

Maschinentechnische Ansprüche an Schmieröle und Schmierfette

Von Prof. Dr.-Ing. E. HEIDEBROEK, T. H. Dresden

Eingeg. 7. Juni 1937

Das Gebiet der Schmiertechnik, soweit es in den Bereich des Ingenieurs fällt, ist so umfassend und begreift so vielerlei verschiedenartige Aufgaben und Lösungen in sich, daß es schwer hält, im Rahmen eines Vortrages die wesentlichsten Gesichtspunkte herauszuarbeiten, die für die Zusammenarbeit zwischen Ingenieur und Ölfachmann (Chemiker und Physiker) im Hinblick auf die Ausgestaltung der heimischen synthetischen Ölgewinnung bedeutungsvoll sind. Auf der einen Seite liegt eine gewaltige, rein auf der Praxis, d. h. sorgfältiger Beobachtung und gesammelten Erfahrungen aufgebaute Entwicklung vor, deren Kenntnis allerdings auf die verschiedensten Sonderfachgebiete und deren Vertreter verteilt ist.

Auf der anderen Seite ist die wissenschaftlich exakte Behandlung der Schmiertheorie kaum 30 Jahre alt, wenn man ihre ersten, wirklich brauchbaren Ansätze mit heranzieht. Ihre Grundlagen sind namentlich im Rahmen der sog. „hydrodynamischen Reibungstheorie“ reichlich verwickelt, die daraus abgeleiteten mathematisch formulierten Gesetze recht umständlich und meistens von einer

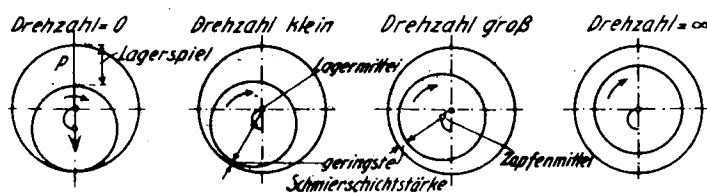


Abb. 1. Lage des Zapfens im Lager bei verschiedener Drehgeschwindigkeit und Belastung von oben nach unten.
(Nach Falz, Schmiertechnik.)

solchen Form, daß sie dem in der Praxis stehenden Ingenieur keine rechte Anschauung vermitteln und vielfach unverständlich bleiben, daher also keine befruchtende Wirkung ausüben. Der Grund hierfür ist zum Teil auch darin zu suchen, daß von mathematisch interessierter Seite voll-exakte rechnerische Lösungen angestrebt werden, deren Genauigkeitsgrad in gar keinem Verhältnis steht zu den aus der konstruktiven und betrieblichen Praxis gegebenen Möglichkeiten, und bei denen hinter einem großen Aufwand von Formeln oft der wesentlichste Kernpunkt, nämlich die physikalische Anschauung, in den Hintergrund gedrängt wird.

Erst die Forschung der letzten Jahre hat hier einen Wandel geschaffen, insofern die Entwicklungslinien auf technisch-mechanisch und physikalisch-chemischem Gebiet sich einander nähern. Damit sind gewisse exakte Grundtatsachen zutage getreten, an Hand derer es möglich sein wird, die vielerlei Erscheinungen der Praxis zu ordnen und ihre Gesetzmäßigkeiten herauszuarbeiten. Das wichtigste und immer wieder sich durchsetzende Grundgesetz ist und bleibt die unter dem Namen „Hydrodynamische Schmiertheorie“ entwickelte Lehre, ihre Grundlage die von Reynolds formulierte Annahme, daß zwischen zwei sich gegeneinander verschiebenden Flächen von geringem Abstand eine Schichtströmung und damit Schubspannungen entstehen, die dem Gesetz $\tau = \eta \frac{\delta U}{\delta y}$ folgen, dies unter der physikalisch nicht bestrittenen Annahme, daß die

Moleküle der Randzone an der Oberfläche der reibenden Körper unzerreißbar festhaften infolge der freien Valenzen der Molekülkräfte. Diese Schubkräfte sind also einmal abhängig von dem sog. „Schergefälle“ $\frac{\delta U}{\delta y}$, d. h. der

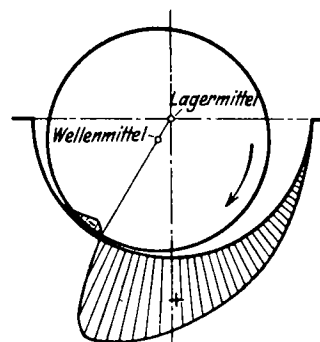


Abb. 2. Drucksteigerung in der Schmier-schicht bei halbumschließenden Querlagern.
(Nach Falz.)

Änderung der Geschwindigkeit zwischen den beiden festen Oberflächen, und da dieses bei den möglichen sehr engen Spalten von einigen tausendstel Millimetern sehr große Werte annehmen kann, so können auch gewaltige Schubkräfte auftreten. Diese sind fernerhin abhängig von dem Proportionalitätsfaktor η , der sog. „kinematischen Zähigkeit“ des Schmierstoffes.

