

Herrn Halbes

Berichte des Technischen Prüfstandes Oppau

A 99

Bericht Nr. 574

**Beobachtungen bei Verschleiß-
und Reibungsversuchen**

9314



**I. G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT
LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**

Beobachtungen bei Verschleiß- und Reibungsversuchen.

Im Folgenden wird über Beobachtungen berichtet, die in den letzten 2 Jahren bei laufenden Betriebsversuchen gemacht worden sind. Selbstverständlich wäre es wünschenswert, systematische Versuche durchzuführen; dies war aber nicht möglich, da die Prüfgeräte für vordringliche Versuche der laufenden Produktion in Anspruch genommen waren und somit ein geordneter Versuchsplan nicht eingehalten werden konnte. Bei diesen Prüfungen konnten zuweilen Erscheinungen beobachtet werden, die vom Standpunkt der Schmiertechnik gesehen besonders interessant und daher wert sind, festgehalten zu werden. So konnten gelegentlich der Untersuchung von Schneidölen interessante Zusammenhänge zwischen Metallabtrag und Rauigkeit festgestellt werden. Ferner konnte bei der Prüfung von Motorenölen eine Beziehung zwischen Metallabtrag und "Fressen" gefunden werden. Ohne Zusammenhang damit soll noch berichtet werden über Versuche, die mit Schmierstoffzusätzen durchgeführt wurden und die eine kritische Betrachtung über die verschiedenen Geräte zulassen.

Bei der Entwicklung eines Schneidöls für Leichtmetalle wurden mit verschiedenen Schmierstoffen Versuche in der Einschliffapparatur durchgeführt. Bild 1 (1414) (s. auch Bericht Nr. 548). Ein Versuchslauf dauerte dabei 10 Minuten bei 16 kg Belastung und wurde 2 mal wiederholt. Verwendet wurden wie üblich Scheiben aus Hartmetall und als Gegenwerkstoff Leichtmetall "Mahle 124", vergütet. Dabei kam zunächst eine Scheibe mit geringer Oberflächenrauigkeit zur Anwendung; sie lieferte Ergebnisse nach Bild 2 (links) (1426). Die Unterschiede im Metallabtrag der 4 hier geprüften Öle sind mässig. Ersetzt man diese Scheibe durch eine solche mit erhöhter Rauigkeit aber mit sonst gleichen Abmessungen und gleichem Werkstoff, so erhält man eine Zunahme des Abriebes. Das Verhältnis der Zunahme ist jedoch nicht gleich, sondern von Schmierstoff zu Schmierstoff stark verschieden. Z.B. steigt bei Öl 4 der Abrieb durch die Erhöhung der Rauigkeit um rund das 7-fache an, und es wandert dadurch vom 2. auf den letzten Platz. Öl 9 mit annähernd derselben Zähigkeit vergrößert den Abrieb nur um etwas das $2\frac{1}{2}$ fache und gelangt vom 4. auf den 3. Platz. Beim KW-Öl, Rotring D, nimmt der Abrieb durch die Veränderung der Rauigkeit nur sehr wenig zu, ebenso bei Öl 3. Man erkennt aus diesen Versuchen, dass durch erhöhte Rauigkeit der Einfluss des Schmierstoffes nicht zurücktritt und, wie man annehmen könnte, einer Feilenwirkung Platz macht, sondern, dass im Gegenteil der Schmierstoff ganz besonders wirksam wird.

Die Zähigkeit ist dabei ohne Einfluss. Ob die durch verschiedene Rauigkeit sich verschieden einstellenden Temperaturen für die starke Verschiebung der Ergebnisse verantwortlich zu machen ist, muss noch geprüft werden. Fest steht jedenfalls, dass mit solchen Messungen über die Wechselwirkung zwischen Metall und Schmierstoff ein sehr deutlicher Aufschluss mit grossem Auflösungsvermögen zu erhalten ist, von dem man annehmen kann, dass auch gewisse Beziehungen zum praktischen Schmiervorgang und nicht nur zum Schneidvorgang vorhanden sind. ⁺⁾

Die Vermutung, dass der Abrieb bei Temperaturen erfolgt, die weit über denen des normalen Schmiervorganges liegen, wird nicht für wahrscheinlich gehalten; derartige Temperaturen müssten beim Versuch leicht zu beobachten sein. Tatsächlich kann weder an der Prüfscheibe noch am Verschleißkörper eine fühlbare Temperatur festgestellt werden, im Gegensatz zu anderen Geräten, z.B. der 4-Kugelmachine, oder Wielandmaschine. ⁺⁾ Versuche, die die auftretenden Temperaturen zu schätzen erlauben, sind in Vorbereitung.

