

A 97

Bericht Nr. 572

**Untersuchung über das Pumpverhalten von
Motorölen**

9327



Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 572

Untersuchung über das Pumpverhalten von Motorenölen.

Übersicht: Die Pumpversuche mit 10 verschiedenen Motorenölen wurden unter Bedingungen durchgeführt, die den Verhältnissen am kalten Motor weitgehend entsprechen. Sie führten zu dem Ergebnis, dass die aus einem Behälter in einer gewissen Zeitspanne ausgepumpte Menge weitgehend vom Stockpunkt abhängig ist. Ein Einfluss der extrapolierten Zähigkeit ist nicht feststellbar. Versuche über die Geschwindigkeit, mit der das gepumpte Öl in den Sumpf zurückfließt, lassen weder einen Zusammenhang mit dem Stockpunkt noch mit der extrapolierten Zähigkeit erkennen. Eine Beziehung zwischen dem praktischen Verhalten und der Zähigkeit lässt sich vielleicht aufstellen, wenn nicht die extrapolierte sondern die gemessene Zähigkeit bei Kälte herangezogen wird, wobei jedoch die Messung bei verschiedenen Schergeschwindigkeiten erfolgen muss.

Abgeschlossen am: 20. Juli 1944 L.

Bearbeiter: Dipl. Ing. Halder



Halder

Die vorliegende Ausfertigung enthält

10 Textblätter

9 Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger

9328

Untersuchung über das Pumpverhalten von Motorenölen.

1) Zweck der Versuche.

Dem Technischen Prüfstand Oppau wurde vom OKH folgender Forschungs- und Entwicklungsauftrag erteilt: "Festlegung einer neuen maßgeblichen Bestimmungsgröße zur Kennzeichnung des Kälteverhaltens von Motoren- und Getriebeölen".

2) Allgemeines.

Das "Kälteverhalten" ist nur ein Sammelbegriff für Startwiderstand, Pumpfähigkeit, Umfüllfähigkeit usw. Da man nicht von einem Begriff auf den andern schließen kann, ist es erforderlich, für jeden nähere Untersuchungen anzustellen. Der Startwiderstand kann mit hinreichender Genauigkeit und mit guter Übereinstimmung mit der Praxis durch die Losbrechversuche im I.C.-Kälteschrank erfaßt werden. Weniger klar liegen die Verhältnisse bezüglich der Pumpfähigkeit. Es wird daher bei diesen Versuchen zur Aufgabe gestellt, das Pumpverhalten von Motorenölen bei tiefen Temperaturen näher zu untersuchen und die gefundenen Werte mit den bisher üblichen Bewertungsgrößen in Beziehung zu bringen.

Beim Aufbau des Versuchsgerätes waren folgende Überlegungen maßgebend: Der Grund, warum man sich überhaupt mit der Pumpfähigkeit von Motorenölen bei tiefen Temperaturen befassen muß, sind die zuweilen auftretenden Schäden an Lagern, Kolben und Zylindern unmittelbar nach dem Start im Winter. Die Ursache ist Mangel an Öl in den Schmierstellen. Schon während des Startvorganges wird das vorhandene Öl ganz oder teilweise durch die Pumpe an die Schmierstelle gefördert. Das außerordentlich zähflüssige Öl fließt jedoch nicht zurück, sondern bleibt an den Innenwänden des Motors haften. Die Pumpe kann sich also sehr rasch freisaugen und die Förderung hört auf. Sie beginnt erst wieder, wenn das an den Wänden hängende Öl in die Ölwanne zurückkehrt. Dieser Vorgang wird durch das erfolgte Anspringen des Motors und der damit verbundenen Erwärmung stark beschleunigt. Die Zeit, in der kein Öl gefördert wird, ist besonders kritisch. Am besten ist also das Öl zu bewerten, bei dem diese kritische Zeitspanne am kürzesten ist. Von einem Öl, das pumpfähig sein soll, muß man verlangen, daß eine gewisse Mindestmenge an Öl von Anfang an während des Startvorganges gefördert wird und daß das geförderte Öl in einer annehmbaren Zeit wieder zurückkehrt. Es ist also erforderlich festzustellen, welche Menge aus

einem gegebenen Ölvorrat in einer bestimmten Zeit gepumpt werden kann und wie schnell ein gepumptes Öl wieder zurückfließt. Um diese Kälteeigenschaften zu erfassen, wurden die nachfolgend beschriebenen Anordnungen angewandt.

3) Versuchsanordnung.

Von der Firma Daimler-Benz A.-G., Gaggenau, wurde für diese Versuche eine komplette Ölpumpe eines Kraftwagenmotors mit Nockenwelle und Ölfilter zur Verfügung gestellt. Diese Teile wurden zusammen mit einem Ölbehälter in den IG-Kälteschrank¹⁾ eingebaut. Alle mit dem Öl in Berührung kommenden Teile wurden im Arbeitsraum des Schrankes angeordnet; sie nahmen also die jeweilige Kühltemperatur an. Der Antrieb der Pumpe ragt nach oben aus dem Schrank heraus. Die auf dem Schrank angebrachte Nockenwelle wurde durch Keilriemenantrieb mit einer Drehzahl von 60 U/min in Drehung versetzt. Es besteht ferner die Möglichkeit, die Pumpe auch mit 720 U/min zu betreiben. Bei den hier vorliegenden Versuchen wurde von dieser Möglichkeit kein Gebrauch gemacht. Die Erzeugung der tiefen Temperatur erfolgte, wie üblich, mit Kohlendioxidschnee. Die Konstanzhaltung der Temperatur wird durch eine elektrische Heizung, die durch elektrische Regler gesteuert wird, bewerkstelligt. Zur Durchführung der verschiedenen Messungen waren im Arbeitsraum des Kälteschranks zwei verschiedene Anordnungen erforderlich. Davon sollte die erste Anordnung dazu dienen, festzustellen, welche Ölmenge aus einem gegebenen Behälter bei tiefen Temperaturen überhaupt entnommen werden kann.

Die zweite Anordnung sollte über das Zurückfließen des gepumpten Öles Aufschluß geben.

a) Die erste Anordnung ist auf Blatt 1 dargestellt. Die Pumpe ragt mit dem Ansaugfilter 7 cm tief unter den Ölspiegel. Die eigentliche Pumpe bleibt außerhalb des Öles. Es liegen annähernd dieselben Einbauverhältnisse vor wie im Motor. Das Ölfilter wurde bei dieser Anordnung weggelassen, da sich gezeigt hat, daß bei diesen Versuchen stets bei Drücken gearbeitet wird, bei denen sich das Umgehungsventil sowieso öffnet, das Filter also kurzgeschlossen ist. Das Öl wird also unmittelbar aus der Pumpe in eine Leitung von 700 mm Länge und 10 mm l.ß. gedrückt und tritt aus einer Düse von 8 mm ϕ aus und gelangt in einen Meßbehälter.

