

Gleitlager
**Ermittlung des Betriebsverhaltens
 von feinwerktechnischen Gleitlagern mit der
 SLPG-Prüfeinrichtung**

DIN
1496

ICS 21.100.10

Deskriptoren: Gleitlager, Betriebsverhalten, Feinwerktechnik, Prüfung

Plain bearings; Testing of friction and wear of precision engineering bearings in the SLPG-Tester

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	7.4 Anwendungsorientierte Sonderprüfungen	14
2 Zweck	1	7.4.1 Anlaufprüfung	14
3 Formelzeichen und Einheiten	2	7.4.2 Unregelmäßiger stochastischer Betrieb (Start-Stopp- und Rechts-Links-Lauf)	15
4 Kurzbeschreibung des Verfahrens	3	7.5 Prüfung der Lagerentwicklung (Optimierung, Werkstoffvariation usw.)	15
5 Prüfeinrichtung	3	7.5.1 Aufnahme des f - p -Kennfeldes eines Prüflagers	15
5.1 Aufbau	3	7.5.2 Aufnahme des f - T -Kennfeldes eines Prüflagers	17
5.2 Einsatzbereich	3		
5.3 Konstruktive Gestaltung	3		
6 Vorbereitung	3	8 Genauigkeit des Verfahrens	17
6.1 Kalibrierung der Prüfeinrichtung	3	8.1 Reibungsmoment	17
6.2 Einlaufvorgang	4	8.2 Meßbereich für Reibungszahl	17
7 Durchführung der Prüfung	4	8.3 Verschleiß	17
7.1 Bestimmung der Reibungszahl bzw. des Reibungszahlverlaufes	4	8.4 Temperatur	17
7.1.1 Kurzzeitversuch	4	8.5 Umdrehungsfrequenz	17
7.1.2 Bestimmung der quasistationären Reibungszahl-Umdrehungsfrequenz- Charakteristik (Stribeck-Kurve)	4	8.6 SLPG-Reibungszahlmessung	17
7.2 Bestimmung der Belastungsgrenze	5		
7.3 Lebensdauerversuche	7	9 Prüfbericht	18
7.3.1 Langzeit-Prüfung	7	Anhang A Beispiel für den Aufbau der SLPG-Prüfeinrichtung	20
7.3.2 Start-Stopp-Betrieb	8		
7.3.3 Rechts-Links-Lauf	10	Anhang B Beispiel eines Formblattes für die Prüfungsdokumentation	22
7.3.4 Schwenkbetrieb	12		

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt einheitliche Richtlinien zur Prüfung und Abnahme von feinwerktechnischen Gleitlagern fest.

Verfahren nach dieser Norm sind anwendbar für Sinterlager von Innendurchmesser 1 bis 10 mm, insbesondere für Sinterlager nach DIN 1495-1 und DIN 1495-2 sowie nach DIN 1850-3, wie auch für Lagerbuchsen aus anderen Werkstoffen, z.B. nach DIN 1850-1, DIN 1850-4 bis DIN 1850-6.

2 Zweck

Zweck der Norm ist es, für feinwerktechnische Gleitlager reproduzierbare Meßgrößen für Reibungsmoment (bzw. Reibungszahl) unter bestimmten, genau definierten Betriebsbedingungen bei konstanter Radialkraftprüfung

zu erhalten. Um auch die sekundären Einflüsse, hervorgerufen durch die Art des Prüfsystems (z. B. Wärmeleitungsbedingungen, Vibrationen, Antriebsschwingungen, Spannbedingungen), auszuschalten, ist auch die gesamte Prüfeinrichtung in ihrem prinzipiellen Aufbau und ihren Funktionsanforderungen genormt.

Verfahren nach dieser Norm dienen

- zum Nachweis der Funktionstauglichkeit von feinwerktechnischen Gleitlagern unter definierten, vergleichbaren Bedingungen,
- zur Untersuchung des Betriebsverhaltens von feinwerktechnischen Gleitlagern nach genormten Prüfabläufen,
- zur Prüfung unterschiedlicher Lagertypen bei praxisähnlichen Beanspruchungen,

Fortsetzung Seite 2 bis 23

Normenausschuß Gleitlager (NGL) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

hauptsächlich bei folgenden Meßaufgaben:

- Bestimmung der Größe des Reibungsmomentes M_f bzw. der Reibungszahl f unter vorgegebenen Bedingungen,
- Aufnahme von Stribeck-Diagrammen (Bestimmung der Reibungszahl-Drehzahl-Charakteristik),
- Lebensdauerprüfung unter Beobachtung des Reibungszahl- und Lagertemperaturverlaufes,
- Kontrolle des Schmierzustandes,
- Verschleißüberwachung,

- Bestimmung der Grenzlaster für hydrodynamischen Betrieb,

Außerdem:

- Parameterversuche,
- Einsatzorientierte Optimierung der Lagergestaltung.

