

Bericht Nr. 453

Die Prüfung der Kältebeständigkeit von Flugzeugschmierfetten

8397



**I. G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT
LUDWIGSHAFEN AM RHEIN**

Geheim

Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 453

Die Prüfung der Kältebeständigkeit von Flugzeugschmierfetten.

Übersicht: Es wurden Versuche über das Verhalten von fettgeschmierten Gleit- und Kugellagern in der Kälte durchgeführt. Beide Lagerarten wurden in den I.G. Kältekasten und das Schwaigergerät eingebaut. Im I.G. Kältekasten wurden mit beiden Lagerarten gleiche Bewertung erzielt. Dieselbe Güterreihenfolge wurde auch im Schwaigergerät erhalten, jedoch nur bei Gleitlagern unter Anwendung von Umfanggeschwindigkeiten, die denen des I.G. Kältekastens nahe kommen. Es war hierzu notwendig, einen kleineren Zapfen und grössere Anhängengewichte zu verwenden, weil der normale Zapfen und das normale Gewicht sehr kleine Schergeschwindigkeiten ergaben und zu ganz anderen Bewertungen der Fette führten. Die Versuche an Kugellagern lieferten im Schwaigergerät nur annähernd die Reihenfolge aus dem I.G. Kältekasten. Sowohl am Schwaigergerät als auch im I.G. Kältekasten ergaben Kugellager grössere Strenge, als Gleitlager.

Abgeschlossen am: 15. April 1941

Bearbeiter: Dipl. Ing. Halder

Die vorliegende Ausfertigung 9 enthält

9 Textblätter

6 Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1		RLM, GL 5/II, z. Hd. von	15		
2		Herrn Dr. Maltwitzki,			
3		Stelle Reclin,			
4		Stelle Travemünde,			
5		DVL, Berlin-Adlershof,			
6		Herrn Dir. Dr. Willig,			
7		Herrn Dir. Dr. Müller-Cunrad,			
8		Herrn Dr. Zorn, Leuna,			
9		Herrn Dr. Werner,			
10		Herrn Dipl. Ing. Penzig,			
11		Herrn Dipl. Ing. Halder,			
12		Techn. Prüfstand			
13					
14					

8398

Für die Prüfung von Fetten wurde neben dem normalen Zapfen, ein schmaler Zapfen mit einer Breite von 25 mm und einem Spiel von 0,12 mm angefertigt. Anstelle dieser beiden Gleitlager könnten auch 2 Kugellager SKF 2207, 35 ϕ x 72 ϕ x 23, in einem Gehäuse vereinigt, in das Gerät eingebaut werden.

Versuchsdurchführung:

1.) I.C. Kältekasten.

Der Prüfzapfen wurde mit dem zu prüfenden Fett bestrichen und zusammen mit dem Lagerring in das Gerät eingebaut. Um für alle Versuche gleiche Verhältnisse zu erzielen, wurde die Welle 10 Sekunden lang durch Motorkraft in Drehung versetzt, dann der Kasten auf Versuchstemperatur gebracht und dieselbe 1 Stunde lang gleichgehalten. Hierauf wurde durch Ingangsetzen des Motors und Einrücken der Klauenkupplung das "Losbrechen" eingeleitet. Der dabei erhaltene höchste Ausschlag am Indikator wurde der weiteren Auswertung zu Grunde gelegt. Darnach wurde der Kasten durch die elektrische Heizung erwärmt, geöffnet, das Lager herausgenommen, mit neuem Fett bestrichen und wieder wie anfangs verfahren.

Die Versuche mit Kugellagern wurden ähnlich durchgeführt. Die mit Fett vollgefüllten Kugellager wurden bei Raumtemperatur zehnmal durchgedreht und abgekühlt. Nach beendetem Versuch wurde erwärmt, die Lager aber nicht herausgenommen, sondern die Erwärmung bei 25°C auf 1/2 Stunde Dauer fortgesetzt. Nach 10 Umdrehungen wurde wieder für einen neuen Versuch abgekühlt, ohne das Lager mit neuem Fett zu beschicken.

2.) Schwaiger-Viskosimeter.

Nach Bestreichen der Lager mit dem zu prüfenden Fett wurde das Gerät zusammengebaut und nach zweimaligem Durchdrehen bis auf die tiefste Versuchstemperatur abgekühlt. Mit Hilfe eines Kontaktthermometers wurde die Temperatur 1/2 Stunde lang gleichgehalten und hierauf der Versuch durchgeführt. Die nächst höhere Versuchstemperatur wurde durch Ausschalten der

Zweck der Versuche:

Der I.C. Kältekasten und das Schwaiger^{*)} mit ergeben bei der Prüfung von Öl gute Übereinstimmung; dagegen bei der Prüfung von Fett stark unterschiedliche Beurteilung. Diese Widersprüche bei der Prüfung von Fett aufzuklären war der Zweck dieser Versuche. Weiterhin sollte damit ein Beitrag zu der Aufgabe, geeignete Prüfmethoden für Flugzeugschmierfette zu finden, geleistet werden.