Überträgt man diese Anschauungen rechnermäßig auf den Fall eines in der Lagerschale sich drehenden Zapfens, so ergibt sich das bekannte Bild (Abb. 1), daß die Zapfenmitte sich in dem gegebenen Lagerspiel verschiebt, wobei sie zwischen zwei Grenzlagen: geometrische Achse des Lagerkörpers und senkrechte Anlage unten an der Lager-

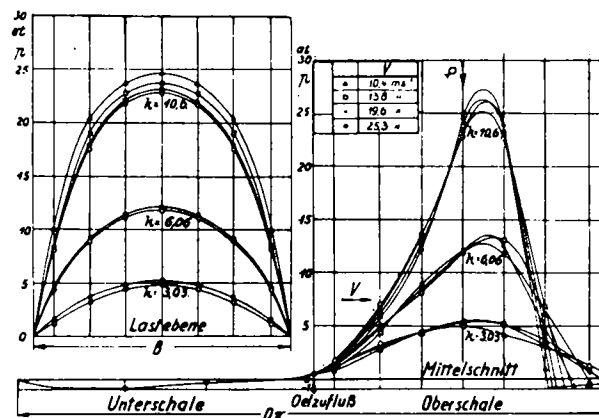


Abb. 3. Druckverteilung im Ölfilm eines Gleitlagers.
 $t_o = 48^\circ$ $p_o = 0,5$ at Überdruck
(Nach Nücker, VDI-Forsch.-Heft 352.)

schale auf einem Halbkreis, dessen Durchmesser'gleich dem Lagerspiel ist, die verschiedensten Lagen annehmen kann.

Die Schubkräfte im Öl erzeugen im Schmierfilm einen sog. „Druckberg“, dessen Kräfte der äußeren Belastung das Gleichgewicht halten (Abb. 2). Diese Verhältnisse sind durch zahlreiche Versuche im eigenen Laboratorium und

bei anderen Forschern ebenso wie durch die theoretische Berechnung völlig klargelegt (Abb. 3, 4). Sie umreißen alle möglichen und denkbaren praktischen Lagerverhältnisse, wenn wir uns nur darüber klar werden, welche Tragfaktoren die Lage des Zapfens bestimmen. Der erzeugbare Öldruck läßt sich mathematisch durch eine allgemeine Formel ausdrücken:

$$p = \frac{Comt \cdot \eta \cdot U}{h_0^{3/2} c^{1/2}} [G]$$

D. h. abgesehen von dem hier nicht interessierenden Funktionswert G sind auf die Druckwirkung des Schmierstoffes in erster Linie von Einfluß:

- die Zähigkeit η (kg s/cm²)
- die Zapfengeschwindigkeit U (cm/s)
- die Schmiegungszahl c (cm) (hier ungefähr gleich dem halben Lagerspiel)

ferner die Zahl h_0 , eine Größe, die den engsten Spalt ausdrückt (cm).

Am wichtigsten für unsere Betrachtungen sind η , U und c . Von diesen hängt die Drucksteigerung im Öl vorzugsweise ab. Sind sie in ihrer Gesamtheit wirksam, so geht

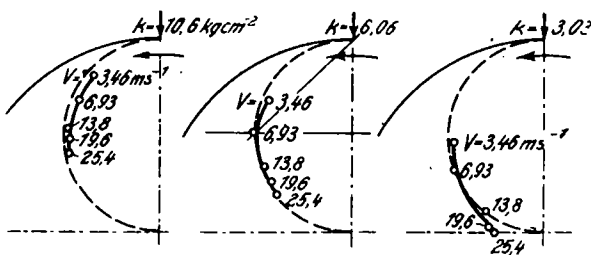


Abb. 4. Gemessene Verlagerung der Zapfen-Mitte.
 $t_e = 48^\circ$ $p_e = 0,5$ at Überdruck
(Nach Nücker.)

der Zapfen nach oben in die Mittellage, läßt ihre Wirkung nach, so liegt er unten auf.

Die durch diesen Öldruckberg auf den Zapfen übertragenen Kräfte halten ihn gegenüber der äußeren Belastung P „schwimmend“, und zwar auf der belasteten Schalenhälfte. Der Öldruck auf der unbelasteten Seite kann i. allg. vernachlässigt werden; u. U. tritt dort sogar ein Unterdruck ein.

Man hat es somit in der Hand, die durch die äußere Belastung bedingte „Tragfähigkeit“ einer Schmierschicht durch die einzelnen Faktoren: Geschwindigkeit, Zähigkeit, Schmiegungsverhältnis bzw. Spielweite zu beeinflussen oder durch irgendeine Kombination derselben, damit auch die Lage des Zapfens auf irgendeinem Punkte der erwähnten Kreisbahn.

Ist die Zähigkeit eines Schmierstoffes z. B. gering, so kann das durch eine entsprechend hohe Zapfengeschwindigkeit ausgeglichen werden. Geringes Lagerspiel erhöht den Flüssigkeitsdruck, großes Spiel verringert ihn usw.