Ähnliche Versuche mit ebenfalls aufgerauten harten Reibflächen führen wir an unserer Verschleißmaschine durch (Bild 3, 1103) (s.Bericht Nr. 548). Es liegen annähernd die gleichen Verhältnisse vor wie bei der Einschliffmaschine, es handelt sich also auch um Metallabtrag. Über die Beziehung zur Praxis gilt also dasselbe, was bereits oben ausgeführt wurde. Immerhin lassen gewisse Zusammenhänge der Versuche aus diesem Gerät und der Almen-Wielandmaschine erkennen, dass dem so gemessenen Metallabtrag bei der schmiertechnischen Beurteilung eines Öles doch eine gewisse Bedeutung zukommt.

Wie bereits im Bericht Nr. 548 an Hand von 3 Ölen gezeigt wurde, steht das Fressen von geschmierten Metallflächen in Beziehung mit dem Metallabtrag und zwar in der Weise, dass erhöhter Metallabtrag auf hohe Freßbelastung schliessen lässt. Um diese Beobachtung noch zu erhärten, wurden die Ergebnisse aus der Almen-Wielandmaschine und aus der Verschleißmaschine für eine ganze Reihe der verschiedensten Schmierstoffe in Vergleich gesetzt. Dies führt zu der Darstellung auf Bild 4. (1424) Jeder Punkt stellt für sich ein Schmierstoff dar; seine Ordinate gibt an, wie gross der Metallabtrag eines Eisenstiftes in der Verschleißmaschine bei 100°C und bei Verwendung harter aufgerauter Gleitflächen ist; die Abszisse lässt die

⁺⁾ Diese Beobachtungen stehen somit im Gegensatz zu den Ausführungen von Prof. Heidebrock.

Belastung erkennen, bei der in der Almen-Wielandmaschine Fressen eintritt. Man erkennt, dass im grossen ganzen eine Beziehung zwischen Fressbelastung und Metallabtrag vorhanden ist. Führt man zwischen Kohlenwasserstoffölen einerseits und allen übrigen Schmierstoffen eine Trennung durch, so zeigt sich, dass sich die geprüften Ester und Polyäther in einem eigenen Bereich absondern. Bei diesen Schmierstoffen ist der erwähnte Zusammenhang besonders deutlich erkennbar. Wie man sieht, ist die Fressbelastung um so höher, je grösser der Metallabtrag ist. Die KW-Öle liegen sowohl mit der Fressbelastung als auch besonders mit dem Metallabtrag sehr niedrig. Zusätze von Säuren oder Estern ergeben schon bei kleiner Menge eine stärkere Verschiebung im Prüfergebnis und verändern den Schmierstoff zu seinen Gunsten. Auf diese Weise ist es möglich mit einem KW-Öl dieselbe hohe Fressbelastung zu erzielen wie mit einem Ester, jedoch bei kleinerem Metallabtrag. Diese Erscheinung kann bei der Auswahl von Schmierstoffen von Bedeutung sein. Man wird stets den Schmierstoff bevorzugen, der mit kleinem Metallabtrag grosse Wirkung hinsichtlich Fressen hervorbringt. Die geprüften KW-Öle sind grösstenteils Handelsprodukte, die nicht völlig rein sind, sondern stets Spuren von Estern oder Säuren enthalten. Es erscheint wahrscheinlich, dass die mit dem KW-Öl erzielten Ergebnisse weniger auf Eigenschaften des reinen KW als vielmehr auf die darin enthaltenen grenzflächenaktiven Substanzen zurückzuführen sind. Man mag vielleicht die Ermittlung einer Fressbelastung nach Art der Almen-Wielandmaschine als eine sehr rohe Prüfmethode bezeichnen. Fast steht aber wohl, dass auch die Praxis einen Schmierstoff im wesentlichen nach dem Auftreten bzw. Nichtauftreten von Fresserscheinungen bewertet. Ein Öl wie z.B. Rizinusöl verdankt seinen Ruf als ausgezeichnete Schmierstoff doch vor allem der Tatsache, dass es auch unter schwierigen Verhältnissen zu keinen Fresserscheinungen führt. Geringe Reibungszahlen oder hoher Metallabtrag werden in der Regel vom Praktiker nicht beobachtet. Der hier festgestellte Zusammenhang zwischen Metallabtrag und Fressen, lässt sich vielleicht folgendermassen erklären. Fressen an Metallflächen setzt voraus, dass an der Oberfläche der Gleitflächen hohe Temperaturen entstehen. Solange jedoch der Schmierstoff eine genügende Metallabtragung ermöglicht, können an der Oberfläche der Schmierstellen sich keine übermässigen Temperaturen ausbilden. Bevor ein Metallteilchen durch die Reibungswärme auf hohe Temperatur kommt, ist es auch schon wieder entfernt. Fressen wird also dann eintreten, wenn die Metallabtragung mit der zunehmenden Erwärmung nicht Schritt halten kann.

