001741

Schmierölviskosität und Motorstart in der Kälte.

Von Dr.-Ing. Karl Schwaiger, Daimler-Benz.

Die mit dem Kaltstart von Motoren in Zusammenhang stehenden Probleme sind verhältnismäßig jung und deshalb noch umstritten. Bis vor ungefähr einem Jahrzehnt gab es ernsthafte Startschwierigkeiten in der kalten Jahreszeit nicht, weil der Kraftwagen damals noch ein teueres Luxusgefährt war, für das neben dem unvermeidlichen Chauffeur selbstverständlich auch eine heizbare Garage zur Verfügung stand. Erst mit der beginnenden Motorisierung Deutschlands vollzog sich dann die Wandlung vom gepflegten Automobil zum unentbehrlichen Gebrauchsfahrzeug für jedermann. Auf Instandhaltung und Unterbringung der nunmehr von den Besitzern selbst gefahrenen Wagen konnte nicht mehr so grosse Sorgfalt verwendet werden. Damit entstand dann die Frage des Kaltstarts im Winter ganz zwangsläufig. Man erkannte bald, daß für die zu geringe Startdrehzahl der durchkälteten Maschine eine starke Zunahme der Zähigkeit des Schmieröles verantwortlich zu machen war. Das Zeitalter der dünnflüssigen Winteröle begann. Der Viskositätswert rückte mehr in den Vordergrund und er hat diese beherrschende Stellung in der Schmierölbewertung bis heute auch behalten. Es lohnt sich deshalb schon, den Grundbegriff der Viskosität etwas näher zu beleuchten.

Ganz allgemein kennzeichnet man mit "Viskosität oder Zähigkeit" den Kraftbedarf, der erforderlich ist, um die kleinsten Bestandteile irgendeines Körpers in der Zeiteinheit gegeneinander zu verschieben. Dabei ist es unwesentlich, ob sich dieser Körper zufällig im gasförmigen, flüssigen oder gar festen Aggregatzustand befindet, er wird stets dieses Viskositätsgesetz befolgen, für das die einfache Beziehung gilt:

$$\text{Visk.} \approx \frac{W}{F \cdot V}$$

wobei W = Bewegungswiderstand
F = Größe der bewegten Fläche
V = Geschwind." "

Der grundsätzliche Aufbau dieses Ausdruckes bleibt für Gase, Flüssigkeiten und feste Körper immer gleich, es ändern sich lediglich einzelne Faktoren in quantitativer Hinsicht, weil es die Physiker bis jetzt noch nicht fertig gebracht haben, für alle 3 Aggregatzustände die absolute Viskosität einzuführen. Ja, es ist noch nicht einmal üblich, für die gleiche Erscheinung eine einheitliche Bezeichnung zu gebrauchen. Wer spricht z.B. von einer Viskosität der Luft. Zähigkeit oder Viskosität der Metalle ist schon geläufiger. Dabei beruhen die physikalischen Vorgänge, wie Schweben einer Tragfläche in der Luft oder schwimmender Lagerzapfen einer Kurbelwelle oder Härteprüfung von Metallen mit der Brinell-Wage, doch letzten Endes alle auf dem gleichen Viskositätsgesetz.

Man kann sich vorstellen, daß der Wert "Null" für die absolute Viskosität von einem permanenten Gas erreicht wird, das unter dem Druck von 0 kg/cm^2 steht. Den Viskositäts-Endwert ∞ würde jeder Körper spätestens dann annehmen, wenn er auf den absoluten Nullpunkt gebracht wird, von dem man annimmt, daß er bei etwa $-273^{\circ}C$ liegt. Zwischen diesen Abgrenzungen bewegen sich die Zähigkeitsgrade aller materiellen Erscheinungsformen. Man sieht hieraus schon, wie abwegig es ist, einer Flüssigkeit (z.B.Schmieröl) ihre Viskositätseigenschaft abzusprechen, wenn sie durch irgendwelche irdischen Zufälligkeiten in einen Temperaturbereich gerät, in dem das Fließvermögen unter ihrem Eigengewicht aufhört. Selbstverständlich besitzt ein solches gestocktes Öl noch seine Viskosität und befolgt auch in diesem salbenartigen, plastischen oder konsistenten Zustand die von Newton aufgestellte Gesetzmäßigkeit, denn solange sich zwei irgendwie benetzte Flächen noch gegeneinander verschieben lassen, behält dieser fundamentale Lehrsatz seine uneingeschränkte Gültigkeit. Manche irrtümliche Auffassung von an sich einfachen Erscheinungen bei Flüssigkeiten wären vermieden worden, wenn man sich von Anfang an die umfassende Bedeutung des Viskositätsbegriffes immer wieder vor Augen geführt hätte.

