

Physikalisch-Technische Reichsanstalt ⁰⁷²⁵⁹₃₄

Abteilung VI

Ihre Zeichen

Ihre Nachricht vom

PTR-Nachricht vom

PTR-Zeichen

Tag

6234.44 VI-S 19.9.44

Betreff: Bericht 6120

Anliegend erhalten Sie einen Bericht der PTR über "Schmierung als Grenzflächenvorgang", der einen Teil des Referates Dr. Kluge anlässlich der Schmierstofftagung Dresden enthält. Außerdem wurde aus gleichem Anlass über die Ergebnisse an den von Ihnen zur Verfügung gestellten Estern berichtet, die Ihnen z. Teil bereits mitgeteilt wurden. Weitere Untersuchungsergebnisse werden Ihnen in Kürze mitgeteilt.

Im Auftrage

i. V. Bochner
Regierungsrat

Physikalisch-Technische Reichsanstalt
Weida/Thür. - Postschließfach 8

Firma

Ammoniakwerk Merseburg G.m.b.H.
z. Hd. Herrn Dr. Zorn

L e u n a Werk (Kr. Merseburg) Anlage: 1 Bericht Bb.-Nr. 6120.44
VI-S

Frachtsendungen
Hauptbahnhof
Weida/Thür.

Drahtwort
Reichsphysik
Weida

Fernsprecher
Weida 374

Hausruf

Konten: Reichsbank-Giro Berlin-Charlottenburg Nr. 15/1912
Postcheck Berlin 11277

PTR Formblatt A 8 (7000) 244 L40004

Es wird gebeten, bei Schreiben an die Reichsanstalt persönliche Anschriften zu vermeiden, sie verzögern nur die Erledigung.

34

07260

14



T. 1. für den Dienstgebrauch

Bericht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Schmierung als Grenzflächenvorgang.

Der Bericht umfaßt:	5 Blatt Text
Bb.Nr. 6120.44 VI-S	7 " Abbildungen
v. 31. 8. 44.	- " Zeichnungen

Der Sachbearbeiter

Kluge

Regierungsrat Dr. Kluge

Der Labor.-Vorsteher

Kluge

Regierungsrat Dr. Kluge

Der Abteilungsdirektor

gez. Möller

Professor Dr. K. Möller



Es kann heute als allgemein bekannt vorausgesetzt werden, daß die Schmierung unter besonderen Voraussetzungen, wie z.B. große Last, kleine Geschwindigkeit ein ausgesprochener Grenzflächen-vorgang ist. Die Kontinuumseigenschaften eines Schmierstoffes (Zähigkeit) treten gegenüber den Grenzflächeneigenschaften in den Hintergrund. Trotzdem ist eine einheitliche Betrachtungsweise der Schmierstoffe auch hinsichtlich der Grenzflächeneigenschaften nicht ohne weiteres möglich. Es muß vielmehr grundsätzlich zwischen Schmierstoffen unterschieden werden, bei denen die Schmierwirkung auf die gleichen Grenzflächenkräfte zurückzuführen ist, die auch andere Grenzflächenerscheinungen, wie Randwinkel, Benetzungswärme usf. bestimmen, und solchen Schmiermitteln, bei denen vorwiegend chemische Veränderungen in der Metallfläche auftreten. Bei den erstgenannten Schmierstoffen bildet sich an der Metalloberfläche eine orientierte Adsorptionsschicht mit entsprechender Haftfestigkeit, wodurch das Gleitverhalten des Schmierstoffes in gesetzmäßiger Weise beeinflußt wird. Bei den Schmierstoffen der zweiten Art - hierzu zählen die sogenannten druckfesten Zusätze - wird durch die Bildung von Metallsulfiden, Phosphiden oder Chloriden ein metallisches Verschweißen der Gleitstellen verhindert.

Die Reichsanstalt hat nun bisher vorwiegend Stoffe der erstgenannten Art untersucht. Sie ging dabei von dem unterschiedlichen Verhalten des Mineralöles und des Fettöles aus, wie es in den früheren Berichten der Reichsanstalt bereits mitgeteilt wurde. Durch Einbeziehung von chemisch einheitlichen Stoffen konnten die bei den Messungen des Mineralöles und Fettöles angedeuteten Zusammenhänge wesentlich klarer herausgearbeitet werden. Zum besseren Verständnis seien nochmals die Reibungs- und Abnutzungswerte bei Grenzschmierung für ein Mineral- und Fettöl wiedergegeben. (Bild 101 und 102).

