

~~Nur für den Dienstgebrauch~~

G 15
G 3

000533

S.5!

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 1331

Über das Verhalten von Fetten, Dieselkraftstoffen,
Instrumentenölen und Bremsflüssigkeiten in der
Kälte

K. Siebald

Verfaßt bei

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V.

Institut für Betriebstoffforschung

Berlin-Adlershof

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen
über Luftfahrtforschung des Generalluftzeugmeisters (ZWB)
Berlin-Adlershof

000534

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstgebrauchs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen.

Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstgebrauchs des Empfängers ist ausgeschlossen.

Der Bericht ist unter Stahlblechverschluß

mit Patentschloß zu halten.

000535

Über das Verhalten von Fetten, Dieselkraftstoffen,
Instrumentenölen und Bremsflüssigkeiten in der Kälte.

I. Teilbericht: Über das Verhalten von Fetten
in der Kälte.

Übersicht: Es werden verschiedene Verfahren, deren sich
Wissenschaft und Technik zur Beurteilung der Kälteeinflüssen
ausgesetzten konsistenten Schmiermittel bedient, be-
sprochen.

Es wird gesagt, daß eine Beurteilung nach den
bisher angewendeten Prüfmethoden schwierig, wenn nicht un-
möglich ist. In einem neuartigen, auf Vorschlag von Dr.
A.v. Philippovich, in der DVL entwickelten Prüfgerät wurde
ein Prüfverfahren ausgearbeitet, nach dem die Bestimmung
der statischen und der dynamischen Konsistenz (Anfahr-
und Reibungswiderstände) möglich wird.

Der Bericht umfaßt:
33 Seiten mit
5 Abbildungen und
3 Kurvenblättern

Institut für Betriebstofforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.

Der Bearbeiter:

Siebold
K. Siebold

Berlin-Adlershof, den 8.1.1941

PSf 332/6

- Gliederung:
- A. Einführung.
 - B. Allgemeines über das Verhalten von Fetten in der Kälte.
 - I. Verwendungszweck.
 - II. Chemischer Aufbau der konsistenten Fette.
 - C. Versuchsdurchführung.
 - I. Versuchsstoffe.
 - II. Prüfgeräte.
 - III. Prüfverfahren.
 - D. Versuchsergebnisse.
 - I. Untersuchung auf Penetration.
 - II. Untersuchung der Anfahrwiderstände.
 - III. Untersuchung der Reibungswiderstände.
 - E. Auswertung der Versuchsergebnisse.
 - F. Zusammenfassung.

A. Einführung.

~~Abgesehen von einigen Industrieuntersuchungen ist in der Frage des Kälteverhaltens von konsistenten Fetten und ähnlichen Stoffen herzlich wenig getan worden. Die im Handel befindlichen Fettsorten sind wohl von einigen Werklaboratorien auf Eignung für ihre speziellen Zwecke und zwar in den unterschiedlichsten Apparaturen geprüft, für ausreichend in ihren Kälteeigenschaften befunden und in den Handel gebracht worden. Der Verwendungsbereich dieser Art Schmiermittel ist aber so mannigfaltig, daß eine Charakterisierung auf Grund eines genau festzulegenden Prüfverfahrens geboten schien. Auch ist das Bestreben, einige wenige Fettsorten, für alle Fälle verwendbar, herzustellen, eine wichtige Forderung der daran interessierten Stellen geworden.~~

Es ist eine selbstverständliche Voraussetzung, daß die für den Luftfahrtbetrieb hochwichtigen Flugzeugteile im Einflußbereich tiefer Temperaturen absolut frostsicher sein müssen. Dasselbe gilt natürlich auch für Fahrzeuge, die bei strengen Wintern gleichermaßen die-

sem Kälteeinfluss unterliegen. Bedingung für das einwandfreie Funktionieren dieser Maschine ist aber der Gebrauch eines Schmiermittels, das Kälteeinflüsse ohne nennenswerte Veränderung verträgt. Im Winter 1939/40 herrschte in einer Höhe von 6000 m eine Temperatur von - 70 Celsiusgraden, die sich in dem Blockieren von Höhensteuer- und Querruder unangenehm bemerkbar machte. Dieser Zustand ist eindeutig auf das Versagen des Schmiermittels bei tiefen Temperaturen zurückzuführen.

Das Institut für Betriebstoffforschung der DVL befaßte sich nun vor längerer Zeit bereits mit der Durchführung von Versuchen, die den Zweck hatten, eine Klassifizierung der handelsüblichen Wälzlagerfette zu erreichen. Vor allen Dingen wurde untersucht, wie weit die heute bekannten Fette den Anforderungen nach Kältefestigkeit genügten. Es wurden zunächst allgemein bekannte Apparaturen verwendet, darunter auch das von der ASTM genormte Penetrometer von Richardson. Weiterhin wurde in Zuge der Untersuchungen ein von der I.C.-Farben-Industrie entwickeltes Gerät benutzt. Der Erfolg war ein negativer, da es nicht möglich war, auch nur mit einem dieser Geräte eine einwandfreie Charakteristik für abgekühlte Fette zu finden. Untersucht wurden zwanzig der handelsüblichen Wälzlagerfette. Zweck der vorliegenden Arbeit war es nun, eine eigene Prüfmethode zu entwickeln, die es gestattete, die Schmierfette zu klassifizieren und ihre Brauchbarkeit für die Luftfahrt festzulegen.

Sowohl Öle, wenn sie tiefen Temperaturen ausgesetzt werden, wie auch Fette, gehorchen nicht mehr dem Newton'schen Gesetz, sondern werden in ihrem Fließverhalten durch den angelegten Reibungsdruck in verschiedener Weise beeinflusst. Dementsprechend mußte ein brauchbares Verfahren entwerfen, die Reibungsdrücke verändern und die dabei erzielten Fließgeschwindigkeiten messen oder bei gegebenem Reibungsdruck (konstante Drehzahl!) über die Temperatur das Drehmoment als Maß verwenden.

Unter diesem Gesichtspunkt wurde ein Gerät ent-

wickelt, das exakt arbeitet und reproduzierbare Werte liefert. Die Ergebnisse sind in dieser Arbeit niedergelegt worden.

B. Allgemeines über das Verhalten von

Fetten in der Kälte.

I. Verwendungszweck.

Wie eingangs schon gesagt wurde, finden die Schmierfette Verwendung bei der Schmierung hochwichtiger Flugzeugteile, besser gesagt aller Getriebeteile der verschiedensten Maschinen. Sie werden immer dort benutzt, wo die Gefahr besteht, daß andere Schmiermittel infolge ihrer geringen Konsistenz, also Ole zum Beispiel, aus den meist schwer zugänglichen Maschinenteilen herausgeschleudert werden. Nach Holde ¹⁾ soll allerdings, wo es irgend geht, den Ölen der Vorzug gegeben werden, da die Fette mit zunehmender Konsistenz einen erhöhten Kraftverbrauch nach sich ziehen. So haben konsistente Fette infolge unzureichender Antriebskraft gelegentlich versagt. Wie erwähnt, besteht aber bei den Ölen die Gefahr des Abschleuderns aus den Getriebeteilen und es ist daher nicht möglich, auf eine Verwendung der Schmierfette Verzicht zu leisten.

