

von R. Glocker.

In Anschluss an Untersuchungen¹⁾ über die Entstehung der Grenzschichten beim Polierprozess und beim Gleitvorgang von Arbeit von Besock, Givens und Smith²⁾ über verschleissvermindernde Zusätze zum Schmieröl Anlass zu der Fragestellung, ob die angegebene Wirkung etwa auf die Bildung nichtkristalliner Oberflächenschichten zurückzuführen ist. In den Vorversuchen wurde festgestellt, dass die Bedeutung dieser Zusatzmittel nicht nur in einer Verminderung des Verschleisses besteht, sondern dass auch der Reibungsbeiwert sinkt und die zulässige Flächenpressung erheblich gesteigert werden kann. Diese beiden in der Arbeit nicht erwähnten Punkte sind technisch sehr bedeutungsvoll.

Unter den von Besock, Givens und Smith angegebenen Zusatzstoffen ist die Kombination Triphenylphosphin + Tristearin besonders wirksam. Während das Triphenylphosphin durch eine chemische Reaktion mit der Metalloberfläche die Spitzen abträgt und ausglättet, soll das Tristearin langkettige Moleküle, die mit ihren polaren Gruppen an der Metallfläche sich festsetzen, dem Schmieröl zuführen. Die nähere Prüfung ergab dann allerdings, dass das Triphenylphosphin³⁾ nicht der Träger der Wirkung ist, sondern das als Verunreinigung dieses beige-mischte Monophenylphosphin. Dies gab den Anlass, planmässige Versuche zur Entwicklung und Prüfung von organischen phosphorhaltigen Stoffen als Schmierölzusätze einzuleiten. Die Auswahl und Herstellung der Stoffe erfolgte durch Dipl. Chemiker Gerd Müller im Laboratorium für organische Chemie der Technischen Hochschule Stuttgart (Prof. Dr. Ott); einige von der Phosphinabteilung (Dr. Wahl) des Werkes Leverkusen der I.G. Farbenindustrie gelieferten Präparate wurden in die Untersuchung mit einbezogen.

1) R. Glocker, Atomphysikalische Änderungen bei der Gleitung von Metalloberflächen, Schriften der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung Heft 52 (1943).
Proc. Roy. Soc. A. 177 (1941) 90.

2) Technisches Triphenylphosphin wurde von I.G. Farbenindustrie durch Herrn Dr. G. Freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Die Prüfung des Wälzlagers wurde durch den Versuch an dem in Abb. 2 dargestellten Versuchsaufbau durchgeführt. Die Versuchsbedingungen sind in der Tabelle 1 angegeben. Wie die Versuche zeigen, schon bei einer Belastung von 120 kg/cm² ist der Reibungsbeiwert sehr hoch. Der wälzende Ring mit 10/20 mm Durchmesser ist aus der Aluminium-Kohlenstofflegierung EC 124 oder aus dem entsprechenden Gegenkörper aus Stahl St.60.11 mit 3 mm Dicke in Abschnitte mit je 12 mm Bogenlänge (Abb. 2). Bei den Versuchsversuchen die erforderlichen Flächenpressungen zu erreichen, wurden die Tragflächen auf je 11 mm² dadurch begrenzt, dass der innere Rand der Tragfläche durch Abarbeiten ein wenig vertieft wurde. Die Tragflächen wurden mit Feldspatpulver von höchstens 10 µm Korngröße vor jedem Versuch sorgfältig gehäpft. Die Gleitgeschwindigkeit betrug stets 1,0 m/s; die Öltemperatur wurde auf 120°C konstant gehalten.

