

Moggen

Berichte des Technischen Prüfstandes Oppau

A 75

Bericht Nr. 542

**Ein Gerät zur Bestimmung
der Metallabtragung bei Schmierung**

9007



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

Ein Gerät zur Bestimmung der Metallabtragung

bei Schmierung.

Zweck der Versuche:

Die Verschleissversuche nach Bericht Nr. 478 und Nr. 518 haben gezeigt, dass die Ergebnisse ausser vom Schmierstoff von einer grossen Zahl von Einflüssen abhängig sind und dass das Problem des Metallabtriebes bei Schmierung noch weiterer Klärung bedarf. Aus der Erkenntnis heraus, dass derartige komplexe Erscheinungen durch Untersuchungen an einem, nur ein beschränktes Teilgebiet umfassendes Gerät nicht erforscht werden können, entstand als Ergänzung der bereits vorhandenen Verschleissmaschine ein Gerät, das im Folgenden beschrieben wird.

Versuchsordnung:

Das Gerät arbeitet nach Art der Skoda Sawinmaschine.^{*)} (s. Bild 1) Eine Scheibe mit 29,6 mm Durchmesser und einer Breite von 2 mm wird durch einen Motor über ein Zahnradgetriebe mit veränderlicher Übersetzung in Drehung versetzt. Die Scheibe besteht aus Hartmetall "Titanit G 1" und wurde von den Deutschen Edelstahlwerke A. G., Frankfurt a. M., hergestellt. Gegen diese Scheibe wird ein Prüfsylinder mit einem Durchmesser von 106 mm gepresst, der aus verschiedenem Material hergestellt werden kann. Die Belastung erfolgt über einen Winkelhebel, der 1 : 3 übersetzt ist. Prüfsylinder, Winkelhebel mit Belastungsgewicht können in axialer Richtung mittels einer Spindel verschoben werden. Auf diese Weise können die bei der Untersuchung entstehenden Einschliffe nebeneinander angeordnet werden, so dass für jeden Versuch eine neue Prüfzelle am Zylinder zur Verfügung steht. Der Zylinder kann ausserdem jeweils um 1/32 des Umfangs gedreht werden, so dass auf einem Prüfsylinder im ganzen 32 x 14 = 448 Einschliffe unterge-

bracht werden können. Über der Hartmetallscheibe ist ein Ölbehälter angeordnet, aus dem der zu prüfende Schmierstoff auf die Schmierstelle tropft. Ein durch Federkraft gegen die Scheibe gedrücktes Filzpolster sorgt für die Beseitigung des Abriebes.

Versuchsdurchführung:

Bei den Versuchen kamen 3 verschiedene Drehzahlen zur Anwendung, nämlich 70, 210 und 560 U/min; diese entsprechen den Gleitgeschwindigkeiten am Umfang der Scheibe von 10,8, 32,5 und 86,7 cm/sek. Als Belastungsgewicht Q wurden 1 bis 8 kg angewandt. Da der Winkelhebel selbst an der Hartmetallscheibe einen Druck von 1 kg ausübt, beträgt die tatsächliche Prüfbelastung $P = (3 \cdot Q + 1)$ kg. Die Scheibe wurde in unbelastetem Zustand in Gang gesetzt, dann der Ölzulauf auf 8 bis 10 Tropfen in der Minute eingestellt und die Scheibe hierauf belastet. Nach Ablauf der Versuchszeit, die in den meisten Fällen auf 10 Minuten festgesetzt wurde, wurde die Prüfscheibe vor dem Stillsetzen entlastet. Nach Reinigen und Trocknen des Abstreifpolsters wurde eine neue Fläche eingestellt und der nächste Versuch begonnen. Nach beendeter Versuchsreihe wurde der Prüfsylinder ausgebaut und die Länge der Einschliffe mit Hilfe eines Messmikroskopes gemessen. Aus der Länge der Einschliffe wurde rechnerisch das ausgeschliffene Volumen ermittelt. Dabei wurde rechteckiger Querschnitt der Prüfscheibe angenommen. Die Tatsache, dass die Kanten der Scheibe mit 0,5 mm Radius gebrochen sind, wurde also vernachlässigt. Es ergibt sich dann ein Zusammenhang zwischen der gemessenen Sehnenlänge und dem ausgeschliffenen Volumen, wie er in Bild 2 veranschaulicht ist. Unter der gleichen Vernachlässigung wurde auch der spezifische Flächendruck errechnet und für verschiedene Belastungen in Bild 3 dargestellt. Man erkennt daraus, dass der anfänglich hohe Flächendruck sehr schnell auf eine praktisch vorkommende Grössenordnung absinkt.

Versuchsergebnisse:

Bild 4 und 5 zeigen den Verlauf des Abriebes in Abhängigkeit von der Belastung für verschiedene Versuchsdauer. Das Ausschiffvolumen nimmt, wie erwartet, mit zunehmender Belastung zu, wobei leicht gekrümmte S-Kurven entstehen, die anscheinend bei sehr hohen Belastungen einem gewissen Grenzwert zustreben. Das zähflüssige Kohlenwasserstofföl H 140 zeigt gegenüber dem dünnflüssigen H 16 besonders im Gebiet der niederen Drücke geringeren Abrieb. Man kann daraus schliessen, dass in diesem Bereich der Zähigkeitseinfluss noch merklich ist. Bei höherer Belastung wird der Unterschied geringer; eine Extrapolation der Kurven lässt sogar eine Umkehrung der Ergebnisse vermuten. In Bild 6 fällt der starke Verschleiss, der bei Verwendung von Knochenöl auftritt, besonders auf. Wie in der Verschleissmaschine nach dem Bericht Nr. 478 und Nr. 518 ergeben also auch hier Schmierstoffe, die besonders grenzflächen-aktiv sind, hohen Abrieb. Eine Verringerung der Drehzahl von 560 auf 210 U/min (Bild 7) ändert das Gesamtbild nur hinsichtlich der Höhe des Ausschiffes, der etwa im Verhältnis der Drehzahlen kleiner wird. Diese Tatsache ist durchaus nicht selbstverständlich, sie bedarf daher einer näheren Untersuchung.

Es wurde mit H 16, H 140 und Knochenöl Versuche bei verschiedenen Drehzahlen und verschiedener Versuchsdauer durchgeführt und das Abriebvolumen über der Gesamtzahl der pro Versuch zurückgelegten Umdrehungen aufgetragen. Man erhält Ergebnisse nach Bild 8, 9 und 10. Bei H 16 fallen die Kurven verschiedener Drehzahl fast zusammen, d.h. die Höhe des Abriebes richtet sich nur nach dem zurückgelegten Weg und ist von der Geschwindigkeit, mit der diese Strecke durchlaufen wird, fast unabhängig. Bei H 140 verursacht hohe Drehzahl eine Zunahme des Abriebes, dieselbe Tendenz kann man auch bei Knochenöl beobachten. Diese Tatsache ist vermutlich auf die höhere Temperatur, die sich bei der höheren Geschwindigkeit an der Schmierstelle einstellt, zurückzuführen. Dies ist ein Beispiel dafür, dass man aus der Umfanggeschwindigkeit und der Belastung allein noch keinen Schluss über den herrschen-