001743

Lange Zeit war man der Ansicht, daß Schmieröle auch im Temperaturbereich unter 0°C die von Walter aufgestellte Beziehung befolgen. Als es dann gelang, von gestockten Ölen die Viskosität zu messen, war man erstaunt über die Abweichungen von der Walter'schen Viskositätsgeraden (Abb.1). Zur Durchführung solcher Messungen wurden verschiedene Apparaturen geschaffen. Man kann zwei Grundarten unterscheiden. Solche, die mit Hilfe einer Kapillare arbeiten und dann neuartige Dreh-Viskosimeter. Nachdem eine gestockte Flüssigkeit unter der Einwirkung der Schwerkraft allein nicht durch eine enge Röhre fließt, hat man Druckluft zu Hilfe genommen. Das Verhältnis von vorwärtstreibender Kraft zur Länge der widerstrebenden Ölsäule ist dabei aber denkbar ungünstig. Abb.2a+b zeigt schematisch eine Kapillare. Die Kraft P kann nur auf der verschwindend kleinen Querschnittfläche f wirken und soll aber die ganze Ölsäule von der beträchtlichen Länge L stetig vorwärtsbewegen. Die Gleichförmigkeit einer solchen mühsamen Bewegung ist sehr in Frage gestellt durch zahlreiche Zufälligkeiten. Auch leidet die Anzeigegenauigkeit noch unter der in Abb. 2b angedeuteten Durchgangs-Verengung. Salbenartige Körper hängen sich oftmals an den Wandungen fest und lassen bei Röhren nur in der Mitte einen unregelmäßigen Strömungsweg frei. Ebenso können sich bildende oder schon vorhandene Kristallkeime eine Störung der Ölströmung hervorrufen.

Um diese Schwierigkeiten zu vermeiden, hat man Geräte konstruiert, die das Newtonsche Viskositätsgesetz direkt zur Anwendung bringen. Es werden zwei Flächen f mit der Kraft P gegeneinander parallel verschoben (Abb. 2c). Zwischen den im Abstand L voneinander abstehenden Flächen befindet sich die zu messende Flüssigkeit gleichmäßig verteilt. Man stellt die Geschwindigkeit fest, mit der sich die beiden Flächen gegeneinander verschieben lassen und errechnet daraus die Viskosität. Neben dieser denkbar einfachen Berechnungsweise für die Zähigkeit, bringt ein solches Instrument im Vergleich zum Kapillar-Viskosimeter noch den Vorteil einer großen An-

zeigegenauigkeit. Nimmt man beispielsweise in Abb. 2b für P und f die Größenordnung 1 an und für die Länge L = 100, dann ergibt sich ein Verhältnis von treibender Kraft zur Länge $\frac{P \cdot f}{L} = \frac{1}{100}$. Bei dem Schema nach Abb. 2c kann man für f ohne Übertreibung den Wert $f_1 = 100$ setzen und für L den Ausdruck $L_1 = 1$. Draus ergibt sich dann ein Kräfteverhältnis $\frac{P_1 \cdot f_1}{L_1} = \frac{100}{1}$.

