

Gekürzte Zusammenfassung der Diskussionen.

Begrüßung.

Direktor E.O.Müller begrüßt die Anwesenden im Namen der DVL und der Fachgruppe Schmiertechnik des VDI und dankt für ihre Teilnahme an der Veranstaltung. Er wünscht einen guten Verlauf der Tagung und gibt der Hoffnung Ausdruck, daß sich die Beziehungen der Teilnehmer zur DVL und ihren Instituten erweitern und vertiefen mögen.

Vortrag: v.Philippovich, Vogelpohl

Baader: Ist das Verhalten erstarrten Paraffins zwischen den damit geschmierten Flächen bekannt?

v.Philippovich: Paraffin schmilzt wohl infolge der Reibungswärme gleich, sodaß man von keinem Dauerzustand des festen Paraffins sprechen kann. Im übrigen wird die Besprechung dieser Frage besser bis zum Punkt Kälteverhalten zurückgestellt.

Müller (Junkers): Kann man die Fehler der Reibungsmessung durch Wechsel der Drehrichtung beseitigen?

Vogelpohl: Die Fehler werden meist nur größer, sodaß man den Nullpunkt der Reibungswaage nicht dadurch bestimmen kann, daß man in beiden Richtungen fährt.

Vortrag: Harms, Dunken, Stuart

v.Philippovich: Die Haftfestigkeit wirkt sich nicht nur senkrecht, sondern auch parallel zur Oberfläche aus: diese Haftfestigkeit gegen Schub spielt praktisch vielleicht eine größere Rolle als jene gegen Zug. Wenn davon gesprochen wurde, daß im Gebiete der Grenzreibung die Widerstände bei höheren Geschwindigkeiten größer würden, ist die Frage, bei welchen Geschwindigkeiten sich diese Änderung der Reibung bemerkbar macht.

Zur Frage des Wirkungsbereiches von Grenzkraften gibt es sehr verschiedene Angaben. Bei Tastversuchen mit Glasfil-

tertiegeln G_4 zeigte sich, daß schon Zusatz von 0,1% Fettöl (Ölsäure) die Durchlaufmenge verringert, und zwar in Abhängigkeit vom ursprünglichen Öl. Am stärksten war dies bei Aero Shell mittel zu beobachten, etwas weniger bei Rotring, dagegen auffälliger Weise überhaupt nicht bei Grünring und bei einem vorerst über Aluminiumoxyd filtrierten Paraffinöl, das eigentlich am stärksten hätte reagieren müssen. Die Zähigkeit wird dabei kaum verändert, Staub kann keine Rolle spielen. Die Wirkung der Oberflächenkräfte reicht also soweit, daß man sie mit so einfachen Mitteln entdecken kann. Sind ähnliche Versuche an anderen Stellen gemacht worden und welches sind die Vorstellungen über die Reichweite der Oberflächenkräfte?

Wolf: Die unmittelbare Reichweite der Oberflächenkräfte beträgt einige Angström, doch wirken die induzierten Kräfte sich in einem Ordnungszustand aus, der wesentlich weiter reicht. Man kann den Vergleich mit einer Reihe von Menschen machen, die sich gegenseitig halten; obwohl ihre Reichweite nur der der Arme entspricht, ist die ganze Reihe durch das gegenseitige Festhalten geordnet.

Kluge: fragt, wie sich diese Ordnungszustände an technischen Flächen auswirken, die nicht geometrisch einwandfrei eben sind. Verschiebung auf Äquipotentialeflächen gibt es dabei nicht.

Dunken: Versuche mit dem Verstopfen von Kapillaren sind schon häufig gemacht worden. Die Abnahme der Filtriergeschwindigkeit wurde durch Verstopfen der Poren mit Staub erklärt, doch müssen exakte physikalisch-chemische Versuche zur Beurteilung der Verhältnisse vorliegen. - Die Auswirkung des Krümmungsradius von Oberflächengebieten auf den Schmelzpunkt von Stoffen kann in diesem Falle bei 10^{-5} etwa 1 bis 2°C betragen, also schon merklich werden. Ist man eben über der Temperatur des Schmelzpunktes, so kann dadurch die Krümmung zuwachsen und zur Verstopfung führen.

Ernst Schmidt: Über Wärmeleitfähigkeit von Ölen wurden Versuche in Braunschweig durchgeführt. Dabei kam die im Jahrbuch der deutschen Luftfahrtforschung 1939 II S.60, E.u.R.Schmidt, "Wärmeleitfähigkeit u. einige andere thermische Eigenschaften von Äthylenglykol" beschriebene Apparatur zur Verwendung. Das Ergebnis zeigt folgende Abbildung:

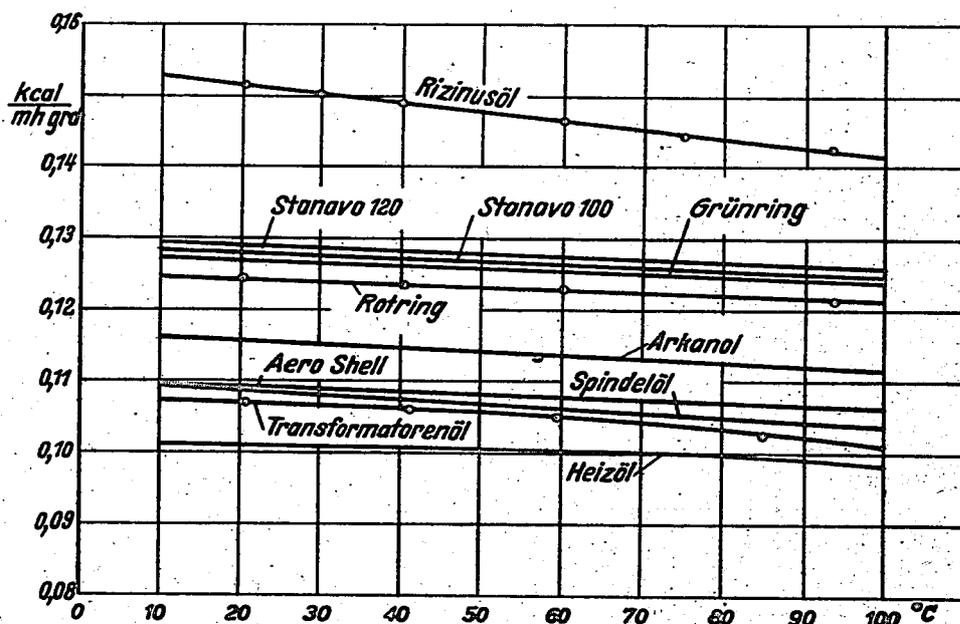


Abb.: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Öle.

Vogelpohl: Ich bin über diese Ergebnisse sehr erfreut, weil ich dadurch eine langgesuchte Aufklärung für die gute Schmierwirkung des Rizinusöles finde. Im allgemeinen schließt man die Hydromechanik da ab, wo der Einfluß der Erwärmung auf die innere Reibung beginnt. Berücksichtigt man dies, so kommt neben der Zähigkeit auch das spezifische Gewicht, die spezifische Wärme und die Steilheit der Temperatur-Viskositätskurve in die Rechnung hinein und weiterhin die Wärmeleitfähigkeit. Das Rizinusöl hat nun die erstgenannten Eigenschaften in der gleichen Weise wie bestimmte Mineralöle, aber erheblich bessere Schmierwirkung. Die große Wärmeleitfähigkeit weist daraufhin, daß ein Schmierfilm aus Rizinusöl zäher bleibt als einer aus Mineralöl, da eine größere Wärmemenge an die Umgebung abgeleitet wird.

Fritz: Es sei darauf hingewiesen, daß Versuchsdaten über die Wärmeleitfähigkeit einer Anzahl von Ölen, z.B. Rizinusöl, Petroleum, Spindelöl, Transformatoröl, Zylinderöl, Flugmotorenöl, im Temperaturbereich 0 bis 100 bzw. 200°C in den "Wärmetechnischen Richtwerten" der Reichsanstalt (VDI-Verlag Berlin 1938) veröffentlicht sind. Diese Daten sind zum großen Teil zuverlässigen amerikanischen Messungen entnommen, teils stammen sie aus Messungen der Reichsanstalt. Soweit es sich übersehen läßt, stimmen die Angaben in den Richtwerten und die neuen Messungen von Prof. Schmidt gut überein.

Vortrag: Dunken

Morphen: Haftfestigkeiten an festen Stoffen sind schwer bestimmbar. Könnte man nicht zum mindesten die relative Haftfestigkeit verschiedener Stoffe an festen Stoffen bestimmen, indem z.B. aus einer Lösung, die zwei Stoffe in gleicher, geringer Menge enthält, der Stoff, welcher das größere Bestreben hat, an eine - in Form von Spänen, Pulver oder ähnl. - zugefügte Metalloberfläche zu gelangen, von dieser herausgenommen würde. Dann ließe sich durch Messung der Grenzflächenspannung der verbleibenden Flüssigkeit auf die tatsächliche Zusammensetzung derselben schließen. Man würde so ein gewisses Maß dafür erhalten, ob die Reihenfolge der Grenzflächenspannung und Haftfestigkeit an festen Körpern und an Flüssigkeiten (Hg) gleichsinnig ist.

Dunken: Die Haftfestigkeit an festen Körpern zu bestimmen, wurde von uns auch schon versucht. Aus der Konzentrationsabhängigkeit der Grenzflächenspannung wurde auf die Haftfestigkeit geschlossen. Wir haben eine Zunahme der Haftfestigkeit in der Reihenfolge Methanol, Äthanol, Butanol und Pentanol gefunden. An festen Metallen kann man so verfahren, wie eben erwähnt wurde. Man kann dazu statt der Grenzflächenspannung ein anderes analytisches Mittel benutzen, wie Brechungsindex usw., die geeigneter erscheinen. Wir haben an chemisch reinstem Eisen die gleiche Reihenfolge der Adsorbierbarkeit gefunden wie an Quecksilber. Zu berücksichtigen ist jedoch, daß an technischen Metallen

die Oberfläche nicht metallisch ist, was zu einer Umkehrung der Reihenfolge führen kann. Oberflächenkräfte kann man auch aus der Adsorptionswärme messen.

Morphen: Ist es nicht möglich, die Reichweite der adsorbierten - orientierten - Schicht durch Messung der Diffusionsgeschwindigkeit zu ermitteln, indem man die Zeit mißt, die ein zugesetzter aktiver Stoff braucht, um durch die orientierte Schicht an die Grenzfläche zu gelangen?

Dunken: Dazu kann man wohl verschiedene Methoden anwenden.