den Schmierzustand ziehen kann. In einem normalen Lager erwartet man bei 86,7 cm/sek Umfangsgeschwindigkeit und bei den hier vorkommenden Belastungen flüssige Reibung, also keinen Verschleiss. Erst bei geringeren Drehzahlen tritt Grenzreibung verbunden mit Verschleiss auf. In diesem Fall hier kann jedoch von flüssiger Reibung gar keine Rede sein. Man ist vielleicht geneigt, diese Erscheinung folgendermassen zu erklären. Bei Versuchsbeginn ist der Druck an der Schmierstelle sehr hoch, es tritt daher Grenzreibung auf und damit auch Verschleiss. Mit zunehmender Laufzeit verkleinert sich zwar der spezifische Flächendruck, die erwartete Vollschiemung tritt jedoch nicht ein, da der an der Prüfscheibe haftende Metallabrieb, der nie ganz beseitigt werden kann, durch Schmiergelwirkung den Fortgang des Verschleisses unterstützt. Dass diese Annahme unrichtig ist beweist folgender Versuch. Ein Lauf mit Wehrmächteinheitsöl wurde nach 10 Minuten unterbrochen, die Länge des Einschliffs gemessen (6,9 mm) und alle Teile sorgfältig von anhaftendem Metallabrieb befreit. Hierauf wurde die Belastung erniedrigt, sodass eine spezifische Flächenpressung von nur 13 kg/cm² errechnet wurde. Trotz dieser niedrigen Belastung und trotz der Reinheit des Schmierstoffs ging bei der Fortsetzung des Versuches im gleichen Einschliff der Verschleiss weiter. Damit ist diese Erklärung hinfällig. Die Ursache, warum hier keine flüssige Reibung auftritt, ist vermutlich in der Rauigkeit der Prüfscheibe und in der geometrischen Form der Schmierstelle zu suchen. Während beim Lager immer ein gewisses Spiel vorhanden ist, das die Ausbildung eines Schmierkeils ermöglicht, schafft sich in diesem Fall die Welle - dargestellt durch die Prüfscheibe - ihr Lager selbst. Der entstehende Einschliff ist in allen Teilen der Prüfwellen genau angepasst. Diese 100%ige Schmiegungh verhindert, dass in die Schmierstelle ein Schmierfilm hereingezogen wird, der so stark ist, flüssige Reibung zu gewährleisten. Diese Versuche zeigen also, dass bei diesem Gerät das Gebiet der Grenzreibung verbunden mit Metallabrieb vorherrschend ist.

Neben dem Schmierzustand ist ferner von Interesse die Wiederholbarkeit der Versuchsergebnisse. Diese ist bei diesem Gerät abhängig von der Gleichmässigkeit des Werkstoffs, der Ölzufuhr und der Beseitigung des Metallabriebs und weiterhin von der Veränderung der Rauigkeit der Scheibenoberfläche. Die drei ersten Erfordernisse können verhältnismässig leicht erfüllt werden, sodass die Wiederholbarkeit vor allem davon abhängt, wie sich die Scheibe im Laufe der Zeit verändert. Es konnte festgestellt werden, dass nach über 1000 Versuchen bei Verwendung der verschiedensten Werkstoffe und Schmierstoffe die Versuchsergebnisse sich nicht verändert haben und die Scheibe ihre Rauigkeit somit behalten hat. Einige Ergebnisse mit verschiedenen Schmierstoffen sind in Bild 11 und den folgenden Bildern veranschaulicht. Man erkennt aus Bild 11, dass die erzielten Unterschiede der Messwerte sehr beträchtlich sind. Ähnlich wie Knochenöl ergibt auch Rüböl sehr hohe Einwechselfwerte, Rizinusöl zeigt ein solches Verhalten erst bei sehr hohen Drücken. Einen ganz ähnlichen Verlauf gibt E 426. E 515 und S-Ester verhalten sich fast gleich, die Mischung zwischen beiden fällt durch hohen Abrieb auf. Es handelt sich also um einen Mischungseffekt, der bei diesem Schmierstoff auch in anderen Geräten beobachtet wurde.

Führt man diese Untersuchung nicht an Stahl sondern an Gusseisen durch, so erhält man bereits eine merkliche Verschiebung der Verhältnisse. Die Wirkung des Rizinusöls ist hier schon deutlicher, ebenso die von E 426. Bei Verwendung von Lagermetall (Bild 13), bestehend aus Zinn, Blei, Antimon mit Spuren von Kupfer, zeigen besonders schwefelhaltige Öle grosse Ausschläge, während sich hier die Pflanzenöle im umgekehrten Sinne verhalten. Bei Rotguss (Cu + etwa 10% Sn und 10% Zn) (Bild 14) ergeben Rizinusöl, Rüböl und E 426 gleiche charakteristische Kurven, wobei hier Rizinusöl die höchsten Werte erreicht. Von S-Ester erwartet man infolge seiner Affinität zu Kupfer in diesem Fall ebenfalls einen hohen Abrieb. Aus dem Kurvenverlauf zu schliessen, tritt dieser erst bei höheren Drücken auf. Die dadurch erzeugten höheren Temperaturen haben eine starke Zunahme der Aktivität des Schwefels zur Folge. Bei Leichtmetall (Bild 15) liegen die Verhältnisse ganz ähnlich wie bei Lagermetall. Auffallend ist der geringe Abrieb des Rizinusöls. Diese Ergebnisse

sollen vor allem zeigen, dass das Auflösungsvermögen bei diesen Versuchen sehr beträchtlich ist und dass also diese Methode grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Schmierstoffen ergibt.

Die Wirkung von Zusätzen zeigt Bild 16 und 17. Während z.B. an der Kettenmaschine (s. Bericht Nr. 512) ein Zusatz von 5% Rüböl zu Eismaschinenöl eine wesentliche Erniedrigung der Reibungszahl bringt, ist hier die Wirkung weniger auffallend. Bild 17 zeigt Ergebnisse mit Jehrmachtseinheitsöl mit und ohne Zusätze. Autokollag ist hier völlig unwirksam, dagegen bringt ein Zusatz von 2% einer organischen Schwefelverbindung bedeutende Erhöhung des Abriebes. Sehr überraschend ist die Wirkung von 2% Ölsäure. Nach den bisherigen Ergebnissen hätte man eine Vergrösserung der Einschliffe erwarten müssen. Tatsächlich trat das Gegenteil ein. Um diese Verhältnisse näher zu klären, sind weitere Versuche mit verschiedenen Zusatzmengen erforderlich.

Bei den Versuchen nach Bild 11, 12, 13, 14 und 15 war die ausserordentlich starke Abhängigkeit der Ergebnisse vom Werkstoff aufgefallen. Es wurde daher eine grössere Zahl von Schmierstoffen auf fünf verschiedenen Werkstoffen geprüft und die Ergebnisse in Bild 18 zusammengestellt. Die verschiedenen Schmierstoffe sind nach den Ergebnissen, wie sie auf der Stahlwalze erzielt wurden, geordnet. Rüböl mit dem grössten Einschliff steht an letzter Stelle. Mit Gusseisen als Prüfwerkstoff zeigen sich gegenüber Stahl erhebliche Verschiebungen; Rüböl bleibt zwar noch am letzten Platz, dagegen rückt der S-Ester auf den ersten. Bei Rotguss wird der grösste Einschliff mit BH 4 erzielt, was stark im Gegensatz steht mit dem Ergebnis auf dem Stahlsylinder. Rizinusöl tritt hier ebenfalls durch grösseren Abrieb hervor, ebenso wiederum Rüböl. LK 2200 ergibt den kleinsten Einschliff. Die grössten Unterschiede zwischen den einzelnen Schmierstoffen zeigen sich bei Leichtmetall. Hier fallen besonders LK 2200 und M 620 durch sehr starken Einschliff auf, dann folgen S-Ester und SS 902 F 25. Bei Lagermetall wirkt besonders der Schwefelgehalt fördernd auf die Metallabtragung. Aus diesen Versuchen erkennt man,