Durch die jeweils sich ergebenden Lagen des Zapfens auf der erwähnten Kreisbahn ergibt sich aber auch die Größe des eigentlichen „engsten Spaltes“. Je mehr sich der Zapfen bei großer Belastung, geringer Drehzahl oder Zähigkeit der unteren Grenzlage nähert, desto kleiner wird der engste Spalt; je weiter oben er schwimmt, desto größer dieses Maß. Für die Betriebssicherheit eines Lagers ist in der Regel nur diese engste Stelle maßgebend.

Die sog. Reibungsziffer μ — eine etwas undurchsichtige Größe, in Wirklichkeit eine dimensionslose Zahl — ist allein von der jeweiligen geometrischen Lage des Zapfens bestimmt; sie ist lediglich eine mathematische, allerdings komplizierte Ausdrucksform dafür. Allerdings kann man sie versuchsmäßig leicht bestimmen aus der Beziehung: Reibungsmoment = Belastung \times Zapfenhalbmesser \times Reibungsziffer.

In den bisherigen Betrachtungen erscheint das Öl nur in seiner einen Eigenschaft, der sog. kinematischen Zähigkeit. Es treten aber zwei weitere physikalische Faktoren hinzu, die die Zusammenhänge stark beeinflussen: die Wärmeentwicklung durch die Reibung der Flüssigkeitsschichten — über deren thermodynamischen Sinn wir

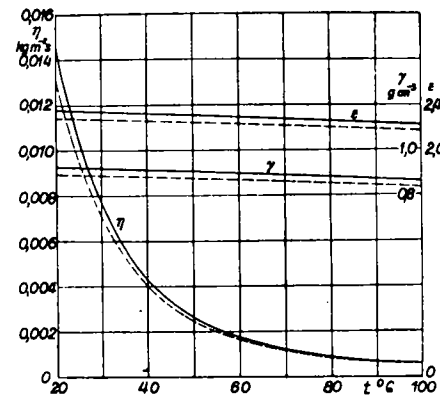


Abb. 5. Zähigkeit η , Dielektrizitätskonstante ϵ und spezifisches Gewicht γ für „Dampfturbinenöl Ba 8“
----- frisch ——— nach rd. 200 Betriebsstunden
(Nach Nücker.)

leider erst sehr wenig wissen — und der Einfluß der Oberflächengestaltung von Zapfen und Lagerschale, diese durch ihre Adsorptionswirkung auf die Ölmoleküle und die Gestaltung der sog. Randschicht.

Die Zähigkeit der meisten Mineralöle ist stark temperaturabhängig (Abb. 5). Es kommt also darauf an, bei welcher Temperatur in der Schmierschicht man das Lager fahren will. Ein Öl von hoher Zähigkeit bei 20° verhält sich bei 80° nicht anders als ein leichtes Spindelöl bei vielleicht 30° . Wie sich die Temperatur im Lager einstellt, ist eine Frage der Wärmebilanz, d. h. des Gleichgewichts zwischen erzeugter und abgeführter Wärme. Der wirk-

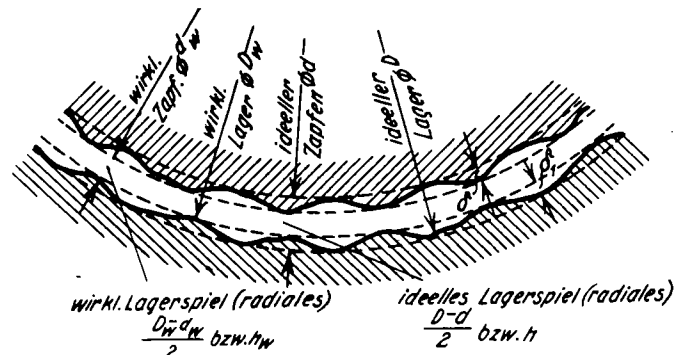


Abb. 6. Schematische, stark vergrößerte Darstellung der Bearbeitungsebenen eines zentrisch in einem Lager schwimmenden Zapfens.
(Nach Falz.)

samste Wärmeträger ist der Schmierstoff selbst; je höher seine spezifische Wärme, desto besser die Wärmeabfuhr, wenn man den Schmierstoff dauernd aus dem Lager wieder abführen kann. Sonst muß die Ausstrahlung der Wärme durch den Lagerkörper, zum geringen Teil durch die Welle und notfalls durch eine künstliche Kühlung bewirkt werden.

Dem Schmierstoff fällt also auch die Aufgabe der Kühlung zu, wobei zu beachten ist, daß nur ein kleiner Teil der Ölmenge wirklich durch den engsten Spalt, der größte aber vorher seitlich aus dem Lager abfließt. Ölarme Emulsionen mit vielleicht 90% Wassergehalt sind zwar weniger tragfähig infolge ihrer geringeren Zähigkeit, dafür aber um so bessere Wärmeträger wegen ihrer höheren spezifischen Wärme.