Versuchsanordnung:

Als Versuchsgesät diente der I.C. Kältekasten, wie er in Bild 1 schematisch dargestellt ist. In ihm wird die Kraft bestimmt, die notwendig ist, um einen mit Schmierstoff benetzten Zapfen in einem Lagerring zu drehen. Die Messung geschieht dabei in dem Augenblick, in dem der Zapfen plötzlich in Bewegung gesetzt wird. Der vom Indikator aufgezeichnete Grösstwert der Kraft, wird bei der Auswertung auf die benetzte Fläche (Umfang x Lagerbreite) bezogen. Dadurch ergibt sich die Haftfestigkeit in kg/cm^2 . Nähere Beschreibung des I.C. Kältekastens siehe Bericht Nr. 269 des Technischen Prüfstandes. Die Prüfung von Fett wird jedoch zweckmässig nicht nur in Gleitlagern sondern auch in Kugellagern vorgenommen. Für diese Versuche werden anstelle des Zapfens und des Lagerringes zwei doppel-seitige Pendelkugellager SKF 1305, 25 $\frac{3}{62}$ ϕ x 24 eingebaut.

Als weiteres Versuchsgesät stand das Kälteviskosimeter nach Schwaiger zur Verfügung. Zapfen und Lagerring (80 mm ϕ , Spiel 0,06 mm) sind hierbei senkrecht angeordnet (s. Bild 2). Der Zapfen wird über eine Seilscheibe mittels eines angehängten Gewichtes (normal 900 g) in Drehung versetzt. Nach Zurücklegung eines gewissen Anlaufweges wird die Zeit, die für eine halbe Umdrehung erforderlich ist, gemessen. Nähere Beschreibung des Schwaigerviskosimeters findet sich in der Literatur.^{+))}

^{+))} Schwaiger, "Beitrag zur Bestimmung der Kälteviskosität von Motorschmierölen". Dissertation T.H. Dresden.

Kadmer, "Schmierstoffe und Maschinenschmierung", Seite 70.

Kältemaschine und allmähliche Erwärmung des Gerätes erreicht. Auch hier wurde vor dem Versuch die Temperatur 1/2 Stunde lang gleich gehalten. Weitere Versuche bei gleicher Temperatur erfolgten in Zeitabständen von je 1/2 Stunde. Ein Wechsel des Fettes nach jedem Versuch war hier nicht möglich. Bei den Versuchen mit Kugellagern wurde ebenso verfahren.

Geprüft wurden fünf von der Erprobungsstelle der Luftwaffe in Travemünde zur Verfügung gestellte Flugzeugfette, deren Daten in Tafel 1 zusammengefasst sind.

Tafel 1. Angaben über die geprüften Fette.

Fett Nr.	1	2	3	4	5
Art des Fettes	Flugzeugeinheitsfett				Natronseifenfett
Nähere Bezeichnung	Aero-Fett blau	1416 blau	1417	Cal. 8	Cal. 129
Hersteller	Chemania Ossag	Intava	Intava	Calypsol. G.m.b.H.	Calypsol. G.m.b.H.
Tropfpunkt °C	104	96	92	97	145
Neutralisationszahl	5,0	2,6	0,7	0,2	0
Verseifungszahl	6,0	2,9	2,0	2,2	0
Asche %	1,84	2,06	1,08	3,96	1,66
Wasser %	0,25	0,25	0	4	0

Versuchsergebnisse.

1.) Versuche mit Gleitlagern.

Die ersten Ergebnisse im l.G. Kältekasten sind in Bild 3 dargestellt. Man erkennt, dass das Fett 4 im ganzen Temperaturbereich die grösste Haltfestigkeit zeigt; dann folgen die Fette 1, 2 und 3; Fett 5 überschneidet die beiden letzteren.

In grossem Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse im Schwaigergerät bei Verwendung des normalen Zapfens und des normalen Gewichtes. In Bild 4 sind die erzielten Werte in Centipoise angegeben. Sie wurden erhalten nach der Formel Zähigkeit [cP.] = Laufzeit [sek.] $\times$ Gerätekennwert $\left[\frac{6}{\text{cm}^2 \cdot \text{sek.}} \right]$. Man ersieht daraus, dass lediglich das Fett 5 im höchsten Temperaturbereich an seinem alten Platz geblieben ist, alle übrigen Fette ordnen sich dagegen in ganz anderer Reihenfolge ein.

Diese Widersprüche waren zunächst erstaunlich, da die beiden Geräte mit Olen gute Übereinstimmung ergaben und da beide Geräte im Grunde genommen einander ähnlich sind. In einem Punkt unterscheiden sie sich jedoch beträchtlich, nämlich in der Umfangsgeschwindigkeit. Die auf Bild dargestellten Werte wurden im I.G. Kältekasten bei einer Umfangsgeschwindigkeit von 18,8 cm/sek erhalten; dagegen lag im Schwaigergerät die Umfangsgeschwindigkeit unter 1 cm/sek. Es lag nahe, darin die Widersprüche der Messergebnisse zu suchen. Durch kurze Vorversuche bei 0°C am Schwaigerviskosimeter mit gegenüber dem normalen verdoppelten Gewicht (1800 g) wurde festgestellt, dass Fette in gar keiner Weise dem Gesetz entsprechen, dessen Gültigkeit beim Schwaigerviskosimeter angenommen wird. Eine Verdoppelung der Gewichte müsste bei einer idealen Flüssigkeit eine Verdoppelung der Umfangsgeschwindigkeit zur Folge haben. Bei Olen kann diese Gesetzmässigkeit gut festgestellt werden, bei Fetten steigt die Geschwindigkeit dabei um das Vielfache.