Morphen:
Es ist noch die Möglichkeit einer gegenseitigen Spitzenberührung zweier aufeinandergelegter Metallflächen zu erörtern. Die unmittelbar adsorbierten Moleküle können, wie heute bereits erwähnt wurde, am Metall verschoben werden. Inwieweit ist dies möglich, wenn eine Fläche voll besetzt ist? Könnte man sich eine Verschiebung nicht auch so denken, daß eine Aufstauung eintritt, die eine geringere Arbeit erfordert als ein Loslösen, etwa eine Aufwellung von $1/10 \text{ \AA}$ oder ähnl. (Strukturabhängig)

Harms: Weist auf die Versuche hin, die in Halle durchgeführt werden, bei denen kleinste Quecksilbertröpfchen durch ein Rohr fallen, welches ein Gemisch zweier Stoffe enthält, Ist der eine Stoff aktiver und wird bevorzugt adsorbiert, so tritt ein meßbares Konzentrationsgefälle zwischen Rohr und Auffanggefäß ein. Auch die Temperaturabhängigkeit der Adsorption kann bestimmt werden, ebenso die Adsorption an festem Quecksilber. Diese Versuche geben auch die Möglichkeit, auf die Benetzungszahl und Schichtdicke zu schließen.

Seelich: Ähnliche Versuche wurden vor 15 Jahren von Trillat mit Metallkugeln gemacht. Die Haftfestigkeit kann nur bei reinen Stoffen mittels der Gleichung von Dupré bestimmt werden, bei Gemischen von polaren Stoffen in apolaren Lösungsmitteln, wo die Oberflächenspannung in erster Linie durch

das apolare Lösungsmittel gegeben ist, treten aber Schwierigkeiten auf, (besonders bei Schmierölen) sodaß sie darauf nicht anwendbar ist.

Dunken: Das stimmt. Ich bin jedoch dieser Schwierigkeit aus dem Wege gegangen, indem ich die Haftfestigkeit von reinen Stoffen bestimmt habe und dann die Konzentrationsabhängigkeit der Grenzflächenspannung.

Seelich: Ja, aber von der Konzentrationsabhängigkeit der Grenzflächenspannung kann man nicht direkt auf die Haftfestigkeit schließen.

Dunken: Qualitativ ist es wohl zulässig.

Heidebroek: Zu den Ausführungen von Prof. Schmidt ist zu sagen, daß wir bei einigen hochmolekularen Ölen erstaunlich hohe Wärmeleitfähigkeit festgestellt haben. Allerdings mit groben Mitteln. Ist dies auch von anderer Seite beobachtet worden?

Lorenz: weist darauf hin, daß im Institut von Prof. Schmidt, Braunschweig, Versuche über die Messung der Wärmeleitfähigkeit unter dem Einfluß von Strömungskräften durchgeführt werden. Es handelt sich dabei um einen Ölspalt zwischen einem zylindrischen Bolzen und einer Büchse; die Wärme geht normal zum Zylinder durch den Bolzen, die Ölschicht und Kühlwand. Die experimentellen Schwierigkeiten sind sehr groß. Es sieht so aus, als ob mit zunehmender Scherkraft die Wärmeleitfähigkeit etwas abnehmen würde.

Morghen: Die Haftfestigkeiten, die von Dunken angegeben wurden, beziehen sich nur auf die Grenzfläche Metall(Hg)-Schmierstoff. Haben wir nun eine Metallplatte mit einem Schmierfilm und legen eine zweite darauf, so macht sich das Kraftfeld der letzteren ebenfalls bemerkbar und zwar in der Weise, daß die effektive Haftfestigkeit der Schmierstoffmoleküle in bezug auf die erste Platte abnehmen wird. Gerade

diese Haftfestigkeit ist aber von Interesse (Grenzreibung) und zwar bei Vorhandensein von z.B. bi- bis monomolekularen Schichten.

Vortrag: Siebel

Waltnitzky: Metallflächen bestehen aus Kriställchen verschiedener Härte. Härtere Kristalle tragen die weichen ab. Atomare Abtragung könnte nur bei chemisch reinen Stoffen auftreten, während techn. Werkstoffe keine atomare Schicht gleicher Art haben.

Siebel: Auch bei einer solchen Abtragung muß man sich doch eine Vorstellung davon machen, wie sie erfolgt.

Buske: Können durch Oberflächenpressungen Temperaturen auftreten, die ein Schmelzen der Metallpartikelchen bewirken?

Siebel: Es ist denkbar, hängt aber von der Geschwindigkeit ab.

v.Philippovich: Es gibt Versuche von Bowden u. Ridler, bei denen die Temperatur der Schmelzpunkte erreicht wurde. Es ergab sich dann kein richtiger Verschleiß.

Heidebroek: Die Angabe von Dr. Dunken, daß der Schmelzpunkt von dem Krümmungshalbmesser abhängt, erscheint mir sehr wichtig.

Buske: Die Schmelzpunktänderung beträgt nur 1 bis 2 Grade C. Dies dürfte also im allgemeinen keine Rolle spielen.

Wolf: ¹⁾ Man sollte deshalb zur Klärung der früher angeschnittenen Fragen Messungen an Einkristallen heranziehen. Diese haben an verschiedenen Flächen und Kanten verschiedene Härte, sodaß z.B. ein gewöhnlicher metallischer Werkstoff gar nicht gleichmäßig sein kann.

v.Philippovich: Wie stellt man sich vor, daß die Reibung in Luft wesentlich größer ist als in Stickstoff oder Sauerstoff?

Siebel: Eine starke Verminderung des Reibungsbeiwertes ist bei den Versuchen in Kohlensäure aufgetreten. Diese Erscheinung

1) Ein metallischer Werkstoff besteht aus vielen verschiedenen gelagerten Kriställchen.

nung dürfte auf die Bildung einer adsorbierten Gasschicht zurückzuführen sein. Die Ursache für die wesentlich geringere Verminderung der Reibung bei den Versuchen mit Stickstoff und Sauerstoff gegenüber den Versuchen in Luft dürfte in einer Veränderung der gleitenden Flächen zu suchen sein.

Bartel: weist auf die Arbeiten von Kaube (Diss. Dresden 1930) und Bikerman hin, welche beobachteten, daß Endmaße, die ja maximal feinst bearbeitete Flächen haben müssen, bei Gegenwart polarer Stoffe schlechter ansprengen als mit unpolaren. Ohne Zwischenschicht sprengen sie überhaupt nicht an. Hardy gab ein Gemisch von polaren und apolaren Stoffen zwischen zwei Endmaße; der polare trat aus und der apolare blieb zwischen den Flächen, was eine Verkürzung der Endmaßlänge erbrachte. Das Ansprengen ist auch stark abhängig vom Material (Ni, Al, Fe, usw.).

Wolf: Es ist nicht gesagt, daß polare Stoffe grenzflächenaktiver sein müssen als apolare. So geht z.B. bei einem Gemisch von Alkohol und KW bei gleicher Kettenlänge zwar der Alkohol (polarer Stoff) an die Grenzfläche; wenn der KW jedoch die längere Kette hat, geht dieser an die Grenzfläche.

Stuart: Zur Frage der Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Druck: Bridgeman hat an organischen Stoffen Schmelzpunkterhöhungen von 20 bis 60°C bei Drücken von einigen 1000 at beobachtet.

Lorenz: weist darauf hin, daß gerade Endmaße nicht allerfeinst bearbeitet werden, damit ihre Lebensdauer nicht so stark verkürzt wird. (Wegen des Auftretens zu hoher Ansprengekräfte).

Bartel: Die von mir erwähnten Versuche sind nur qualitativer Natur. Die chemische Reinheit der verwendeten Stoffe stand nicht fest.

Vortrag: Heidebroek und Bartel

Kluge: Die Verringerung der Reibung bei Ölen größerer Zähigkeit ist im Teilschmierungsgebiet verständlich, denn man befindet sich im absteigenden Ast der Stribeck'schen Kurve. Befände man sich im hydrodynamischen Gebiet, so müßte mit zunehmender Zähigkeit die Reibung zunehmen.

Teilschmierung, wie sie bei den Versuchen auftrat, ist die Überdeckung des Grenzflächenvorganges, wie er in reinster Form in der Grenzschmierung auftritt, durch hydrodynamische Vorgänge; selbstverständlich können neben den hydrodynamischen auch noch molekularphysikalische Erscheinungen zum Ausdruck kommen.

Heidebroek: Es handelt sich hier um Zahnradversuche, bei denen von der Grenzschmierung angefangen alle Arten der Schmierung und sehr hohe Belastungen bei gleichzeitig sehr kleinen Geschwindigkeiten (Null am Teilkreis!) vorkommen. Diese Einflüsse zusammen ergeben den Gesamteffekt, dessen Aufklärung weiter verfolgt wird.

Fritz: Zähigkeit ist nur für Flüssigkeiten im üblichen Sinne eine Stoffeigenschaft, d.h. wenn die freie Beweglichkeit der Moleküle besteht. In Kapillaren, gleich, ob aus Glas oder Metall, bedeckt eine festhaftende adsorbierte Schicht die Wand, die Bewegung findet aber nur in der Flüssigkeit statt und damit praktisch gesehen auch die Erscheinung der Zähigkeit.

Buske: Von den verglichenen Lagerwerkstoffen Kunstharze und Weißmetall hat das erste großes Quellvermögen und einen hohen Wärmedehnungskoeffizienten, sodaß die Kaltspiele keine Schlüsse auf die Warmspiele zulassen.

Heidebroek: Aber gerade das Kunstharzlager, das quillt und enge Spiele ergibt, hat hohen Durchfluß, dagegen das Weißmetallager, das nicht quillt und weite Spiele aufweist, geringen Durchfluß.

Lorenz: Die Temperaturmessung ist sehr schwierig und müßte für Oberflächen und für Schmierfilm eingehend untersucht werden.

Pfänder: Der zeitliche Verlauf, die Umkehr der Bewegungsrichtung und die Form der gegeneinanderdrückenden Zahnflanken mit ihrer schlechten Schmiegun \ddot{u} nehmen bei Zahnrädern die Zeitbeständigkeit des Ölfilmes unter hoher Pressung in Anspruch. Da wegen der radial wirkenden und in ihrer Bewegungsrichtung wechselnden Verschiebekräfte und der mit ihnen verbundenen elastischen Formänderung der Zahnflanken der Zähne und der Zahnradwelle die zeitliche Umkehr einen endlichen Wert annimmt, ist zu erwarten, daß eine mit steigender Ölzähigkeit wachsende Zeitbeständigkeit des Ölfilmes an der Umkehrstelle zu geringerem Verschleiß führt.

