

482

Bericht Nr. 548

**Schmierstoffprüfung
durch Verschleißmessung**

9472



Schmierstoffprüfung durch Verschleissmessung

(Vortrag, gehalten am 29. Juni 1943 vor der Arbeitsgruppe
"Schmiertechnik" des Fachausschusses für Maschinenelemente
des VDI)

Der Schmierstoff hat die Aufgabe Energie- und Stoffverluste zu vermeiden oder wenigstens herabzumindern. Der Leistungsverlust kann durch Wahl einer bestimmten Zähigkeit auf ein gewisses Mass beschränkt werden. In den seltensten Fällen wird es erforderlich sein, aus Gründen des Leistungsverlustes auf das Grenzflächenverhalten der Schmierstoffe Rücksicht zu nehmen. Dagegen geht der Stoffverlust unter den Bedingungen der Grenz- und Teilschmierung vor sich. Daher muss sich eine gewissenhafte Schmierstoffprüfung mit den Stoffverlusten bei diesen Schmierzuständen befassen.

Der Technische Prüfstand beschäftigt sich schon seit einer Reihe von Jahren mit Versuchen, die bewusst darauf abgestellt waren, die Vorgänge zu studieren, die eintreten, wenn die verschleisslose Schmierung versagt. Der heutige Stand dieser Versuche soll im folgenden kurz geschildert werden.

Als Versuchsgesät dient eine Maschine, wie sie im Prinzip in Bild 1 (1103) dargestellt ist. Zwei auf einer Welle sitzende Trommeln werden durch einen Motor über ein Untersetzungsgetriebe und eine Pleuelstange in drehschwingende Bewegung gesetzt. Die Trommeln sind mit polierten und gehärteten Stahlbändern bespannt, die als Reibfläche dienen. Die Verschleissstücke, die als zylindrische Stifte aus verschiedenem Material ausgebildet sind, werden von unten gegen die Stahlbänder gedrückt und über einen Hebel belastet. Reibfläche und Verschleissstück sind in das Prüflö getaucht, das über ein Ölbad durch elektrische Heisschlangen auf gleichbleibender Temperatur gehalten wird. Die Verkürzung des Stiftes infolge des Verschleisses kann am Belastungshebel mit Hilfe einer Mikrometeruhr gemessen werden. Die Umdrehungszahl an der Kurbel beträgt 81 pro Minute; daraus ergeben sich 162 Hübe pro Minute bei einer mittleren Gleitgeschwindigkeit von 22,3 cm/sec. Es ist zu vermuten, dass bei einer solchen Bewegung an den Totpunkten Grenzreibung herrscht und in der Mitte flüssige oder

halbflüssige Schmierung vorhanden ist. Zu dieser Annahme kommt man durch Messung des Kontaktwiderstandes. Es konnte mit Hilfe der Braun'schen Röhre festgestellt werden, dass an den Totpunkten Kurzschluss und in der Mitte ein Widerstand vorhanden ist, der stärkeren Schwankungen unterworfen ist und kurzzeitig den Wert unendlich erreicht. Mit diesem Gerät wurden nun eine Reihe von Ölen untersucht und dabei zwei verschiedene Werkstoffe angewandt. Bild 2 (1402) zeigt einige Ergebnisse bei Verwendung von glatten und gehärteten Stahlbändern und von Verschleisstiften aus Aeterna VL 22. Dieses Material besteht in der Hauptsache aus Kupfer (51%), Zink (42%) und enthält geringe Mengen von Mangan, Aluminium, Eisen, Zinn, Silizium, Blei und Nickel. Das Bild lässt erkennen, dass bei Verwendung dieses Werkstoffes (im Bild mit Bronze bezeichnet) S-haltige Produkte sehr hohen Abrieb ergeben. Beim Übergang auf einen anderen Werkstoff wie z.B. Eisen (Schweisseisendraht) ergeben sich ganz andere Verhältnisse. Mit Rüböl wird dabei ein Abrieb erzielt, der mit mehr als 2 mm in 20 Stunden mit Abstand den grössten Wert erreicht. Rizinusöl ergibt ähnlich hohe Verschleisszahlen, aber erst bei Temperaturen über 65°C. Dagegen zeigt E 426 gerade umgekehrtes Verhalten mit hoher Metallabtragung bei niedriger Temperatur und mit geringen bei hoher Temperatur. Interessant ist, dass der S-Ester ganz ähnlichen Verlauf zeigt wie E 315, während die Mischung beider Produkte sich ganz anders verhält. Es liegt hier offenbar ein Mischungseffekt vor. Die Verschleisskurve des S-Esters ist hier gezeichnet auf Grund der Messung an der Mikromoteruhr. Tatsächlich stellte sich bei der Nachprüfung heraus, dass der aus weichem Eisen bestehende Stift einen kaum nachweisbaren Verschleiss zeigte und dass dagegen bei Temperaturen über 100°C das harte Band mit einer Stärke von 0,2 mm bis auf eine papierdünne Schicht abgenützt war. Ein solches Verhalten wurde in dieser Masse bisher nur bei diesem S-Ester beachtet. Im Verlauf der weiteren Ausführungen wird nochmals darauf eingegangen. In Bild 3 (1403) sind nochmals Ergebnisse dargestellt, die mit denselben Werkstoffen und unter den gleichen Bedingungen wie im vorhergehenden Bild erhalten wurden. Geprüft wurden 4 Öle, die nach ihrer Zähigkeit zu den Flugmotorenölen gehören. K 7 ist ein Mineralöl, SS 902 F 25 ist ein synthetisches Flugmotorenöl mit Esterzusatz, LK 2200 und

