

Konstruktionselemente

Kapitel 10: Gleitlager

Prof. Dr.-Ing. Andreas Ettemeyer

Dipl.-Ing. Otto Olbrich



Fachhochschule München
Fachbereich 06 – Feinwerk- und Mikrotechnik

Version 3.02 vom 26.02.2007

Inhalt

10 Gleitlager	3
10.1 Allgemeines	3
10.1.1 Einteilung	3
10.1.2 Vor- und Nachteile	3
10.1.3 Reibung und Verschleiß	4
10.2 Hydrostatische und hydrodynamische Lager	5
10.2.1 Hydrodynamische Schmierung	5
10.2.2 Gestaltung von Gleitlagern	8
10.3 Berechnung von Gleitlagern	9
10.3.1 Bestimmung der spezifischen Belastung und Reibleistung	9
10.3.2 Gleitlager mit Trocken- oder Mischreibung	10
10.3.3 Wärmeabfuhr	11
10.3.4 Axialgleitlagern	11
10.4 Werkstoffauswahl für Gleitlager	12
10.4.1 Wellenwerkstoff	12
10.4.2. Lagerwerkstoff	12
10.5 Kunststofflager	15
10.6 Schmierung	17
10.6.1 Schmierungsarten	17
10.6.2 Schmiervorrichtungen	18
10.6.3 Schmierstoffzuführung	20

10 Gleitlager

10.1 Allgemeines

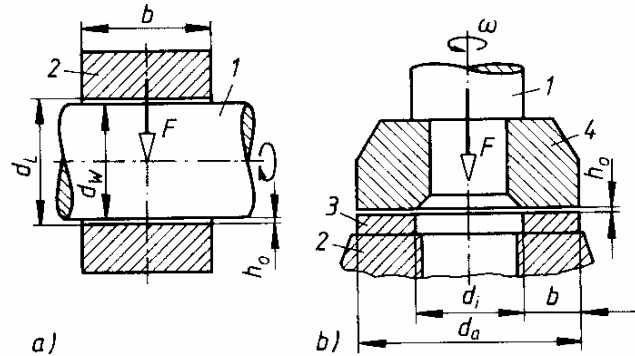
10.1.1 Einteilung

Bewegtes Teil (oft Welle) gleitet auf dem feststehenden Teil. Verminderung der Reibung durch entsprechende Werkstoffpaarung und Schmierung.

Aufnahme von

- a) Querkräften (Radial- oder Traglager)
- b) Längskräften (Axial- oder Stützlager):

- 1 = Welle
- 2 = Lagerschale
- 3 = Axiallagerring
- 4 = Laufring
- h_0 = Schmierfilm



10.1.2 Vor- und Nachteile

(gegenüber Wälzlagern)

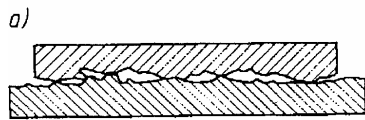
Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> - geringer Platzbedarf - einfacher Einbau - teilbare Lager möglich - schwingungsdämpfend - geräuscharm - stoßunempfindlich - kostengünstig 	<ul style="list-style-type: none"> - meist hohe Reibung beim Anlauf - empfindlich gegen Verkanten - geringere Tragfähigkeit als vergleichbare Kugellager - Gefahr des Fressens

10.1.3 Reibung und Verschleiß

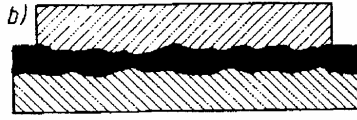
Lagerkraft F sollte möglichst gleichmäßig verteilt über die ganze Gleitfläche übertragen werden.

Es entstehen 3 Reibungszustände (Reibungszahl: $\mu = \frac{F_R}{F}$)

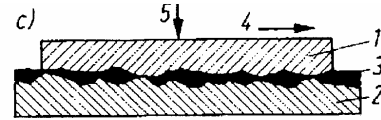
a) Festkörperreibung



b) Flüssigkeitsreibung



c) Mischreibung



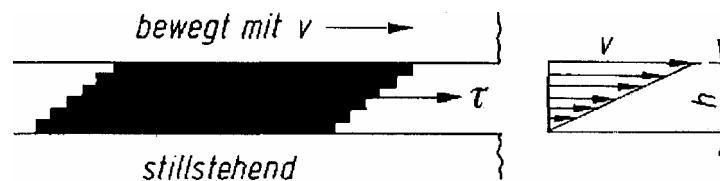
a) Festkörperreibung:

$\mu > 0,3$, abhängig von Rauigkeit der Oberfläche, neigt zum Fressen

b) Flüssigkeitsreibung:

die Reibung findet im Flüssigkeitsspalt statt. An den Grenzflächen ist die Relativbewegung zum jeweiligen Partner 0. $\mu = \text{typ. } 0,005 \dots 0,01$

Verschiebung der Ölschichten im Schmierpalt:



Es entsteht eine Scherkraft im Schmierfilm und damit eine Schubspannung. Sie ist abhängig von der dynamischen Viskosität des Schmierstoffes. Sie ist kaum abhängig vom Druck, aber von der Temperatur.

Mit Flüssigkeitsreibung arbeitet das Lager praktisch verschleißfrei (Voraussetzung für Dauerbetrieb).

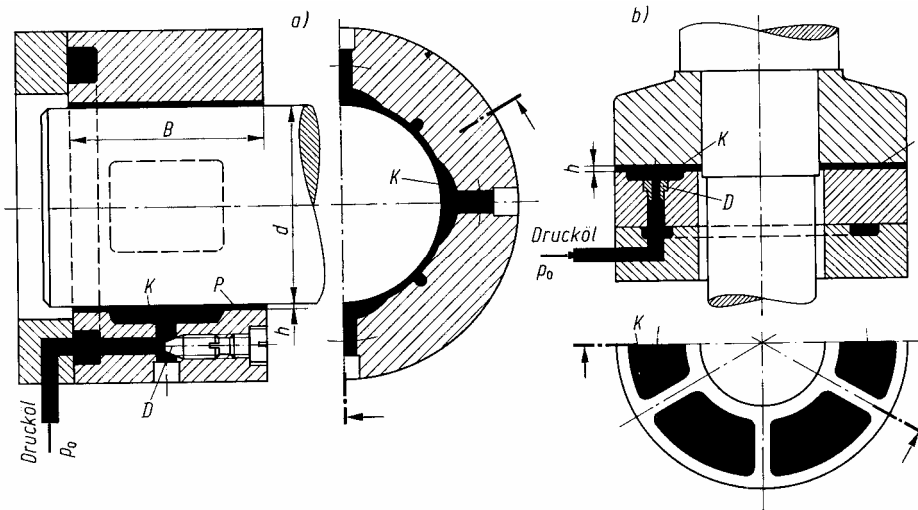
10.2 Hydrostatische und hydrodynamische Lager

Hydrostatische Schmierung: das Schmieröl wird unter hohem Druck zwischen die Gleitflächen gepresst.