Die konsistenten Schmiermittel finden überdies Verwendung für:

Wasserpumpen an wassergekühlten Flugzeugmotoren,
Achslager von Fahrgestellen,
Instrumente und langsam laufende Kugellager,
Verstellgetriebe von Luftschrauben und
sämtliche mit Fett zu schmierenden Schmierstellen
wie: Verwindungsklappen, Ruder usw.

Je nach ihrem Verwendungszweck stellt man verschiedenartige unverseifte und verseifte, in den meisten Fällen aber verseifte, konsistente Fette her. Zu diesen letzteren gehören die Kalkfette, Natronfette, Kali- und Aluminiumfette, Bleifette und Zinkfette. Starrschmierer und Emulsionsfette enthalten dagegen meist unverseifte Produkte.

II. Chemischer Aufbau der konsistenten Schmiermittel.

Schmierfette sind bei gewöhnlicher Temperatur meist mehr oder weniger feste oder dünn-salbige Schmierstoffe, die bei höheren Temperaturen in den flüssigen Zustand übergehen. Die hier interessierenden Maschinen-Stauffer- oder Tovotefette sind normale konsistente Schmiermittel. Sie bestehen aus kolloidalen Auflösungen von Seifen, in der Hauptsache aus Aufquellungen von Natron-Kalk-Kali-Barium-Magnesium- und Aluminiumseifen. Als Beschwerungsmittel enthalten sie (hauptsächlich die geringeren Fettsorten) Talkum, Erden, Asbest oder Graphit.

Die unter dem Namen: Achslagerfette, Stauffer- oder Tovotefette, Hochdruckschmierfette, Kugellager-, Rollenlager- und Turbellagerfette bekannten und in den Handel gebrachten verseiften konsistenten Schmiermittel sind Kalkfette. Ihr Tropfpunkt liegt unter 100°C. Sie haben einen Wassergehalt von 0,4 bis 4%. Die Trennung in Seife und Mineralöl geht unter Abspaltung von Wasser bei 100°C vor sich.

Die Heißlagerfette und Wälzlagerfette, meist Natron- oder Kalifette, haben einen Tropfpunkt, der zwischen 120° und 230°C liegt. Ihr Wassergehalt ist praktisch gleich Null. Während die obengenannten Kalkfette im Wasser unlöslich sind und eine starre Struktur aufweisen, sind die Natronfette wasserlöslich. Sie zeigen fast immer eine elastische und langfaserige Struktur.

Die Aluminiumfette finden anstelle hochviskoser Schmieröle Verwendung. Ihr Tropfpunkt liegt unter 100°C. Sie zersetzen sich aber nicht wie die Kalkfette bei höheren Temperaturen. Infolge Fehlens der schleifenden Bestandteile benutzt man sie jeweils zur Schmierung von Kugellagern.

Zur Schmierung von gekapselten Getrieben finden dann noch Bleifette mit einem Tropfpunkt unter 100°C und hohem

spezifischen Gewicht Verwendung.

5) Als Seil- und Kettenschmieren, Getriebeschmieren, Stopfbuchspackungen usw. benutzt man außer den Zink- und ähnlichen Fetten, das sind Fette mit hohem spezifischen Gewicht und niedrigen Tropfpunkten, Gemische aus Harzen oder Paraffin mit Mineralölen, sogenannte Starrschmieren.

6) Das in verschwindender Menge im Fett in Form von kleinen Tropfen vorhandene Wasser gewinnt infolge der Oberflächenspannung der einzelnen Tröpfchen Einfluß auf die Konsistenz und den Tropfpunkt. Wird das Fett bis zum Tropfpunkt erhitzt, so geht infolge Reißens der die Wassertropfchen umgebenden Membranen das Fett aus dem festen salbenartigen Zustand in den flüssigen über. Läßt man Fette längere Zeit stehen, so zeigen sich manchmal Abscheidungen, deren Grund in der Verdunstung des Wassers an der Oberfläche der Fette zu suchen ist. Durch die Ausscheidungen der öligen Bestandteile werden wasserfreie Auflösungen der Kalkseifen von Mineralölen nach kurzer Zeit inhomogen. Lediglich bei den im Autoklaven hergestellten Fetten und bei den hochschmelzenden Heißlagerfetten zeigt sich keine Inhomogenität. Sie scheiden keine Kalkseifen aus, selbst wenn man sie dauernd erwärmt oder abkühlt. 2)

C. Versuchsdurchführung.

I. Versuchsstoffe.

Als Versuchsstoffe wurden 20 Na, K, Ca, und Al-Seifenfette, die als handelsübliche Heiß- oder Wälzlagerfette Verwendung finden, gewählt. Sie erhielten die Bezeichnungen 1 bis 20

Ihre Eigenschaften sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt.

Die Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung der Fette wirkt sich naturgemäß auch in ihrer Konsistenz aus und da eine Charakterisierung der konsistenten Schmiermittel auf Grund ihres Zustandes erfolgte, der sich über zahlreiche Zwischenstufen zwischen halbflüssigen salbenartigen und halbstarren Zustand bewegt, so mußten die angewendeten

Prüfmethoden gleichfalls verschiedenartig sein. Allerdings hat man sich im Laufe der Zeit doch auf die Anwendung von sogenannten Konsistometern beschränkt. Lediglich einige Fabrikunternehmen bewerteten ihre Fabrikate (es handelt sich hier, wie schon erwähnt, meist um Kugellagerfirmen) nach eigenen Prüfmethoden und untersuchten in eigens zu diesem Zwecke konstruierten Apparaten. Die in der Folge beschriebenen Prüfgeräte fanden bei den im Institut für Betriebsstofforschung durchgeführten Untersuchungen Anwendung.

II. Prüfgeräte.

1. Penetrometer nach Richardson:

Zur Bestimmung der Konsistenz von Fetten diente das Penetrometer von Richardson.³⁾ Die Apparatur besteht aus einem Ständer, der auf einer Bodenplatte befestigt ist und einen verschiebbaren Eisenarm trägt. Der Eisenarm ist mit einer in Grade eingeteilten Platte versehen, deren Zeiger sich beim Auf- und Abwärtsbewegen einer mit ihm verbundenen Zahnstange dreht. Das untere Ende der Zahnstange stößt beim Abwärtsbewegen auf den Kopf des Penetrometersaufsatzes, der durch einen federnden Druckknopf in dem unteren Teil des Ständers festgehalten wird. Der Druckknopf bewirkt das Auslösen des Aufsatzes, der dann in einen unter diesem befindlichen, mit der zu untersuchenden Substanz gefüllten Behälter eindringt. Das Gesamtgewicht des kegelförmigen Aufsatzes beträgt 150 g. Abb. 1 zeigt das Richardson-Penetrometer im Schnitt.

2. I.G.-Gerät zur Messung der Losbrechwiderstände:

Die Messung der Losbrechwiderstände⁴⁾ wurde in einem von der I.G. Farbenindustrie konstruierten und in Abb. 2 dargestellten Versuchsgerät vorgenommen. Die in dem Versuchsraum eines Kälteschranks angebrachten Versuchseinrichtungen bestehen aus einer Versuchswelle und einem Lagerring. Die Versuchswelle ist in zwei Kugellagern gelagert und wird durch eine Zwischenwelle angetrieben. Der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor, dessen Drehzahl von 2800 U/min in einem Schneckentrieb auf 56 U/min. herab-

gesetzt wird. Die Versuchswelle wird durch eine Klauenkupplung stoßweise eingeschaltet. Das auf das Lager ausgeübte Drehmoment überträgt eine leichte Stoßstange auf einen oben auf dem Kälteschrank angebrachten Indikator. Die im Versuchsraum zusätzlich angebrachten Einrichtungen wie: geschlitzte Zwischenwand, Heizung, Temperaturregler und Lüfter ermöglichen die Konstanthaltung der Arbeitstemperatur.