Eine Übertragbarkeit der Prüfwerte auf den praktischen Anwendungsfall ist nur dann exakt möglich, wenn alle Einflußgrößen identisch sind (z.B. spezifisches Lagerspiel, Lagergestaltung, Lagereinbau usw.).

3 Formelzeichen und Einheiten

Zeichen	Benennung	Einheit
a_1	Hebelabschnitt der Primärkraft F_1	mm
a_2	Hebelabschnitt der Sekundärkraft (Radialkraft) F_r	mm
b_1	Lagerbreite	mm
b_2	Lagerbundbreite	mm
C	Lagerspiel	mm
D_1	Wellendurchmesser	mm
d_1	Lagerinnendurchmesser	mm
d_2	Lageraußendurchmesser	mm
d_3	Lagerbunddurchmesser	mm
F	Aktuelle Kraft am Lager (Prüfkraft)	N
F_{ax}	Axialkraft	N
F_1	Kraft am Hebel	N
F_r	Radialkraft	N
f	Reibungszahl	—
f_{min}	Reibungszahl-Minimum	—
h_w	Verschleißhöhe; Verschiebung von Wellenmitte zur Lagermitte während der Prüfung (umfaßt Buchsenverschleiß, Wellenverschleiß)	mm
M_f	Reibungsmoment	Nmm
N	Umdrehungsfrequenz (Drehzahl) der Welle	min ⁻¹
N_{tr}	Übergangs-Umdrehungsfrequenz	min ⁻¹
$\bar{p}_{ax}$	Spezifische Lagerbelastung (axial)	N/mm ²
$\bar{p}_r$	Spezifische Lagerbelastung (radial)	N/mm ²
T_{amb}	Umgebungstemperatur	°C
T_B	Temperatur des Lagers	°C
T_0	Vorgabetemperatur (Vorwärm- bzw. Kühltemperatur)	°C
t	Versuchszeit (Augenblickswert im Versuchsablauf)	h
t_{Ch}	Versuchsdauer (zur Erreichung des stationären Zustandes erforderliche Zeit)	h
t_{lim}	Lebensdauergrenze durch Alterungseinflüsse	h
t_{max}	Lebensdauergrenze	h
t_{ri}	Dauer des Einlaufvorganges	h
$t_{w,lim}$	Lebensdauergrenze durch Verschleiß	h
ψ	Relatives Lagerspiel	‰