Buske: Es ist erstaunlich, daß der Wert für h_0 immer verschieden ist, da doch bei gleich gut bearbeiteten Lagern das Blocken der Maschine bei demselben h_0 eintreten müßte.

Heidebroek: Das wurde ja gerade festzustellen versucht. Bei Verwendung immer derselben Lagerschale und Vergleich der Öle unter Berücksichtigung der Zähigkeit bei der Meßtemperatur erhält man einen Rechnungswert für den engsten Spalt.

(Buske: Die Druckabhängigkeit der Zähigkeit müßte aber berücksichtigt werden. Heidebroek: Bei sehr hohen Drücken müßte man das tun, aber nicht im Gebiet bis 300 atm, da ist der Einfluß noch recht gering.-) Um nur gemessene Werte zu verwenden, bezieht man nun den Ausdruck für die Tragfähigkeit $F_t = \frac{\text{Const.} \cdot h_0}{n_0}$ auf die "tragende" Ölmenge im Scheitel

des Druckberges und erhält so durch Teilung von F_t durch Q_0 den Wert:

$$F_q = \frac{\text{Const.}}{n^2_{\text{min}}}, \text{ der wegen der Anparatekonstanten allerdings nur unter Beziehung auf ein Vergleichsöl Bedeutung erhält.}$$

Lorenz: Sind keine Fehler durch Schwingungen in die Messung gekommen?

Heidebroek: Nein, denn diese treten bei der verwendeten Konstruktion nur bei ganz geringen Geschwindigkeiten auf, und

es wird ängstlich vermieden, von dem Verhältnis der Schwingungsgrößen abzuweichen, die bei der von Schenk in Darmstadt gebauten Waage vorliegen.

Bartel: fand, daß der Resonanzbereich der Waagen stark streute; manche Waagen pendelten gar nicht, eine dagegen so sehr, daß sie unverwendbar war. - Bezüglich Druckzähigkeit und Viskositätsabnahme ist zu sagen, daß infolge der adiabatischen Erwärmung bei der Verdichtung in den Zahnflanken nach Linke unter Umständen der ganze Druckzähigkeitseinfluß kompensiert werden kann.

v. Philippovich: In der Arbeit von Linke bleibt trotz einer Verringerung der Zähigkeit infolge von Erwärmung noch immerhin eine wesentliche Zunahme der Zähigkeit durch den Druckeinfluß bestehen.

Vortrag: Kluge, Eicke u. Bochmann

Dir. Möller: Das in der PTR bearbeitete Schmierungsgebiet ist ein Teil, von dessen Bedeutung für den gesamten Komplex noch nichts Genaues gesagt werden kann. Die Präzision der Messungen ermöglicht nunmehr eine physikalische Bedeutung der Vorgänge, deren Wesen ja noch zu klären ist. Was Schmierfähigkeit ist, wollen wir erst definieren können; dies wird durch die vielfachen schon eingangs von Dr. v. Philippovich erwähnten Einflüsse erschwert, von denen die Lebensdauer eine sehr wesentliche ist. Die Versuche der PTR gaben nun ja gewisse Parallelen zu praktischen Ergebnissen an Kolbenringen und Maschinengewehren, bei denen auch Grenzreibung herrscht, aber eine Übertragung dieser Versuche, z.B. auf die Uhrenschmierung, würde starke Schwierigkeiten machen. Denn Uhren haben Passungen wie Landmaschinen, größere spezifische Belastungen, als sie im Großmaschinenbau auftreten und dabei die Forderung nach größter Lebensdauer, d.h. geringster Alterung und Korrosion. Deshalb dürfte man für die nächsten Jahre noch zu keiner wirklich einheitlichen Definition des Begriffes Schmierfähigkeit gelangen;

wohin man kommen kann und muß, ist die Charakteristik der einzelnen Betriebszustände und die Aufstellung gewisser Anforderungen dafür. Die - vor allem meßtechnisch vorgehende - Forschung kann allerdings zusehen, ob sie auf einzelnen Teilgebieten reproduzierbare Verhältnisse zur Charakteristik der Schmiermittel erhält, d.h. unter ganz verschiedenen Zeitläuften und Versuchsaufbauten immer die gleichen charakteristischen Werte, Kurven usw. In diesem Sinne ist es so erfreulich, festzustellen, daß auf der einen Seite von der Frage der Grenzkräfte her, auf der anderen durch die Arbeiten der PTR auf dem Gebiete der Grenzschmierung meßtechnisch exakt zu bewertende Ergebnisse vorliegen.

Heidebroek: Herr Möller hat sehr schön die Probleme zusammengefaßt, die eine Definition der Schmierfähigkeit erschweren, ja unmöglich machen. Damit soll nicht der niederschmetternde Eindruck entstehen, daß wir nach all den Vorträgen genau so wenig wie zuvor wissen, was Schmierfähigkeit ist. Denn durch die PTR ist nunmehr wenigstens ein Schmierzustand sauber herausgearbeitet worden, nur darf man aus diesen Ergebnissen nicht auf die Schmierfähigkeit generell schließen, wie das ja auch Herr Möller schon betonte. Es gibt wohl überhaupt keinen exakten Begriff der Schmierfähigkeit, und er wird auch nie definierbar sein. Sondern es gibt nur, analog der Festigkeitslehre eine angewendete Schmierfähigkeit, d.h. auf einen bestimmten Zustand bezogene. Mehr wird wohl nie erreichbar sein; dieses Teilziel wird aber von den Grenzflächenkräften her und dank Arbeiten, wie denen der PTR und unseren eigenen, erreicht werden können. Vor allem für die Schmierstoffsynthese ist das von großer Bedeutung.

Gießmann: Für den praktischen Ingenieur enthalten die Ausführungen von Herrn Kluge einige, man kann sagen, verblüffende Dinge, vor allem bezügl. des Verschleißverhaltens von fetten und von mineralischen Ölen. In der Luftfahrt herrscht traditionell die Vorstellung, daß gefettete Öle außer ande-

ren, unangenehmen, besonders gute Notlaufeigenschaften haben. Deshalb ist es nicht recht verständlich, daß die Öle mit dem geringeren Reibungskoeffizienten höhere Abnutzung ergeben sollen. - Außerdem werden die Versuche der PTR bei 20°C durchgeführt; sie müßten auch bei einer Temperatur gemacht werden, die jener des Motors entspricht, weil erst dann die Grenzschmierung in den Motoren eintreten dürfte.

Morghen: Welche Abhängigkeit besteht zwischen Verschleiß und Druck und sind Versuche bei sehr hohem Druck gemacht worden? Vielleicht können solche Versuche die Art des Überganges der PTR-Grenzreibung zur trockenen Reibung klarstellen.

Kluge: Zur Beruhigung der Praktiker sei gesagt, daß das untersuchte gefettete Öl nach Motorversuchen im Institut für Betriebstofforschung der DVL tatsächlich einen geringeren Verschleiß ergibt als das mineralische. Bei Grenzschmierung war trotz geringerer Reibung der Verschleiß beim fetten Öl größer. Die Brücke zwischen beiden Ergebnissen bildet die Annahme, daß die stärkere Abtragung bei Grenzschmierung (die ja einen Idealfall darstellt) gleichbedeutend ist mit der Eigenschaft des Öles, eine gute Einlauffläche zu schaffen. Denn beim Einlaufen berührt diese Fläche zunächst nur an einzelnen diskreten Stellen und gerade an diesen Stellen fester Berührung wird nahezu die ganze Belastung aufgenommen, d.h. diese Flächen erfahren eine große Beanspruchung. Wenn nun das Öl die Eigenschaft besitzt, diese wesentlich tragenden Stellen zu glätten, sodaß Nachbarstellen anfangen mitzutragen, so wird naturgemäß die Druckverteilung gleichmäßiger werden, d.h. die Stellen, die wirklich eine Belastung aufnehmen, haben nicht mehr die große Beanspruchung wie im Anfangszustand. Damit ist aber die Verschleißgefährdung infolge hoher Beanspruchung bei den einzelnen Stellen fester Berührung weggenommen, außerdem kann noch infolge der gleichmäßigeren Druckverteilung zusätzlich eine Filmbildung eintreten, d.h. die Bedingungen für

den Übergang von der Grenzschmierung zu der Teilschmierung sind eben damit günstigere geworden. Auf diese Erklärung, die ich verschiedentlich anderen Stellen zur Kritik im kleinen Kreis gegeben habe, wurde vielfach entgegnet, dann könnte man also erst ein Öl nehmen, das diese Fläche glättet und dann brauchte man nicht mehr ein gutes Öl, sondern könnte auch ein schlechtes Öl nehmen. Dazu ist aber zu sagen, daß jede techn. Lagerfläche ja unter stoßartigen Beanspruchungen arbeitet, d.h. also, wenn die Fläche einmal geglättet ist, so wird sie durch Stöße und Schwingungen oder auch durch Verunreinigungen wieder an einzelnen Stellen neu aufgeraut, die eben nach Möglichkeit schnell wieder eingeglättet und eingelaufen werden müssen. Die Beziehungen zwischen Verschleiß und Drücken sind bisher nicht untersucht worden; die Messung selbst ist bis zu 150^oC durchzuführen.

Holm: Gut haftendes Öl kann fester am Metall haften, als es selbst zusammenhängt. Durch diese Zusammenwirkung von Zähigkeit und Haftfestigkeit (Schmierfähigkeit) reißt es aus dem Metall mehr Teilchen heraus als mineralisches Öl, das weniger haftet.

Seelich: Es ist die Frage, ob die Abtragung nicht doch auf einem chemischen Effekt beruht, nämlich der oberflächlichen Bildung von Metallseifen. Unter den Bedingungen der Grenzreibung könnten diese Seifen immer wieder abgetragen werden, sodaß auch immer wieder neue reaktionsfähige Flächen auftreten und der "Verschleiß" weitergeht, während im technischen Vorgang nach der Ausbildung einer hydrodynamischen Schmierschicht infolge der Abtragung die Metallseifen, die an der Oberfläche entstanden sind, an Ort und Stelle bleiben, sodaß der Verschleiß nicht weiter geht.

Heidebroek: Findet Herr Holm Ähnlichkeiten zwischen seinen Kreuzdrahtversuchen und den Ergebnissen der PTR?

Holm: Nicht eine vollkommene, denn bei meinen Versuchen wurde der Druck der wirklich berührenden Oberflächen ge-

messen. Dies war wohl nicht der Fall bei den PTR-Versuchen?