In dem ursprünglich für Asphaltuntersuchungen konstruierten Penetrometer nach Richardson, wie auch in dem I.G.-Prüfgerät, wurden Konsistenzprüfungen und Losbrechversuche vorgenommen, nachdem das Fett vorher gründlich durchgeknetet worden war. Dazu waren zwei getrennte Arbeitsgänge notwendig.

Bei dem nachfolgend beschriebenen neu entwickelten DVL-Prüfgerät versuchte man ein Versuchsgerät zu schaffen, das insofern schon eine Vereinfachung bedeutete als beide Arbeitsgänge, nämlich Durchknetung und Konsistenzmessung in einem Arbeitsgang vereinigt werden konnten.

3. DVL-Prüfgerät zur Messung der Anfahr- und der Reibungswiderstände:

Die Versuchseinrichtung besteht aus einem Kälteaggregat, dem I.G.-Kälteschrank, an dem die zur Messung notwendigen Nebengeräte bereits vorhanden waren und dem in diesen Schrank eingebauten Prüfgerät.

Die in Abb. 5 dargestellte eigentliche Versuchsvorrichtung besteht aus einer Schnecke von 26 mm Durchmesser. Sie hat eine Länge von 75 mm. Die Vorrichtung liegt in einem Gehäuse, dessen innerer Durchmesser 30 mm ist und das mit einem Ansatz (Gewindestutzen mit Überwurfmutter) zum Einpressen des Fettes versehen ist. Der Ansatz dient gleichzeitig zum Einbringen eines Thermometers von 55 mm Schenkellänge. Außerdem ist die Schnecke auf 50 mm angebohrt. In die Bohrung ist ein Winkelthermometer eingebaut. Beide Thermometer gehen über ein Intervall von + 10°C bis -30°C. Die Versuchsvorrichtung ist weiterhin mit einer verstellbaren Schraube versehen und auf einen

Indikator abgestützt. Sie ist mit einem Kühlmantel umgeben, der zur Aufnahme des Kältebades dient. Das Prüfgerät wird durch einen Motor mit Übersetzung und einschaltbarer Kupplung angetrieben.

III. Prüfverfahren.

1. Härte oder Konsistenzmessung nach Richardson:

Bei der Konsistenzmessung von Fetten im Richardson-Penetrometer schmilzt man das zu untersuchende Material bei geringer Temperatur unter stetem Rühren und füllt es in einen etwa 500g fassenden Behälter oder knetet das Fett in den Behälter hinein. Die Fettoberfläche wird glatt geschnitten. Wichtig für die Untersuchung ist, daß das Fett möglichst blasenfrei in den Aufnahmebehälter hineingebracht wird. Sodann setzt man die Spitze des Penetrometersaufsatzes auf die Oberfläche des Fettes und löst bei gleichzeitiger Betätigung einer Stoppuhr den federnden Druckknopf. Die Spitze des Kegels läßt man während 5 Sekunden auf das Fett einwirken und liest dann, nachdem die Zahnstange bis zum Kopf des Kegels heruntergedrückt wird, von der Skale die Einheit der Eindringtiefe ab. Der Versuch wird mehrere Male wiederholt und aus den Messungen das Mittel genommen. Die Untersuchungen bei Tieftemperaturen wurden so vorgenommen, daß man den Fettbehälter für diese Fälle waren statt der Dosen WEX-Gläser, die man vermüt tals eines Gummis luftdicht verschloß, vorgesehen in ein Kältebad brachte und bis auf die Arbeitstemperatur herunterkühlte. Die Temperatur wurde eine Stunde gehalten und der Behälter nach dem Herausnehmen aus der Badflüssigkeit sofort geöffnet. Die Konsistenzmessung wurde an verschiedenen Stellen ausgeführt und nach jeder Messung in dem entstandenen Trichter die Temperatur festgestellt. Als äußerst unangenehm wurde bei der Untersuchung empfunden, daß, nachdem die Prüfung bei einer Temperatur abgeschlossen war, vor dem Übergang zu einer neuen Arbeitstemperatur das Versuchsfett auf Zimmertemperatur erwärmt und neuerlich geknetet werden mußte. Dann erst konnte auf eine andere Prüftemperatur abgekühlt werden.

2. Messung der Losbrechwiderstände:

Bei der Messung der Losbrechwiderstände in dem I.G.-Prüfgerät wird das Versuchsfett in den Lager und auf dem Lagerzapfen gut verstrichen. Anschließend werden Lagerzapfen und Lagerring zusammengebaut. Um einen gleichmäßigen Film zu bewirken, läßt man den Lagerzapfen in dem Lagerring einige Umdrehungen machen. Überschüssiges Fett wird dadurch abgestreift, daß man während des Laufes den Ring hin- und herschiebt. Gegen ein axiales Verschieben⁺⁾ ist der Lagerring durch eine Feder gesichert. Indikator und Stoßstange werden nunmehr aufgesetzt und durch Öffnen der Schlitze in dem Schieber die Abkühlung bis auf die gewünschten Prüftemperaturen vorgenommen. Schlitzeinstellung und Heizung sorgen für die Konstanthaltung der Temperatur. Nach Ablauf einer Haltezeit von 30 Minuten, in der ein Beharrungszustand erreicht werden soll, wird der Motor in Gang gesetzt und die Klauenkupplung bei Andrücken der Indikatorfeder an die Indikatortrömel eingerückt. Nach Versuchsende, d.h. nach Festlegung von etwa 5 Meßwerten (Maxima), werden die Schlitze geschlossen. Durch Einschalten der Heizung wird der Versuchsraum wieder auf Zimmertemperatur gebracht. Das Lager wird dann mit neuem Fett vorgerichtet. Die Versuchsdurchführung bei einer anderen Arbeitstemperatur geschieht in der gleichen oben beschriebenen Weise.

Bei der Untersuchung verschiedener Fette zeigte es sich aber, daß der Indikatorausschlag zu gering war. Es war auch bei sehr tiefen Temperaturen nicht möglich, eine einwandfreie Messung durchzuführen. Die Versuche wurden daraufhin abgebrochen.

Die Prüfung der Fette gestaltete sich nach den unten beschriebenen Verfahren wesentlich einfacher, schon insofern als es nicht nötig war, die Versuchseinrichtung mit frischem Fett vorzurichten. Auch die Abkühlungsdauer konnte auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

^{+) während des Versuches}

3. Messung der statischen und der dynamischen Konsistenz:

Das vorher mit der Fettprobe ausgestrichene Schneckengetriebe wird in das ebenfalls mit dem Prüffett ausgekleidete Gehäuse eingebaut. Das Gehäuse wird mit einem von der Seite ausschraubbaren Deckel verschlossen und eine mit Fett gefüllte Gewindemutter fest aufgeschraubt. Die Mutter dient dabei als Stopfbuchse, sodaß es jederzeit möglich ist, das Prüfgerät restlos mit dem Versuchsfett zu füllen. Das Gerät wird sodann in die Gesamtapparatur eingebaut und an einer Klauenkupplung befestigt. Nunmehr läßt man das Schneckengetriebe 5 Minuten lang bei 55 U/min laufen und knetet das Fett gründlich durch. Bei der jetzt beginnenden Abkühlung versucht man die gewünschte Prüftemperatur so schnell wie möglich zu erreichen. Als Badflüssigkeit verwendet man feste Kohlensäure und Alkohol. Das Bad wird 15 Minuten auf der gewünschten Temperatur gehalten. Dann wird die Klauenkupplung eingerückt und der Abriß (statische Konsistenz) aufgenommen. Bei einer bestimmten Temperatur werden jeweils 5 Abrißwerte ermittelt, die man in Zeitabständen von je 5 Minuten feststellt.