Die Anzeigegenauigkeit muß somit beim Newton'schen Meßgerät gegenüber der Kapillare unvergleichlich größer sein. In Abb. 3 ist ein solches mechanisches Viskosimeter dargestellt. Die beiden Benetzungsflächen f der Abb. 2c sind hier aus Gründen der Zweckmäßigkeit als zwei ineinandergeschobene Zylinder ausgebildet, sodaß der Abstand L immer erhalten bleibt. Mit dem Dreh-Viskosimeter lassen sich die Zähigkeitswerte von Motorschmierölen mit für die Praxis hinreichender Genauigkeit einfach und schnell feststellen, was insofern wichtig ist, weil bekanntlich der Anlaßwiderstand eines durchkälteten Motors direkt proportional der Ölviskosität ist. Kennt man letztere für die verschiedenen Kältegrade, dann läßt sich ohne weiteres voraussagen, bis zu welcher Minus-Temperatur ein sicheres Anspringen der Maschine bei dem verwendeten Schmieröl noch erwartet werden kann. Es ist nur erforderlich, die gemessenen Viskositätswerte in das log.Netz nach Abb.4 einzutragen und den Schnittpunkt mit der gestrichelten Querlinie zu suchen. Senkrecht unter diesem Schnittpunkt läßt sich dann die Startgrenze in °C ablesen. Die gestrichelte Grenzlinie ist bei 1000°E (~7500 cSt) eingezeichnet, weil aus einergroßen Zahl von Versuchen mit vielen Motor-Typen und -Größen bekannt ist, daß die normalen Anlaßeinrichtungen ungefähr für diese Zähigkeitsgrade des Schmieröles noch gut ausreichend sind. Öle, die stark von der Viskositätslinie nach oben abweichen, wie beispielsweise die beiden Proben der Abb.1, sind für den Winterbetrieb ungeeignet. Sie erhöhen nicht nur den Anlaßwiderstand und lassen damit den Motor nicht auf seine erforderliche Startdrehzahl kommen, sondern sie fließen auch in den Öl-Leitungen

001745

zu langsam oder gar nicht nach. Wichtige Motorinnenteile, wie Lager, Kolben usw. können dadurch vorübergehend schmierungslos werden und so einen ernsthaften Betriebsschaden verursachen.

Verschiedentlich trifft man noch auf die Meinung, daß beim Anlassen einer durchgefrorenen Maschine zuerst eine besondere große Kraft aufgewendet werden müsse, um ein Kristallgitter oder etwas Ähnliches im Schmierölfilm zu zerstören. Nachdem dann die Zerreißung dieses widerspenstigen Netzes mit einem kräftigen Ruck gelungen ist, würde sich der Motor bequem durchdrehen lassen. Dieser Vorgang wird mit "Losbrechen" bezeichnet. Man hat eine Apparatur gebaut, um dieses vermeintliche Schmierölverhalten nachweisen zu können. Meßergebnisse wurden von Siebald in seinem sehr interessanten Buch über das Kälteverhalten von Schmierölen veröffentlicht. Sie sind mit dem von Penzig entwickelten Gerät aufgenommen und in Abb.5 wiedergegeben. Es lohnt sich, diese Kurven näher zu betrachten. Wie in Abb. 6 dargestellt, zerlegt man den Kurvenverlauf zweckmäßigerweise in einzelne markante Abschnitte, um die vom Apparat aufgezeigten Erscheinungen besser erklären zu können. Abb. 6a zeigt die Charakteristik der Indikatorfeder. Dieser Linienzug entsteht auf der umlaufenden Indikator-Schreibtrommel, wenn man Lagerwelle und Lagerring zusammenkuppelt. Benetzt man die Meß-Lagerschale mit dem Versuchsöl und dreht langsam aber gleichmäßig von Hand durch, dann wird man eine horizontale Linie nach Abb.6b erhalten, die in einem gewissen Abstand von der Grundlinie verläuft. Dieser Abstand ist ein Maß für die Ölviskosität. Den gleichen Vorgang zeigt Abb.6c, nur mit dem Unterschied, daß die Lagerwelle mit dem Elektro-Motor angetrieben wurde. Die Drehzahl der Lagerwelle hält man dabei auf ungefähr n = 1, damit während des Meßvorganges praktisch keine Ölerwärmung eintreten kann. Stellt man das Instrument nunmehr auf seine normale Drehzahl von n = 56 ein und führt Meßreihen durch, dann kommen Kurven