Diese Versuche lassen also erkennen, dass man sowohl mit der Almen-Wielandmaschine als auch mit der Verschleißmaschine zu Ergebnissen kommt, die interessante Erkenntnisse vermitteln. Sie liefern den Beweis dafür, dass die Messung

der Metallabtragung nicht bloss eine Bewertung ist, die für Schneidöle von Bedeutung ist, sondern dass interessante Zusammenhänge mit anderen Bewertungsgrößen vorhanden sind, die auch in der Praxis Bedeutung besitzen.

Wir haben uns weiterhin mit Versuchen befasst, die die Vermittlung eines Zusatzmittels - hergestellt von der I.G. Werk Leverkusen - für Flugmotorenöle zum Ziel hat. Durch diesen Zusatzstoff soll vor allem ein besseres Einlaufen der Flugmotorenlager erreicht werden.

Bei diesen Versuchen, die gemeinsam mit anderen Stellen durchgeführt wurden, stellten sich 2 Produkte als besonders brauchbar heraus. Es handelte sich um Phosphorverbindungen mit der Bezeichnung I.G. 891 und I.G. 1586/80, letzteres in verschiedenen Abwandlungen. Die praktischen Ergebnisse damit seien gleich vorweg genommen. Da sich gezeigt hat, dass die Wirkung beider Produkte praktisch gleich ist, werden die Ergebnisse an Motor zusammengefasst.

Es wurden von der Firma Daimler-Benz A.G. 61 Motoren vom Typ DB 605 mit Rotring D ohne Zusatz und 65 Motoren mit Rotring D mit Zusatz (1586/80 oder 891) eingefahren. Nach beendigem Einlauf wurde der Zustand der Lager aufgenommen und nach Punkten bewertet. Die Bewertung wurde dabei nach dem Vorhandensein von harten Druckstellen, Tragspuren, Riefen usw. vorgenommen. Für jeden der 126 Motoren wurden aus den einzelnen Lagerbewertungen eine mittlere Punktzahl für den ganzen Motor, jedoch getrennt nach Grund- und Hublager, errechnet. Die Ergebnisse daraus zeigt ein Bild 5 (links) (2427). Man erkennt, dass durch den Zusatz die Punktbewertung im Durchschnitt merklich auf die "Gut"-seite verschoben wird. Dies trifft besonders zu bei den Grundlagern, etwas weniger deutlich bei den Hublagern. Die Zahl der Lagerfresser beträgt ohne Zusatz 14, mit Zusatz null. Eine günstige Wirkung der Zusätze ist also nicht zu verkennen. Diese Ergebnisse stützen sich also auf ein sehr reichhaltiges Versuchsmaterial und sind daher besonders wertvoll.

Für die Beurteilung der verschiedenen Prüfgeräte sind solche Versuchsergebnisse von grösster Wichtigkeit. Es wird daher im Folgenden nicht vom Prüfgerät auf die Praxis geschlossen, sondern der umgekehrte Weg beschritten. Man gelangt auf diese Weise zu einer kritischen Beurteilung der Prüfgeräte. Ausser den bereits genannten Zusatzstoffen wird dabei ein weiteres Produkt herangezogen unter der Bezeichnung M 1. Praktische Versuche liegen damit leider noch nicht vor.