Zur Aufklärung des Grenzschmierungsvorganges, insbesondere bei dem Fettöl, wurden unter anderem ergänzende Untersuchungen an gesättigten Fettsäuren durchgeführt. Die Meßergebnisse (vergl. Bild 128 und 129) zeigen, daß die Reibung bei diesen Fettsäuren umso kleiner ist, je größer die Kettenlänge ist, eine Feststellung, die mit älteren Untersuchungen ähnlicher Art übereinstimmt. Besonders neuartig ist jedoch die Beobachtung, daß die Kettenlängenabhängigkeit der Ruhereibung und der Gleitreibung grundsätz-

lich verschieden ist. Für niedermolekulare Fettsäuren ist die Ruhereibung größer als die Gleitreibung, während bei höhermolekularen Fettsäuren die Ruhereibung kleiner ist als die Gleitreibung. Niedermolekulare Fettsäuren verhalten sich also bezüglich der Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reibungszahl ähnlich wie ein Mineralöl und höhermolekulare Fettsäuren mehr wie ein Fettöl. Es ist nun mit Sicherheit anzunehmen, daß das Grenzschmierungsverhalten eines Schmierstoffes, soweit er ausschließlich durch eine Adsorptionsschicht wirkt, mit anderen Grenzflächenerscheinungen, wie Haftarbeit und Haftfestigkeit sowie Benetzungswärme, Randwinkel usf. in gesetzmäßiger Weise zusammenhängt. Es ist z.B. bekannt, daß ein Fettöl eine größere Benetzungswärme gegenüber Kupfer ergibt als Mineralöl. Nach der Theorie der Phasengrenzflächen ist aber einer großen Benetzungswärme auch eine große Haftfestigkeit der adsorbierten Schmiermittelschicht zuzuordnen. Messungen über die unterschiedliche Benetzungswärme der gesättigten Fettsäuren liegen nun zwar nicht vor. Hochmolekulare Fettsäuren dürften aber im allgemeinen eine größere Benetzungswärme und damit auch eine größere Haftfestigkeit besitzen als niedermolekulare Fettsäuren. In der unterschiedlichen Geschwindigkeitsabhängigkeit wird also offenbar die mehr oder weniger große Haftfestigkeit des Schmierstoffes an dem jeweiligen Metall wirksam.

Wenn aber die Reibung unter Grenzschmierungsbedingungen ein ausgesprochener Grenzflächenvorgang ist, muß auch das Metall Einfluss haben. Bereits bei Untersuchungen an verschiedenen technisch-reinen Metallen konnte teilweise ein sehr unterschiedliches Grenzreibungsverhalten ermittelt werden. Dies wird allerdings nur indirekt durch Einbeziehung von zwei Schmierstoffen verschiedener Grenzflächenaktivität erkennbar, also z.B. durch Vergleichsuntersuchung der fraglichen Metalle mit einem Fettöl und einem Mineralöl oder besser mit zwei homologen Fettsäuren bzw. deren Estern (vergl. Bild 136). Bei Metallegierungen andererseits wird sich dieses Grenzflächenverhalten mit der Zusammensetzung ändern. An dem Beispiel der Al-Si Legierungen (vergl. Bild 142) wirkt sich das unterschiedliche Grenzflächenverhalten so aus, daß die Reibung bei Grenzschmierung mit Essigsäure-Äthylester mit zunehmendem Si-Gehalt ebenfalls stark zunimmt während sie bei Grenzschmierung mit Laurinsäure-Äthylester schwach abnimmt.

Die Haftfestigkeit eines Schmierstoffes äußert sich aber nicht nur in der Reibung, sondern auch in der Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung. Untersuchungen der Reichsanstalt über die Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung mit gesättigten Fettsäuren ergaben bei den meisten Metallen eine um so größere Werkstoffabtragung, je größer die Kettenlänge ist (vergl. Bild 137). Bei der Erklärung dieser Erscheinung darf man nicht außer acht lassen, daß bei der Werkstoffabtragung nicht allein eine Trennarbeit aufgebracht werden muß, sondern daß sich die neu gebildete Metallfläche mit der Schmierflüssigkeit benetzt. Bei stark benetzenden Flüssigkeiten, wie z.B. hochmolekularen Fettsäuren, bedeutet diese Feststellung aber einen geringeren Arbeitsaufwand für die Bildung der gleichen Metalloberfläche und damit für die gleiche Werkstoffabtragung. Hochmolekulare Fettsäuren müßten also bei gleichem Arbeitsaufwand eine größere Werkstoffabtragung ergeben als niedermolekulare Fettsäuren. Es ist daher auch verständlich, wenn sich die Werte für die Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung verschiedener Metalle nicht allein durch ihre Härteeigenschaft erklären lassen. Die Einordnung der Meßwerte nach der Härte ist vielmehr unterschiedlich je nach dem verwendeten Schmiermittel. An dem Beispiel der Al-Si-Legierungsreihe ist dies deutlich zu erkennen (vergl. Bild 143). Offenbar trägt die Ordnung der Meßwerte nach der Härte den mechanischen Werkstoffeigenschaften Rechnung, während im Schmiermitteleinfluß die Grenzflächenwirkungen zwischen Schmiermittel und Werkstoff zum Ausdruck kommen.