M 620 zwei Versuchsöle, die nicht mineralölloslich sind. Das Bild lässt erkennen, dass sich der Übergang von einem Werkstoff auf den anderen bei K 7 und M 620 nur sehr wenig auswirkt, im Gegensatz zu den beiden anderen Schmierstoffen, bei denen eine Umkehrung im Verschleissverhalten eintritt. Diese Versuche wurden alle mit glatten, polierten Stahlbändern, also mit praktisch gleicher Rauigkeit, durchgeführt. Um den Einfluss der Rauigkeit zu studieren, wurden nun Stahlbänder, die vorher einer Behandlung im Sandstrahlgebläse unterzogen wurden und eine Rauigkeit von rd. 10μ erhalten hatten, als Reibfläche verwendet. Eine Widerstandsmessung ergab im ganzen Bereich Kurzschluss, sodass man Grenzreibung annehmen kann. Da der Abrieb dabei, wie erwartet, sehr hoch lag, wurde die Versuchsdauer auf nur 20 Minuten festgesetzt. Die mit diesen 4 Ölen erzielten Ergebnisse sind weniger temperaturabhängig und daher eindeutiger (Bild 4 - 1404); ausserdem verschieben sich gegenüber der Verwendung glatter Gleitflächen die Ergebnisse hinsichtlich Reihenfolge sehr beträchtlich. Interessant ist vor allem, dass K 7, das reine Kohlenwasserstofföl, mit einem sehr geringen Abrieb sich stark von den 3 übrigen Schmierstoffen, die Sauerstoff enthalten, heraushebt. Bei Verwendung glatter Bänder liegt dagegen K 7 verhältnismässig hoch. Diese Verschiebung dürfte darauf zurückzuführen sein, dass bei Verwendung rauher Bänder das Gerät tiefer in Gebiet der Grenzreibung arbeitet als bei glatten, wo -wenigstens in der Gegend des Geschwindigkeitsmaximums- Teilschmierung, z.T. auch Vollschmierung, vorhanden ist.

Um die Frage des Metallabriebs noch näher untersuchen zu können, haben wir ein Gerät gebaut, das in seiner Art keine Neuerung bedeutet, für die Zwecke der Schmierstoffprüfung jedoch kaum verwendet worden ist. Wie Bild 5 (1414) zeigt, wird dabei eine feststehende Walze gegen eine umlaufende Scheibe aus Hartmetall gedrückt, die durch tropfenweise Ölsufuhr geschmiert wird. Die Scheibe hinterlässt auf der Trommel nach einer bestimmten Versuchszeit, die in der Regel 10 Minuten betrug, einen Einschleif von bestimmter Länge, der bei jedem Öl verschieden gross ist. Drehzahl der Scheibe und

+) Skoda-Sawinmaschine

Belastung der Walze können je nach Bedarf gewählt werden. Die Einschliffe werden mit Hilfe eines Messmikroskops ausgemessen und dann aus ihrer Länge das ausgeschliffene Volumen errechnet. In Bild 6 (1412) sind einige Ergebnisse mit diesem Gerät dargestellt. Es wurden 14 Öle der verschiedensten Zusammensetzung bei einer Belastung von 20 kg bei 210 U/min (Umfangsgeschwindigkeit 33 cm/sec) und einer Versuchsdauer von 10 Minuten geprüft, wobei Walzen aus verschiedenem Werkstoff zur Anwendung kamen. Die Schmierstoffe wurden nach den Ergebnissen, wie sie auf der Stahlwalze erzielt wurden, geordnet. Rüböl mit dem grössten Einschliff steht an letzter Stelle. Führt man denselben Versuch mit Gusseisen durch, so zeigen sich erhebliche Verschiebungen, Rüböl bleibt zwar noch an letzter Stelle, dagegen rückt der S-Ester auf die erste. Bei Rotguss wird der grösste Einschliff mit BH 4 erzielt, was stark im Gegensatz steht mit dem Ergebnis bei Verwendung von Stahl. Rizinusöl tritt hier ebenfalls durch grösseren Verschleiss hervor, ebenso wiederum Rüböl. LK 2200 steht mit dem kleinsten Einschliff an erster Stelle. Die grössten Unterschiede zwischen den einzelnen Ölen zeigt sich bei Leichtmetall. Hier fallen besonders LK 2200 und M 620 durch sehr starken Einschliff auf, dann folgen S-Ester und SS 902 P 25. Bei Lagermetall einer Zinn-Bleilegierung wirkt sich anscheinend besonders der S-Gehalt verschleiss-erhöhend aus. Die niedrigsten Werte ergaben hier M 620 und LK 2200. Dieses Bild zeigt also sehr anschaulich, wie verschieden das Verhalten der Schmierstoffe gegenüber den einzelnen Metallen sein kann. Es ist dabei zu erwähnen, dass die Einschliffe nicht in allen Fällen ein metallisch blankes Aussehen besitzen, sondern häufig eine rötliche, graue bis schwarze Färbung zeigen. Die Folgerung, dass es sich bei dem Metallabtrag zum Teil um chemische Vorgänge handelt, ist naheliegend. Wie weit solche Versuche für die Praxis ausgewertet werden können, bedarf noch der Untersuchung. Man könnte sich z.B. vorstellen, dass man aus der Grösse der Einschliffe auf die Verwendbarkeit als Schneidöl Schlüsse ziehen kann. Darnach wäre Rüböl für Stahl und Gusseisen ein ausgezeichnetes Schneidöl, was ja auch tatsächlich der Fall ist.