Um diese Tatsache noch eingehender und auch bei tieferen Temperaturen zu untersuchen, wären bei Verwendung des normalen Lagers sehr grosse Gewichte notwendig geworden. Zur Schonung des Gerätes wurde daher ein anderer Zapfen hergestellt, der an dem normalen Lager ein Spiel von 0,12 mm besass und nur eine Breite von 25 mm hatte (vgl. Bild 2). Mit diesem Zapfen und dem normalen Lagerinn wurden die 5 Fette erneut geprüft und dabei Gewichte von 0,5, 1,5 und 3 kg verwendet. Diese ergeben Drehmomente von 1,75, 5,25 bzw. 10,5 cmkg.

Die Ergebnisse sind in Bild 5 dargestellt. Man erkennt, dass sich bei einem Drehmoment von 1,75 cmkg eine Reihenfolge einstellt, die der ersten in cP ausgedrückten Messung entspricht. Es ergeben sich dabei Umfangsgeschwindigkeiten zwischen 0,1 und 0,001 cm/sek. Verwendet man das dreifache Drehmoment, also 5,25 cmkg, so erhält man nicht die dreifachen, sondern rund hundertfache Geschwindigkeiten und ein völlig verändertes Ergebnis in der Beurteilung der Fette. Die Reihenfolge entspricht zwar noch nicht ganz der des I.G. Kältekastens, kommt ihr aber schon sehr nahe. Eine weitere Erhöhung des Drehmomentes von 5,25 auf 10,5 cmkg bringt tatsächlich die erwartete Reihenfolge (s. Tafel 2). Besonders auffallend ist dabei das Verhalten von Fett Nr. 2, das bei 1,75 cm mit grossem Abstand sich an höchster Stelle befindet, sich bei 5,25 cmkg bereits an zweiter und bei 10,5 cmkg an dritter Stelle einordnet. Dagegen bleibt das Fett 5 bei allen 3 Versuchen am gleichen Platz.

Diese Versuche lassen zwei Schlussfolgerungen zu:

1.) Die dem Schwaigergerät zu-Grunde liegende Beziehung

$$P = \frac{\eta \cdot F \cdot v}{h}$$

wobei P = Reibungswiderstand

η = dynamische Zähigkeit

F = benetzte Fläche

v = Umfangsgeschw.

h = Schichtdicke

k₁

$\frac{\text{kg sek}}{\text{cm}^2}$

$\frac{\text{m}^2}{\text{sek}}$

m/sek

m

gilt für Fette offenbar nicht mehr, denn der Reibungswiderstand P und die Geschwindigkeit v müssten sich direkt proportional verhalten. Das ist aber bei Fetten nicht mehr erfüllt. Der Grund liegt darin, dass Fett keine Flüssigkeit darstellt und dass man folglich auch nicht von Zähigkeit sprechen kann. Die oben angeführte Beziehung ist abgeleitet aus dem Gesetz: $P = \eta \cdot F \cdot \frac{dv}{dh}$ und gilt also nur dann, wenn $\frac{dv}{dh} = \frac{v}{h}$, d.h., wenn man in der Schicht geradlinige Geschwindigkeitsverteilung annehmen kann.

Bei einer idealen Flüssigkeit ist dies erfüllt, ebenso mit grosser Annäherung bei Öl. Bei Fetten gilt diese Beziehung nicht mehr, es muss daher eine andere Geschwindigkeitsverteilung angenommen werden.

2.) Weiter kann man aus diesen Versuchen schliessen, dass sich die verschiedenen Fette bei verschiedenen Geschwindigkeiten sehr unterschiedlich verhalten. Z.B. ist das Fett 2 in dieser Hinsicht besonders empfindlich im Gegensatz zu Fett 5. Dieses verschiedene Verhalten ist auf das innere Gefüge zurückzuführen. Fett 5 scheint also eine besonders homogene, ölähnliche Struktur zu besitzen. Ein Zusammenhang dieser Erscheinung mit den Analysendaten konnte bei diesen 5 Fetten nicht festgestellt werden. Es wäre jedoch aufschlussreich zu prüfen, wie sich die zahlreichen Fettarten bei verschiedenen Schergeschwindigkeiten verhalten. Eine Untersuchung in dieser Richtung muss jedoch einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben.

Nachdem es gelungen ist, durch Erhöhung der Gewichte und damit der Umlaufgeschwindigkeit mit den Ergebnissen des Schwaigergerätes an die des I.G. Kältekastens heranzukommen, müsste es umgekehrt gelingen, durch Verringerung der Umlaufgeschwindigkeit im I.G. Kältekasten die Ergebnisse aus diesem Geräte denen des Schwaigergerätes (s. Bild 5) anzugleichen.

Eine Verringerung der Umfangsgeschwindigkeit von 18,8 cm/sek zu 6 cm/sek änderte das Bild nicht wesentlich (s. Bild 6). Einige Vorversuche bei 2 cm/sek liessen ein ähnliches Bild erwarten. Eine weitere Senkung der Umfangsgeschwindigkeit würde zweifellos die erwartete Verschiebung in der Gütereihenfolge ergeben, jedoch sind die dabei auftretenden Kräfte so klein, dass es mit dem zur Verfügung stehenden Indikator nicht möglich war, diese zu messen.

Die mit Gleitlager erzielten Beurteilungen der 5 Fette ist in Tafel 2 für beide Geräte zusammengestellt. Es wurde dabei die Temperatur von -25°C herausgegriffen, da bei dieser Temperatur in beiden Geräten Messungen vorlagen. Aus dieser Zusammenstellung ist die Verschiebung der

Gütereihefolge mit der Veränderung des Drehmoments gut ersichtlich. Auffallend ist ferner, dass die im I.G. Kältekasten und im Schwaigergerät bei grösserem Drehmoment erzielten Gütereihenfolge mit der Reihenfolge des Wassergehalts übereinstimmt.

