Hierzu wird es nötig sein, diese Einrichtungen an Ort und Stelle zu besichtigen und die beabsichtigten Versuche dort durchzusprechen. Hierzu gehört auch ein Programm für die Auswahl und für den Anlieferzeitpunkt der von Hrn.Dr.Zorn in Aussicht gestellten Bezugsöle.

Die in Angriff genommenen Begriffsbestimmungen der Schmier-technik werden beschleunigt zu Ende geführt. Hr.Dr.Pfender wird gebeten, gelegentlich über die von ihm erwähnte Erfassung der Spitzentemperatur durch die rechnerische Energieumsetzung auf das benachbarte Stoffvolumen zu berichten.

Dr.-Ing. A. Bartel:

Zum Problem der Ruhreibung

Ich berichte heute über die Fortführung einer im Jahre 1938 an der T.H. Graz begonnenen Arbeit über Anlaufreibung, die unmittelbare Aussagen über die Tragfähigkeit von Grenzfilmen zu machen gestattet, im Zusammenhang mit Fragen des Einflusses der Werkstoffpaarung auch auf Notlaufelgenschaften (z.B. auf die Tragfähigkeit) von Grenzfilmen, ferner auf den metallischen Verschleiss unter Schutzfilmen (Monofilmen), sowie auf die Alterung dieser adsorbierten Filme.

Die genannten Fragestellungen ordnen sich sachgemäss in den Rahmen der Interessen des KWI ein, das sich als eine Hauptaufgabe die physikalisch-chemische Erkundung der Grenzflächenvorgänge gestellt hat. Darüber hinaus sind von hier durch viele Jahre Forschungsarbeit neue Vorschläge zur Prüfung organischer Werkstoffe entwickelt, experimentell erkundet und der Praxis zugeführt worden. Die Vorgänge bei Reibung, Schmierung und Verschleiss, insbesondere der Mechanismus der Reibung bilden daher einen wesentlichen Teil des Forschungsgebietes der KWI-Arbeitsgruppe "Reibung und Schmierung".

Die Untersuchungen über Anlaufreibung begannen auf Grund einer Beobachtung des Herrn Doz. Dr.-Ing. A. Klemencic, der 1937 an einem grossen Traglagerversuchsstand mit Duffing'scher Reibungswaage feststellte, dass die Werte der Anlaufreibung bei 3 strukturell verschiedenen Ölen (Rizinöl, Paraffinöl, Glycerin) verschieden hoch lagen (Bild 1). Wohl streute der Wert Paraffinöl über mehrere Messungen beträchtlich. Es kam nun zunächst darauf an, zu erkunden, ob es für Paraffin möglich sei, eine Konstanz der Werte zu erreichen. Darüber hinaus trat die Frage auf, ob man die gefundenen Werte der 3 Öle in ein System von Kennzahlen für Schmierstoff einordnen könnte.

Meine Untersuchungen führten zunächst (nach einer starken Erniedrigung der Auslaufgeschwindigkeit) auf einen hierzu gebauten kleinen Traglagerversuchsstand mit Sondereinrichtung für Langsamlauf, zu der Feststellung, dass es wohl eine Konstanz im Falle Paraffinöl gibt, es aber notwendig sei, eine eigene Methodik einzuhalten, auf die später genauer eingegangen wird. Es soll nur soviel vorweg genommen werden, dass bei Erreichung einer günstigsten Auslaufgeschwindigkeit die Apparatur zunächst stillgesetzt wird, dann unter Last 10 Minuten ruht und eine erste Bewegungseinführung anschliessend erfolgt. Der Reibungsbeiwert im Augenblick der Stillsetzung wird:  $\mu = \lim_{v \rightarrow 0} \mu$

Der Reibungsbeiwert im Augenblick des Anlaufens aber ist um einen Betrag "A" grösser:

$$\mu = \lim_{v \rightarrow 0} \mu + A$$

Auf die Deutung des zusätzlichen Wertes "A" wird anschliessend näher eingegangen.

Wenn man die Anlaufreibung nicht nach 10 Minuten Ruhezeit misst, sondern unmittelbar nach Stillsetzung der Apparatur, so streuten die Werte ausserordentlich stark (Bild 2). Das Streuband wurde beträchtlich kleiner nach einer 5 Minuten langen Ruhezeit unter Last. (Bild 3) Bei 10 Min. Ruhezeit und mehr (1/2 Std., 1 Std., 10 Tage) ergaben sich keine weiteren Änderungen (Bild 4). Diese Konstanz der Anlaufreibung (derzeit 2,3%) wurde nun für die oben genannten Öle nochmals geprüft, wobei sich herausstellte, dass die Werte :

- a) gegenüber den Werten am grossen Traglagerversuchsstand um etwa 30% höher lagen. Ich führe dies auf die wesentlich geringere Endgleitgeschwindigkeit des kleinen Versuchsstandes zurück,
- b) individuell hoch lagen, je nach der Art des Schmierstoffes,
- c) konstant waren über den Wellenumfang bei gleichbleibender Raumtemperatur (d.h. der Temperatur der Berührungsstelle Welle - Lagerschale) bei 50 kg/cm<sup>2</sup> Flächenpressung.

Diese Tatsache vor allen war es, die mir nun endlich gestattete, gut reproduzierbare "Auslaufcharakteristiken" für die genannten Öle festzulegen, so dass neben dem Wert  $\mu_0$  noch ein Teil der Reibungskurve im Auslaufgebiet mit in den Bereich der Betrachtungen eingehen kann (Bild 5 zeigt die Auslaufcharakteristik für Paraffinöl).

Nach längerer Unterbrechung durch Industrietätigkeit wurden die Untersuchungen in Graz nun am Kaiser-Wilhelm-Institut Berlin bei Herrn Professor P.A. Thiessen fortgesetzt. Nach Neukonstruktion der Anlage, Erweiterung des Messbereiches und Vollautomatisierung des Antriebsmechanismus konnten die in Graz gefundenen Werte bestätigt werden. Durch neue Messungen an einer Vielzahl technischer Industrieöle sowie auch an reinen Stoffen wird eine Art Übersicht geschaffen werden, die in Bild 6 zum Teil wiedergegeben ist. Es wurden dabei nicht nur die Werte bei Raumtemperatur gemessen, sondern bei verschiedenen Temperaturen, indem die Welle hohigebohrt und elektrisch geheizt wurde. Die Werte der Anlaufreibung bei steigender Temperatur gemessen lassen sich gut in Form einheitlicher, stetiger Kurven darstellen.

Im allgemeinen kann gesagt werden, dass "gut" schmierende Öle, d.h. in der Praxis bewährte Öle, einen niedrigen  $\mu_0$ -Wert haben, was für den Fall gleichviskoser Öle in Bild 6 dargestellt wurde. Bislang arbeiteten alle Reibungsgeräte fast ausschliesslich bei Raumtemperatur; diese Methodik kann aber insofern zu Fehlschlüssen führen, weil es vorkommt, dass sich - auch bei gleichviskosen Stoffen - die "Temperaturkurven" der Reibung überschneiden. (Bild 7,8)

Diese wichtige Tatsache besagt, dass es auch für die anderen Reibungsmessvorrichtungen erforderlich wird, Anordnungen zu treffen, die Gleitverhältnisse auch bei höheren Temperaturen messtechnisch zu verfolgen.

Diesbezüglich kann kurz gesagt werden:

- 1) Die Temperaturkurven geben durch ihre Lage im  $\mu_0$ -t Diagramm Auskunft über die Tragfähigkeit im Notlaufgebiet,

- 2) sie geben spezielle Unterschiede im Gleitverhalten von Ölen gleicher Viskosität an und führen
- 3) dadurch zu einer Beseitigung der Unklarheiten in den Messergebnissen bei Geräten ähnlicher Art, die bisher lediglich bei Raumtemperatur gearbeitet haben.

#### Deutung der Messpunkte

Den Versuchen liegt, wie bereits erwähnt, der Plan zugrunde, die gewonnenen  $\mu$ -Werte messtechnisch als zusätzliche Kennzahlen für Öle auszuwerten. Wenn man messen will, muss man in erster Linie die inneren Fehlerquellen und Störungen von aussen kennen. Vergleicht man die Messergebnisse, die nunmehr mit der KWI-Apparatur gewonnen wurden, mit denen anderer Reibungsmessvorrichtungen, so stellt sich heraus, dass eine ausserordentlich hohe Reproduzierbarkeit der Werte vorliegt, die mich ermutigt haben, die Versuche fortzusetzen.

Für das Verständnis des Mechanismus des Messvorganges ist der Umstand von Bedeutung, dass die Welle im Gebiete der Grenzreibung die Lagerschale, welche eine stetig gekrümmte Fläche darstellt, gleichsam "erklettert". Dies hat zur Folge, dass eine Verschiebung der Resultierenden der Angriffskräfte eintritt und daher ein nicht messbares Fehlmoment entsteht. Doch steht diesem Bedenken die aus mehreren tausend Versuchen immer wieder bestätigte Reproduzierbarkeit von  $\mu$  in Höhe von derzeit 2,3% gegenüber, eine Fehlerbreite, die als bisher beste Leistung bei der Vermessung der Grenzreibung gelten kann.

Aus der späteren Darlegung geht weiter hervor, dass, bedingt durch meine apparative Anordnung, Reibungskurven erhalten werden, die im Auslaufgebiet grundsätzlich nur ansteigen (Bild 23). Dieser Umstand ist insofern von Vorteil, weil sich der Fehler in Richtung eines ansteigenden  $\mu$  auswirkt und nicht etwa die Werte kompensiert. Die Verlagerung der Welle ist messtechnisch trotz allem noch günstig.

Einem geäusserten Einwand, die statische Reibung habe schlechthin "nichts" zu tun mit Schmierfähigkeit, kann entgegengehalten werden, dass die Ruhreibung neuerdings bereits in den Begriff "oiliness" einbezogen ist, (Rogg und Hunwicks in J.Inst.Petrol 26 (1940) 195) eine Forderung, die von uns bereits 1938 auf Grund der Grazer Messergebnisse gestellt wurde.

Weiter ist zu beachten, dass wir in der Anordnung der Duffing'schen Reibungswaage ausgesprochen "betriebstreu" messen, d.h. die mechanisch-technologischen Verhältnisse (Werkstoffpaarung, Druck und Temperatur) und auch die kinematischen Verhältnisse (freie Verlagerung des Wellenmittels im Auslaufgebiet) wie beim Industrielager vollauf berücksichtigen.

An dieser Stelle braucht nur unsere Anschauung wiederholt werden, dass die Grösse des  $\mu$ -Wertes über den Zustand der Grenzschicht im Hinblick auf ihre Tragfähigkeit Auskunft gibt.

Im Anschluss an das eben Gesagte kann zu den Bildern 6, 7 und 8 weiter ausgeführt werden:

03248

- 1) Je grösser die Kohäsion zwischen Lager und Welle bei Vorhandensein des Grenzschriftfilms ist, umso höher rollt die Welle die Lagerschale empor.
- 2) Lagerschale und Welle werden im Experiment steigender Temperatur ausgesetzt. In der obigen apparativen Anordnung zeigt sich, dass jedes Öl zusätzlich zu 1) einen individuellen  $M_0$ -Wert hat.

Misst man die Werte der Anlaufreibung eines Öles mit steigender Temperatur, so ergibt sich eine stetige Kurve (Bild 6), aus deren Verlauf wichtige Rückschlüsse gezogen werden können:

- a) In Richtung steigender Temperatur werden die Werte von  $M_0$  grösser. Temperaturzunahme wirkt sich auf die Adsorption des Grenzfilms derart aus, dass das Haften desselben verringert wird, die Reibung also ansteigt.
- b) Der Anstieg der Werte  $M_0$  steht nicht in streng linearem Zusammenhang mit dem Anstieg der Temperatur der Berührungsstelle Welle - Lager, sondern gibt individuelle Struktureigenschaften der Grenzschriftschicht wieder.

Bei Mineralölen ist die Kurve konvex nach oben, bei Fettölen konkav nach oben gekrümmt.

Kurz gesagt: Die  $M_0$ -Werte steigen in Richtung höherer Temperatur an. Die Temperaturkurven sind nach der Natur des Schmierstoffes verschiedenartig gekrümmt. Das Haftvermögen des Grenzfilms erfährt dabei Veränderungen, weil durch die wolkende Beanspruchungsart die metallischen Oberflächen weitgehend beeinflusst werden. Da wir im Gebiete ausserordentlich dünner Grenzfilme arbeiten, tritt die Frage auf, ob wir nicht einen Vorgang messen mit ähnlicher Charakteristik wie diejenige der Haftfestigkeit von Öl an Metall. Dazu ist zu sagen, dass Haftfestigkeit von Öl an Metall. Dazu ist zu sagen, dass Haftfestigkeit für den technischen Gebrauch sehr schwer zu definieren ist, und dass für eine praktische Anwendung dieses Begriffes derzeit noch keinesfalls ausreichende Angaben vorliegen. Die Haftfestigkeit stellt nämlich das Integral aller freien Bindekräfte der Oberfläche dar, ist also abhängig vom Grad der Kohäsionszerrüttung der Oberflächenpartien. Im Gebiet der gemischten Reibung werden dabei unregelmässig Störstellen und Fehlbaustellen erzeugt; die Ecken- und Kantenwirkung der freigelegten Oberflächenkraftfelder wird erhöht und dadurch die Bindung der Flüssigkeitspartikel in unkontrollierbarer Weise beeinflusst; dazu kommen noch Wirkungen in Form von Kapillarkräften in feinsten Rissen der metallischen Oberflächen u.a. Diese grösstenteils messtechnisch nicht erfassbaren Einflüsse sind es, die eine technische Bestimmung der Grösse und Art der Haftfestigkeit überaus erschweren, wenn nicht gar unmöglich machen.

Wenn man sich kurz die Bestimmungsmethoden der Haftfestigkeit von Öl an Metall vor Augen führt, so sieht man, dass es vornehmlich  $\beta$  sind, die das Problem einer Messung zugänglich machen:

POOR COPY 4

- 1) Methoden thermischer Art, durch Bestimmung der Benetzungswärme;
- 2) durch Messung der Grenzflächen- und Oberflächenspannung;
- 3) durch Messung der Dipolmomente polarer Öle (DK-Werte);

zu 2) ist zu sagen, dass die Haftarbeit durch die Gleichung von Dupré gut für einheitliche Stoffe wiedergegeben werden kann, dass aber die Grenzflächenspannungen an der Grenzfläche Öl-Lagermetall noch nicht mit ausreichender Genauigkeit gemessen werden können.

Es ist nun fraglich, ob man mit dem Ausdruck "Haftfestigkeit" zunächst weiter operieren kann und soll, da eine Kennzeichnung des Schmierverhaltens von Ölen heute auf technisch besser erfassbare Werte bezogen werden kann. Fasst man das Reibungs- und Verschleissverhalten (sowie einen Teil des dazugehörigen Temperaturgebietes) eines Schmieröles zusammen, so kann man eine

#### "Gleitgütezah1"

angeben, die den kritischen Zustand charakterisiert, wenn in einem Lager abnormal lange Grenzreibung, insbesondere Notlauf herrscht. Die Gleitgütezahl stellt eine folgerichtige technologische Ergänzung der rein hydrodynamischen (in sich abgeschlossenen) Betrachtung über die Lagerkennlinien Klemenčič-Bauer dar. Hier tritt neben den rein mechanischen Grössen, wie z.B. Spaltweite, Lagerbreite... als Schmiermittelcharakteristik allein die Viskosität auf und führte u.a. zu sehr anschaulichen Begriffen wie "Belastungskennzahl", "Reibungskennzahl", "Durchflussgrösse" und "Erwärmungskennzahl". Es gibt nun eine grosse Gruppe von Traglager verwendenden Maschinen und Apparaten, die neben rein hydrodynamischer Schmierung durch öftmaliges Aus- und Einschalten oder im Langsamlauf ihr Arbeitsgebiet im Grenzreibungsgebiet haben (Werkzeugmaschinen, Strassenbahnwagen, Filmliessmaschinen). Es wäre für die praktische Anwendung der Lagerkennlinien vielleicht von Vorteil, wenn durch einen knappen, prägnanten Ausdruck der kritische Zustand, d.h. Hauptverschleisszustand, in einer ähnlichen Form wie oben, durch eine Zahl, wiedergegeben werden könnte. (Bild 9)

Soweit die bisherigen Versuche es erlauben, im obigen Sinne eine Formulierung zu machen, soll die erste Fassung lauten:

$$\text{Gleitgütezahl} \dots G = \text{const. } f \cdot \frac{c}{v_0 \cdot t_0};$$

wobei  $f = \text{Reibfestigkeit} = \frac{10000 \text{ mm Wegstrecke}}{\text{mm Abrieb der Metallprobe (Stift)}}$

bei konstantem  $v$  gemessen bei Beginn der gemischten Reibung,

$\mu_0 = \text{Reibungskoeffizient der Ruhe (Anlaufreibung)},$

$\frac{c}{t_0} = \text{Reibungstemperaturverhältnis bei const. } v \text{ gemessen zu Beginn der gemischten Reibung.}$

Die Gleitgütezahl stellt eine vorwiegend aus den mechanischen Grössen definierte Ergänzungszahl der bisherigen rein chemischen Schmierstoffdaten dar. Tabellen sind in Ausarbeitung.

Was den Einsatz der  $\mu_0$ -Werte hierbei betrifft, kann gesagt werden, dass sie derzeit für die Messung von Gleitunterschieden von Ölen gleicher Zähigkeit, in einiger Zeit auch für Öle verschiedener Zähigkeit, eingesetzt wird. Die Verschleissmessung geschieht in der Anordnung der Skizze Bild 10 rechts oben, an derselben Prüfzelle, an der auch  $\mu_0$  gemessen wird.

Was den Einfluss der Werkstoffpeargung anbetriift, soll heute nur gesagt werden, dass auch sie massgebend die Höhe beeinflusst (Bild 11). Dies besagt, dass für die Schaffung einer Messbasis die Einflüsse dieser Komponenten berücksichtigt werden müssen.

Um zu einer hohen Reproduzierbarkeit (2,3%) zu kommen, wird nach einem "v-t Diagramm" gearbeitet (Bild 12), derart, dass die einzelnen Phasen des Gleitens, Ruhens unter Last und der ersten Bewegungseinführung (Anlauf) für alle Versuche unter streng gleichbleibenden Bedingungen durchlaufen werden, was durch die voll automatische KWI-Apparatur erreicht wird. Die Messung beginnt damit, dass das Gebiet der hohen Gleitgeschwindigkeiten (Hydrodynamik) verhältnismässig rasch durchlaufen wird und lediglich der Austarierung der Reibungswaage gilt. Vom Ausklinkpunkt an über das Gebiet der gemischten Reibung wird die Geschwindigkeitsabnahme durch Automaten so geregelt, dass zuletzt ein Gleitzustand herrscht, der zwar nahe am Haften liegt, aber ein noch einwandfreies Gleiten darstellt, d.h. ein Gleiten ohne ruckartig einsetzendes Haften. Dieser Zustand wird 10 Minuten konstant gehalten, um nachzuprüfen, ob man bei der Reibungsmessung nicht gerade an einem Punkt der Welle misst, der zufällig "gut" eingelaufen ist. Bleibt die Reibung bei dieser sehr geringen günstigen Gleitgeschwindigkeit ( $v = 0,07$  mm/sec) konstant, so wird die Apparatur durch Kurzschlussbremsung stillgelegt. Die Erfahrung lehrte, dass nunmehr eine Ruhezeit unter Last von 10 Minuten erforderlich ist, um gute Reproduzierbarkeit der  $\mu_0$ -Werte zu bekommen (Bild 7). Der Vorgang ist in seinen Feinheiten noch nicht ganz geklärt, doch gibt es aus der Fahrpraxis der Reichsbahn einen Vergleich. Der Anfahrwiderstand eines Zuges - gemessen am Dampfverbrauch - ist nach 10 Minuten Haltezeit am grössten, sinkt ab, wenn kürzer gehalten wird, bleibt aber gleich, gleichgültig ob 10, 20 oder mehr Minuten gehalten wird. Diese Erscheinung wurde am Traglagerversuchsstand bei der Messung der Anlaufreibung immer wieder beobachtet. Sie konnte sogar bei einem Versuch mit 10 Tagen Haltezeit bestätigt werden.

Um nun die Anlaufreibung selbst zu messen, wird in das ruhende System Lagerschale-Welle durch Drehung der Welle eine erste Bewegung eingeleitet, die nach etwa 3 Minuten (bei einer konstanten Gleitgeschwindigkeit von 0,00025 mm/sec) ein ruckartiges Trennen der Flächen zur Folge hat. Dabei hört man einen dumpfen Laut. An der Messdose sinkt die Wassersäule im selben Augenblick um mehrere Centimeter ab. Der Reibungsbeiwert im Augenblick des ruckartigen Trennens ist  $\mu_0$ .

Im Laufe vieler Versuche mit Ölen verschiedenartiger Struktur (gefettet und nicht gefettet) konnte beobachtet werden,

dass bei der Bewegungseinleitung die Welle und Lagerschale verschieden fest aneinander haften. Bei der Bewegungseinführung trennt nun die Welle, die Lagerschale mitzunehmen u.z. je nach der Art des Schmierstoffes länger oder nicht so lange (Bild 13), bis die ruckartige Trennung erfolgt. Dieser zusätzliche Anstieg "A" der Reibungskraft ist individuell abhängig von der Art der Kohäsionskräfte Welle-Schmierstoff-Lagermetall und wirkt sich editiv, wie bereits erwähnt, zu den Reibungswerten im Auslauf aus. Er ist also im Wesentlichen eine Funktion der Struktur des Schmierstoffes:  $\mu_0 \lim \mu + A$ , wobei:  $A = f(\text{Struktur})$

Fasst man das bisher Gesagte kurz zusammen, so sieht man, dass es für jedes Öl und jede Werkstoffpaarung eine individuelle Gleitkennzahl gibt. Der dazugehörige  $\mu_0$ -Wert gibt über die Gleitverhältnisse im Anlaufgebiet Näheres an und hat eine bisher nicht erreichte Repräsentierbarkeit von 2,4% erreicht.