9012/1

dass es unmöglich ist, über das Verschleissverhalten eines Schmierstoffs irgendwelche Angaben zu machen, ohne den Werkstoff in Betracht zu ziehen. Dabei muss nun die etwas merkwürdig klingende Frage gestellt werden: Soll ein Öl auf einen bestimmten Werkstoff einen grossen oder kleinen Einschleiff erzeugen, um günstig bewertet zu werden? Dazu ist zu sagen, dass nach der bisherigen Erfahrung ein hoher Abrieb unter den Verhältnissen der vorliegenden Prüfmaschine als günstig bewertet werden muss. Hoher Metallabrieb in diesem Prüfergerät lässt vermuten, dass das gegenseitige Einlaufen gleitender Flächen im praktischen Betrieb besonders rasch erfolgen wird. Das hat zur Folge, dass sich schneller aus dem Zustand der Grenzreibung halbflüssige und schliesslich flüssige Reibung einstellt. Dass diese Art der Bewertung richtig ist, zeigen die Beispiele des Rüböls, Knochenöls und Rizinusöls, die von der Praxis in ihrem Schmierverhalten gut bewertet werden, in diesem Gerät aber fast auf jedem Metall einen sehr tiefen Einschleiff hinterlassen. Man kann diese Erscheinung vielleicht so erklären, dass die Schmierstoffteilchen stärker an Metall haften als unter sich und daher bei einer Reibungsbeanspruchung Metallteilchen aus der Oberfläche reissen. Das Haftvermögen von Öl an Metall sucht man jedoch auch durch eine Reibungszahl, gemessen im Gebiet der Grenzschmierung, zu charakterisieren und zwar wird dabei von einer geringen Reibungszahl auf hohes Haftvermögen geschlossen. Wenn beide Annahmen richtig sind, muss zwischen Einschleiffgrösse und Reibungszahl ein bestimmter Zusammenhang bestehen. In Bild 19 sind für 35 synthetische Ester, dazu noch für Knochenöl und Rüböl, das Einschleiffvolumen in Stahl bei 560 U/min und 16 kg Belastung in Beziehung gebracht zu den Reibungszahlen gemessen auf der Kettenmaschine bei 50°C. Wie man sieht, erhält man ein Streugebiet, das sich vom Bereich kleiner Einschleiffe und hoher Reibungszahlen hinunterzieht in den Bereich grosser Einschleiffe und niedriger Reibungszahlen. Dass hier ein gewisser Zusammenhang vorhanden ist, ist also offensichtlich. Vielleicht würde dieser noch deutlicher sein, wenn in beiden Geräten gleiche Werkstoffpaarung angewandt werden könnte. Diese Beziehung, die an Produkten gefunden wurde, die sich chemisch ähnlich sind, lässt sich

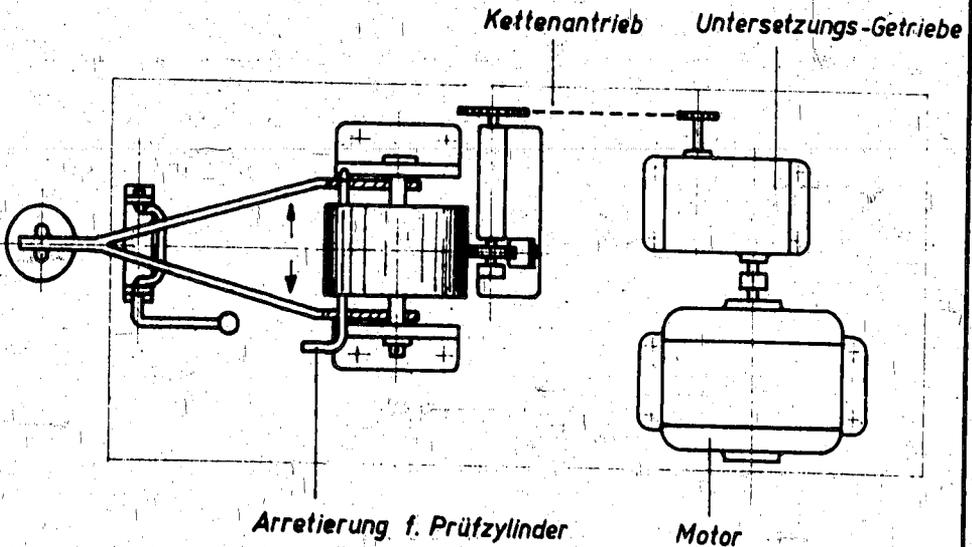
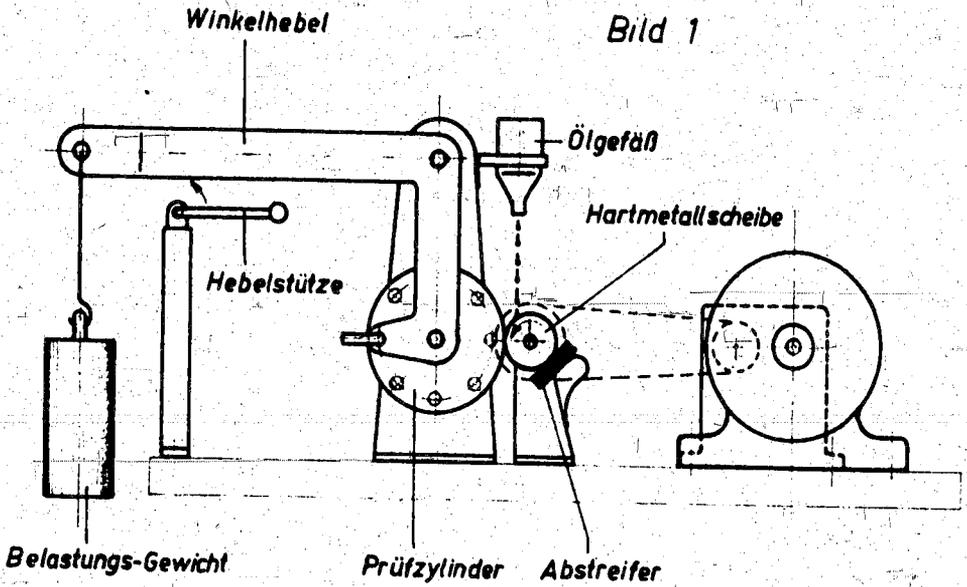
nach dem bisherigen Stand der Untersuchung jedoch nicht auf alle Arten von Schmierstoffen verallgemeinern. Es erscheint überhaupt fraglich, ob es möglich ist, mit der oben gegebenen rein physikalischen Erklärung der Erscheinung des Metallabriebes auszukommen. Man muss vielmehr annehmen, dass auch chemische Vorgänge mitspielen, vielleicht sogar in überwiegendem Masse. Man kommt zu dieser Ansicht durch verschiedene Beobachtungen. Die Färbung der Einschliffe ist bei den verschiedenen Schmierstoffen sehr unterschiedlich, besonders wenn als Zylinderwerkstoff Leichtmetall oder Rotguss verwendet wird. Auch lässt sich in manchen Fällen durch bloßen Augenschein feststellen, dass der Abrieb nicht immer in metallischer Form, sondern z. B. als Sulfid anfällt. Diese Erscheinungen lassen die Vermutung aufkommen, dass der chemische Angriff von Öl auf Metall bei dem Vorgang des Verschleisses von Bedeutung ist. Man muss dabei berücksichtigen, dass an der Schmierstelle Öl und Werkstoff nicht nur unter hohem Druck, sondern auch unter hoher Temperatur stehen, die die chemischen Vorgänge stark beschleunigen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass das hier geschilderte Gerät eine wertvolle Ergänzung der vorhandenen Ölprüfmaschinen darstellt. Es gibt trotz der Einfachheit seines Aufbaues und der Bedienungsweise aufschlussreiche Ergebnisse über die Wechselwirkung zwischen Metall und Schmierstoff. Es erscheint wahrscheinlich, dass das Gerät auch unmittelbar für die Prüfung von Schneidölen eingesetzt werden kann. Eine nähere Untersuchung darüber ist noch im Gang.