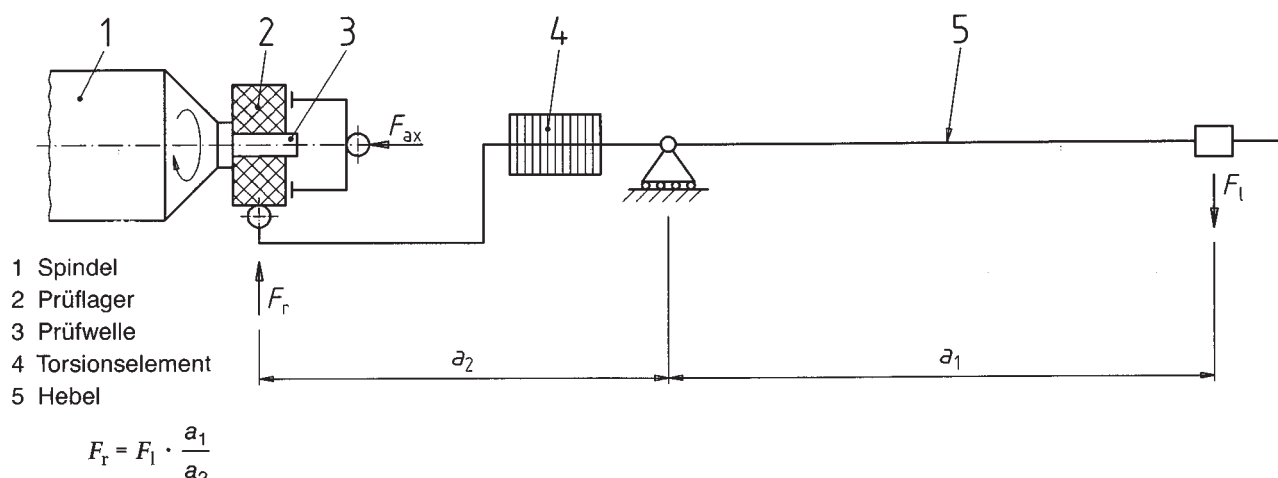


Bild 1: Prinzip der SLPG-Prüfeinrichtung

4 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Das Betriebsverhalten des feinwerktechnischen Gleitlagers wird mit einer SLPG-Einrichtung*) bestimmt. Dabei wird das (in einer Halterung befestigte) feinwerktechnische Gleitlager auf das fliegende Ende einer Welle aufgesteckt und über eine Belastungsvorrichtung in radialer und — falls notwendig — auch in axialer Richtung gegen die rotierende Welle gedrückt. Das auftretende Reibungsmoment wird über die Verformung eines Torsionselementes gemessen.

5 Prüfeinrichtung

Die SLPG-Prüfeinrichtung (Prinzip siehe Bild 1) besteht aus einer präzisionsgelagerten Spindel mit einer eingespannten Prüfweile, Prüflager mit Halterung, Hebel mit Kraftaufbringung und Torsions-Meßeinrichtung.

5.1 Aufbau

Die SLPG-Prüfeinrichtung ist im Bild 1 (Prinzip) und Bild A.1 (detaillierter Aufbau) dargestellt.

In einer mit Präzisionswälzlager gelagerten Spindel hoher Laufgenauigkeit kann mit Hilfe einer Spannzange, leicht austauschbar, ein Wellenstück eingespannt werden. Auf das fliegende Ende der Welle (Durchmesserbereich 1 bis 10 mm) wird das in einer Halterung befestigte Prüflager aufgeschoben. Über einen speziell gestalteten Hebel mit pneumatischer Kraftaufbringung wird die Lagerhalterung, und damit das Prüflager radial und/oder axial belastet. Eine in der Belastungsvorrichtung integrierte Torsions-Meßeinrichtung ermöglicht eine störgrößenfreie Messung des Reibungsmomentes im Prüflager.

Für die Prüfung von feinwerktechnischen Gleitlagern nach dieser Norm sind bei einem gemeinsamen Grundgerät zwei Lagerhalterungen vorgesehen, und zwar:

für Lagerinnendurchmesser

$d_1 = 1$ bis 4 mm: Halterung A (siehe Bild A.2)

$d_1 = 3$ bis 10 mm: Halterung B (siehe Bild A.3)

Für jede Halterung ist eine entsprechende Belastungsvorrichtung vorgesehen.

In der Halterung des Prüflagers sind auch Einrichtungen für Anfangskühlung, regelbare Heizung, Temperaturmessung und Überwachung des Schmierzustandes vorgesehen (siehe Bild A.2 und Bild A.3).

5.2 Einsatzbereich

5.2.1 Grenzwerte der Belastungseinrichtung

$\Delta F_{r,min} = 0,5$ N (Auflösgrenze)

$F_{r,max} = 1000$ N

$F_{ax,max} = 0,2 \cdot F_{r,max}$

5.2.2 Umdrehungsfrequenz

3 bis 30 000 min^{-1} bei einem Kernbereich der Spindel von 10 bis 10 000 min^{-1} (nach oben und unten erweiterbar durch Variation des Übersetzungsverhältnisses beim Antrieb).

5.2.3 Temperatur

Umgebungstemperatur von etwa 20 bis 150 °C (mit elektrischer Heizvorrichtung). Kühlmöglichkeit bis -40 °C im Stillstand (nur für Anlaufversuche bei tiefen Temperaturen), keine permanente Kühlung.

5.3 Konstruktive Gestaltung

5.3.1 Probeneinspannung

Fliegende Einspannung der Prüfweile in Spannzange, Radialschlag der Welle < 2 μm . Einspannung der Lager in repositionierbare Halterung, Repositionierfehler < 5 μm .

5.3.2 Kraftaufbringung

Über Hebel durch pneumatischen Membranzylinder, im Kleinlastbereich (bis $F_r = 20$ N) durch Massestücke.

5.3.3 Antrieb

Stufenlos regelbarer E-Motor für Rechts- und Linkslauf und Start-Stopp-Betrieb, Flachriemen mit austauschbaren Riemenscheiben, Spindel für Spannzangenaufnahme. Erweiterungsmöglichkeit für Schwenkbetrieb mit Schwenkwinkel bis 180°.