Um von unabhängiger Seite möglichst viel Zahlenmaterial zu sammeln, also möglichst rasch einen Überblick über die Anwendbarkeit des Gerätes zu haben, sind zwei Apparate hergestellt worden (Bild 14), die zunächst bei der DVL und dem Heereswaffenamt probeweise zum Einsatz kommen sollen.

Das Gerät am KWI soll dagegen der weiteren Erforschung der Verhältnisse des Anlaufvorganges dienen. Auf diesem Gebiet drängen sich zunächst zwei Fragen auf:

- a) Warum erfolgt die Trennung der vertrimmten Flächen am Traglagerversuchsstand ruckartig und nicht allmählich wie bei der Anordnung "schiefe Ebene-Gleitstück"?
- b) Kann man die hier festgestellten  $\mu_0$ -Beobachtungen unmittelbar auf die geometrisch ähnlichen Verhältnisse der Anordnung unter a) übertragen?

Zu diesem Zwecke werden am statischen Reibungsgerät nach Wood, welches eine zusätzliche Temperatureinrichtung erhalten hat, die Verhältnisse der Reibung studiert (Bild 15). Es soll u.a. geprüft werden, wie sich die von Bowden (Bild 16) aufgenommenen Reibungscharakteristiken verändern, wenn Langmuir-Blodgett-Schichten aufgetragen werden, die vermöge ihrer strukturellen Eigenart Aussagen über die Notlaufeigenschaften von Grenzfilmen machen.

Die Versuche von Holm, von Heidebrock und nicht zuletzt die unseren geben Anlass, einige Worte über die Grenzsichten und ihre Dicke zu sagen. "Jedem Lagerwerkstoff ist eine bestimmte Fähigkeit zugeordnet, im Kontakt mit dem vorliegenden Schmierstoff und Wellenwerkstoff im Gebiete der Grenzreibung einen bestimmten Zustand des tragenden Schmierfilms hervorzurufen, der in diesem Gebiet die Tragfähigkeit bestimmt. Diese bei zahlreichen Versuchen immer wieder beobachtete Tatsache ist rein hydrodynamisch nicht zu erklären." (Heidebrock)

Zwar gelten die hydrodynamischen Ansätze in ihrer strengen Fassung bis zum theoretischen Rand; aber es ist durch Induktion nachweisbar eine mehrmolekulare Grenzsicht vorhanden, die ihrerseits vorwiegend die Notlaufeigenschaft mit bestimmt. Sie

ist der Ort dichter Teilchenpackung, man kann ruhig sagen, von quasi kristallinem Zustand (in der ersten Adsorptionsschicht) und hat vermöge dieser Eigenschaft gegenüber dem fluiden Film z.B. andere Wärmeigenschaften und eine andere Stabilität gegen mechanische Kräfte. Somit haben die hydrodynamischen Ansätze nun ihre natürliche Grenze in der diffusen Adsorptionsschicht (Seeliger: "Angewandte Atomphysik" s. auch Bild 17). Die Dichte dieser Schichte nimmt gegen die Spaltmitte hin (Welle-Lager) stark ab. Die physikalischen Daten aber sind für die technische Schmierung von grösstem Interesse, so z.B. die Wärmeleitfähigkeit monomolekularer Schichten. (Bild 18: Messanordnung für die Wärmeleitfähigkeit monomolekularer Schichten) Erst ganz wenige messtechnisch brauchbare Ansätze geben einen Nachweis für die Ausbildung mehrmolekularer Grenzschichten auf kristallinen Unterlagen:

1. Beeinflussung der Randbesetzung von Goldteilchen an Glimmer der mehrmolekular von Seifenfilm umgeben ist.
2. ZerreiBversuche adhäsiver Bindungen (nach Bikerman).

Dabei werden Bruchlasten von Paraffinwachs zwischenlagern zwischen metallischen Oberflächen gemessen. Die höchsten Bruchlasten waren: bei einer Schichtdicke von 57 :

Al-Al	39 kg/cm <sup>2</sup>
Cu-Cu	32
Sn-Sn	32
Pb-Pb	28
Ms-Ms	18

Mit zunehmender Schichtdicke tritt allgemein ein Absinken der Haftspannungen ein.

3. Bruchlasten von Schellackzwischenlagen zeigen ein ähnliches Verhalten bei einer Schichtdicke von 57 :

Ni-Ni	190 kg/cm <sup>2</sup>
Al-Al	140 " "
hingegen bei 540 Schichtdicke für die gleichen Metalle	
Ni-Ni	110 kg/cm
Al-Al	75 " "

Unabhängig davon kann aus den Heidebroek'schen Versuchen über die "Öldurchlässigkeit" auch an die Wirkung mehrmolekularer Grenzschichten gedacht werden. Diese "Öldurchlässigkeit" erreichte zwischen Stahlwelle und WM 80 für 18 l Öl/Std. einen Pressdruck von 3,5 at, hingegen bei gleichem Lagerspiel, gleichem Öl und gleicher Temperatur bei der Werkstoffpaarung Kunstharz-Stahlwelle nur 1 at. Pressdruck für die gleiche Ölmenge (vgl. auch Bild 19). Dieser Effekt wird an einem Staudruckmesser (Bild 20), bei welchem der Lagerspalt Heidebroeks in einer Ebene ausgebreitet ist, in ersten Ansätzen verfolgt. Eine exakte Fassung des Begriffes  $M_o$  - in seiner Verwendung als Kenngrösse für Öle im Grenzreibungsverhalten - wird noch durch einige Störungen erschwert (Bild 21). Der Einfluss dieser Störungen ist jedoch weitgehend bekannt, so dass es möglich ist, überblicksmässig die erforschten und eventuell noch offenen Gebiete der "betriebstreuen" Reibungsforschung anzugeben (Bild 22).

Zuletzt soll noch die Frage diskutiert werden, was unter "betriebstreu" verstanden wird, um Messgeräte für betriebs-

treue Reibungsforschung anzugeben. Die Erfahrung lehrt, dass vor allem 2 Punkte als wesentlich für Lagerreibungsmessung erscheinen (Bild 23):

1) Die kinematischen Verhältnisse, d.h. freie Beweglichkeit der gelagerten Welle im Gebiete der reinen hydrodynamischen Schmierung, insbesondere aber das ungehinderte Aufrollen der Welle auf die Lagerschale im Gebiet der gemischten Reibung bis zum Zustand der Ruhe

$$\mu_a = \lim_{v \rightarrow 0} \mu$$

Diesen Forderungen entsprechen gut die Apparaturen von Detmar und Duffing, in geringerem Maße die von Olsen und Almen (Bild 24). Die Belastung erfolgt bei den beiden letzteren über 2 diametrale Backen. Diese kompensieren ein einseitiges Aufrollen der Welle und ergeben daher andere Reibungswerte für das Auslaufgebiet.

2) Die mechan. technol. Verhältnisse (Werkstoffpaarung, Betriebstemperatur, Druck), die dem Industrielager voll auf angepasst sein müssen. Messgeräte, die diesen zwei Bedingungen genügen, werden stets Reibungskurven ergeben, die im Auslaufgebiet ansteigen (Bild 25, obere Kurve). Im Gegensatz dazu ergibt eine Anordnung "ebene Platte gegen ebene Platte" bzw. "ebene Platte - Stift" Kurven, die anders verlaufen (Bild 24). Die Untersuchungen von Charlotte J a c o b ergaben Reibungskurven, die bei sehr geringer Gleitgeschwindigkeit einen Wendepunkt haben (Bild 25, mittlere Kurve). Dies konnte an unseren Geräten bisher nicht beobachtet werden. Vermutet kann werden, dass dieser Effekt bei relativ geringer Belastung eintreten kann, vor allem bei gefetteten Ölen. Die Auslaufgeschwindigkeit war bei diesen Messungen im Verhältnis zu unserem Gerät (mit  $v = 0,000025$  mm/sec bei  $50 \text{ kg/cm}^2$  Flächenpressung) noch relativ "hoch".

Als Ergebnis der Messung der statischen Reibung mittels einer Duffingwaage kann zusammenfassend festgestellt werden:

- a) Die stat. Reibung ist für jedes Öl und für jede Werkstoffpaarung individuell hoch,
- b) sie ist mit einer Genauigkeit von 2,3% reproduzierbar,
- c) es ergeben sich Temperaturkurven, die für den Fall gleichviskoser Öle vor allem eine eindeutige Trennung derselben bezüglich des Gleitverhaltens im Grenzreibungsgebiet ergeben;
- d) sie führt zu einer Gleitgütezahl, die den kritischen Zustand der Zerstörung des Lagers für jedes Öl abzuschätzen gestattet;
- e) die Werte sind mittels einer betriebsreuen Messanordnung erhalten, die ein freies Aufrollen der Welle zulässt, d.h.

$$\mu_0 = \lim_{v \rightarrow 0} \mu + A$$

Die mitgeteilten Versuche sollen Anregung dazu geben, die in der Industrie vorhandenen Messapparaturen (Lagerprüfstände der Bauart Duffing-Kammerer) durch Anbau einfacher Zusatzre-

Vortrag Basel (1)  
03254

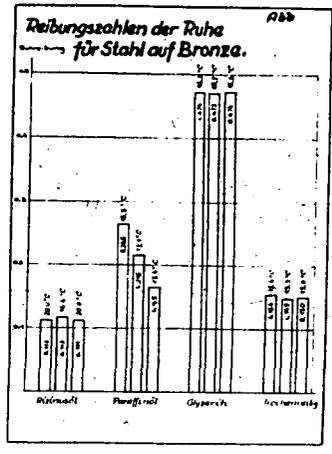


Bild 1

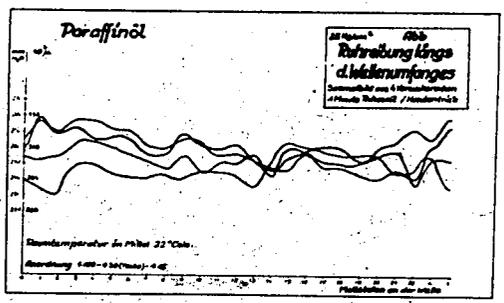


Bild 2

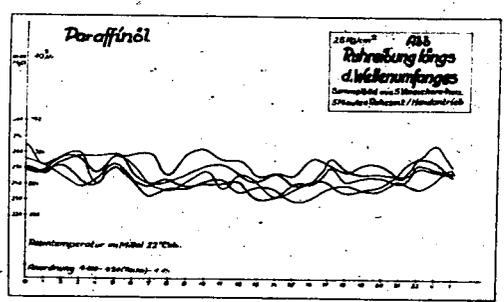


Bild 3

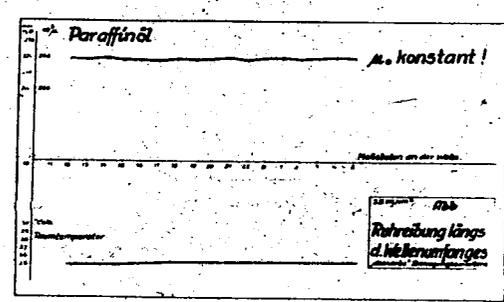


Bild 4

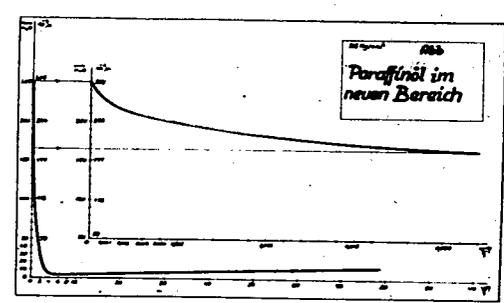
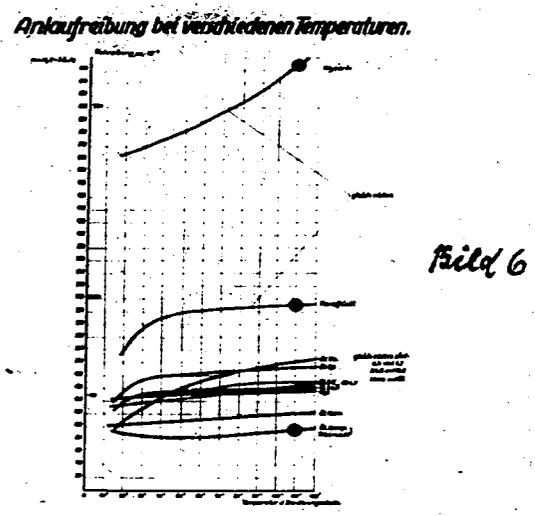


Bild 5



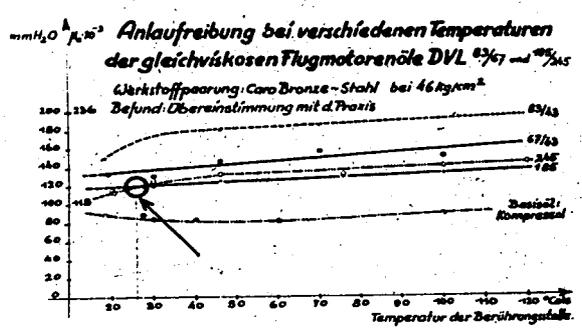


Bild 7

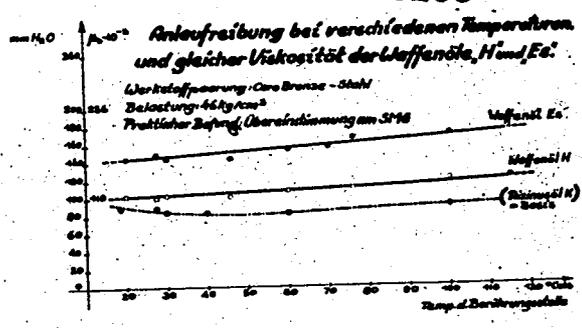
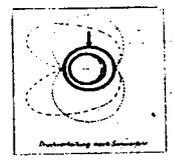
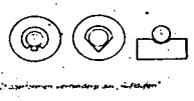


Bild 8

**1) Hydrodynamik:**  
 zu Grunde gelegt sind die H. Bauer „Lagerkennlinien“  
 „Belastungskennzahl“  
 „Reibungskennzahl“  
 „Durchflußgröße“  
 „Erwärmungskennzahl“



**2) Grenzreibung (Anlaufreibung):**  
 „Gleitgütezahl“  
 ist zusammengesetzt aus:  
 Reibungszahl und Verschleißkennzahl



**Verschleißmessung bei Grenzreibung**  
 Messarten der Probe: glühend, rot, kalt, nachschleifend

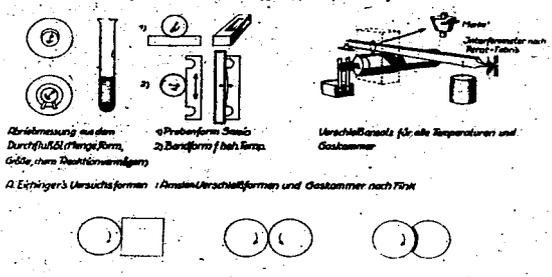


Bild 9

Bild 10

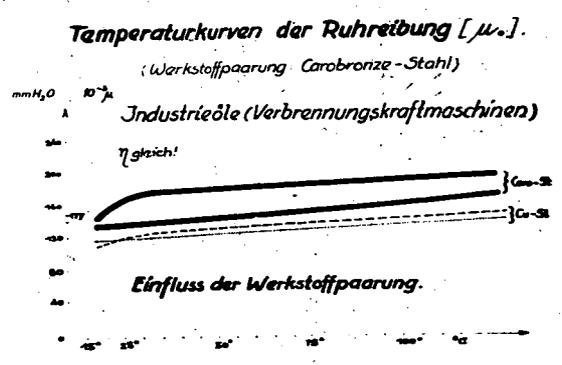


Bild 11

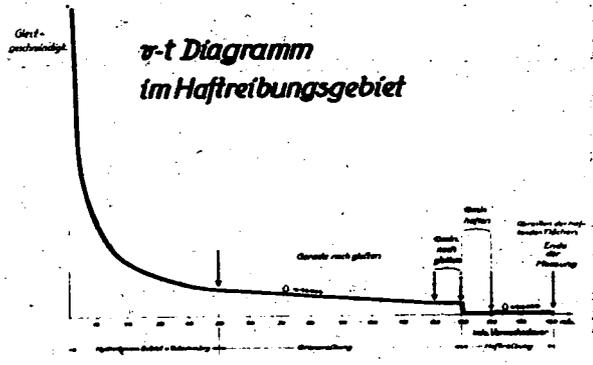


Bild 12

C3256

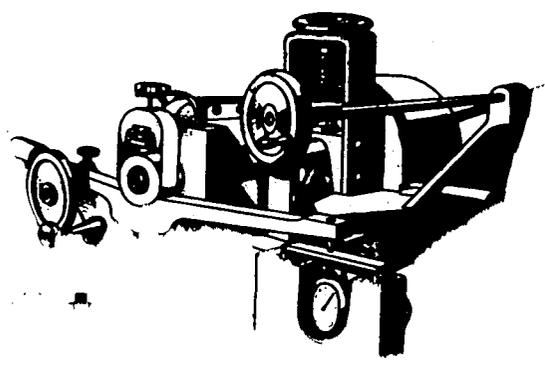
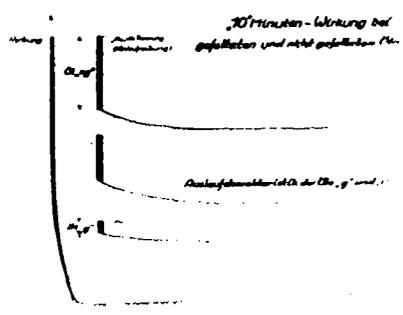


Bild 13

Bild 14

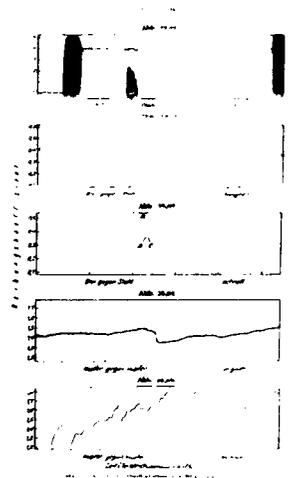
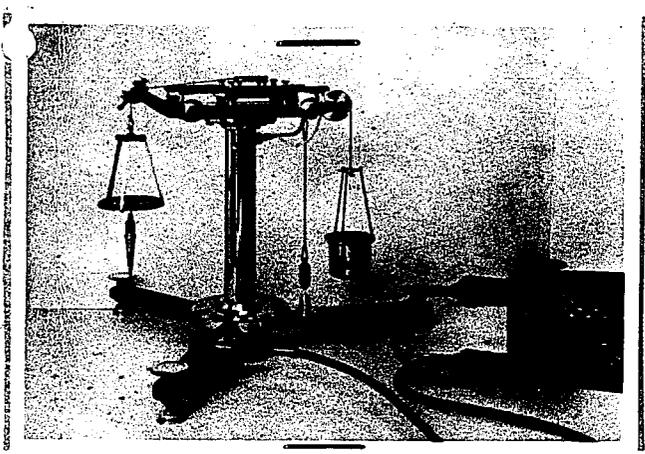


Bild 16

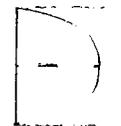
Bild 15

Schmierfilm maßgebende Einflußgrößen

Hydrodynamik: viskositätsabhängig druckabhängig (p, v)

Grenzreibung:

Abhängig von: Werkstoffpaarung, ... Metrik, Affinität, Rauherfüllung, ... Neigung zur Legierungsbildung, ... Schmelzschmelze, ... Schmelzschmelze durch Oberflächenasperitäten.