1) Luftwissen Bd. 9, Nr. 1, S. 19, 1942

Die Wahl des Durchmessers der Düse ist für den ganzen Versuchsverlauf ausschlaggebend. Die Düse muß so gewählt werden, daß sie ein Ersatz darstellt für sämtliche Ölaustrittsstellen im Motor. Durch überschlägige Berechnung wurde ein Querschnitt von etwa $0,5 \text{ cm}^2$ gefunden, daraus ergab sich ein Durchmesser der Düse von 8 mm. Um die Richtigkeit dieser Wahl zu prüfen, wurde ein Pumpversuch bei $+50^\circ\text{C}$ mit 720 U/min durchgeführt. Das Öl hatte dabei eine Zähigkeit von rd. 60 cSt. Beim Versuch stellte sich ein Öldruck von 2,5 at ein. Dies entspricht annähernd auch dem bei dieser Drehzahl in der Praxis vorkommenden Druck. Die für die Versuchsanordnung gewählte Austrittsdüse stellt also zusammen mit der Rohrleitung annähernd den gleichen Widerstand dar wie sämtliche Schmierkanäle des Motors:

b) Bei der zweiten Anordnung (Blatt 2) wurde das Filter in den Kreislauf eingeschaltet. Das Öl wurde in denselben Behälter zurückgepumpt, aus dem es entnommen wurde. Um den Rücklauf des Öles etwas zu erschweren, wurde das Öl zunächst auf eine schiefe Ebene gepumpt und gelangte von da um eine Trennwand herum wieder zurück zum Ansaugfilter. Es sollte damit bezweckt werden, den Verhältnissen am Motor wenigstens einigermaßen gerecht zu werden. Die Länge der Druckleitung betrug im ganzen 1600 mm, ihre lichte Weite 10 mm und der Durchmesser der Düse am Austritt 8 mm.

Die Anordnung der Thermometer und Thermolemente für beide Anordnungen geht aus Blatt 1 und 2 hervor.

4) Versuchsdurchführung.

a) Versuche zur Bestimmung der Fördermenge.

Der Vorratsbehälter wurde mit einer für alle Versuche gleichbleibenden Ölmenge von 3 Litern beschickt, dann die Pumpe kurzzeitig bei Raumtemperatur in Gang gesetzt, um Pumpe und Ölleitungen zu füllen. Hierauf wurde der Arbeitsraum auf die Versuchstemperatur abgekühlt und diese Temperatur auf eine Dauer von 6 bis 10 Stunden konstant gehalten. Die Haltezeit richtete sich dabei nach der gewünschten Temperatur. Besonders tiefe Temperaturen verlangen eine längere Haltezeit, um gleichmäßige Abkühlung zu erreichen als höhere Temperaturen. Vor Versuchsbeginn wurden die Temperaturen am Thermolement, an den beiden Thermometern im Öl links und rechts des Ansaugsiebes und die Lufttemperatur abgelesen. Entsprechend einer angenommenen Startzeit von 5 Minuten wurde die Pumpe mit 60 U/min in Gang gesetzt. Während des Laufs wurde nach je 15 Sekunden der Öldruck gemessen. Die in diesen

5 Minuten geförderte Ölmenge wurde durch Wägung des Meßbehälters festgestellt. In derselben Weise wurde beim nächsten Versuch bei einer anderen Temperatur vorgegangen. Eine Erneuerung des Öles erfolgte nicht.

b) Versuche über das Fließvermögen des gepumpten Öles.

Für die Füllung sämtlicher Teile des Systems wurden 4 Liter Öl verwendet. Um die Luft aus den Leitungen und dem Filter zu entfernen, war es notwendig, die Pumpe bei Raumtemperatur mit 720 U/min kurzzeitig in Betrieb zu setzen. Darnach begann der eigentliche Versuch, wobei bei ständigem Lauf der Pumpe mit 60 U/min das ganze Ölsystem abgekühlt wurde. Gemessen wurden in gewissen Zeitabständen die Temperaturen im Öl und an den Thermoelementen, außerdem der Öldruck. Der Versuch war zu Ende, wenn durch Auftreten von Luftblasen der Druck plötzlich fast auf 0 abfiel und die Förderung nahezu aufhörte. In diesem Augenblick wurden die Temperaturen und der höchste erreichte Öldruck gemessen.

Folgende Öle wurden zur Untersuchung herangezogen:

T a b e l l e 1

Öl Nr.	Zähigkeit cSt bei °C			VJ	n	p	spez. Gew. g/cm ³	Stoßpunkt °C
	20	+1 38	99					
1	268,40	87,97	8,75	69	3,80	2,26	0,906	0
2	456,10	149,10	13,56	97	3,48	1,91	0,880	-12
3	58,12	172,30	13,66	78	3,65	2,21	0,911	-18
4	330,00	105,80	9,98	75	3,73	2,20	0,905	-19
5	282,00	96,93	10,22	91	3,59	1,96	0,877	-26
6	189,10	68,85	8,28	91	3,62	1,89	0,885	-41
7	394,30	130,20	12,25	92	3,54	1,96	0,883	-14
8	1086,50	275,10	17,10	71	3,70	2,43	0,911	-20
9	179,30	66,14	7,99	88	3,65	1,91	0,873	-20
10	317,10	109,00	10,97	85	3,63	2,05	0,902	-25

Versuchsergebnis:

a) Versuche zur Bestimmung der Fördermenge.

Bei diesen Versuchen zeigte sich, daß in dem untersuchten Temperaturbereich die Förderung in der Regel schon nach 1 - 3 Minuten aufhörte. Der Öldruck stieg nach den ersten Umdrehungen rasch an und fiel dann langsam wieder ab. Beim Auftreten der ersten Luftblasen sank der Öldruck sofort fast auf 0 ab. Damit hörte auch die Ölförderung praktisch auf. Die ab- und zu noch geförderten Öltropfen vergrößerten die in den ersten Minuten in ununterbrochenem Ölstrom unter hohem Druck durch die Leistung gepreßte Ölmenge nur ganz unwesentlich. Aus der Tatsache, daß bereits vor Ablauf der festgesetzten Pumpzeit von 5 Minuten die Förderung aufhörte,

obwohl noch genügend Öl im Vorratsbehälter vorhanden war, ist zu entnehmen, daß nicht die mangelnde Förderleistung der Pumpe die Ursache der geförderten geringen Ölmenge ist, sondern, daß die Pumpe an irgend einer Stelle des ansaugendes sich frei gesaugt hat und sich im Öl ein Trichter gebildet hat, durch den Luft eingetreten ist. Diese Trichterbildung kann auch durch Augenschein beobachtet werden. Die Pumpe selbst und alle auf Saugseite befindlichen Teile waren absolut dicht, Leckage Luft wurde in keinem Fall festgestellt.