nach Abb. 5 zustande. Wie schon Siebald richtig erkannt hat, sind diese Kurven (Abb. 6d) gegenüber den wirklichen Viskositätswerten (Abb. 6c) wegen der auftretenden starken Reibungswärme um einen gewissen Betrag verschoben. Diese Zähigkeits-Verminderung infolge der Ölerwärmung ist in Abb. 6d durch Schraffur gekennzeichnet. Der Kurvenlauf selbst ist vom Augenblick des Einschaltens an immer stetig. Nirgends, auch nicht am Kurvenbeginn, kann die Andeutung eines Festhakens oder sonst einer zusätzlichen Hemmung beobachtet werden.

Wenn tatsächlich ein sog. "Losbrechwiderstand" auftreten würde, kämen Diagramme nach Art der Abb. 6e zustande. Vom Augenblick des Einschaltens an müßte eine steil aufragende Gerade aufgezeichnet werden, die genau der Federcharakteristik entspricht. Diese aufsteigende Linie würde über die Viskosisätsgrenze hinausgehen. Erreicht dann die Kraft der Indikatorfeder die Höhe des Losbrechwiderstandes, könnte der Schreibstift in einer mehr oder weniger gleichmäßigen Kurve wieder bis auf die Viskositätslinie zurücksinken. Aus einer solchen Kurve würde sich dann unschwer die wirkliche Größe eines effektiven Losbrechwiderstandes herausmessen lassen. (Siehe schraffierte Kurvenspitze).

Daß es sich bei den kurvenförmigen Meßergebnissen nach Abb. 5 tatsächlich um reine Viskositätsaufzeichnungen handelt, kann auch aus der Abb. 7 entnommen werden. Dort sind die Kurvenmaxima aus Abb. 5 in Abhängigkeit von der Temperatur aufgetragen. Es ist ganz offensichtlich, daß es sich um reine Viskositätskurven handelt. Wenn man sich die Mühe macht und diese Werte in das log. System nach Abb. 1 einträgt, dann wird man einen ähnlichen Linienverlauf erhalten, wie ihn die dazugehörigen Absolutwerte für die Kälteviskosität ergeben. Die Werte nach Abb. 7 wären lediglich um die Größe des schraffierten Wärmeanteils aus Abb.6d niedriger.

001747

Daß ein solcher Losbrechwiderstand bei handelsüblichen Motorschmierölen nicht aufzutreten pflegt, kann jederzeit auch im Drehviskosimeter nach Abb. 3 bewiesen werden. Läßt man mit dem Meßzylinder eine Schreibtrommel mit umlaufen, so erhält man bei gleichmäßig nach oben bewegtem Schreibstift einen Linienzug nach Abb. 8a . Um keinerlei Verzögerung oder sonstige Ungenauigkeiten beim Auslösen der Drehbewegung aufkommen zu lassen, wird diese Auslösung elektrisch getätigt. Gleichzeitig läßt man zweckmäßigerweise zwischen dem Schreibstift und der Schreibtrommel mit gleichem Stromstoß einen elektrischen Funken überspringen, der auf dem Papierstreifen eine sichtbare Markierung hinterläßt (Funkenloch). Man wird stets feststellen, daß der Bewegungsbeginn im Augenblick des Einschaltens erfolgt. Würde ein hemmendes Moment eintreten, beispielsweise Festkleben der Lagerschalen durch Ausscheiden von leimartigen Bestandteilen in der Kälte, so müßte ein Bewegungsbild nach Abb. 8b oder 8c entstehen. Bei Schmierölen waren derartige Erscheinungen noch nie zu beobachten.