6 Vorbereitung

6.1 Kalibrierung der Prüfeinrichtung

6.1.1 Ziel

Nullpunkteinstellung bzw. -Kontrolle, Kalibrierung bzw. Festlegung der Meßsignalverstärkung, Wahl der Meßbereiche.

*) SLPG: Sinterlagerprüfgerät.

Über die Bezugsquelle gibt Auskunft: DIN-Bezugsquellenverzeichnis für normgerechte Erzeugnisse, 10772 Berlin

6.1.2 Ablauf

Aufbringen einer bestimmten Kalibrierkraft bzw. eines Kalibriermomentes durch (stufenweise) Erhöhung und nachfolgende Reduzierung der Werte für

- radiale Prüfkraft F_r
- axiale Prüfkraft F_{ax}
- Reibungsmoment M_f

mit Hilfe von Massestücken. Die Werte sind dem gewünschten Meßbereich entsprechend zu wählen!

ANMERKUNG: Kalibriergewichte bzw. Kalibriervorrichtung sind notwendig. Die Kalibrierung ist nur fallweise — bei häufigem Betrieb bzw. Betrieb mit wechselnden Einsatzbedingungen entsprechend häufiger — notwendig.

6.2 Einlaufvorgang

6.2.1 Ziel

Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Prüfung, Glättungseffekte, Beseitigung von Oberflächendefekten wie z.B. Partikel durch den Kalibriervorgang des Sinterlagers, "Aktivierung" des ölfüllten Porenraumes, z.B. nach langer Lagerzeit der Sinterlager.

6.2.2 Ablauf

Betrieb des Prüflagers mit gegebener Kraft und gegebener Umdrehungsfrequenz für eine bestimmte Zeit; Ablaufschema siehe Bild 2.

6.2.3 Ergebnis

Keine gezielte Meßdatenauswertung, nur Zeitüberwachung (Abschaltfunktion bei t_{stp}), eventuell Kontrollmessung der Temperatur oder des Reibungsmomentes.

7 Durchführung der Prüfung

7.1 Bestimmung der Reibungszahl bzw. des Reibungszahlverlaufes

7.1.1 Kurzzeitversuch

7.1.1.1 Ziel

Meßwert der Reibungszahl bei gegebenen Bedingungen (Prüfkraft, Umdrehungsfrequenz, Temperatur).

7.1.1.2 Ablauf

Bei gegebener Kraft F (F_r , F_{ax}) und eventuell gegebener Vorwärmtemperatur T_0 (entsprechend der Heizleistung) wird eine bestimmte Umdrehungsfrequenz gefahren; Ablaufschema siehe Bild 3.

Δt = Abtastintervall (Meßwertabfrage, $\Delta t_{\min}$ erforderlich)

Kriterium für die Versuchsdauer t_{Ch} :

t_{Ch} ist erreicht, wenn bei $N = \text{constant}$ gilt, daß innerhalb der letzten 5 Δt :

$\Delta M_f < 3\%$ vom gemittelten Meßwert

$\Delta T_B < 3\%$ vom gemittelten Meßwert

7.1.1.3 Ergebnis

Meßwerte $M_f(t_{Ch})$ bzw. $f(t_{Ch})$ oder $T_B(t_{Ch})$, siehe Ablaufschema. Eventuell Darstellung der Meßwertverläufe als Funktionen der Versuchszeit t .

7.1.2 Bestimmung der quasistationären Reibungszahl-Umdrehungsfrequenz-Charakteristik (Stribeck-Kurve)

7.1.2.1 Ziel

Punktweise (quasikontinuierliche) Aufnahme der Reibungszahl (Stribeck-Kurve) und Feststellung der Übergangsumdrehungsfrequenz bei quasistationären thermischen Verhältnissen (stabilisierte Temperaturverteilung).

7.1.2.2 Ablauf

Bei gegebener Kraft F (F_r , F_{ax}) und eventuell gegebener Vorwärmtemperatur T_0 (entsprechend der Heizleistung) wird die Umdrehungsfrequenz (in Stufen) bis zu einem $N_{\max}$ gesteigert. (Kette von Versuchen nach 7.1.1); Ablaufschema siehe Bild 4.