Die Ergebnisse dieser Pumpversuche sind auf Blatt 3 und 4 dargestellt. Den Verlauf der bei diesen Versuchen beobachteten höchsten Drücke zeigen Blatt 5 und 6. Die maximale Menge, die aus dem Vorratsbehälter überhaupt durch diese Pumpenanordnung entnommen werden kann, beträgt 2,6 Liter. Als unterste Grenze für die angewandte Pumpzeit von 5 Minuten wurden 1 Liter angenommen. Es ist Ansichtssache, welche Mindestölmenge man für den Startvorgang vorschreiben will; die aufnahmefähigkeit der Schmierstellen an Öl ist verhältnismäßig gering, sodaß man sich vielleicht auf eine Ölmenge von 1 Liter beschränken kann. Das sind im Vergleich zu der möglichen (bei Raumtemperatur gepumpten) Menge rd. 38%. Die folgende Untersuchung soll jedoch auch für eine Menge von 2 Liter (= 76%) angestellt werden. Bestimmt man aus den Kurven in Blatt 3 und 4 die Temperatur, bei der eine Ölmenge von 1 bzw. 2 Liter gerade noch gefördert werden kann - im folgenden als Grenstemperatur bezeichnet - (Tabelle 2), so zeigt ein Vergleich mit dem Stockpunkt die auf Blatt 7 (Bild 8) dargestellte Abhängigkeit. Man erkennt eine eindeutige Beziehung zwischen der Grenstemperatur und dem Stockpunkt, gleichgültig, ob man für die Grenstemperatur 1 oder 2 Liter Fördermenge zu Grunde legt. Für die Grenstemperatur für 1 Liter wurden auch die extrapolierten Zähigkeiten ermittelt und in das Diagramm eingetragen. Öl 1 ist ein Beispiel für ein Öl, das bei hoher Temperatur bereits versagt, obwohl seine extrapolierte Zähigkeit noch sehr niedrig ist. Öl 6 stellt den entgegengesetzten Fall dar. Trotz sehr hoher extrapolierte Zähigkeit ist das Öl infolge seines tiefen Stockpunktes noch bei tiefen Temperaturen in ausreichender Menge pumpbar. Man sieht also daraus, daß bei diesen Versuchen der Stockpunkt einen ausschlaggebenden Wert darstellt, während die extrapolierte Zähigkeit soviel wie belanglos ist, ein Ergebnis, das bereits bekannt ist und in Bericht Nr. 269 (1934) niedergelegt ist.

Die auf Blatt 5 und 6 dargestellten Kurven stellen den Verlauf der höchsten, während der 5-minütlichen Pumpzeit beobachteten Drücke dar. Sie haben dabei häufig den Meßbereich des verwendeten Manometers von 50 at überschritten. Sie nehmen mit zunehmender Temperatur annähernd geradlinig ab. Legt man eine Fördermenge von 1 Liter zugrunde, so kann man für die aus Blatt 3 und 4 ermittelte Grenstemperatur

die entsprechenden Drücke aus Blatt 5 und 6 entnehmen (Tabelle 2). Auf Blatt 7, Bild 9, ist dieser so ermittelte Öldruck für die verschiedenen Schmierstoffe aufgetragen und zwar in der Reihenfolge zunehmender Drücke. Ein Vergleich mit der extrapolierten Zähigkeit läßt erkennen, daß ein gewisser, wenn auch nicht ganz befriedigender Zusammenhang vorhanden ist.

Tabelle 2

Öl Nr.	Grenztemp. für eine Fördermenge von °C		extrap. Zähigkeit für Grenztemp. 1 Ltr. cSt	Öldruck für Grenztemp. 1 Ltr. at	Stockpunkt °C
	1 Ltr.	2 Ltr.			
1	- 3,5	- 0,5	2300	4,0	0
2	-13,0	-10,0	12000	21,0	-12
3	-17,3	-13,3	37000	31,5	-18
4	-22,0	-17,7	34000	33,0	-19
5	-25,0	-20,7	30000	45,0	-26
6	-46,0	-28,0	550000	>50,0	-41
7	-14,8	-11,4	11500	20,5	-15
8	-21,0	-15,0	210000	43,0	-20
9	-26,0	-20,0	17000	32,0	-26
10	-24,4	-20,2	33000	45,5	-25

Man beobachtet merkwürdigerweise mit fallendem Stockpunkt ein ansteigen des Öldruckes. Dieser scheinbare Widerspruch hat folgenden Grund: Die geprüften Öle besitzen annähernd alle gleiche Zähigkeit. Einem tiefen Stockpunkt muß also immer eine hohe Viskosität zugeordnet sein und umgekehrt. Hohe Zähigkeit bedingt jedoch wiederum hohen Öldruck. Da aber das Versagen beim Pumpversuch weitgehend durch den Stockpunkt beeinflußt wird, kann man somit von einer mittelbaren Abhängigkeit des bei der Grenztemperatur gemessenen Pumpendruckes vom Stockpunkt sprechen.

Man kommt aufgrund der bisherigen Ergebnisse zu folgender Schlußfolgerung. auf Saugseite der Pumpe, wo das Öl unter Wirkung seiner eigenen Schwere zufließen muß, ist der Stockpunkt eine ausschlaggebende Bewertungsgröße. Im Druckteil der Pumpe, wo die Bewegung des Öles zwangsläufig und bei größerer Geschwindigkeit erfolgt, tritt der Einfluß des Stockpunktes stark zurück und die Zähigkeit --roh bestimmbar durch Extrapolieren-- tritt als maßgebende Größe in den Vordergrund. Für die Ölversorgung wichtig ist jedoch die Saugseite der Pumpe und damit der Stockpunkt des Öls. Das Verhalten des Schmierstoffs auf Druckseite ist höchstens von Bedeutung bei der Abschätzung der für die Ölförderung erforderlichen mechanischen Leistung. Je höher der Öldruck, desto größer dürfte die vom Anlasser aufzubringende Leistung sein. Bei den vorliegenden Versuchen wurden Leistungsmessungen nicht vorgenommen, jedoch

konnten stets bei hohen Drücken verschiedene Anzeichen für hohes Antriebsdrehmoment, z.B. Riemenrutschen, festgestellt werden. Ein Öl, das sehr hohe Antriebsleistungen an der Pumpe verlangt, ist z.B. Öl 6. Es muß bezweifelt werden, ob ein Anlasser imstande ist, gegen den Widerstand der Pumpe, der Lager und Kolben die zum Anspringen notwendige Leistung aufzubringen. Es ist vielmehr anzunehmen, daß die Pumpe in wenigen Minuten sich frei saugt und dann durch das rasche Absacken des Druckes nur noch ein Bruchteil der bisherigen Leistung beansprucht und daß auf diese Weise das Anlassen überhaupt erst ermöglicht wird.

b) Versuche über das Fließvermögen des gepumpten Oles.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3

Öl Nr.	1		3		8		9		10	
	Einzelversuch	Mittel	Einzelversuch	Mittel	Einzelversuch	Mittel	Einzelversuch	Mittel	Einzelversuch	Mittel
ununterbrochene Förderung bis °C	-9,2 -8,2 -10,0	-9,1	-18,2 -16,0 -17,5 -17,5	-17,3	<-16,0 <-20,0 >+)	<-20,0	-17,6 -16,9 -17,5	-17,3	-11,5 -12,1	-11,8
Öldruck bei Versuchs-ende at	6,8 6,5 6,9	6,7	26,0 31,0 25,0 26,5	27,1	>38,0 >50,0	> 50,0	8,8 8,3 8,9	8,7	11,0 11,8	11,4
extrapol. Zähigkeit b. Versuchs-ende	4 000		35 000		>170 000		5 000		7 000	
Stockpunkt	0		-18		-20		-26		-25	

+) Antriebsriemen rutscht.