Untersucht man nun die Durchdrehverhältnisse im Motor selbst, so kommt man wieder zu der Feststellung, daß ein Losbrechmoment nicht auftreten kann. In (Abb. 9) sind Oszillogramme wiedergegeben, die bei verschiedenen Motortemperaturen aufgenommen wurden. Es handelt sich um die Aufzeichnungen der Stromaufnahme des elektrischen Anlassers bei einem 4 Zylinder-Dieselmotor. Man kann genau beobachten, wie beim Einschalten zuerst ein ganz kleiner Stromstoß erfolgt, der zum Verschieben des Ankers dient. Dann, nach dem Einspuren des Anlasserritzels wird der Anlasser selbst eingeschaltet. Es erfolgt eine plötzliche Stromaufnahme bis zu einem gewissen Höchstwert. Diese Anfangsstromaufnahme ist bei allen Motortemperaturen sichtbar von gleicher Größe und somit von der Öltemperatur vollständig unabhängig. Sie dient lediglich zur Erzeugung des elektrischen Feldes und nicht zur Kraftentfaltung des Anlassers selbst. Die anschließenden Stromstärkespitzen sind alle gleich hoch und auch der übrige

Kurvenverlauf ist einheitlich, sodaß von irgendeinem zusätzlichen Ölwiderstand, der gebrochen werden müßte, nicht die Rede sein kann. Es wäre auch gar nicht verständlich, wenn das Schmieröl die gleitenden und reibenden Teile eines kalten Motors zusammenkleben würde, denn unsere bisher bekanntgewordenen Schmierstoffe enthalten keinerlei leimartige Bestandteile. Wenn unterhalb des Trübungspunktes die Öle beispielsweise Paraffin ausscheiden, dann tritt dadurch keine Klebewirkung ein. Die einzelnen Paraffinkristalle liegen nämlich in dem noch flüssigen Restöl lose nebeneinander, aber keinesfalls ineinander verhakt oder gegenseitig festgeklebt. Sie können bei Bedarf unter Aufbietung geringster Kräfte gegeneinander verschoben werden. Selbstverständlich wirken solche Ausscheidungen viskositätserhöhend, wie alle körperhaften Beimengungen, daher auch die Abweichungen von der Viskositätsgeraden im log.System.

Aus diesen Beobachtungen und Überlegungen geht als Schlußfolgerung hervor, daß es unzweckmäßig ist, den Startwiderstand von durchkälteten Motoren unter Zuhilfenahme von übergroßen Anlaßkräften erzwingen zu wollen. Man gefährdet damit nur das Motor-Triebwerk durch mech.Überbeanspruchung und Ölmengel, weil das gestockte Öl nicht nur stark bremsend wirkt, sondern auch nicht schnell genug in den Leitungen nachfließen kann.

Es ist viel sinnvoller, die U r s a c h e dieser Schwierigkeiten zu beseitigen. Demgemäß kann eine erfolgversprechende Abhilfe nur durch Zufuhr von Wärme erwartet werden. Am einfachsten und wirkungsvollsten geschieht dies durch Auffüllen von heißem Kühlwasser. Weniger wirksam,aber noch ausreichend, ist die Erwärmung der Ölwanne. Bei ganz großer Kälte (-25° und mehr) müssen beide Hilfsmittel gleichzeitig zur Anwendung kommen und außerdem ist die Batterie durch Anblasen mit Heißluft auf Temperatur zu bringen. Die Aufgabe für den Konstrukteur lautet daher auf Schaffung eines Gerätes, mit dessen Hilfe Kühlwasser, Schmieröl u.Batterie gleichzeitig und schnell auf mindest.$+10^{\circ}$C erwärmt werden können.

Bn.