Nach Beendigung der Abrißversuche bleibt die Fuppung zur Aufnahme der Knetwerte (dynamische Konsistenz) eingerückt. Zur Festlegung von 5 Abrißwerten bei 5 verschiedenen Temperaturen benötigt man an Zeit etwa 3 1/2 Stunden. Begnügt man sich mit einer Kurvenfestlegung aus 3 Meßwerten, etwa aus dem vermutlichen Anfangswert, einem Mittelwert und dem Endwert, so besteht die Möglichkeit einer Untersuchung von 4 bis 5 Fettsorten an einem Tage. Für die Prüfung werden ca. 100g Fett benötigt.

Die Prüfmethode hat, wie schon erwähnt, den Vorteil, daß man in einem Arbeitsgang ein Versuchsfett prüfen kann, ohne daß man das Fett erneuert oder nach dem Abrißversuch erwärmt und dann erst wieder auf die Prüftemperatur abkühlt, beispielsweise etwa so, daß man bei -20°C abreißt, auf Zimmertemperatur erwärmt und von neuem auf -20°C abkühlt und wieder abreißt. Auch der Übergang zu tieferen Prüftemperaturen geschieht ohne vor-

heriges Erwärmen auf höhere Temperaturen (Zimmertemperatur). Man legt lediglich beim Übergang zu einer anderen Temperatur eine Haltezeit von 15 Minuten Dauer ein, nachdem diese Temperatur erreicht ist.

D. Versuchsergebnisse.

I. Untersuchung auf Penetration (Sindringtiefe)

Die Ergebnisse der Penetrationsmessungen an 11 verschiedenen Fetten sind auf dem Kurvenblatt 1 aufgetragen.

Von den untersuchten Fetten weisen 8 Fette deutliche Knickpunkte auf, die in den meisten Fällen bei etwa -20°C liegen. Es handelt sich dabei um die Fette 1, 3, 9, 13, 16 und 21. Die Kurve des Fettes 7 knickt bei -5°C , während die des Fettes 12 einen Knickpunkt bei $-14,5^{\circ}\text{C}$ aufweist. Der Weiterverlauf der Kurven nach dem Knickpunkt ist mehr oder weniger steil. Das Fett 4 hat einen flachen gradlinigen Kurvenverlauf, während der der Fette 8 und 10 gradlinig ist, im Vergleich mit den anderen jedoch eine größere Steilheit der Kurvenführung aufzeigt. Mehr oder minder überschneiden sich die Kurven fast alle, sodass es sehr schwer erscheint, eine gute Charakteristik der Fette zu geben. Eindeutig liegen die Fette 1 und 3 in der Beurteilung am günstigsten. Es handelt sich hier um ausgesprochen weiche Fette, die auch, nachdem sie starken Kältewirkungen ausgesetzt waren, noch von ziemlich dünnsaßiger Konsistenz sind und daher als kältefest angesprochen werden müssen. Das Fett 1 mit einer Eindringtiefe von 140 Penetrationseinheiten (willkürlich festgesetzte Maßeinheit) ist in der Charakteristik weitaus am besten. Die Fette 4, 7, 8, 9, 13 und 21 wären vielleicht mit mittelhart und die Fette 10, 12 und 16 als mittelharte bis harte Fette zu bezeichnen.

Da es, wie bereits gesagt, sehr schwierig ist, mit dem von Richardson vorgeschlagenen Prüfverfahren eine gute Beurteilung der Fette zu erreichen, ist es erklärlicherweise noch schwieriger, die nach diesem Prüfverfahren festgelegten Konsistenzwerte in Beziehung zu dem Verhalten in

der Praxis zu bringen.

Für eine solche Gegenüberstellung scheinen sich die Messungen auf die Anfahr- und Reibungswiderstände in dem FVL-Prüfgerät günstiger auszuweisen.

II. Untersuchung der Anfahrwiderstände (statische Konsistenz)

Die mit dem vorher beschriebenen Prüfgerät ermittelten Prüfergebnisse sind in Beziehung zur Temperatur gesetzt und auf dem Kurvenblatt 2 eingezeichnet.

aus dem Kurvenverlauf erkennt man eindeutig die Verschiedenartigkeit der einzelnen Fette hinsichtlich ihres Kälteverhaltens. Die Messungen erstreckten sich über einen Temperaturbereich von -10°C bis -70°C . Es wurden die Anfahrwiderstände im unterbrochen laufenden Lager gemessen. Die Werte sind gut reproduzierbar. Abb. 4 zeigt Abrisse, die von dem Gerät unmittelbar auf den Schreibstreifen des Indicators aufgezeichnet wurden. Sie lassen aus den übereinstimmenden Maxima Schlüsse auf die Genauigkeit des Meßverfahrens zu. Die Lage der Kurven 1 bis 7 deutet darauf hin, daß es sich um ziemlich kältefeste weiche Fette handelt, die Fette 8 bis 14 sind von mittelharter, die Fette 15 - 18 von harter und die Fette 19 und 20 von sehr harter Konsistenz. Während die Abrißwerte bei den Fetten 1 bis 7 bei -50°C noch verhältnismäßig dicht beieinander liegen, verschieben sie sich bei -65°C bereits bei einigen dieser Fette sehr wesentlich nach dem ungünstigen Bereich. Die Fette 1 bis 5 lassen Messungen bei -70°C noch zu, wobei Fett 4 hart an der Grenze, Fett 5 aber schon erheblich über der vertretbaren Kältebeständigkeit liegt. Von den anderen untersuchten Fetten haben Fett 6 und 7 bei -65°C noch eine ausreichende Kältefestigkeit. Die Fette 8, 9 und 10 sind bei Temperaturen von -65°C noch zu verwenden. Die Fette 11-14 reichen bei Temperaturen von -55°C noch aus. Lediglich die Fette 15 - 20 wären bei Tieftemperaturen, also solchen, die bei Höhenflügen jederzeit unter -45°C liegen können, völlig unzureichend.

Nach den Erfahrungen der DVL sollte jedes Fett, dessen Abrißwerte bei -60°C über 13 Konsistenzeinheiten (gleichfalls willkürlich festgelegte Maßeinheit) liegen, als nicht mehr kältefest bezeichnet werden. Dieser letzte Wert wurde als vorläufiger Grenzwert gewählt. Die genaue Begründung für die Wahl dieser Grenze wird durch weitere Versuche der DVL erhärtet werden.