90124

Einschliff - Apparatur

Bild 1



9013

Ausschliffvolumen spez. Flächendruck und Sehnenlänge

Bild 2

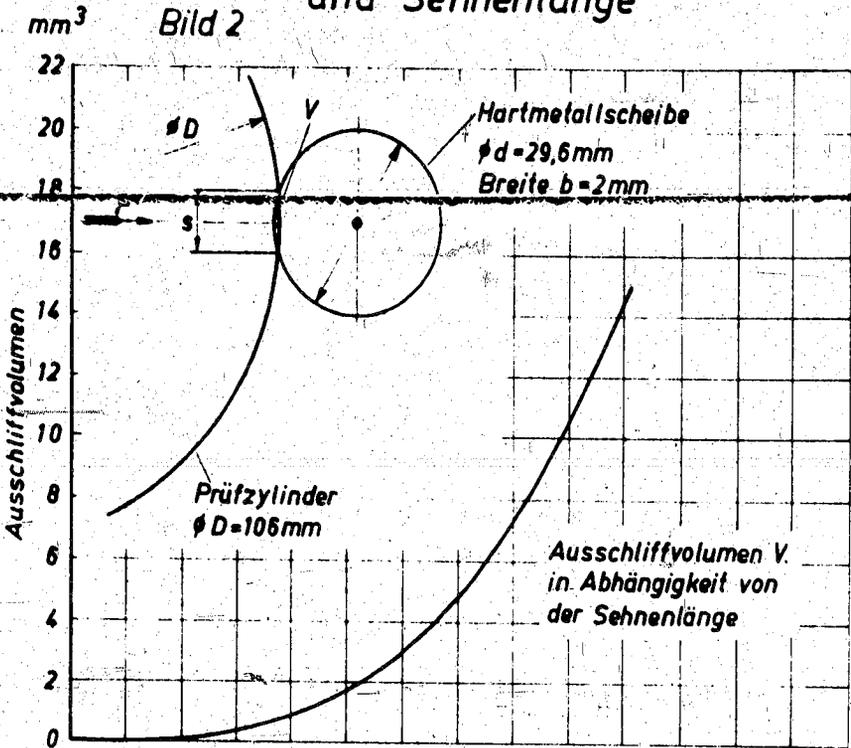
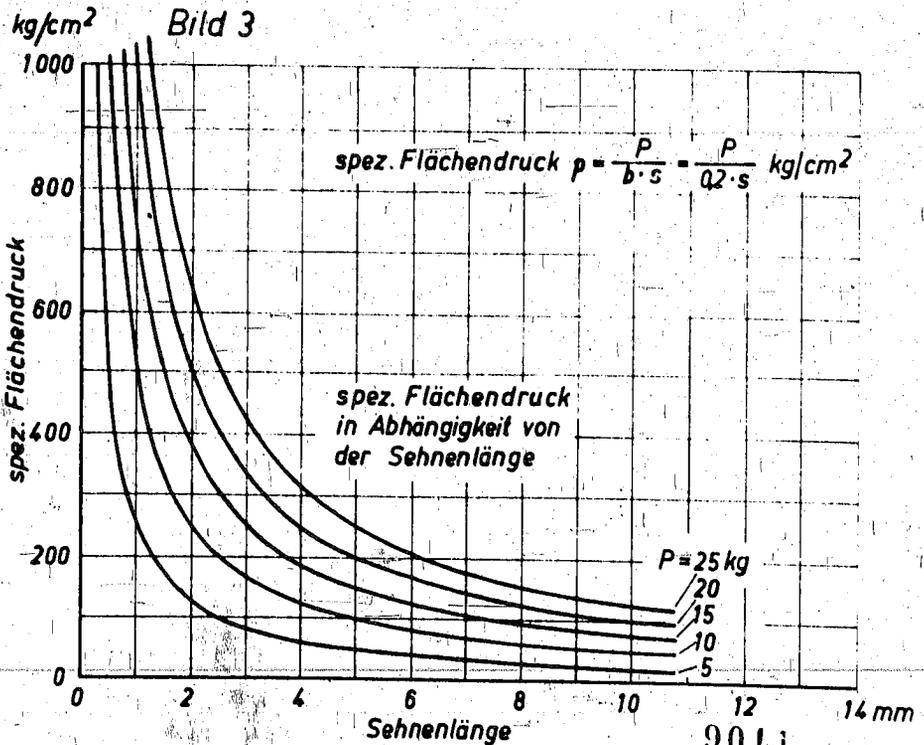