Tafel 2. Gütereihenfolge der 5 Fette bei Verwendung von Gleitlagern im Schwaigergerät und im I.G. Kältekasten bei -25°C .

Schwaigergerät				I.G. Kälte - kasten		Wasser - gehalt	
Zapfenlänge 49mm	Zapfenlänge 25 mm			Umfangsgeschw.		Reihen- folge	%
Drehmoment cmkg							
3,15	1,75	5,25	10,5	18,8 cm/s	6 cm/s.		
Fett Nr. 5	5	5	5	5	5	5	0
1	1	3	3	3	3	3	0
4	4	1	2	2	2	2	0,25
3	3	2	1	1	1	1	0,25
2	2	4	4	4	4	4	4

2.) Versuche mit Kugellagern

Die Versuche im I.G. Kältekasten lieferten mit Kugellagern im grossen und ganzen dieselbe Reihenfolge wie mit Gleitlagern (S.Bild 17). Die auftretende Streuung war jedoch, wie erwartet, beträchtlich grösser. Eine einwandfreie Unterscheidung der Fette war trotzdem möglich. Die auftretenden Kräfte waren jedoch so klein, dass sie oberhalb -30°C kaum noch messbare Werte ergaben.

Die Versuche im Schwaigergerät zeigten ebenfalls grössere Streuungen. Sie wurden hauptsächlich durch den ungleichförmigen Ablauf verursacht. Die Drehung erfolgte hier nicht mit gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit wie bei Gleitlagern, sondern zeigte unstetigen Verlauf.

Bald trat eine Verzögerung, bald eine Beschleunigung der Bewegung auf. Besonders auffallend war diese Erscheinung bei Fett 2, das sich derart un stetig verhielt, dass sich überhaupt keine brauchbare Messung durchführen liess.

Die Versuche bei einem Drehmoment von 0,875 cmkg ergeben nur annähernd die Reihenfolge der Fette, wie sie mit Gleitlagern bei der kleinsten Last erzielt wurden (vgl. Bild 8). Eine Erhöhung des Drehmoments auf 1,4 cmkg liess das Fett 4 wiederum an die höchste Stelle rücken (Bild 9). Eine weitere Erhöhung der Anhängelast war nicht möglich, da die zu messenden Ablaufzeiten zu kurz wurden. Es ist aber anzunehmen, dass sich dabei dieselbe Beurteilung der Fette wie bei den Losbrechversuchen im I.G. Kältekasten herausgestellt hätten.

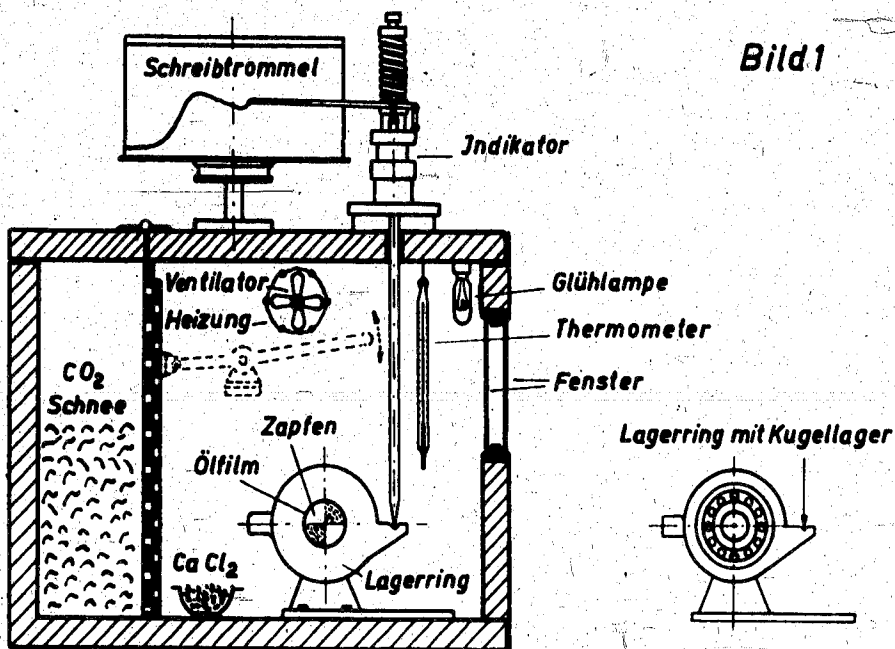
Schlussfolgerung:

Die Versuche zeigen, dass bei Anwendung grösserer Umfangsgeschwindigkeiten zwischen den Losbrechversuchen im I.G. Kältekasten und den Versuchen am Schwaigergerät sehr gute Übereinstimmung besteht. Prüft man jedoch unter einer Umfangsgeschwindigkeit von etwa 2 cm/sek - die beim Schwaigergerät üblich ist - so stellen sich völlig andere Verhältnisse ein.