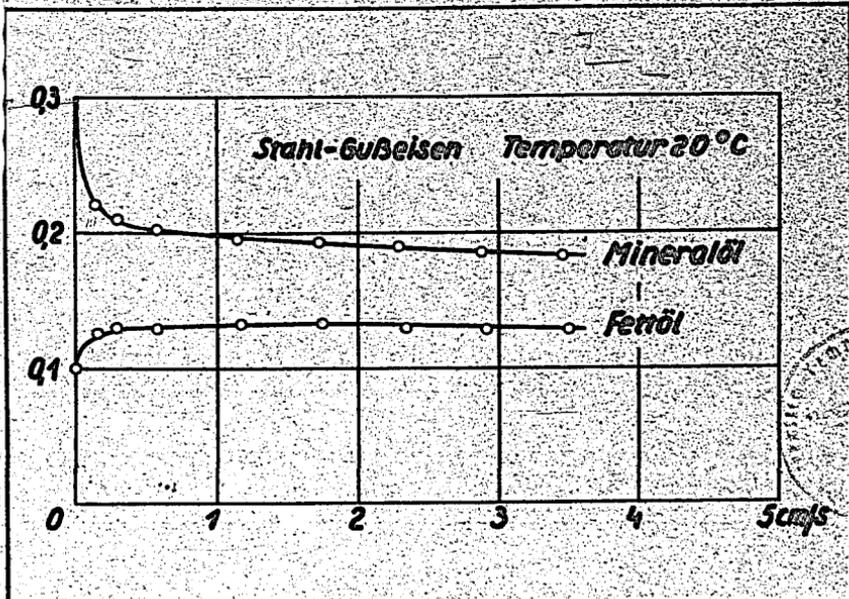
Die vorstehend niedergelegten Anschauungen, die in mancher Hinsicht noch ergänzender Versuche z.B. der Benetzungswärme bedürften, haben sich nun in vieler Hinsicht bei den weiteren Versuchen der Reichsanstalt über die Konstitutionsfragen des Schmierstoffes im Zusammenhang mit ihrem Gleitverhalten als fruchtbar erwiesen. Wenn man weiterhin berücksichtigt, daß die adsorbierte Schmiermittelschicht einen bestimmten Ordnungszustand besitzt, der von dem Aufbau des Schmiermittelmoleküls und von den Grenzflächenkräften zwischen dem Schmiermittel und Metall abhängt, so ist es weiterhin verständlich, wenn ausgesprochen polare Stoffe, wie die gesättigten Fettsäuren, eine wesentlich größere Werkstoffabtragung ergeben als z.B. die Äthylester der gesättigten Fettsäuren oder die Paraffinalkohole (vergl. Bild 130).

Einen bemerkenswerten, wenn auch indirekten Nachweis für den erwähnten Ordnungszustand der adsorbierten Schmiermittelschicht erhält man durch Untersuchungen über die Temperaturabhängigkeit der Reibung und Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung. Messungen an der Laurinsäure (vergl. Bild 131) ergaben eine starke Zunahme der Ruhereibung und kaum eine Veränderung der Gleitreibung mit zunehmender Temperatur, wobei außerdem die Ruhereibung bei höheren Temperaturen größer ist als die Gleitreibung, d.h. bezüglich des Verhältnisses von Ruhereibung und Gleitreibung nimmt die Laurinsäure bei höheren Temperaturen mehr das Verhalten eines Mineralöles an. Die Werkstoffabtragung dagegen nimmt stark mit der Temperatur ab (vergl. Bild 132). Auch in dieser Hinsicht nähert sich also die Laurinsäure bei höheren Temperaturen dem Verhalten des Mineralöles, das, wie eingangs gezeigt wurde, eine verhältnismäßig kleine Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung ergibt. Entsprechende Beobachtungen konnten auch an anderen gesättigten Fettsäuren gemacht werden, diese noch mit der ergänzenden Feststellung, daß eine Fettsäure bezüglich der unterschiedlichen Temperaturabhängigkeit der Ruhe- und Gleitreibung bei um so kleinerer Temperatur das Verhalten eines Mineralöles annimmt, je kleiner die Kettenlänge ist. Die Temperaturabhängigkeit der Reibung und Werkstoffabtragung dürfte daher so zu erklären sein, daß der Ordnungszustand der adsorbierten Schmiermittelschicht infolge erhöhter Wärmebewegung gestört wird, wobei gleichzeitig eine Abnahme der Haftfestigkeit parallel geht.