Bei der Untersuchung wurden auch Ermittlungen hinsichtlich des Einflusses der Abkühldauer angestellt. Es wurde festgestellt, dass er sich nicht bemerkbar macht, ob nun der Abriß nach 15-minütlicher, einhalbstündiger oder nach einer Stunde Haltezeit der konstanten Prüftemperatur erfolgte. Waren die Untersuchungen auf Abriß zu Ende geführt, d.h. nach 5-maliger Wiederholung abgebrochen worden, so schloß sich im allgemeinen unmittelbar der Knetversuch, also die Ermittlung der dynamischen Konsistenz im ununterbrochen laufenden Lager an. Nach Feststellung des Knetwertes und eingeschalteter anschließender Abkühldauer ergab eine Haltezeit von 15 Minuten bereits wieder den gleichen Abrißwert (Abb. 5), der auch vor der Knetung festgestellt wurde. Ein Höchstwert nach verschieden langer Abkühldauer war in keinem der untersuchten Fälle zu beobachten. Versuche mit gleichen Versuchsstoffen, aber an verschiedenen Tagen unter gleichen Versuchsbedingungen durchgeführt, ergaben gleiche Werte.

III. Untersuchung der Reibungswiderstände (dynamische Konsistenz)

Bei der Untersuchung der Fette 1 bis 19 auf die auftretenden Reibungswiderstände (dynamische Konsistenz) wurde im allgemeinen eine ähnliche Reihenfolge der Kurven festgestellt. Dabei wurde für die Auftragung auf das Kurvenblatt 3, des besseren Vergleiches wegen, ein größerer Maßstab gewählt. Die Versuchsdauer bei Feststellung der Reibungswiderstände betrug 5 Minuten bei ununterbrochen laufendem Lager. Die Lage der Kurven 1 bis 5 ergab eine etwas andere Reihenfolge wie die der Abrißkurven und zwar zeigt die Kurve des Fettes 5 den flachsten Verlauf und die

niedrigsten Konsistenzzahlen bei -65 und -70°C . Der Weiterverlauf der Kurve ist aber unterhalb -70°C wesentlich steiler als der der nun folgenden Fette 3 und 4, die bei -65°C gleiche Konsistenzzahlen, bei -70°C jedoch wieder unterschiedliche Werte aufweisen. Zieht man aber in Betracht, daß ein wesentlich größerer Maßstab angelegt wurde, so ist die Differenz zwischen dem niedrigsten Konsistenzwert (Fett 5) und dem höchsten Wert (Fett 2) 0,6 Einheiten, also nicht gerade als erheblich zu bezeichnen.

Bei der Gegenüberstellung der Kurven 1 bis 5 mit den Kurven der Fette 6 bis 19 fällt der große Unterschied in dem Steilheitswinkel der Kurvenführung bei den letzteren Fetten im Vergleich zu den erstgenannten auf. Eingeschlossen das Fett 6, das bei der Untersuchung auf statische Konsistenz noch eine verhältnismäßig weiche kältefeste Beschaffenheit zeigt, liegen die Fette bereits bei Temperaturen unter -60°C fast ausschließlich im mittelharten, bezw. harten Gebiet. Sie sind also auch nach der Knetung bei Temperaturen von -60°C und darunter nur bedingt verwendungsfähig. Zu der Prüfung ist weiter zu sagen, daß die Fette 1 bis 5 bei der Knetung durchaus gebrauchsfähig bei -70°C , die Fette 6, 9 und 13 bedingt tauglich bei Temperaturen um -70°C sind. Die anderen Fette versagen jedoch schon bei höheren Temperaturen, wobei das Fett 19, als das am wenigsten kältefeste, völlig herausfällt.

E. Auswertung der Versuchsergebnisse.

I. Penetration.

Eine Bewertung der Fette hinsichtlich ihres Kälteverhaltens auf Grund von Werten, die im Penetrometer ermittelt wurden, ist nicht möglich. Das Verfahren läßt zwar Erkenntnisse in Bezug auf den Fließfestigkeitsgrad der Fette zu, gibt jedoch nicht die Möglichkeit eines Vergleiches mit dem Kälteverhalten in der Praxis. Auch gibt es keine Übereinstimmung bei der Gegenüberstellung der nach diesem Verfahren ermittelten Konsistenzzahlen, mit denen die im DVL-Prüfgerät festgestellt wurden. Die Ver-

suchsdauer ist bei der Penetration außerdem sehr lang, da die Fette immer wieder neu abgekühlt werden müssen.

Ein wesentlich besseres Ergebnis wurde mit dem in der DVL entwickelten Prüfgerät erzielt, das in Anlehnung an die praktischen Verhältnisse entwickelt wurde und das gut reproduzierbare Werte lieferte.

II. Anfahrwiderstände (statische Konsistenz).

Die Untersuchung der abgekühlten Fette in unterbrochen laufendem Lager ergab bei Abriß Werte, die eine Beurteilung der Fette hinsichtlich ihrer Kältefestigkeit zulassen. Es bestand die Möglichkeit, mit diesem Verfahren die Grenze der Kältebeständigkeit zu ermitteln. Dieser Grenzwert wurde nach den Erfahrungen der DVL gewählt und festgelegt. Er gibt Auskunft über das Versagen der Fette bei bestimmten Temperaturen. In der Praxis dürfen die Widerstände, die z. B. bei der Betätigung der Steuerorgane oder bei anderen Lagern im tiefen Temperaturgebiet auftreten, ein bestimmtes Maß nicht überschreiten. Bei nur geringer Betätigung der Steuerorgane, das ist der Fall bei Langstreckenflügen, können diese bei Kälteeinwirkung kristallin stark verkitten. Dadurch wird eine erhebliche Gefahr für Mann und Maschine heraufbeschworen, die nur dadurch verringert werden kann, daß man ein allen Anforderungen gerecht werdendes kältebeständiges Fett in die Getriebe einbaut. Die Praxis ist sich allerdings noch nicht schlüssig darüber geworden, welchen Kraftaufwand man als Maximum für das Losreißen der Getriebeteile festlegen soll. Die

DVL legt daher auf Grund ihrer an zahlreichen untersuchten Fetten gewonnenen Erkenntnisse als Grenze die Zahl von 13 Konsistenzeinheiten bei -60°C fest. Spätere Untersuchungen sollen beweisen, ob sich diese Grenze der Gebrauchsfähigkeit im tiefen Temperaturgebiet noch nach oben oder nach unten verschieben läßt. Undeutlich läßt sich aber sagen, daß die Fette 1 bis 4 selbst bei außerordentlich tiefen Temperaturen nicht versagen und einem Losreißen der Getriebeteile keinen allzu großen Widerstand entgegensetzen.

III. Reibungswiderstände (dynamische Konsistenz).

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei den gründlich durchgekneteten Fetten. Hier ist einmal die Feststellung von Wichtigkeit, ob die Getriebeteile bei vorhergegangenem Abriß bei großer Fließfestigkeit des abgekühlten Fettes in einer ausgebrochenen Höhlung umlaufen oder ob das Fett infolge seiner dünnsalbigen (weichen) Konsistenz jederzeit wieder dem Lager zugeführt werden kann.

Im ersteren Falle würde es sich um solche Fette handeln, die auf Grund der an den Fetten ausgeführten Untersuchungen der Bezeichnung "hart" bzw. "schr hart" erhalten haben. Hier ist die Gefahr der trockenen Reibung sehr groß, da zunächst nur ein Teil des kristallinen Gefüges zerbrochen wird. Die Zeit, bis das gesamte Gefüge zu einem Fett-Kristallbrei zermahlen ist, wird sehr lang sein. Das macht sich beim Knetversuch dadurch bemerkbar, daß nach erfolgtem Abriß zwar ein schneller Abfall der Kurve erfolgt, dann aber der Schreiber des Indikators stark abgefangen wird. Die Kurve senkt sich von diesem Zeitpunkt ab nur langsam.