Kluge: Bisher nicht. Statt dessen wurde die Oberflächenrauigkeit verändert, die aber die Reibung im Zustand der Grenzschmierung nicht beeinflusste. Wesentlich sind nur Temperatur und Natur des Werkstoffes.

Holm: Dies entspricht den Ergebnissen der Kreuzdrahtversuche.

Vogelpohl: Die Zurückführung der vielen möglichen Faktoren auf einige wenige (Werkstoff, Temperatur für dasselbe Öl) ist sehr beachtenswert. Bei der Abnutzungsmessung ist auch die Rauigkeit selbstverständlich von Einfluß.

Kluge: Zur Frage der Abnutzung sei ergänzt, daß sie bei Grenzreibung nicht als Verschleiß, sondern als zusätzliche chemisch-physikalische Feinstbearbeitung anzusprechen ist.

Vogelpohl: Zu den PTR-Versuchen der Grenzreibung in Reinkultur wäre zu erwähnen, daß bei Ölen, die ganz geringe Mengen Fettsäuren enthalten, an der Wand eine Konzentrierung der Säure eintritt. Deshalb wirkt auch ein größerer Zusatz sich reibungsmäßig nicht aus, weil nämlich auf jeden Fall durch die an der Wand erreichte Säurekonzentration leichter Abbau der Metallteilchen, d.h. geringere Reibung und gleichzeitig größere Abnutzung bewirkt wird. Zusatz von Säure ist deshalb kein Heilmittel für einen krankhaften Zustand, sondern ein Narkotikum.

v. Philippovich: Früher unterschied man zwischen physikalischer Schmierung bei niedrigen und chemischer Schmierung bei sehr hohen Temperaturen und Drücken. Bei der ersten sollte eine schützende Molekülschicht bürstenartig adsorbiert werden, während bei der zweiten die Oberflächen chemisch verändert werden und infolge veränderter Festigkeitseigenschaften ein leichteres Abtragen bewirken, genau so, wie es jetzt auch für die "physikalische" Schmierung angenommen wird. Ob die Schmierwirkung nunmehr als chemisch, physikalisch, chemisch-physikalisch oder sonstwie bezeichnet werden soll, ist ungeklärt, jedenfalls scheint der ge-

machte Unterschied nicht zu bestehen. - Was den Begriff der Schmierfähigkeit anbelangt, sehe ich keine Schwierigkeiten. Denn in den angenommenen Definitionen ist ja Schmierfähigkeit als Schmiereignung im Gebiete der Grenzschmierung bezeichnet! Wir brauchen also eigentlich nur das, was bereits als Begriffsbestimmung angenommen ist, selber ausdrücklich noch einmal festzustellen. Und bleiben wir bei dem, was wir selbst festgelegt haben, so sehe ich überhaupt keine andere Möglichkeit, als die Ergebnisse der PTR als gleichbedeutend mit Schmierfähigkeit zu erklären, selbst wenn bisherige Vorstellungen über den Haufen geworfen werden. Denn die erwähnten Veränderungen von Werkstoff, Öl und Schmierstelle werden bei den PTR-Versuchen ja weitgehend vermieden, weil wir uns definitionsgemäß im Gebiete der reinen Grenzreibung befinden müssen, um reproduzierbare Werte zu erhalten. Gibt man das zu, dann ist aber unter Schmierfähigkeit die Eigenschaft zu verstehen, im Grenzreibungsgebiet Reibung und/oder Verschleiß zu verringern, (damit diese beiden Auswirkungen auch einmal zum Ausdruck kommen). Man könnte andererseits soweit gehen, Schmierfähigkeit als jene Eigenschaft zu bezeichnen, die bei zunehmender Belastung einen früheren Übergang von der Grenz- zur Teil-, und von der Teil- zur Vollschrnerung ergibt. Diese Definition würde für die chemische und die physikalische Schmierung zutreffen, sodaß ich dies zur Diskussion stelle.

Pfänder: Die Verschleißgeschwindigkeit als die auf den zurückgelegten Gleitweg bezogene Höhenabtragung des Verschleißkörpers ist bei den Versuchen von Herrn Kluge etwa von der Größe 10^{-5} /mm. Beobachtungen an Lagerstellen in der Praxis ergaben aber selbst bei häufig unterbrochenem Betrieb nur Werte von 10^{-8} bis 10^{-10} ; bei guten Lagern im Dauerlauf noch kleinere Werte bis 10^{-15} . Der Unterschied dieser Werte kann zeigen, daß die geschilderte Prüfung den Bereich der Grenzreibung erfaßt; es ist aber vielleicht doch nicht ganz sicher, ob nicht die lamellaren Zementiteinlagerungen der Perlit-Gußeisens einen ritzenden Ver-

schleiß mit Abtragung verhältnismäßig großer Teilchen in der von Siebel erwähnten Art mitbedingen. Unter diesen Umständen müßten wohl Folgerungen über Einlaufverschleiß und die spätere Wirkung der abgescherten Teilchen im Dauerbetrieb zunächst nur auf die untersuchte Werkstoffpaarung beschränkt bleiben.

Lorenz: Wie war die Temperaturmessung? Man muß ja unterscheiden zwischen örtlicher Höchsttemperatur und Massentemperatur, wie es Block tat. Bei Messung der Spitztemperatur könnte man nicht auf das Verhalten des Ölfilms schließen, der ja in seiner Hauptmenge viel kühler ist. - Weiter würde ich gerne wissen, ob die Menge des aufgetragenen Öles eine Rolle spielte.

Kluge: Wir messen nur die mittlere Temperatur in der Gleitfläche und nicht einen Temperaturblitz, die Erhöhung beträgt etwa 2°C. Einzelheiten besprechen wir gerne gesondert in der PTR, um hier nicht zu viel Zeit zu verlieren. - Die geringe Schwingungszahl der Versuchsanordnung wurde durch geeignete Abmessungen und Massen erreicht. - Die aufgetragene Menge spielte weder bei Ölen noch bei fettartigen Stoffen eine Rolle. Die angewendete Reinigung der Flächen bestand stets in einer Neubearbeitung und nachherige Abwaschung mit Benzin.

Heidebroek: Herr v. Philippovich hat uns die Pistole auf die Brust gesetzt, um zu einer Definition der Schmierfähigkeit zu gelangen. Ich halte dies aber trotz der außerordentlich interessanten Ergebnisse der Reichsanstalt nicht für möglich. Diese Meßergebnisse selbst schon als Unterlagen zur Bestimmung der Schmierfähigkeit zu verwenden, halte ich für sehr verfrüht. Die Einbeziehung des μ -Wertes ist aber besonders gefährlich, weil alle die verschiedenen gemessenen Werte gar nichts miteinander zu tun haben. Es ist wohl besser, wenn die Ergebnisse der heutigen Tagung etwas überdacht werden und dann nach dem Vorschlag von Herrn v. Philippovich ein engerer Ausschuß sich über diese Begriffsbestimmung einigt und bei der nächsten Tagung darüber be-

richtet. Ich persönlich glaube nicht, daß wir überhaupt zu einer Definition der Schmierfähigkeit jemals kommen werden, es sei denn zu einer auf einen bestimmten Fall bezogenen, z.B. einer für die Kolbenringreibung und einer für die Gleitlagerreibung.

v. Philippovich: Ich bin nur dafür, die von uns selbst festgelegten Begriffsbestimmungen auch anzuwenden; ohne daß eine bestimmte Apparatur, wie z.B. die der PTR als allein seligmachend bezeichnet oder über die Auswirkung auf die Praxis irgend etwas festgelegt wird. Da aber die Reibung- und die Verschleißverringerung praktisch ganz anders verlaufen als im Gebiet der Grenzreibung, müßte man dann darauf aufmerksam machen, daß die Anwendung der Ergebnisse auf die Praxis sinngemäß erfolgen muß.

Waltnitzky: Die Abtragung kann chemisch oder chemisch-mechanisch vor sich gehen. Ist sie chemisch, so müßte das durch Röntgenstrahlen erfaßt werden können, wie es bei Arbeiten im VDI geschah.

Krienke: Die Frage der Begriffsbestimmung ist von der Apparatur der PTR zu trennen. Die Übertragbarkeit der mit dem PTR-Gerät erzielten Ergebnisse muß sowieso untersucht werden, wichtig ist dagegen, daß man endlich zahlenmäßige und reproduzierbare Werte erhält, selbst wenn die Versuchsbedingungen derartige sind, daß sie praktisch kaum auftreten.

Reidebroek: Unter eigentlichem Schmiervorgang verstehe ich einen, bei dem entsprechend der Praxis Grenz-, Teil- und Vollschrnerung komplex auftreten. Darauf das Ergebnis der Messung eines einzigen Schmierzustandes anzuwenden, wie z.B. der Grenzschrnerung, ist bedenklich, weil sich dabei rein molekular-physikalisch betrachtet, strukturelle und andere Eigenschaften noch unübersichtlicher auswirken können als im komplexen Schmiervorgang. Ich fürchte, daß bei einer übereilten Festlegung der Begriffsbestimmung der Fall eintreten kann, daß praktisch noch ganz andere Eigenschaften eine Rolle spielen, als wir auf Grund der Ergebnisse

der PTR-Maschine jetzt annehmen.

Krienke: Es handelt sich doch um das Problem, feste Beziehungen zwischen Prüfmaschine und Praxis zu erhalten. Ist dies möglich, dann haben die Prüfwerte wesentliche Bedeutung, unbeschadet der Art ihrer praktischen Deutung im Einzelfalle.

Waltnitzky: Bei praktischen Vorgängen der Grenzschmierung, wie M.G.-Schmierung, stimmten die an der Waffe erzielten Ergebnisse mit den Versuchen der PTR überein.

v. Philippovich: Wenn wir schon einmal gesagt haben, Schmierfähigkeit ist die Schmiereignung im Gebiete der Grenzreibung, das aber jetzt nicht weiter festlegen wollen, würde ich vorschlagen, bei Anwendung des Wortes Schmierfähigkeit einen Index zu setzen, ob es als reibungs- oder als verschleißverringende Eigenschaft gemeint ist, damit Verwechslungen dieser beiden Möglichkeiten verhindert werden.

Vogelpohl: Der Vorschlag von Herrn Heidebroek, Schmierfähigkeit als einen relativen Begriff zu verwenden, ist sehr angebracht. Historisch wurde die Schmierfähigkeit immer als reibungsverringende Eigenschaft verstanden; 1914 legte man die Zähigkeit bei 50°C zugrunde, ohne die Temperatur der Meßstelle zu berücksichtigen, 1923 kam dann Herschel und setzte gleiche Zähigkeit im Viskosimeter und an der Meßstelle voraus, schaltete allerdings bewußt die Druckabhängigkeit der Zähigkeit aus. Weitere Analyse des thermischen Verhaltens des Öles bringt noch die spezifische Wärme, das spezifische Gewicht, die Wärmeleitfähigkeit usw. hinein, d.h. ein immer größerer Anteil wird objektiv meßbar werden und wenig relativ bleiben.