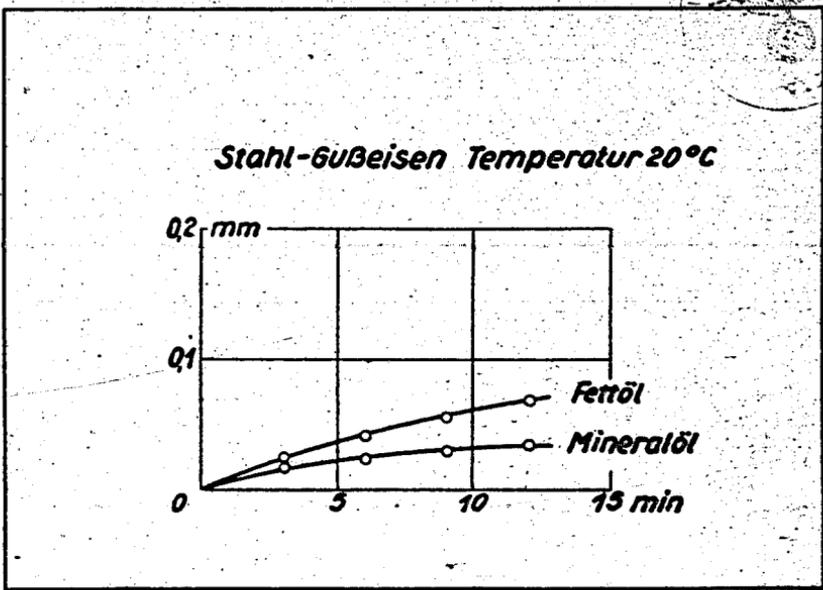
Man müßte nun annehmen, daß der Ordnungszustand der adsorbierten Schmiermittelschicht auch durch eine Erhöhung des auf die Gleitfläche bezogenen Druckes gestört wird. Hierzu ist jedoch zu bemerken, daß der für die Beanspruchung der adsorbierten Schicht maßgebende wirkliche Druck nach Holm wesentlich größer ist als der auf die Gleitfläche bezogene Druck. Der wirkliche Druck ist vielmehr unabhängig von der Last und in übrigen in der Größenordnung der Härte. Tatsächlich ändert sich die Reibung und insbesondere das Verhältnis von Ruhereibung und Gleitreibung nur wenig mit zunehmender Last (vergl. Bild 133). Auch die Abhängigkeit der Werkstoffabtragung von der Last (vergl. Bild 134) läßt nicht auf einen mit der Last abnehmenden Ordnungszustand schließen. Andernfalls müßte die Werkstoffabtragung nach den obigen Anschauungen mit der Last abnehmen.

An einigen weiteren Schmierstoffen mit chemisch einheitlicher Konstitution konnte gezeigt werden, wie sich außer der Kettenlänge und der endständigen Gruppe Doppelbindungen, Isomerie usw. auf das Gleitverhalten auswirken. Auch der Aufbau von Estern äußert sich in gesetzmäßiger Weise hinsichtlich der Reibung und Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung. In jedem Fall erweist es sich als nützlich, den Aufbau des Schmiermittelmoleküls im Hinblick auf den zu erwartenden Ordnungszustand zu betrachten. Dieser Ordnungszustand ist ebenso stark auch vom Werkstoff bzw. seinem Randfeld abhängig. Eine große Rolle spielt hierbei die Gitterstruktur und der Gefügebau des Metalls. Meßergebnisse in dieser Richtung liegen jedoch noch nicht vor.