Von Wichtigkeit dürfte bei diesen Versuchen vor allem die Tatsache sein, dass das Auflösungsvermögen sehr beträchtlich ist und dass die gemessenen Unterschiede wesentlich grösser sind als bei Reibungsmessungen. Solche Untersuchungen über Metallabtragungen bei Schmierung sind nicht ohne Zusammenhang mit den bei der Schmierstoffbeurteilung üblicherweise gemessenen Grössen, wie z.B. einer Reibungszahl. Anlässlich der Prüfung zahlreicher synthetischer Ester vom Werk Leuna konnte beobachtet werden, dass die in einem Reibungsmesser (Kettenmaschine) festgestellten μ -Werte mit der Grösse der Einschliffe auf der Stahltrommel in gewissen Zusammenhang stehen. In Bild 7 (1407) sind die Ergebnisse mit 35 synthetischen Estern und dazu Rüböl und Knochenöl je durch einen Punkt dargestellt. Man erkennt, dass diese Punkte alle in einen gewissen Bereich zu liegen kommen, der sich in langgestreckter, schmaler Form vom Gebiet hoher Reibungszahl, aber kleiner Metallabtragung, herunterzieht in das Gebiet niedriger Reibungszahl und grossen Abriebs. Es ist wahrscheinlich, dass diese hier beobachtete Gesetzmässigkeit noch deutlicher in Erscheinung tritt, wenn beide Messungen mit gleichem Werkstoff und unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden könnten.

Die beiden hier geschilderten Geräte messen nur eine Form des Verschleisses, nämlich die stetige, nur in mikroskopisch kleinen Teilchen sich vollziehende Abtragung des Werkstoffs. Sie tritt hauptsächlich dann auf, wenn sich die Werkstoffpaarung durch grosse Härteunterschiede auszeichnet. Laufen gleiche Werkstoffe oder Werkstoffe von ungefähr gleichen Härten aufeinander, so tritt eine wesentlich gefährlichere Form des Verschleisses ein, nämlich Verschleiss bei Fressen.⁺⁾

<sup>+) S. Anton Eichinger: Verschleiss metallischer Werkstoffe
Mitteilungen aus dem KWI-für Eisenforschung zu Düsseldorf</sup>

Bei der laufenden Untersuchung zahlreicher Schmierstoffe in verschiedenen Geräten konnte immer wieder beobachtet werden, dass zwischen diesen beiden Erscheinungsformen des Verschleisses ein Zusammenhang besteht. Diese Gesetzmässigkeit soll anhand von 3 Schmierstoffen näher erläutert werden. Es wurde hierzu ausgewählt Rüböl und der oben bereits genannte Schwefelester, also zwei Öle, die sehr entgegengesetztes Verhalten zeigen, ferner als dritter, neutraler Schmierstoff, K 7, ein Mineralöl.

Diese drei Schmierstoffe wurden zunächst hinsichtlich ihres Verhaltens bei langsamem Metallabtrag besonders gründlich geprüft. Bild 8 (1420) zeigt den Abrieb eines Eisenstiftes aus weichem Eisen in Abhängigkeit von der Laufzeit bei Verwendung rauher, gehärteter Stahlbänder bei zwei verschiedenen Temperaturen. Rüböl zeigt dabei einen fast geradlinigen, steil ansteigenden Kurvenverlauf, d.h. der Abrieb am weichen Eisen ist sehr gross und mit der Zeit fast gleichbleibend. Die Glättung des rauhen Stahlbandes ist also gering. Demgegenüber nimmt bei S-Ester die Stiftverkürzung in der Zeiteinheit sehr schnell ab, woraus man auf eine starke Glättung am Band schliessen muss, die auch tatsächlich schon durch blossen Augenschein wahrnehmbar ist. K 7 zeigt weder einen starken Abrieb am Eisenstift, noch eine bemerkenswerte Veränderung am harten Stahlband. In Bild 9 (1418) links sind nochmals die Ergebnisse der 20 Stundenläufe mit glatten Bändern und verschiedenen Temperaturen für diese drei Schmierstoffe zusammengestellt (s. Bild 2 und 3). Auch bei dem hauptsächlich im halbflüssigen Gebiet verlaufenden Zustand ergibt Rüböl mit weichem Eisen hohen Abrieb, K 7 und S-Ester einen sehr geringen. Letzterer wiederum zeigt sein stark verschleissförderndes Verhalten gegenüber gehärtetem Stahl und zwar vor allem bei hoher Temperatur. Wie bereits eingangs erwähnt, war bei Temperaturen über 100°C das 0,2 mm starke Stahlband beinahe völlig durchgescheuert. Der Abrieb am harten Stahlband ist also ungleich grösser als am Weicheisenstift. Zur Kontrolle dieser Ergebnisse wurde ein weiterer Versuch durchgeführt, wobei ein gehärteter Stift mit ungehärtetem Band gepaart wurde. Wie erwartet, trat hier der weit grössere Abrieb am harten Stift auf.