Vorteil: ideale Schmierbedingungen bei jeder Drehzahl (auch bei Stillstand).

Nachteil: aufwändige und teure Konstruktion

Beispiel für ein hydrostatisches Radiallager (a), Axiallager (b)

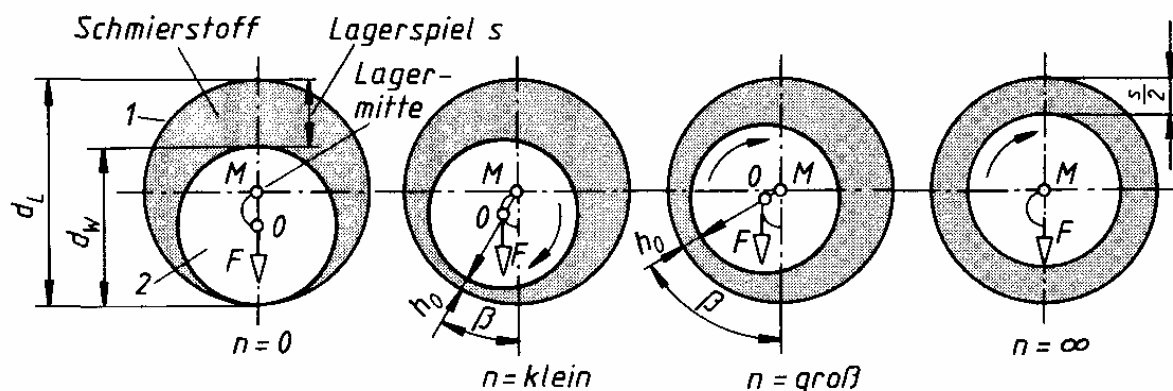


10.2.1 Hydrodynamische Schmierung

Daher wird meist hydrodynamische Schmierung angewendet. Es bildet sich ein Schmierfilm, wenn die gegeneinander bewegten Teile gegeneinander „aufgestellt“ sind und sie sich bewegen (analog Aquaplaning-Effekt).

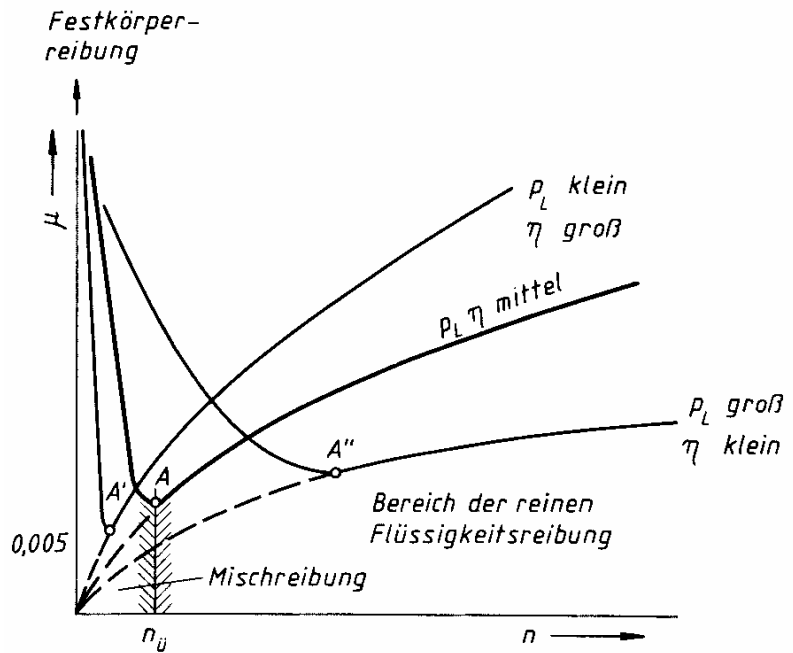
Beim Anlauf des hydrodynamischen Radiallagers werden verschiedene Reibungszustände durchlaufen. Entsprechend verändert sich die Exzentrizität des Zapfens:

Exzentrizität e bei verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten



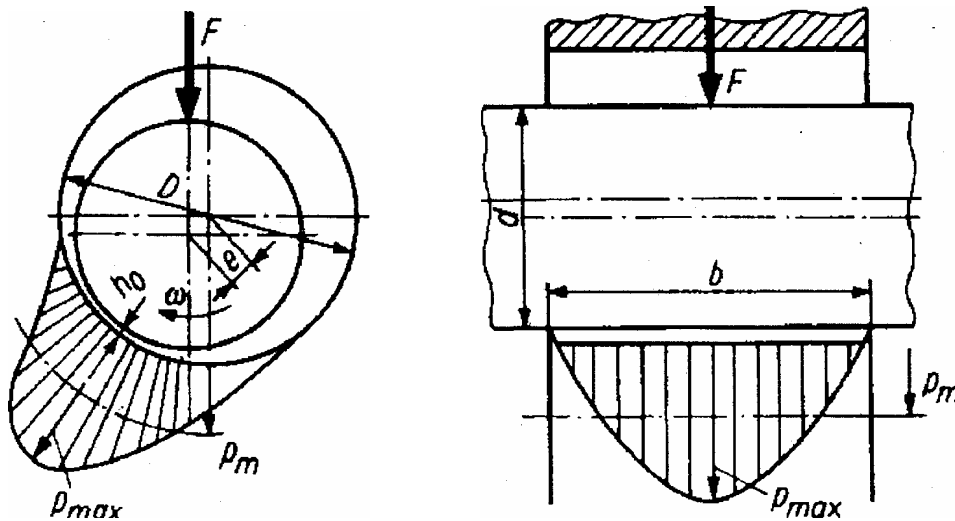
Das Stribeck Diagramm:
 stellt den Übergang von Festkörperreibung zur Flüssigkeitsreibung bei hydrodynamischen Lagern dar:
 Für hydrostatische Lager ist der Verlauf von μ als Strichlinie gezeichnet.