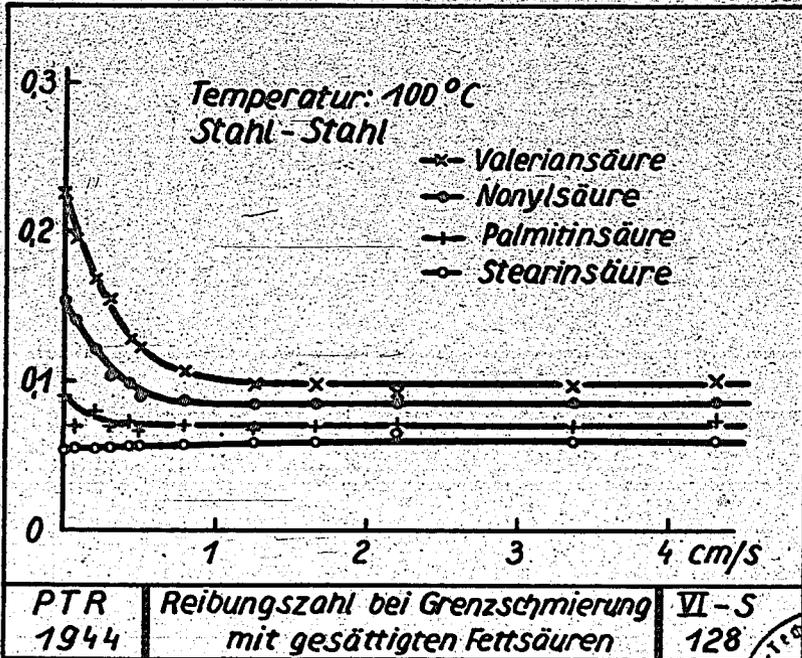
Wenn auch die vorstehenden Ausführungen zunächst ausschließlich für Schmiermittel gelten, die als Adsorptionsschicht wirken, bei denen also keine zusätzlichen chemischen Wirkungen wie bei den druckfesten Stoffen vorhanden sind, so dürften die gewonnenen Erkenntnisse auch für die Herstellung solcher druckfester Stoffe von Bedeutung sein. Die von verschiedenen Stellen vorgeschlagenen Zusatzstoffe zeichnen sich dadurch aus, daß z.B. Phosphor, Schwefel usw. in das Molekül eingebaut ist, und zwar offenbar mit einer solchen Bindungskraft, daß der Phosphor und Schwefel erst bei der durch den Gleitvorgang bedingten jedoch örtlich begrenzten Erwärmung und Druckbeanspruchung an der schmiertechnisch gefährdeten Stelle frei wird. Ist die Bindung zu schwach, so ist eine starke Korrosionswirkung des Zusatzstoffes zu befürchten. Ist andererseits die Bindung zu stark, so wird die beabsichtigte chemische Veränderung der Gleitfläche nicht eintreten können. Diese Bindungen sind aber für die Herstellung eines technisch brauchbaren druckfesten Zusatzes wahrscheinlich nicht ausreichend. Vielmehr muß der Zusatzstoff außerdem eine ausgesprochene Grenzflächenaktivität besitzen; er muß sich an der Metallfläche anlagern und damit eine gewisse Adsorptionsneigung zu der Metalloberfläche besitzen. Es würde dann möglich sein, mit besonders kleiner Konzentration des Zusatzstoffes auszukommen, andererseits wird sich dann der Zusatzstoff an der gefährdeten Gleitstelle besonders schnell auswirken. Die Berücksichtigung dieser Überlegungen dürfte sich auch bei der Herstellung druckfester Zusatzstoffe fruchtbar auswirken.



PTR 1941	Grenzreibungszahl von Mineralöl u. Fettöl	VI-S 101
--------------------	--	---------------------------



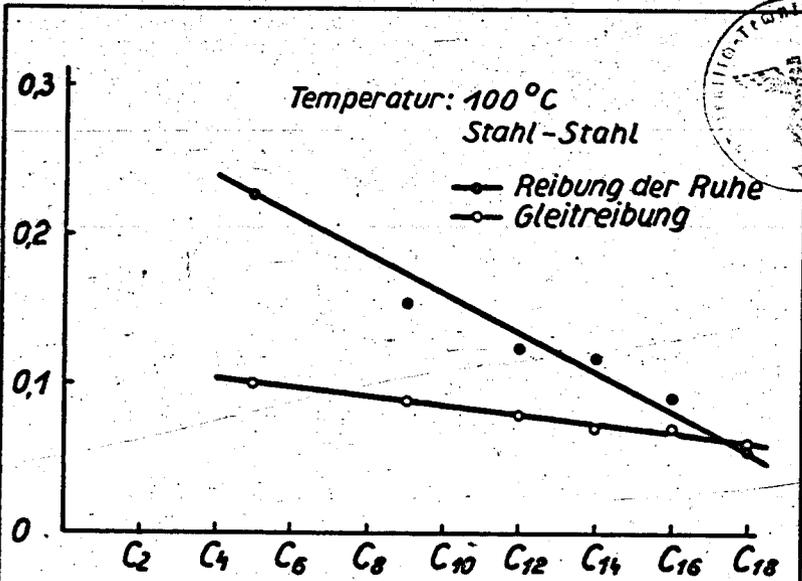
PTR 1941	Abnutzung bei Grenzschmierung mit Mineralöl u. Fettöl	VI-S 102
--------------------	--	---------------------------