Durch diese Versuche erhält man einen Anhaltspunkt über das Fließverhalten eines Öls, das bereits einmal durch die Pumpe gegangen ist und nun in die Ölwanne zurückfließt. Es gibt Öle, die durch Rühren, Pumpen usw. ihre Steifigkeit wesentlich verlieren und in diesem Zustand ein besseres Fließverhalten zeigen als vorher. Zu diesen Schmierstoffen gehört z.B. Öl 1, das mit einem Stockpunkt von 0° bis unter -9°C noch ein ausreichendes Fließvermögen besitzt. Diese Erscheinung ist nicht etwa auf eine übermäßige Erwärmung durch den Pumpvorgang zurückzuführen, sondern

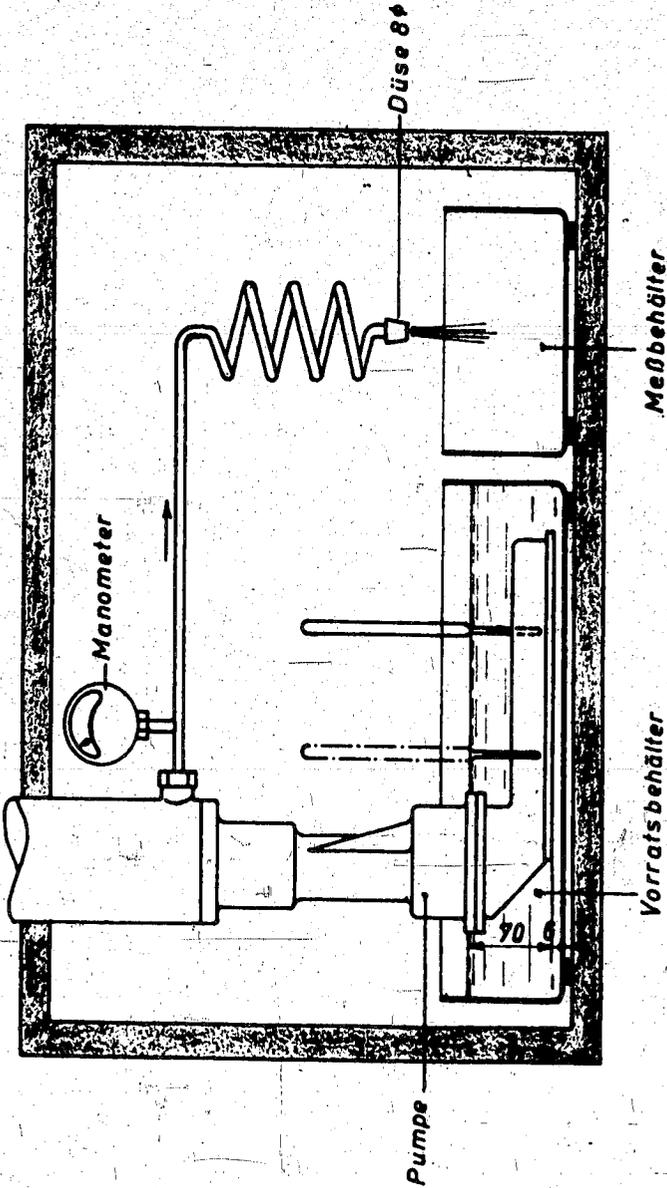
hat folgende Ursache: Durch das Pumpen wird ein Kristallskelett, das den hohen Stockpunkt verursacht, zerstört. Das Fließvermögen eines solchen Öles richtet sich dann mehr nach der extrapolierten Zähigkeit, die in dem Fall des Öles 1 bei der Temperatur des Stockpunktes noch sehr niedrig liegt. Ob das Durchpumpen des Öles eine Veränderung des Fließvermögens hervorruft, hängt offenbar auch stark von der Art des vorhandenen Kristallskelettes ab. Öle, die ihren Stockpunkt erreichen, ohne dabei Ausscheidungen fester Art zu zeigen, behalten ein ausreichendes Fließvermögen bis nahe an den Stockpunkt. Ein Beispiel hierfür ist Öl 8. Eine allgemein gültige Regel läßt sich aufgrund der wenigen Versuche nicht aufstellen. Die Frage des Fließvermögens gepumpter Öle ist offenbar noch zu wenig erforscht, sie bedarf noch näherer Untersuchung.

Nach diesen Ergebnissen muß man der Frage näher treten, ob die Festlegung einer neuen Bestimmungsgröße erforderlich ist. Soweit sich aufgrund der bisherigen Versuche überblicken läßt, dürfte es möglich sein, die Fördermenge durch angeben des Stockpunktes ausreichend zu charakterisieren. Durch Heranziehung der Zähigkeit läßt sich vielleicht auch das Nachfließen des gepumpten Öles erfassen. Hierzu ist allerdings erforderlich, die Zähigkeit nicht zu extrapolieren, sondern zu messen. Die Bestimmung der Zähigkeit darf sich aber nicht nur auf verschiedene Temperaturen erstrecken, sondern sollte vor allem auch bei sehr verschiedenen Schergeschwindigkeiten erfolgen; denn auch in der Praxis treten starke Unterschiede in dieser Beziehung auf. Die Motorenöle sind bei tiefen Temperaturen keine idealen Flüssigkeiten nach Newton, bei denen die Zähigkeit unabhängig ist von der Schergeschwindigkeit. Das beweist folgender einfacher Versuch im Schwaiger-Viskosimeter. Verwendet man anstelle des normalen Gewichtes von 0,9 kg ein solches von 3,0 kg, so erhält man nicht etwa, wie nach dem Newtonschen Gesetze zu erwarten wäre, die $\frac{3}{4}$ - (3:0,9) fache Umlaufgeschwindigkeit, sondern eine höhere und damit eine geringere Zähigkeit. Wie Blatt 8 zeigt, ist die Veränderung der gemessenen Zähigkeit durch diese Maßnahme bei den einzelnen Ölen verschieden und ruft eine Veränderung der Reihenfolge der Zähigkeit hervor. Messungen mit größerem Gewicht kommen der extrapolierten Zähigkeit näher als mit kleinem. Die bei den Versuchen nach Blatt 8 sich ergebenden Schergeschwindigkeiten liegen zwischen 4,2 und 1100 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$. Diese Geschwindigkeiten sind noch sehr hoch. Zur Beurteilung des Fließverhaltens z.B. müßten noch wesentlich kleinere gewählt werden. Dabei würden sich vermutlich noch stärkere Verschiebungen der Öle in ihrer Reihenfolge ergeben. Diese Versuche zeigen also, daß durch Veränderung der Schergeschwindigkeit sehr unterschiedliche Zähigkeiten gemessen werden, die vermutlich wertvollen aufschluß der Schmierstoffe über das Kälteverhalten in der Praxis geben können. Man kann ferner daraus entnehmen, daß Zähigkeitsmessungen bei tiefen Temperaturen eigentlich wertlos sind, wenn über die Schergeschwindigkeiten keine Angaben gemacht werden.