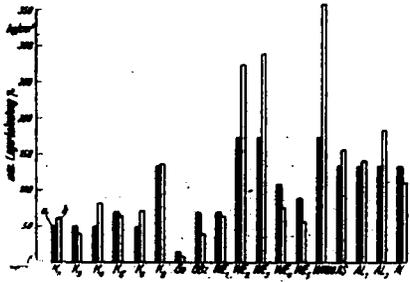
...abhängig von ... Schmierpalt bei streng ... ungenauer Filmdicke

Unerwünschte ... der Oberflächenkrümmung

Veränderliche Dichte gibt ... Diskontinuierl. Film



Bild 17



Gegenüberstellung der maximalen Tragfähigkeiten der 18 untersuchten Schalenwerkstoffe.  
 \* gemessen, \* auf gleiche Zähigkeit bei 45° norm.  
 (vgl. Text).  
 (Temperatur: 100°) (Lagerzeit: 1000 h)

Bild 19

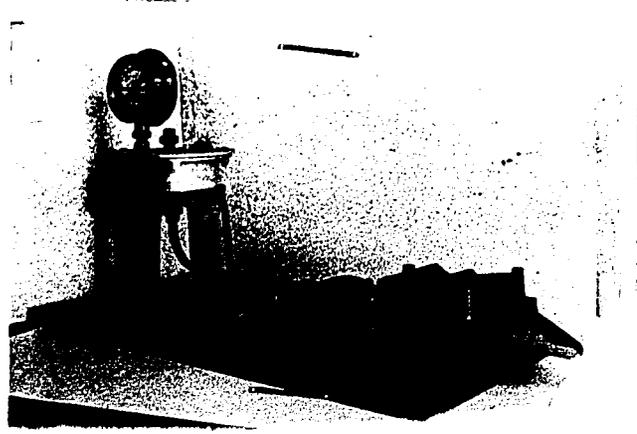
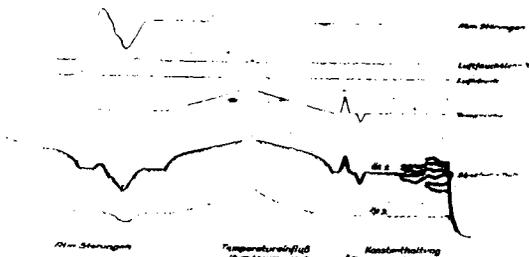


Bild 21 03257



Anlaufreibung ( $\mu_s$ ): Bilanz der Störungen  
 $\mu_s = \lim_{\mu} \mu \cdot \text{const } A$

Bild 21

Erforschte und noch offene Gebiete der Reibungslehre

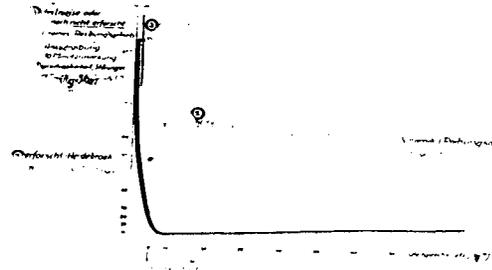


Bild 22

Reibungsmeßgeräte

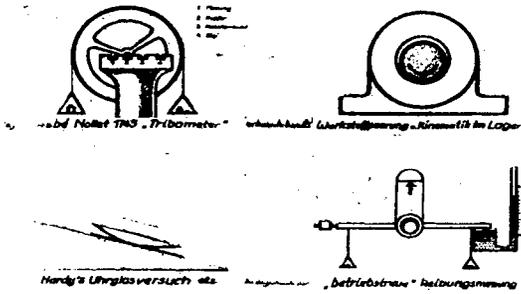
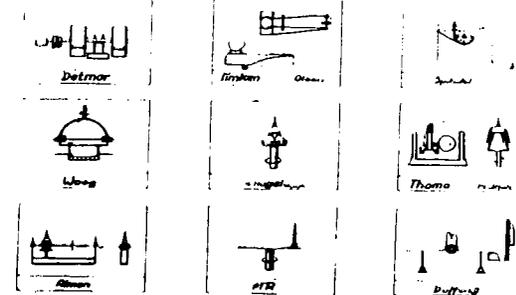


Bild 23



B. G. 17

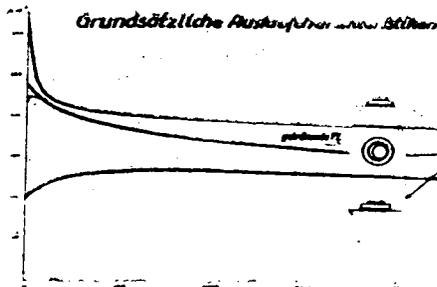


Bild 25

duziergetriebe so umzugestalten, dass  $\mu_0$  nach dem "v-t" Diagramm gemessen werden kann. Weiters soll durch Einbau geeigneter heizbarer Wellenzapfen auch Temperaturkurven aufgenommen werden. Denn kann jeder Besitzer eines Lagerprüfstandes die Gleitverhältnisse seiner Öle im Notlaufgebiet zusätzlich studieren, ohne hierzu einen neuen Apparat erwerben zu müssen.

Herrn Professor R.A. Th i e s e n, Direktor des Kaiser-Wilhelm-Institutes für physikalische Chemie, Berlin, möchte ich für sein Interesse und die stete Förderung meinen ergebensten Dank aussprechen.

A u s s a g e n

Hr. Holm: Die Reibungswerte, gerade auch diejenigen der Ruhereibung, hängen stark von der Oberflächengüte der Gleitfläche (z.B. geschliffen, ungeschliffen) ab. Die wahren Gleitgeschwindigkeiten sind meistens höher als die gemessenen (Zittern, Rattern).

Hr. Klemencic: Die Ruhereibung hängt stark von der Temperatur an der Reibungsstelle ab, und zwar steigt sie mit der Temperatur. Es kommt aber bei Gleitlagern auch fallende Reibung vor. Die Schwierigkeit besteht darin, dass die Temperatur an eng begrenzten Punkten der Gleitflächen nicht genau festgestellt werden kann.

Hr. Heidebroek verweist auf die Arbeiten von Stuart und bemerkt, dass der Zustand vollkommener Haftung elastisch ist und vor dem Abreißen in einen plastischen Zustand übergeht.

Hr. Dunker weist auf Besonderheiten der Reibung an monomolekularen Schichten hin, insbesondere auf das Verschwinden endlicher Ruhereibung, das anscheinend in Maschinen der vom Vortragenden verwendeten Art nicht beobachtet worden ist.

Die von Bartel hervorgehobene Betriebsstreue seiner Versuche ist s.E. nicht so wichtig. Man muss über die Eigenschaften der monomolekularen Schichten Genaueres erfahren. In den erwähnten Versuchen vermisst Dunker eine klare Trennung zwischen hydrodynamischer und Grenzschichtreibung. Er fragt, ob die Komplikation der Versuchsanordnung durch das langsame Auslaufen notwendig ist.

Hr. Bartel: Erst durch das langsame Auslaufen ergeben sich reproduzierbare Werte der Ruhereibung, weil erst hierdurch die definierte Grenzschicht entsteht.

Hr. v. Philippovich: Die Betriebsstreue darf nicht so sehr in den Vordergrund geschoben werden, weil man sonst für die vielen Fälle der Praxis zu viele verschiedene Prüfgeräte verlangen müsste.

Hr. Kluge:

Die Untersuchungen von Herrn Bartel (Kaiser-Wilhelm-Institut für physikalische Chemie) geben Veranlassung, auf einige neue Arbeiten der Reichsanstalt hinzuweisen. Es ist bemerkenswert, dass Hr. Bartel im Bereich kleinster Geschwindigkeiten stets eine mit der Gleitgeschwindigkeit abnehmende Reibungszahl findet, während die Versuchseinrichtung der Reichsanstalt unter gewissen Voraussetzungen, so für Schmiermittel besonders guter Schmiereignung (Schmierfähigkeit), auch eine mit der Gleitgeschwindigkeit zunehmende Reibungszahl ergeben kann. Es wurde im Zusammenhang mit diesbezüglichen Arbeiten der Reichsanstalt der Begriff der fallenden bzw. steigenden Grenzreibungs-Charakteristik geprägt. Eine fallende Grenzreibungs-Charakteristik ist z.B. bei Schmierung mit einem zusatzfreien Mineralöl an dem Werkstoffpaar Stahl-Stahl bzw. Stahl-Gusseisen und eine steigende Grenzreibungs-Charakteristik bei Schmierung mit einem Fettöl zu beobachten. Es liegt die Vermutung nahe, dass sich im Verlauf der Reibungs-Charakteristik bei kleinsten Gleitgeschwindigkeiten die jeweiligen mehr oder weniger stark adsorptiven Bindungskräfte zwischen dem Schmierstoff und dem Lagerwerkstoff äussern. Einen interessanten Beitrag zu dieser Frage liefern nun die Untersuchungen der Reichsanstalt an den Homologen der gesättigten Fettsäuren (vgl. Bild 1 u. 2). Hochmolekulare Fettsäuren ergeben hiernach eine steigende und niedermolekulare eine fallende Reibungs-Charakteristik, wobei letztere mit zunehmender Kettenlänge allmählich in die Form der steigenden Charakteristik übergeht. Da andererseits aus Untersuchungen über die Benetzungswärme und über den Randwinkel bekannt ist, dass hochmolekulare Fettsäuren eine grössere Haftfestigkeit gegenüber metallischen Werkstoffen besitzen als niedermolekulare Fettsäuren, ist offenbar die steigende Reibungs-Charakteristik als ein besonderes Merkmal für eine grosse Haftfestigkeit des Schmiermittels gegenüber dem Metall anzusprechen.

Es ist nun mit Sicherheit anzunehmen, dass die Adsorption des Schmierstoffes am Lagerwerkstoff durch die Temperatur mehr oder weniger beeinflusst wird, und zwar in dem Sinne, dass die Haftfestigkeit des an dem Lagerwerkstoff adsorbierten Schmiermittelfilms mit der Temperatur abnimmt. In der Tat ergeben z.B. Untersuchungen mit Laurinsäure an dem Werkstoffpaar Stahl-Stahl bei höherer Temperatur ausgeprägt fallende Reibungs-Charakteristik, während bei niedrigen Temperaturen eine schwach steigende Reibungs-Charakteristik festgestellt wurde (Bild 3).

Bei Untersuchungen über den Einfluss der auf der Gleitfläche ruhenden Last gelangt man zu entsprechenden Feststellungen. Mit zunehmender Last geht die schwach steigende Reibungs-Charakteristik für Laurinsäure allmählich in eine schwach fallende über. Der Einfluss der Last ist jedoch bei weitem nicht so gross wie der der Temperatur (Bild 4). Dies erscheint auch verständlich, da sich der wirkliche Druck nach Holm gar nicht oder sehr wenig mit der Last ändert. Es wird vielmehr mit zunehmender Last nur die wirkliche Berührungsfläche grösser.

Schon vor einiger Zeit konnte bei Untersuchungen der Reichsanstalt gezeigt werden, dass die unterschiedliche Schmiereignung (Schmierfähigkeit) technischer Schmiermittel bei der Werkstoffabtragung unter Grenzschmierungsbedingungen in kennzeich-

nender Weise zum Ausdruck kommt. Untersuchungen an dem Werkstoffpaar Stahl - Stahl und Stahl-Gusseisen z.B. ergeben für Fettöl eine wesentlich grössere Werkstoffabtragung als für ein zusatzfreies Mineralöl. Es wurde weiterhin bereits im Rahmen der letzten Sitzung unseres Ausschusses auf Untersuchungen der Reichsanstalt verwiesen, wonach die homologen gesättigten Fettsäuren eine umso grössere Werkstoffabtragung ergeben, je grösser die Kettenlänge ist. Ähnliche Beobachtungen, wenn auch nicht so deutlich, konnten an den entsprechenden Alkoholen bzw. Athylestern der Fettsäuren gefunden werden (Bild 5). Nach diesen Untersuchungen besteht in Übereinstimmung mit den Anschauungen, die v. Engelhardt aus seinen Messungen über die Schleifhärte von Quarz gewonnen hat, kein Zweifel mehr darüber, dass auch bei der Werkstoffabtragung der Metalle unter Grenzschmierungsbedingungen die mehr oder weniger stark adsorptiven Bindungskräfte zum Ausdruck kommen. D.h., einer sehr grossen Adsorptionsfestigkeit zwischen dem Schmierstoff und dem metallischen Werkstoff ist eine entsprechend grosse Werkstoffabtragung zuzuordnen und umgekehrt. Diese Auffassung erhielt eine weitere Stütze durch Untersuchungen über den Temperatureinfluss auf die Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung. In Bild 6 ist die bei Schmierung mit Laurinsäure beobachtete Werkstoffabtragung in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Sie nimmt entsprechend der kleineren Adsorptionsfestigkeit bei höherer Temperatur stark ab.

Die Abhängigkeit von der Last, wie sie in Bild 7 dargestellt ist, lässt sich dagegen nicht ohne weiteres mit der geschilderten Deutung in Einklang bringen. Es war zunächst zu erwarten, dass die adsorbierten Filme bei grösseren Drücken zum Teil zerstört werden, was bei sinngemässer Anwendung der oben angegebenen Deutung über die Wirkung der adsorptiven Bindungskräfte zu einer kleineren Werkstoffabtragung führen müsste. Es darf jedoch in Übereinstimmung mit Holm nicht ausser Acht gelassen werden, dass der wirkliche Druck nahezu unabhängig von der Last ist. Eine Änderung in der Druckbeanspruchung der adsorbierten Filme bei steigender Last tritt also nicht ein. Dagegen vergrössert sich mit der Last die wirkliche Berührungsfläche, wodurch aber zwanglos die beobachtete Zunahme der Werkstoffabtragung mit grösserer Last verständlich wird.

Durch Einbeziehung weiterer Schmierstoffe mit bestimmt ausgewählter Konstitution und durch Ausdehnung der Versuche auf verschiedene andere Werkstoffe sollen die vorstehend beschriebenen Gesetzmässigkeiten noch genauer überprüft werden.

*Diskussionsbeitrag Kluge zum Vortrag Barzel (1)*

Bild 1 und 2 Gleitreibungszahl der gesättigten Fettsäuren bei Grenzschmierung 03262  
 umlaufende Scheibe: Stahl Last: 900 g  
 Stifprobe: Stahl Rauigkeit:  $2 \cdot 10^{-3}$  mm  
 Stiftdurchmesser: 0,6 mm Temperatur: 100°C

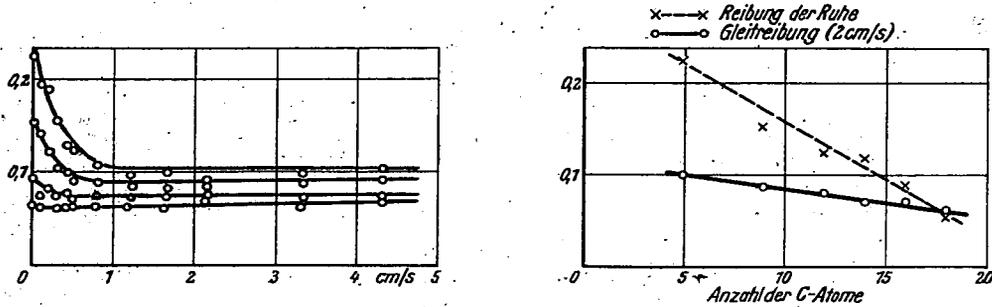


Bild 3 Reibungszahl der Laurinsäure bei Grenzschmierung in Abhängigkeit von der Temperatur  
 umlaufende Scheibe: Stahl Last: 900 g  
 Stifprobe: Stahl Rauigkeit:  $2 \cdot 10^{-3}$  mm  
 Stiftdurchmesser: 0,6 mm

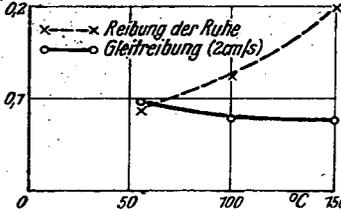


Bild 4 Reibungszahl der Laurinsäure bei Grenzschmierung in Abhängigkeit von der Last  
 umlaufende Scheibe: Stahl Temperatur: 55°C  
 Stifprobe: Stahl Rauigkeit:  $2 \cdot 10^{-3}$  mm  
 Stiftdurchmesser: 0,6 mm

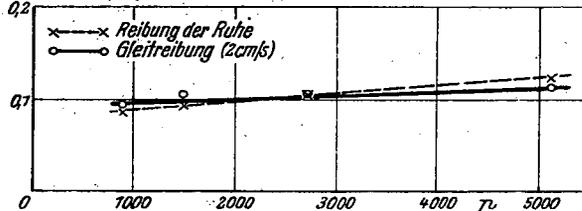


Bild 5 Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung m.d. gesättigten Fettsäuren, deren Äthylester u. d. entsprechenden Alkoholen  
 umlaufende Scheibe: Stahl Last: 900 g  
 Stifprobe: Stahl Rauigkeit:  $2 \cdot 10^{-3}$  mm  
 Stiftdurchmesser: 0,6 mm Temperatur: 100°C  
 Gleitgeschwindigkeit: 4 cm/s

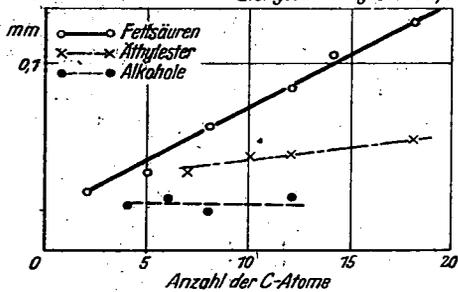


Bild 6 Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung mit Laurinsäure in Abhängigkeit von der Temperatur  
 umlaufende Scheibe: Stahl Last: 900 g  
 Stifprobe: Stahl Rauigkeit:  $2 \cdot 10^{-3}$  mm  
 Stiftdurchmesser: 0,6 mm Gleitgeschw.: 4 cm/s

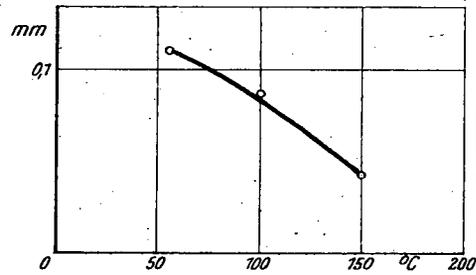
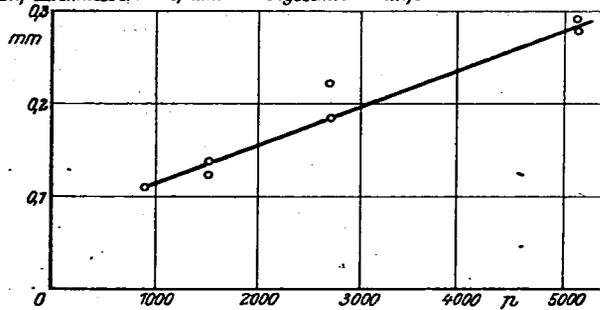


Bild 7 Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung mit Laurinsäure in Abhängigkeit von der Last  
 umlaufende Scheibe: Stahl Temperatur: 55°C  
 Stifprobe: Stahl Rauigkeit:  $2 \cdot 10^{-3}$  mm  
 Stiftdurchmesser: 0,6 mm Gleitgeschw.: 4 cm/s



Hr. v. Philippovich: Die Betriebstreue darf nicht so sehr in den Vordergrund geschoben werden, weil man sonst für die vielen Fälle der Praxis zu viele verschiedene Prüfgeräte verlangen müsste.

Hr. Zorn gibt folgenden Beitrag:

Nachstehend möchte ich Ihnen einige Versuchsergebnisse vorführen, die Ihnen zeigen sollen, dass zwischen der Schmierfähigkeit und der chemischen Konstante der Schmierstoffe wichtige Beziehungen bestehen. Die Schmierfähigkeit wurde gemessen an der Ketten-Apparatur (Bild 1), die vom Technischen Prüfstand Oppau entwickelt worden ist.

Die Kurven 1, 2, 3 des Bildes 2 sind Messwerte von Estern der Adipinsäure und den geradkettigen Alkoholen Butanol, Oktanol und Dodecanol. Man sieht, dass mit steigendem Molekulargewicht die Reibungszahlen absinken und die Abhängigkeit der Reibungszahlen von der Temperatur immer günstiger werden. Ersetzt man in diesen Estern die Adipinsäure durch die Methyl-Adipinsäure, das sind die Ester 4 und 5, so sieht man, dass die Reibungszahl der Methyl-Adipin-Säure-Ester stets höher liegt als die der entsprechenden Adipinsäure-Ester. Diesen Einfluss der Methyl-Gruppe finden wir auf Bild 3 wieder bestätigt beim Vergleich der Ester 2 und 6 sowie 6 und 7. Interessant ist hier nun die rechte Seite des Bildes, wo der Verschleiss der Ester gemessen wurde an einer Hartmetallscheibe, die gegen eine Stahlplatte gedrückt wurde. Man sieht hier, dass derjenige Ester, dessen Reibungszahl am grössten ist, den niedrigsten Verschleisswert aufweist.

Bild 4 zeigt noch einmal das starke Absinken der Reibungszahl mit steigendem Mol-Gewicht des Esters. Man vergleiche Nr. 25 mit 11, 12, 13 und 16. Desgleichen wird die Temperatur-Abhängigkeit immer günstiger. Beim Ester 16 ist sogar mit steigender Temperatur eine geringe Abnahme der Reibungszahl festzustellen. Bemerkenswert ist ferner der Vergleich von 11 und 12. Die verzweigte Säure hat wieder die höhere Reibungszahl und die stärkere Temperaturabhängigkeit der Reibungszahl. Weiter ist interessant, dass durch die unvollständige Veresterung die Reibungszahl nur wenig verschlechtert, die Temperaturabhängigkeit aber gar nicht beeinflusst wird; man vergleiche 17 mit 13. Bei den Verschleissversuchen ist wieder die Reihenfolge der Ester genau umgekehrt wie bei den Reibungszahlen. Auch bei den noch höher molekularen Estern des Bildes 5 wird wieder bestätigt das Abnehmen der Reibungszahl und die Verflachung der  $\mu$ -Temperatur-Kurve mit steigendem Molgewicht.

Hr. Kluge wirft die Frage des Einflusses des Schwefels auf Hr. Zorn weist darauf hin, dass man den Unterschied von freiem und gebundenem Schwefel beachten muss.

Hr. Heidebrock fragte, welche Reibung auf der Kettenmaschine der I.G. gemessen würde,

Hr. Zorn meinte, es müsse Grenzreibung sein, da Stoffe gleicher Viskosität, aber verschiedener Konstitution Unterschiede ergäben.

Hr. v. Philippovich weist auf von Zorn gezeigte Beispiele hin, bei denen der Verschleiss mit zunehmender Temperatur ausnahmsweise abnimmt, und fragt, ob nicht ein Verdacht auf chemische Veränderungen berechtigt sei.

Hr. Zorn (verneint) und erwidert, dass sich die Molekülgestalt mit der Temperatur ändern könne, etwa im Sinne einer Entknäuelung, dass sich die Orientierung ändern könne usw., was alles den beobachteten Effekt ergeben könnte.

Hr. Wolf fragt, ob sich aus den Estern nicht Säure bilden konnte.

Hr. Zorn verneint. Säurebildung würde längere Zeit brauchen.