Bei der Prüfung dieser Stoffe in der Einschliffapparatur wurde eine raue Hartmetallscheibe verwendet und als Gegenwerkstoff Kupfer bzw. Aeterna VL 22. Es zeigt sich dabei der erwartete Effekt, nämlich, dass die Metallabtragung bei Zusatz grösser ist als ohne (Bild 5, 1427 rechts). Dies gilt sowohl für Kupfer als auch für Aeterna. Allerdings ist die Vergrößerung des Ausschliffvolumens durch die Zusätze noch sehr gering. Es ist anzunehmen, dass die Metallabtragung noch bei zu niedriger Temperatur vor sich geht und dass eine Temperaturerhöhung die Unterschiede stärker zur Geltung bringt. Versuche in dieser Richtung sind noch in Vorbereitung.

Bei der Prüfung in der Almen-Wielandmaschine wurden Stahlwellen und Lager aus Aeterna VL 22 verwendet. Die Versuche begannen dabei nach Prüfvorschrift bei Raumtemperatur. Eine Wirkung des Zusatzes war sowohl im Reibungsverlauf als auch im Aussehen der Prüflager kaum feststellbar. Erst nachdem die Öl- und Lagertemperatur bei Versuchsbeginn auf 100°C heraufgesetzt wurde, zeigten sich deutliche Unterschiede (Bild 6, 1428). Ohne Zusatz stieg ab einer Plattenzahl von 20 die Reibungskraft sehr rasch an, während mit Zusatz die Kurven bis an die Belastungsgrenze der Maschine ihren normalen Verlauf nahmen. Zwischen den einzelnen Zusätzen zeigten sich Unterschiede in den Reibungszahlen, wobei 1586/80 durch niedrige Reibungszahlen auffällt. Wichtiger ist jedoch das Aussehen der Prüfelemente. Mit Rotring D ohne Zusatz zeigte Welle und Lager starke Riefen, sie sind die Ursache des raschen Anstieges der Reibungszahl. Mit Zusatz sind Lager und Welle noch einwandfrei glatt (Bild 7, 1430). Man erhält also mit dieser durch hohe Temperatur verschärften Methode Ergebnisse, die der Praxis sehr nahe kommen. Die Almen-Wielandmaschine erscheint somit als ein durchaus brauchbares Prüfgerät; es ist nur notwendig, die Versuchsbedingungen dem jeweiligen Fall entsprechend anzupassen. Im vorliegenden Fall wäre eine Möglichkeit, die Belastung noch weiter steigern zu können, wünschenswert. Es wäre auf diese Weise vielleicht auch eine bessere Unterscheidung der Schmierstoffzusätze untereinander zu erreichen.

Da aus den bisherigen Versuchen zu entnehmen war, dass die Zusätze ihre Wirkung erst bei hoher Temperatur zu erkennen geben, wurden die Versuche in einem Gerät fortgesetzt, dessen Versuchsbedingungen auf besonders hohe Temperaturen an den Gleitflächen schliessen lässt. Die hierfür verwendeten Prüfelemente besitzen Ähnlichkeit mit denen der Siebel-Kehlmaschine. Eine ebene Ringfläche aus gehärtetem Stahl ist durch Ausfräsung in 3 Einzelflächen aufgeteilt. Sie läuft in Öl auf einer ebenen Scheibe aus Kupfer. Die Prüfelemente wurden in die Vierkugelmachine eingebaut. Die Belastung beginnt bei 0 und wird langsam und stetig

durch Zulauf von Wasser in einen Behälter gesteigert. Das Reibungsdrehmoment wird mit einem Indikator auf einer Schreibtrommel aufgezeichnet. Vor Versuchsbeginn werden Prüföl und Prüfelemente auf 80°C erwärmt. Als Versuchsende wurde das rasche Ansteigen der Reibungszahl, das auf beginnendes Pressen schließen lässt, bewertet.