η = Viskosität des Schmiermittels
 p_L = Lagerdruck

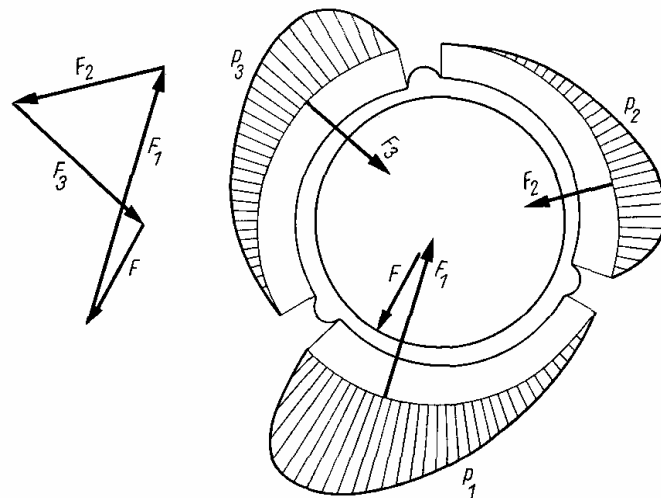


Das Gleitlager soll so dimensioniert sein, dass der Betriebspunkt weit genug oberhalb der Übergangsdrehzahl $n_{Ü}$ liegt. Dann ist das Lager praktisch verschleißfrei.

Druckverteilung im Lager



Druckverteilung bei Mehrflächenlagern:

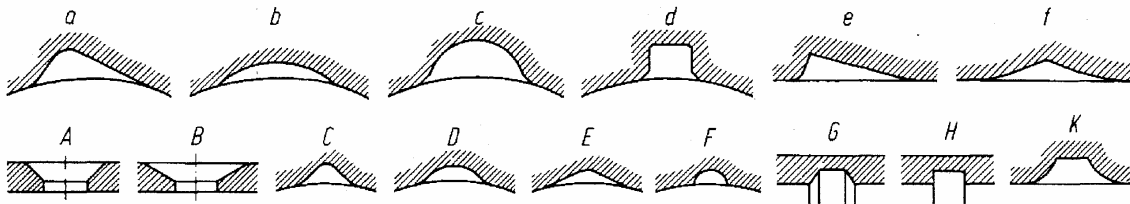


Einfluss der Lagerbreite

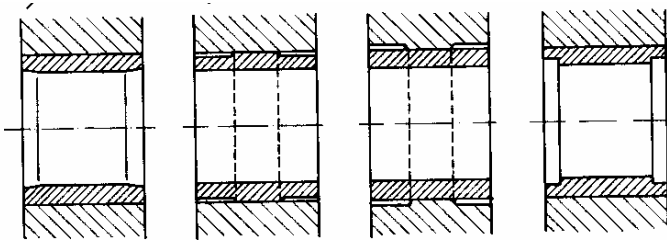
Kleine Lagerbreite	Grosse Lagerbreite
<p>a)</p>	<p>b)</p>
<ul style="list-style-type: none"> - P_{max} bzw. p_L groß - Große Wärmeabfuhr - Niedrige Lagertemperatur - Kleine Verkantungsempfindlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - P_{max} bzw. p_L klein - Kleine Wärmeabfuhr - Hohe Lagertemperatur - Hohe Verkantungsempfindlichkeit

10.2.2 Gestaltung von Gleitlagern

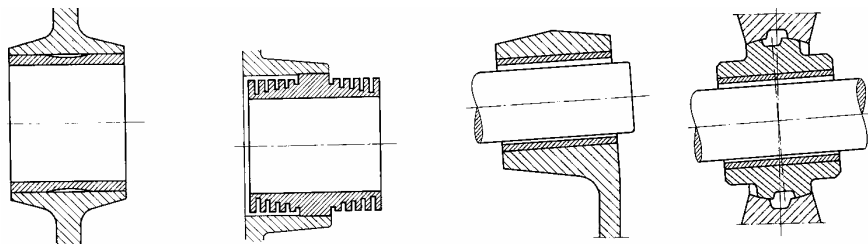
Taschenformen für Gleitlager



- Schmiernuten außerhalb der Druckzonen anordnen
- Schmiernuten nur am stillstehenden Teil
- übliche Breitenverhältnisse von Radiallagern $B/D = 0,2$ bis 1 ($1,5$)
- Verringerung der Kantenpressung
- Form- und Lagetoleranzen gering halten



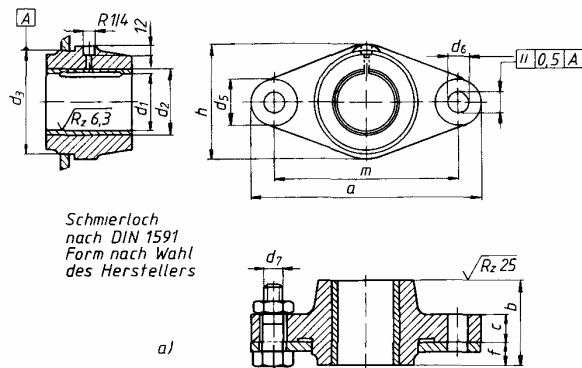
- Kippbeweglichkeit der Lagerschale:
- Notlaufesigenschaften beachten
- Verschleißverhalten berücksichtigen



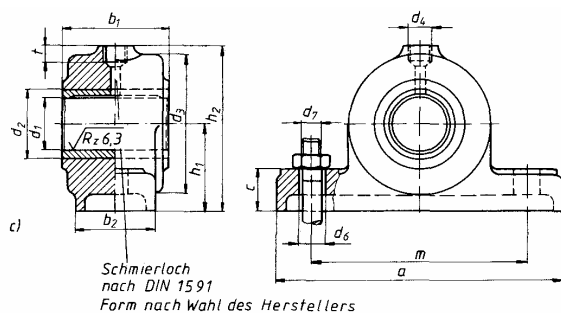
Befestigung von Lagern:

- Einbetten
- Einnieten
- Bördeln
- Einpressen
- Einkleben
- Verschrauben
- Einspritzen
- Einschnappen

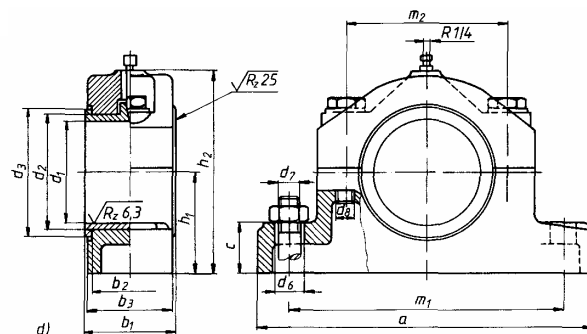
Flanschlager:



Augenlager

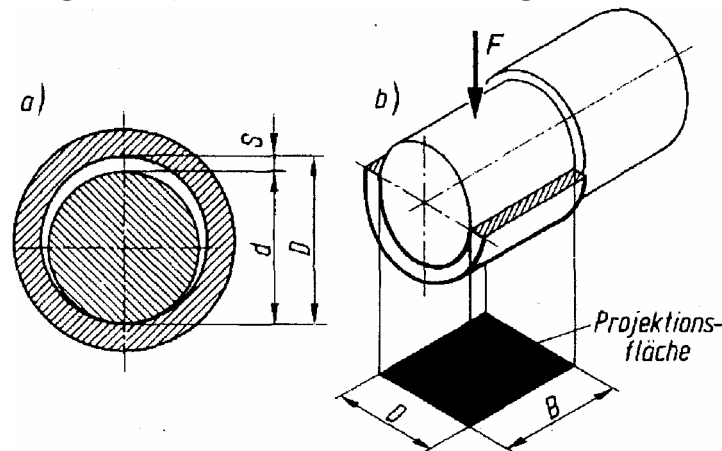


Deckellager



10.3 Berechnung von Gleitlagern

10.3.1 Bestimmung der spezifischen Belastung und Reibleistung



Spezifische Lagerbelastung: $\bar{p} = \frac{F}{D \cdot B}$

Optimale Tragfähigkeit bei relativer Lagerbreite $B / D = 0,3 \dots 0,7$

Typisch ist $B / D = 0,5 \dots 1,5$

Gleitgeschwindigkeit: $u = d \cdot \pi \cdot n$

Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi \cdot n$ für n [s^{-1}] $\omega = \frac{n \cdot \pi}{30}$ für n [min^{-1}]

Anhaltswerte für zulässige Belastungen einfacher Gleitlager			zulässige Belastung für hydrodynamische Gleitlager	
Lagerwerkstoff	Fett- oder Öl-Handschmierung		Lagerwerkstoff	p in N/mm ²
	u in m/s	p in N/mm ²		
Grauguss	1	0,4	Pb-Legierungen	5
Bronze, Rotguss	2	0,6	CuSn-Legierungen	7
Sintermetalle, ölgetränkt (aber ohne zusätzliche Schmierung)	1,0	1,0	AlZn-Legierungen	7

Reibleistung: $P_f = F \cdot \mu \cdot u = \text{abzuführender Wärmestrom}$

Reibzahlen für Radiallager mit Öl als Schmiermittel:

Lagerwerkstoff	Mittelwert von μ		
	Anlaufreibung	Mischreibung	Flüssigkeitsreibung
Grauguss, Bronze, Rotguss	0,14	0,02 ... 0,10	0,003 ... 0,008
Sintermetall	0,17	0,05 ... 0,10	0,002 ... 0,014

10.3.2 Gleitlager mit Trocken- oder Mischreibung (meist Kunststoff oder Metall-Kunststoff)

Für diese Lager wird als Kenngröße zur Berechnung der $p \cdot v$ Wert in den Katalogen der Hersteller angegeben.

$$p = F/(D \cdot B) \text{ in } \text{N/mm}^2 = \text{spezifische Lagerbelastung}$$

$$v = r \cdot \omega \text{ in } \text{m/sec} = \text{Umfangsgeschwindigkeit}$$

Der $p \cdot v$ -Wert in $\text{N/mm}^2 \cdot \text{m/sec}$ angegeben. Die beiden Längeneinheiten werden nicht gegeneinander gekürzt.

Der zul. $p \cdot v$ -Wert ist zwischen der max. zul. Flächenpressung einerseits und der max. zul. Umfangsgeschwindigkeit andererseits eine Konstante.

- Der Verschleiß der Lagerlauffläche ist in den ersten Laufstunden hoch, meist im Bereich Hundertstel mm, bei Lagern im \varnothing -Bereich einige mm.
- Nach der Einlaufphase verringert sich die Verschleißrate auf einen etwa konstanten Wert.
- Die Verschleißrate ist hauptsächlich abhängig von p , v , der Schmierung, der Temperatur (ab ca. 80°C), dem Lagerwerkstoff, der Wellenrauigkeit und der Laufgüte (ruhig, Erschütterungen)

Grobe Anhaltswerte für die Lagerkennwerte sind:

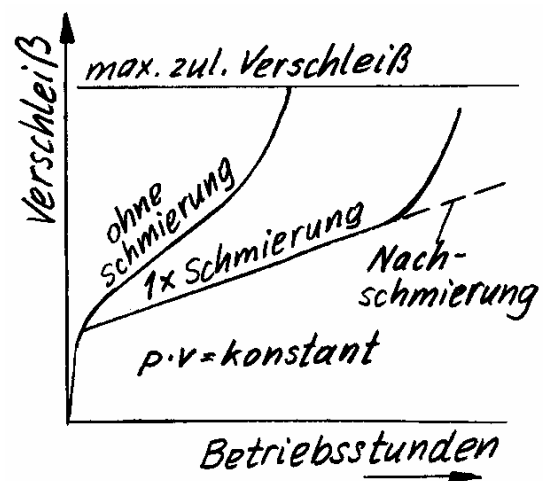
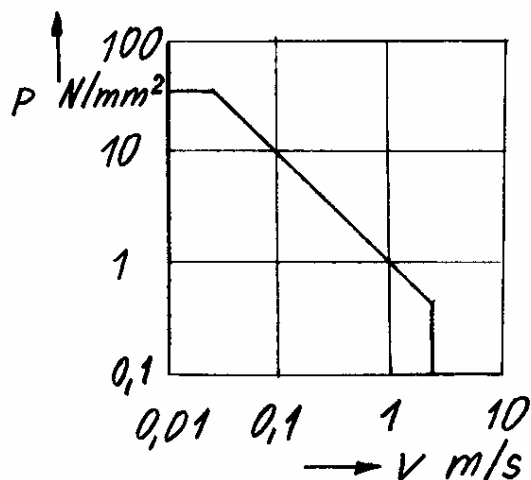
$\mu = 0,05$ bis $0,35$; μ nimmt mit höherem v etwas zu. Die niedrigen Werte werden bei guter Schmierung oder bei PTFE-Lagern und sehr niedriger Geschwindigkeit erreicht. Die hohen Werte treten bei Trockenlauf, hoher Geschwindigkeit und rauer Welle auf. Hierbei ist die Lebensdauer stark gemindert.

v bis 2 m/sec ; höher nur bei sehr guter Dauerschmierung

$p = 0,5$ bis 50 N/mm^2 . Bei einigen Lagerwerkstoffen nimmt mit höherer Flächenpressung der Reibwert zunächst ab.

$p \cdot v = 0,2$ bis $2 \text{ N/mm}^2 \cdot \text{m/sec}$

Temperaturbereich bis 80°C , manche Lagerwerkstoffe deutlich höher.



10.3.3 Wärmeabfuhr

Wesentlich für die Funktion des Gleitlagers ist die ausreichende Wärmeabfuhr. Sie kann durch Konvektion über die Gehäuse und Wellen an die Umgebung erfolgen oder durch das Schmieröl abtransportiert werden.

Wärmeabfuhr durch Konvektion näherungsweise;

Wärmestrom $P_A = k \cdot A \cdot (t_B - t_a)$ (entspricht der Reibleistung)

t_B = Betriebstemperatur des Lagers

t_a = Umgebungstemperatur

k = Wärmeübergangszahl zwischen Oberfläche des Lagergehäuses und Umgebungsluft

$k = 15 \dots 20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bei leicht bewegter Luft

Für zylindrisches Gehäuse: $A = \frac{\pi}{2}(D_H^2 - D^2) + \pi \cdot D_H \cdot B_H$

Für Stehlager: $A = \pi \cdot H(B_H + \frac{H}{2})$

Lager im Maschinenverbund $A = (15 \dots 20)D \cdot B$

mit

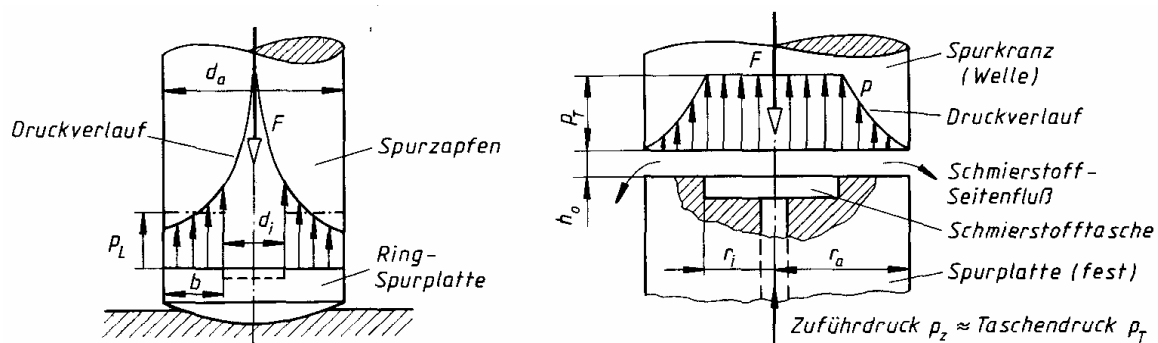
B_H = Gehäusebreite in Achsrichtung,

D_H = Gehäuseaußendurchmesser,

H = Stehlagergesamthöhe

Zur Berechnung der Wärmeabfuhr durch den Schmierstrom sind die Strömungsvorgänge im Schmierpalt zu beachten. Näheres dazu siehe weiterführende Literatur.

10.3.4 Axialgleitlagern



Flüssigkeitsschmierung ist nur erreichbar bei hydrostatischen Axiallagern. Der Druck verteilt sich hydrostatisch über dem Querschnitt und wird theoretisch im Zentrum unendlich hoch. Das Lager würde schnell heiß laufen und zerstört werden. Daher wird Ausführung rechts gewählt.

10.4 Werkstoffauswahl für Gleitlager

10.4.1 Wellenwerkstoff

- Hauptsächlich normaler, oft auch härterer Stahl
- Bei Korrosionsgefahr rostfreier Stahl
- Härteverhältnis Lager / Welle etwa 1:3 ... 1:5
- Keine galvanischen Oberflächen verwenden (werden leicht abgetragen)
- Zu glatte Wellen neigen zu Stick-Slip Effekt, da sie den Schmierstoff nicht festhalten
- Zu raue Wellen führen zu verstärktem Verschleiß

10.4.2. Lagerwerkstoff

- Grundsätzlich sollten Welle und Lager aus unterschiedlichen Werkstoffen sein
- Bei Stahl/Stahl Paarung sollte die Welle gehärtet sein
- Metall/Metall Paarung nur mit Schmierung

Gusseisen

- Großer Verschleißwiderstand
- Empfindlich gegen Stöße und Kantenpressung
- Einsatz mit gehärteten feinstbearbeiteten Wellen
- Verwendung für niedrig beanspruchte einfache Lager bei geringer Gleitgeschwindigkeit
- Z.B. Transmission-, Triebwerks-, Landmaschinenlager