Die Ergebnisse aus der Prüfung an der Einschleifapparatur sind im gleichen Bild 9 (1418) rechts dargestellt. Als Werkstoff wurde ungehärteter Kohlenstoffstahl verwendet. Hier stellt sich die gleiche Reihenfolge ein, wie bei den Versuchen in der Verschleissmaschine mit rauhen Bändern (s. Bild 8 1420), allerdings nur in den ersten 10 Minuten, solange die Stahlbänder annähernd ihre ursprüngliche Rauigkeit besitzen und nicht wie bei S-Ester stark geglättet sind.

Diese Abriebversuche geben also in ihrer Gesamtheit über die drei Schmierstoffe folgendes Bild. Rüböl erzeugt gegenüber ungehärtetem Stahl und weichem Eisen bei allen Temperaturen mit Abstand den grössten Verschleiss. Gegenüber gehärtetem Stahl tritt dieses Angriffsvermögen stark in den Hintergrund. Bei S-Ester liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Der Abrieb von gehärtetem Stahl ist besonders bei hoher Temperatur wesentlich stärker als an weichem Eisen. K 7 verhält sich gegenüber allen Stahl- und Eisensorten ziemlich neutral. Es ist nun interessant, wie sich die so charakterisierten Öle in den verschiedenen Prüfmaschinen hinsichtlich des Verschleisses bei Fressen verhalten. Diese Untersuchung wurde an drei Geräten vorgenommen und zwar an der Almen-Wielandmaschine, dem Fallex-Ölprüfer und der Vierkugelmaschine. Die Prüfbedingungen sind bei diesen Apparaten so auf den Werkstoff der Prüfelemente abgestimmt, dass bei Verwendung der meisten Öle ein Fressen beobachtet werden kann. Bei der Almen-Wielandmaschine wird zur Herstellung der Prüflager weicher Einsatzstahl (etwa 150 Vickershärte) und für die Welle ungehärteter Werkzeugstahl (etwa 170 Vickershärte) verwendet (s. Bild 10 1415). Da diese Werkstoffpaarung leicht zum Fressen neigt, kommt die Almen-Wielandmaschine mit verhältnismässig geringen Drücken aus. Die Fallexmaschine, die zwei Stahlarten mit grösseren Härteunterschieden verwendet, benötigt höhere Flächenpressungen. Die grösste spezifische Belastung tritt an der Vierkugelmaschine auf, wobei zu bemerken ist, dass dieser nach der Hertz'schen Formel errechnete Druck vermutlich gar nicht vorhanden ist, da die Quetschgrenze dabei überschritten wird. Die Vierkugelmaschine arbeitet auch bei sehr hoher Gleitgeschwindigkeit, sodass auch mit hoher thermischer Belastung an den Schmierstellen gerechnet werden muss.