PTR
1944

Reibungszahl bei Grenzschmierung
mit gesättigten Fettsäuren

VI - S
128

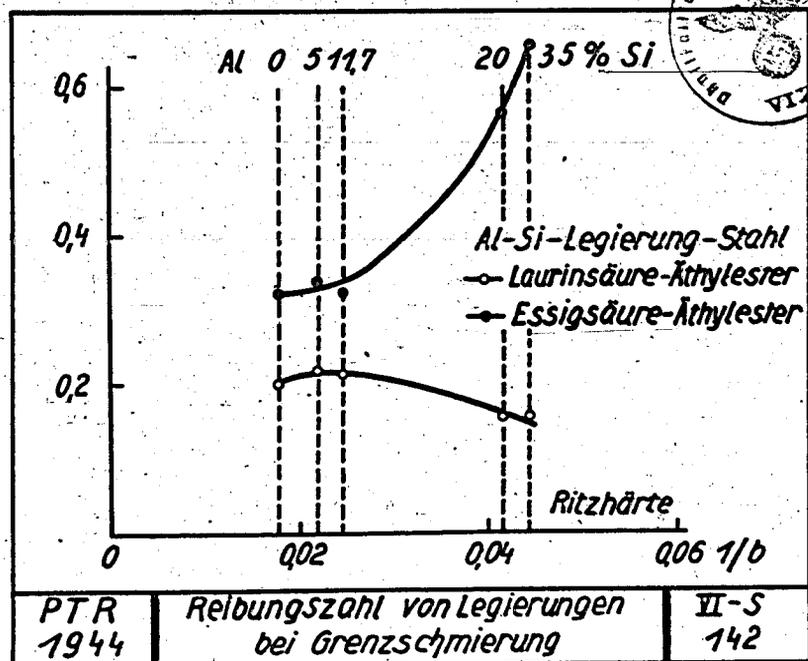
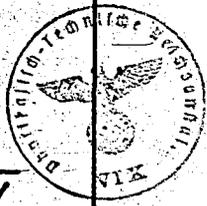
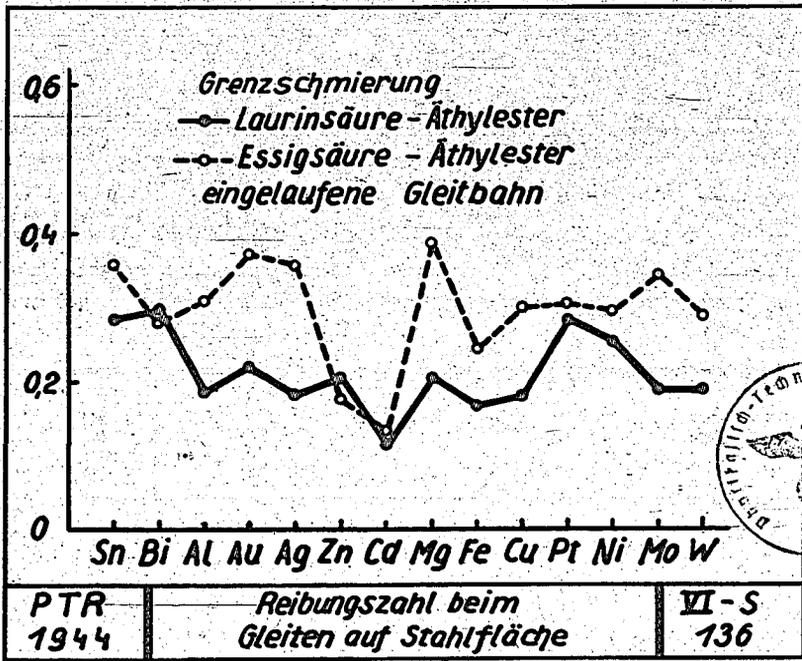