Bild 3

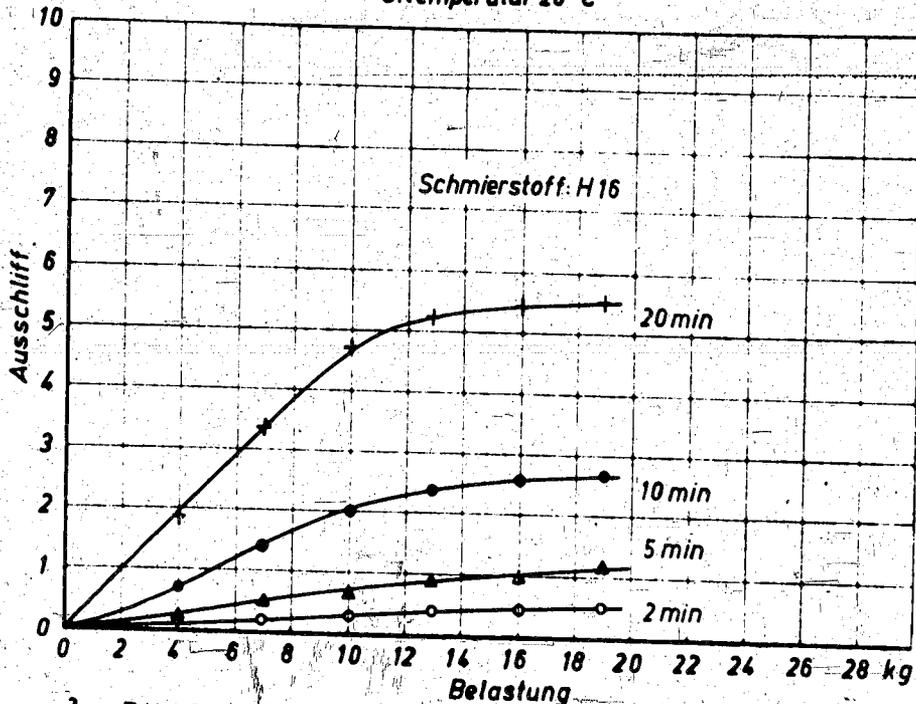


9014

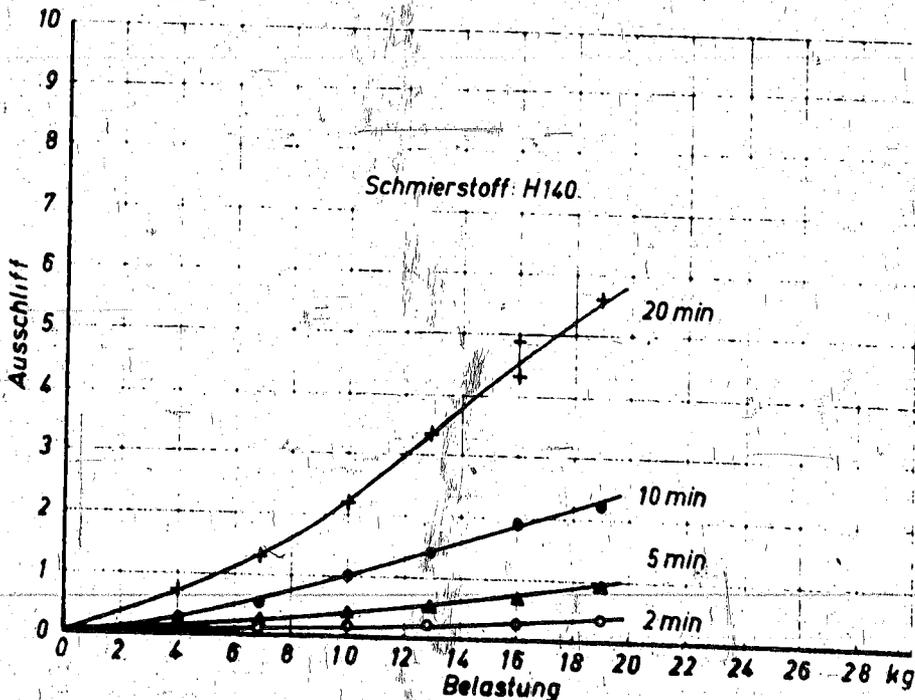
Verschleißversuche

Scheibe aus Hartmetall gegen Stahl
Drehzahl 560 U/min
Öltemperatur 20°C

mm³ Bild 4



mm³ Bild 5



9015

Verschleißversuche

Scheibe aus Hartmetall. gegen Stahl

Drehzahl 560 U/min

Öltemperatur 20°C

Bild 6

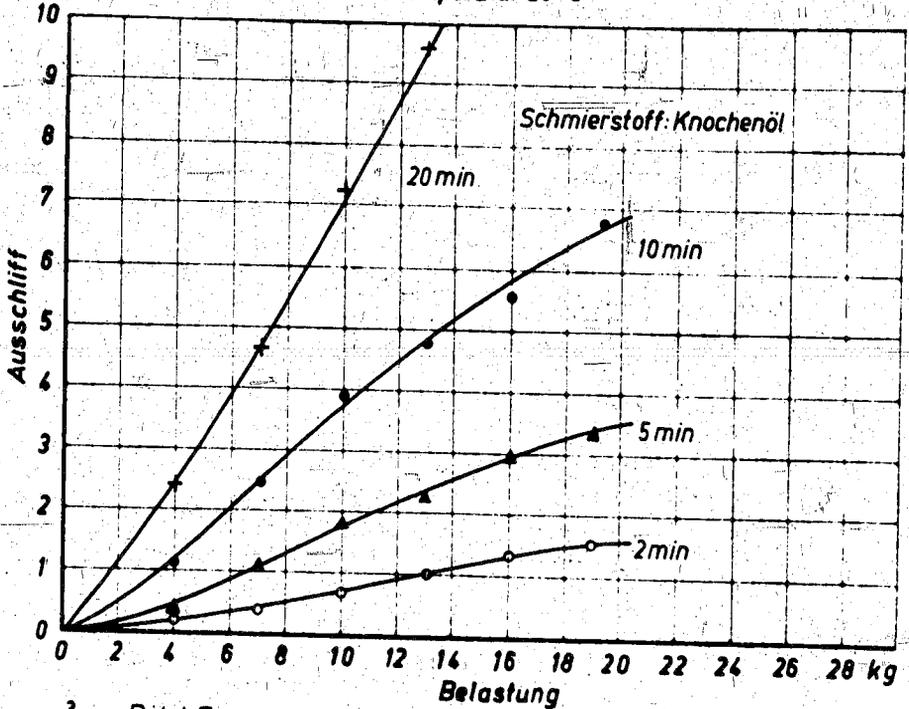
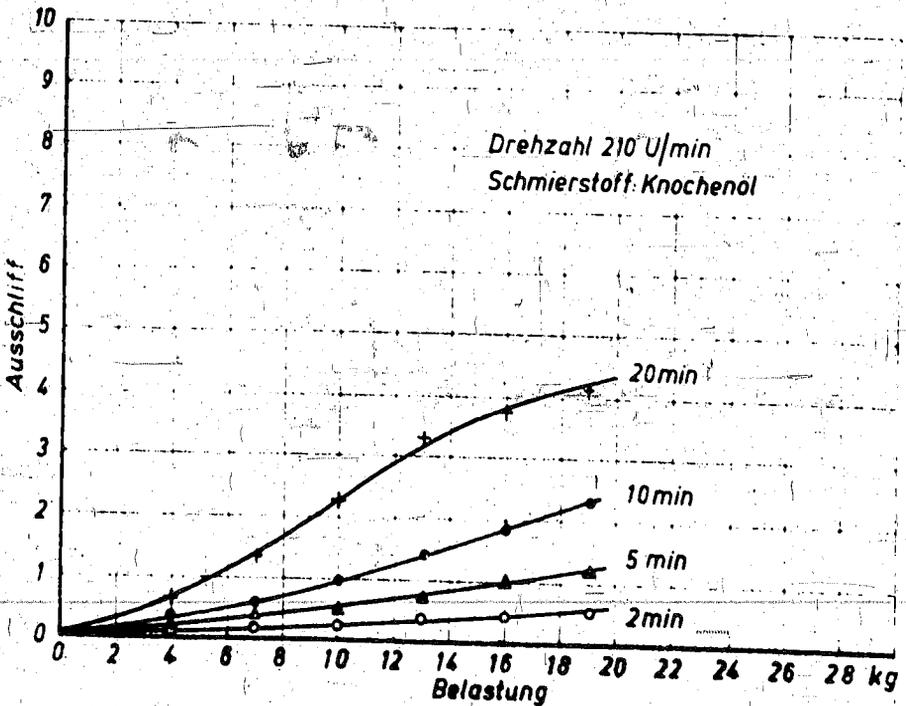