Aus der Vielzahl der von Dr. Ing. C. Brockstedt in der Stahl-Materialprüfungsanstalt Stuttgart durchgeführten Versuche sind nur wenige kennzeichnende Beispiele herausgegriffen. Bei dem Werkstoffpaar EC 124 gegen St.60.11 hat Rotringöl einen Reibungsbeiwert 0,07 bis 0,08, wobei ein deutlich messbarer Verschleiss auftritt. Ein Zusatz von 0,01% Phosphorylchlorid genügt, um diesen Wert auf 0,01 herabzudrücken (Abb.3). Bei grösserer Zugabe von Phosphorylchlorid wird die zulässige Flächenpressung stark erhöht, z.B. bei 0,1% Zusatz auf 750 kg/cm² gegenüber 120 bis 150 kg/cm² bei reinem Rotringöl. Wie die Abb.3 zeigt, behält der Reibungsbeiwert den niederen Wert 0,01 bis zu 750 kg/cm² bei, um dann plötzlich stark anzusteigen. Bei Belastungen unterhalb dieses Stellenstieges ist ein messbarer Verschleiss überhaupt nicht vorhanden. Bei Gleitbronze ergibt sich im wesentlichen dasselbe Bild; nur sind die Absolutwerte auch schon bei reinem Öl etwas günstiger als bei EC 124. Durch eine Beimischung von 0,1% Phosphorylchlorid kann die Belastbarkeit auf das 6fache gegenüber dem Öl ohne Zusatz gesteigert werden (Abb.4). Eine Übertragung dieses Zahlenfaktors auf die Verhältnisse eines technischen Lagers ist nicht statthaft, weil die ausserordentlich kleinen Tragflächen der Prüfkörper die Ausbildung des Schmierfilmes sehr begünstigen. Dagegen hat sich immer wieder gezeigt, dass die Befunde in qualitativer Hinsicht mit den Ergebnissen einer grossen Lagerprüfmaschine gut übereinstimmen.

[1] B.Kehl und S.Siebel, Arch.Eisenhüttenwes. 9 (1935) S.553.

Es nach dem Art des Öl - Zusatzes
Anteil, Dampfdruck und die sehr geringe
Schmierungseigenschaften verwendet. Es wurde
ein bestimmtes Öl - Zusatzpaar als bestimmtes Öl - Zusatzpaar
die Abt. für Phosphorylchlorid wurde als bestimmtes Öl - Zusatzpaar
das Öl - Zusatzpaar zu 124 gegen St. 60.11 war.

Zur Klärung der Frage, ob die Gleitflächen durch
mittel eine dauernde Veränderung erleiden, wurden einlaufs-
durchgeführt: In Rot ringöl mit 0,1% Phosphorylchlorid wurde ein
ring aus St 124 stufenweise alle halbe Stunde bis zu 450 kg/cm²
belastet und dann auf 450 kg/cm² entlastet (Abb. 6). Hieran
das Öl mit Zusatz durch zusatzfreies Öl ersetzt. Nach 750 Stunden
Laufzeit bei 450 kg/cm², entsprechend einem Laufweg von 200 km, wurde
nach je 2 km Laufweg die Belastung um 100 kg/cm² gesteigert, bis
650 kg/cm² Pressen eintrat. Die Veränderung der Laufeigenschaften
der Oberflächen bleiben also bestehen, wenn nach Beendigung der Ein-
laufperiode zusatzfreies Öl benutzt wird. Diese Beobachtung wird be-
stätigt durch die später zu besprechenden Ergebnisse mit einer großen
Lagerprüfmaschine.

Einen gewissen Aufschluss über die Oberflächenveränderungen
geben mikrophotographische Aufnahmen. Abb. 7a zeigt bei 450 kg/cm²
in reinem Rotringöl Rissbildung und Ausbrüche der Bleibronze, während
in Abb. 7b die Oberfläche bei 1400 kg/cm² und 0,1% Phosphorylchlorid-
Zusatz noch völlig unversehrt ist.

Die nach dem Abdruckverfahren von Kahl durch Dr. habil.
H. Richter in meinem Institut hergestellten elektronenmikroskopischen
Aufnahmen an Laufringen aus St 124 liefern für Rotringöl allein
(Abb. 8a) und ebenso bei geringer Belastung auch für 0,1% Phosphoryl-
chlorid-Zusatz dasselbe Bild (Abb. 8c), während das im letzten Fall bei
hoher Belastung erhaltene Bild (Abb. 8b) einen weit gleichmäßigeren
Eindruck macht. Es ist aber noch nicht entschieden, ob das Lack-
abdruckverfahren die Metallfläche selbst oder den auf ihr gebildeten,
mitunter bräunlich schimmernden Belag zur Darstellung bringt.