Versuche zur Bestimmung der Fördermenge bei tiefen Temperaturen

Versuchsordnung

Bild 1



9337

10186 28 000 71, 42

Versuche über das Fließvermögen des gepumpten Öles

Versuchsanordnung Bild 3

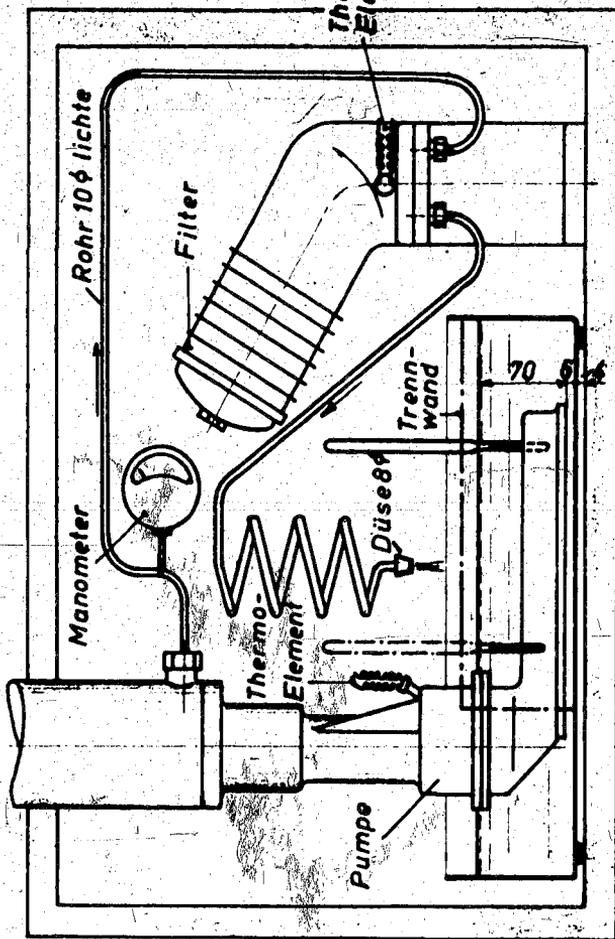
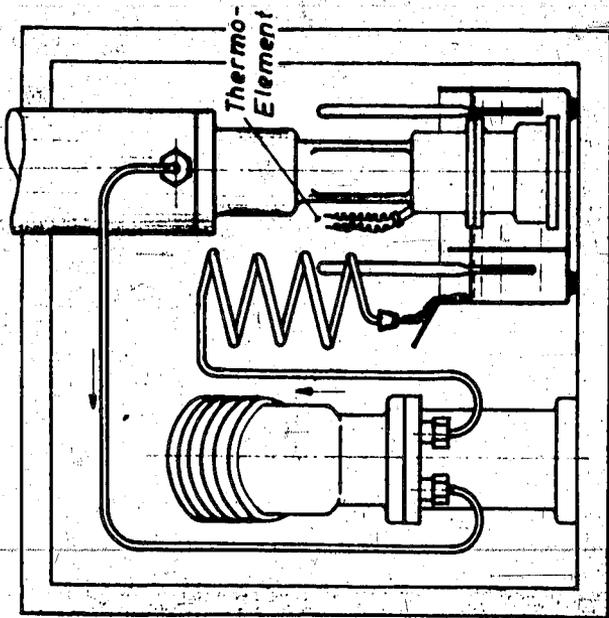


Bild 2

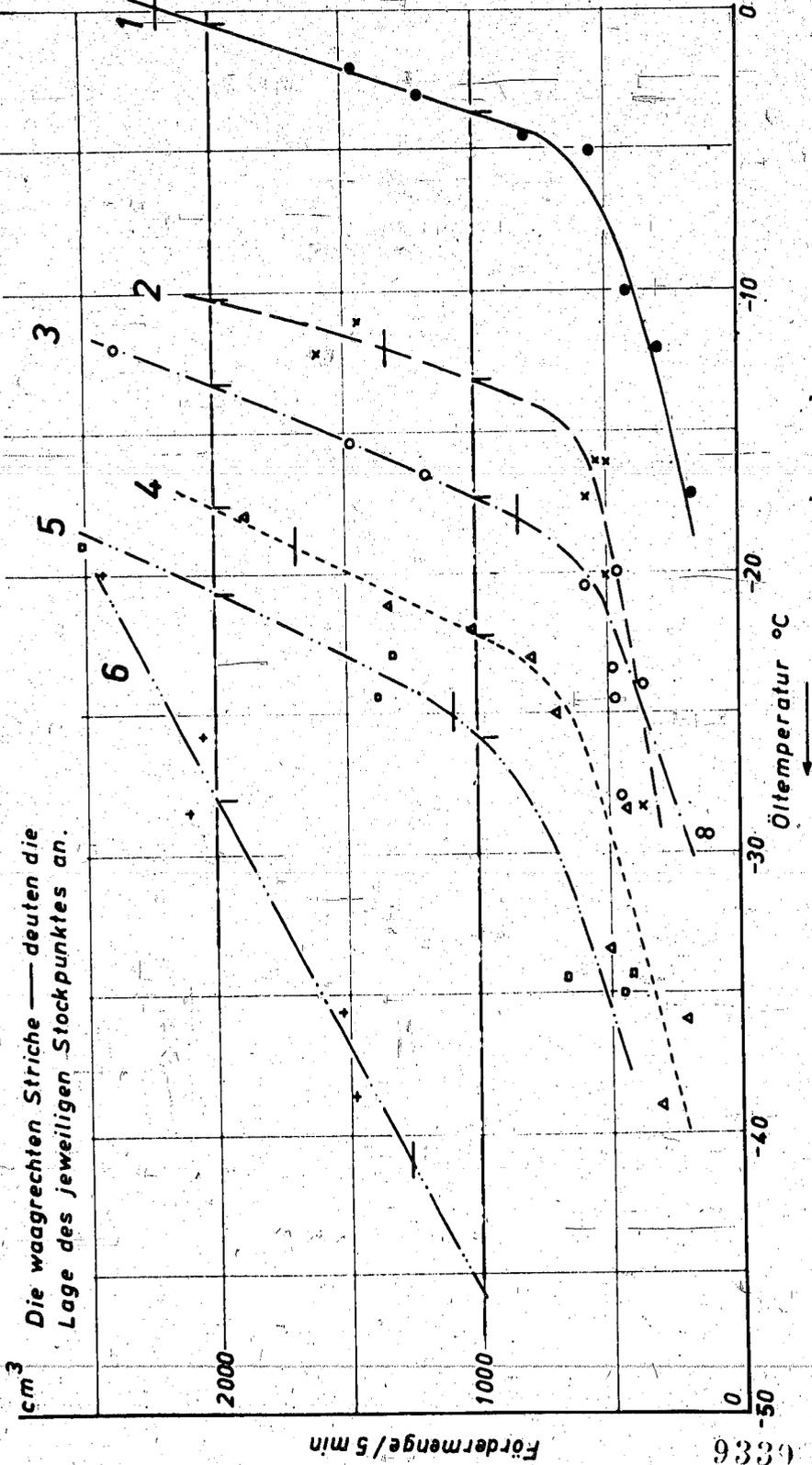


Gesamtlänge der Rohrleitungen = 1,6 m

9338

171286 25.000. S. 43

Fördermenge in Abhängigkeit von der Öltemperatur



Die waagrecht Striche — deuten die Lage des jeweiligen Stockpunktes an.