Die Bedeutung des engsten Spaltes tritt dann in den Vordergrund, wenn bei kleiner Geschwindigkeit, geringer Zähigkeit (letzteres auch bei starker Temperatursteigerung im Spalt), großer Belastung usw. der Zapfen sich der unteren Grenzlage stark nähert. Es können Lager bei geeignetem Schmierstoff noch bei Spaltweiten von wenigen μ ($1 \mu = \frac{1}{1000} \text{ mm}$) einwandfrei laufen. Hier stören aber die unvermeidlichen Rauigkeiten der Oberfläche; über deren Messung und Eigenschaften gibt u. a. das soeben erschienene ausgezeichnete Lehrbuch von Prof. Schmalz, Offenbach, wertvolle Aufschlüsse. Wenn deren Größenordnung sich der Weite des engsten Spaltes nähert (Abb. 6), entsteht ein auffälliger Wechsel in dem Verlauf der Reibungskurve (Abb. 7). Die Reibungswerte steigen nämlich stark an, je mehr sich der Spalt verengt, und wir gelangen in das Gebiet der sog. „Grenzreibung“.

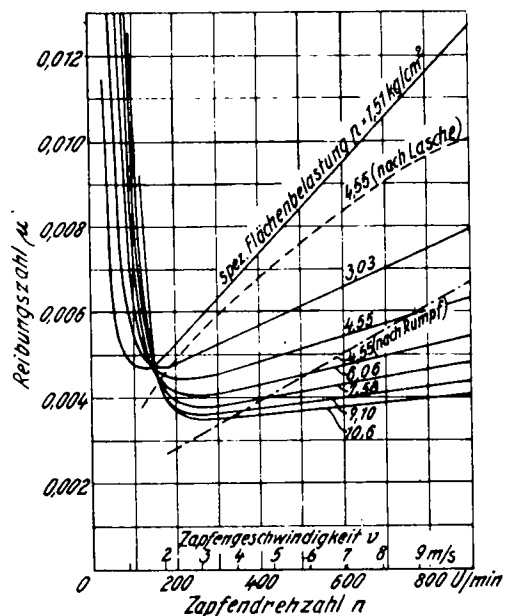


Abb. 7. Reibungszahlen μ abhängig von der Zapfengeschwindigkeit v bzw. der Zapfendrehzahl n .

(Lager mit Kunstharzbuchse.)

(Nach Heidebroek, VDI-Heft „Kunst- und Preßstoffe“ Nr. 2, 1937.)

Meinungen noch stark auseinander. Ich bin auf Grund neuerer Forschung nicht der Meinung, daß es sich dabei bereits um Bestandteile „trockener“ Reibung, d. h. Flächenberührung, handelt, also das Schmierpolster durchbrochen wird, glaube vielmehr, daß auch hier noch rein hydrodynamische Vorgänge sich abspielen. Die physikalische Forschung der letzten Jahre lehrt uns, daß geschmierte Spalte noch bei Abmessungen weit unter 1μ , d. h. bei etwa 6- bis 8facher Molekülgröße, möglich sind. Wie man sich die Lagerung der Moleküle vorstellen kann, zeigt etwa Abb. 8 (nach Schmalz). Hier stoßen wir auf eines der interessantesten Gebiete der physikalischen Chemie, das für die Beurteilung der Eignung von Schmierstoffen vielleicht geradezu entscheidende Bedeutung gewinnen kann: nämlich die Adsorptionsfähigkeit der Lagerstoffe und der Schmierstoffe untereinander, die Größe der möglichst hoch zu polymerisierenden Moleküle des Schmierstoffs, ihre Fähigkeit zu Richtungs-

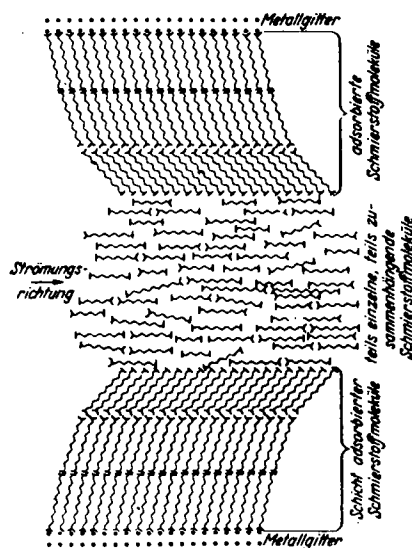


Abb. 8. Mutmaßliche Anordnung des Schmierstoffs zwischen zwei Metallflächen bei Bewegung. (Der mittlere strömende Teil ist im allgemeinen mehrere Größenordnungen ausgedehnter als die beiden äußeren Teile.) (Die mit — gezeichneten Enden der zickzackförmigen Moleküle sind die aktiven, die mit — gezeichneten die neutralen Enden.)