Unmittelbare Hinweise auf die praktische Bewährung geben
Versuche auf der Lagerprüfmaschine¹⁾ des Forschungsinstitutes für

1) Vgl. den vorhergehenden Vortrag von Prof. Newerka, dem die Zahlen-
angaben der Tab. 1 entnommen sind. Die Versuche wurden von Dipl.
Ing. Dellhopf und Dipl. Ing. Hagasier durchgeführt.

... der Technischen Hochschule Stuttgart, ...
 ... Stahlwelle von 45 mm Durchmesser läuft mit ...
 ... 7 m/s in Lager mit 20 mm Breite und ...
 ... nicht mittelgrobes Dampfkarbinenöl ...
 ... bei 20°C. Die Erhöhungen der Tragfähigkeit ...
 ... sind sehr beachtlich; bei Bleibronze 50 bis 100% ...
 ... bei 20 bis 30%. Die geringen Verbesserungen bei der ...
 ... mit 17 bis 30% sind wohl dadurch bedingt, dass die ...
 ... auf einen Schliff deutlich vorstehenden, silberartigen ...
 ... ein Durchbrechen des Spazierringes verursachen ...
 ... im Vergleich der Werte für Bleibronze und für Silber zeigt, ...
 ... die chemische Zusammensetzung des Zusatzmittels auf das Werkstoffpaar ...
 ... abgeändert werden, wenn maximale Wirkung erreicht werden soll. ...
 ... sind hochsilberhaltige Lager, weil die phosphorhaltigen Stoffe ...
 ... nicht mit Sinn ersetzen.

Tabelle 1.

Tragfähigkeit in kg/cm² und prozentuale Steigerung gegenüber
zusatzfreiem Öl.

	Bleibronze		Silber		Sondermessing		Leichtmetall	
	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
Öl ohne Zusatz	270	-	390	-	300	-	600	-
0,05% Phosphorylchlorid	490	82	500	28	-	-	-	-
0,3% Phosphorylige Säure	450	65	740	90	350	17	700	17
0,6% 891 (I.G.Präparat)	410	52	1200	210	440	47	780	30
1,2% Ester M ₁	780	188	470	21	1000	230	760	27

Es interessiert vor allem die Frage, ob die auf der Siebel-Kohl-Maschine beobachtete Nachwirkung der Zusatzmittel auch für die technischen Lager auftritt. Zu diesem Zweck wurden Bleibronzelager mit der Stahlwelle 2 Stunden mit nur 120 kg/cm² in dem Öl mit Zusatz belastet. Nach Auswechseln des Öles gegen zusatzfreies Öl wurde die Belastung stufenweise, alle 20 Minuten um 40 kg/cm², gesteigert, bis Pressen eintrat. Wie die Tab.2 zeigt, wird auf diese Weise die

Tabelle 2.

Einlaufversuche.

Wasser beim Einlaufen	Tragfähigkeit kg/cm ²	Steigerung der Tragfähigkeit gegenüber sa- ttsfreiem Öl	Bemerkungen
0,6% 891 s 1,2% Ester M ₁	680 (1400)	2,4 (5,0)	Lager und Welle eingelaufen
0,6% 891 s 1,2% Ester M ₁	560 660	2,0 2,3	nur das Lager oder nur die Welle eingelaufen