Δt = Abtastintervall (Meßwertabfrage, $\Delta t_{\min}$ erforderlich)

t_i ist erreicht, wenn bei $N_i = \text{const.}$ gilt, daß innerhalb der letzten $j \cdot \Delta t$:

$\Delta M_f < 3\%$ vom gemittelten Meßwert

$\Delta T < 3\%$ vom gemittelten Meßwert

wobei $j > 3$

($i = 1, 2, 3 \dots$)

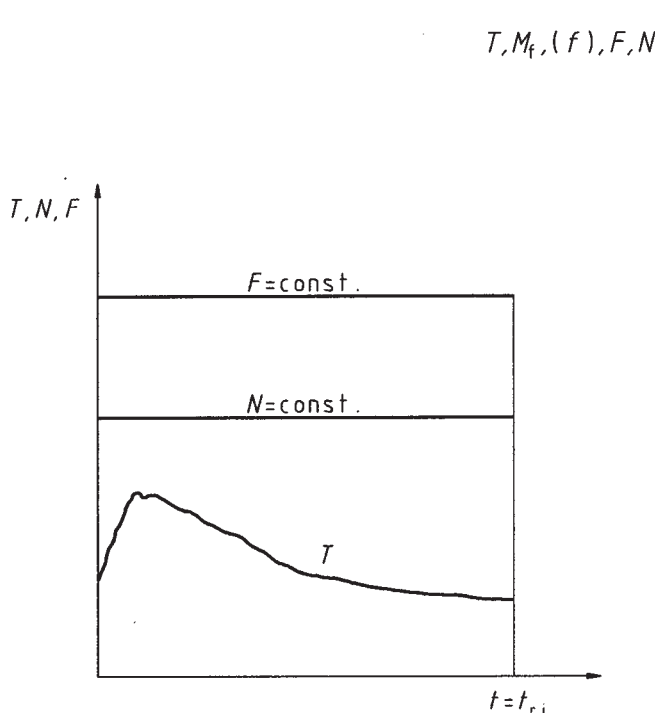


Bild 2: Ablaufschema für den Einlaufvorgang

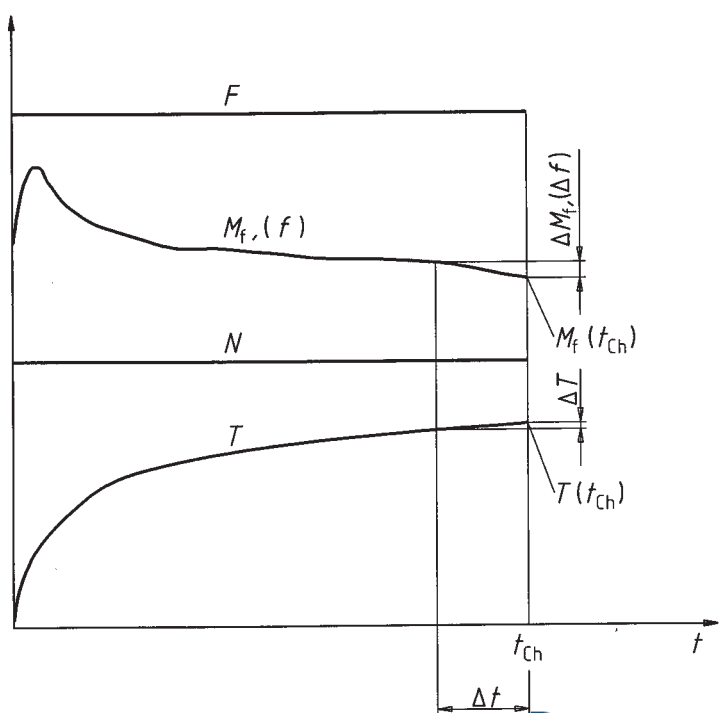


Bild 3: Ablaufschema für den Kurzzeitversuch

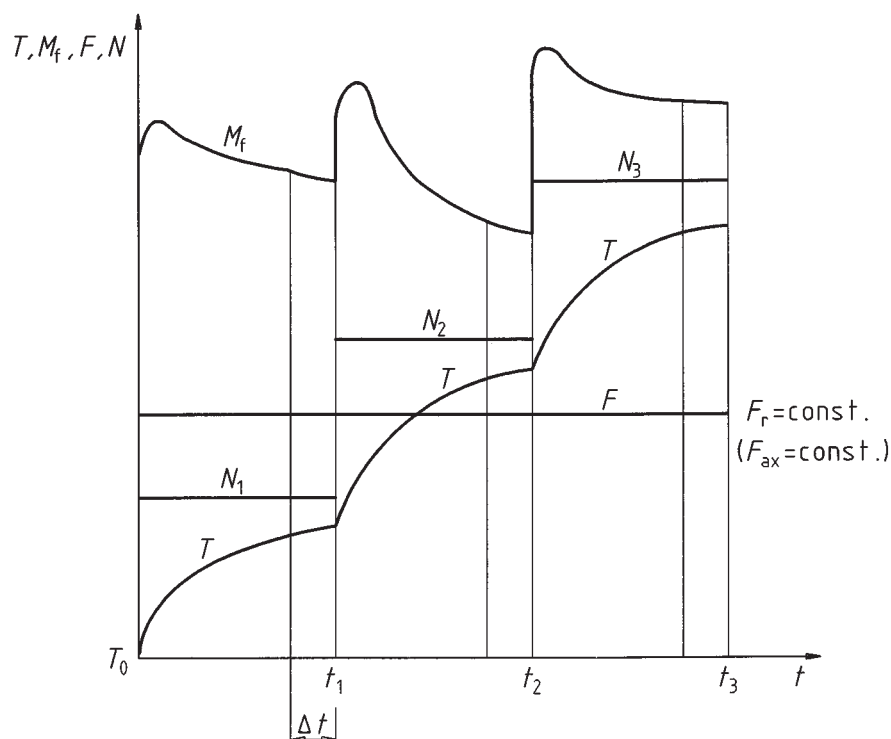


Bild 4: Ablaufschema für die Bestimmung der quasistationären Stribeck-Kurve

7.1.2.3 Ergebnis

Aus den Diagrammen mit quasikontinuierlicher Darstellung der Reibungszahl über der Versuchszeit kann schrittweise die quasistationäre Stribeck-Kurve ermittelt werden (siehe Bild 5), Ermittlung der Übergangs-Umdrehungsfrequenz nach $f_{\min} = f_{\min}(N_{tr})$ bei ausgeprägtem Minimum oder Feststellung, daß $f_{\min} = f_{\min}(N_{\max})$. Dokumentation durch Formblatt nach Anhang B.