Mit dieser Anordnung wurden Ergebnisse nach Bild 6 (1428), unten erzielt. Etwa bei einer Belastung von 100 kg liegen die Verhältnisse vor, wie sie sich in der Alben-Wielandmaschine bei Versuchsende zeigen. Das zusatzfreie Rotring D beginnt in bei-^{den} Geräten zu versagen, während die Zusätze selbst kaum eine Unterscheidung zulassen. Erst nach weiterer Steigerung der Belastung im Scheiben-Reibungsprüfgerät scheidet Rotring D + 1,2 % M 1 aus. Mit den beiden anderen Zusätzen tritt erst bei rund der doppelten Belastung Versagen ein. Somit ist auch in diesen Gerät in besonders deutlicher Weise der Zusammenhang mit der Praxis hergestellt. Wie weit diese Übereinstimmung auch für den Zusatz M 1 gilt, muss sich erst noch nach Durchführung der Motorenversuche zeigen.

In Anschluss an diese Versuche ist eine allgemeine Betrachtung über den Einlaufvorgang an Lagern über das Verhältnis zu den Versuchsgeräten an Platze. Beim Einlauf neuer Maschinen sind die Bedingungen an den Gleitstellen besonders kritisch, da die aufeinanderlaufenden Teilen noch nicht einander angepasst sind. Es sind einzelne tragende Stellen vorhanden, die solange die Hauptlast übernehmen müssen, bis ein Ausgleich auf allen Teilen des Lagers erfolgt ist. Man kann sich nun vorstellen, dass ein nicht eingelaufenes Lager zum weitaus grössten Teil unter den Bedingungen der hydrodynamischen Schmierung läuft, dass aber einzelne Druckstellen durch den flüssigen Schmierfilm durchgreifen, so dass stellenweise Grenzschmierungsbedingungen herrschen. Diese Stellen sind aber verhältnismässig hohem Druck und hoher Gleitgeschwindigkeit ausgesetzt, beides Faktoren, die letzten Endes zu hohen Temperaturen an den Rauigkeitsspitzen der Oberfläche führen. Beim Bau von Prüfgeräten geht man häufig den umgekehrten Weg. Durch Wahl von kleinen und kleinsten Gleitgeschwindigkeiten hat man die Möglichkeit auch mit der Belastung weit herunterzugehen ohne das Gebiet der Grenzreibung zu verlassen. Durch kleinste Gleitgeschwindigkeit und geringe Belastung können aber niemals Temperaturen entstehen wie sie in der Praxis vorliegen. Da die Wirksamkeit eines Schmierstoffes sehr stark von der Temperatur abhängig sein kann, ist eine Angleichung an die Temperaturen der Praxis unbedingt erforderlich. Eine Erwärmung der Prüfelemente und des Schmierstoffes in seiner Gesamtheit ist nur bis zu einem gewissen Grad

möglich, da eine Veränderung des Schmierstoffes bei höheren Temperaturen zu befürchten ist. Die beste Methode zur Erzeugung hoher Spitztemperaturen an der Gleitfläche ist also die Wahl entsprechend hoher Geschwindigkeiten und hoher Drücke. Die grösste Schwierigkeit die die Praxis mit Lagern, besonders Motorenlagern, zu bewältigen hat, liegen auf dem Gebiet des Einlaufs und nicht des Betriebes; es ist daher erforderlich, sich mit diesen Verhältnissen näher zu befassen und die Prüfeinrichtungen entsprechend darauf abzustimmen.

Nachdem sich die so gefundenen Schmierstoffzusätze beim Einlauf der Lager gut bewährt haben, war noch zu prüfen, ob diese Stoffe hinsichtlich Ringsteckverhalten keine nachteilige Wirkung besitzen. Es wurden daher eine Reihe von Ringsteckläufen durchgeführt, die nur mit M 1 eine Verkürzung der Laufzeit brachten. Bei diesen Versuchen wurde gleichzeitig der Kolbenringverschleiss gemessen, was zu dem überraschenden Ergebnis führte, dass die Zusätze 891 und 1586/80 den Verschleiss auffallend stark herabsetzten. Bild 8 (1429) zeigt den Verschleiss der Kolbenringe, bezogen auf die Laufzeit und die Leistung, die in allen Fällen 57 PS betrug. Die Versuche wurden mit verschiedenen Zylindern und stets neuen Kolbenringen durchgeführt. Trotz der erheblichen Streuung ist die Wirkung der Zusätze einwandfrei zu beobachten. Es wurden nun wiederum Versuche durchgeführt, die zum Ziel hatten festzustellen, wie weit die Prüfgeräte imstande sind, diese Wirkung bezüglich des Verschleisses wiederzugeben.