Bei einer Verwendung der Zusatzmittel in Motor sind verschiedene Faktoren zu berücksichtigen, wie z.B. hohe Temperaturbeständigkeit, Unzersetzlichkeit gegenüber Wasserdampf und Treibstoffgasen, Wirkung auf Verharzung und Verkokung des Öles. Hohe Temperaturbeständigkeit und chemische Stabilität einerseits, grosse Wirksamkeit des Zusatzes andererseits sind gegensätzliche Eigenschaften. Aus diesem Grunde müssen verschiedene Präparate, z.B. das sehr aktive Phosphenylchlorid, ausscheiden. Die Entwicklung von organischen Stoffen, die bis 300 und 350°C beständig sind, begegnet erheblichen Schwierigkeiten; doch kann diese Aufgabe jetzt als gelöst gelten. Der Ester M₁ scheidet z.B. erst bei 350°C ohne sich vorher zu zersetzen, wobei von 300°C an die Verdampfung schon merklich wird; das Präparat 891 ist bis 310°C völlig temperaturbeständig. Nach Versuchen von Dr. Ing. Widmaier vom Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen in Stuttgart wird durch die in die endgültige Erprobung genommenen Präparate die Neigung des Rotringöles zur Verharzung und Verkokung

... die Wirkung der Zusatzstoffe bei der ...
 ... als nicht ...
 ... die auf der Siebel-Maschine ...
 ... tragende Flächenpressung nicht ...

Wichtig ist eine ausreichende Löslichkeit der ...
 ... bei dieser Temperatur als ... und in den ...
 ... der Zylinder eintritt. Hier wurden durch ...
 ... Kohlenwasserstoffe als Lösungsmittel ...
 ... Das feste Diphenylphosphat löst sich in der gleichen ...
 ... Laurylalkohol. Diese Mischung hat ...
 ... die Einführung in das Öl nach dem Vorteil, dass größere Konzentrationen ...
 ... Diphenylphosphat im Öl in Lösung gehalten werden können.

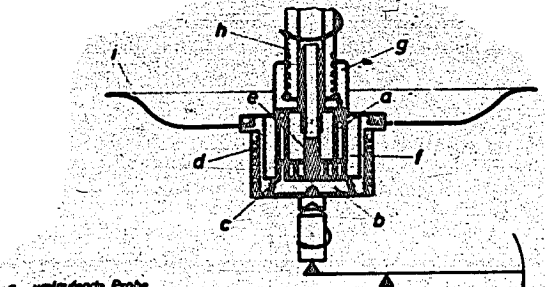
Die Beständigkeit der Zusätze beim motorischen Betrieb wurde durch Fahrversuche²⁾ mit einem 2 l. BMW-Motorwagen in folgender Weise geprüft: Nach bestimmten Fahrtstrecken wurden Ölproben entnommen und der höchstzulässige Flächenndruck mit dem Werkstoffpaar EC 104 gegen St.60.11 auf der Siebel-Kehl-Maschine bestimmt. Ist p der Wert der Probe, p_0 der des Ausgangsöles mit Zusatz und p' der des Ausgangsöles ohne Zusatz, so ist als prozentualer Wirkungsabfall definiert das Verhältnis: $\frac{p - p'}{p_0 - p'} \cdot 100$. Wie die Abb.9 zeigt, liegen die gemessenen Punkte auf Kurven von e-Funktionen. Wird der Zusatz ergänzt, so erfolgt der Abfall genau nach dem gleichen Gesetz wie vorher. Eine Ergänzung des Öles wurde innerhalb einer Versuchsreihe nicht vorgenommen. Bei den z.Zt. bei Daimler-Benz in Stuttgart-Untertürkheim durchgeführten Probelaufen mit dem Flugmotor DB 605 hat sich ergeben, dass die verfügbaren Zusatzmittel auch den hohen thermischen Beanspruchungen des Flugmotorenbetriebes gewachsen sind³⁾.

Stuttgart, den 25.10.1943,

Institut für Metallphysik
 am KWI für Metallforschung

- 1) Ringsteckversuche werden z.Zt. in dem Institut für Betriebsstoffforschung der DVL (Dr. v. Philippovich) Berlin-Adlershof durchgeführt.
- 2) Die Versuche, inwieweit sich eine Freihaltungsreparatur durch Verminderung der inneren Reibungswiderstände erzielen lässt, sind noch nicht abgeschlossen.
- 3) Vergl. hierzu die Diskussionsbemerkung von Dipl.-Ing. Anders.