Eventuell Temperaturmessung bzw. -kontrolle.

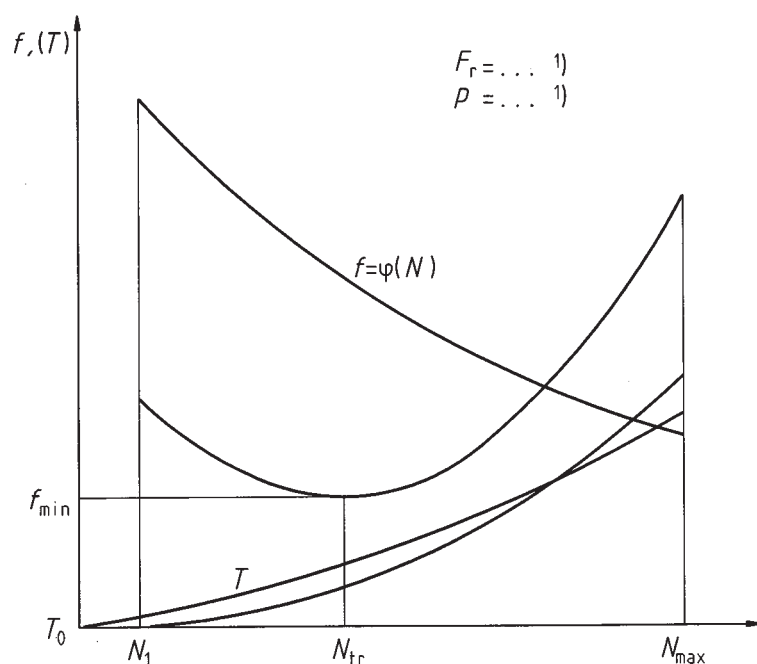


Bild 5: Quasistationäre Stribeck-Kurve (Kurvenzüge durch Interpolation der Werte der einzelnen Schritte)

7.2 Bestimmung der Belastungsgrenze

7.2.1 Ziel

Bestimmung der Reibungszahl als Funktion der Prüfkraft F_r bzw. als Funktion von F_{ax} (bzw. der spezifischen Lagerbelastung $\bar{p}$) zur Feststellung der Freiblastgrenze F_w .

¹⁾ Wert eintragen

7.2.2 Ablauf

Bei gegebener Umdrehungsfrequenz und gegebener Vorwärmtemperatur T_0 wird die Kraft $F (F_r, F_{ax})$ in Stufen bis F_{max} (ist durch das Prüfsystem bzw. den Einsatzbereich der Kraftaufbringung und der Meßtechnik limitiert) gesteigert, wobei die zweite Kraftkomponente konstant bleibt. Für jede Stufe der Prüfkraft wird ein neues Prüflager verwendet; Ablaufschema siehe Bild 6.