001749

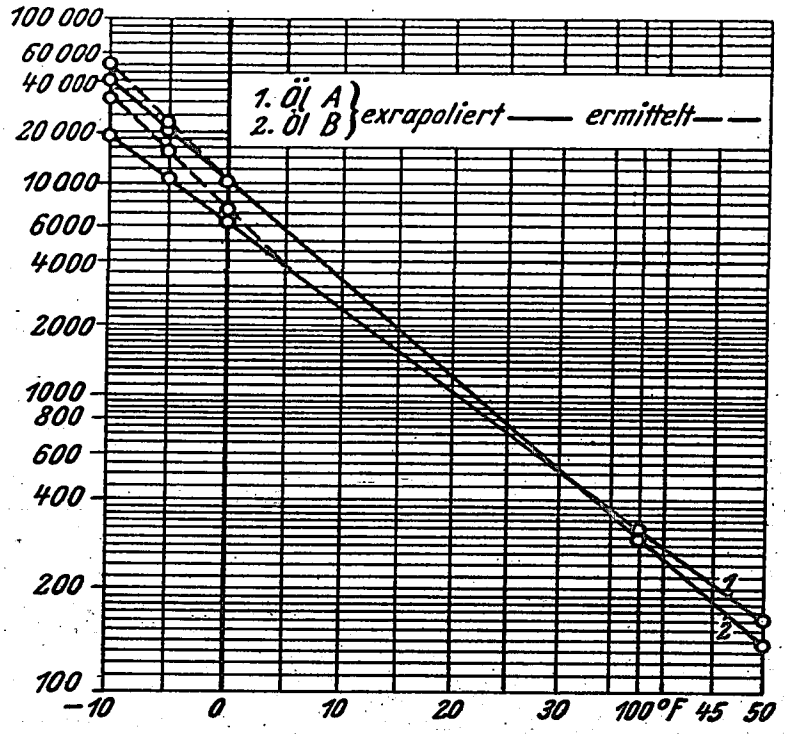


Abb.1: Viskositäts-Temperaturkurven.

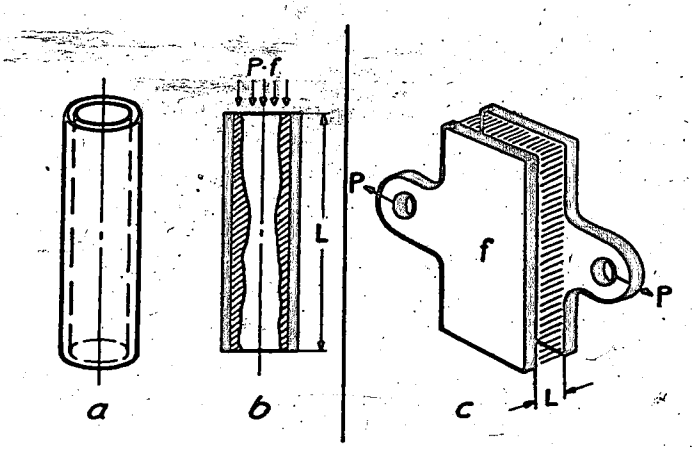


Abb.2: Schematische Darstellung von Kapillar- und Flächenviskosimeter.