Sintermetalle

- sind porös, daher können die Lager mit Schmierstoff getränkt werden
- Bei Betrieb tritt Schmierstoff durch Erwärmung und Sogwirkung aus
- Bei höherer Geschwindigkeit auch durch Unterdruckbildung
- Bei Stillstand bildet sich an Auflagestelle kleines Öldepot
- Sinterisen: billig, aber korrosionsanfällig, schlechte Notlaufeigenschaften
- Sinterlager können Lebensdauerschmierung aufweisen, bei dünnwandigen Sinterlagern evtl. zusätzliches Öldepot durch ölgetränkten Filzring
- Lebensdauer 5.000 ... 10.000 h
- Nicht mit artfremden Fetten / Ölen nachschmieren
- Sinterlager werden eingepresst mit 0,5 ... 1,5‰ Übermaß
- Vorsichtig einbauen (nicht schlagen, nicht kanten, etc.)
- Sinterlager in der Bohrung nicht nachbearbeiten (zuschmieren der Poren)
- Geeignet für Schwingbewegungen, z.B. Hebemaschinen, Landmaschinen, Schaltgestänge und -räder, etc.

Kupferlegierungen (Bronzen)

- Hoher Verschleißwiderstand
- Gute Gleit- und Notlaufeigenschaften
- Auch für stoßhafte Beanspruchung geeignet
- Einsatz für Buchsen,
- Lager mit hohen Beanspruchungen
- Verbundlager

Weißmetall (Blei- und Zinnlegierungen)

- Hervorragende Gleiteigenschaften, auch bei nicht gehärteten Wellen
- Gutes Notlaufverhalten
- Lager mit hohen Beanspruchungen und hohen Geschwindigkeiten
- Unempfindlich gegen Kantenpressung
- Einsatz z.B. Pleuellager

Holz

- Meist Pressholz
- Billig
- Klötze aus Birke, Linde oder Espe werden mit Naßdampf gedämpft, gepresst und getrocknet
- Für gering belastete Lager bei Textilmaschinen und Zwischenlagern bei Transportschnecken

Gummi

- Einsatz für wassergeschmierte Lager bei Pumpen, etc,

Kohlegraphit

- Ist ein poröser keramischer Werkstoff
- Einsatz dort, wo mineralische Schmierstoffe nicht eingesetzt werden können und andere Werkstoffe wegen Korrosionsgefahr nicht einsetzbar sind
- Z.B. chemischer Apparatebau bei hohen Temperaturen

Kunststoffe

- Siehe Kap. 10.5

Eigenschaften von Lagerwerkstoffen:

Forderung nach	Gleitlagerwerkstoffe und ihre Eignung								
	Gußeisen	Sintermetall	CuSn-Guß- bzw. Knetlegierungen	G-CuPb-Legierungen	PbSn-Legierungen	Kunststoffe	Holz	Gummi	Kohle Graphit
Gleiteigenschaften	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Notlaufverhalten	●	●	●	●	●	●	○	○	●
Verschleißwiderstand	●	●	●	●	●	●	○	○	●
stat. Tragfähigkeit	●	●	●	○	○	○	○	○	●
dyn. Belastbarkeit	●	○	●	○	○	○	○	○	○
hoher Gleitgeschwindigkeit	○	○	●	●	●	○	○	○	●
Unempfindlichkeit gegen Kantenpressung	○	○	●	●	●	●	○	●	●
Einbettungsfähigkeit	○	○	●	●	●	○	○	●	●
Wärmeleitfähigkeit	●	●	●	●	○	○	○	○	●
kleiner Wärmedehnung	●	●	●	●	○	○	○	○	●
Beständigkeit gegen hohe Temperaturen	●	●	●	○	○	○	○	○	●
Öl- (Fett-) Schmierung	●	●	●	●	●	●	●	○	●
Wasserschmierung	○	○	○	○	○	●	●	●	●
Trockenlauf	○	○	○	○	○	●	○	○	●