Hr. Klemencic möchte einen Unterschied zwischen rein mechanischer und chemischer Schmierung sehen.

Hr. Dunken erklärt, dass zwischen rein adsorptiver Bindung und chemischer Bindung nur gradweise Unterschiede bestehen, da in beiden Fällen die gleichen Kräfte wirksam sind.

Hr. Wolf betont, dass nach Messungen in seinem Institut die Haftfestigkeit nicht mit der Temperatur abzunehmen braucht.

Hr. Zorn meint, dass eine Entknäuelung der Moleküle bei höherer Temperatur eine Erhöhung der Haftfestigkeit bringen kann.

POOR  
COPY

4

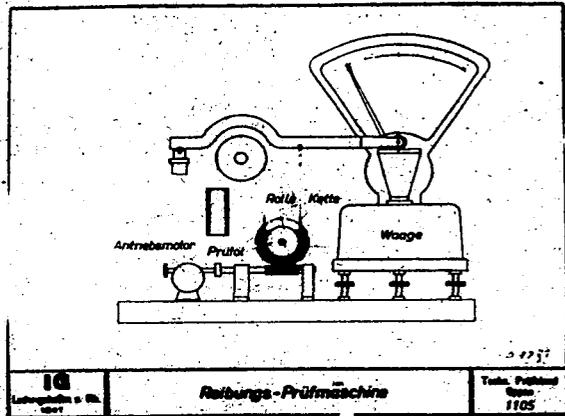


Bild 1

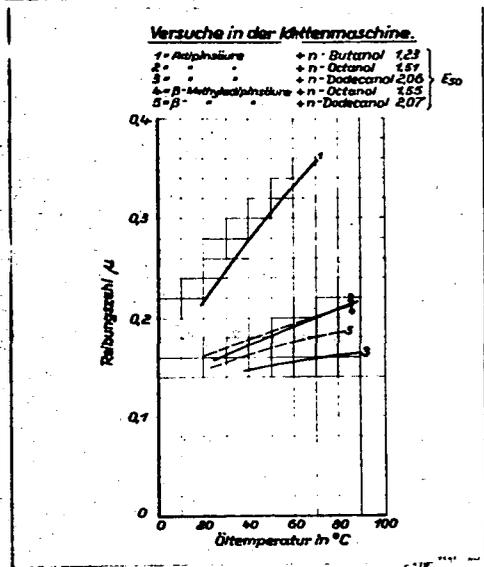


Bild 2

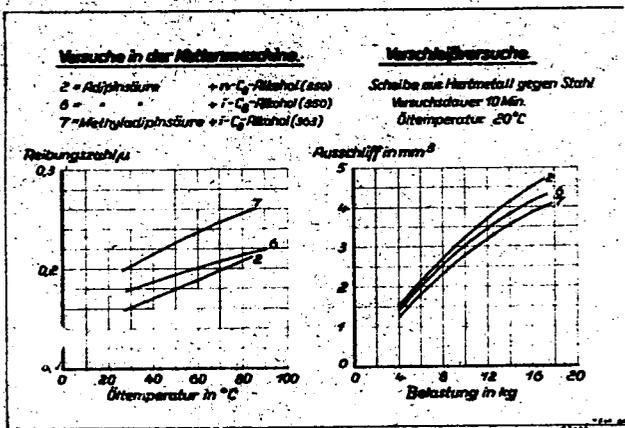


Bild 3

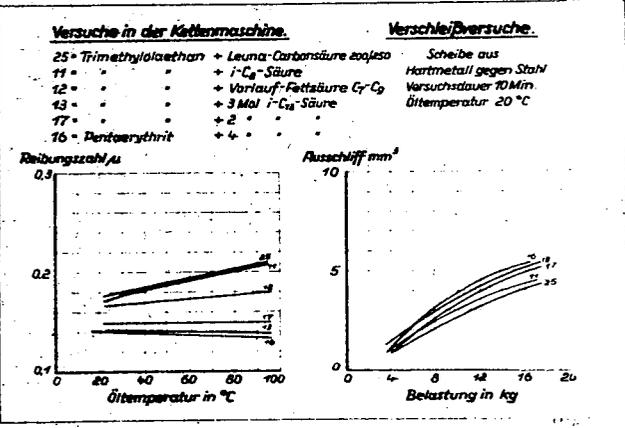


Bild 4

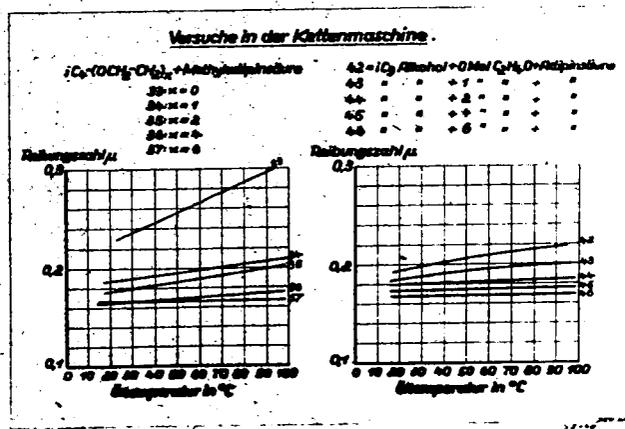


Bild 5

2. Dr. von PhilippovichÜber die chemische Schmierung bei Flugmotoren

Die Versuchsergebnisse der DVL (siehe Krienke, Öl und Kohle 70 (1943) 840) über den Verschleiß von Kolbenringen im Flugmotoreneinzylinder wurden zu den Öleigenschaften in Beziehung gesetzt. Dabei zeigte sich wenig Zusammenhang zwischen Haftarbeit, Oberflächen- und Grenzflächenspannung und Verschleiß, während mit Ausnahme des fast nur aus Rizinusöl bestehenden Kompressols eine deutliche Beziehung zwischen Verschleiß und Schwefelgehalt bestand (Bild 1), indem mit steigendem Schwefelgehalt der Verschleißverringerungswert der Öle (Idealöl-Wert 100, Bezugsöl Rotring-Wert 50) ebenfalls anstieg (Bild 2). Nun war nicht zu erwarten, daß eine exakte Beziehung zwischen Schwefelgehalt und Verschleiß bzw. dem Verschleißverhinderungswert bestände; Die Art der Schwefelverbindungen mußte sich wohl auch noch auswirken. So zeigen die drei Öle V<sub>1</sub>, P<sub>6</sub> und Rotring bei ziemlich ähnlichen Schwefelgehalten starke Unterschiede im Verschleißverhinderungswert. Deshalb wurde die Reaktionsfähigkeit der Schwefelverbindungen derart untersucht, daß die Öle in einem Reagenzglas auf von 10 zu 10° steigende Temperaturen erhitzt und die Zeiten bestimmt wurden, nach denen bei bestimmten Abmessungen der Apparatur beim Wasserstoffdurchleiten in einer Bleiacetatlösung sichtbare Mengen Bleisulfid entstanden (Bild 3). Man erkennt, daß V<sub>1</sub> am raschesten, P<sub>6</sub> langsamer und Rotring am allerlangsamsten Schwefelblei bildet; die Reihenfolge ist die gleiche wie jene des Verschleißverhinderungswertes. Je leichter also die Schwefelverbindungen reagieren, umso geringer wird der Verschleiß der Kolbenringe, wenn die Öle etwa den gleichen Schwefelgehalt besitzen. Damit erscheinen die chemischen Eigenschaften erstmalig auch für Schmieröle, die nicht unter den Bedingungen der Hochdruckschmiermittel arbeiten, ausschlaggebend für die Schmiereignung. Ursache wird wohl die hohe Arbeitstemperatur sein, die im Mittel zwischen 250-300°C, maximal aber wohl noch höher liegt. Die Beurteilung der Schmiereignung nach rein physikalischen Gesichtspunkten ist deshalb für solche Verhältnisse nicht brauchbar. In den Lagern der Flugmotoren treten in Betriebstemperaturen bis 150°C auf; ob sich da die chemische Schmierung noch wesentlich auswirkt, müßte erst untersucht werden. Im übrigen ist es klar, daß zwischen physikalischer und chemischer Schmierung nicht in allen Fällen klar unterschieden werden kann, so dürfte gerade das bereits erwähnte Kompressol (Rizinusölmisch) bei niedrigeren Temperaturen physikalisch, bei höheren aber chemisch schmieren, wenn man die Bindung mit Wasserstoffatomen (van der Waal'schen Kräften) und mit Hauptvalenzatomen als physikalisch annimmt.

POOR  
COPY

4

Aussprache

Hr. v. Philippovich empfiehlt eine Versuchsreihe in ähnlichem Sinne, wobei einheitliche Ölproben an verschiedenen Stellen verwendet werden müssten. Dadurch erhält man einen Überblick, ob und mit welchen verfügbaren Lagerprüfeinrichtungen reproduzierbare Ergebnisse zu erwarten sind.

Hr. Heidebroek weist auf die Schwierigkeit und die Notwendigkeit hin, Verfahren zur genaueren Messung der Temperatur an eng begrenzten Stellen der Schmierschicht zu schaffen.

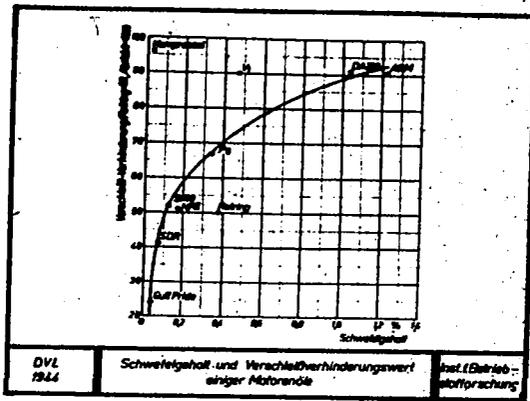
Die Hrn. Holm, Pfender und Vogelpohl weisen auf die praktische Möglichkeit hin, diese Temperaturen rechnerisch zu ermitteln. Hr. Holm hat solche Rechnungen schon mehrfach durchgeführt, und er erklärt sich bereit, neue Beispiele durchzurechnen.

Hr. Pfender: Der unmittelbaren Messung der an Stelle metallischer Berührung auftretenden Temperaturen bereitet nicht nur die Unzugänglichkeit, sondern auch der meist nicht stationäre und dauernd veränderliche Vorgang selbst wahrscheinlich unüberwindbare Schwierigkeiten, wenn man sich nicht wie Bowden auf kleinste Berührungsflächen und die Ausnutzung des thermoelastischen Effektes beschränken will. Bei grösseren Gegenflächen werden wahrscheinlich nur mittelbare Rückschlüsse auf örtlich sich ausbildende Temperaturspitzen möglich sein, indem man aus der aufgenommenen Leistung, der Wärmeleitfähigkeit, der spezifischen Wärme und der Wichte des Reibwerkstoffes einerseits und der Annahme halbkugelförmiger Temperaturentstehung andererseits die zu erwartenden Temperaturen zu ermitteln sucht. Unter Umständen könnten dabei die Erfahrungen mit Nutzen angewandt werden, die bei der Bestimmung des Temperaturfeldes an Drehmeisseln gesammelt wurden (G. Pahlitzsch und H. Helmerdig, Z.VDI 87 (1943) 564; H. Schallbroch und M. Lang, Z.VDI 87 (1943) S.15). Die Hauptschwierigkeit bei diesen Ermittlungen dürfte darin liegen, dass man auf ein zutreffendes Schätzen der Grösse und Verteilung der wirklich tragenden Berührungs- und Reibflächen angewiesen ist, zumal die bei Raumtemperatur ermittelte Oberflächenhärte nicht mehr mit der bei der Reibtemperatur vorhandenen Härte übereinstimmt.

Hr. Glaser auf Fragen von Hrn. Dunken: Gleitflächen als Thermoelemente zu benutzen, führt deshalb zu keinen brauchbaren Ergebnissen, weil diese Messung nur Mittelwerte über grössere Flächen ergibt.

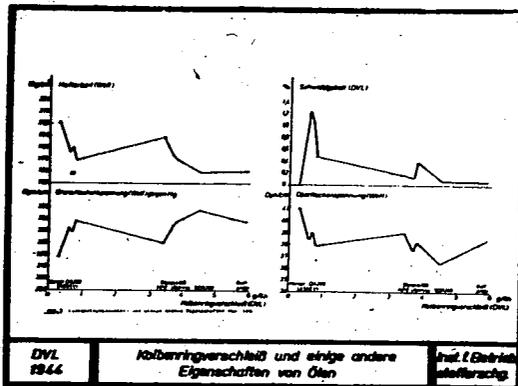
Hr. v. Philippovich auf Frage des Hrn. Klemenovic: Die Kenntnis der Bahrrücktemperatur reicht nicht aus, da die Zersetzung der Schwefelverbindung gerade bei Temperaturspitzen erfolgt.

03268  
Vortrag  
Philippovich (2)



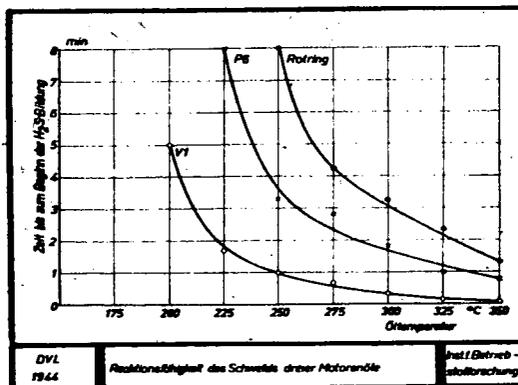
DVL 1944 Schwefelgehalt und Verschleißverhinderungswert einiger Motorenöle Inst. f. Betriebsstoffforschung

Bild 1



DVL 1944 Pleiberringverschleiß und einige andere Eigenschaften von Ölen Inst. f. Betriebsstoffforschung

Bild 2



DVL 1944 Reaktionsfähigkeit des Schwefels dreier Motorenöle Inst. f. Betriebsstoffforschung

Bild 3

POOR  
COPY

4

3. Dr. von Philippovich und Dr. KrienkeBericht über die eingegangenen Meldungen zum Lagerauftrag

Entsprechend dem Wortlaut des Auftrages wurden Prüfeinrichtungen für Maschinen aller Art gemeldet. Will man Lager, Zahnräder oder allgemein gesprochen, Maschinenbauteile prüfen, so muß das wirklichkeitsgetreu erfolgen. - Eine allgemein gültige Prüfapparatur und demgemäß auch eine ebensolche systematische Einteilung ist dann nicht möglich. Für den Zweck des Maschinenbauers kommt also eine systematische Einteilung nicht in Frage.

Anders ist es mit der Notwendigkeit einer Einteilung, wenn man sie von der Schmierstoffseite aus betrachtet. Es soll dieser Gesichtspunkt im folgenden zu Grunde gelegt werden. Man kann danach die Maschinen, welche auf Grund des Auftrages gemeldet wurden, in drei Gruppen einteilen:

Unterteilung der von 36 verschiedenen Stellen angemeldeten 70 Geräte bzw. eingegangenen Antworten in

a. Nicht auswertbare Antworten und für Schmierversuche nicht geeignete oder noch nicht fertige Geräte:

1. Keine Prüfeinrichtungen vorhanden 52 <sup>+</sup> )	1
2. Prüfeinrichtung noch nicht betriebsfertig 6 26 31	3
3. Gerät dient der Viskositätsmessung 15 29 40	3
4. Angaben reichen nicht aus 7 10	2

Insgesamt 9 Geräte bzw. Antworten, d.h. 13% der Anmeldungen

b. Geräte mit Maschinenbauteilen (größere Prüfölmengen erforderlich)

1. Lager 8 9 11 12 13 14 15 17 18 22 24 33 35 36 49 50 53 58 59 63 65 68 69 70	24
2. Zahnräder 1 5 20	3
3. Motoren 27 56	2
4. Walzen und Prüfkörper von verhältnismäßig großen Abmessungen, wie z.B. Panzerketten, Bremstrommeln usw. 32 37 38 54 55	2

Insgesamt 34 Geräte, d.h. 48% der angemeldeten.

+ Die Nummern bedeuten Kennziffern, mit denen - in der Reihenfolge ihrer Eingänge - die Antworten bzw. die in ihnen angemeldeten Geräte lfd. versehen worden sind.

c. Kleine Prüfgeräte (Prüfmengen bis etwa 1kg)A. Geräte, die vorwiegend zur Messung von Freßbelastungen oder Reibungswerten dienen

I. 4-Kugelmaschinen	2 45 48	3	
II. Almen-Wielandmaschinen	41 46 60 64	4	
III. Falck-Maschine	3	1	
IV. Ford-Tester	47	1	
V. Kettenmaschine	42	1	
VI. Thoma-Gerät	28	1	11

B. Geräte, welche vorwiegend Verschleißgrößen messen

I Siebel-Maschinen	34 57	2	
II. Skoda-Sarwin-Maschinen	44 48	2	
III. Sonstige Verschleißmaschinen	4 21 23 25 39 43 67	7	11

C. Kleinlager, vorwiegend zur Messung von Reibungswerten 19 30 51 61 625  
27Insgesamt 27 Geräte, d. s. 39% der angemeldeten.

Bei dieser Auswertung der auf die Rundfrage eingegangenen Antworten mußten die Prüfgeräte z.T. auf Grund nicht ganz ausreichender Unterlagen eingeteilt werden. Es ist daher nicht ganz ausgeschlossen, daß besonders in der Frage der Prüfmöglichkeit mit kleineren Schmiermittelmengen noch gewisse Korrekturen in der Aufstellung vorgenommen werden müssen.

c. Aufstellung der Stellen, welche kleine Prüfgeräte anmeldeten:

- A. 11 Geräte, die vorwiegend zur Messung von Freßbelastungen oder Reibungswerten dienen
- angemeldet von:
- |                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| I. 3 Vierkugelmaschinen   | 2 MPA an der T.H. Stuttgart         |
|                           | 45 Rhenania-Ossag                   |
|                           | 68 DVL, Institut BS                 |
| II. 4 Almen-Wielandmasch. | 41 Steinkohlenbergwerk Rheinpreußen |
|                           | 46 Rhenania-Ossag                   |
|                           | 60 I.G. Farben Leverkusen           |
|                           | 64 Junkers Dessau                   |
| III. 1 Falex-Maschine     | 3 MPA an der T.H. Stuttgart         |
| IV. 1 Ford-Tester         | 47 Rhenania-Ossag                   |
| V. 1 Kettenmaschine       | 42 I.G. Farben T.P. Oppau           |
| VI. 1 Thoma-Gerät         | 28 E'stelle Rechlin                 |
- B. 11 Geräte, die vorwiegend Verschleißgrößen messen
- |                                      |                                   |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| I. 2 Siebel-Maschinen                | 34 MPA Dahlem                     |
|                                      | 57 FKFS Stuttgart                 |
| II. 2 Skoda-Sawin-Maschinen          | 44 I.G. Farben T.P. Oppau         |
|                                      | 48 Rhenania-Ossag                 |
| III. 7 sonstige Verschleiß-Maschinen | 4 MPA an der T.H. Stuttgart       |
|                                      | 21 T.E. Dresden, Prof. Heidebroek |
|                                      | 23 Metallges. Frankfurt/M.        |
|                                      | 25 KWI für Eisenforschung         |
|                                      | 39 Meier & Weichelt, Leipzig      |
|                                      | 43 I.G. Farben T.P. Oppau         |
|                                      | 67 DVL, Institut X                |
- C. 5 Kleinlager, an denen vor allem Reibungswerte gemessen werden
- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
|  | 19 T.H. Dresden, Prof. Heidebroek |
|  | 30 T.H. München, Prof. Pepler     |
|  | 51 T.E. Graz, Dr. Klemencic       |
|  | 61 T.E. Darmstadt, Prof. Vieweg   |
|  | 62 Bosch Stuttgart                |

Insgesamt 27 Geräte von 19 verschiedenen Stellen

Vorteil der Prüfgeräte mit Bauteilen von Maschinen: wirklichkeits-treu; Nachteil: große Öl-mengen erforderlich, Aussagen nur für verwendeten Bauteil gültig.

Folgerung: Systematische Einteilung für Zwecke der Ölbeurteilung wäre nur dann möglich, wenn die Reihenfolge der Bewertung in allen Maschinen mit Bauteilen gleicher Art die gleiche wäre. Das ist schon wegen der konstruktiven Verschiedenheiten unwahrscheinlich, so daß man für allgemeine Ölbeurteilung den Gültigkeitsbereich der Geräte beschränken müßte, daß sie alle vorkommenden Fälle überdeckt. Werkstoff bei Prüfung müßte festgelegt werden.

Kleine Prüfgeräte müßten nach Schmierzuständen und Temperaturen eingeteilt werden. Eine genaue Einteilung wäre erst möglich, wenn die Geräte nach ihren Ergebnissen untereinander verglichen worden sind. Nun sind die bisherigen Ergebnisse noch recht mangelhaft (Druck- und Temperaturbereich der Messungen, spezifische Last usw.). Eine bessere Einteilung wäre auf Grund von Vergleichsversuchen möglich, bei denen einheitliche Bezugsöle verwendet werden. Solche Bezugsöle wären: einwandfreie H-Öle (die jetzigen haben Verseifungszahlen, enthalten also Sauerstoffverbindungen)

	S.Z.	V.Z.
H 140	0,13	6,0
H 32	0,05	1,8

Rotring, Rizinusöl, H-Öl oder Rotring-Öl + Schwefelester bzw. -verbindung. Die Auswertung müßte erfolgen in der Angabe des Verhältnisses von Meßbereich zu Streuung (bei Messung eines und desselben Öles). Je größer der Wert ist, umso besser ist das Verfahren. Deckt sich Meßbereich mit Streubereich (Empfindlichkeit = 1), so ist das Verfahren unbrauchbar.