Möller: Ich bin nicht grundsätzlich gegen eine Festlegung des Begriffes Schmierfähigkeit, glaube aber, daß er praktisch bereits einen bestimmten Inhalt besitzt, sodaß ein neuer Inhalt Verwirrung schaffen würde. Ein Ausweg wäre, daß man nur Festsetzungen für Schmierwerte nach bestimmten Meßverfahren festlegt, z.B. Schmierwert für das PTR-Verfahren. Für andere Verfahren kämen die farblosen Buchstaben B, C, D, usw. in Betracht, sodaß das Öl in verschiedenster

Weise charakterisiert wäre. Für Waffenöl nähme man dann als Grundlage den A-Wert, für Vollschrnerung den B-Wert usw. Eine solche Bezeichnung würde keine falschen Vorstellungen erwecken, wie z.B. der der Schmierfähigkeit mit dem Index.

Wolf: Der Begriff der Schmierfähigkeit ist historisch bedingt; jeder mag ihn so gebrauchen, wie der Praktiker es tut. Gegenstand der Begriffsbestimmungen ist das Wort Schmiereignung, wobei zugleich der historisch bedingte Ballast des Wortes "Schmierfähigkeit" vermieden wird. Mit dem Begriff der Schmiereignung des Öles, des Werkstoffes und der Schmierstelle für die Fälle der Grenz-, Teil- und Vollschrnerung sind alle denkbaren Fälle erfaßt. Dieses Schema ist also durchaus genügend und ausreichend. (Vgl. Begriffsbestimmungen v.12.11.41).

Krienke: Wie ist aber der normale Sprachgebrauch? Bezieht sich die Schmierfähigkeit danach auch auf Abrutzung und Verschleiß?

Wolf: Als unsere Arbeit vor 3 Jahren im VDI-Ausschuß begann, verstand zunächst jeder fast unter jedem Ausdruck etwas anderes. Jetzt kann Praktiker und Wissenschaftler mit ein paar Worten erfahren, worum es sich handelt.

Heidebroek: Herr Wolf hat alles gesagt, was zur Erfassung des gesamten Bereiches notwendig ist. Die genauere Festlegung des Begriffes Schmierfähigkeit soll in einiger Zeit - etwa 1 bis 2 Jahren - in kleinerem Rahmen vorgenommen werden.

Diskussion zu den Begriffsbestimmungen

("Abgrenzung häufig verwendeter Begriffe der Schmrnerung vom 12.11.1941")

v.Ph. : Gegen die Begriffsbestimmungen sind keine schriftlichen Abänderungswünsche bis zur Tagung selbst eingegangen. Es ist deshalb beabsichtigt, sie in der vorliegenden Form in einer Zeitschrift der Luftfahrt und in der Zeitschrift des VDI zu veröffentlichen.

Tagung am 12.12.41

Vortrag: Buske, Bartel, Halder, v.Soden.

Seeles: Der Vierkugelapparat soll nur zur Untersuchung von Hochdruckschmiermitteln verwendet werden, wofür er ursprünglich entwickelt war. Eigene Untersuchungen ähnlicher Art haben auch gezeigt, daß bei gewöhnlichen Schmierölen sehr starke Streuungen auftraten, während Hochdruckschmiermittel auf 5% genau gemessen werden konnten. Allerdings mißt man vorteilhaft die Durchmesser der Abnützfläche in Funktion von der Belastung. Dann arbeitet der Apparat so genau, daß man z.B. das Chlor des Tetrachlorkohlenstoffes und des Chlorbenzols bei nur 2% Zusatz voneinander durch verschiedene Wirksamkeit unterscheiden kann; für das Hochdruckgebiet hat der Apparat also sicher Bedeutung.

Gießmann: Wurde zu den Versuchen von Buske nur ein Öl verwendet oder mehrere?

Buske: Nur eines. Die Schmierfähigkeit des Öles spielt selbstverständlich bei dem Vorgang eine Rolle, die aber wohl für den Vergleich der Konstruktionen nicht berücksichtigt zu werden brauchte.

Lorenz: Warum wurde Rotring verwendet? Bekommt man da immer dieselbe Qualität:

v.Philippovich: Wenn das heißen soll, gleiche Qualität in allen einzelnen Eigenschaften, kann man die Frage wohl verneinen. Denn gerade auf Schmierfähigkeit wird ja derzeit gar nicht geprüft. Für bestimmte Zwecke kann man sich wohl eine größere Menge Bezugsöl hinlegen, wie es für die Motorversuche erfolgt, wenn man aber an die Schmierfähigkeit und ihre starke Beeinflussung durch geringste Zusatzmengen denkt, ist die Verwendung eines einheitlichen Bezugsöles aus größeren Behältern eine unsichere Sache. Für solche Zwecke müßte man in kleinerer Menge unter Beachtung aller Vorichtsmaßnahmen spezielle Eichöle verwenden. Rotring dürfte sich als Markenprodukt mit den dabei vorkommenden

Qualitätsschwankungen nicht für ewige Zeiten eignen. Allerdings müßte der Grad der Veränderung der Schmierfähigkeit des Öles einmal zahlenmäßig erfaßt werden, um die Möglichkeiten eines Eichöles für diese Zwecke zu klären.

Heidebroek: Wir verwenden schon seit 10 Jahren immer ein und dasselbe Öl.

Buske: Wir haben uns darauf verlassen, daß wir bei Bestellung und darauffolgender Lieferung von Rotring auch wirklich Rotring erhalten. Leider habe ich den Eindruck, daß nicht nur die Ölfirmen, sondern auch das RLM nicht in der Lage sind, stets für die Lieferung der gleichen Ölmarke zu sorgen. Wir bekamen z.B. ein Rotring, das sich dann später Flugmotorenöl 100 nannte; was es nun wirklich war, weiß ich nicht.

Lorenz: Die Lieferung immer desselben Öles ist Voraussetzung für Arbeiten auf diesem Gebiete.

Gießmann: Die Schwankungen der Ölqualität sind durch die Kriegslage bedingt und lassen sich derzeit nicht vermeiden. Trotzdem sind die Öle physikalisch weitgehend ähnlich. Ein größeres Lager einheitlichen Öles wäre eine zweckmäßige Lösung.

v. Philippovich: Man muß den Verwendungszwecken die Anforderungen an ein Eichöl anpassen, die verschiedene sind, je nachdem, ob man Ringsteckversuche, Lagerversuche oder Grenzreibungsmessungen beabsichtigt. Für Ringsteckversuche spielen kleine Unterschiede in den physikalischen Eigenschaften keine Rolle, für Grenzreibungsversuche sind sie aber ausschlaggebend.

Lorenz: An irgendeiner Stelle mit Lagermöglichkeit sollte ein Öl, dessen physikalische Eigenschaften genau bekannt sind, gelagert werden, sodaß man kleine Versuchsmengen beziehen kann. Ist das erreichbar?

Fritz: In der PTR wurde ein solches Öl für Zähigkeitsmessungen usw. auf Lager gehalten. Allerdings verändert sich

die Zähigkeit ziemlich rasch, bis zu 3% in 1/2 Jahr. Düninflüssige Öle sind beständiger als dicke.

Müller: Für Gummiprüfungen wurde auch ein Einheitsöl verwendet; ähnlich sollte bei anderen Versuchen vorgegangen werden.

Heidebroek: Die Verwendung eines einheitlichen Öles an allen Versuchsstellen wäre dringendst erforderlich. Trotz aller Bemühungen konnte das bisher nicht erreicht werden.

Krienke: Über das RLM kann Eichöl bezogen werden.

Borohard: Die Intava hat ein einheitliches Öl in großer Menge vorrätig, das die Bezeichnung "BMW-Eichöl" trägt. Es wäre als "Rotring-Eichöl für Versuche" von der Intava anzufordern.

Bartel: Reine Stoffe zu erhalten, ist außerordentlich schwer, wenn nicht unmöglich. Am KWI für physikalische Chemie bemüht sich gewissermaßen bereits die vierte Generation, wirklich reine, d.h. einheitlich aus einer Molekülart zusammengesetzte Schmierstoffe zu erhalten, ohne dies zu erreichen.

Vortrag: Buske

Krienke: Möglicherweise liegt eine Analogie vor. Buske hat festgestellt, daß zwischen der Schmierspaltänderung über der Lagerbreite und dem Ölfilmdruckverlauf in derselben Richtung gesehen, eine Beziehung in der Form besteht, daß durch zweimalige Differentiation der Ölfilmdruckkurve auf die Schmierspaltänderung geschlossen werden kann. Andererseits ist in der Festigkeitslehre (bei der durch die Gleichung der elastischen Linie ausgedrückten Formänderung von eingespannten Stäben) die Beziehung zwischen Durchbiegung und Biegemoment ebenfalls eine 2. Ableitung gegeben.

Prandtl: In der Mechanik ist es doch gerade umgekehrt, die Belastung ist die zweite Ableitung der Formänderung.

Krienke: Das ist richtig, aber trotzdem liegt doch in Form einer doppelten Differentiation bzw. Integration eine gewisse Analogie in den Beziehungen vor.

Heidebroek: Es ist die Frage, ob von Buske die 2. Differentiation richtig vorgenommen wurde.

Buske: Die Differentiation wurde graphisch durchgeführt. Die Tragfähigkeit der Lager müßte mit der 3. Potenz der Lagerbreite zunehmen, wenn ein gleichmäßig dicker Film vorhanden wäre.

v. Philippovich: Trat bei der Untersuchung von Rotringöl eine Art Ölkohle im Lager auf?

Buske: Bei den manchmal sehr hohen Drehzahlen und Temperaturen trat einerseits merkliche Ölkohlebildung, andererseits sogar Explosion des sich um das Lager bildenden Ölnebels auf.

Kluge: Die Ausdauer und Genauigkeit der I.G.-Versuche ist bewundernswert; vor allem interessiert, daß der Freßverzug mit der Zähigkeit geht, bis auf einen Fall, in dem eine zusätzliche Grenzflächenwirkung auftritt. Die gleichen Öle wurden in der PTR gemessen und zeigten keinen Zähigkeitseinfluß, d.h. also reine Grenzreibung.