(Nach Schmalz: Lehrb. d. Oberflächenkunde, Verlag Springer, Berlin 1937.)

effekten u. a. m., alles Begriffe, die erst anfangen, sich in praktisch-technische Vorstellungen umzusetzen. Hierher gehört auch die Steigerung der Ölzähigkeit unter hohem Druck — einleuchtend, wie wichtig das für die Tragfähigkeit in engen Spalten sein muß —, der sog. Kyropoulos-Effekt, d. h. die Veränderung der

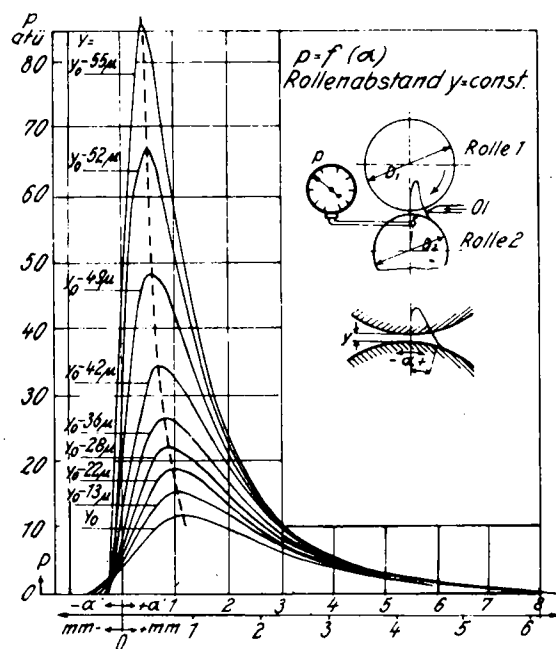


Abb. 9. Druckanstieg bei verschiedenen Gleitgeschwindigkeiten zwischen Rollen.

(Nach Peppeler.)

Zähigkeit bei großem Schergefälle, und ähnliche Erscheinungen.

Das Bild unserer bisher erreichbaren Vorstellungen rundet sich ab, wenn wir feststellen, daß alle diese Gesetzmäßigkeiten sich auch für solche Körper bestätigen, die mit gegensinniger Krümmung aufeinander gleiten oder rollen, also z. B. Kugel- und Rollenlager, Zahnflanken, Wälzhebel u. dgl., und zwischen die Schmierflüssigkeit gebracht wird. Auch bei diesen Schmierfilmen läßt sich heute der Druckverlauf usw. berechnen, und der Versuch bestätigt die theoretische Voraussage in weiten Grenzen (Abb. 9, 10, Aufnahme des Öldruckberges zwischen zwei Rollen).

Hier liegt das Gebiet der engsten Spalte und kleinen Geschwindigkeiten, in denen wir entweder sehr „druckfeste“ Öle oder, wenn deren Umlauf nicht möglich ist, konsistente Fette als Schmierstoff verwenden müssen. Das letztere ist allerdings ein auch für die Praxis oft recht trübes Kapitel. Über die physikalischen Eigenschaften der meisten durch Verseifung auf Kalk- oder Natronbasis entstehenden Fette wissen wir leider noch viel weniger als über die Öle; vor allem über ihre kinematischen Eigenschaften, Fließfähigkeit, Molekularkräfte u. dgl. Fast alle ihre Anwendungsfälle liegen im Gebiet der Grenzreibung. Die Berührung findet also immer bei ganz minimaler Dicke des Schmierfilms, auf sehr geringer Breite statt, und dabei steigen die Pressungen u. U. auf Tausende von at an, so daß sie in den Bereich der sog. Hertzschen Spannungen in der Oberfläche der Wälzkörper

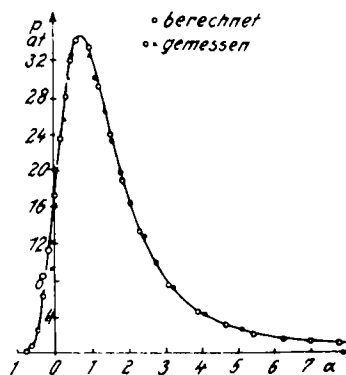


Abb. 10.

Vergleich der gemessenen und berechneten Werte des Druckanstiegs.

treten und sich mit diesen irgendwie überlagern. Stellt man sich den Vorgang beim Durchwalzen des Ölfilms durch den Spalt zweier belasteter Rollen z. B. im Wälzlager vor, so heißt das, daß in kleinen Bruchteilen einer Sekunde die betroffene Ölmasse von aller kleinstem Volumen plötzlich ungeheuren Schubkräften und Druckspannungen ausgesetzt und unmittelbar dahinter ein nahezu vollständiges Vakuum erzeugt wird — eine Erscheinung, die bei jedem derartigen Druckberg, auch im Gleitlager, zu beobachten ist. Es sind sogar v. d. Waalssche Zugspannungen — nach Prandtl eine Art Siedeverzug — in dieser Vakuumzone zu vermuten, also thermodynamische Vorgänge.

Der „Werkstoff“ Öl, oder wenigstens der kleine Teil einer Lagerfüllung, der wirklich in die Druckzone gelangt, erfährt also Beanspruchungen, die nach ihrer zahlenmäßigen Größe denjenigen bei unseren üblichen Werkstoffen, Stahl, Bronze u. dgl., vollkommen entsprechen. Hier dürften auch die eigentlichen Ursachen für das Schäumen, d. h. das explosionsartige Auftreten von Dampfblasen, zu suchen sein. Inwieweit durch diese gewaltsame Behandlung eine „Ermüdung“ oder sonstige stoffliche Veränderung der betroffenen Ölteile entsteht, ist m. W. noch von keiner Seite untersucht.