Um diese Vergleichsversuche in absehbarer Zeit durchführen zu können, würde es sich empfehlen, einen Bearbeiter einer neutralen Stelle zu den Prüfstellen hinzuschicken. Einzelheiten zu der Versuchsdurchführung werden gesondert in dem Abschnitt "Richtlinien zur Durchführung von Schmierversuchen" besprochen.

Erst nach Durchführung solcher vergleichenden Messungen wird eine Aussage über die Meßbereiche und Empfindlichkeit der einzelnen Geräte möglich sein.

#### A u s s p r a c h e

Hr. Heidebrock: Die Schmierstoffprüfgeräte sollten von den eigentlichen Lagerprüfmaschinen getrennt behandelt werden. Vorurtinglicher ist wohl die Schmierstoffprüfung, da man mit den gegebenen Lagerwerkstoffen auskommen muss. Das Endziel wäre ein einfaches Prüfgerät für alle Zwecke. Die Verschleissfrage darf auch nicht ausser Acht gelassen werden.

4. Dr. von Philippovich

Vorschlag zu Richtlinien für die Durchführung von Schmierversuchen

Kennzeichen der Schmierung:

Reibungsverhinderung und Verschleißverringern sind die Kennzeichen der Schmierung; sie sind aber nicht/gegenläufig! Man bezeichnet daher am besten genau, was man erzielen will; demgemäß wird die Prüfung sich gestalten.

Meßmöglichkeiten:

Zur Messung der Schmiereigenschaften gibt es verschiedene Möglichkeiten und zwar:

- Reibungswert a) Ruhe, b) Bewegung
- Verschleißgröße
- Belastbarkeit a) kg/cm<sup>2</sup>, b) Diagramme
- Temperatur (des Versagens, der Kontaktstellen, Mittelwerte)
- Gleitgeschwindigkeit
- Lebensdauer

Kennzeichen der Schmierarten:

Die Prüfmaschinen arbeiten in verschiedenen Gebieten der Schmierung:

1. Physikalisch: a) nicht hydrodynamisch (vorwiegend Grenzreibung)
  - b) Teilschmierung
  - c) hydrodynamisch
2. Chemisch (durch chemische Veränderung der Oberflächen)

Zur Erkennung des betreffenden Gebietes empfiehlt sich die Verwendung von Bezugsölen:

Drei Öle gleicher Zähigkeit, von denen eines rein paraffinisch, das andere physikalisch aktiv und das dritte chemisch aktiv ist, sowie ein viertes ebenfalls paraffinisches mit anderer Zähigkeit.

Faktoren und Einflüsse

- a) Schmiermittel: Freiheit von mechanischen Verunreinigungen Vorbedingung. Verdunstung, Oxydation und Polymerisation und Entmischung bei Aufbewahrung müssen vermieden werden. Gut verschlossene, dunkle Glasgefäße oder Blechbehälter zur Aufbewahrung! Öle sollten nicht nur im frischen Zustand, sondern auch nach Alterung untersucht werden. Chemisch wirksame Elemente im Schmierstoff (S, P, Cl, usw.) müßten bekannt sein.

- b) Werkstoff: Natur des Werkstoffes, chemische Zusammensetzung, Gefüge des Metalls oder der Legierung, Rauigkeit, sowie allgemeine mechanische Eigenschaften müssen bekannt sein.
- c) Schmierstelle: Zur Erzielung reproduzierbarer Ergebnisse muß die Schmierstelle für jeden Versuch immer in möglichst gleicher Beschaffenheit hergestellt sein. Spiele sind sehr wichtig, vor allem bei Gleitlagern. Die dauernd richtige Zufuhr bzw. Versorgung mit Schmiermitteln ist zu beachten; bei Fetten muß dies besonders berücksichtigt werden.

#### Versuchsbedingungen:

Bei dem Versuch können sich Werkstoff und Schmiermittel in schwer kontrollierbarer Weise ändern - der zeitliche Ablauf des Versuches muß deshalb beachtet werden. Unter Umständen ist sogar die Zeit zwischen der Aufbringung des Schmiermittels und dem Versuch von Einfluß. Die spezifischen Belastungen, nicht nur projizierte Drücke, Mitteltemperaturen, nach Möglichkeit auch die Spitztemperaturen sollten bekannt sein. Die Menge des Öles ist dann von Bedeutung, wenn kleine Mengen aktiver Anteile darin enthalten sind, die entweder infolge von Adsorption oder durch chemische Reaktion verschwinden können (Dochtschmierung, Filter, S, P, Cl usw.). Zur Erzielung richtiger Ergebnisse erscheint ein Klimaraum wichtig, derzeit überwiegen allerdings Einflüsse anderer Art noch diejenigen der Atmosphäre. Immerhin muß darauf geachtet werden, daß außer Staub auch chemisch wirksame Gase ferngehalten werden, wie  $H_2$  und Cl. Die Arbeitsbedingungen müssen den praktisch herrschenden entsprechen, so daß die in den Maschinen vorkommenden Grenzfälle mit erfaßt werden. Die Versuche sollten stets über einen größeren, praktisch in Frage kommenden Temperaturbereich gemacht werden.

#### Versuchsmethodik:

Ganz gleich, welches Maß man für die Erfassung der Schmiereignung anwendet, man muß sich auf alle Fälle über die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ein Bild verschaffen. Dazu ist es erforderlich, daß man einerseits den Meßbereich durch Prüfung zweier extremer Öle gleicher Zähigkeit festlegt (z.B. paraffinisches Öl-Hizinusöl), dann aber die Streuungen, die bei der Messung eines und desselben Öles auftreten. Das Verhältnis Streuung: Meßbereich ergibt dann den Wert der Empfindlichkeit der Messung. Vielleicht wird man hierbei noch zwischen gut und schlecht meßbaren Ölen unterscheiden müssen.

Dr. F. Seelich:

Über die Charakterisierung der Oxydation von Schmierölen durch Bestimmung des Peroxydgehaltes.

Es ist eine alte Erfahrungstatsache, dass Schmieröle in Verbrennungsmotoren erst nach einiger Zeit ihre maximale Schmierwirkung zeigen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, dass die Schmieröle im Motor anoxidiert werden und dass verschiedene der hierbei entstehenden Oxydationsprodukte infolge ihres polaren Charakters Adsorptionsfilme von grosser Haftfestigkeit und Resistenz bilden, die für die Schmierwirkung im Gebiete der Grenzreibung von besonderer Bedeutung sind. Die Frischöle besitzen also eine "potentielle Schmierwirkung", die erst im arbeitenden Motor zur Geltung kommt. Dieser Umstand darf nicht ausser Acht gelassen werden, wenn man anstrebt, aus den Reibungs- und Verschleisswerten der diversen Prüfgeräte auf die praktische Schmierleistung zu schliessen.

Eine zu hohe Oxydationsbereitschaft wird sich andererseits in dem Maße ungünstig auswirken, als sie zur Bildung von schmiertechnisch unerwünschten niedermolekularen Spaltprodukten und von Harz- und Asphaltstoffen führt. Die üblichen Methoden der künstlichen Alterung von Ölen (Indianatest usw.) mit nachfolgender Bestimmung der Säurezahl und des Harz- und Asphaltgehaltes erfassen diese sekundären Vorgänge, ermöglichen aber keine Beurteilung des primären Oxydationsverlaufes. Dieser wird auch bei physikalisch sehr ähnlichen Ölen ganz verschiedenen Charakter haben, je nach der Gegenwart von Stoffen, die oft schon in geringsten Konzentrationen - als Oxydationskatalysatoren oder Inhibitoren wirken. Hierbei ist auch die Art der verwendeten Werkstoffe von Bedeutung, deren Abrieb oxydationsfördernden oder -hemmenden Einfluss haben kann.

Um die Wirkung dieser verschiedenen Faktoren und den jeweiligen Reaktionsverlauf kennenzulernen, benötigt man analytische Methoden zur Bestimmung der primären Reaktionsprodukte. Dies gilt vor allem für die bei der Oxydation von Kohlenwasserstoffen entstehenden Peroxyde. Wir stellten uns demnach zur Aufgabe, eine Mikro-Schnellmethode zur Bestimmung des Peroxydgehaltes auszuarbeiten. Dieser Peroxydtest, an dessen erfolgreicher Ausarbeitung mein Mitarbeiter Dr. Erdmann besonderen Anteil hat, beruht auf der Oxydation von Ferrosalzen zu Ferrisalz in Gegenwart von Alkalirhodaniden und auf kolorimetrischer Bestimmung des Ferrirhodanids.

Die Nachweisreaktion erfolgt in dem Lösungsmittelgemisch Wasser/Benzol/Methanol, das Schmieröle in begrenztem Umfange vollkommen zu lösen vermag. Der Ausschluss aller Spuren von  $\text{Fe}^{2+}$  in der Reagenzlösung wurde durch Zwischenschalten eines kleinen Silberreduktors ermöglicht. Die Auskolorimetrierung erfolgt gegen eine Farbskala von Kobaltchlorürlösungen. Auf diese Weise lässt sich der Peroxydgehalt in Schmierölen innerhalb weniger Minuten mit einer Genauigkeit von  $\pm 1\%$  bestimmen. Der Vorteil dieser Methode liegt in der Vermeidung eines unvollständigen Ausschüttelns getrennter Flüssigkeiten und in der Ausschaltung des Einflusses ungesättigter Verbindungen, welche bei jodometrischen Methoden durch Bindung des bei der Titration freiwerdenden Jodes die Peroxydwerte fälschen können.

Um ein Bild von der Genauigkeit dieser Peroxydbestimmung in Schmierölen zu geben, wurden Vergleichsmessungen des Peroxydgehaltes (P), der Grenzflächenspannung gegen Wasser ( $\sigma$ ) und der Sedimentationshöhen von Eisenpulvern (S) unter Verwendung von Paraffinölen verschiedener Bestrahlungszeit durchgeführt (Bild 1).

Über die Erniedrigung des Sedimentvolumens von Eisenpulvern in Kohlenwasserstoffen durch polare Verbindungen wurde bereits auf der Tagung vom 29.6.43 berichtet. Inzwischen wurden auch von K.L. Wolf analoge Effekte an anderen Suspensionen beobachtet, über die er hier noch sprechen wird. Unsere bisherigen Versuche haben ergeben, dass die Kurve der Erniedrigung des Sedimentvolumens ähnlich verläuft wie die Kurve der Erniedrigung der Grenzflächenspannung gegen Wasser. Beide besitzen den Charakter von Adsorptionskurven mit asymptotischer Annäherung an einen Sättigungswert, während die Kurve des Peroxydgehaltes annähernd linear mit der Belichtungszeit ansteigt. Die Bestimmung des Peroxydgehaltes bildet so eine wertvolle Ergänzung der physikalischen Charakterisierung der Schmieröle, der sie an Empfindlichkeit kaum nachsteht. Sie ermöglichte uns auch die Untersuchung des primären Reaktionsverlaufes bei der Oxydation von gereinigten Paraffinölen nach Durchleiten von Sauerstoff bei 100° bzw. 120° (Bild 2).

Man ersieht aus den Kurven, dass der Peroxydgehalt erst nach einer längeren Induktionsperiode stark ansteigt, ein Maximum durchläuft und sich dann mit weiterer Versuchsdauer wieder niedrigeren Werten nähert. Die Länge der Induktionsperiode ist abhängig vom Reinheitsgrad des Paraffinöls und von der Temperatur. Bei dem von uns verwendeten Paraffinöl betrug die Induktionsperiode bei 100° 30 Stunden, bei 120° 4 Stunden; bei 140° ist eine Induktionsperiode nicht mehr erkennbar. Der Kurvenabfall nach Überwindung des Maximums beruht auf Sekundärreaktionen, in deren Verlauf unter Aufspaltung der Peroxyde sowohl niedermolekulare Oxydationsprodukte als auch Polymerisate entstehen. Die an reinem Paraffinöl ermittelten Werte dienen bei der Untersuchung der positiv oder negativ katalytischen Wirkung von Zusätzen als Bezugskurven.

Zur Charakterisierung oxydationsauslösender Substanzen in Schmierölen wurden verschiedene ungesättigte, öllösliche Stoffe dem Paraffinöl in 1/100 Molkonzentration zugesetzt und die Peroxydbildung mit der des reinen Paraffinöls verglichen (Bild 3). Aus den Kurven ist zu ersehen, dass Aromaten mit ungesättigter Seitenkette (Anethol, Zimtsäure, Styrol) die Induktionszeit wesentlich herabsetzen; ungesättigte Aliphaten, wie z.B. Ölsäure, zeigen besonders starken Einfluss: Die Induktionszeit verkürzt sich von 30 auf 4 Stunden. Am stärksten wirken Aliphaten mit konjugierten Doppelbindungen; es ist jedoch nicht anzunehmen, dass eine induzierende Wirkung lediglich ungesättigten Verbindungen zukommt. Die Oxydationskurven von U.V. vorbelichteten Ölen zeigen (Bild 4 u. Bild 5), dass durch die Bestrahlung innerhalb des Paraffinöles induzierende Substanzen gebildet werden, die so stark wirksam sind, dass bei nachfolgender O<sub>2</sub>-Oxydation bei 100° eine Induktionszeit nicht mehr erkennbar ist.

Es wurde weiterhin die Wirksamkeit von Inhibitoren auf den Oxydationsverlauf von Paraffinölen untersucht. Zu diesem Zweck wurde reines Paraffinöl bis zu einem Peroxydgehalt von 0,1% mit U.V. Licht vorbestrahlt und anschliessend die Sauerstoffoxydation unter 1/100 molaren Zusatz eines Inhibitors

Vortrag Seelisch (5)

03277

Peroxygehalt, Grenzflächenspannungserniedrigung gegenüber Wasser und Sedimentationshöhenerniedrigung an Fe-Pulver in Abhängigkeit von UV-Bestrahlungszeit.

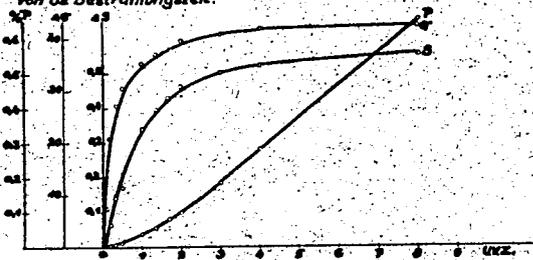


Abb. 1.

O<sub>2</sub>-Oxydationsverlauf unbestrahlter Paraffinölprobe bei 100°C und 120°C

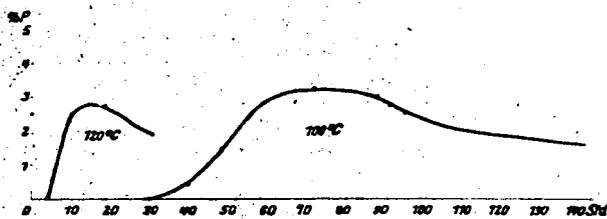


Abb. 2.

Jnittelwirkung ungesättigter Verbindungen bei der O<sub>2</sub>-Oxydation von Paraffinöl (1% Zusatz)

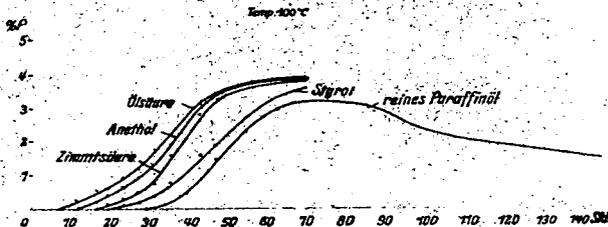


Abb. 3.

O<sub>2</sub>-Oxydationsverlauf UV-bestrahlter Paraffinöl in Vergleich zu unbestrahltem Paraffinöl.

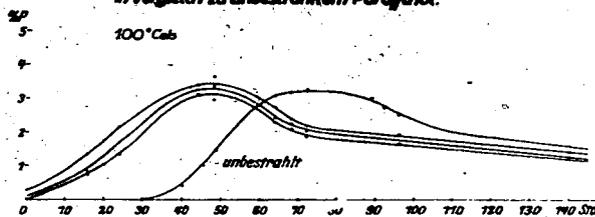


Abb. 4.

O<sub>2</sub>-Oxydationsverlauf UV-bestrahlter Paraffinöl im Vergleich zu unbestrahltem Paraffinöl.

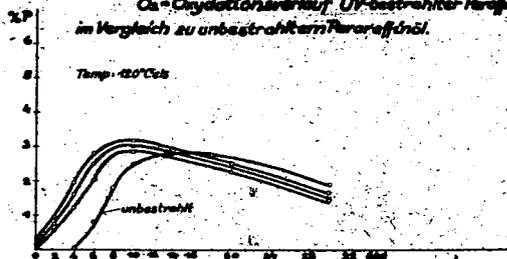


Abb. 5.

Pro- und antioxidative Wirkung von Zusätzen (1% Zusatz) bei der O<sub>2</sub>-Oxydation UV-bestrahlten Paraffinöls (0,1% Peroxygehalt)

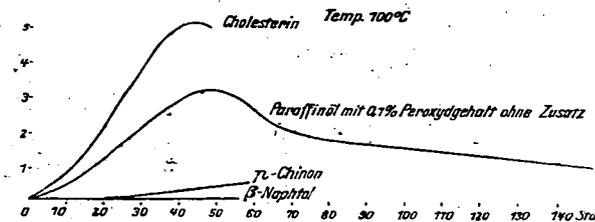


Abb. 6.

Antioxydative Wirkung von Zusätzen (1% Zusatz) bei der O<sub>2</sub>-Oxydation UV-bestrahlten Paraffinöls (0,1% Peroxygehalt)

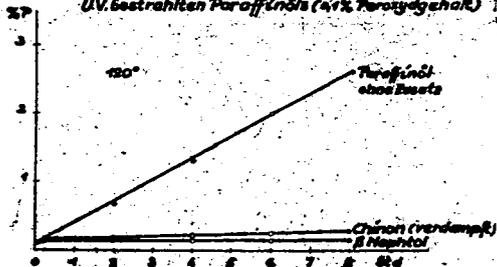


Abb. 7.

Abhängigkeit der antioxygenen Wirkung von der Konzentration des zugesetzten β-Naphthols.

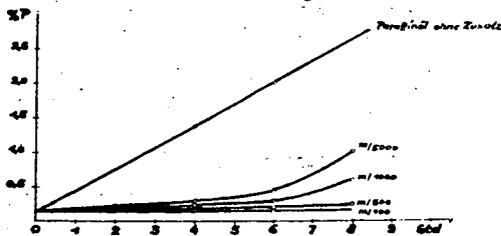


Abb. 8.

verfolgt. Die Oxydationskurven (Bild 6, 7 u. 8) zeigen die starke antioxygene Wirkung von  $\beta$ -Naphthol und Chinon. Von den weiteren Substanzen führen wir nach dem Grade ihrer Wirksamkeit folgende Verbindungen an:  $\alpha$ -Naphthol, Pyrogallol, Thymol, Resorcin, p- und m-Kresol und Phenol. Ohne antioxygenen Einfluss waren Hydrochinonmonoäthyläther, Furfurol, Cymol, m-Dinitrobenzol. Prooxydativ wirkte Cholesterin.

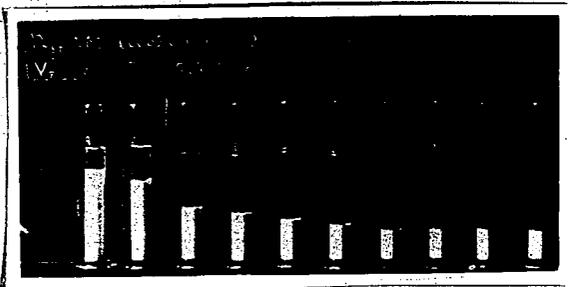
Was den Reaktionsmechanismus der Inhibitoren anbelangt, so wurde von Moureu und Duffraissé (Compt. rend. 186 (1928) 196 Journ. Soc. Chim. Ind. 47 (1928) 819, 849) die Ansicht vertreten, dass diese Stoffe dadurch die autokatalytische Oxydation hemmen, weil sie die primär entstandenen Peroxyde unter Bildung von inaktivem Sauerstoff zersetzen. Dieser Theorie, die bis heute ganz allgemein angenommen wurde, widerspricht unser Befund, wonach bei der Einwirkung von Inhibitoren auf die Oxydation von Schmierölen der anfängliche Peroxydgehalt unverändert bleibt. Die Inhibitoren greifen also nicht an den Peroxyden an. Es ist vielmehr wahrscheinlich, dass sie die Weitergabe der Aktivierungsenergie auf inaktive Kohlenwasserstoffmoleküle verhindern und so die "Energiekette" der autokatalytischen Oxydation unterbrechen. Für die Richtigkeit dieser Auffassung spricht der Befund, dass die Inhibitoren nicht nur die Oxydation beeinflussen, sondern ganz allgemein auf jene Reaktionen hemmend wirken, die als Folge der thermischen oder Photo-Aktivierung von Kohlenwasserstoffmolekülen auftreten, d.h. auf die Abspaltung von Wasserstoff (Bildung von ungesättigten Bindungen), auf die Peroxydbildung, auf Polymerisationsreaktionen und auf die Abspaltung von Kohlenstoffketten.

Es ist unsere Überzeugung, dass Untersuchungen, betreffend den Reaktionsmechanismus der autokatalytischen Oxydation von Kohlenwasserstoffen bei Gegenwart von Initiatoren und Inhibitoren, nicht nur für die präparative Chemie, sondern auch für die verschiedenen Fragen aus der Praxis der Schmiermittel und Treibstoffe von Bedeutung sein werden.