Waltnitzky: Sind die Öle für die Versuche kalt oder warm gemischt worden? Hochdrucköle werden ja warm gemischt, wobei außer der physikalischen u.U. auch eine Art chemischer Homogenisierung stattfinden kann.

Halder: Die Öle wurden bei 50°C verrührt und geschüttelt.

Seeles: Gleiche Ausgangstemperatur der Öle ist erforderlich.

Halder: Die Versuchstemperatur betrug immer 20°C, außer bei einigen besonders dazu angestellten Versuchen. Bei niedriger Temperatur ergaben vor allem Öle mit Zusätzen sehr starke Streuungen. Manche Öle zeigen bei einer Zwischentemperatur ein starkes Ansteigen des Freßverzuges, bei einer noch höheren aber ein Abfallen.

Baader: Bei Dieselölen traten starke Entmischungs- und Ausflockungserscheinungen auf, ohne daß sie von Anfang an sichtbar waren, dies ist bei der Untersuchung von Ölgemischen zu beachten.

Halder: Versuche in der Vierkugelmaschine ergaben für ein dünnes und ein sehr dickes Öl (Oppanol) sehr gute Reproduzierbarkeit der Werte, für die Mischung aus beiden aber starke Streuungen.

Gießmann: Bei älteren Versuchen ergaben Mineralöle mit steigender Belastung geringere Reibung in Zapfenlagern. Mit Hochdruckschmiermittel stieg die Reibung erst auch mit zunehmender Belastung, sank aber dann wieder ab. In Kugellagern ergab sich starke Verfärbung der Kugeln bei Verwendung solcher Öle.

Halder: Das wurde bei der I.G. nicht beobachtet. Dagegen gab es bei allen Ölen unter einer gewissen Belastung irgendwelche Unstimmigkeiten.

Marder: Vielleicht ist das darauf zurückzuführen, daß infolge der Oxydation feste Produkte entstehen.

Weber: Herr Dr. Halder hat die günstige Wirkung einer Atramentbehandlung bei Versuchen in dem Vierkugelgerät festgestellt. Ich möchte daran anschließend einige Ergebnisse von Lagerlaufversuchen zeigen, bei denen ebenfalls eine Verbesserung des Laufverhaltens durch Oberflächenbehandlungsverfahren zum Ausdruck kommt.

Im oberen Teil des Bildes 1 sind Ergebnisse von Versuchen mit Wellen mit gebonderter und ungebonderter Oberfläche, im unteren Teil solche von Versuchen mit gebonderten und ungebonderten Lagerlauflächen eingetragen. In beiden Fällen ist eine Verbesserung durch die Phosphatierung augenscheinlich.

Über die Wirkungsweise der Phosphatschicht liegen neuere Untersuchungen von A. Durer, E. Schmid und H. D. Graf von Schweinitz ¹⁾ vor. Aus diesen ist zu entnehmen, daß

1) Z.VDI, Bd.86 (1942) S.15/18

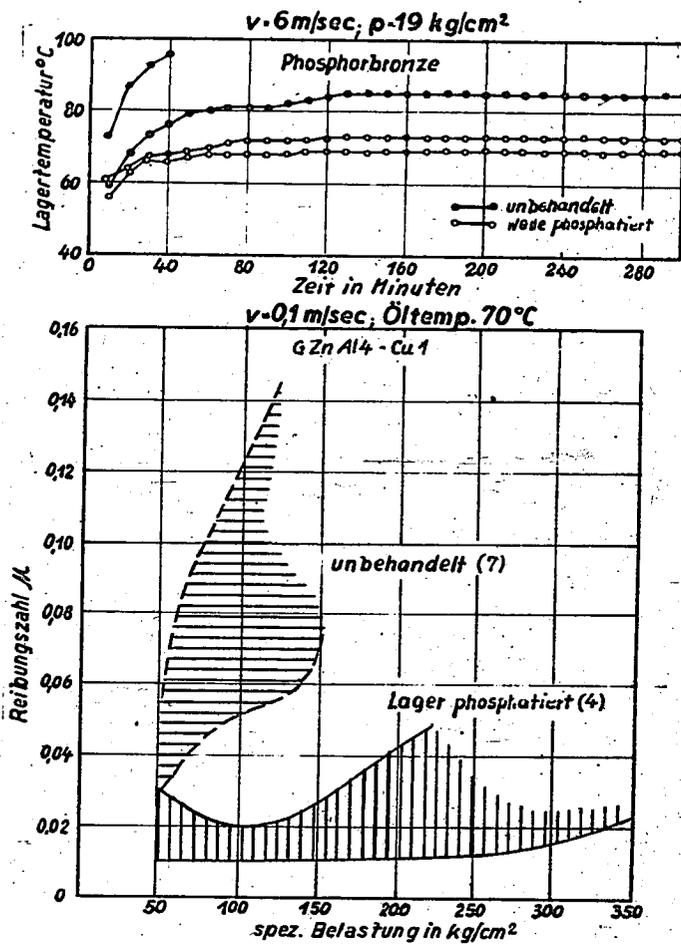
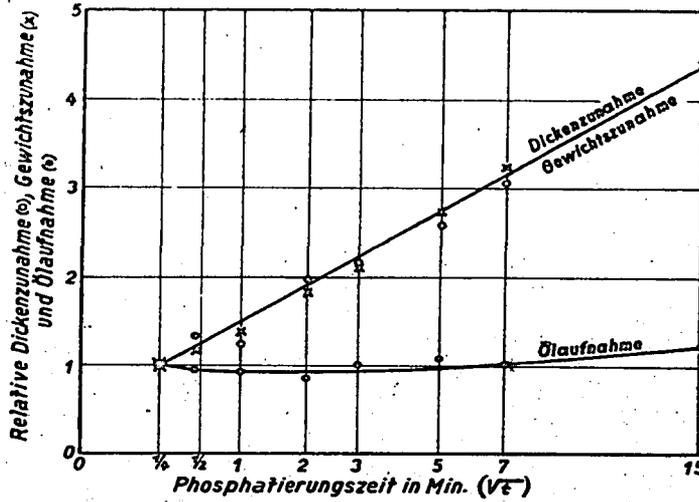


Abb.1: Verbesserung des Gleitvermögens durch Phosphatieren.

die phosphatierte Oberfläche, sicher wesentlich bedingt durch die infolge der Phosphatierung bewirkte Vergrößerung der Oberfläche, etwa die doppelte Menge aufnimmt wie die blanke. Eine größere Ölaufnahme tritt - wie Abb.2 zeigt - bei Übergang zu dickeren Phosphatschichten nicht ein, sodaß anzunehmen ist, daß das Öl die Kapillaren der Phosphatschicht nicht voll ausfüllt, sondern nur an der rauhen Oberfläche haftet. In Abb.3 sind Aufnahmen von Phosphatschichten in durchfallendem Licht wiedergegeben. Die von einem gezogenen Rohr abgelöste Schicht zeigt, daß unter den in einer Zieh-düse herrschenden Drucken und Temperaturen eine plastische Verformung der Phosphatkristalle eintritt, während sich beim üblichen Zerreißversuch die Phosphatkristalle spröde verhalten, wie aus der Zertrümmerung der Kristalle bei diesen Versuchen hervorgeht (Abb.4). Die aus der Praxis bekannte zieh-erleichternde Wirkung von Phosphatschichten, durch die es möglich ist, statt hochviskoser Schmiermittel oder Seifen fettarme Emulsionen zu verwenden, wird demnach im wesentlichen durch das Öladsorptionsvermögen und durch die Verformbarkeit der Phosphatschichten, die beide eine Trennung von Werkzeug und Werkstück bewirken, hervorgerufen.

Über die Ursache des gezeigten günstigeren Laufverhaltens von Lagern bei Oberflächenphosphatisierung liegen noch keine Untersuchungen vor. Im wesentlichen wird hier wohl die Vergrößerung der Oberfläche verantwortlich sein, da Drucke und Temperaturen, wie sie in der Zieh-düse herrschen, hier nicht zu erwarten sind.

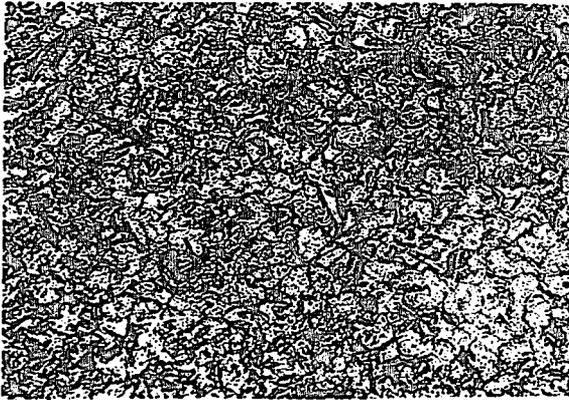
In Abb.5 ist der günstige Einfluß des Ätzens von Oberflächen erkennbar. Während die Lager mit unbehandelter Lauf-fläche nicht hoch beansprucht werden konnten, war es bei den Lagern mit geätzter Lauffläche zunächst möglich, die Geschwindigkeit nach vorgesehenem Versuchsplan auf das Doppelte zu erhöhen und dann noch die Belastung über die anfängliche hinaus zu steigern. Verursacht wird das durch Ätzen verbesserte Laufverhalten wohl hauptsächlich durch die bewirkte Vergrößerung der Lageroberfläche.



Schichtdicke und Ölaufnahmevermögen

Abb. 2: Erleichterung des Ziehens von SM-Stahlrohren durch Phosphatschichten.

V-120



Schicht abgelöst von Ausgangszustand *gezogenem Rohr*

Abb. 3: Verformung der Phosphatschicht durch Ziehen.

V-120



Schicht abgelöst von
Ausgangszustand gedehnter Probe

Abb.4: Verformung der Phosphatschicht durch Dehnen.