Bei Verschleissversuchen muss man sich stets darüber im Klaren sein, ob man es mit Metallabtragung oder mit Fressverschleiss zu tun hat. Vermutlich gibt es zwischen diesen beiden Verschleissarten ein Übergangsgebiet, in dem eine Trennung schwierig ist. Nach der bisherigen Erfahrung erhält man Metallabtragung gewissermassen in Reinkultur, wenn grosse Härteunterschiede vorhanden sind und der härtere Teil erhöhte Rauigkeit besitzt. Im Gegensatz hierzu tritt Verschleiss unter Fresserscheinungen vor allem dann auf, wenn gleiche oder ähnliche Werkstoffe aufeinander gleiten. Wie oben gezeigt wurde, ist die Neigung zum Fressen umso geringer, je grösser die Metallabtragung ist. Da der Fressverschleiss die wesentlich unangenehmere Form des Verschleisses darstellt, muss man in einem Prüfgerät hohen Verschleiss bei Fressen als ungünstig und hohen Metallabtrag im allgemeinen als günstig bewerten. Von einer "Verschleissfestigkeit" eines Schmierstoffes kann man also nicht sprechen, ohne anzugeben welche Art des Verschleisses gemeint ist.+))

+) Von Verschleissfestigkeit eines Öles zu sprechen dürfte sprachlich nicht angehängig sein, da ein solcher Ausdruck die Eigenschaften des Stoffes an sich angibt, hier aber der Verschleiss am Werkstoff gemeint ist.

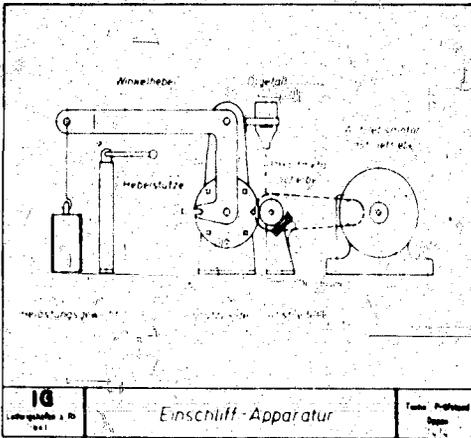
Im Motor läuft Gußeisen auf ungehärtetem Stahl; es liegt eine Werkstoffpaarung vor, bei der ein Verschleiß vorwiegend unter Erscheinungen des Fressens vor sich gehen wird. Prüft man nun die Schmierstoffe unter Bedingungen des Metallabtrages etwa in der Einschliffapparatur, so erwartet man für Rotring D mit den Zusätzen 1586/80 und 891 eine Erhöhung des Metallabtrages, gegenüber zusatzfreiem Rotring D. Man kann aber weder auf K₉kolbenringgußeisen noch auf Stahl eine Wirkung der Zusätze feststellen. Offenbar ist hier der Temperaturunterschied zwischen Praxis und Prüfgerät noch viel grösser als wie im Falle der Lagerversuche. Man muss auch hier annehmen, dass eine Erhöhung der Temperatur in der Einschliffmaschine sich das erwartete Ergebnis einstellt. Einen positiven Effekt d.h. einen grösseren Metallabtrag werden durch die Zusätze in der Verschleißmaschine, wo ein Stift weichen Eisens gegen gehärteten aufgerauten Stahl läuft, erzielt. (Bild 9, 1425, oben).

Versuche in der Wielandmaschine mit Originallagern (Stahl auf Stahl) ergaben mit reinem Rotring D schon bei 8 Platten Fressen, mit den Zusätzen liegt die Fressbelastung jenseits der Belastbarkeit der Maschine (> 25 Pl.). Die Übereinstimmung zwischen Metallabtrag in der Verschleißmaschine und der Fressbelastung an der Almen-Wielandmaschine ist also auch hier feststellbar. Beide Geräte stimmen also wohl unter sich, aber nicht völlig mit dem praktischen Kolbenringverschleiß, überein. Sie bewerten M1 zu günstig. Offenbar sind auch hier die Bedingungen gegenüber den Verhältnissen im Motor noch zu milde.