AusspracheHr. Wolf:

Die Ausführung von Hrn. Seelich kann ich durch den Hinweis auf eine Reihe von Messungen von Sedimentvolumina ergänzen, die in unserem Laboratorium ausgeführt wurden. Es handelt sich um Messungen des Einflusses der Konzentration gelöster Stoffe auf die Sedimentation von Pulvern anorganischer Salze (z.B.  $\text{CaCO}_3$ ) und von Metallpulvern. Der Einfluß der Konzentration ist außerordentlich stark ausgeprägt, derart daß zum Beispiel bereits ein Zusatz von äußerst geringen Mengen von Octanol oder Stearinsäure zu Petroläther (0,05 molare Lösungen) das Sedimentvolumen von Quarz um 60%, ein entsprechender von Stearinsäure zu Benzol dasjenige von Eisenoxalat um 70% herabsetzt, während weiterer Zusatz der aktiven Stoffe das Sedimentvolumen nicht mehr beeinflusst. Das Sedimentvolumen von  $\text{CaCO}_3$  wird durch Zusatz von Stearinsäure zu Petroläther sogar um 80% erniedrigt. Ein Beispiel für die Abhängigkeit des Sedimentvolumens von Stearinsäurezusatz gibt für den Konzentrationsbereich einer Normalität von 0,0005 bis zu einer solchen von 0,1 das untenstehende Bild in dessen Kopf die Normalität an Stearinsäure  $N_{St}$  und das Sedimentvolumen des Pulvers  $V_p$  angegeben sind.

Die Sedimentvolumina erweisen sich somit als äußerst empfindlich zum Nachweis von Grenzflächen- und Reibungsaktivitäten und verdienen, da der Einfluß der Zusätze offenbar einer Schmierwirkung gleichkommt, im Zusammenhang mit den Untersuchungen über den Einfluß der Zeit bzw. Schütteldauer auf die Sedimentation versprechen darüber hinaus interessante Ergebnisse.



6. Aussprache über Begriffsbestimmungen der Schmiertechnik.

Hr. v. Philippovich schlägt vor, den Begriff der Grenzreibung abzuschaffen, da es reine Grenzreibung nicht gebe.

Hr. Klenencic findet den Begriff gerade sehr anschaulich, da es zweifellos Reibung gebe, die ausschließlich von der Grenzfläche her bestimmt sei.

Hr. Vogelpohl weist darauf hin, dass der Grenzreibungsbegriff auf die Arbeiten von Hardy zurückginge, die er bereits früher kritisiert habe. Der Begriff Grenzreibung sei ausserdem ursprünglich im Hinblick auf die Randbedingungen von gewissen in der Hydromechanik vorkommenden Differentialgleichungen geprägt worden.

Hr. Dunken entgegnet, dass der Begriff auch im angelsächsischen Sprachgebrauch jedenfalls heute nicht die von Vogelpohl erwähnte Bedeutung habe. Um solchen Deutungen und anderen Missverständnissen aus dem Wege zu gehen, spreche man besser von Grenzflächenreibung. Wieweit die so bezeichnete Reibung, die man z.B. in Messgeräten allein wirksam werden lassen kann, wirklich eine Grenzflächenerscheinung ist, kann man z.B. durch Vergleich der Konzentrationsabhängigkeit der Reibung mit der Konzentrationsabhängigkeit der Grenzflächenarbeit von Quecksilber zeigen.

Hr. v. Philippovich fragt, wie man denn in einer Maschine feststellen wolle, wann, wo und wieweit man Grenzflächenreibung habe.

Hr. Wolf: Die Schwierigkeiten, die z.B. aus den Ausführungen von Hrn. Vogelpohl und Hrn. v. Philippovich im Hinblick auf den Begriff der Grenzflächenreibung zu entstehen scheinen, dürften im wesentlichen darauf beruhen, dass das urbildliche Denken in den letzten Jahrzehnten den Physikern ungewohnt geworden ist. Ich möchte deshalb mit Nachdruck darauf hinweisen, dass es sich bei den Begriffen der Vollschrüierung, der Grenzflächenschrüierung und der Trockenreibung um urbildliche Vorstellungen handelt, die in der Naturante vollständig realisiert sind, deren Erfassung uns jedoch erst eine geistige Durchdringung der Erscheinungen möglich macht. Ob auf solche typischen Fälle bezogen werden muss, steht nicht zur Erörterung; es bleibt also lediglich die Frage, ob der Begriff der Grenzflächenreibung eine wesentliche Erscheinung erfasst. Dass dies der Fall ist, dürfte auf Grund unserer heutigen Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen Schmierwirkung und sonstigen Grenzflächeneigenschaften unbezweifelbar sein. In praktischen Fällen werden wir von Grenzflächenschrüierung stets dann sprechen, wenn der Zustand der Grenzflächenreibung so weitgehend approximiert ist, dass der Vorgang in den Grenzflächen den Reibungsvorgang überwiegend oder entscheidend bestimmt.

Ich möchte noch im Anschluss an die Ausführungen von Hrn. Vogelpohl bemerken, dass es für die Frage des Einflusses der Grenzflächen auf die Reibungerscheinungen völlig belanglos ist, ob in früheren Untersuchungen von Hardy Fehler vor-

liegen oder nicht. Das, um was es sich handelt, ist völlig unabhängig von Hardy. Wegen präziser Definition verweise ich auf die im Erscheinen begriffene hollische Dissertation von I. Gauditz.

Hr. Heidebroek schlägt den Abbruch der Diskussion vor und gibt den Vorschlag von Klemencic bekannt, den aufgeworfenen Fragen eine Tagung in der Ostmark in förderlicher Abgeschlossenheit zu widmen. Dieser Vorschlag findet allgemeine Zustimmung.

gez. Heidebroek

gez. Kraft

**Geheim**

**Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau**

Nr. 450

**Erprobung synthetischer Schmierstoffe in Flugmotoren**

Übersicht: Der Bericht gibt eine Zusammenfassung der motorischen und analytischen Ergebnisse einer Reihen-erprobung einiger besonders geeigneter Flugmotoren-Öle. Von den untersuchten Schmierstoffen zeigten alle ein gegen die Beschaffungsöle, wie z.B. Rotring, sehr günstiges Verhalten, besonders bei den Vollmotorläufen. Die bei zwei Schmierstoffen in einem einzelnen Vollmotorbaumuster aufgetretenen Schwierigkeiten konnten bei einer nachträglichen Erprobung vermieden werden. Im Anschluss an die Vollmotorerprobung wurden in dem Zylinder Einflüsse der Weiterbehandlung, Alterung und Lagerung der geprüften Schmierstoffe untersucht.

In Zusammenfassung ergibt sich für die geprüften Schmierstoffe eine gute Eignung als Flugmotoröle, die sich besonders durch eine gute Verträglichkeit mit dem Motor auszeichnet.

Abgeschlossen am: 27. März 1941

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Leuer

Die vorliegende Ausfertigung 3 enthält

42 Textblätter

Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1		Herrn Dr. v. Holten			
2		Herrn Dr. Dr. Müller-Caspar			
3		Herrn Dr. Zorn, Leuna,			
4		Herrn Dipl. Ing. Leuer,			
5		Techn. Prüfstand			
6					
7					
8					
9					
0					

POOR COPY

5

03283

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 2

Erprobung synthetischer Schmierstoffe in Flugmotoren.

Gliederung des Berichtes:

1.) Zweck der Versuche	Seite 3
2.) Die untersuchten Schmierstoffe	Seite 3
3.) Versuchsdurchführung	Seite 7
4.) Ergebnisse der motorischen Erprobung	Seite 7
5.) Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchung	Seite 21
6.) Beurteilung	Seite 37

POOR  
COPY

5

03284

Bericht Nr. 450 des Techn. Prüfstandes Oppau, Seite 3

1.) Zweck der Versuche.

Um die Erzeugung synthetischer Öle an den einzelnen Stellen der I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft laufend durch Motorversuche zu überprüfen und eine Voruntersuchung der für Vollmotorläufe vorgesehenen Schmierstoffe durchzuführen, wurden diese zunächst im BMW-132-N-Einzyylinder auf motorisches Verhalten untersucht. Von den untersuchten Schmierstoffen wurde eine Gruppe, die günstiges Verhalten gezeigt hatte, auch in Vollmotorläufen verschiedener Baumuster erprobt.

2.) Die untersuchten Schmierstoffe.

Den Untersuchungen lagen Mischungen des synthetischen Schmierstoffes SS906 mit Mineralölen verschiedener Firmen zu Grunde. Die Mischungen wurden sowohl unmittelbar nach der Mischung als auch nach natürlicher und künstlicher Lagerung, nach Behandlung mit Aluminiumchlorid, und in gebrauchtem und regeneriertem Zustand verwendet. Zum Vergleich diente Rotring D. Für die Untersuchung wurden die Öle in Gruppen zusammengefasst, die in der nachstehenden Tafel 1 aufgeführt sind.

Tafel 1

(siehe Seite 4 und 5)

POOR  
COPY

5

03285

Bericht Nr. 450 des Technischen Prüfstandes Oppau, Seite 4

Tafel 1. Die untersuchten Schmierstoffe.

Gruppe	Lfd. Nr.	Versuchs-Nr.	Bezeichnung d. Schmierstoffes	Ähere Kennzeichnung d. Schmierst.	Bemerkung
1	1	694	SS962p	Mischung 1:1 aus Ahrens und SS906	
	2	828	SS966p	Mischung 1:1 aus Schliemann u. SS906	
	3	829	SS970p	Mischung 3:2 aus Vacuum und SS906	
	4	830	SS971p	Mischung 1:1 aus I.G. Öl Oppau (bad. Erdöl) u. SS906	
	5	833	SS962/66/ 70/71p	Mischung aus den Schmierstoffen Nr. 1 bis 4 zu gleichen Teilen	
	6	832	Rotring D		Vergleichsöl
2	7	740	Rotring D		Vergleichsöl
	8	741	SS962 Alp	Schmierstoff Nr. 1	mit AlCl <sub>3</sub> behandelt
	9	742	SS966 Alp	Schmierstoff Nr. 2	behandelt
	10	743	Rotring D		Vergleichsöl
	11	744	SS970 Alp	Schmierstoff Nr. 3	
	12	745	SS971 Alp	Schmierstoff Nr. 4	mit AlCl <sub>3</sub> behandelt
	13	746	SS962/66/ 70/71 Alp	Schmierstoff Nr. 5	behandelt

POOR  
COPY

5

03286

Bericht Nr.450 des Technischen Prüfstandes Oppau, Seite 5

Tafel 1. Die untersuchten Schmierstoffe (Fortsetzung).

Gruppe	Lfd. Nr.	Versuchs-Nr.	Bezeichnung d. Schmierstoffes	Nähere Kennzeichnung des Schmierstoffes	Bemerkung
3	14	819	SS962/66/70/71p	Mischung aus den Schmierstoffen Nr. 1 bis 4 zu gleichen Teilen	Zusatz erst kurz vor dem Lauf beigegeben
	15	821	SS962/66/70/71p	dgl.	5 Monate natürlich gealtert
	16	816	SS962/66/70/71p	dgl.	künstlich gealtert
	17	820	Rotring D		Vergleichsöl
4	18	846	Rotring D		Vergleichsöl
	19	848	SS962/66/70/71p	Mischung aus den Schmierstoffen Nr. 1 bis 4 zu gleichen Teilen	gebraucht (an dem Vollmotor Versuch im BMF) und durch Bleicherdebehandlung regeneriert
	20	849	SS962/66/70/71p	dgl.	Wie Schmierstoff 19, jedoch nach der Regenerierung erneute Zuzusatz

-6-

POOR  
COPY

5

03287

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 6

Nachstehend sind in Tafel 2 die analytischen Daten der benutzten Mineralöle zusammengestellt:

Tafel 2. Analytische Kennwerte der benutzten Mineralöle.

Öle der Firma:	Ahrens	Schliemann	Vacuum	I.G.-Oppau
Dichte kg/l	0,879	0,895	0,897	0,896
Viskosität bei:				
38° cSt	91,2	99,7	134,0	99,2
E°	12,01	13,13	17,64	13,06
50° cSt	49,0	56,7	73,6	51,3
E°	6,50	7,50	9,70	6,80
99° cSt	9,87	10,2	12,4	10,0
E°	1,82	1,85	2,06	1,83
Viskositätsindex	94	83	89	93
Flammpunkt °C	229	235	239	234
Stockpunkt °C	-22	-16	-16	-19
Säurezahl	0,05	0,05	0,05	0,05
Verseifungszahl	0,06	0,08	0,13	0,08
Verkokungszahl	0,18	0,19	0,31	0,41

-7-

POOR  
COPY

5

03288

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 7

3.) Versuchsdurchführung.

Die erste Prüfung der Schmierstoffe erfolgte unter den für Ringsteckversuche üblichen Bedingungen am BMW-132 N-Einzylinder auf Sterngehäuse. Die wichtigsten Betriebsbedingungen sind hierbei:

Leistung  $N = 57$  PS

Drehzahl  $n = 1900$  U/min

Kraftstoffverbrauch  $b_e = 210$  g/PSh

Öltemperatur  $t_o = 120^\circ\text{C}$

Temperatur am Zylinderscheitel  $t_s = 250^\circ\text{C}$

Temperatur an der Kerze (Anlassseite)  $t_a \sim 260^\circ\text{C}$

Wähere Einzelheiten der Versuchsdurchführung sind im Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau Nr.425 über die Schmierstoffprüfung im BMW-132-Einzylinder niedergelegt.

4.) Ergebnisse der motorischen Erprobung.

Die Ergebnisse der Ringsteckläufe im BMW-132 N-Einzylinder sind nachstehend in Tafel 3 für die Schmierstoffe der Gruppe 1 zusammengefasst. Daran schliesst sich eine gekürzt wiedergegebene Auswertung der von den einzelnen Herstellerwerken durchgeführten Vollmotorläufe mit den Schmierstoffen der gleichen Gruppe.

Die Ergebnisse der Ringsteckläufe mit den Schmierstoffen der Gruppen 2 bis 4 sind in Tafel 4 wiedergegeben.

POOR  
COPY

5

03289

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 8

Tafel 3. Ergebnisse der Ringsteckversuche im BMW-132 N-  
Einzyliner mit den Schmierstoffen der Gruppe 1.

Lfd. Nr.	Schmierstoff	Laufzeit h	Verbrauch g/h	fester Teil		Ausbaubefund des Kolbens	
				1.Ring	2.Ring	Kolbenboden	Ringpartie
1	SS962p	15	405	4/3	4/1	dünnere graubrauner Belag, Auslassseite leicht verkocht fast sauber	Leicht verkocht
2	SS966p	12 1/2	340	4/1	2/3	fast sauber	Mittl. Verkockung, besonders auf Wind- u. Einlassseite
3	SS970p	12 1/2	305	4/1	2/3	unbedeutender Rückstand	Mittl. Verkockung auf Einlassseite
4	SS971p	10 3/4	375	4/1	4/1	hauchdünner, graubrauner Belag	Mittl. bis starke Verkockung auf Wind- und Einlassseite
5	Rotring D (Zich-61)	8	405	4/5	4/2	leichter Rückstand	leichte Verkockung
6	SS962/66/70/71p	19 1/4	425	4/2	4/1	praktisch sauber	Mittl. Verkockung, besonders im Windschatten

POOR  
COPY

5

03290

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 9

Ergebnisse der Vollmotorläufe mit dem Schmierstoff SS962p

1.) Werk: BMW, Motormuster: 132 N, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Rückstände auf Kolbenboden normal, jedoch stärker als bei SS966p und SS970p, innen geringer als normal, jedoch stärker als bei SS966p und SS970p; Lauffläche normal.

Kolbenringe: Frei ohne Grat, Nuten und Ölbohrungen sauber.

Zylinder: Lauffläche normal.

Verbrennungsraum: Stärkere Verschmutzung als bei SS 966p und SS970p, besonders an den Düsenbohrungen, im ganzen weniger als normal.

Zylinderkopf: Schwinghebelgehäuse sauber.

Ventile: Einlassventile am Kegel starker Belag, jedoch nicht über das Normale.

Flievel: Lackartiger Asphaltbelag, am Schaft stärker als am Kopf.

Kurbelwelle: Rückstand 68 gr/100 h; Kurbelwangen geschwärzt, Laufflächen normal.

Lager: Einwandfrei.

Ölverbrauch: Normal.

2.) Werk: Daimler Benz, Motormuster: DB 601 AE, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Auf dem Kolbenboden sehr geringe Rückstände, im Innern praktisch sauber. Lauffläche gebräunt, ohne Lackbildung. Normale Abnutzung. Im Ganzen sehr gutes Aussehen.

Kolbenringe: Alle frei, keine Brüche, keine scharfen Kanten. An Stoßspielaunahme und Spannungsabnahme ergibt sich recht gute Schmierfähigkeit des Öls.

Zylinder: Normale Abnutzung, Aussehen einwandfrei.

Flievel: Trägbild einwandfrei, Rückstandsbildung auch am Kopf praktisch null.

Kurbelwelle: Einwandfrei, Rückstände in den Bohrungen sehr gering, Verschleiß sehr gering.

Hydr.Kuppelung: Düse frei. Sehr geringe Rückstände.

Kleines Getrieberad: Sehr geringe Rückstandsbildung.

Ölverbrauch: 115 gr/100 h. Bisher von keinem Mineralschmieröl erreicht.

POOR  
COPY

5

03291

3.) Werk: Junkers, Motormuster: Juno 211 B, Laufzeit: 45+30+100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Geringe Ölkohle am Umfang des Kolbenbodens. Innen sauber. Gesamtlauflbild hinsichtlich Ölkohle günstiger als bei üblichen Ölen.

Kolbenringe: Alle Ringe frei bis auf einen, der leicht klemmt.

Zylinder: Laufflächen in Ordnung.

Verbrennungsraum: Geringe Ölkohleablagerung.

Zylinderkopf: Im Nockenwellenraum leicht entfernbarer Überzug.

Ventile: Einlassventile normal, Auslassventile nach 50 Std. normale Ölkohleablagerung.

Flenel: Lager gut.

Kurbelwelle: Laufflächen normal, in den Kurbelzapfen sehr starke Schlammablagerung, an den Wangen abwischbarer Überzug.

Untersetzungsgetriebe und Hilfstriebe: Ohne Befund, gute Laufbilder.

Allgemeines: Günstigeres Gesamtbild als bei den sonst verwendet. Ölen. Rückstände im Kurbelgehäuse und Ölkohleablagerung normal. Rückstand am Triebwerk abwischbar.

POOR  
COPY

5

03292

Bericht Nr. 450 des Techn. Prüfstandes Oppau, Seite 11

Ergebnisse der Vollmotorläufe mit dem Schmierstoff SS966p

1.) Werk: Argus, Motormuster: 9-410A-0, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Innen stärkerer Ölkohleinsatz.

Kolbenringe: Alle frei. Obere Ringe scharfkantiger als bei SS962 und 71p.

Kurbelzapfen: Schlamm von weicher Beschaffenheit.

Lager: Einwandfrei.

Allgemeines: Alle Motorteile zeigen tiefere Schwärzung als bei SS962 und SS971p. Ölkohleinsatz, soweit vorhanden, härter und fester haftend als bei den vorgenannten Schmierstoff

2.) Werk: BMW, Motormuster: 132 N, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Auf dem Kolbenboden normaler Rückstand, Innenseite kein Rückstand, sauberer als bei SS 970. Lauffläche normal.

Kolbenringe: Im Betrieb frei, ohne Grat, Nuten und Schmierstofföffnungen sauber.

Zylinder: Lauffläche normal.

Verbrennungsraum: Etwas sauberer als bei SS970, keine Rückstände an den Düsenbohrungen. Schwinghebelgehäuse sauber.

Ventile: Sauberer als bei 970, weniger Rückstände am Ventilhalt.

Pleuel: Am Kopfende geringer asphaltartiger Überzug. Im Vergleich zu Rotring nicht ungewöhnlich.

Kurbelwelle: 54 gr Rückstand in 100 Std. Zapfenlauffläche normal. Kurbelwangen geschwärzt.

Lager: Einwandfrei.

Ölverbrauch: Normal, gleichbleibend.

-12-

POOR  
COPY

5

03293

3.) Werk: Daimler-Benz, Motormuster: DB 601 A/E, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Kolbenboden geringe Rückstandsbildung, innen sauber, Lauffläche gebräunt, Abnutzung normal.

Kolbenringe: Alle frei, nicht scharfkantig, nicht gebrochen, Nuten und Ölbohrungen frei und auffallend sauber. Verschleiss aus Stosspielzunahme gleich dem bei SS962p.

Zylinder: Laufflächen sauber. Keine nennenswerte Rückstandsbildung. Verschleiss nur wenig höher als bei SS962p.

Pleuel: Lager einwandfrei. Im Bolzenlager praktisch kein Rückstand. Ausseres sehr sauber.

Kurbelwelle: Gesamtbild einwandfrei. Rückstände in den Bohrungen normal. Abnutzung praktisch null, entsprechend der bei SS962p.

Lager: Sehr gutes Tragbild, keine Riefen.

Hydr. Kupplung: Rückstände gering (125 gr/100 h).

Kleines Getrieberad: Rückstandsmenge praktisch gleich mit SS962p.

4.) Werk: Junkers, Motormuster: Jumo 211 B, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Ölkohle auf Kolbenboden gering. Inneres sauber. Laufflächen in Ordnung, Nuten sauber.

Kolbenringe: Sämtliche Ringe frei, bei einzelnen leichte Gratbildung.

Zylinder: Laufflächen gut.

Verbrennungsraum: Geringe Ölkohle.

Zylinderköpfe: Im Nockenwellenraum mässige Schlammablagerung.

Ventile: Ölkohleablagerung teils gering, teils normal.

Pleuel: Lacküberzug an den Seiten fester haftend als bei Aero Shell, SS970p und SS971p.

Kurbelwelle: Laufflächen der Grund- und Hubzapfenlager in Ordnung. Schlammablagerung in den Bohrungen normal.