● sehr gut ● gut ● ausreichend ● mäßig ○ mangelhaft

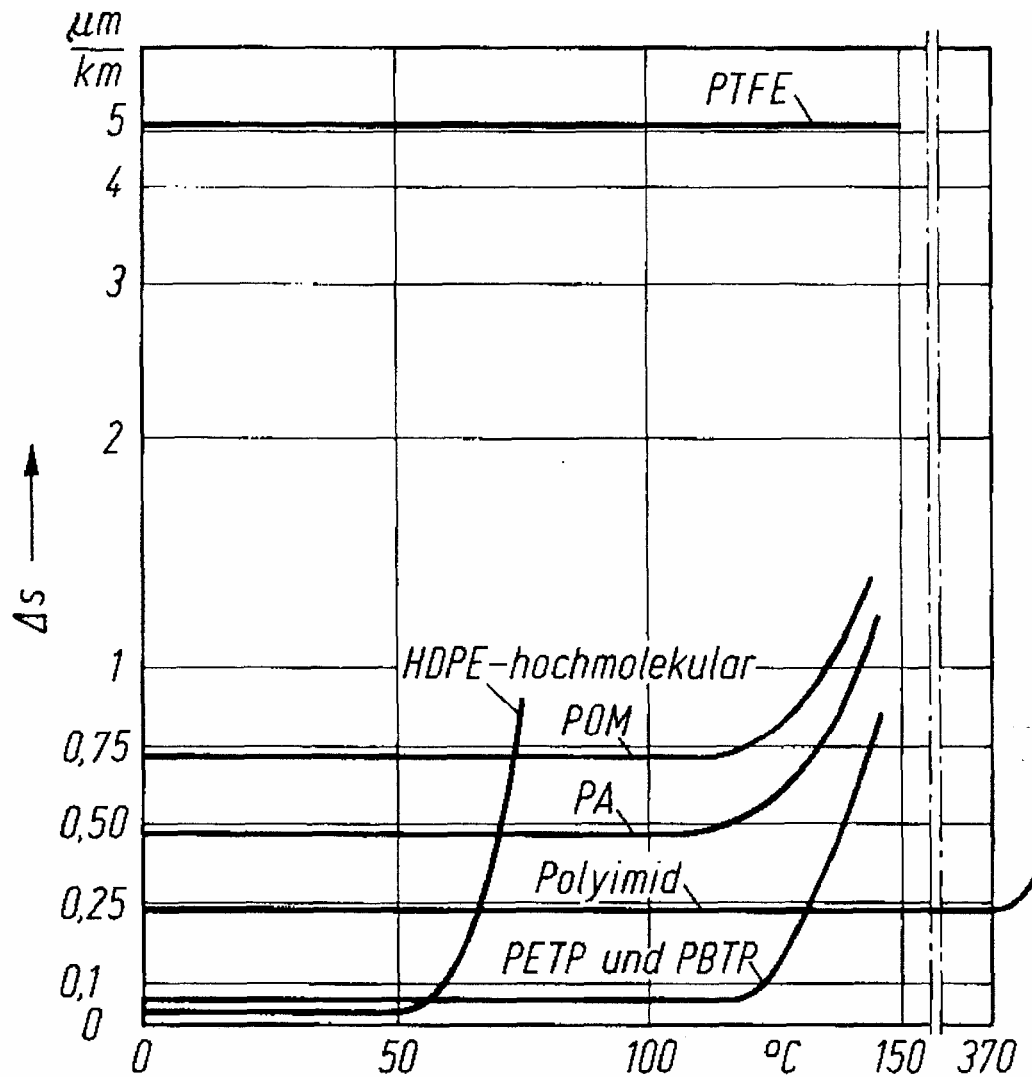
10.5 Kunststofflager

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Kleine Reibzahlen ($\mu = 0,05 \dots 0,12$) - Trockenlauf möglich - Auch Wasserschmierung möglich - Unempfindlich gegen Fremdkörper - Unempfindlich gegen Kantenpressung 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Wärmeleitfähigkeit

Der Zapfen aus Stahl sollte eine **Härte > 50 HRC** aufweisen

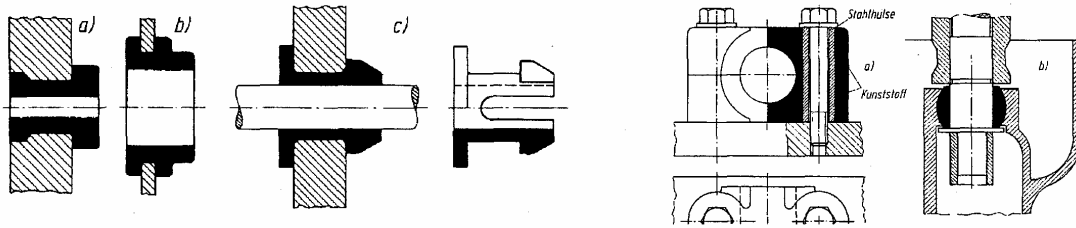
Rauheit des Zapfens ca. **< 2 ... 4 μm**

Tendenz der Gleitverschleißrate als Funktion der Gleitflächentemperatur

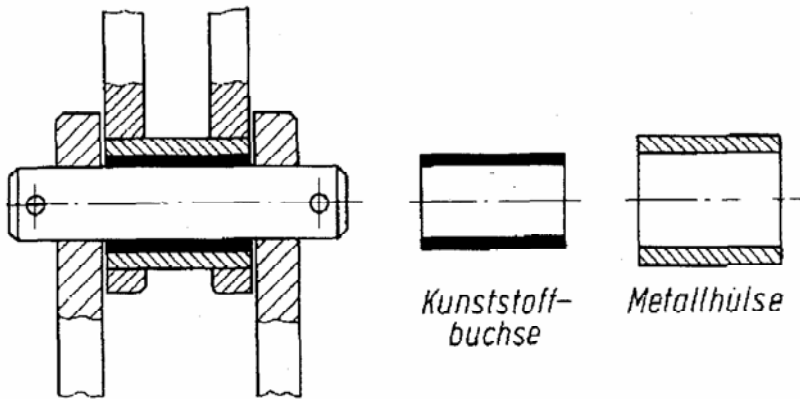


Gleitpartner 54 ... 56 HRC, Durchmesser 10 ... 50mm, trocken

Formen von Kunststoffgleitlagern



Verbundlager aus Kunststoffbuchse und Metallhülse



10.6 Schmierung

10.6.1 Schmierungsarten

Ölschmierung

- Vorherrschendes Schmierverfahren
- Einsatz von Mineralölen
- Durch Zusatz (z.B. Molybdän) Erhöhung der Haftfähigkeit und Glättung der Oberflächen, besonders für Sparschmierung und bei hohen Temperaturen

Fettschmierung

- Für Lager mit kleinen Drehzahlen, Pendelbewegungen, stoßartiger Belastung
- Z.B. bei Pressen, Hebezeugen, Landmaschinen
- Vorteil des Fetts: haftet länger am Lager und schützt vor Verschmutzung

Wasserschmierung

- Für Lager aus Holz, Kunststoff, Gummi
- Einsatz bei Walzen- und Pumpenlagern
- Vorteil ist gute Kühlwirkung

Trockenschmierung

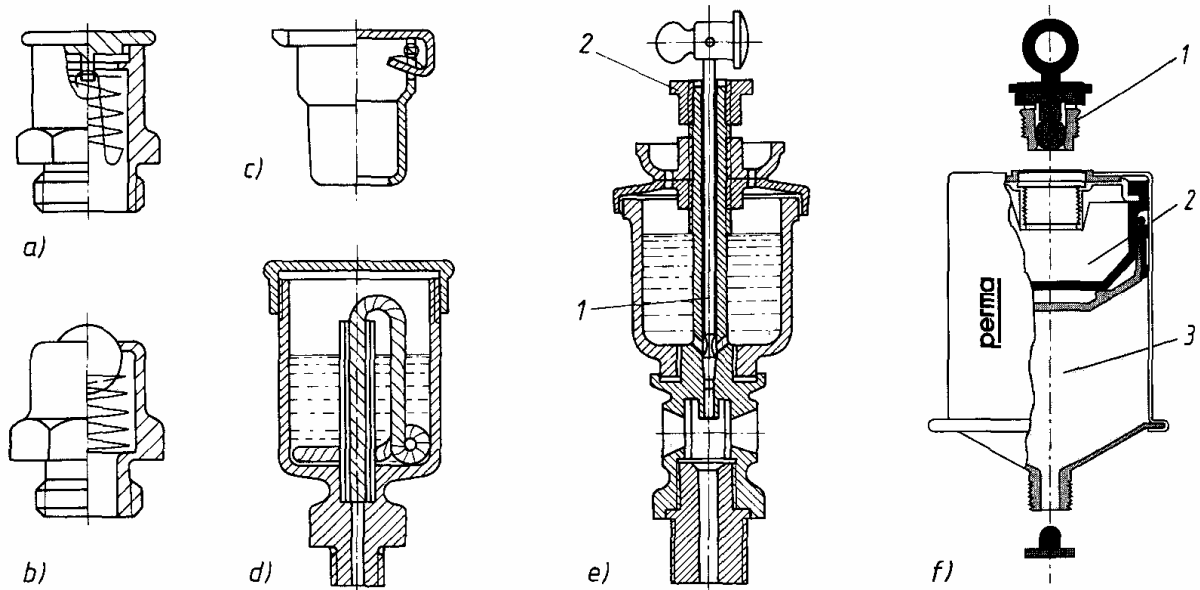
- Mit Festschmierstoffen (Molybdändisulfid, Graphit)
- Bei hohen Temperaturen zur Notlaufschmierung
- Für Einmalschmierung langsam laufender Lager
- Einsatz meist als Paste, seltener in Pulverform