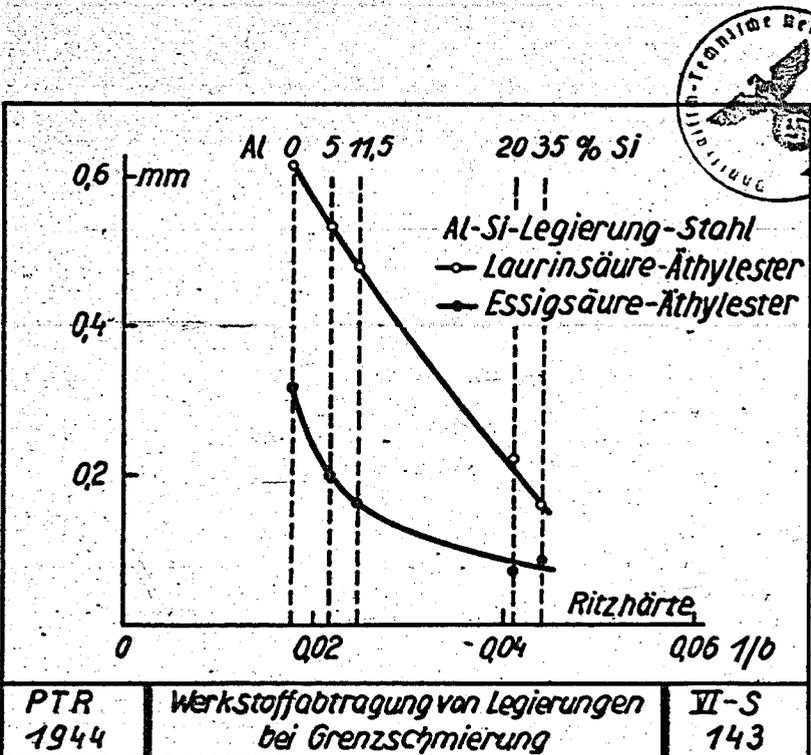
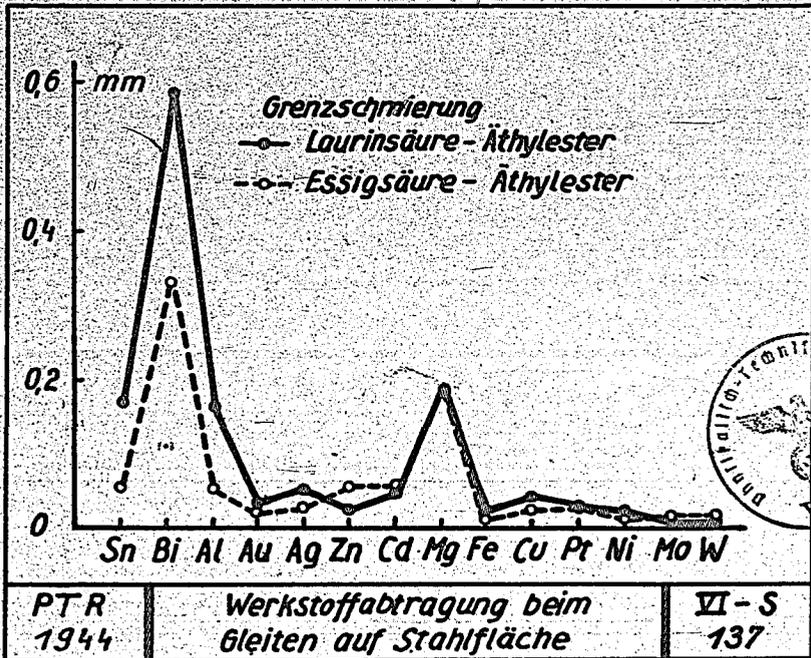
PTR
1944