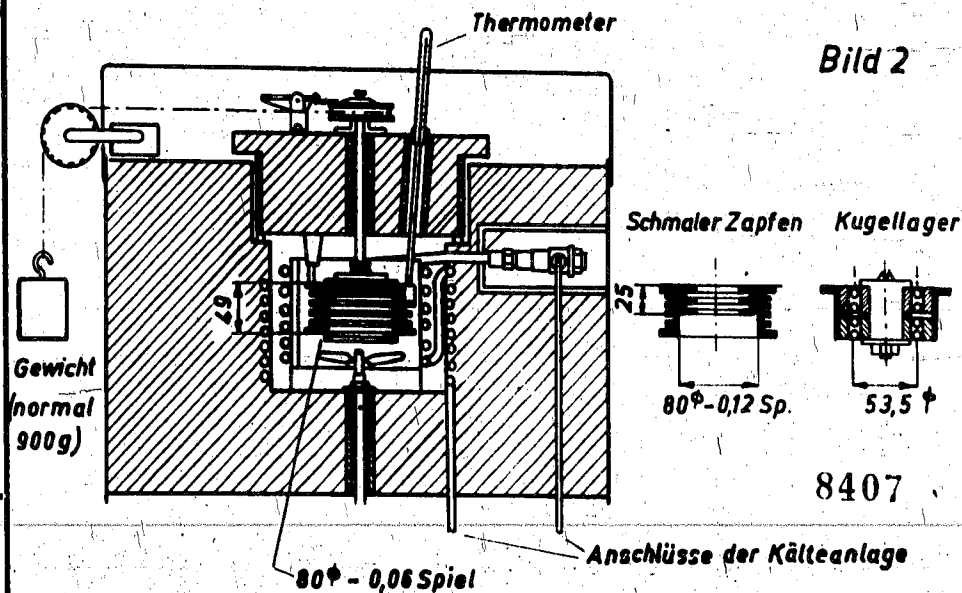
Zwischen den Versuchen an Gleitlagern und Kugellagern besteht - wenigstens hinsichtlich der Losbrechversuche - gute Übereinstimmung. Mit Rücksicht auf die bessere Wiederholbarkeit der Versuche ist die Prüfung an Gleitlagern vorzuziehen. Das schlechte Verhalten der Kugellager für Prüfungszwecke kommt besonders deutlich bei den Versuchen im Schwaigergerät zum Ausdruck.

Den praktischen Verhältnissen dürften wohl die Versuche im I.G. Kältekasten am nächsten kommen. Die Messung der "Zähigkeit", die bei kleinen Drehmomenten im Schwaigergerät erhalten wird, dürfte für den vorliegenden Fall der Praxis kaum von Bedeutung sein, da es sich dabei um ausserordentlich geringe Kräfte handelt.

J.G. Kältekasten.



Kälte-Viskosimeter nach Schwaiger.