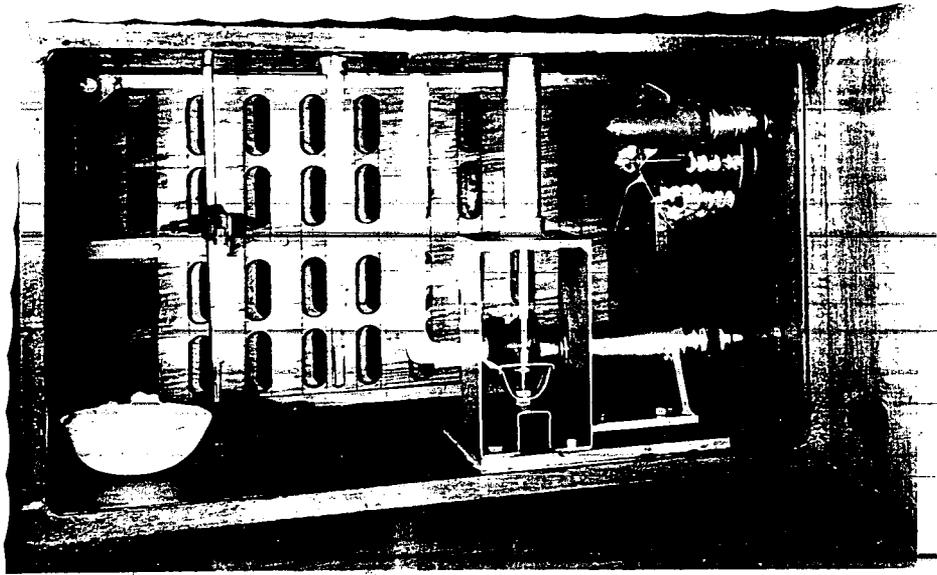
Bei den dünnsalbigen Fetten wird sofort die gesamte Struktur vernichtet. Durch die Knetung wird sehr bald ein Fett-Kristallbrei hergestellt, der auf jeden Fall die Gefahr einer trockenen Reibung ausschließt. Dies macht sich an dem Anzeigegerät durch langsames, aber stetiges Abfallen der Indikatorkurve bis zu einem Mindestwert bemerkbar.

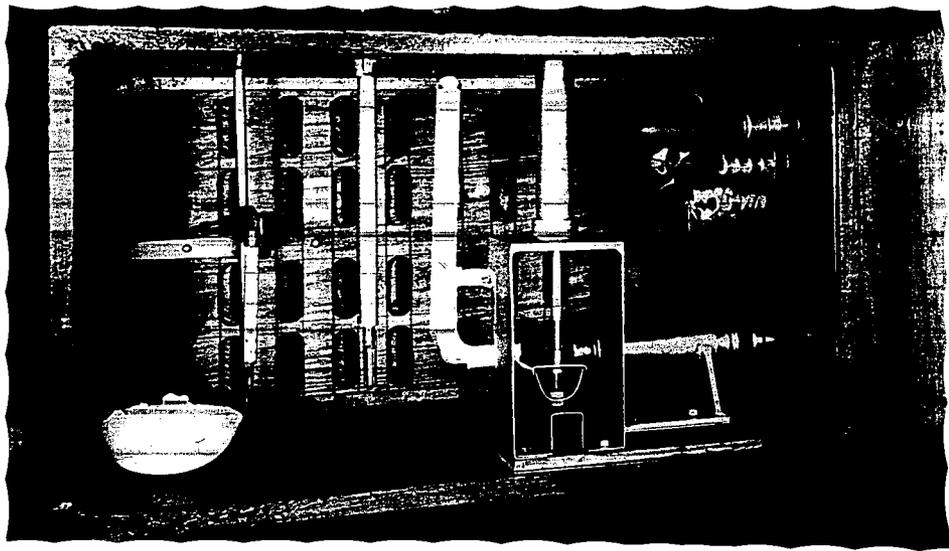
Abschließend kann man sagen, daß die Fette 1 bis 5, da sie als ausgesprochen weiche Fette erkannt sind, auch bei Temperaturen unter -70°C noch verwendungsfähig sind, auch wenn die Lager zeitweilig nicht betätigt werden. Die mittelharten und die harten Fette sind jedoch nur mit gewissem Vorbehalt in die Lager einzubauen.

Zahlentafel 1

| Bez.d.Fette | Fl.P. °C | Tr.P. °C | Asche % | Wasser % | Alkalizahl mg KOH |
|-------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------|----------------------|
| 1 | 61 | 68 | 1,04 | 0,5 | 0,178 |
| 2 | 73 | 80 | 1,24 | 0,15 | 0,011 |
| 3 | 68 | 137,5 | 0,43 | 0,0 | 0,252 |
| 4 | 81 | 89 | 1,99 | Spuren | 0,561 |
| 5 | 85 | 158 | 1,82 | 0,4 | 0,140 |
| 6 | 85 | 98 | 2,50 | - | - |
| 7 | 85 | 94 | 4,12 | 0,0 | 0,841 |
| 8 | 90,5 | 128,5 | 0,55 | Spuren | - |
| 9 | 88,0 | 94,5 | 1,65 | " | 1,290 |
| 10 | 82,5 | 53,5 | 1,83 | " | 0,791 |
| 11 | - | - | - | - | - |
| 12 | 85,0 | 100,0 | 3,48 | 1,0 | 0,522 |
| 13 | 62,0 | 69,0 | 1,34 | 0,4 | 0,101 |
| 14 | - | 75 | 4,0 | 4,0 | - |
| 15 | 77 | 150 | 1,10 | 1,0 | 1,6 ⁺⁾ |
| 16 | 120 | 145,5 | 1,57 | 0,1 | 0,196 |
| 17 | 95 | 120,0 | 0,97 | Spuren | - |
| 18 | 94 | 102,0 | 3,12 | 3,0 | - |
| 19 | 115 ⁺⁾ | 150 ⁺⁾ | 1,50 ⁺⁾ | Spuren | - |
| 20 | - | 38-51 | 0 | 0 | 0 |