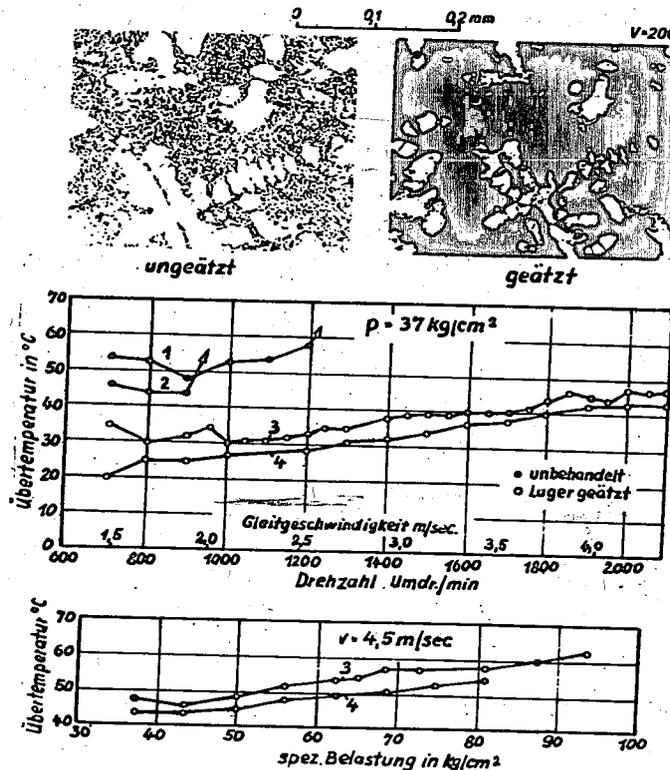


Abb.5: Einfluß des Ätzens auf das Gleitvermögen (Gußeisen GSH).

Kluge: Die Wirkung dieser Oberflächenschichten ist in erster Linie eine Folge der leichteren Verformbarkeit, weil dadurch der Einlaufvorgang verbessert wird. Zunehmende Dicke ändert die Ulaufnahme nicht mehr.

Halder: In der Wielandmaschine ergab Atramentieren Verringerung der Reibungszahl.

Weber: Es ist nicht ganz klar, welche der beiden Eigenschaften die entscheidende ist.

Penzig: Derartige Überzüge wirken als trennende Schichten. Wichtig ist nur, daß sie dem Verschweißen feindlich sind. Wir konnten von der Vierkugelmachine z.B. nachweisen, daß Verschweißen auch durch Talkumstaub verhindert wurde.

Vortrag: Hampp, Krienke

Morphen: Abgesehen von anderen Faktoren, besteht vielleicht eine Abhängigkeit von der Größe (und Aktivität) der Schmieröl-Moleküle. Man könnte an eine Möglichkeit des Eintritts von Schmierölmolekülen zwischen die gelockerten Metallkriställchen denken, also an eine mehr mechanische Angelegenheit.

Hampp: Auch Korrosion kann eine Rolle spielen.

Krienke: Handelt es sich bei der von Hampp erwähnten Rattermarkenbildung an Kipphebellagern um solche an den Kugelpfannen des Kipphebels, denn die Schwinghebellager sind meistens Gleitlager und nur bei einigen Motorentypen Nadellager.

Hampp: Es handelt sich um Rattermarken an derartigen Nadelagern.

Bartel: Gibt es eine Beilby-Schicht?

Buske: In einer ungeeigneten Apparatur wurde seinerzeit eine solche Schicht festgestellt. Durch die Arbeiten von Kirchner und Papsdorf wurde nachgewiesen, daß die angelsächsische Auffassung von den amorphen Oberflächen nicht zu Recht be-

steht. Bei den englischen Untersuchungen wurde die Ablenkung des Elektronenstrahles durch die Versuchsoberfläche im unzureichenden Vakuum beobachtet und wahrscheinlich die Struktur von adsorbierten Oberflächenschichten gemessen und als amorphe Oberflächenschicht des Versuchstückes gedeutet. Bei den deutschen Arbeiten, die im hohen Vakuum durchgeführt wurden, wurden stets nur kristalline Oberflächen festgestellt.

Buske: Wir hatten leider bei unserem Motor auch Sorgen mit dem Zylinderverschleiß, der nach unseren Feststellungen stark abhängig vom Abdichten der Kolbenringe ist. Wie sich herausstellte, war die Ursache des starken Verschleißes eine um 0,2 bis 0,2mm stärkere Betriebsausdehnung der Zylinder in der Flugrichtung als senkrecht zur Flugrichtung, sodaß die Kolbenringe nicht mehr richtig dichteten. Durch eine entsprechende ovale Herstellung der Zylinder sollte diese Erscheinung kompensiert werden. Die Herstellung solcher Zylinder war jedoch umständlich. Deshalb wurde dazu übergegangen, ovale Kolbenringe zu verwenden und die Ringe im Kolben so festzulegen, daß sie im Betriebszustand an den Zylinder vollkommen anlagen.

Durch diese Maßnahmen konnte der Verschleiß wesentlich verringert werden. Versuche mit verschiedenen Ölen ergaben dieselben Ergebnisse, die Herr Krienke auch gefunden hat. Ein Öl, das geringen Zylinderverschleiß ergab, neigte immer stark zum Ringstecken. So konnte z.B. mit "Speedwellöl" der Verschleiß praktisch vollständig beseitigt werden, die Ringsteckzeiten waren jedoch so kurz, daß dieses Öl für eine Verwendung im Flugmotor nicht in Frage kam.

Vortrag: Schmidt, Baader, Hennenhöfer

v. Philippovich: Es ist erfreulich, daß zur Frage der Polhöhe einmal Material zusammengebracht wurde, daß die Möglichkeit bietet, ihr ein Ende zu bereiten. Der Begriff der Polhöhe ist ja ein sehr willkürlicher und hat keine innere

physikalische Bedeutung, wenn sie auch in praktischen Fällen oft die Herkunft verschiedener Ölproben aus einer und derselben Quelle bestätigen mag. Aber da bei der Möglichkeit sehr verschiedenartiger Provenienz der Öle diese Anwendbarkeit der Polhöhe wegfällt, ist nicht recht einzusehen, wozu sie dienen soll, sodaß die Beibehaltung des Begriffes unzweckmäßig erscheint.

Baader: Allzuweite Auslegung der Polhöhe ist sicher unrichtig, aber in einem beschränkten Bereich kann sie von Wert sein, wenn von einer handelsüblichen Ölsorte festgestellt werden soll, ob sich am Rohstoff oder in der Verarbeitung etwas geändert hat.

v. Philippovich: Ich meine, daß man die allgemeine, gewissermaßen physikalische Auslegung der Polhöhe vermeiden soll, wenn man diesen Begriff auch für seine privaten Zwecke verwendet.

Koch: Im KWI für Kohleforschung war die Anwendung der Polhöhe immer erfolgreich, d.h. Öle bestimmter synthetischer Herkunft wiesen in allen Fraktionen dieselbe Polhöhe auf, z.B. 1,8; 3,6 usw., sodaß sie mir doch als ein sehr wertvoller Begriff erscheint.

Tramm: Auch die Ruhrchemie hat die gleiche Erfahrung bei synthetischen Ölen gemacht, die durch Molekulardestillation in Fraktionen zerlegt waren.

Harms: Rein physikalisch gesehen, wäre der Begriff der Polhöhe nur dann sinnvoll, wenn mechanische Ähnlichkeit zwischen den verschiedenen Ölen bestünde, d.h. z.B. wenn sie homologen Reihen entstammten. Deshalb kann für die stets verschiedenartig zusammengesetzten Öle die Polhöhe auch keine allgemeine Bedeutung besitzen.

v. Philippovich: Diese Erläuterung von Herrn Harms dürfte den Sachverhalt weitgehend klären. Für Kohlenwasserstoffe homologer Reihen trifft die Polhöhe zu, für andere nicht. Da aber z.B. in den Erdölen in den einzelnen Frak-

tionen die Verteilung der Kohlenwasserstoffe nicht immer die gleiche ist, ändert sich die Polhöhe auch bei Übergang von einer Fraktion zur nächsten. Es ist notwendig, darauf hinzuweisen, daß aus einer Kennziffer nicht mehr herausgelesen wird als darin steckt.

Schick: Bei der praktischen Verwertung der Viskositätspolhöhe müßte wohl unterschieden werden, ob sie der Erkennung einer bestimmten Kohlenwasserstoff-Zusammensetzung oder zur Verfolgung des Viskositätsverlaufes mit der Temperatur dienen soll. Bei einer Erörterung darüber, ob die Polhöhe für die Beherrschung der Schmierungsvorgänge entbehrlich ist, erhebt sich vor allem die Frage, wodurch sie gegebenenfalls ersetzt werden soll; denn ein Maß für das Viskositätsverhalten in Abhängigkeit von der Temperatur ist erforderlich für die Überbrückung der verschiedenen Intervalle, die sich praktisch ergeben, beispielsweise zwischen der Meßtemperatur und der Arbeitstemperatur eines Lageröles oder zwischen der Viskosität eines Motorenschmieröles im kalten und warmen Motor.

Eine weitere Frage ist, ob man bei einer kritischen Prüfung der Zweckmäßigkeit eines Polhöhenbegriffs speziell die Anwendung auf Rohöle, wie es bei den vorgetragenen Untersuchungen geschehen ist, heranziehen soll. Bei der Beurteilung des Viskositätsverhaltens von Rohölen sind eine Reihe Faktoren, die an sich nicht an das eigentliche Schmieröl gebunden sind, von z.T. erheblichem Einfluß auf die Zähflüssigkeit, wie die Wirkung der Leichtöl-Fraktion, ferner die des festen Paraffins, sowie die der Weich- und Hartparaffinanteile. Zudem ist die Zusammensetzung der einzelnen Fraktionen im Siedeverlauf des gesamten Rohöles keinesfalls immer eine gleichmäßige, sodaß Unterschiede in der Beurteilung zustande kommen, je nachdem von welcher Fraktion aus man auf die Provenienz des Rohöles schließt. Als man bei Einführung des Polhöhenbegriffs u.a. seine Anwendung zur Ergründung der Provenienz des Öles und überhaupt zur vergleichweisen Charakterisierung der Zusam-

mensetzung der Öle vorschlug, stützte man sich wohl vorwiegend auf Vergleiche, die sich auf einigermaßen beschränkte Viskositätsbereiche, z.B. auf Vergleich von Autoschmierölen, bezogen. - Die völlige Unabhängigkeit der Polhöhe von der Viskositätsstufe ist auch bei gleichartigen Ölen umstritten (s.u.a. Kadmer, "Schmierstoffe u. Maschinenschmierung", 2. Auflage, S. 48). Auch habe ich selbst bei verschiedenen Destillat-Fractionen des gleichen Ausgangsöles einen deutlichen, mitunter erheblichen Gang der Polhöhe mit der Viskositätsstufe der betreffenden Fraction feststellen können. Die Tendenz in der Veränderung der Polhöhe mit dem Siedeverlauf war bei den verschiedenen Rohölen keine einheitliche und wird auch bei entparaffinierten und raffinierten Schmierölen festgestellt.