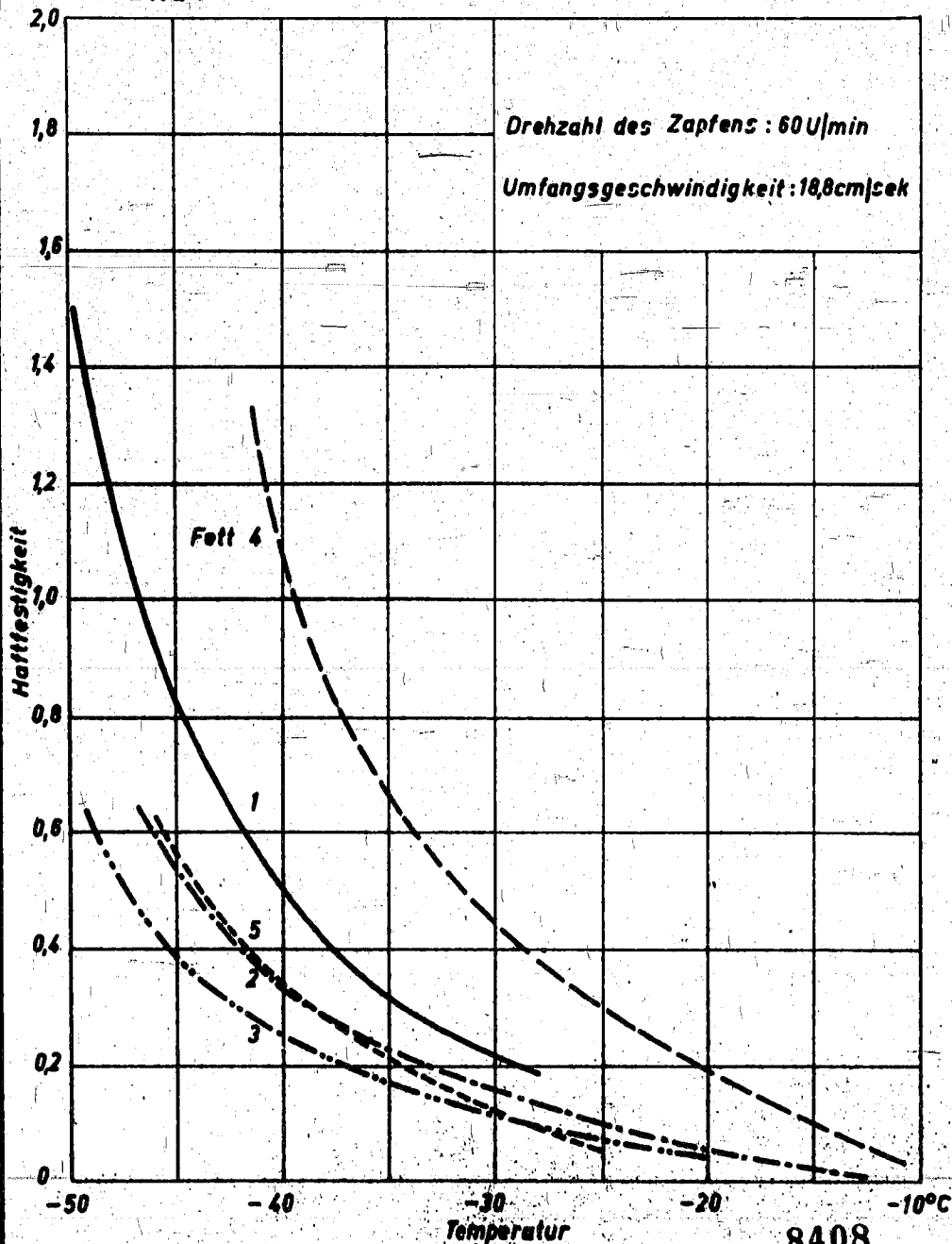


Losbrech-Versuche im J.G. Kältekasten.

Gleitlager: ϕ 60mm, Breite 40mm, Spiel 0,06mm.