Die Temperaturen, die zwischen Kolbenring und Zylinder herrschen, liegen verhältnismässig hoch, schätzungsweise zwischen 300 und 350°C. Man wird also mit einem Gerät, das bei hoher Temperatur Pressverschleiß misst, der Praxis am nächsten kommen. Ein solches Gerät ist die Vierkugelmachine bei Verwendung von weichen Stahlkugeln oder Gußeisenkugeln. Die sehr hohen Drücke und die verhältnismässig hohen Gleitgeschwindigkeiten erzeugen die entsprechend hohe Temperatur. So gelingt es mit ungehärteten Stahlkugeln Verschleißwerte zu erhalten, die in derselben Richtung liegen wie der Kolbenringverschleiß und fast zur selben Bewertung der Schmierstoffe führen wie der Motorversuch (Bild 9, 1425, unten) Noch besser - man kann sagen vollkommen - ist die Übereinstimmung bei Verwendung von Gußeisenkugeln.

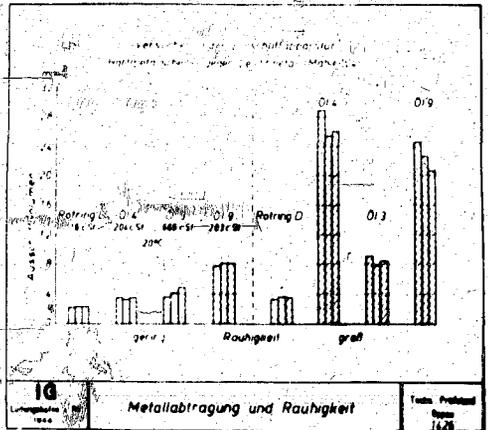
Man kann also feststellen, dass die besonders scharfen Bedingungen der Vierkugelmachine den Ergebnissen der Praxis am ehesten gerecht werden. Daraus ist zu entnehmen, dass der praktische Betrieb unter Verhältnissen arbeitet, die sowohl Werkstoff als auch Schmierstoff stark beanspruchen. Dies gilt nicht nur für den

Kolbenringverschleiß, sondern, wie gezeigt wurde, auch für den Betrieb u. besonders für den Einlauf von Lagern. Die Bedingungen der Praxis liegen besonders im Hinblick auf die Temperatur höher als wie im allgemeinen angenommen wird. Wir sehen daher gerade in den hier erwähnten Geräten die Möglichkeit der Praxis nahe zu kommen. Selbstverständlich ist es dabei notwendig die Prüfbedingungen von Fall zu Fall einer Abänderung zu unterziehen. Untersuchungen, die sich nur im Gebiet verschleißloser Schmierung und niedriger Oberflächentemperaturen bewegen, gehen nach unserer Meinung an dem Kern der Sache vorbei, weil die Praxis im allgemeinen einen Schmierstoff immer nur nach Verschleiß und sonstigen Veränderungen an der Oberfläche der gleitenden Maschinenteile beurteilt.



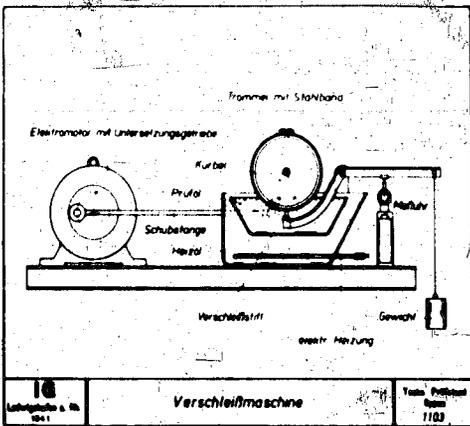
IG Lehrsache 1 B 1041
Einschleif-Apparatur
Techn. Prüfstand Oppau 1120

Bild 1



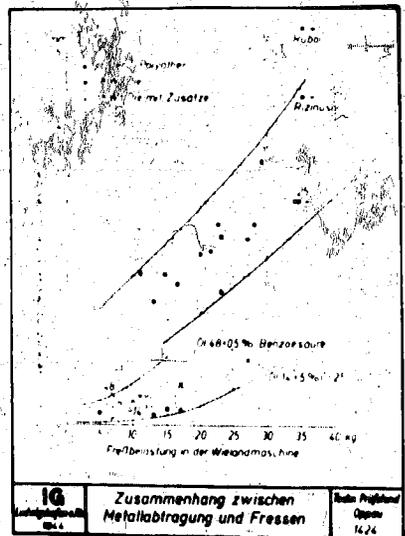
IG Lehrsache 1 B 1041
Metallabtragung und Rauigkeit
Techn. Prüfstand Oppau 1120