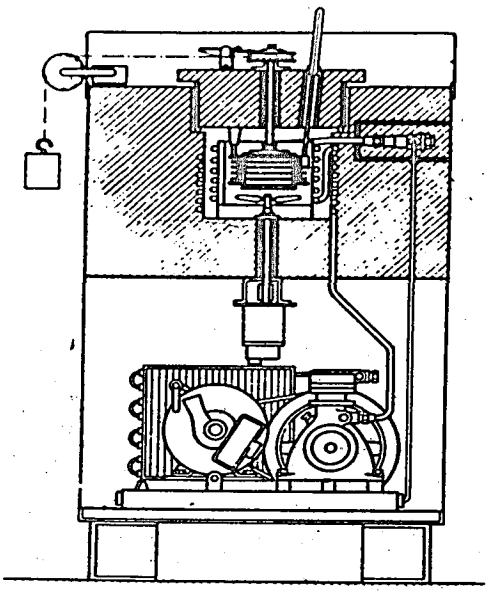


Abb. 3: Drehviskosimeter nach Schwaiger

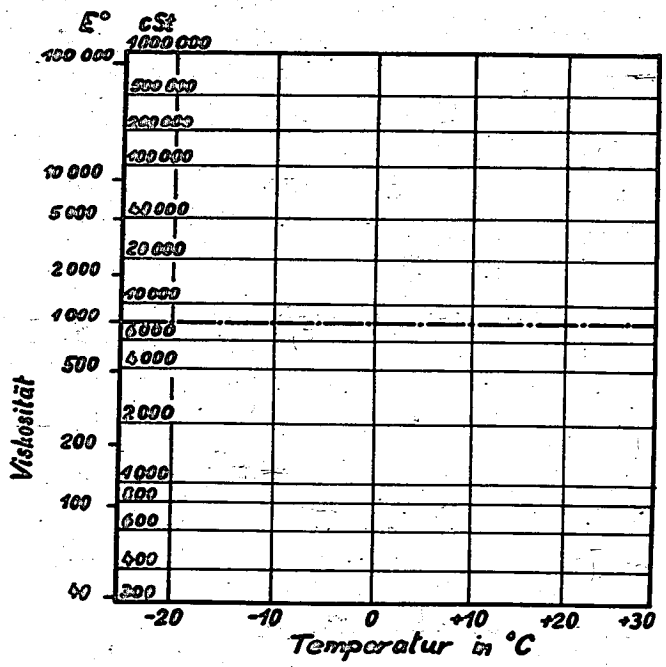


Abb.4: Viskositäts-Temperaturblatt

001751

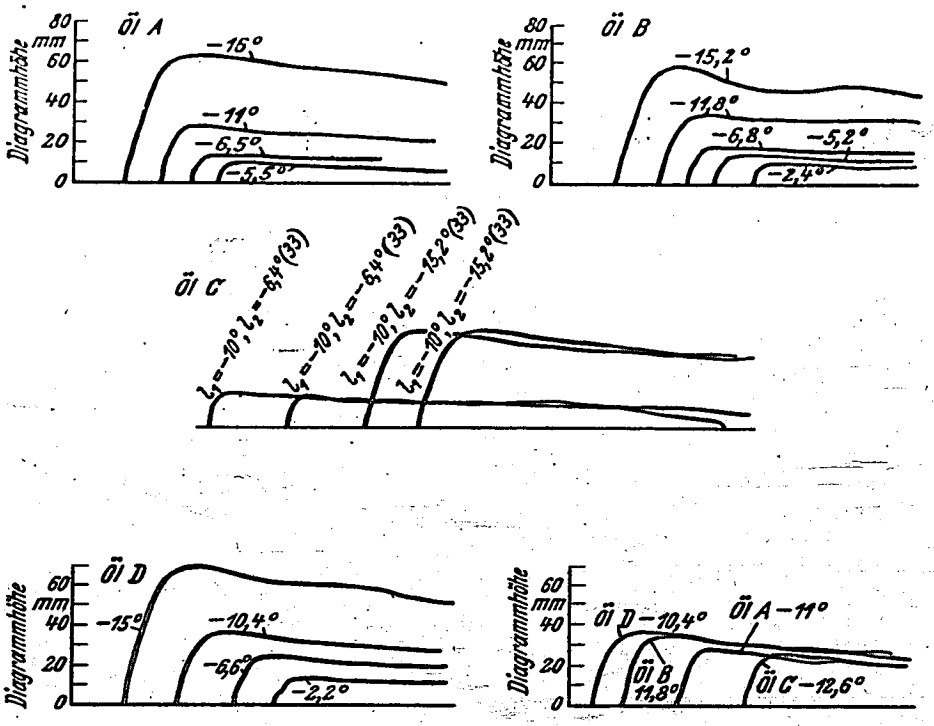


Abb.5: Ergebnisse von Versuchen im I.G.-Kälteschrank.