kg/cm²

Bild 3



8408

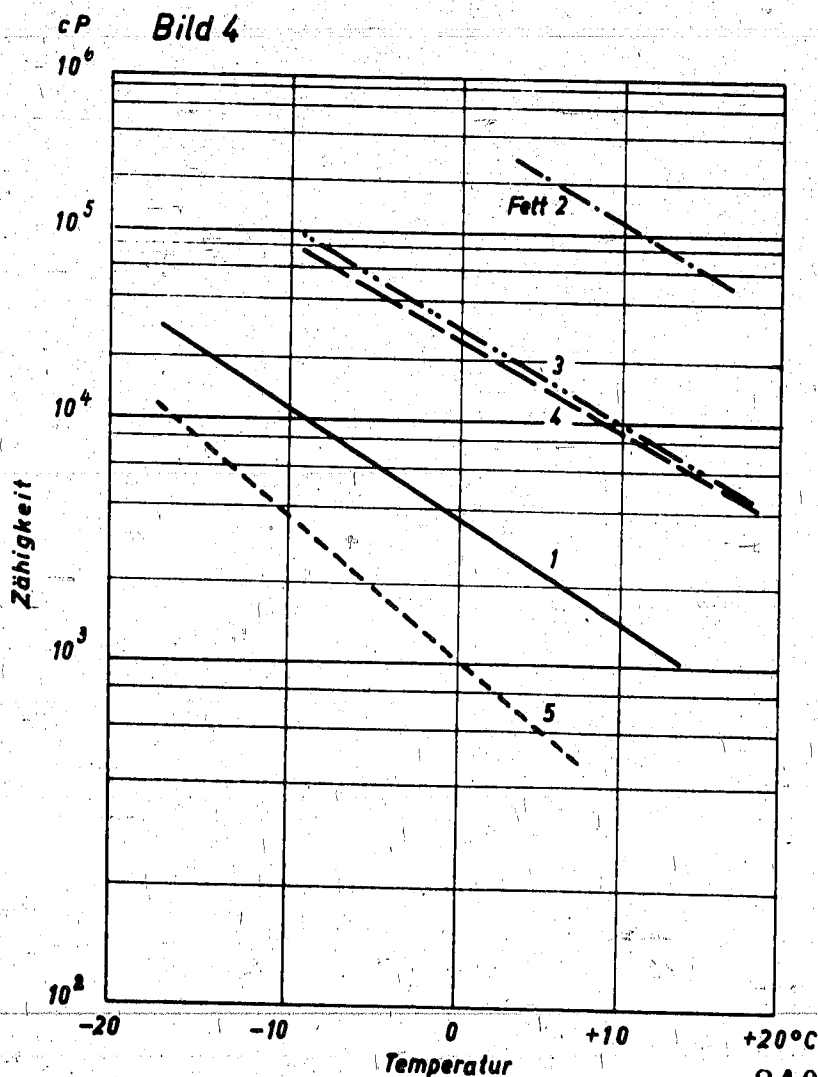
Versuche im Schwaigergerät

Gleitlager : ϕ 80 mm

Breite 49 mm

Spiel 0,06 mm

Drehmoment : 3,15 cmkg

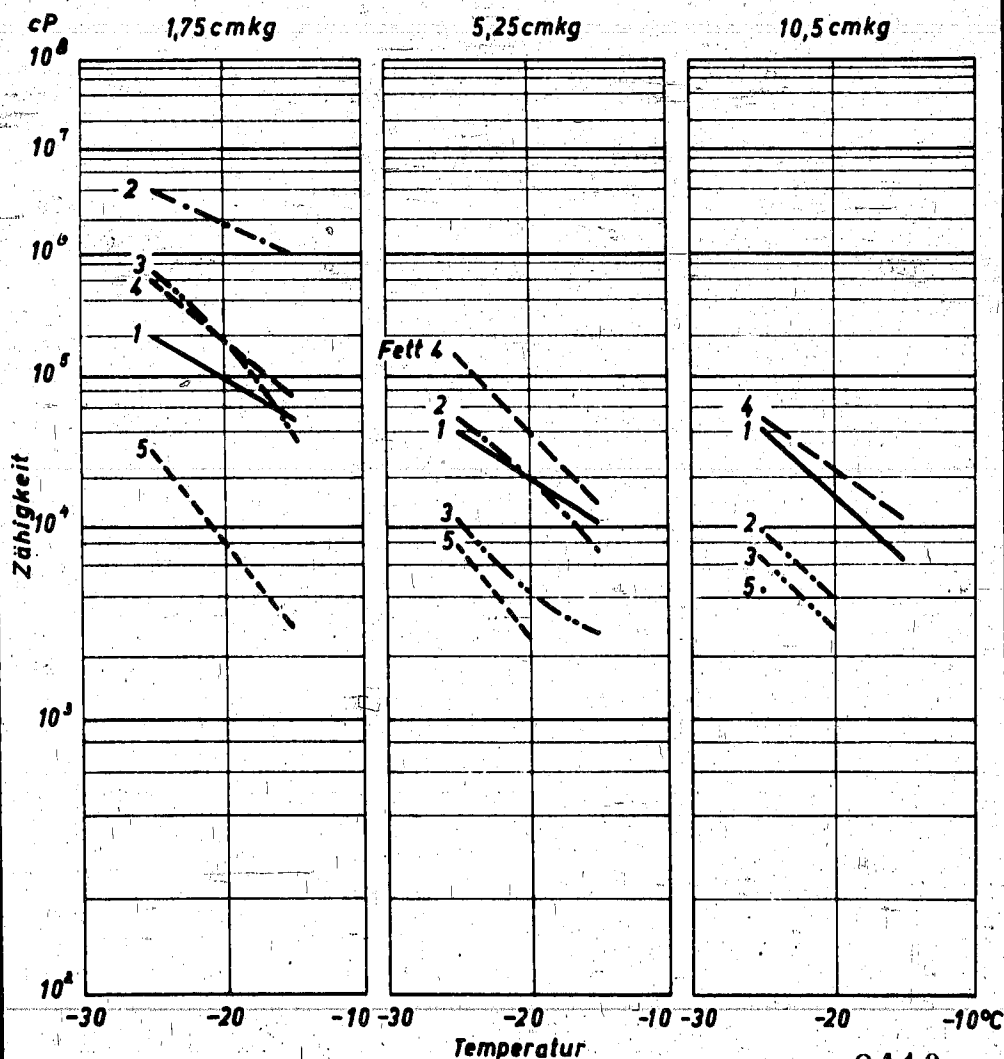


8409

Versuche im Schwaigergerät mit verschiedenen Drehmomenten.

Bild 5

Drehmomente:



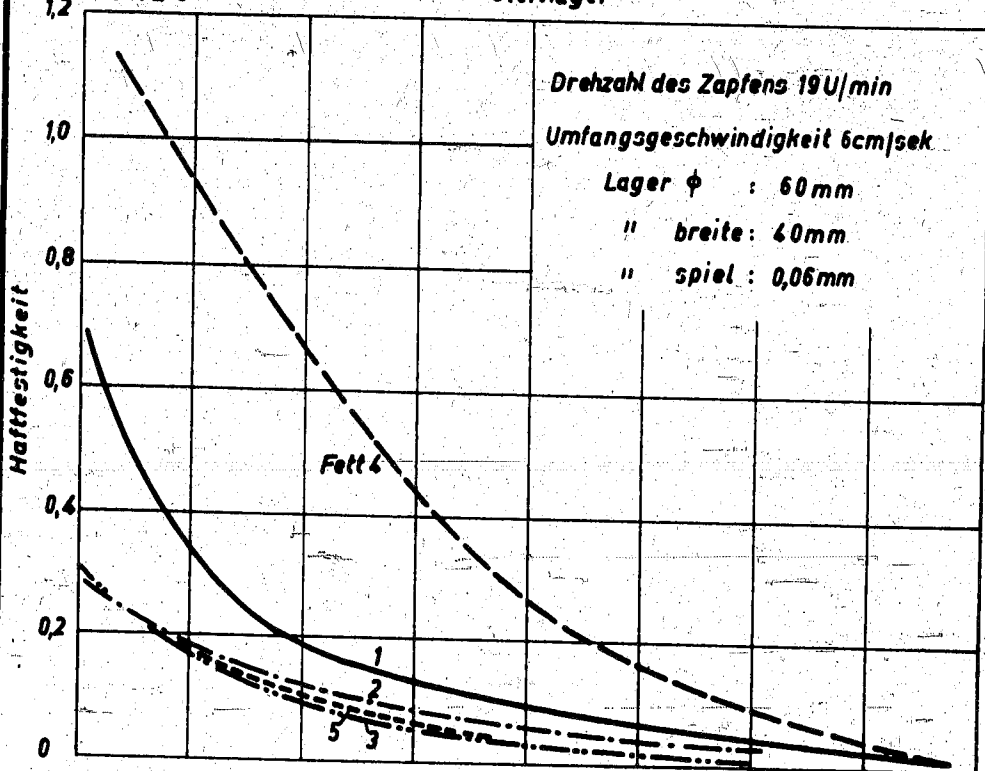
8410

Losbrech-Versuche im J.G. Kältekasten.