Bild 7

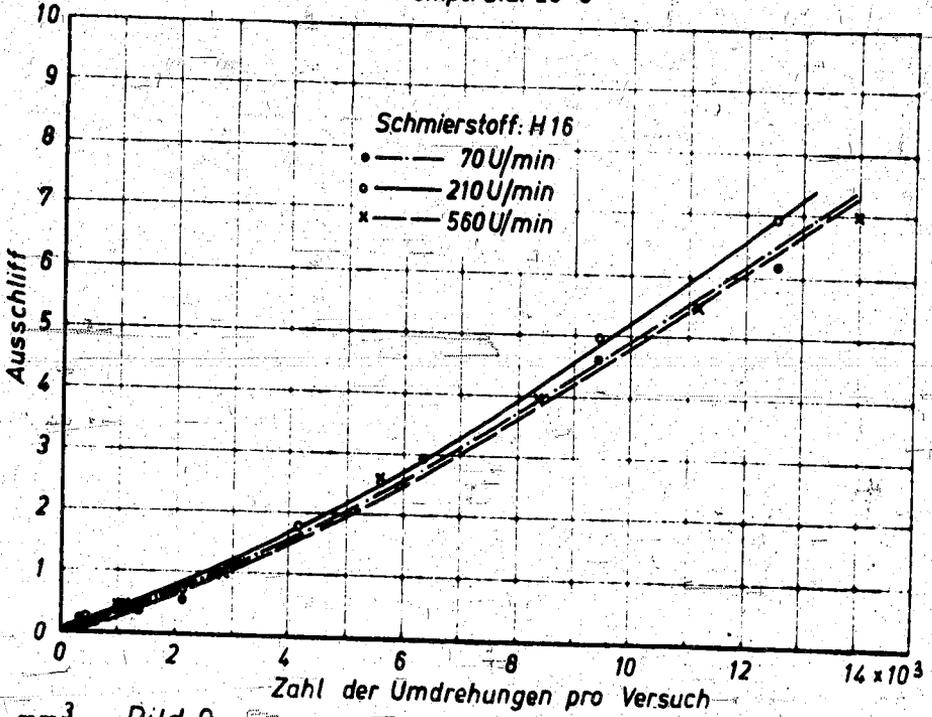


9016

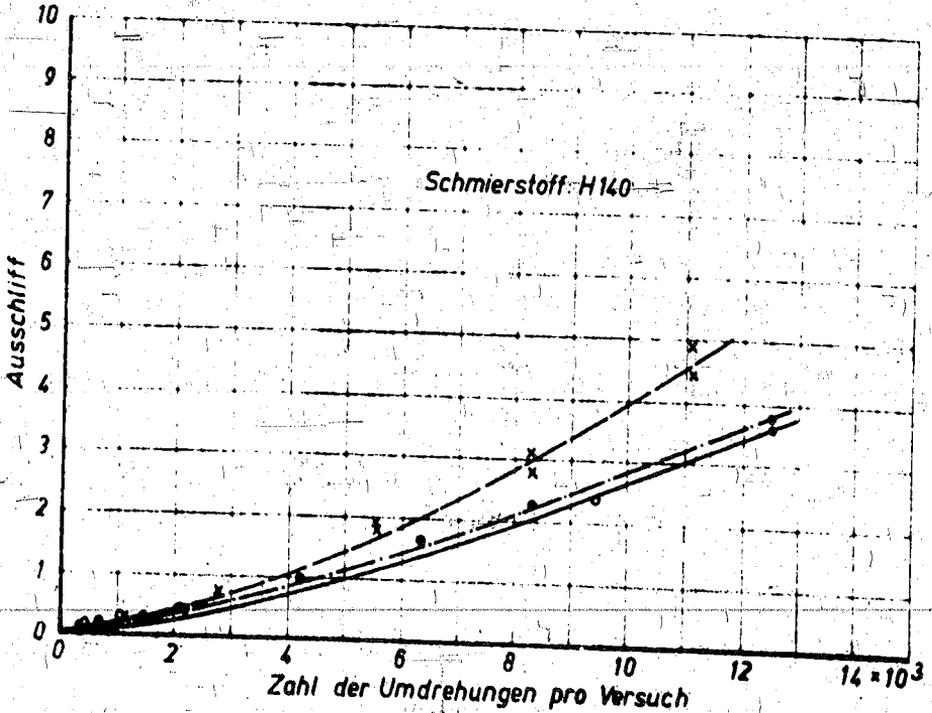
Verschleißversuche

Scheibe aus Hartmetall gegen Stahl
Belastung 16 kg
Öltemperatur 20°C

mm³ Bild 8



mm³ Bild 9



9017

Verschleißversuche

Scheibe aus Hartmetall gegen Stahl
Belastung 16 kg
Oltemperatur 20°C

Bild 10

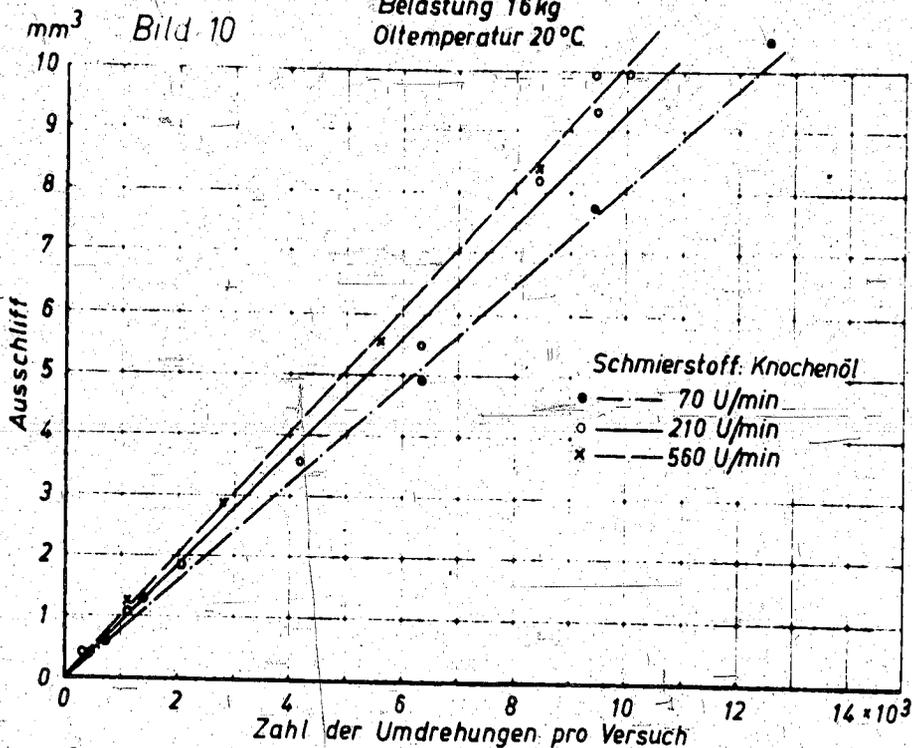
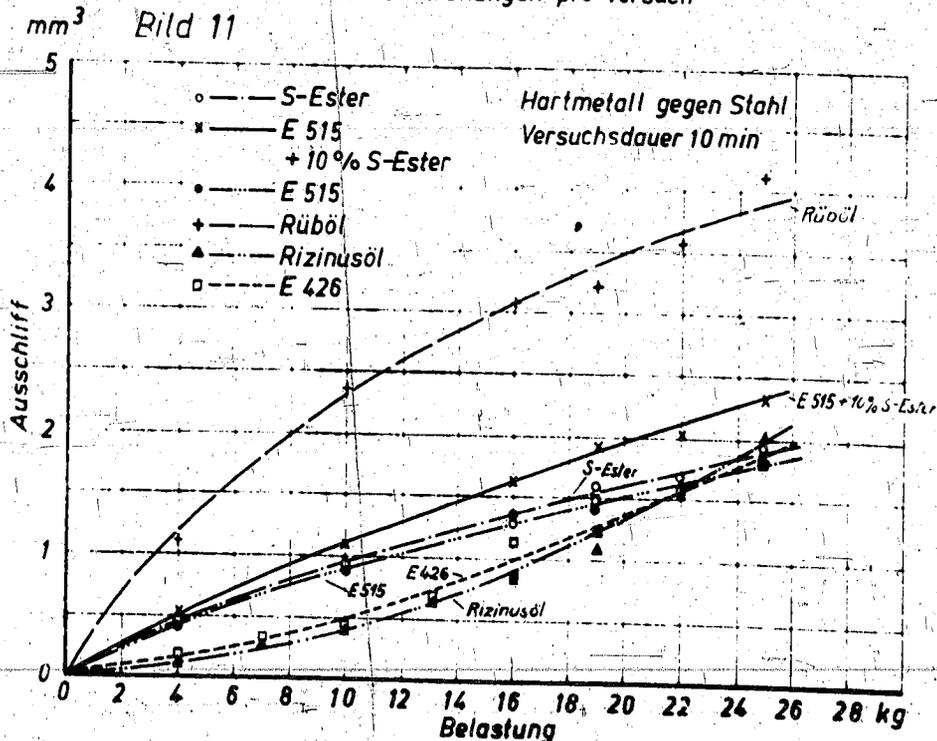