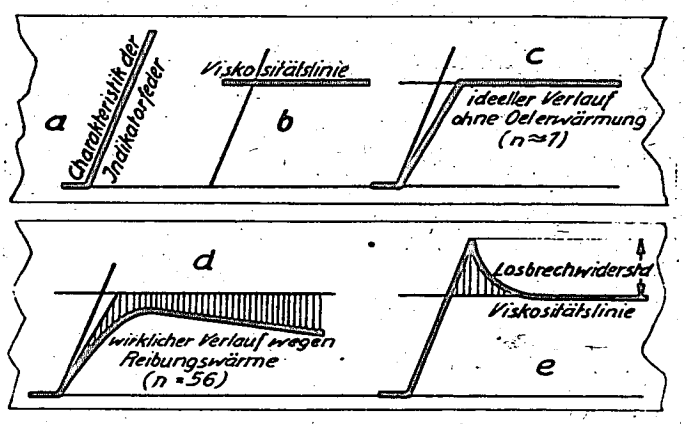
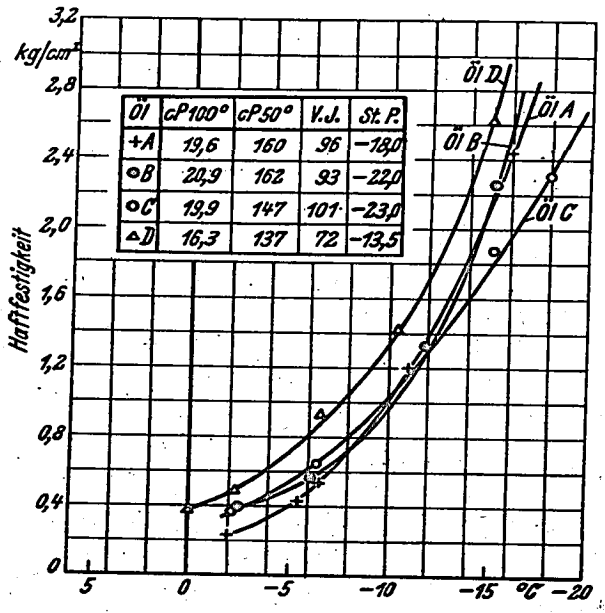


Abb.6: Schematische Darstellung von Kurven.



Öl	cP 100°	cP 50°	V.I.	St. P.
+A	19,6	160	96	-18,0
○B	20,9	162	93	-22,0
○C	19,9	147	101	-23,0
△D	16,3	137	72	-13,5

Abb.7: Versuchsergebnisse.

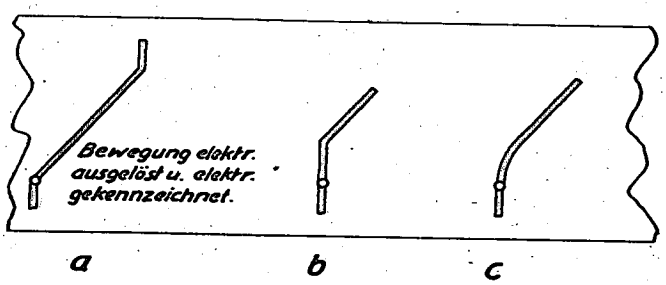


Abb.8: Startdiagramm beim Drehviskosimeter.

001753

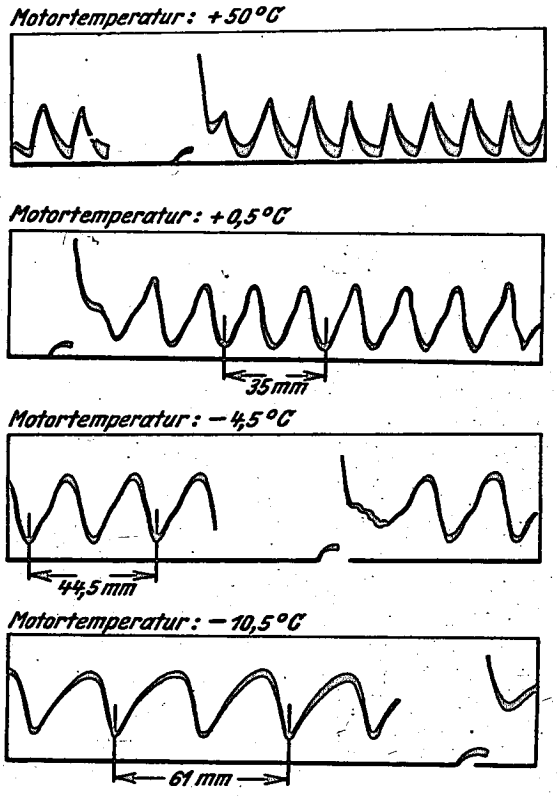


Abb.9: Stromaufnahme beim Start eines Motors.