Zu den im Vortrag besonders herangezogenen Untersuchungen an Rohölen aus dem Wiener Becken möchte ich bemerken, daß diese sich für die daraus gezogenen Schlußfolgerungen hinsichtlich der Polhöhe wohl weniger eignen. Eine einheitliche Polhöhe kann hier nicht gefunden werden, da dieses Erdölfeld kein einheitliches Rohöl aufweist, sondern dort mehrere sehr verschiedene Rohöle, z.B. paraffinreiche und paraffinarme, aber auch im sonstigen chemischen Charakter unterschiedliche Rohöle gefördert werden.

v. Philippovich: Wenn man die Polhöhe nicht für den gesamten Siedebereich, sondern nur für bestimmte Fractionen nehmen soll, dann kann man auch daran denken, z.B. den Anilinpunkt, das spezifische Gewicht oder irgendwelche anderen Eigenschaften zur Beurteilung der chemischen Zusammensetzung heranzuziehen.

Tramm:

Die Arbeiten von Ubbelohde und Walther und das auf Grund der Arbeiten entwickelte graphische Auswertungsverfahren geben die Möglichkeit, durch Ausführung von 3 sich selber gut kontrollierenden Messungen, die Viskosität der Öle über einen sehr großen Temperaturbereich zu bestimmen. Die Additivität der Polhöhe bei Mischung von Ölen, die in ihren Viskositäten nicht allzu verschieden sind, und die sich anschließende graphische Behandlung ergeben weitere praktisch äußerst brauchbare Anwendungen der Ubbelohde-Walther-Beziehung. Im übrigen ist bei Ölen mit einer Viskosität über etwa 8°E bei 50° und einer Polhöhe besser als etwa 3 eine für den praktischen Gebrauch genügend genaue lineare Beziehung zwischen Viskositätsindex und Viskositäts-polhöhe vorhanden, bei Ölen mit einer Polhöhe von besser als 1,7 gilt diese lineare Beziehung auch noch herunter bis zu Ölen von etwa $2,5^{\circ}\text{E}$ bei 50° , sodaß man hier zwischen Index und Polhöhe wählen kann. Im übrigen wird die Polhöhe heute wohl allgemein nicht als Charakteristikum für die Herkunft eines Öles, sondern lediglich für die Güte eines Öles verwendet und ist unter Berücksichtigung der durch sie gegebenen oben diskutierten Möglichkeiten für die Praxis des Ölbetriebes fraglos ein wertvolles analytisches Kennzeichen.

v. Philippovich: Man kann ja auch den Richtungsfaktor m verwenden.

Tramm: Danach könnte man nur Öle einer bestimmten Zähigkeit miteinander vergleichen.

v. Philippovich: Dann würde ich vorschlagen, daß wir die Polhöhe vorderhand mit den notwendigen Vorbehalten weiter anwenden, aber das Material sammeln, das bereits an verschiedenen Stellen vorliegt, um zu einem gemeinsamen Standpunkt in dieser Frage zu kommen.

Baader: Die sogenannten Anomalien sind Funktionen der Prüfgeräte und Arbeitsweisen. Durch geeignete Wahl dieser beiden lassen sich daher die Anomalien teils ausschalten, teils als gesetzmäßig verlaufend erkennen. Die Erforschung dieser Gesetzmäßigkeiten war bisher durch die irreführenden sogenannten Anomalien behindert.

v. Philippovich: Man darf den Begriff der Anomalie nicht zu eng fassen. Es ist doch unbestreitbar, daß die Schmieröle und Fette in der Kälte nicht mehr dem Newton'schen Gesetz gehorchen; selbst wenn man also alle "Anomalien" ausschaltet, die durch Erscheinungen im Gerät auftreten, bleibt eine Abweichung vom Newton'schen Gesetz, die man eben als eine Anomalie bezeichnen muß.

Hennenhöfer: Ich hatte früher auch die Vorstellung, daß Anomalien nur unterhalb des Trübungspunktes aufträten. Es hat sich aber gezeigt, daß auch Öle, die vollkommen klar bleiben, nicht mehr dem Newton'schen Gesetz gehorchen. Dabei kann es sich nicht um Vorgänge in der festen Phase handeln, weil Thixotropie ja in Sekunden Änderung der Zähigkeit bewirkt. Die Paraffine wirken sich erst sekundär aus, die Ursache liegt offenbar in der flüssigen Phase. Die Verteilung der Schubspannung in der Kapillare ergibt sich aus der Formel $\frac{P \cdot R}{2 \cdot l}$. Bei konstantem Druck und konstanter Länge ist die Schubspannung durch R bestimmt, d.h. sie ist an der Wand

am größten. Man kann das auch zeigen, wenn man ein sehr paraffinhaltiges Öl durch eine Kapillare preßt; man erhält dann an der Austrittsseite eine Wurst von 3-4 cm, die vollkommen fest ist, über den ganzen Kapillarradius. Dieses stärkste Fließen am Rand ermöglicht ja erst das sogenannte Tropfenfließen. Fließkunde müßte überhaupt vielmehr in Deutschland betrieben werden, nicht nur Kolloidchemie und Kolloidphysik usw. In USA wird da vielmehr gearbeitet. Bei den Ölen gibt es genau die gleichen Erscheinungen, wie bei Pasten. Ein Zerdrücken des Paraffinskelettes und Herausdrücken des Öles ist unwahrscheinlich, denn das Öl ist zähe und das Skelett nicht sehr fest.

Dunken: Für die sogenannten Anomalien sind vor allem zwei Gründe möglich: Die Zeitabhängigkeit der Übermolekülbildung und die Kolloiderscheinungen.

Beispiele aus der Zellulosephysik sprechen für die erste Möglichkeit.

Siebold: Bei Motorenölen ergab bei konstanter Temperatur nach der Abkühlung der Kugelfall im Höpplerviskosimeter eine höhere Zähigkeit. Im Gegensatz zu diesen Motorenölen waren bei Dieselkraftstoffen die Kristalle deutlich zu sehen und konnten photographiert werden. Wenn die Kugel nun diese Kristalle vor sich herschob und zusammendrückte, trat eine Art Entmischung ein und die reine Flüssigkeit, die übrig blieb, hatte eine geringere Zähigkeit als zu Beginn des Versuches. Die Kugel blieb zunächst in den Kristallen stecken und sank dann sehr langsam durch.

Man kann sich denken, daß in sehr zähen Ölen ähnliche Strukturen vorhanden sind, die den Kugelfall bremsen. Die Kristallisation ist nicht abgeschlossen, sondern setzt sich bis zu einer Sättigungsgrenze weiter fort, sodaß die Zähigkeit bei fortlaufenden Messungen zunimmt, im Gegensatz zu Dieselölen, bei denen sie abnimmt (Entmischung).

v. Philippovich: Ergänzend möchte ich sagen, daß bei den Versuchen von Herrn Siebold sich für eine bestimmte Temperatur

eine Gleichgewichtszähigkeit ergab, die unabhängig davon erreicht wurde, ob man erst unterkühlte und dann nach der Anwärmung auf die Versuchstemperatur oder nach unmittelbarer Abkühlung auf diese Temperatur maß.

Baader: Ich war überrascht, daß bei den Versuchen von Siebald auch im Vogel-Ossag-Viskosimeter steigende Zähigkeiten gefunden wurden; dies ist wohl eine Folge der kurzen Haltezeiten zwischen den einzelnen Versuchen.

v.Philippovich: Wenn wir von der Schwierigkeit hören, zu sogenannten Gleichgewichtswerten zu kommen, möchte ich darauf hinweisen, daß für die praktischen Bedürfnisse die Versuchsdauer möglichst kurz sein soll.

Baader: Nach Kenntnis der Zusammenhänge dürfte das wohl auch erreicht werden können.

Vortrag: Penzig, Graser, Schwaiger

v.Philippovich: Hier dürfte etwas Ähnliches vorliegen, wie bei der Messung der Schmiereignung. Man kann verschiedene Wege gehen: in technischen Maschinen oder in Prüfmaschinen unter Verwendung von Bauteilen technischer Maschinen praktische Vorgänge zu messen oder laboratoriumsmäßig eine physikalische Charakteristik zu suchen. Die Schergeschwindigkeit spielt dabei eine sehr große Rolle und kann die Unterschiede der Ergebnisse in den verschiedenen Geräten begründen, wie schon Herr Graser betonte. Sie müßte deshalb im Prüfgerät und in der technischen Maschine von gleicher Größe oder mindestens Größenordnung sein.

Bartel: Der Einfluß der Geschwindigkeit der Bewegungszunahme wurde untersucht. Bei raschem Abstoppen und bei stufenweisem Abstoppen einer Welle in einem Lager ergaben sich Unterschiede in den Reibungswerten bis zu vielen Prozenten. Ebenso bei der Zunahme der Geschwindigkeit; aber auch die

Haltezeit wirkt sich dabei aus, indem schon nach 10 Minuten ein stabiler Zustand erreicht war. Dabei lagen die Temperaturen zwischen -10 und $+10^{\circ}\text{C}$, während die Geschwindigkeiten $1/10000^{\text{cm}}/\text{sec}$ betragen, das ist eine Umdrehung in 8 Std.

Fritz: Es müßte für alle Geräte und Verfahren der Einfluß berücksichtigt werden, der bei ihnen besonders stark zum Ausdruck kommt; z.B. hohe Schergeschwindigkeit, Vorgeschichte, Verlauf des Geschwindigkeitsgradienten. Dementsprechend müßte für verschiedene praktische Zustände jeweils das passende Verfahren angewendet werden.

Schwaiger: Die Schergeschwindigkeit müßte in Prüfgerät und Praxis gleich sein. Im übrigen ist der Begriff Flüssigkeit ja auch nicht ganz klar.

Vogelpohl: Wenn die Zähigkeit eines Stoffes unabhängig von der Schergeschwindigkeit ist, haben wir reine Flüssigkeit, das ist im Gegenteil vollkommen klar.

v. Philippovich: Es scheint dringend notwendig, daß ähnlich, wie auf dem Gebiet der Schmierung auch auf dem Gebiet der Zähigkeit und Konsistenz eine Festlegung der Begriffe erfolgt. Es wird wohl am besten sein, wenn wir uns da mit dem Ausschuß Zähigkeit und Plastizität des VDI in Verbindung setzen.

Vogelpohl: Die Ergebnisse von Herrn Bartel decken sich auffällig mit praktischen Erfahrungen der Reichsbahn, die vor Jahren auch schon fand, daß beim Halten der Züge eine Dauer von 10 Minuten einen Höchstwert der zum Anfahren notwendigen Kraft bedingte, während längeres Halten sie nicht steigerte und kürzerer Aufenthalt geringere Anfahrkräfte verursachte. Diese Erscheinung ist aber temperaturabhängig.