Läßt man alle diese vielfältigen Erscheinungen auf sich wirken, so ist es erklärlich, daß die Frage schwer zu beantworten ist, wie nun die weitere Entwicklung laufen wird, d. h. in welcher Richtung die nunmehr in großem Maßstabe aufgenommene heimische Ölgewinnung vom Standpunkt der Schmiertechnik aus zu steuern ist. Aber gewisse Erkenntnisse lassen sich doch auf Grund der fortgeschrittenen wissenschaftlichen Deutung mit großer Wahrscheinlichkeit aufstellen.

Für das Gebiet der vollen Flüssigkeitsreibung, das etwa oberhalb einer Zapfengeschwindigkeit von 1–1,5 m/s liegt, ist praktisch ein leichter Schmierstoff von geringer Zähigkeit genau so brauchbar wie ein schweres Mineralöl. Es kommt nur, wie wir gesehen haben, darauf an, die „Tragfähigkeitsfaktoren“ richtig aufeinander abzustimmen. Ich sehe also keine Bedenken, die leichteren Spindelöle bei vielen dieser eigentlichen Großölverbraucher mit Umlaufschmierung einzusetzen, vorausgesetzt, daß ihre Alterungsbeständigkeit, die Widerstandsfähigkeit gegen katalytische Zersetzung und dgl. rein chemische Einflüsse keine Schwierigkeiten verursachen.

Noch wertvoller wäre es, wenn es gelänge, ölärmere Emulsionen mit Wasser zu erzeugen, die noch genügend adsorptionsfähig sind, d. h. genügend aktive Moleküle besitzen, nicht bei Temperaturen unter 90–100° zerfallen, keine rostende Wirkung auf Eisen ausüben bzw. alkalisch zersetzende Einflüsse auf Lagerschalen aus Kunstharz. Man kann bei diesen letzteren, wie die Erfahrung in Walzwerken zeigt, sogar mit reiner Wasserschmierung arbeiten, wenn nur durch eine zusätzliche Fettschmierung in der Ein- und Auslauferperiode das Fressen verhütet wird. Prof. Mackensen, Jena, schmiert seine Schleifmaschinenlager bei sehr engem Spalt mit Petroleum; in meinem Laboratorium läuft seit über einem Jahr eine Welle aus nitriertem Stahl in einer diamantgedrehten Lagerschale aus Gußeisen bei einem Lagerspiel von nur etwa 6 μ ohne Anstände mit einer besonderen Emulsion, die etwa 90% Wasser enthält. Es gibt sicher eine Reihe von Flüssigkeiten bisher unbekannter Struktur, die sich im Gebiet der reinen Flüssigkeitsreibung als Schmierstoffe eignen.

Aber auch bei hohen Belastungen und kleinen Geschwindigkeiten, d. h. im Gebiet der „Grenzreibung“, sind leichtere Öle sicher in vielen Fällen anwendbar, wo man bisher glaubte, nur mit schweren, hochgezückelten Compound-Ölen auskommen zu können. Das setzt aber ein intimes Eingehen des Konstrukteurs auf die Gesetze der

Ölreibung voraus: zuverlässiges Heranführen und Ableiten des Schmierstoffs an die belastete Zone; entgegen der weitverbreiteten, durch mißverständene hydrodynamische Erwägungen hervorgerufenen Meinung, man dürfe überhaupt keine Schmiernuten mehr anwenden, sind solche — richtig angelegt — gerade unter diesen äußeren Bedingungen für leichtere Öle durchaus zu empfehlen. U. U. ist auch auf die modernen Schmierpressen mit sehr hohem Druck zurückzugreifen.

Möglichst hohe spezifische Wärme ist von großem Vorteil, überhaupt sorgfältiges Überlegen der Wärmeströmung. Sehr wertvoll würde es sein, Öle zu erzeugen, deren Zähigkeitskurve mit der Temperatur möglichst wenig abfällt: Das würde bedeuten, daß man auch mit leichten Ölen bei höheren Temperaturen fahren kann, d. h. nicht eine noch bei diesen hohen Temperaturen ausreichende Zähigkeit durch eine zu hohe Zähigkeit bei niedrigeren Temperaturen erkaufen muß.

Besondere Bedeutung kommt der Feinstbearbeitung der Oberflächen von Zapfen, Schale, Laufrollen usw. zu. Hier sind in der letzten Zeit große Fortschritte erzielt. Bei Wälzlagern ist sie vorbildlich, bei Zahnrädern bis zu einem hohen Grade erreicht; auch bei Lagerzapfen vielfach mit Erfolg verbessert. Je glatter die Oberflächen, desto kleinere Geschwindigkeiten können ohne Grenzreibung gefahren werden, desto geringere Zähigkeit braucht der Schmierstoff zu besitzen, desto enger kann die Weite des engsten Spaltes gehalten werden, ohne die Betriebssicherheit zu gefährden. Je mehr wir uns also der ideal glatten Oberfläche nähern, desto leichtflüssiger kann der Schmierstoff gewählt werden.