Bild 11



9018

Verschleißversuche

Scheibe aus Hartmetall, gegen Gußeisen
Versuchsdauer 10 min
Öltemperatur 20°C

Bild 12

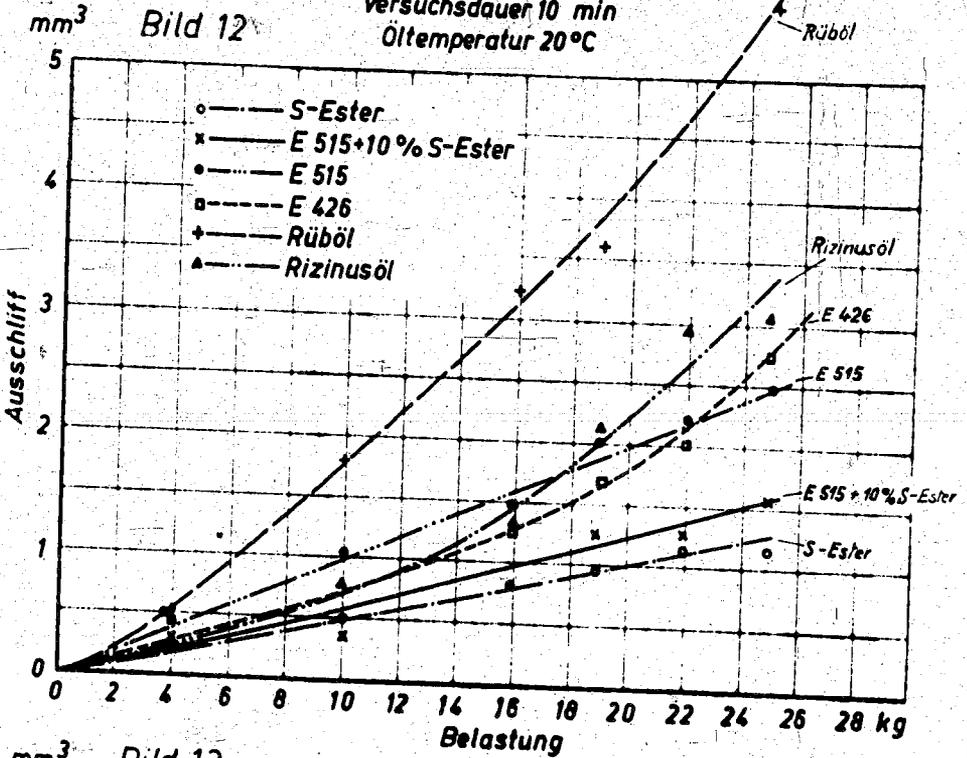
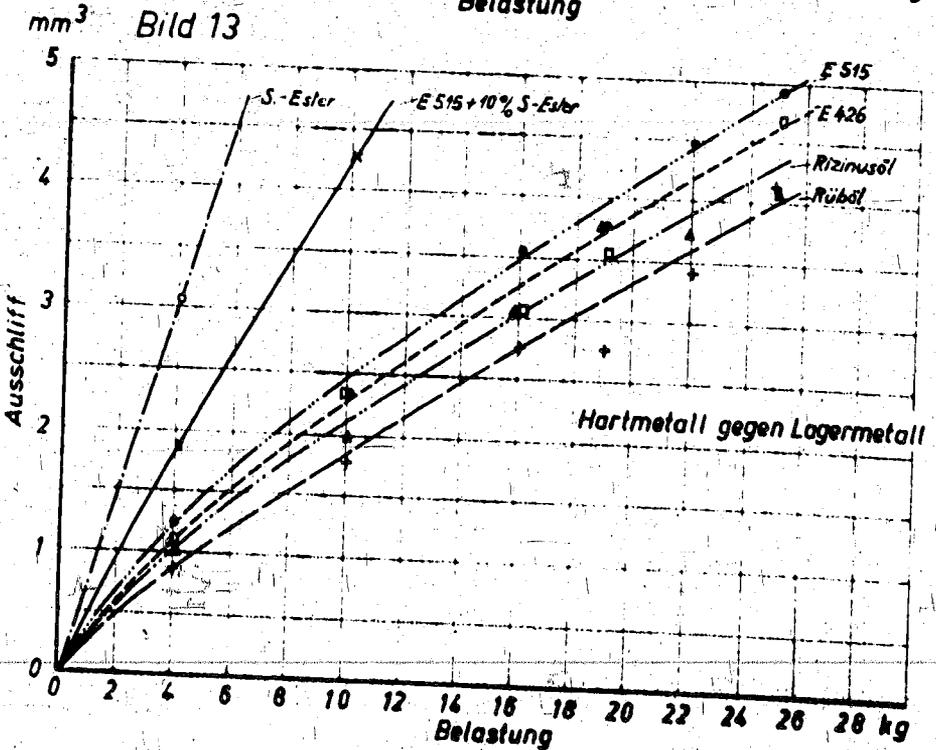