In diesen drei Geräten wurden die drei Schmierstoffe geprüft. Bei der Almen-Wielandmaschine wird die Belastung stufenweise gesteigert, bis Fressen eintritt. Mit Rüböl konnte bis zum Erreichen der Höchstlast der Maschine kein Fressen beobachtet werden (Bild 11 - 1416). Dagegen trat bei S-Ester und K 7 frühzeitig Fressen ein. Man findet also, dass der Schmierstoff, der mit ungehärtetem Stahl und weichen Eisen sehr grossen Abrieb ergibt, bei der Beanspruchung der Wielandmaschine im Stande ist, das Fressen zu verhindern. Es scheint, dass hier die Ähnlichkeit der verwendeten Werkstoffe ausschlaggebend ist. Prüft man nach dem gleichen Verfahren in der Falxmaschine, so machen sich dabei die härteren Prüfelemente bemerkbar. Man beobachtet eine Verschiebung der Ergebnisse zu Gunsten des S-Esters und zu Ungunsten des Rüböls, das hier bereits ein Fressen der Prüfelemente ergibt, während bei S-Ester ein solches ausbleibt. Bei diesem Schmierstoff kann man an den noch unversehrten Prüfelementen auch erkennen, dass der Verschleiss an den harten Prüfbuchsen den der Welle wesentlich übersteigt. Dies ist eine Bestätigung der an der Verschleissmaschine gefundenen Ergebnisse. Die Untersuchung wurde nunmehr auch an der Vierkugelmaschine durchgeführt, wobei die Methode, der sich das Heereswaffenamt zur Prüfung der Getriebeöle bedient, angewandt wurde. Es wird hier nicht eine Fressbelastung ermittelt, sondern man stellt fest, wie gross der durch das „Fressen“ verursachte Materialverschleiss ist. Hierzu werden bei verschiedener Belastung 1 Minutenläufe durchgeführt und darnach der Durchmesser der Verschleisskalotten an den 3 unteren Kugeln gemessen. Von einer bestimmten Belastung an kann die Wärmeentwicklung an den Berührungsstellen so stark ansteigen, dass Verschweissen der Kugeln eintritt. Verschleissdurchmesser und Schweissbelastung werden als Mass für die Geeignetheit eines Hochdrucköls betrachtet (Bild 12 - 1417). Nach diesem Verfahren wird S-Ester ausgezeichnet bewertet, während Rüböl stark abfällt und sich nur wenig besser verhält als K 7. Man sieht also auch hier, dass hoher Metallabtrag mit einer günstigen Bewertung beim Fressen Hand in Hand geht.

Man könnte sich nun auf den Standpunkt stellen, dass die verschiedene Bewertung der drei Schmierstoffe, wie sie in den drei Geräten gefunden wurde, gar nicht eine Folge des verschiedenen Werkstoffes ist, sondern auf die verschiedenen Versuchsbedingungen, wie Gleitgeschwindigkeit, Flächendruck und als Folge davon die Temperatur, die sich auf verschiedene Höhen einstellt, zurückzuführen ist. Bis zu einem gewissen Grade ist diese Annahme auch richtig. Dass aber der Werkstoff dabei einen wesentlich stärkeren Einfluss ausübt, sollen die folgende Versuche zeigen, die unter mechanisch gleichen Bedingungen durchgeführt wurden, bei denen die einzige Veränderliche der Werkstoff ist.

Verwendet man bei den eben geschilderten Versuchen in der Vierkugelmachine an Stelle der normalen, handelsüblichen Kugeln mit rd. 800 kg/mm² VH solche von rd. 400 kg/mm², wie sie uns von den Deutschen Kugellagerfabriken hergestellt wurden, so erwartet man nach dem bisher Gesagten eine Verschiebung zu Gunsten des Ruböls. Wie das Bild 12 (1418) zeigt, tritt diese auch tatsächlich - wenigstens unter 150 kg - ein. Noch stärker macht sich diese veränderte Bewertung bemerkbar bei Verwendung von Gusseisenkugeln. Hier bleibt Ruböl selbst bei Belastungen bis zu 400 kg noch überlegen. Einen tieferen Einblick in die Vorgänge während dieser 1 Minutenläufe vermitteln diese Verschleissdurchmesser jedoch nicht. Man zieht hier am besten die Reibungsdiagramme heran, aus denen interessante Schlüsse gezogen werden können (Bild 13 - 1419). Man erkennt aus Diagramm oben links, dass z.B. bei K 7, normalen Kugeln und 20°C Öltemperatur nach knapp einer Sekunde die Reibungszahl stark ansteigt, ein Zeichen, dass Fressen eingetreten ist. Dieser Zustand dauert hier etwa 20 Sekunden, dann fällt die Reibungszahl stark ab und verläuft von da an unverändert und gleichmässig in einer Parallelen zur Grundlinie. Bei Ruböl ist das Diagramm ähnlich, nur ist die Zeit bis zum Fressen etwas länger und die Fressdauer geringer. Bei Schwefelester kann ein eigentliches Fressen nur in schwachen Ansätzen festgestellt werden. Die bei diesem Öl in allen anderen Geräten beobachtete hohe Reibungszahl macht sich auch hier bemerkbar. Das Zustandekommen dieser Rei-

ungsverhältnisse kann man sich, wie folgt erklären. Im Augenblick des Versuchsbeginns stellt sich halbflüssige Reibung ein, die jedoch nicht aufrecht erhalten werden kann. Die Dauer dieses Reibungszustandes hängt ab vom Grenzflächenverhalten des Schmierstoffs, aber auch von der Zähigkeit (s. Bericht Nr. 486).

Mit Beginn des Pressens wird die Temperatur an der Schmierstelle stark ansteigen. Das führt

1. zu einer Steigerung der chemischen Aktivität,
2. zu einer Veränderung der Werkstoffe, zum mindesten an der Oberfläche und
3. zu einer Veränderung des Schmierstoffs.