kg/cm²
1,2

Bild 6

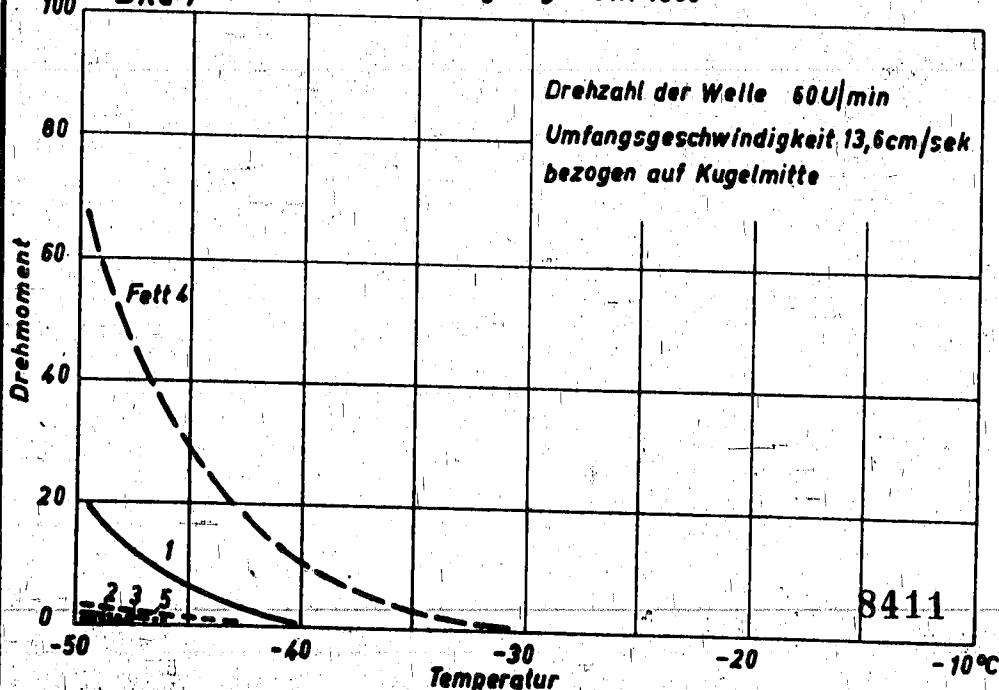
Gleitlager



cmkg
100

Bild 7

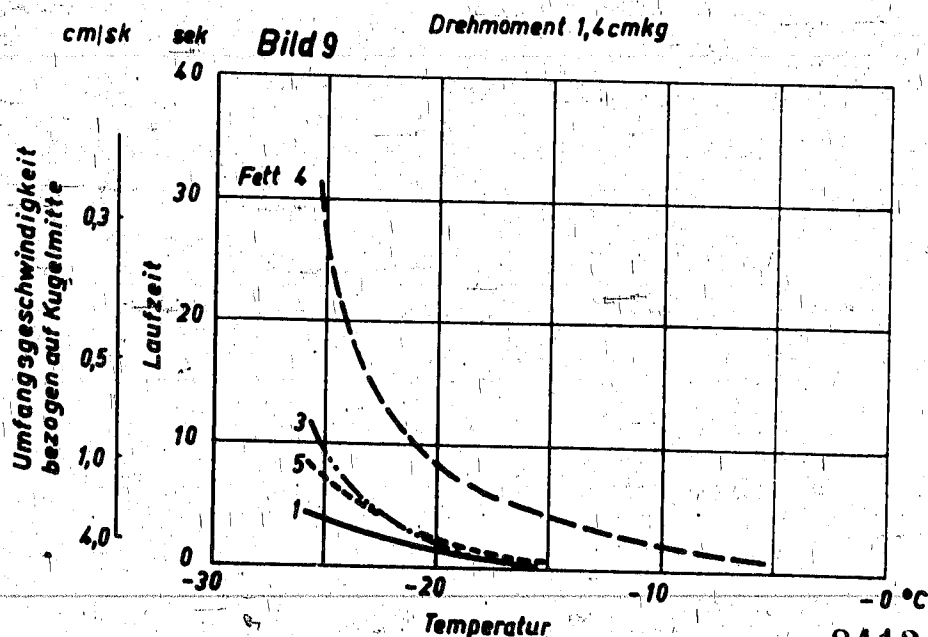
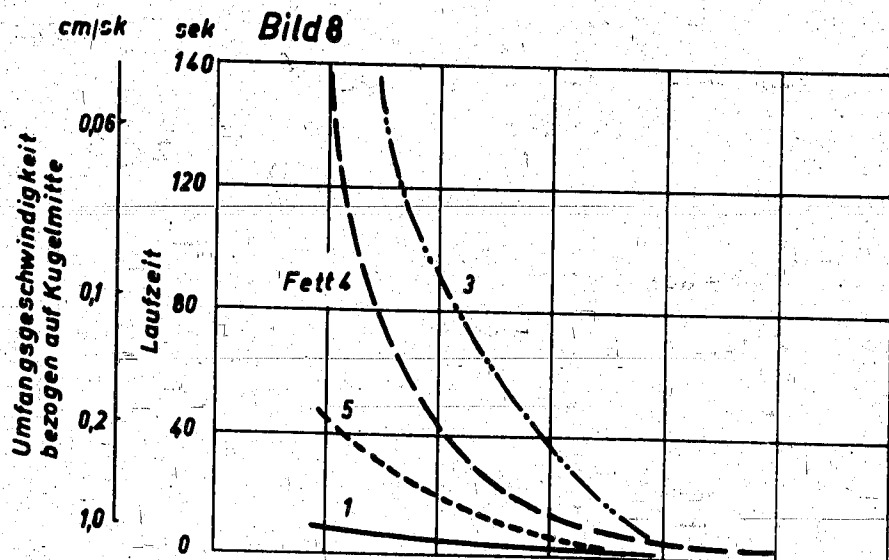
2 Pendelkugellager SKF1305



8411

Versuche im Schwaigergerät mit 2 Pendelkugellagern. (SKF 2207)

Drehmoment 0,875 cmkg



8412