Luft- und Gasschmierung

- Nur für geringe Belastung und hohe Drehzahlen
- Einsatz im Instrumenten- und Apparatebau und für pharmazeutische, Nahrungs- und Genussmittel verarbeitende Industrie

10.6.2 Schmiervorrichtungen

Durchlaufschmierung (Schmierstoff wird nur einmal verwendet)



Für kurzzeitig laufende Lager

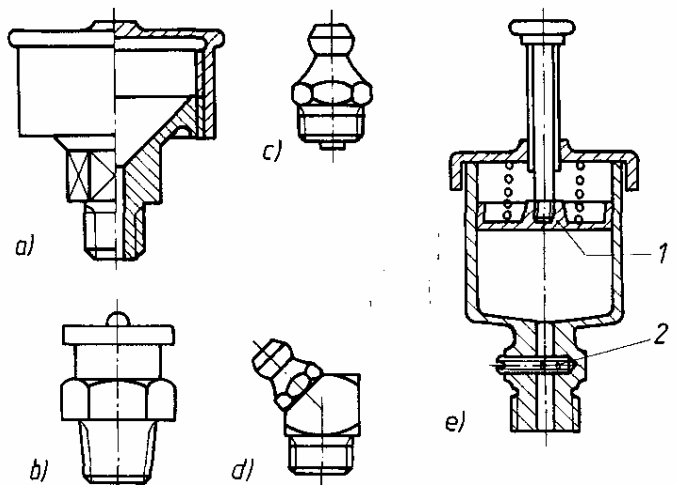
- a) Einschraub - Deckelöler
- b) Einschraub - Kugelöler
- c) Einschlag – Klappdeckelöler

Selbsttätige Schmierung

- d) Dochtöler
- e) Tropföler
- f) Automatischer Schmierstoffgeber

Fett-Schmiervorrichtungen:

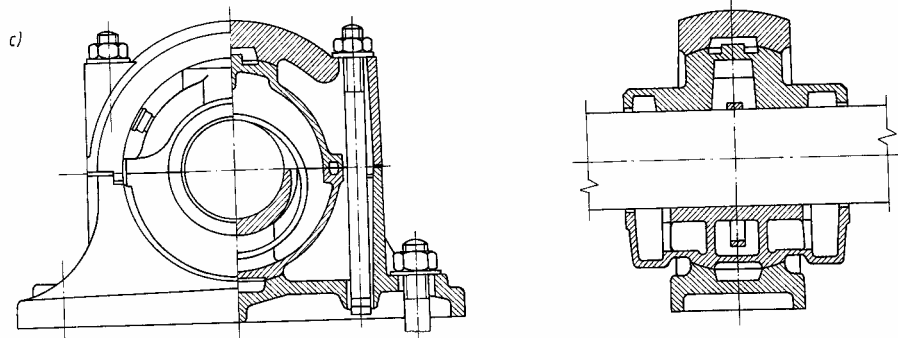
- a) Staufferbüchse
- b) Flach- Schmiernippel
- c) Kegel- Schmiernippel
- d) Kegel- Schmiernippel
- e) Fettbüchse



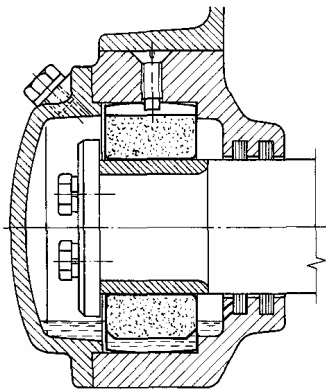
Umlaufschmierung:

Fortlaufende Förderung des Schmiermittels, evtl. gleichzeitig Kühlfunktion (häufigstes Verfahren)

- Ringschmierung: feste oder lose Schmierringe (siehe Bild) auf der Welle tauchen in das Ölbad und benetzen die Welle



- Ölbadschmierung: gleitende Flächen laufen in Öl (Spurlager, Zweiringlager)



- Tauchschmierung (Anwendung bei Kurbellagern in Kurbelgehäusen, Zahnradgetrieben)
- Druckumlaufschmierung mittels Kolben- oder Zahnradpumpen: sicherste und leistungsfähigste Schmierung für hochbelastete Lager von Turbinen, Generatoren, Werkzeugmaschinen

10.6.3 Schmierstoffzuführung

Für die Schmierstoffzuführung werden im Lagerkörper Bohrungen und Kanäle eingearbeitet, z.B.:

- a) Blocklager mit Schmierloch
- b) Laufrollenlagerung mit Schmiernut (Abflachung)
- c) Lager mit Zulaufnut und zwei Schmiertaschen
- d) Blocklager mit zwei Nuten durch Bohrungen an Zuführungsstelle angeschlossen
- e) Lager mit Ringnut und zwei Schmiertaschen mit reduziertem Nutquerschnitt
- f) Einbau-Loslager mit durchgehender Nut und Drosselring
- g) Einbau-Festlager mit durchgehender N
- h) ut und Ringspalte 1 an den Lagerenden