Diese 3 Faktoren wirken zusammen, sie führen eine Beendigung der Periode des Pressens herbei und leiten den Vorgang über in stetigen Metallabtrag. Für K 7 dauert diese Zeit verhältnismässig lange, d.h. es sind wesentlich höhere Temperaturen erforderlich als bei Rüböl. Das ist auch schon an der Tatsache erkenntlich, dass bei Rüböl keine blauen Anlauffarben an den Kugeln feststellbar sind im Gegensatz zu K 7. Bei Rüböl genügt also schon eine geringe Temperatursteigerung, um an den Gleitflächen wieder einen tragbaren, wenn auch nicht den idealen Schmierzustand herzustellen. Bei dem chemisch sehr wirksamen S-Ester genügt schon die geringe Anlaufzeit der ersten Sekunden, um die für einen stetigen Metallabtrag erforderliche Temperatur zu erzeugen. Der Metallabtrag dürfte in diesem Fall im wesentlichen ein chemischer Vorgang sein.

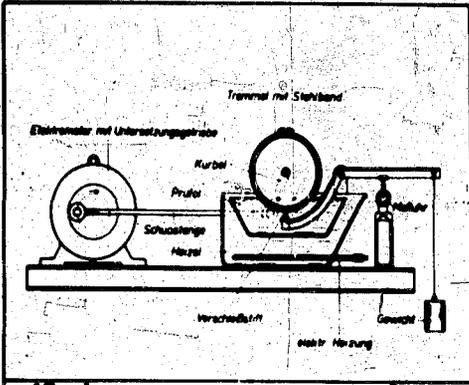
Die durch das Pressen hervorgerufene Temperatursteigerung und die im Zusammenhang damit erfolgende Veränderung von Werk- und Schmierstoff kann künstlich dadurch gefördert werden, dass von vorneherein ein anderer Werkstoff oder eine höhere Temperatur angewandt wird. So geben z.B. die Kugeln mit 400 kg/mm^2 VH mit K 7 eine etwa um $1/3$ kürzere Pressdauer. Bei Rüböl bleibt das Pressen überhaupt aus, daher die günstige Beurteilung nach Bild 12 (1417). Einen ähnlichen Effekt erhält man auch durch Anwendung höherer Ausgangstemperaturen. Die Zeit bis zum Beginn des Pressens wird zwar verkürzt,

ebenso aber auch in sehr beachtlichem Masse die Fressdator. Diese Versuche an den verschiedensten Maschinen haben also gezeigt, dass ein Zusammenhang zwischen Metallabtrag und dem Verschleiss bei Pressen tatsächlich vorhanden ist. Solange eine Schmierstoff-Werkstoffkombination unter den herrschenden Bedingungen die Bildung von Metallabtrag in genügendem Masse zulässt, solange wird ein Fressen der Gleitflächen verhindert. Diesen Vorgang kann man vielleicht wie folgt erklären. Wie bereits angedeutet, scheint der Metallabtrag in erster Linie auf chemischen Vorgängen zu beruhen. Es bildet sich unter der Einwirkung des Öls bei den durch die Reibung bedingten Temperaturen an den Gleitflächen eine Schutzschicht aus, die leicht und schnell beseitigt wird, aber ebenso schnell wieder entsteht. Solange dieser Vorgang aufrecht erhalten bleibt, wird ein Fressen der Metallflächen vermieden. Hoher Metallabtrag ist also als günstig zu bewerten; jedoch wird man auch hier eine gewisse Grenze, ein Optimum, annehmen müssen. Der Metallabtrag wird vermutlich dann in der günstigsten Höhe liegen, wenn er bei allen vorkommenden Betriebsbedingungen gerade so hoch liegt, dass ein Gleiten ohne Fressen gesichert ist.

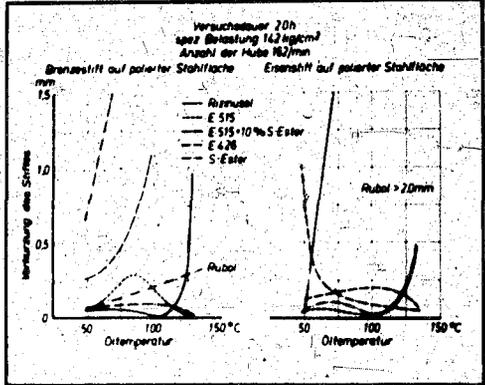
Aus diesen Versuchen geht ferner hervor, dass überall da, wo Verschleiss stattfindet, das Metall eine sehr bedeutsame Rolle spielt. Der Einfluss der Versuchsbedingungen, wie Gleitgeschwindigkeit, Flächenpressung und Temperatur an der Gleitstelle, ist zweifellos vorhanden. Der Einfluss des Werkstoffes ist jedoch mindestens ebenso bedeutsam als der der Versuchsbedingungen. Es erscheint daher nicht angängig, Versuchsergebnisse aus verschiedenen Prüfmaschinen zu vergleichen und dabei nur die Versuchsbedingungen, wie z.B. Flächendruck und Temperatur als die Faktoren anzusehen, die eine Verschiebung der Schmierstoffbewertung hervorrufen können. Eine Bewertung von Prüfmaschinen nach Flächendruck und Temperatur ist erst dann berechtigt, wenn annähernd gleiche Werkstoffe zur Anwendung kommen.