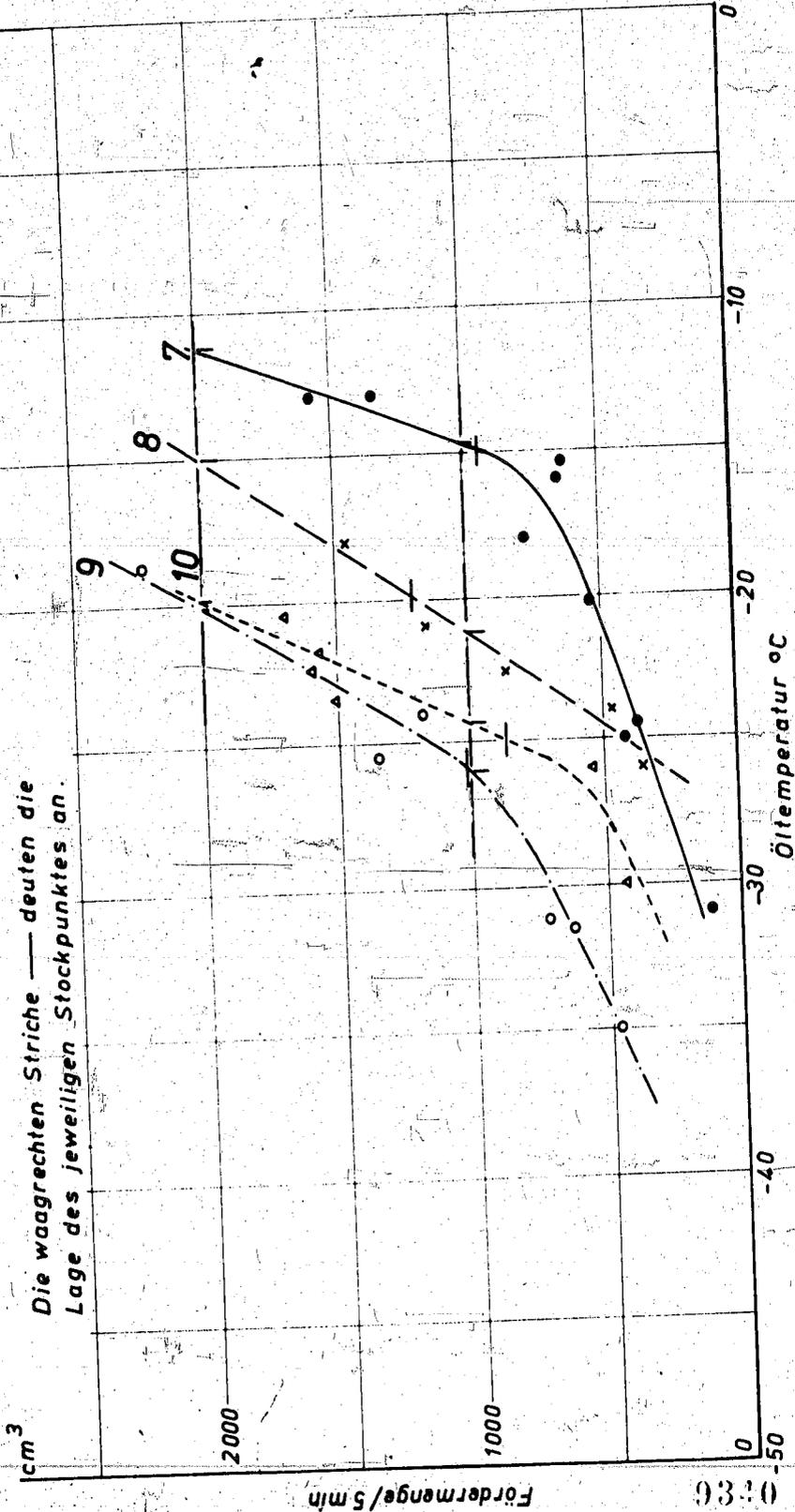
Bild 4

6336

Fördermenge in Abhängigkeit von der Öltemperatur

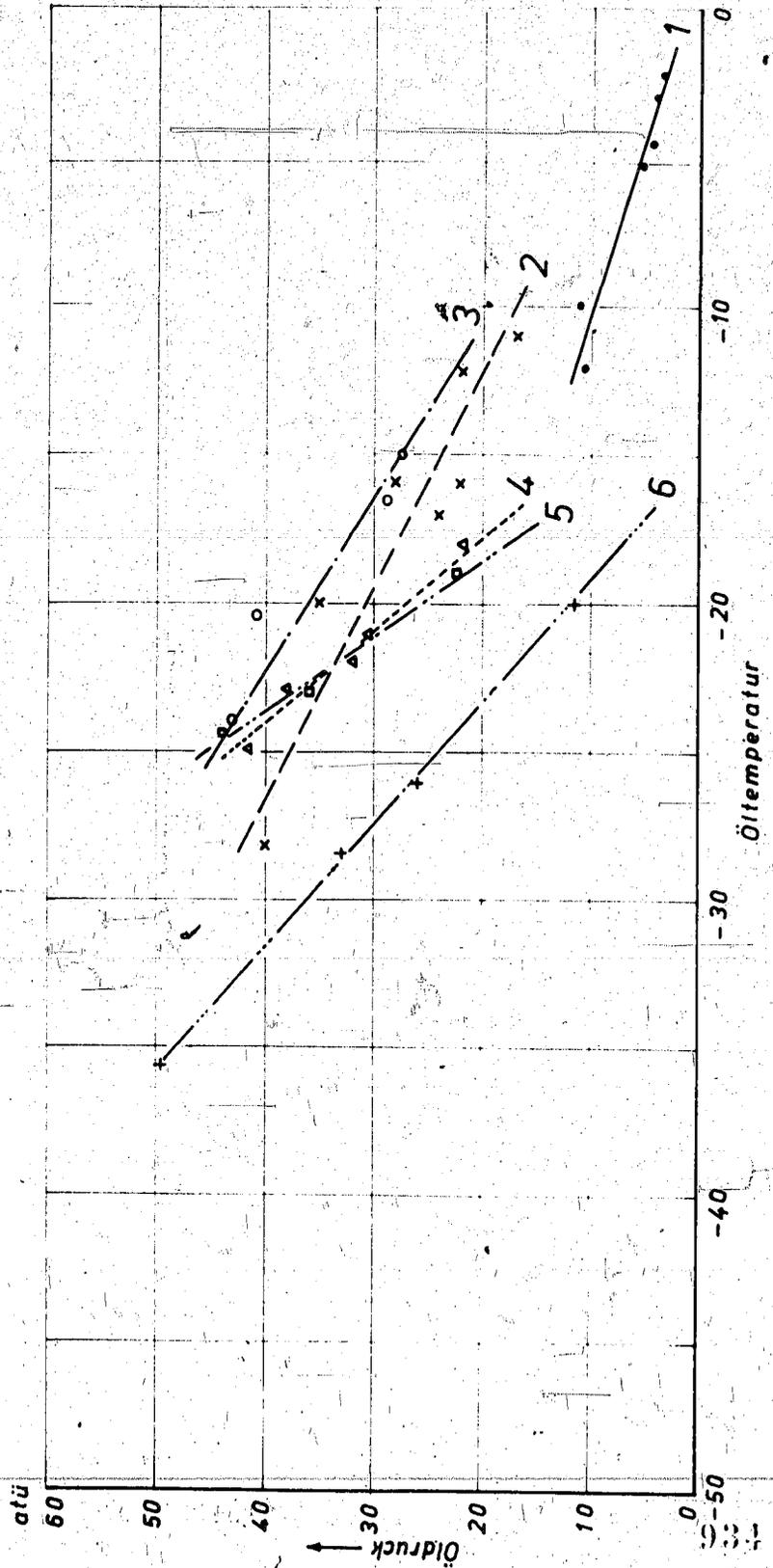
Bild 5

Die waagrechten Striche — deuten die Lage des jeweiligen Stockpunktes an.



1.0116 25.02.74-42