- Einfluss der Flächenpressung auf die Abhängigkeit von der Flächenpressung für Rotringöl mit Phosphorylchloridzusatz beim Werkstoffpaar EG 124 gegen St.60.11.
- Abb. 4. Reibkoeffizient in Abhängigkeit von der Flächenpressung für Rotringöl mit Phosphorylchloridzusatz beim Werkstoffpaar Gleitbronze gegen St.60.11.
- Abb. 5. Einfluss der Konzentration des Zusatzmittels auf die erreichbare Flächenpressung.
- Abb. 6. Einlaufversuch für Rotringöl mit 0,1% Phosphorylchloridzusatz beim Werkstoffpaar EG 124 gegen St.60.11.
- Abb. 7. Mikrophotographische Aufnahmen der Oberfläche der Laufringe aus Gleitbronze (Vergr. 1300 x).
- a) reines Rotringöl, Flächenpressung stufenweise gesteigert bis $\approx 450 \text{ kg/cm}^2$.
 - b) Rotringöl mit 0,1% Phosphorylchlorid; Flächenpressung stufenweise gesteigert bis 1400 kg/cm^2 , ohne dass Pressen auftritt.
- Abb. 8. Elektronenmikroskopische Aufnahmen der Oberfläche der Laufringe aus EG 124 (Vergr. 2700 x).
- a) reines Rotringöl, Flächenpressung $p = 30 \text{ kg/cm}^2$.
 - b) Rotringöl mit 0,1% Phosphorylchlorid, zunächst $p = 120 \text{ kg/cm}^2$, dann stufenweise anbelastet bis $p = 450 \text{ kg/cm}^2$.
 - c) Rotringöl mit 0,1% Phosphorylchlorid $p = 120 \text{ kg/cm}^2$.
- Abb. 9. Prüfung der Temperaturbeständigkeit der Zusätze durch Fahrversuche mit einem Kraftwagen.



- a umlaufende Probe
- b ruhende Probe
- c Einspannring
- d Heizkörper
- e Flüssigkeitsthermometer
- f Ölbad mit Verschiebmittel
- g Ablesermikroskop
- h hohle Antriebswelle
- i Teller für Dialind.
- j Gewicht

Abb. 1

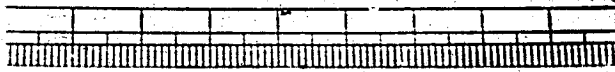
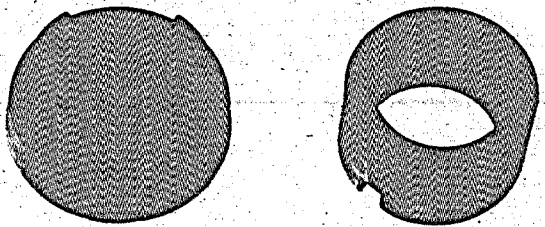
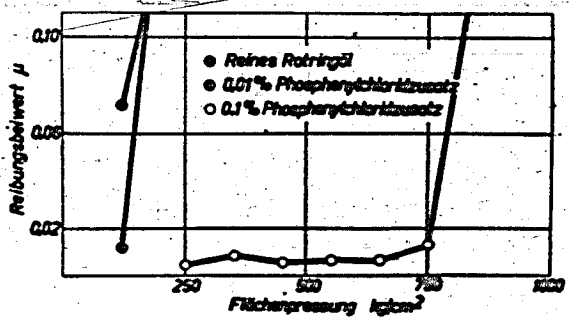