Da letzten Endes durch die Prüfmaschine das Verhalten der Schmierstoffe in der Praxis untersucht werden soll, muss auf jeden Fall die Forderung gestellt werden, zum mindesten auf dem Gebiet der Werkstoffe der zur Anwendung kommenden Prüfelemente Angleichung an die Praxis zu suchen. Es ist zweifellos falsch, z.B. die Prüfung von Getriebeölen an Elementen aus weichem Stahl oder Eisen vorzunehmen, mögen auch die sonstigen Bedingungen noch so gut mit denen der Praxis übereinstimmen.

Die Versuche haben ferner gezeigt, dass es möglich ist, die einzelnen Ergebnisse der verschiedensten Prüfmaschinen in eine gegenseitige Beziehung zu bringen. Es ist beabsichtigt, auf diesem Gebiet noch weiter zu arbeiten, da wir hoffen, dabei einen tieferen Einblick in die Vorgänge der Schmierung zu erhalten. Wenn es gelingt, von einem Prüfgerät zum anderen einen solchen Kontakt herzustellen, dass man aus den Ergebnissen von einem oder zwei Geräten die der übrigen voraussagen kann, dann wird auch der Übergang vom Versuchsgerät zur Praxis nicht mehr schwer sein.



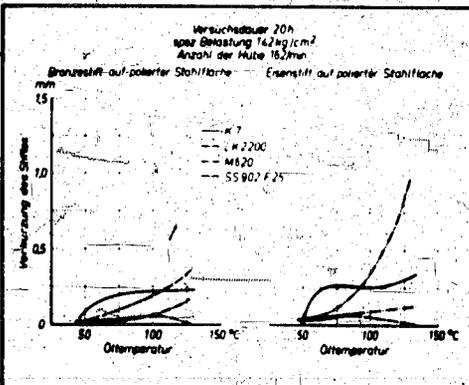
10 Laborskizze & Bl. 1007 **Verschleißmaschine** Techn. Prüfstand Oppau 1183



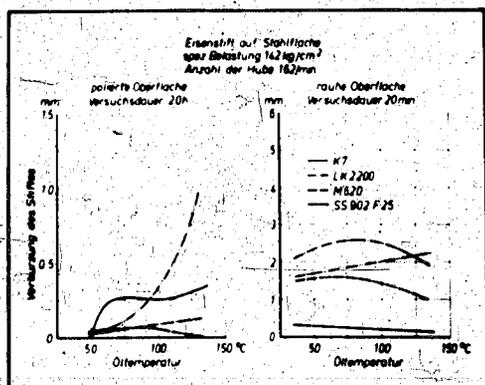
10 Laborskizze & Bl. 1007 **Verschleiß in Abhängigkeit von der Temperatur bei verschiedenen Werkstoffen** Techn. Prüfstand Oppau 1183

1

2



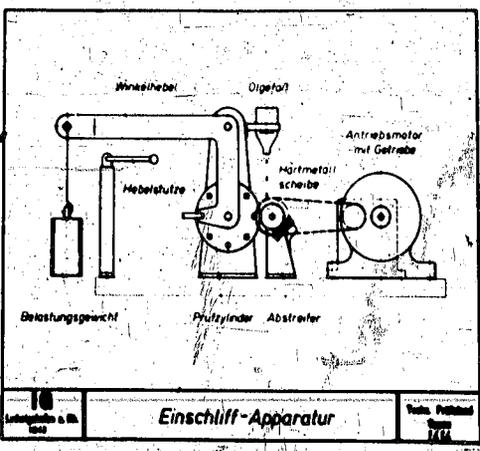
10 Laborskizze & Bl. 1007 **Verschleiß in Abhängigkeit von der Temperatur bei verschiedenen Werkstoffen** Techn. Prüfstand Oppau 1183



10 Laborskizze & Bl. 1007 **Verschleiß bei verschiedener Oberflächenrauigkeit** Techn. Prüfstand Oppau 1183

3

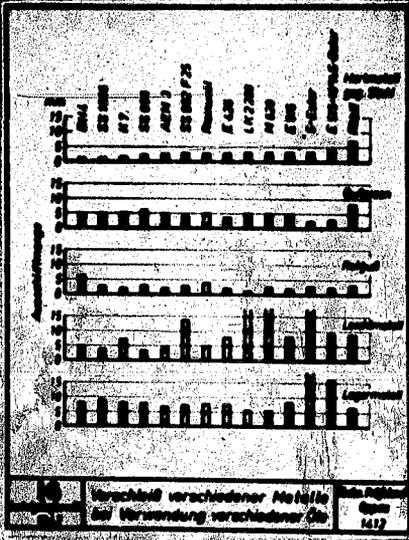
4



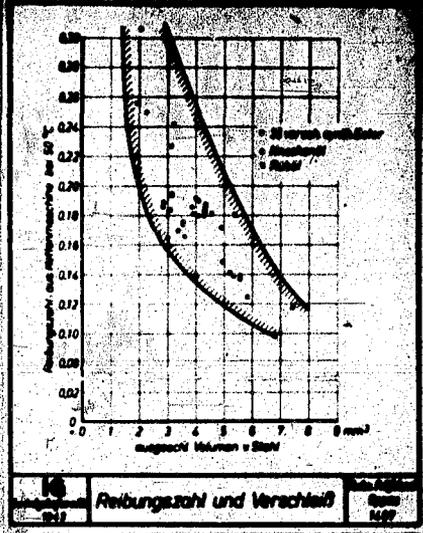
10 Laborskizze & Bl. 1007 **Einschliff-Apparatur** Techn. Prüfstand Oppau 1183