Lager: 2 Grundlagerschalen leicht beschädigt, sonst alle in Ordnung.

Untersetzungsgetriebe und Hilfstriebe: Keine Mängel festzustellen.

POOR  
COPY

5

03294

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 13

Ergebnisse der Vollmotorläufe mit dem Schmierstoff SS97Op

1.) Werk: Argus, Motormuster: 9-410A-0, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Allgemeines: Aussehen wie bei SS962p. Schlamm in den Pleuelzapfen weiche Beschaffenheit.

2.) Werk: BMW, Motormuster: 132 N, Laufzeit: 78 h 45 min.

Ausbaubefund:

Kolben: Auf Kolbenboden normaler Rückstand, innen geringer als normal, keine Lackbildung, Lauffläche normal.

Kolbenringe: Alle Ringe frei, bis auf Ring 1 vom Kolben 8, der ringsum festsetzt. Keine Gratbildung, Schmierstofföffnung frei.

Zylinder: Lauffläche normal.

Verbrennungsraum: Sehr geringer Ölkohlensatz an Düsenbohrungen.

Zylinderkopf: Schwinghebelgehäuse sauber.

Ventile: Rückstände geringer als normal.

Pleuel: Am Kopfende geringe asphaltische Beschläge, nicht mehr als üblich.

Kurbelwelle: Rückstand 59 gr für 80 Std. Zapfenlauffläche normal. Kurbelwangen geschwärzt.

Lager: Einwandfrei.

Ölverbrauch: Normal, gleichbleibend.

3.) Werk: Bramo,

Ausbaubefund:

Kolben: Geringe Rückstandsbildung gegenüber Pleuelring.

Kolbenringe: Alle frei (1. Ring von Zylinder 5 und 9 klebten). Z.T. scharfkantig, jedoch ohne Grat.

Ventile: Normale Verkockung.

Kurbelwelle: Im Pleuelzapfen wenig Rückstände.

Allgemeines: Gesamtbild des Motors in jeder Hinsicht befriedigend.

POOR  
COPY

5

03295

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 14

4.) Werk: Daimler Benz, Motormuster: DB 601 A/E, Laufzeit: 38 bzw. 100 h

Ausbaubefund:

Kolben: Bei ungleicher Laufzeit der beiden Reihen (38 bzw. 100 Std.) gleiches Aussehen. Auf den Kolbenböden geringe Rückstände, im Innern mehr als bei den Läufen mit SS962p und SS966p. Laufflächen mattschwarz. Verschleiss normal.

Kolbenringe: Alle frei, nicht gebrochen, nicht scharfkantig, Ringnuten und Ölbohrungen frei, jedoch nicht besonders sauber. Verschleiss aus Stosspielzunahme normal.

Zylinder: Laufflächen und Kopf nicht ganz so sauber wie bei SS962p und SS966p. Verschleiss normal.

Pleuel: Am grossen Auge einwandfreies Tragbild, jedoch auch hier dunkle Färbung. Rückstände im kleinen Auge gering. Am Kopf aussen auffallend matter, schwarzer, leicht ab-splittender Überzug. Menge wesentlich grösser als bei SS962p und SS966p, jedoch nicht grösser als bei Rotring.

Kurbelwelle: Befund einwandfrei, Rückstände in den Bohrungen gering, Verschleiss sehr gering.

Lager: Tragbild gut, jedoch Laufflächen auffallend dunkel, kaum wahrnehmbare Riefenbildung.

Hydr.Kupplung: Musste nach 71 Stunden gereinigt werden. Nach weiteren 29 Stunden Rückstände gering.

Kleines Getrieberad: Rückstände 360 gr/100 Std. gegenüber 120 g bei SS962p und SS966p.

5.) Werk: Junkers, Motormuster: Juno 211B, Laufzeit: 80 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Ölkohle auf dem Boden normal, innen keine Ölkohle, Laufflächen in Ordnung, Nuten sauber.

Kolbenringen: Mit Ausnahme von Ring 3 vom Zylinder 5 alle frei und ohne Gratbildung. Ölbohrungen frei. Ölkohlebelag normal. Schäfte und Führungen in Ordnung. Nuten sauber.

Zylinder: Laufflächen in Ordnung.

Verbrennungsraum: Ölkohleablagerung etwas stärker als normal.

Zylinderkopf: Schlammablagerung im Nockenwellenraum normal.

POOR  
COPY

5

03296

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 15

Pleuel: Etwas stärkerer Lacküberzug, durch Reiben entfernbar.

Kurbelwelle: Laufflächen normal, Schlammablagerungen in den Zapfen normal.

Lager: Gut.

Untersetzungsgetriebe und Hilfstriebe: Ausserlich keine Mängel.

Allgemeines: Aussehen des Motors, verglichen mit Aeroshall-Mitt und Rotring, normal. Rückstände im Kurbelgehäuse und Ölwanne grösser als bei SS904a. Rückstand an den blanken Teilen durch Reiben zu entfernen.

POOR  
COPY

5

03297

Bericht Nr.450 des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 16.

Ergebnisse der Vollmotorkläufe mit dem Schmierstoff 38971p.

1.) Werk: Argus, Motormuster : 9-4104-0,

Ausbaubefund:

Ölverbrauch: In normalen Grenzen, bis zum Versuchsende gleichbleibend.

Allgemeines: Im Vergleich zu den zugelassenen Beschaffungsölen geringere Schwärzung. Die Schmierfähigkeit, soweit äusserlich zu beurteilen, war besser. Nach dem Ausbau waren alle Teile in einwandfreiem Zustand.

2.) Werk: BMW, Motormuster: 132 N, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Auf dem Kolbenboden normale Rückstände, Innenseite geringer als normal, keine Lackbildung, jedoch Ölflechter als bei den anderen 3 Schmierstoffen. Laufflächen normal.

Kolbenringe: Alle Ringe frei. Erster Ring im Kolben 4 in der Mitte gebrochen, keine Gratbildung, nicht scharfkantig, Nuten und Schmierstofföffnungen sauber. Rückstandsbildung in den Nuten normal.

Zylinder: Lauffläche normal.

Verbrennungsraum: Ölkohleinsatz an den Düsenbohrungen stärker wie bei allen anderen 3 Schmierstoffen, jedoch nicht stärker als bei Rotring. Verhältnismässig starke Ölkohlablagerung an der Zylinderkalotte-Düsenseite. Schwinghebelgehäuse sauber.

Ventile: Rückstand geringer als normal.

Plenel: Gleichmässiger schwarzer Lacküberzug, der am Kopfende leicht geschichtet ist. Im Vergleich zu Rotring nicht übernormal.

Kurbelwelle: 85 gr Rückstand in 100 Std. Zapfenlauffläche sehr gut. Kurbelwangen geschwärzt.

Lager: Einwandfrei.

Ölverbrauch: Verhältnismässig gering, gleichbleibend.

-17-

POOR  
COPY

5

03298

Bericht Nr. 450 des Techn. Prüfstandes Oppau, Seite 17

3.) Werk: Daimler Benz, Motormuster: DB 601 A/E, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Auf dem Kolbenboden geringerer Rückstand als bei SS970p, etwas mehr als bei SS966p. Laufflächen schwarz, ähnlich SS970p und SS962p. Im Innern sehr geringe Rückstände verglichen mit den Ölen SS962p und SS970p. Verschleiss normal.

Kolbenringe: Alle frei, nicht scharfkantig und nicht gebrochen. Verschleiss normal. Nuten und Ölbohrungen frei und sauber.

Zylinder: Laufflächen und Zylinderkopf etwas weniger sauber als bei SS962p und SS970p. Verschleiss normal.

Pleuel: Tragbild des grossen Auges einwandfrei, am kleinen Auge Rückstände, geringer als bei SS970p, jedoch mehr als bei SS966p. Ausseres der Pleuel sehr sauber.

Kurbelwelle: Befund einwandfrei. Rückstände in den Bohrungen normal. Verschleiss gering.

Lager: Tragbild gut. Keine Riefenbildung. Lagerschalen heller als bei SS970p und ähnlich wie bei SS962p und SS966p.

Hydr. Kupplung: Musste infolge Verschleiss nach 35 Std. und 75 Std. gereinigt werden. Nach den letzten 27 Std. Rückstände auffallend gering.

Kleines Getrieberad: Rückstandsmenge 200 gr nach 27 Std. (vgl. Kupplung).

4.) Werk: Junkers, Motormuster: Jumo 211, Laufzeit: 88 1/2 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Ölkohleablagerung auf dem Kolbenboden sehr gering, im Innern und am Kolbenbolzenauge keine Rückstände. Lauffläche einwandfrei.

Kolbenringe: Sämtlich lose, mit Ausnahme eines Ringes von Kolben 8, der bei Versuchsende durch Ventilbruch ausgefallen war. Keine Gratbildung, Nuten und Ölbohrungen sauber.

Zylinder: Ölkohleablagerung auf den Laufflächen sehr gering.

Zylinderkopf: Rückstandsbildung an den Einspritzdüsen sehr gering auf Einlassventilen ebenfalls sehr geringe Rückstände.

Pleuel: Schäfte dunkel gefärbt, dünne, plastische Rückstandsbildung am Pleuelkopf.

Kurbelwelle: Lauffläche der Lager- und Hubzapfen einwandfrei.

Lager: In Ordnung bis auf Lager Nr. 8, welches Schmutzriefen aufweist, wie es an diesem Lager meistens der Fall ist.

Untersetzungsgetriebe: Normales Aussehen.

Allgemeines: Motoraussehen gut, Ablagerungen gering. Alle Teile zeigen eine tiefschwarze Färbung.

-18-

POOR  
COPY

5

03299

Bericht Nr. 450 des Techn. Prüfstandes Uppau, Seite 18

Ergebnisse der Vollmotorläufe mit dem Schmierstoffgemisch SS962/66/70/712

1.) Werk: Argus, Motormuster: 132 N, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolbenringe: Sämtliche Kolbenringe waren lose, die Rückstände an den Kolbenböden innen und aussen gering.

Kurbelwelle: Die Schlammabildung in den Kurbelkammern ist normal.

Lager: Alle Lager waren einwandfreiem Zustand.

Allgemeines: Der Befund aller Teile kann nach diesem Lauf mit der Startleistung von 450 PS als sehr gut bezeichnet werden. Der Allgemeinzustand zeigte keine Unterschiede gegenüber den Läufen mit den einzelnen Ölen bei geringerer Belastung.

2.) Werk: B.M., Motormuster: 132 N, Laufzeit: 100 h.

Ausbaubefund:

Kolben: Auf dem Kolbenboden geringe Rückstände, an der Innenseite ebenfalls gering, im Ganzen normal.

Kolbenringe: Sämtliche Ringe frei, keine Gratbildung, Nuten und Schmierstofföffnungen sauber, Rückstandsbildung normal.

Verbrennungsraum: Ölkleansatz an den Düsenbohrungen normal.

Zylinder: Lauflächen normal.

Ventile: Rückstände gering.

Pleuel: Dünn, schwarzer Lacküberzug, der leicht entfernbar ist. An den Pleuelbolzenaugen von Haupt- und Nebenpleuel verstärkter, schichtiger Lackniederschlag, geringer als bei Rotring unter Normalbedingungen.

Kurbelwelle: Rückstand etwa 90 gr in 100 Std., Zapfenlaufläche gut bis sehr gut.

Lager: Einwandfrei.

Ölverbrauch: Normal, gleichbleibend.

POOR  
COPY

5

03300

Bericht Nr.450, des Techn.Prüfstandes Oppau, Seite 19

3.) Werk: Daimler-Benz, Motormuster: DB 601A/E.V. 35, Laufzeit:

Ausbaubefund:

Kolben: Befund normal. Praktisch gleiches Bild wie Kolben aus den Läufen mit SS962p, SS966p, SS970p und 972p.

Pleuel: Befund normal.

Kurbelwelle: Befund normal. In den Hubzapfen der Kurbelwelle beginnende Schlemmablagung.

Lager: Ohne Beanstandung.

Hydr.Kupplung: Rückstände buserst gering. Schwierigkeiten wie bei SS970p und SS971p, traten nicht auf.

Kleines Getrieberad: Die Rückstände betragen nur etwa 0,8 gr/h

808/100h

POOR  
COPY

5

Tafel 4. Ergebnisse der Ringsteckversuche im BMW 132 H - Einzylinder mit den Schmierstoffen der Gruppen 2 bis 4.

Gruppen	Lfd. Nr.	Schmierstoff	Laufzeit h	Verbrauch g/h	fester Teil 1. Rg.	Teil 2. Rg.	Kolbenboden	Ausbaubefund des Kolbens	Ringpartie
2	7	Rotring D (Eichöl)	9	635	1/1	1/2	dünn, graubrauner Belag	leicht verkockt, besonders an Einlassseite	leicht verkockt, besonders an Einlassseite
	8	SS962 Alp	11 1/2	590	1/1	3/4	dünn, grauer Belag besonders an Auslassseite	leicht verkockt	leicht verkockt
	9	SS966 Alp	12	520	1/1	1/1	dünn, grauer Belag, besonders an Auslassseite	leicht verkockt, besonders an Einlassseite	leicht verkockt, besonders an Einlassseite
3	10	Rotring D (Eichöl)	8 1/2	475	4/5	1/1	dünn, schwarzbrauner Belag	leicht verkockt	leicht verkockt
	11	SS970 Alp	13	580	1/1	2/3	dünn, graubrauner Belag besonders an Windseite	leicht verkockt	leicht verkockt
	12	SS971 Alp	13 1/2	535	1/1	1/1	dünn, graubrauner Belag besonders an Windseite	leicht verkockt besonders im Windschatten	leicht verkockt besonders im Windschatten
4	13	SS962-71 Alp	15 3/4	515	1/1	1/1	sehr dünner Belag, auf Auslassseite etwas stärker	leicht verkockt	auf Einlassseite und Windschatten leicht verkockt
	14	SS962-71p frisch	11 1/4	400	1/1	1/1	dünn, graubrauner Belag	leicht verkockt	an Einlassseite leicht verkockt
	15	SS962-71p 5 Monat alt, künstlich gealtert	19	360	1/1	1/2	dünn, graubrauner Belag	leicht verkockt, besonders an Einlassseite und im Windschatten	leicht verkockt, besonders an Einlassseite und im Windschatten
5	16	SS962-71p künstlich gealtert	10	400	1/1	3/4	sehr dünner Belag	leicht verkockt, an Einlassseite mittlere Verkockung	leicht verkockt, an Einlassseite mittlere Verkockung
	17	Rotring D (Eichöl)	10	320	1/1	1/1	dünn, grauer Belag, etwas weniger als bei Rotring	leichte Rückstände, besonders an Einlassseite und im Windschatten	leichte Rückstände, besonders an Einlassseite und im Windschatten
	18	Rotring D (Eichöl)	5	330	1/1	3/4	dünn, schwarzbrauner Belag	leicht verkockt	leicht verkockt
6	19	SS962-71p gebr.	8 1/4	600	1/1	1/1	sehr dünner, schwarzbrauner Belag	leicht verkockt, besonders an Einlassseite	leicht verkockt, besonders an Einlassseite
	20	SS962-71p gebr.+p	7 1/4	420	frei	2/3	dünn, schwarzbrauner Belag	leicht verkockt	leicht verkockt

03301

03302

5.) Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchung

Als Ergänzung zu den Ergebnissen der motorischen Erprobung wurden bei einer Reihe von Schmierstoffen die wichtigsten Analysendaten der gefahrenen Öle ermittelt. Diese Angaben sind für die Schmierstoffe der Gruppe 1 in Tafel 5 zusammengestellt. Zum Vergleich wurde eine Analyse für Rotring und zwar für den Ölzustand vor und nach einem 7-stündigen Lauf eingetragen. Daran schlossen sich, soweit sie von den Werken gemessen wurden, die gleichen Angaben, für die in den Vollmotorläufen gefahrenen Schmierstoffe der Gruppe 1. Die Analysendaten der Schmierstoffe Gruppe 2 bis 4 sind in Tafel 6 zusammengestellt.

POOR  
COPY

5

Tafel 5. Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchung der Schmierstoffe der Gruppe I und von Rotring D als Vergleichsöl.

Schmierstoff	Vors. Nr.	Wass. Gehalt Std.	$\gamma$ 20	bei 18° ost	Viskosität bei 99° VJ.	Verdickg. %	Flamm- punkt °C	Stoß- punkt °C	Säure- zahl mgf KOH gr	Verdickg. zahl mgf KOH gr	Ver- kokung %	As- phalt %	Bo- unlösl. %	Asche %
Rot- ring	690	0	0,889	268	20,4	97	275	-15	0,03	0,13	0,26	-	-	-
		7	0,892	280	21,3	99	-	-	0,36	1,35	0,54	0,04	0,22	0,05
SS962p	694	0	0,867	264,1	22,24	109	239	-30	0,05	0,26	0,15	0	0	0
"		10	0,869	308	24,7	100	-	-	0,33	1,22	0,33	0,05	0,16	0,04
"		15	0,870	312	23,7	103	-	-	0,39	1,70	0,40	0,04	0,14	0,05
SS966p	828	0	0,874	274,4	22,32	106	235	-23	0,04	0,16	0,13	0	0	0
"		12 1/2	0,880	349	25,9	104	-	-	0,62	2,28	0,57	0,08	0,41	0,07
SS970p	829	0	0,877	277,6	22,17	104	234	-23	0,07	0,26	0,24	0	0	0
		12 1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SS971p	830	0	0,876	269,2	21,64	104	233	-21	0,03	0,35	0,32	0	0	0
		10 3/4	0,882	406	29,1	105	-	-	0,72	3,14	0,77	0,04	0,50	0,09
SS962-71p	833	0	0,877	276	22,2	105	235	-27	0,04	0,20	0,25	0	0	0
		19 1/4	0,867	381	29,4	110	-	-	0,71	3,44	0,73	0,04	0,53	0,12

03303

POOR COPY

5

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)      Prüflauf-Nr.: ..... aus dem ... 100 ... Stunden-Prüflauf									
<b>Motormuster:</b> BMW 132 H		<b>Werk-Nr.:</b> .....							
<b>Schmieröl:</b> SS962D									
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
<b>Zähigkeit bei 50°C</b>	cSt								
	°E	18,3	19,25	21,3	20,8	24,0	26,9	28,2	29,5
<b>Wassergehalt</b>	Gew. %								
<b>Kraftstoffverdünnung</b>	Gew. %								
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
<b>Dichte</b>	g/cm³								
<b>Zähigkeit bei 50°C</b>	cSt								
	°E								
<b>Aschegehalt</b>	Gew. %	0,133	0,154	-	-	-	0,257	0,254	0,263
<b>Asphaltgehalt</b>	Gew. %								
<b>Gehalt an benzol-unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)</b>	Gew. %								
<b>Neutralisationszahl</b>	mgKOH/g								
<b>Verseifungszahl</b>	mgKOH/g	0,85	0,9	1,23	1,29	1,74	2,38	2,41	2,51
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
<b>Zähigkeit bei 50°C</b>	cSt								
	°E								
<b>Aschegehalt</b>	Gew. %								
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b> ..... ..... .....									

POOR COPY

5

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)									
aus dem <u>100</u> Stunden-Prüflauf									
Motormuster: <u>DB 601 A/R</u>		Werk-Nr.: <u>V 51</u>							
Schmieröl: <u>SS962p</u>									
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d.1.	3.	<u>5</u>	15.	35.	60.	<del>100</del> Std <del>60</del>
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Wassergehalt	Gew. %		<u>0,5</u>	<u>0,33</u>	<u>0,32</u>	<u>0,45</u>	<u>0,42</u>	<u>0,64</u>	<u>0,69</u>
Kraftstoff- verdünnung	Gew. %								
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	<u>0,869</u>	<u>0,870</u>	<u>0,871</u>	<u>0,871</u>	<u>0,872</u>	<u>0,874</u>	<u>0,877</u>	<u>0,880</u>
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E	<u>17,4</u>	<u>17,6</u>	<u>17,8</u>	<u>18,1</u>	<u>18,5</u>	<u>19,1</u>	<u>19,9</u>	<u>21,0</u>
Aschegehalt	Gew. %	<u>0,002</u>	<u>0,050</u>	<u>0,050</u>	<u>0,084</u>	<u>0,126</u>	<u>0,191</u>	<u>0,298</u>	<u>0,393</u>
Asphaltgehalt	Gew. %	-	<u>0,043</u>	<u>0,038</u>	<u>0,045</u>	<u>0,042</u>	<u>0,045</u>	<u>0,046</u>	<u>0,098</u>
Gehalt an benzol- unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %	-	<u>0,164</u>	<u>0,164</u>	<u>0,228</u>	<u>0,36</u>	<u>0,591</u>	<u>0,899</u>	<u>0,881</u>
Neutralisationszahl	mgKOH/g	<u>0,02</u>	<u>0,05</u>	<u>0,07</u>	<u>0,09</u>	<u>0,12</u>	<u>0,13</u>	<u>0,16</u>	<u>0,18</u>
Verseifungszahl	mgKOH/g	<u>0,23</u>	<u>0,61</u>	<u>1,72</u>	<u>0,38</u>	<u>0,88</u>	<u>1,09</u>	<u>1,72</u>	<u>1,75</u>
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Aschegehalt	Gew. %								
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b> ..... ..... .....									