Abb. 2



Phosphorylchloridzusatz
EC 12% gegen SL 62-11

Abb. 3

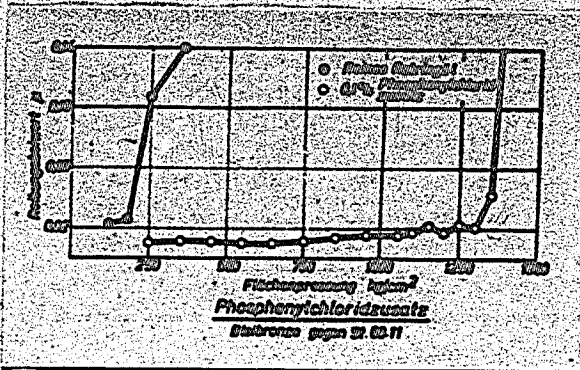


Abb. 4

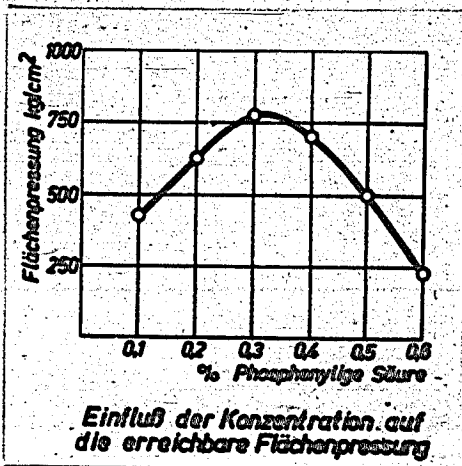


Abb. 5

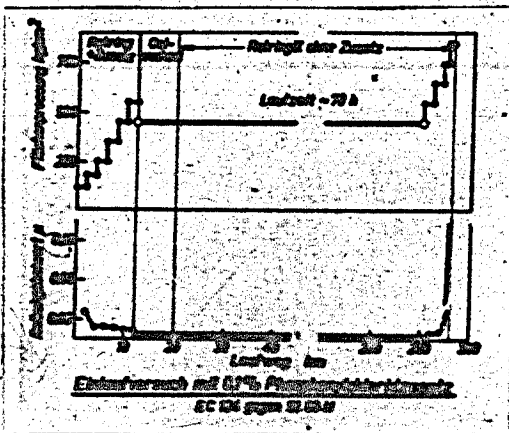
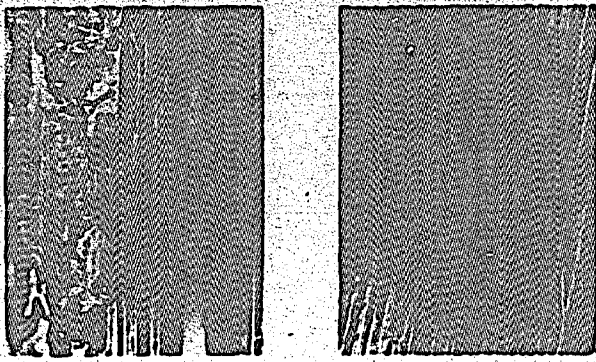


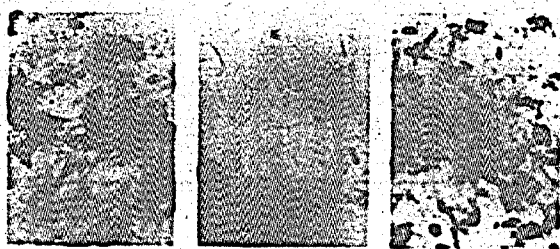
Abb. 6



a.)

b.)

Abb. 7

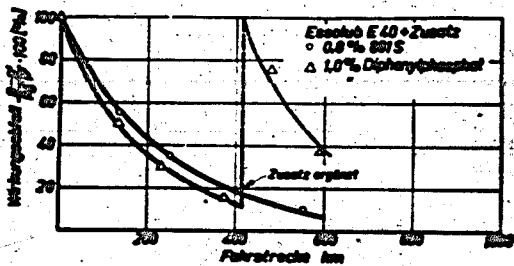


a.)

b.)

c.)

Abb. 8



Abnahme der Wirkung der Zusätze bei Erprobung im Kraftwagen (B20V21.)

Abb. 9