5

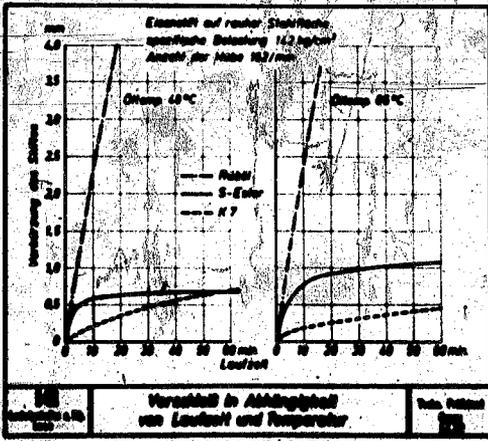
9486



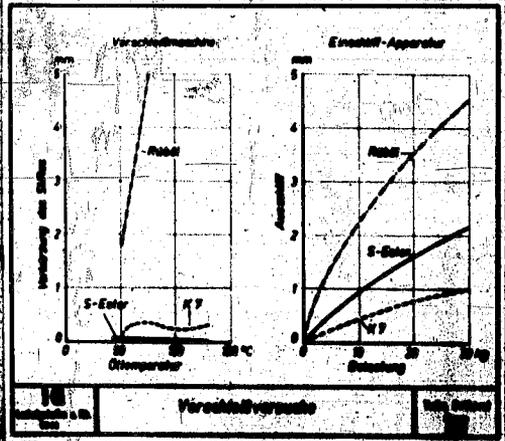
6



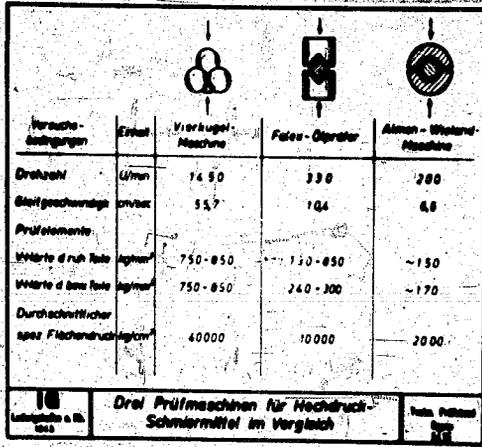
7



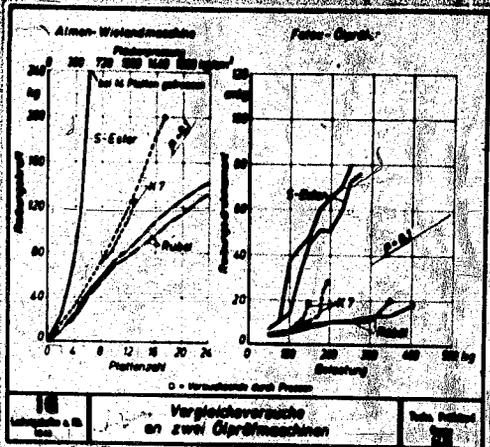
8



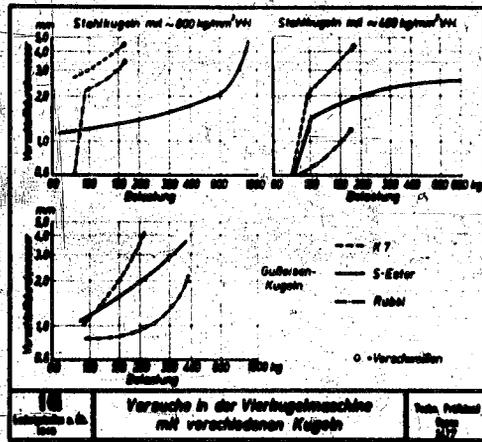
9



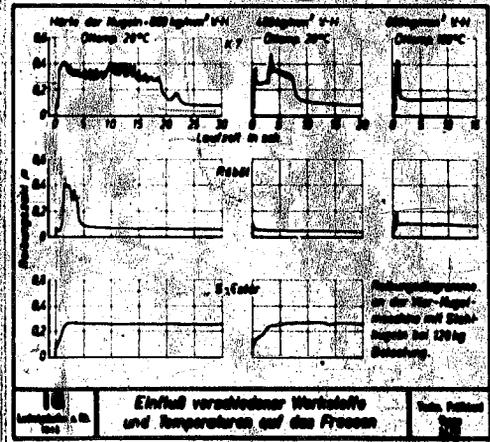
10



11



12



13

0488