POOR COPY

5

03306

**Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)**  
**Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle**  
 zur Verwendung in Otto-Motoren

**Prüfvordruck Nr. 14**  
 Ausgabe März 1938

**Untersuchung der Ölproben**  
 (siehe BVM 8215, 8216, 8217) Prüflauf-Nr.: .....  
 aus dem 100 Stunden-Prüflauf III.

Motormuster: Jumo 211 A Werk-Nr.: 52 053  
 Schmieröl: S8962p

Probenahme: zu Beginn nach d.1. 3. 5. 15. 35. 60. 100.Std

**Eigenschaften der Proben**

Zähigkeit bei 50°C	cSt	132,0	138,2	147,5	147,7	147,2	148,9	142,4	138,2
	°E	17,38	18,15	19,41	19,36	19,38	19,59	18,74	18,17
Wassergehalt	Gew. %	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kraftstoffverdünnung	Gew. %	--	0,77	0,59	0,57	0,57	0,57	0,75	0,77

**Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben**

Dichte	g/cm³	0,867	0,870	0,871	0,871	0,871	0,874	0,871	0,874
Zähigkeit bei 50°C	cSt	--	150,9	150,1	149,5	149,8	158,1	154,0	157,5
	°E	--	19,86	19,75	19,67	19,71	20,80	20,27	20,73
Aschegehalt	Gew. %	--	0,176	0,174	0,168	0,200	0,236	0,172	0,224
Asphaltgehalt	Gew. %	--	0,152	0,091	0,070	0,080	0,090	0,070	0,120
Gehalt an benzol-unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %	--	0,768	0,940	0,942	0,940	1,22	0,950	1,22
Neutralisationszahl	mgKOH/g	--	0,08	0,08	0,09	0,09	0,11	0,09	0,11
Verseifungszahl	mgKOH/g	--	0,67	0,70	0,71	0,68	0,67	0,67	0,95

**Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben**

Zähigkeit bei 50°C	cSt	--	140,7	142,9	142,6	142,7	148,5	141,9	140,7
	°E	--	18,52	18,80	18,76	18,78	19,54	18,67	18,52
Aschegehalt	Gew. %	--	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

~~Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendete Fett~~ Bemerkung:  
 Auffallend ist das Abweichen der Werte, die aus den 60-Stundenproben ermittelt wurden. Es ist möglich, dass durch Frischölzusatz die aufgefundenen Ergebnisse ihre Bestätigung finden.

POOR COPY 5

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)									
aus dem 100 Stunden-Prüflauf									
Prüflauf-Nr.: .....					Werk-Nr.: .....				
Motormuster: ..... BMW 132 N .....									
Schmieröl: ..... 88966p .....									
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt °E	15,5	16,5	18,0	19,4	21,6	22,8	21,9	22,5
Wassergehalt	Gew. %								
Kraftstoffverdünnung	Gew. %								
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm³								
Zähigkeit bei 50°C	cSt °E								
Aschegehalt	Gew. %	0	0,059	0,108	0,12	0,160	0,125	0,12	0,134
Asphaltgehalt	Gew. %								
Gehalt an benzol-unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %								
Neutralisationszahl	mgKOH/g								
Verseifungszahl	mgKOH/g	0,8	0,84	0,95	0,84	1,35	2,23	1,23	2,46
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt °E								
Aschegehalt	Gew. %								
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b> ..... ..... .....									

POOR COPY 5

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)      Prüflauf-Nr.: .....									
<b>aus dem 100 Stunden-Prüflauf</b>									
Motormuster: DB 601 AE					Werk-Nr.: V 51				
Schmieröl: SS966p									
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Wassergehalt	Gew. %		1,81	1,96	2,32	1,37	1,93	1,14	1,75
Kraftstoffverdünnung	Gew. %								
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm³	0,8753	0,8784	0,8796	0,8766	0,8792	0,8828	0,8808	0,8878
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E	15,92	17,09	16,23	16,87	15,83	18,68	17,32	20,93
Aschegehalt	Gew. %	0,008	0,16	0,17	0,16	0,26	0,4	0,43	0,64
Asphaltgehalt	Gew. %		0,098	0,034	0,102	0,136	0,070	0,056	0,314
Gehalt an benzolunlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %		0,368	0,501	0,313	0,659	1,186	1,496	2,150
Neutralisationszahl	mgKOH/g	0,10	0,13	0,14	0,14	0,16	0,20	0,20	0,25
Verseifungszahl	mgKOH/g	0,28	2,89	2,43	3,10	2,27	1,27	1,31	1,86
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Aschegehalt	Gew. %								
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b>									
.....									
.....									
.....									

POOR COPY

5

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)									
aus dem 100 Stunden-Prüflauf						Prüflauf-Nr.: .....			
Motormuster: ... Jumo. 211. B					Werk-Nr.: 35.896				
Schmieröl: ... 88966p									
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d. l.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt	117,65	120,83	125,99	130,97	146,66	146,41	160,60	150,64
	°E	15,45	15,88	16,59	17,24	19,28	19,22	21,12	19,80
Wassergehalt	Gew. %	0,025	0,000	0,025	0,020	0,010	0,015	0,000	0,002
Kraftstoff- verdünnung	Gew. %	1,28	1,30	0,75	0,87	0,79	1,1	0,90	0,92
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm³	0,880	0,881	0,879	0,881	0,881	0,882	0,881	0,880
Zähigkeit bei 50°C	cSt	135,19	138,46	136,22	146,16	171,49	166,65	136,24	175,74
	°E	17,80	18,23	17,92	19,25	22,57	21,90	23,20	23,12
Aschegehalt	Gew. %	0,04	0,05	0,05	0,07	0,02	0,16	0,02	0,17
Asphaltgehalt	Gew. %	0,03	0,07	0,06	0,06	0,20	0,11	0,61	0,15
Gehalt an benzol- unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %	0,23	0,55	0,20	0,46	0,87	1,12	1,17	1,16
Neutralisationszahl	mgKOH/g	0,19	0,14	0,17	0,17	0,22	0,16	0,22	0,22
Verseifungszahl	mgKOH/g	0,56	1,34	1,23	1,46	1,51	1,23	1,23	1,23
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt	135,7	134,33	134,58	139,38	144,73	137,66	141,40	144,92
	°E	17,80	17,60	17,09	18,32	19,04	18,10	18,61	19,07
Aschegehalt	Gew. %	0,02	0,014	0,014	0,02	0,02	0,012	0,010	0,018
Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:									
.....									
.....									

POOR  
COPY

5

<b>Bayvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)      Prüflauf-Nr.: .....									
<b>aus dem 100..... Stunden-Prüflauf</b>									
Motormuster: <u>BMW 132 N</u> .....					Werk-Nr.: .....				
Schmieröl: <u>SS970</u> .....									
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E	19,6	19,8	20,3	21,6	22,9	-	28,5	31,1
Wassergehalt	Gew. %								
Kraftstoffverdünnung	Gew. %								
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm <sup>3</sup>								
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Aschegehalt	Gew. %	0	0,086	0,12	0,147	0,18	-	0,222	0,229
Asphaltgehalt	Gew. %								
Gehalt an benzol-unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %								
Neutralisationszahl	mgKOH/g								
Verseifungszahl	mgKOH/g	0	0,9	1,23	1,29	1,74	2,38	2,41	2,51
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Aschegehalt	Gew. %								
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b> ..... ..... .....									

POOR COPY

5

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)									
aus dem 100 Stunden-Prüflauf						Prüflauf-Nr.: 601/129			
Motormuster: DB 501 A						Werk-Nr.: 129			
Schmieröl: S8 970 p									
Probenahme:		zu Beginn	nach d.1.	3.	65.	15.	35.	60.	100.Std.
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt °E								
Wassergehalt	Gew. %		1,31	0,56	0,31	0,21	0,64	0,38	0,18
Kraftstoff- verdünnung	Gew. %								
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	0,875	0,879	0,884	0,879	0,881	0,882	0,883	0,886
Zähigkeit bei 50°C	cSt °E	18,4	18,4	18,0	18,1	18,7	19,6	19,9	21,0
Aschegehalt	Gew. %	0	0,06	0,09	0,10	0,10	0,14	0,19	0,22
Asphaltgehalt	Gew. %	-	0	0	0,143	0,042	0,062	0,141	0,157
Gehalt an benzol- unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %	-	0,179	0,309	0,353	0,424	0,663	0,945	1,193
Neutralisationszahl	mgKOH/g	0,10	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,35
Verseifungszahl	mgKQH/g	0,22	1,08	1,49	1,11	0,92	1,04	1,38	1,72
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt °E								
Aschegehalt	Gew. %								
Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:									
.....									
.....									

POOR  
COPY

5

Beuvorschriften für Flugmotoren (BVM) Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		Prüfvordruck Nr. 14 Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217) Prüflauf-Nr.: .....									
aus dem 100 Stunden-Prüflauf									
Motormuster: Jumo 211					Werk-Nr.: 52 063				
Schmieröl: SS970p									
Probenahme:		zu Beginn	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt		237,8	238,0	240,7	247,1	251,4	244,7	
	°E		18,10	18,16	18,52	19,24	19,83	19,04	
Wassergehalt	Gew. %		0,000	0,000	0,02	0,01	0,02	0,01	
Kraftstoffverdünnung	Gew. %		0,645	0,485	0,650	0,655	0,535	0,634	
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm <sup>3</sup>		0,875	0,875	0,877	0,878	0,879	0,880	
Zähigkeit bei 50°C	cSt		146,2	148,7	155,2	158,1	159,1	155,7	
	°E		19,25	19,57	20,42	20,80	20,94	20,49	
Aschegehalt	Gew. %		0,064	0,092	0,104	0,136	0,140	0,108	
Asphaltgehalt	Gew. %		0,048	0,050	0,080	0,088	0,076	0,062	
Gehalt an benzol-unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %		0,312	0,386	0,406	0,602	0,578	0,606	
Neutralisationszahl	mgKOH/g		0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	
Verseifungszahl	mgKOH/g		0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt		145,2	146,2	146,2	146,6	147,3	145,2	
	°E		19,10	19,25	19,25	19,30	19,39	19,10	
Aschegehalt	Gew. %		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b>									
.....									
.....									

POOR  
COPY

5

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)      Prüflauf-Nr.: .....									
<b>aus dem 100 Stunden-Prüflauf</b>									
Motormuster: .... BMW 132 X					Werk-Nr.: .....				
Schmieröl: .... SS971									
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E	17,8	18,4	18,6	19,9	22,1	21,7	27,3	29,4
Wassergehalt	Gew. %								
Kraftstoff- verdünnung	Gew. %								
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm <sup>3</sup>								
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Aschegehalt	Gew. %	0	0,122	0,117	0,122	0,178	0,219	-	0,245
Asphaltgehalt	Gew. %								
Gehalt an benzol- unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %								
Neutralisationszahl	mgKOH/g								
Verseifungszahl	mgKOH/g	0	0,79	0,9	1,12	1,68	-	2,59	2,92
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Aschegehalt	Gew. %								
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b>									
.....									
.....									

POOR  
COPY

5

03314

Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM) Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		Prüfvordruck Nr. 14 Ausgabe März 1938								
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217) <span style="float: right;">Prüflauf-Nr.: 601 / V 26</span>										
aus dem 100 Stunden-Prüflauf										
Motormuster: DB 601 AE						Werk-Nr.: V 26				
Schmieröl: SS971P										
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std	
<b>Eigenschaften der Proben</b>										
Zähigkeit bei 50°C	cSt									
	°E									
Wassergehalt	Gew. %		0,75	0,30	0,31	0,34	0,17	0,56	0,64	
Kraftstoff- verdünnung	Gew. %									
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>										
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	0,876	0,877	0,878	0,879	0,880	0,882	0,884	0,884	
Zähigkeit bei 50°C	cSt									
	°E	17,77	16,56	17,56	17,63	18,38	19,55	21,08	21,30	
Aschegehalt	Gew. %	0,011	0,028	0,045	0,081	0,10	0,18	0,18	0,17	
Asphaltgehalt	Gew. %	0	0,054	0,12	0,12	0,08	0,14	0,11	0,08	
Gehalt an benzol- unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %	0	0,071	0,21	0,24	0,61	0,93	1,21	1,20	
Neutralisationszahl	mgKOH/g	0,15	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,28	0,28	
Verseifungszahl	mgKOH/g	0,13	0,53	0,23	0,52	0,75	1,65	0,83	1,58	
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>										
Zähigkeit bei 50°C	cSt									
	°E									
Aschegehalt	Gew. %									
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b>										
.....										
.....										
.....										

POOR  
COPY

5

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)      Prüflauf-Nr.: .....									
<b>aus dem 28. 72 Stunden-Prüflauf</b>									
Motormuster: Juno 211 A 3					Werk-Nr.: 45 750				
Schmieröl: SS 9712									
<b>Probenahme:</b>		zu Beginn	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	85/2 100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt	114,43	127,66	132,01	128,98	129,78	144,04	151,71	152,29
	°E	15,07	16,79	17,39	16,96	17,90	18,96	19,99	20,03
Wassergehalt	Gew. %	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
Kraftstoffverdünnung	Gew. %	0,7	0,5	0,4	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	0,875	0,875	0,875	0,877	0,878	0,880	0,882	0,883
Zähigkeit bei 50°C	cSt	136,99	137,51	139,58	138,71	139,56	159,18	163,18	163,38
	°E	18,02	18,10	18,37	18,25	19,8	20,95	21,48	21,50
Aschegehalt	Gew. %	0,056	0,064	0,086	0,11	0,10	0,16	0,17	0,20
Asphaltgehalt	Gew. %	0,11	0,09	0,062	0,07	0,1	0,12	0,124	0,18
Gehalt an benzol-unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %	0,18	0,18	0,35	0,41	0,53	0,85	1,04	1,22
Neutralisationszahl	mgKOH/g	0,056	0,067	0,068	0,068	0,11	0,12	0,13	0,13
Verseifungszahl	mgKOH/g	0,22	0,25	0,31	0,31	0,84	0,89	0,84	0,85
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt	134,89	133,81	138,08	135,46	139,94	146,08	147,73	149,15
	°E	17,75	17,61	18,17	17,80	18,42	19,23	19,39	19,62
Aschegehalt	Gew. %	0,012	0,01	0,01	0,014	0,042	0,032	0,048	0,052
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b>									
.....									
.....									

POOR COPY

5

03316

<b>Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM)</b> Prüfvorschriften für Flugmotoren-Schmieröle zur Verwendung in Otto-Motoren		<b>Prüfvordruck Nr. 14</b> Ausgabe März 1938							
<b>Untersuchung der Ölproben</b> (siehe BVM 8215, 8216, 8217)      Prüflauf-Nr.: ..... <b>aus dem 100 Stunden-Prüflauf Nr. 94, 95, 96</b>									
Motormuster: <b>BMW 132 B</b>					Werk-Nr.: .....				
Schmieröl: <b>88962-710</b>									
<b>Probenahme:</b>		zu	nach d.1.	3.	5.	15.	35.	60.	100.Std
<b>Eigenschaften der Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E	17,0	19,0	20,1	20,6	22,2	23,8	24,8	25,2
Wassergehalt	Gew. %								
Kraftstoff- verdünnung	Gew. %								
<b>Eigenschaften der von Wasser und Kraftstoff befreiten Proben</b>									
Dichte	g/cm <sup>3</sup>								
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Aschegehalt	Gew. %	0	0,06	0,08	0,10	0,125	0,156	0,184	0,213
Asphaltgehalt	Gew. %								
Gehalt an benzol- unlöslichen Teilen (feste Fremdstoffe)	Gew. %								
Neutralisationszahl	mgKOH/g								
Verseifungszahl	mgKOH/g	0	0,2	0,46	0,59	0,83	0,84	0,84	0,84
<b>Eigenschaften der von Wasser, Kraftstoff und festen Fremdstoffen befreiten Proben</b>									
Zähigkeit bei 50°C	cSt								
	°E								
Aschegehalt	Gew. %								
<b>Angaben über zum Motor-Zusammenbau verwendetes Fett:</b> ..... ..... .....									

POOR  
COPY

5

Tafel 6. Ergebnisse der physikalisch-chemischen Untersuchung der Schmierstoffe der Gruppen 2 bis 4.

Schmierstoff	Vers. Nr.	Laufzeit Std.	η <sub>20</sub>	Viskosität		Flamm- punkt °C	Stoek- punkt	Säure- zahl mg KOH/ gr	Verseifg. zahl mg KOH/ gr	Ver- kokung %	As- phalt %	Bo- unlös- %	Asche
				bei 38° cst.	bei 99° ost.								
SS962 Alp	741	11 1/2	0,877	332	25,07	107	-	0,51	2,04	0,52	0,05	0,15	0,07
SS966 Alp	742	12	0,875	350	26,32	106	-	0,49	2,06	0,40	0,06	0,12	0,05
SS970 Alp	744	13	0,879	360	26,9	106	-	0,62	2,66	0,49	0,05	0,20	0,06
SS971 Alp	745	13 1/2	0,870	375	27,9	107	-	0,53	1,57	0,36	0,06	0,13	0,06
SS962-71 Alp	746	15 3/4	0,875	374	27,7	106	-	0,76	2,90	0,43	0,05	0,16	0,07
SS962-71p frisch	819	11 1/4	0,881	376	27,5	105	-	0,62	2,14	0,72	0,02	0,55	0,10
SS962-71p 5 Monate nat. gealtert	821	19	0,874	462	32,2	107	-	2,18	7,80	1,09	0,03	0,51	0,12
SS962-71p künstlich gealtert	816	10	0,880	402	28,5	104	-	0,95	3,14	0,78	0,03	0,45	0,11
SS962-71p gebraucht u. regeneriert	848	0	0,8765	284	22,4	103,3	247	-	0,056	0,31	Spuren	-	-
SS962-71p gebraucht u. regeneriert + p	849	0	0,8737	290	21,5	96,7	255	0,056	0,084	0,335	Spuren	-	-

03317

POOR  
COPY

5

### 6.) Beurteilung.

Aus den Werten der Ringsteckversuche für die Schmierstoffe der Gruppe 1 (Tafel 3, Seite 8) zeigt sich hinsichtlich des Ringsteckverhaltens eine klare Überlegenheit der Mischung SS962/66/70/71p gegenüber den einzelnen Ölen. Hierzu ist noch zu bemerken, dass dieser Schmierstoff im Gegensatz zu den übrigen erst nach 5-monatiger Lagerung gefahren wurde. Diese Lagerung scheint auf die Rückstandsbildung einen günstigen Einfluss zu haben, wie aus der verhältnismässig langen Laufzeit von  $19\frac{1}{4}$  Stunden bei Versuch Nr. 7 und auch aus den Kontrollläufen mit den Schmierstoffen der Gruppe 3, Nr. 15 bis 17, hervorgeht. Das Öl SS962p liegt bezüglich Ringsteckverhaltens mit 15 Stunden an zweiter Stelle, SS966p und SS970p erreichten bei fast gleichem Ausbaubild die gleiche Laufzeit von  $12\frac{1}{2}$  Stunden, SS971p erreichte bei einem etwas ungünstigeren Befund die kürzeste Laufzeit mit  $10\frac{3}{4}$  Stunden, die jedoch gegen Rotring immer noch günstig liegt. Keines der Öle zeigte aussergewöhnliche Rückstandsbildung, sodass zur Beurteilung der Eignung unmittelbar die Laufzeit herangezogen werden kann. Ein Vergleich der Ringsteckversuche mit den Vollmotorläufen ergibt die gute Brauchbarkeit des Ringsteckverfahrens, das mit seinen verschärften Bedingungen auch eine Beurteilung kleinerer Mängel, wie sie bei der Prüfung der Schmierstoffe SS970p und SS971p im DB 601 auftraten, ermöglichen. Ein unmittelbarer Vergleich der Vollmotorläufe in verschiedenen Motormustern mit den Einzylinder-Ergebnissen, ist nicht ohne weiteres möglich, da einerseits die Betriebsbedingungen der Ringsteckläufe viel schärfer sind, andererseits die Vollmotorläufe z.T. an Luft-, z.T. an flüssigkeitsgekühlten Motoren durchgeführt werden.

Ein Versuch der Wertung der Öle nach einer dem Verhalten in jedem Baumuster entsprechenden Reihenfolge ergibt das in Tafel 7 wiedergegebene Bild.

Tafel 7. Bewertung der Schmierstoffe nach der motorischen Erprobung

Schmierstoff	Bewertungsreihenfolge in Motormuster					Mittelwert
	Argus	BMW	Daimler Benz	Jumo	I.G. BMW 132 N	
SS962p	2	3	2	1	2	2
SS966p	5	1	1	2	3(4)	2,4
SS970p	3	2	4 <sup>+</sup>	4	4(3)	3,4
SS971p	4	4	5 <sup>+</sup>	3	5	4,2
SS962/66/70/71p	1	5	3		1	2,5

Wie aus den auf Seite 9 bis 19 niedergelegten Ergebnissen der Vollmotorläufe hervorgeht, ergaben sich mit Ausnahme der Läufe mit SS970p und SS971p beim Daimler Benz DB 601 keine Störungen beim Betrieb mit den aufgeführten Schmierstoffen; es war lediglich in einzelnen Fällen eine mehr oder weniger starke Schwärzung der Motorteile, die aber nicht unbedingt im Schmierstoff begründet sein muss, vorhanden. Dass die mit +) bezeichneten Läufe zu Betriebsstörungen infolge Verschlammung des Laderantriebs führten, dürfte auf eine besonders hohe Beanspruchung des Schmierstoffes in diesem Teil des Prüfmotors zurückzuführen sein, da die beiden Öle in den anderen Motormustern durchaus günstige Befunde ergaben. Ein später durchgeführter weiterer Lauf mit dem Schmierstoff SS 970p in einem DB 601 A ergab bei ebenfalls stärkeren Rückständen im Laderantrieb und einem im ganzen gleichen Ausbaubefund keine Betriebsstörung, sodass angenommen werden kann, dass das erste Versagen wohl maschinell bedingt war. Immerhin zeigen sich in der Gesamtbewertung die beiden Schmierstoffe SS970 und SS971p weniger günstig, wie die Mittelwertbildung am Ende der vorstehenden Tabelle zeigt.