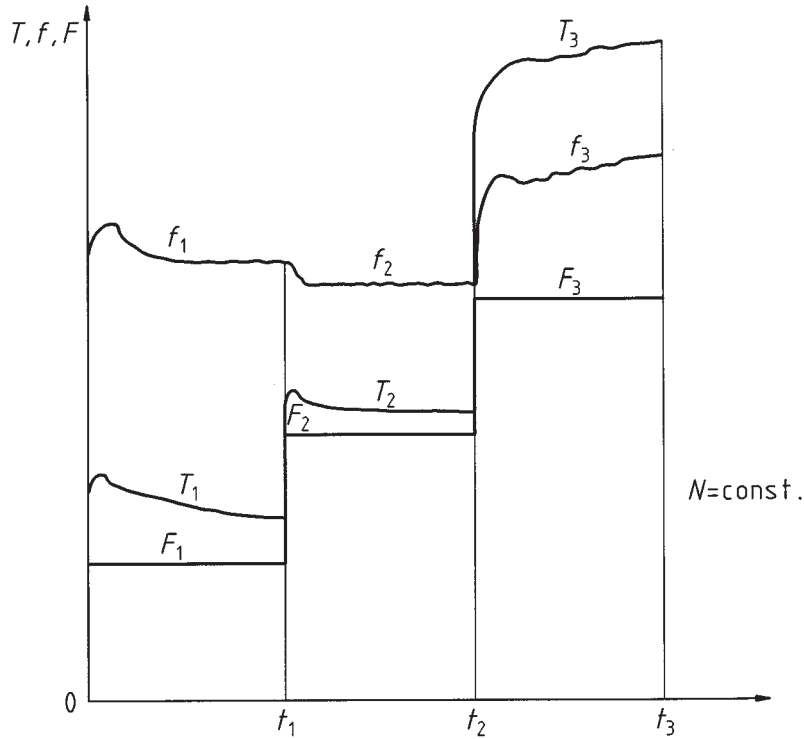


Bild 6: Ablaufschema zur Bestimmung der Belastungsgrenze

Für die jeweilige Dauer des Versuchsabschnittes (t_i) gelten die Kriterien nach 7.1.1.

7.2.3 Ergebnis

Diagramm der Reibungszahl als Funktion der Prüfkraft bzw. der spezifischen Lagerbelastung (Bild 7). Bestimmung der Freßlastgrenze bzw. Belastungsgrenze bei gegebenen thermischen Bedingungen (T_{amb} bzw. T_0).

Eventuell Temperaturmessung bzw. -kontrolle.

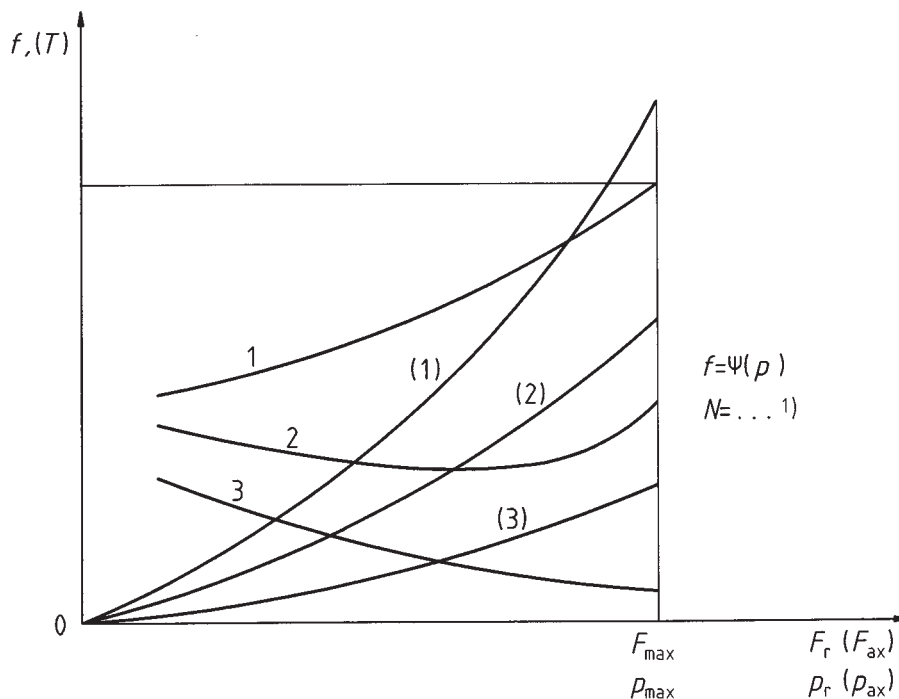


Bild 7: Darstellung der Reibungszahl als Funktion der Prüfkraft (schematisch, interpoliert)