Bild 6 Maximaler Öldruck in Abhängigkeit von der Öltemperatur



170184 2500h. 11. 42

Bild 7 Maximaler Öldruck in Abhängigkeit von der Öltemperatur

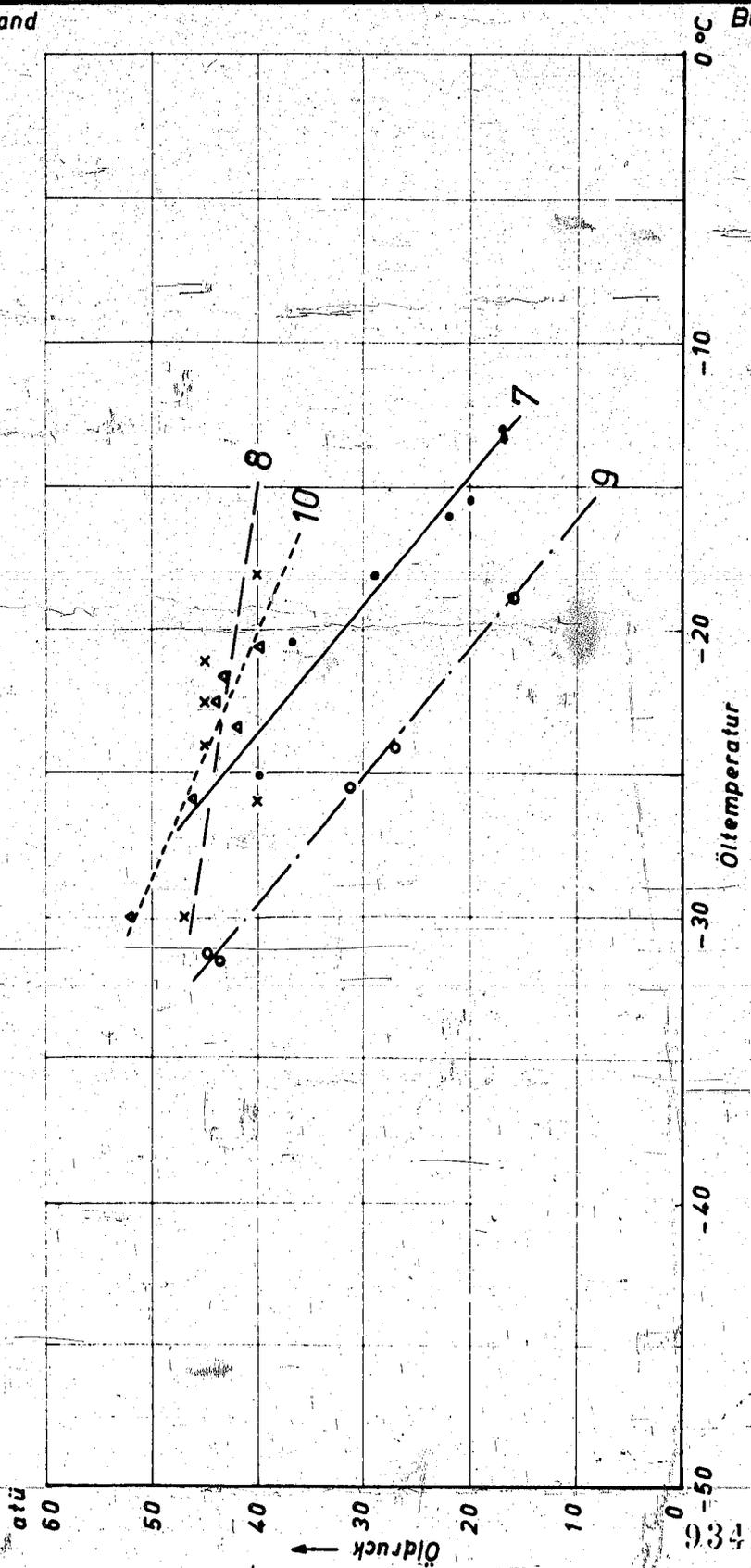


Bild 8 Grenztemperatur für 1 u. 2 Liter im Vergleich mit Stockpunkt u. extrapolierte Zähigkeit