+) Firmenangabe





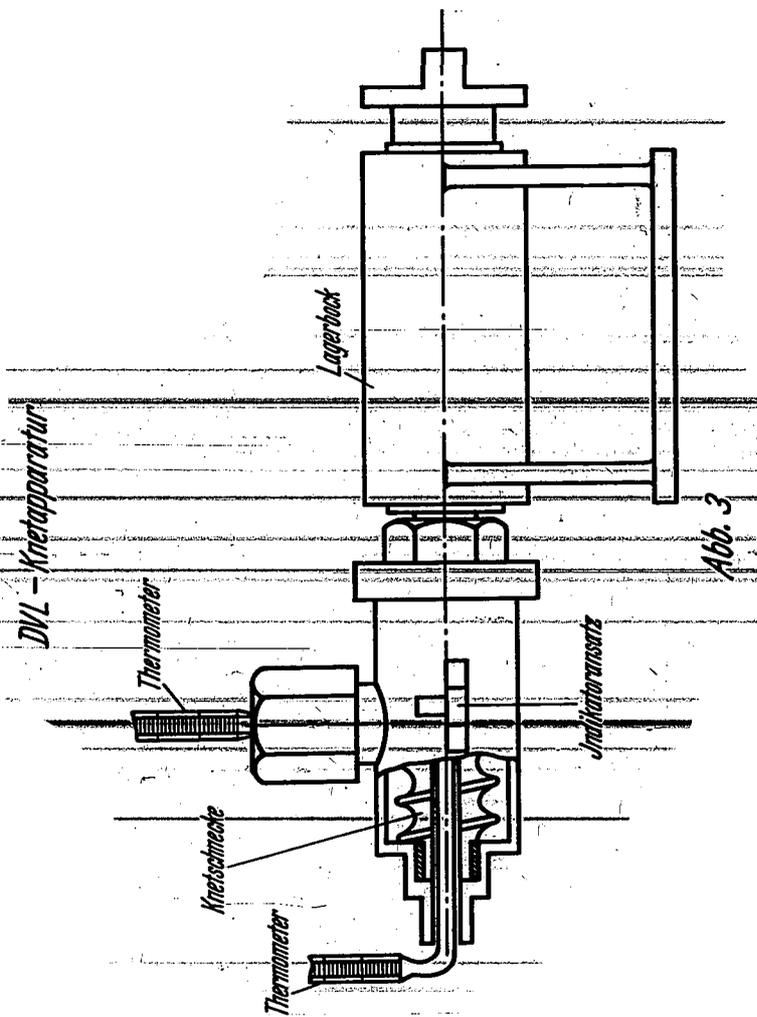


Abb. 3

000547

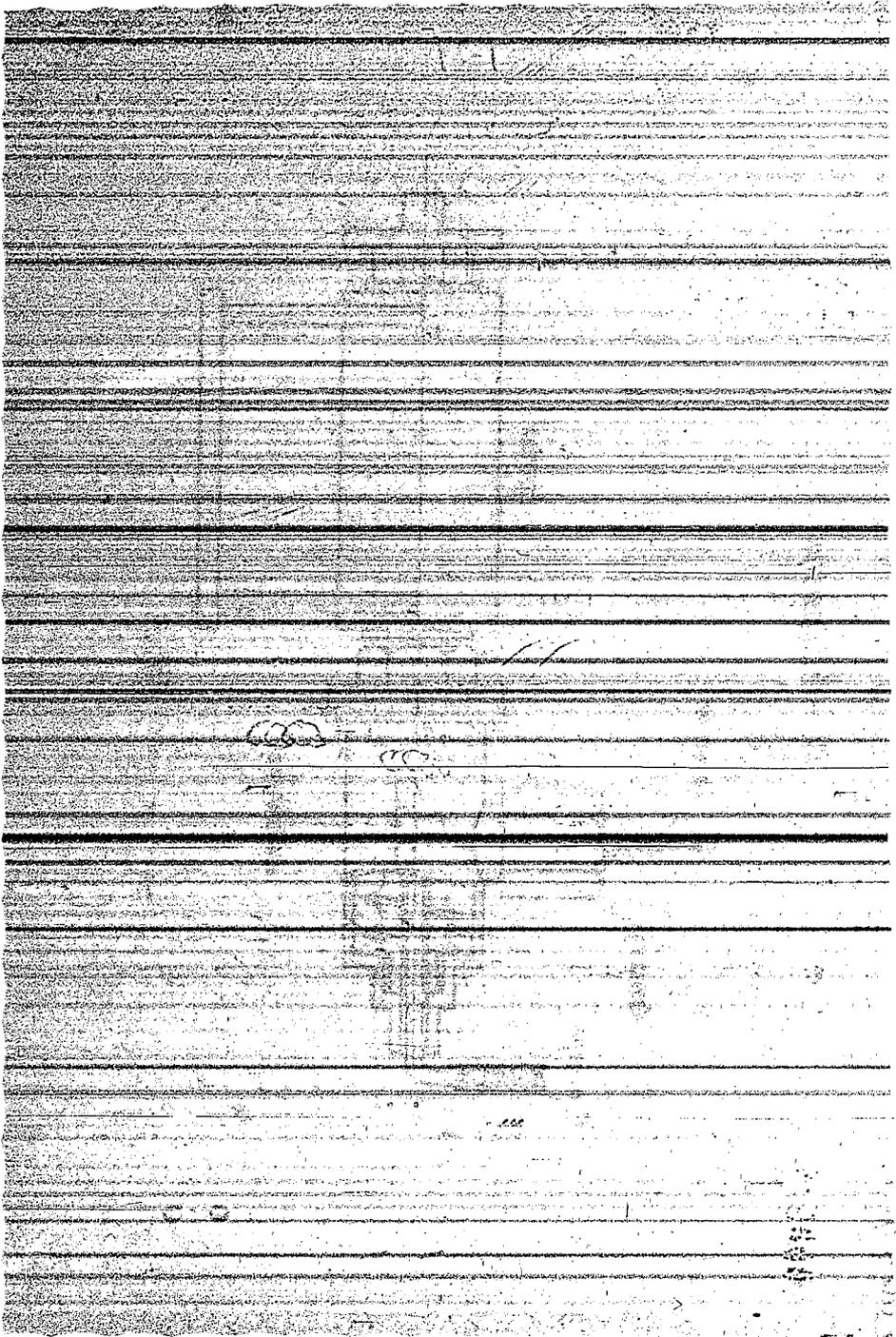
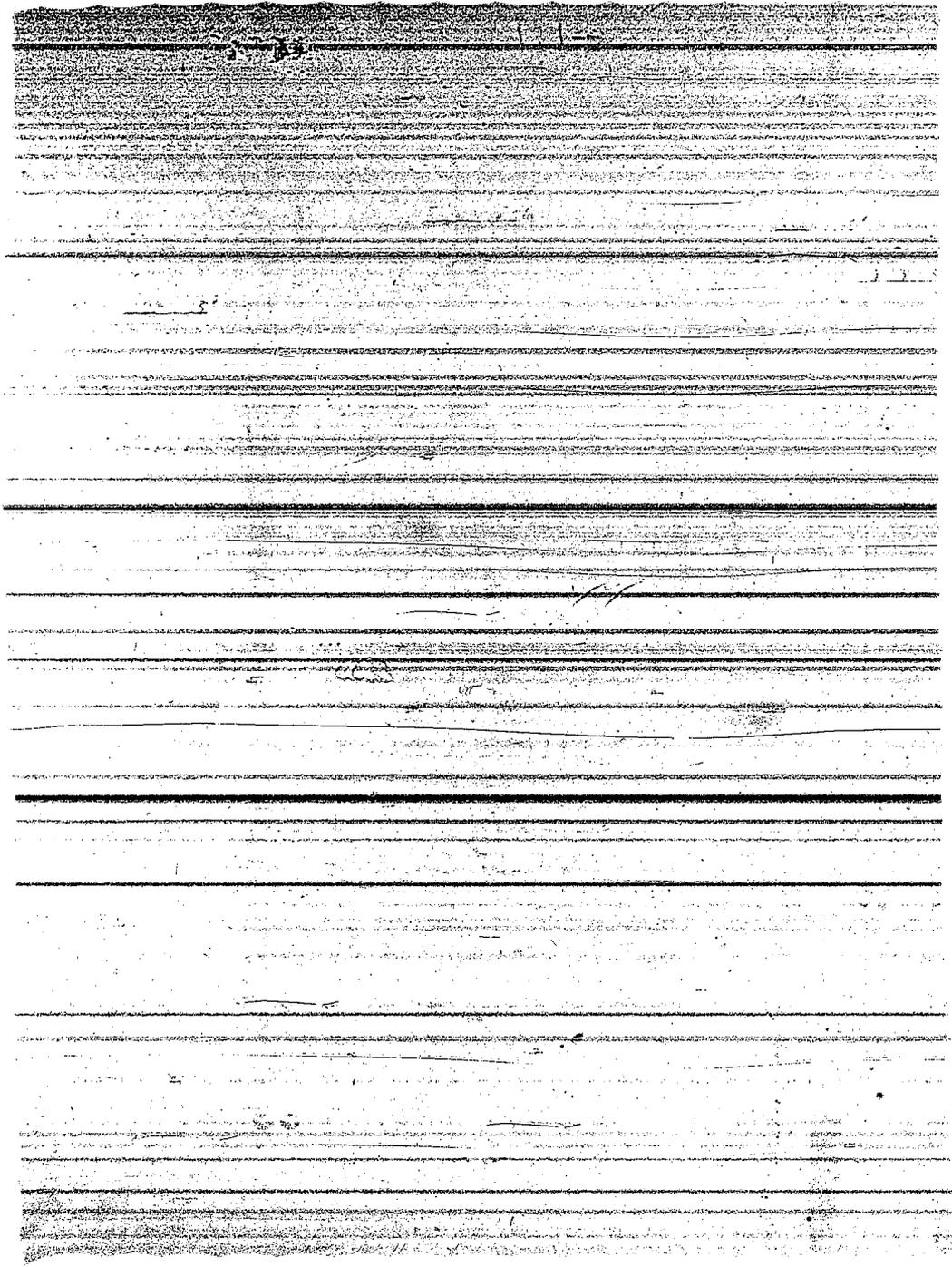