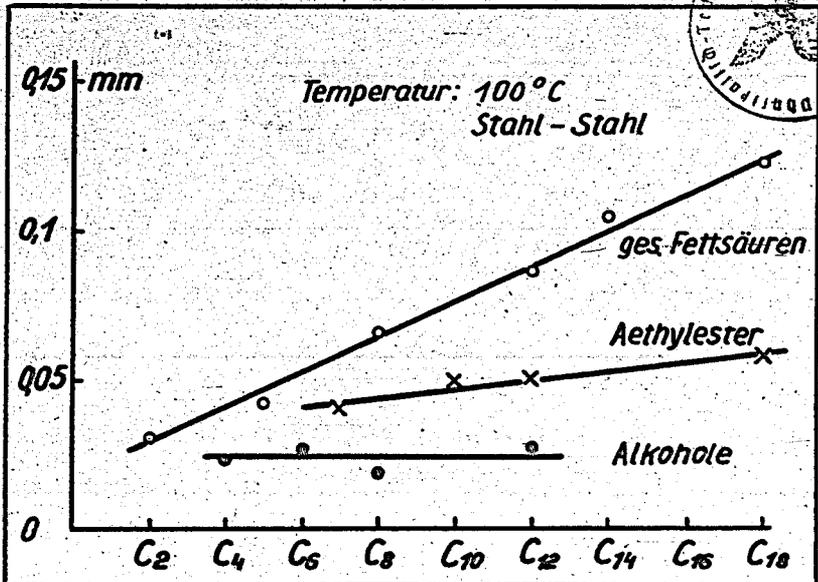
Reibungszahl bei Grenzschmierung
mit gesättigten Fettsäuren

VI - S
129





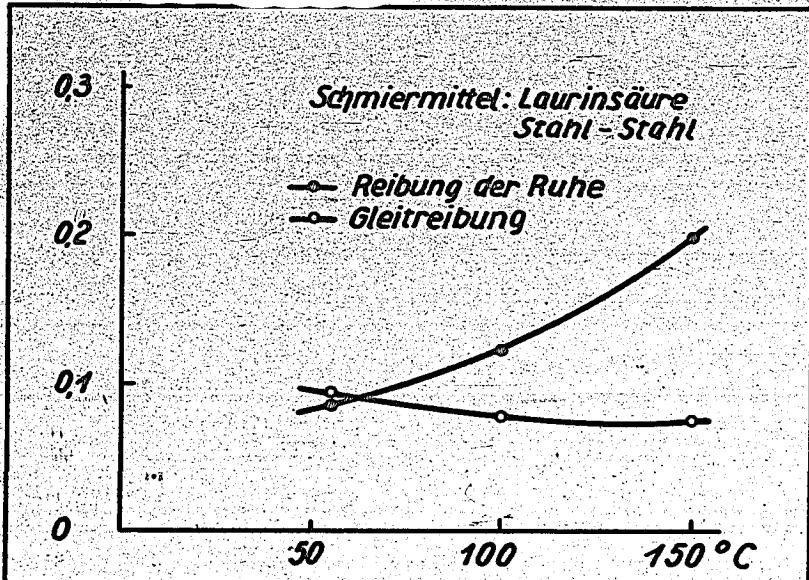




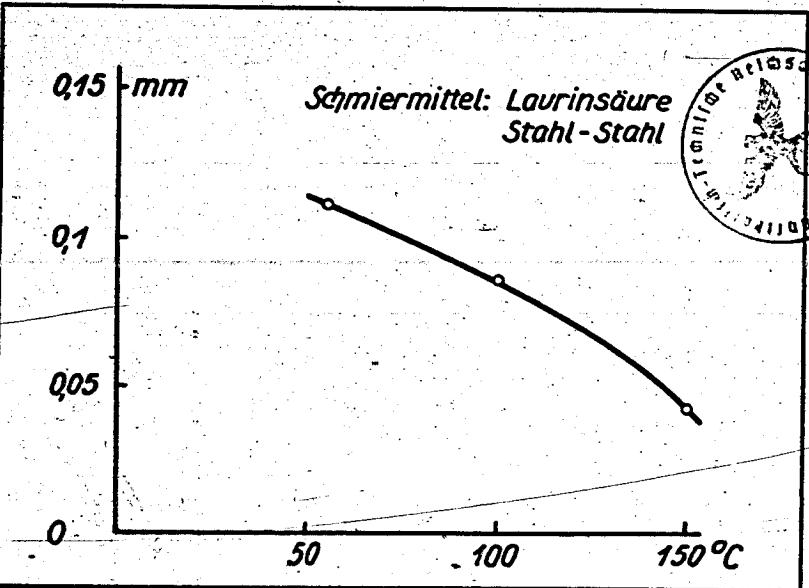
PTR
1944

Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung
mit homologen Stoffen

VI - S
130



PTR 1944	Reibungszahl bei Grenzschmierung in Abhängigkeit von der Temperatur	VL - S 131
-------------	--	---------------



PTR 1944	Werkstoffabtragung bei Grenzschmierung in Abhängigkeit von der Temperatur	VL - S 132
-------------	--	---------------