Eine besondere Entwicklung wird sich voraussichtlich noch an die Verwendung von Kunstharzen als Werkstoff für Lagerschalen an Stelle von Sparmetallen anschließen. Bei diesen liegt anscheinend eine besonders starke Affinität gegenüber dem Schmierstoff vor, der verhältnismäßig weit in die Oberfläche eindringt. Die daraus hergestellten Lagerschalen bewähren sich anscheinend auch für hohe Belastungen bei kleinen Geschwindigkeiten, also im Gebiet der Grenzreibung, recht gut. Da sie nicht rosten oder katalytische Wirkungen ausüben, können gerade sie auch mit wasserreichen Emulsionen betrieben werden, jedenfalls mit sehr leichtflüssigen Ölen. Allerdings sind fast alle mir bisher bekannten Emulsionen etwas alkalisch und greifen das Kunstharz, wenigstens die bisher gebräuchlichen Phenoplaste bzw. deren Füllstoff, an. Sollte es gelingen, solche fetthaltigen Mischungen in größeren Mengen herzustellen, die diesen Nachteil nicht aufweisen und außerdem nicht schon bei Temperaturen von etwa 60° an aufwärts zerfallen, so wäre damit ein bedeutsamer Fortschritt hinsichtlich einer praktischen Ölersparnis im großen erzielt. Für Sonderzwecke, wo nur geringe Mengen gebraucht werden, gibt es bereits derartige Lösungen in Verbindung mit organischen Fettstoffen.

Ein besonderes Gebiet, das hier nicht behandelt werden kann, betrifft die Zylinderöle zum Schmieren von Dampfzylindern und besonders von Zylindern der Verbrennungskraftmaschinen. Wohl haben auch hier neuere Forschungen die Wirkung der erwähnten hydrodynamischen Reibungsgesetze erkennen lassen, aber es spielen dabei die sonstigen äußeren Faktoren: Temperatur, Verbrennung usw. eine so wichtige Rolle, daß man diese Schmierungsfrage nur in engem Zusammenhang mit dem eigentlichen Motorenbetrieb behandeln kann.

Zusammenfassung.

Man muß ganz allgemein bei der Behandlung der Schmierstoffe zwei Fragensgruppen trennen: Die eine betrifft diejenigen Faktoren, die ich als „Lebensdauer-Faktoren“ bezeichnen möchte (Alterungsbeständigkeit, Widerstands-

fähigkeit gegen Oxydation, Zersetzung, Wasseraufnahme, Säurefreiheit u. dgl.). Mit diesen, die in das Gebiet der reinen Chemie fallen, hat sich der vorliegende Vortrag nicht zu befassen. Er behandelt vielmehr bewußt nur die zweite, mindestens ebenso wichtige Gruppe, die „Tragfähigkeits-Faktoren“, d. h. diejenigen Elemente, auf denen die eigentliche Schmierfähigkeit beruht.

Das alte Sprichwort: „Wer gut schmiert, der gut fährt“ behält in der neuzeitlichen wissenschaftlichen Schmiertechnik noch immer seinen Wert. Es darf aber nicht so ausgelegt werden, daß „gut schmieren“ mit „überreichlich schmieren“ gleichgesetzt wird. Bei sehr vielen Schmiervorgängen leiden wir unter der Tatsache, daß die an der eigentlichen Tragstelle benötigte, mengenmäßig sehr geringe Ölmenge von einem Riesenaufwand von umhergeschleudertem Öl begleitet wird und dieses selbst oft nur zu einem kleinen Teil an der Kühlwirkung teilnimmt (Tauchschmierung bei Zahnrädern!). Eine sorgfältig bemessene „dosierte“ Schmierung mit Frischöl, an die richtige Stelle herangebracht, kann ebenso wirkungsvoll sein.

Ebensowenig ist die Tatsache, daß die „besten“ Öle meistens auch die teuersten sind, dahin umzudeuten, daß

die teuersten Öle — für den betreffenden Verwendungszweck gesehen — unbedingt die „besten“, also unentbehrlich sein müssen. Bei sorgfältiger Beachtung der Regeln der wissenschaftlichen Schmiertheorie unterliegt es keinem Zweifel, daß vielfach leichtere Spindelöle oder ähnliche Sorten praktisch erfolgreich eingesetzt werden können.

In Wirklichkeit kann man mit jedem Stoff flüssiger (oder gar gasförmiger) Natur schmieren, der benetzt, also haftfähig ist: Öl, Wasser, Milch, Zuckerlösung usw., sofern nur die „Tragfaktoren“ richtig kombiniert werden. Da wir nun schon bei der synthetischen Herstellung der Öle aus heimischen Rohstoffen stehen: Wäre es eine Utopie, zu erwarten, daß es dem Forschungsgeist unserer Physiker und Chemiker gelingen sollte, den synthetischen Schmierstoff — wandelbar in seinen Eigenschaften etwa wie andere Kunststoffe — durch konstruktiven Aufbau auf Ölbasis oder anderen Kohlenwasserstoffgruppen so zu entwickeln, daß wir nicht mehr allein von den naturgegebenen Ölar ten und ihren Erbkrankheiten abhängig bleiben? Niemand würde das freudiger begrüßen als der Ingenieur! Er würde dann aufhören, dem Begriff „Schmierstoff“ so oft mit Minderwertigkeitsgefühlen entgegenzutreten. [A. 90.]