Bild 13

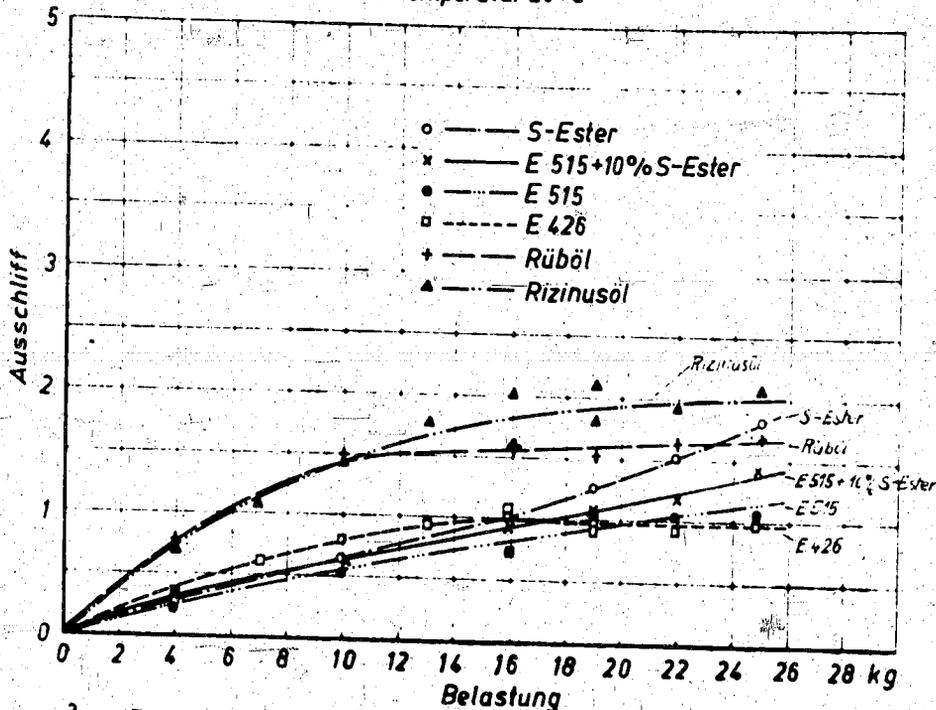


9019

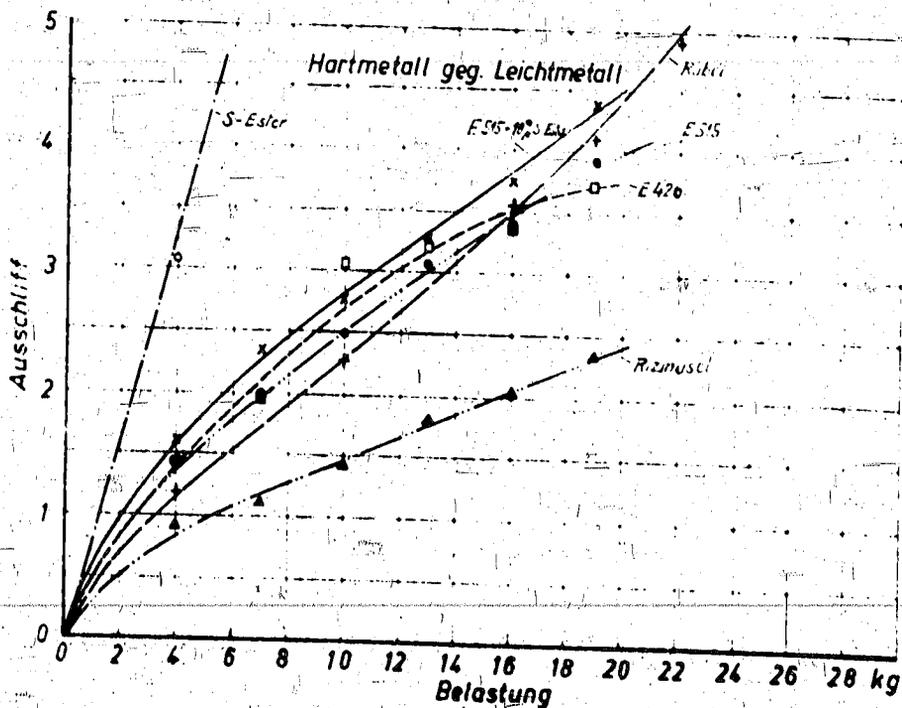
Verschleißversuche

Scheibe aus Hartmetall gegen Rotguß
Versuchsdauer 10 min
Öltemperatur 20°C

mm³ Bild 14



mm³ Bild 15

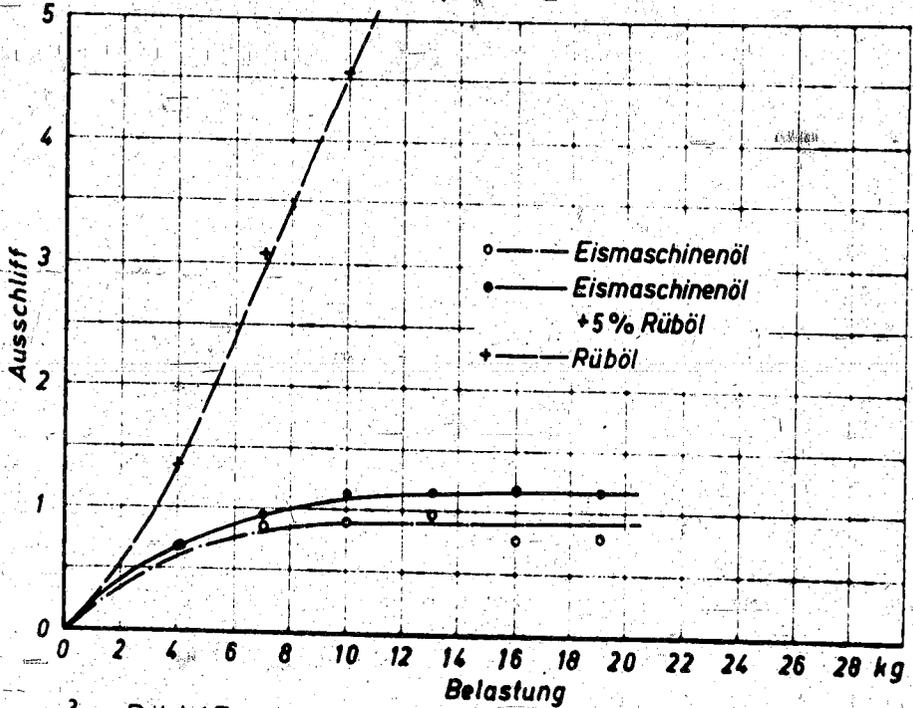


9020

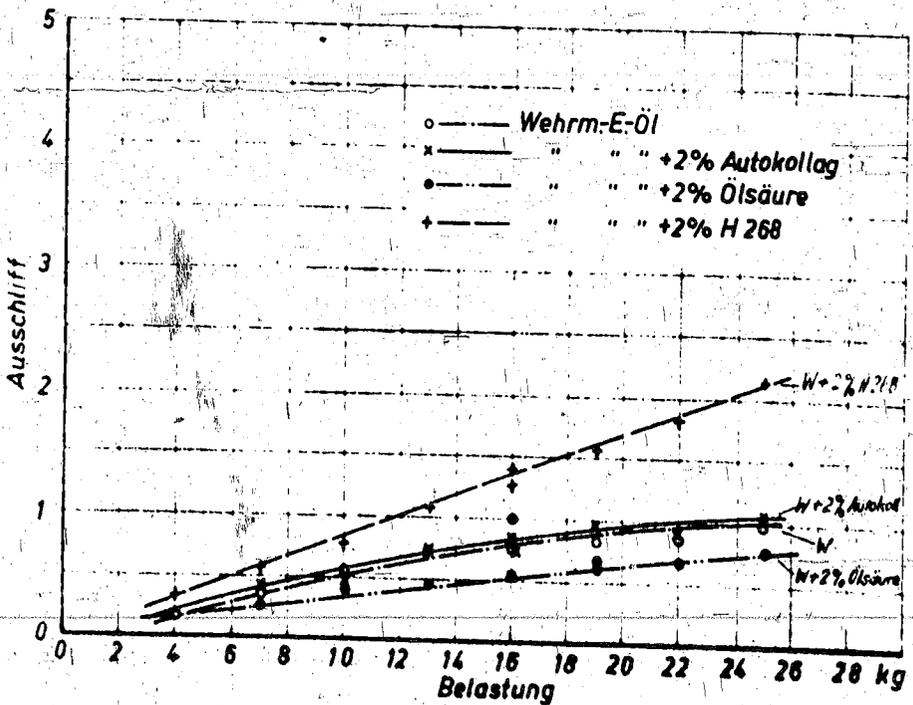
Verschleißversuche

Scheibe aus Hartmetall gegen Stahl
Versuchsdauer 10 min
Öltemperatur 20°C

mm³ Bild 16



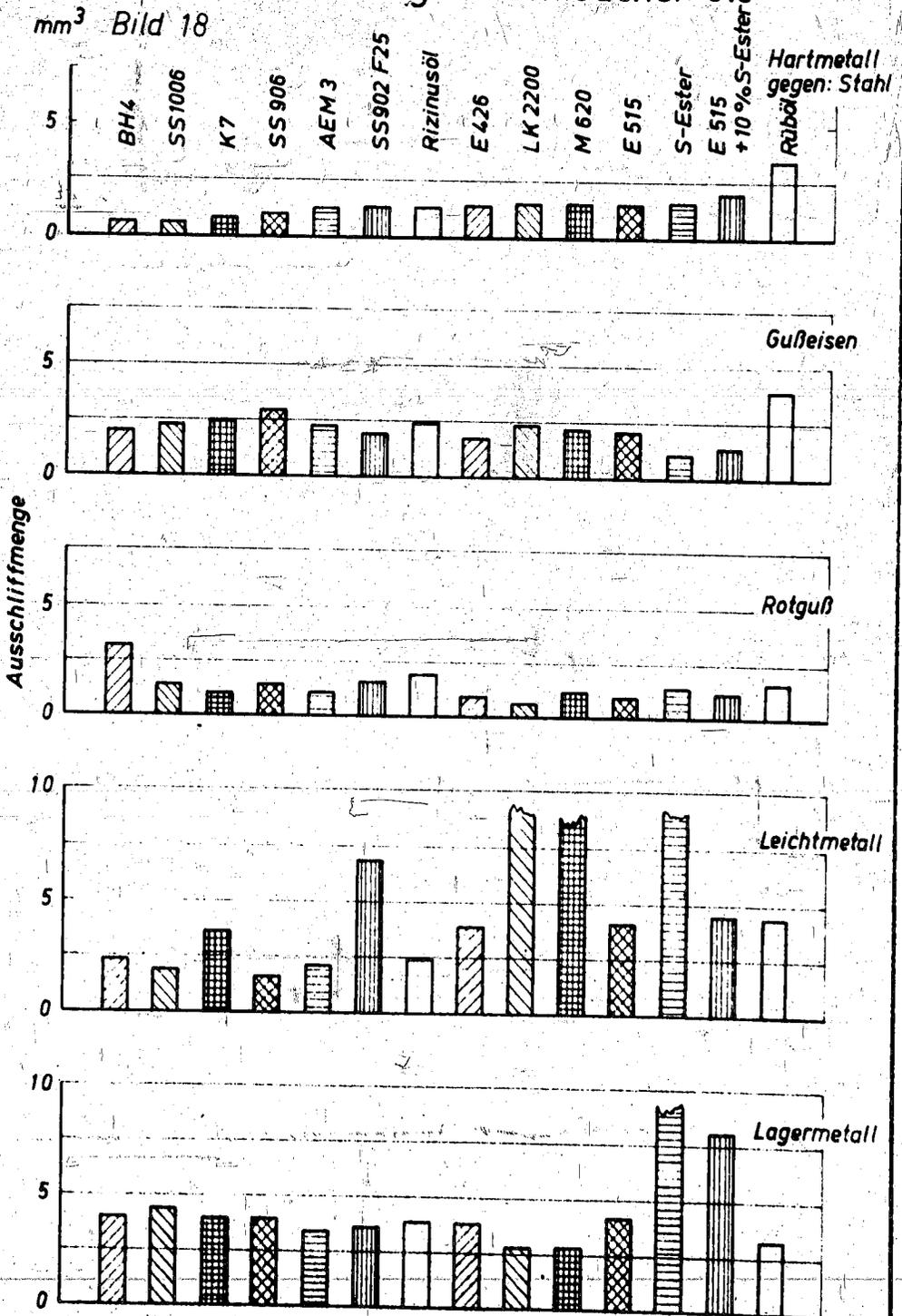
mm³ Bild 17



9021

Verschleiß verschiedener Metalle bei Verwendung verschiedener Öle

mm³ Bild 18



Versuchsdauer 10min, Belastung 20kg, 210U/min

9022

Reibungszahl und Verschleiß

Bild 19