Bild 2



IG Lehrsache 1 B 1041
Verschleißmaschine
Techn. Prüfstand Oppau 1103

Bild 3



IG Lehrsache 1 B 1041
Zusammenhang zwischen Metallabtragung und Fressen
Techn. Prüfstand Oppau 1124

Bild 4

9325

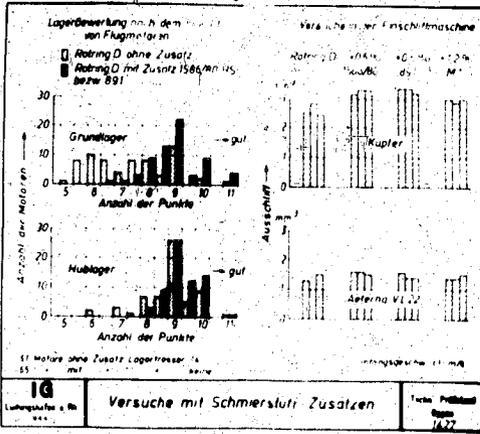


Bild 5

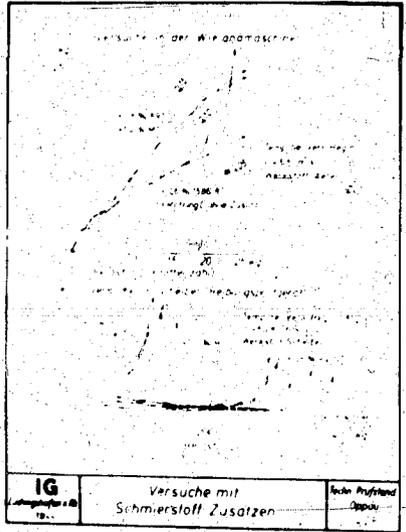


Bild 6

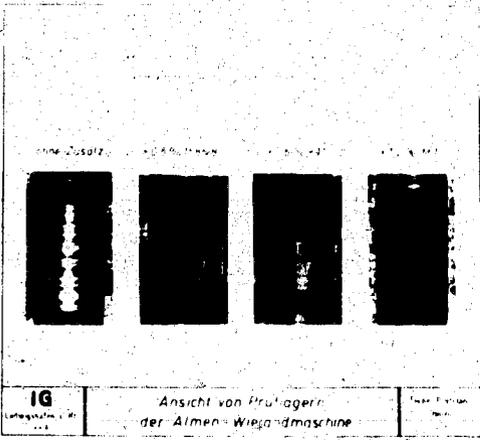


Bild 7

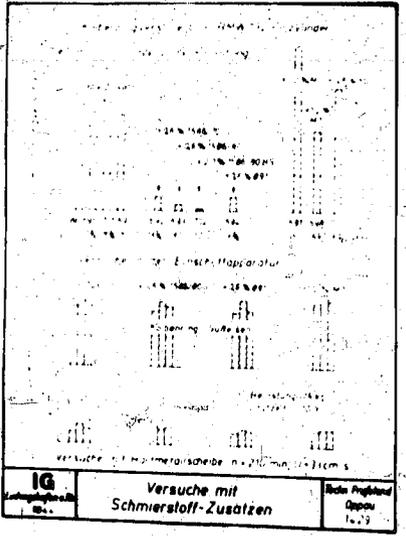


Bild 8

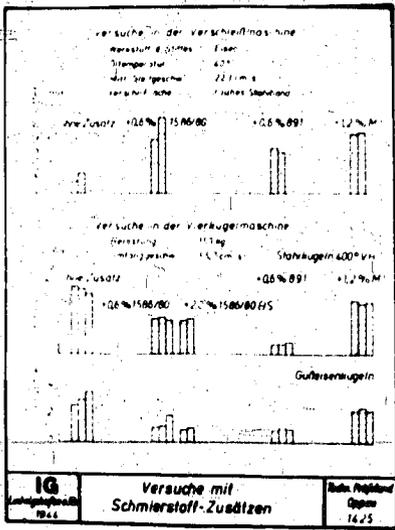


Bild 9

9326