Über das Verhalten von Dieselkraftstoffen verschiedener Herkunft in Gemischen*)

Von Prof. Dr. habil. R. HEINZE und Dr.-Ing. habil. M. MARDER

Institut für Braunkohlen- und Mineralölforschung an der Technischen Hochschule Berlin

Eingeg. 10. Juni 1937

A. Die heutigen Kenntnisse über den Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Mineralöle verschiedener Herkunft und der aus ihnen hergestellten Gemische.

Es ist allgemein bekannt, daß sich manche physikalische Konstanten, z. B. die Dichte, die Refraktion und der Parachor¹⁾ von Gemischen aus Mineralölen (2), gleich welcher Herkunft, additiv aus den für die Gemischteilnehmer gemessenen Werten errechnen lassen. Die Zähigkeit von Mineralölgemischen ist insofern aus der Mischungsregel errechenbar, als sich die sog. W-Werte in gewissen Grenzen additiv verhalten (3). Unter W-Wert ist dabei der Ausdruck

$$W = \log \log (V + 0,8)$$

zu verstehen, in dem V die kinematische Zähigkeit in Zentistokes bedeutet. Unter Verwendung der W-Werte ist es deshalb auch möglich, die Viskosität von Mineralölgemischen aus der der Mischungsteilnehmer abzuleiten. Ebenso wurde von G. D. Boerlage u. J. J. Broeze (4) bei Gemischen aus Dieselkraftstoffen festgestellt, daß die i. allg. in Cetenzahlen²⁾ ausgedrückte Zündwilligkeit als additiv zu betrachten ist.

Bei mehreren anderen analytischen Konstanten wurden dagegen in vielen Fällen wesentliche Abweichungen von den nach der Mischungsregel abgeleiteten Werten gefunden, ohne daß bisher eine allgemeine Untersuchung der ge-

legentlich auftretenden Unstimmigkeiten vorgenommen wurde.

Im Hinblick auf die sehr unterschiedliche motorische Eignung der aus heimischen Rohstoffen gewonnenen Dieselkraftstoffe erscheint es jedoch bedeutungsvoll, das Verhalten der aus verschiedenen Rohstoffen und auf verschiedenen Wegen gewonnenen Dieselkraftstoffe in ihren Gemischen zu kennen; denn in vielen Fällen wird es unvermeidlich oder sogar notwendig sein, Gemische aus Kraftstoffen verschiedener Herkunft im Dieselmotor zu fahren. Z. B. werden solche Gemische stets dann erhalten, wenn Kraftstoffe verschiedener Herkunft nacheinander getankt werden. Besonders wichtig ist dabei das Auftreten etwaiger Ausscheidungen im Tank und im Kraftstofffilter (Asphaltbildung) oder im Zylinder (Verkokungsneigung). In der vorliegenden Arbeit wurden deshalb die analytischen und motorischen Daten einer Anzahl von Dieselkraftstoffen verschiedener Herkunft und Aufarbeitungsweise sowie verschiedenen Raffinationsgrades in ihren Gemischen einer näheren Untersuchung unterzogen. Im Gegensatz zu einer anderen, gleichzeitig ausgeführten Arbeit, die sich mit der Lagerfähigkeit von Dieselkraftstoffen befaßte und über die bereits im Schrifttum berichtet wurde (5), wurden die Kraftstoffe und Kraftstoffgemische in der vorliegenden Arbeit unmittelbar nach der Anlieferung bzw. nach dem Ansetzen der Mischungen untersucht.

B. Über die analytischen und motorischen Daten von Erdöl- und Braunkohlendieselkraftstoffen allein und in Gemischen.

Folgende Dieselkraftstoffe wurden zu den Untersuchungen herangezogen:

- 1.—3. Braunkohlendieselkraftstoffe (aus Rolleofen- und Geissenofenteer).
4. Durch Schwelung von Braunkohlen und anschließende Druckwärmespaltung hergestelltes, nicht raffiniertes Öl.
5. Nicht raffiniertes Braunkohlenteeröl (aus Geissenofenteer).
6. Erdöldieselkraftstoff (Deutschland).
7. Durch Druckwärmespaltung hergestellter Erdöldieselkraftstoff (Deutschland).

*) Vorgetragen in der Fachgruppe für Brennstoff- und Mineralölchemie auf der 50. Hauptversammlung des VDCh in Frankfurt (Main) am 9. Juli 1937.

¹⁾ Der Parachor (1) ist eine temperaturunabhängige physikalische Konstante, die sich aus der Dichte d und der Oberflächenspannung σ in der folgenden Weise zusammensetzt:

$$p = \frac{1}{d} \cdot \sigma^{1/4}$$

²⁾ Die Cetenzahl gibt das Mischungsverhältnis an Ceten eines Gemisches aus Ceten und α -Methylnaphthalin an, das dieselbe Zündwilligkeit wie der zu untersuchende Kraftstoff besitzt. Ceten und α -Methylnaphthalin sind leicht- bzw. schwerzündende Kohlenwasserstoffe, die als Eichkraftstoffe zurzeit verwendet werden.