Abb. 4. Abrisswerte aufgenommen am DVL-Konsistenzmeter. (Fett 19) Der Kratzversuch 17) wurde im Anschluss an die Abrissversuche ausgeführt.



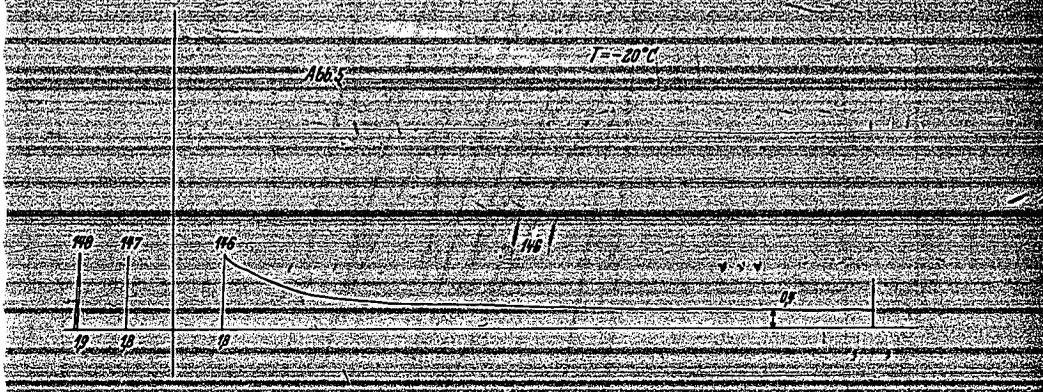
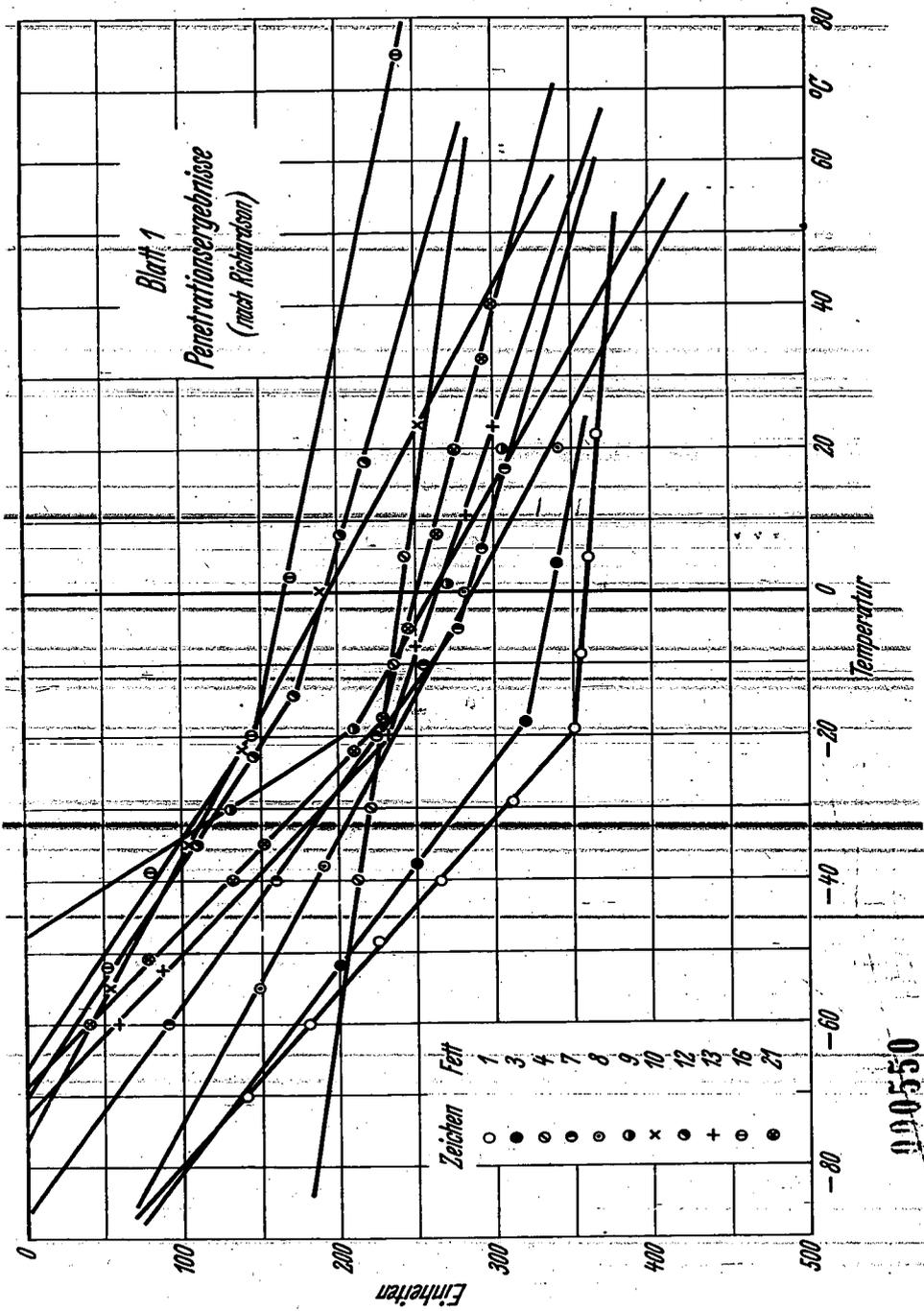


Abb. 5 Knetversuch (Fett 19) und anschließende Abrisse nach einer Haltezeit von 1,5 Minuten.



000551