7.3 Lebensdauerversuche

7.3.1 Langzeit-Prüfung

7.3.1.1 Ziel

Ähnlich wie in 6.2, jedoch lebensdauerorientierte Messung von Reibungszahl und/oder Temperatur sowie Kontrollmessung des Verschleißes.

7.3.1.2 Ablauf

Betrieb des Prüflagers mit gegebener Kraft und gegebener Umdrehungsfrequenz für eine bestimmte Zeit oder vorgegebene (maximal zulässige) Verschleißtiefe $h_{w,max}$ oder vorgegebene Reibungszahl; Ablaufschema siehe Bild 8.

Versuchsdauer nur bis t_{lim} oder $t_{w,lim}$. Bei der Beurteilung der Verschleißhöhe h_w ist auf Störgrößen, wie Buchsenverformung, Filmdicke des Schmierstoffes oder temperaturbedingte Verformungen, zu achten.

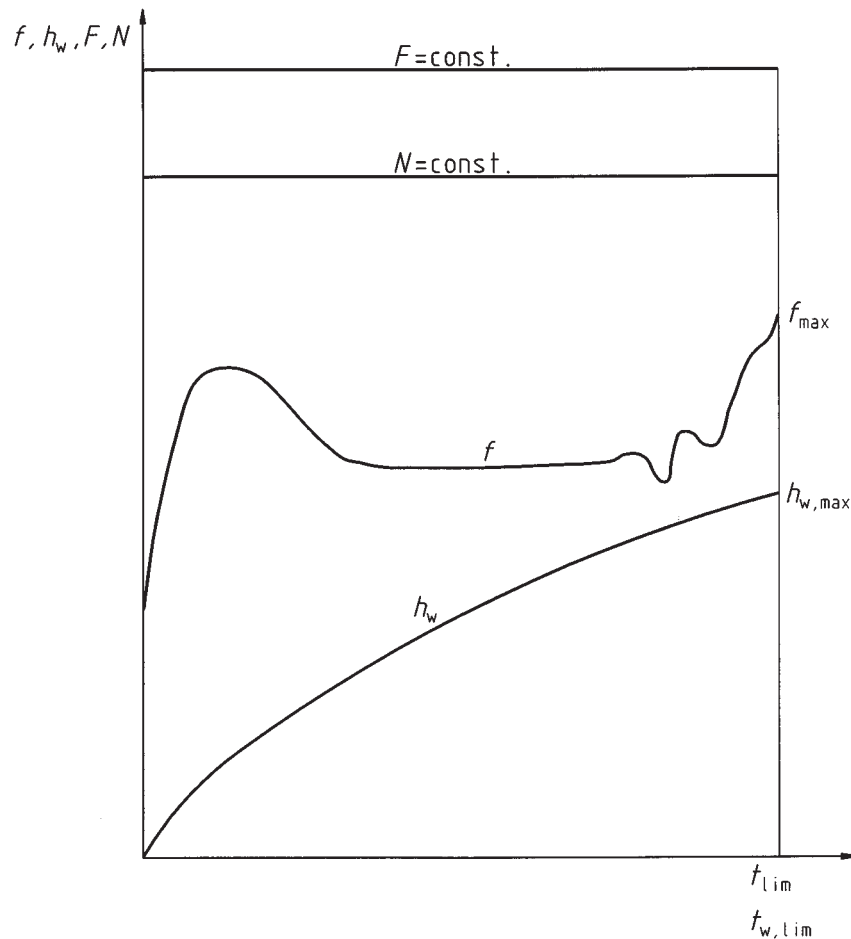


Bild 8: Ablaufschema der Langzeitprüfung

7.3.1.3 Ergebnis

Bestimmung der Lebensdauergrenze infolge von Alterungseinflüssen t_{lim} oder infolge von Verschleiß $t_{w,lim}$ — kriterienabhängig — bzw. Kontrolle, ob $t_{max} \leq t_{lim}$.

Darstellung des Funktionsverlaufes von f oder h_w über der Versuchsdauer (quasikontinuierlich), siehe Bilder 9 und 10.