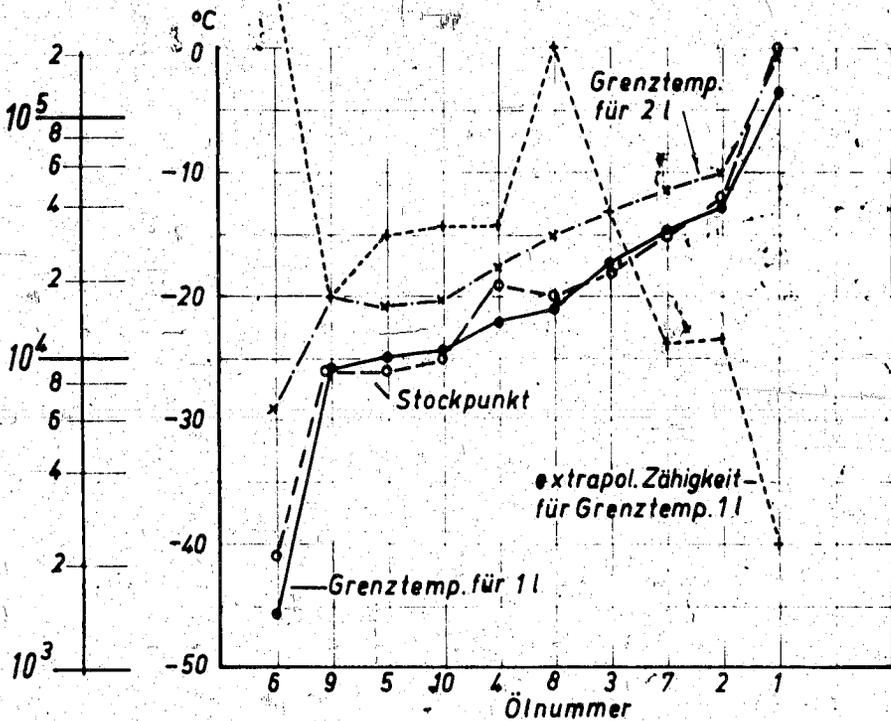
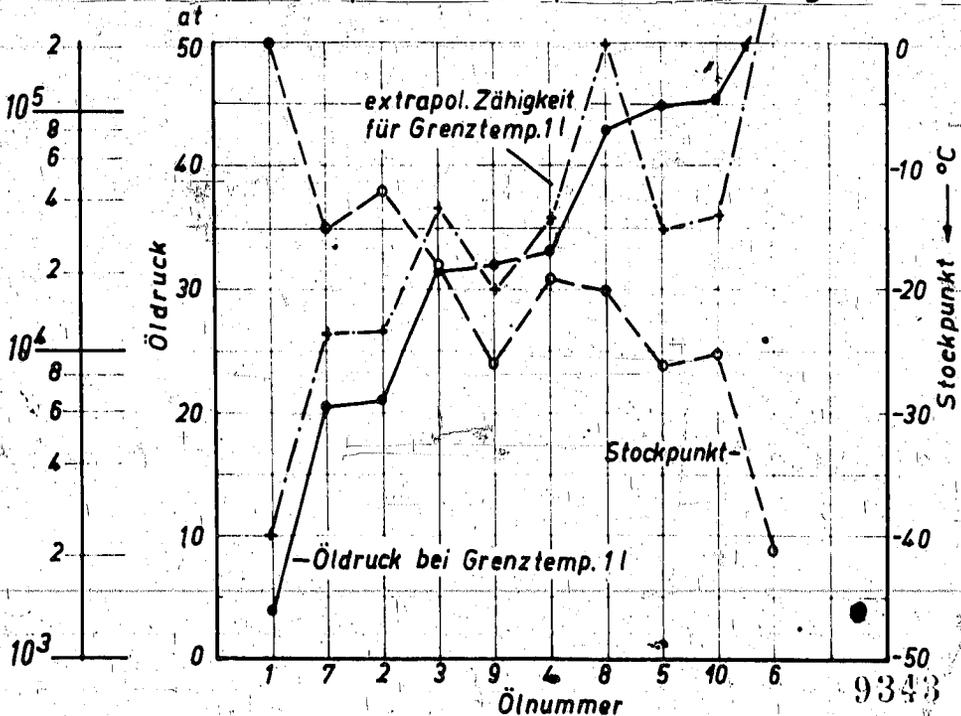


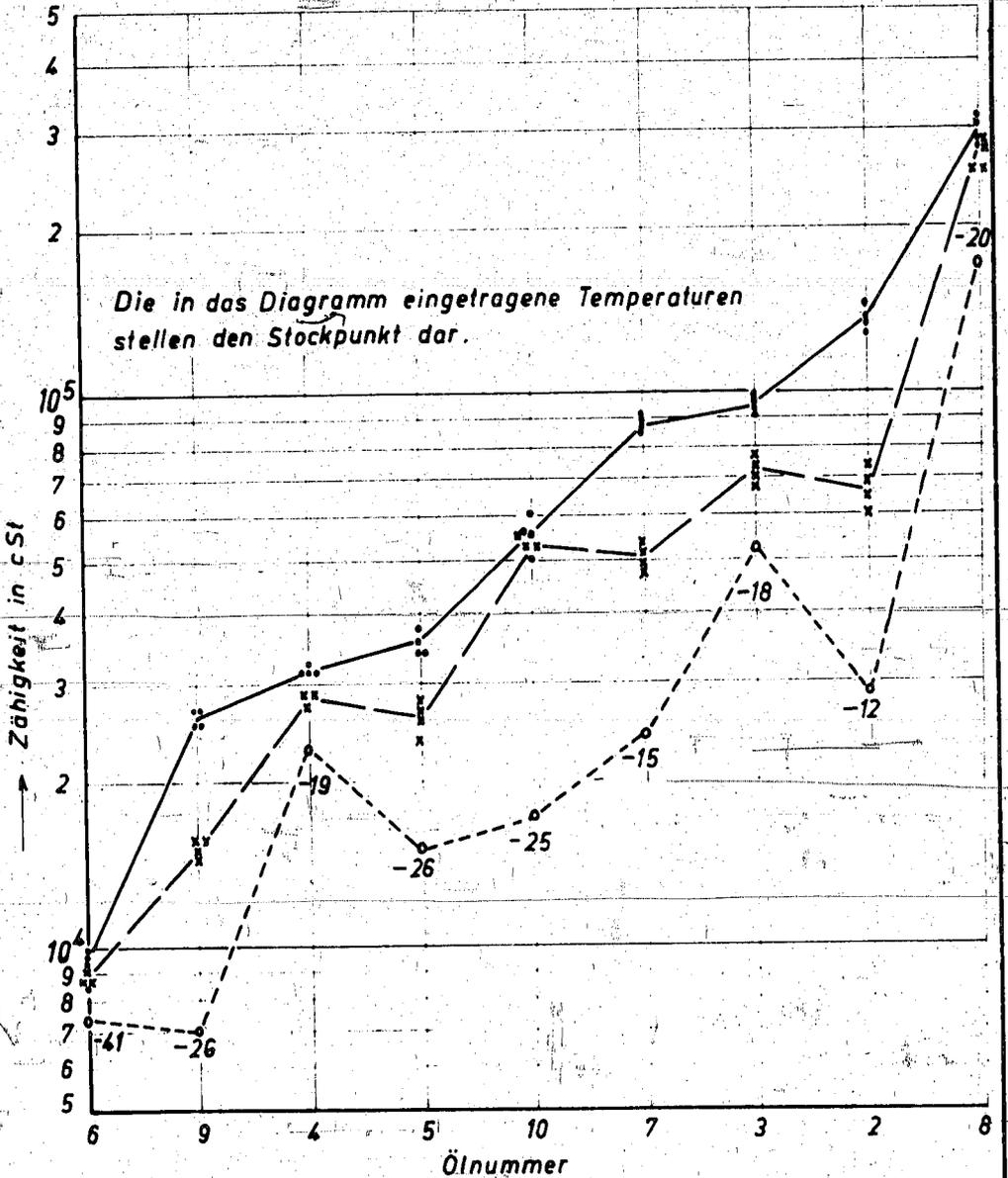
Bild 9 Öldruck bei Grenztemperatur im Vergleich mit Stockpunkt u. extrapolierte Zähigkeit



Zähigkeit bei -20°C nach Schwaiger mit 2 verschiedenen Belastungen im Vergleich mit extrapoliert.

Bild 10

Zähigkeit.



- Zähigkeit gemessen mit normal Gew.=0,9 kg, Drehmoment 3,6cmkg
- - - " " " " " 3kg, Drehmoment 12-cmkg
- - - - extrapolierte Zähigkeit

Öl 1 konnte nicht gemessen werden

9344