

## Übungsaufgabe GL 001

Ein Konstrukteur hat ein hydrodynamisch geschmiertes Radialgleitlager folgendermaßen ausgelegt:

Betriebskraft  $F_r = 2 \text{ kN}$   
 Betriebsdrehzahl  $n = 4000 \text{ min}^{-1}$   
 Lagernennendurchmesser  $d = 30 \text{ mm}$   
 Passung  $F7/d7$   
 Breite-Durchmesser Verhältnis  $b/d = 0,8$

Viskosität des Schmiermittels  $\eta = 32 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2}$

**E-GL 1** Ist dieses Lager sowohl beim Mindest- als auch beim Höchstspiel grundsätzlich lauffähig?

### Auszüge aus dem Vorlesungsumdruck:

$$\text{Sommerfeldzahl } So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega}$$

### ISO-Abmaße DIN ISO 286

Lage Qualität	c							
	3	4	5	6	7	8	9	10
über 18	-110	-110	-110	-110	-110	-110	-110	-110
bis 30	-114	-116	-119	-123	-131	-143	-162	-194
über 30	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120
bis 40	-124	-127	-131	-136	-145	-159	-182	-220
über 40	-130	-130	-130	-130	-130	-130	-130	-130
bis 50	-134	-137	-141	-146	-155	-169	-192	-230

Lage Qualität	d							
	3	4	5	6	7	8	9	10
über 18	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65
bis 30	-69	-71	-74	-78	-86	-98	-117	-149
über 30	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
bis 50	-84	-87	-91	-96	-105	-119	-142	-180
über 50	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100
bis 80	-105	-108	-113	-119	-130	-146	-174	-220

Lage Qualität	E						F						G									
	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
über 18	+49	+53	+61	+73	+92	+124	+24	+26	+29	+33	+41	+53	+72	+104	+11	+13	+16	+20	+28	+40	+59	+91
bis 30	+40	+40	+40	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+7	+7	+7	+7	+7	+7	+7	+7
über 30	+61	+66	+75	+89	+112	+150	+29	+32	+36	+41	+50	+64	+87	+125	+13	+16	+20	+25	+34	+48	+71	+110
bis 50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+9
über 50	+73	+79	+90	+106	+134	+180	—	—	+43	+49	+60	+76	+104	—	—	+23	+29	+40	+58	—	—	
bis 80	+60	+60	+60	+60	+60	+60	—	—	+30	+30	+30	+30	+30	—	—	+10	+10	+10	+10	—	—	

## Übungsaufgabe GL 002

Die Betriebsbedingungen eines Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Radialkraft:	$F_r = 1500 \text{ N}$	Lagernennendurchmesser:	$d = 35 \text{ mm}$
Betriebsdrehzahl:	$n = 2850 \text{ min}^{-1}$	Toleranz:	G6/d6
Dynamische Viskosität des Öls:	$\eta = 12 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	Rauhtiefe der Lagerbuchse:	$R_{z\text{Lager}} = 1,6 \text{ }\mu\text{m}$
Lagerbreite:	$b = 28 \text{ mm}$	Rauhtiefe der Welle:	$R_{z\text{Welle}} = 1,3 \text{ }\mu\text{m}$
Material der Lagerschale:	Bronze	Material der Welle:	Stahl

**E-GL 1** Bestimmen Sie die Sommerfeldzahl für das Mindest- und Höchstspiel.

**E-GL 2** Weisen Sie nach, ob das Lager lauffähig ist. Kontrollieren Sie dazu die maximale relative und die minimale absolute Schmierfilmdicke. Wie lauten die zwei Bedingungen, die erfüllt sein müssen?

**E-GL 3** Wie groß ist die Übergangswinkelgeschwindigkeit  $\omega_{\ddot{u}}$  für das System bei Mindestspiel?

**Auszug aus dem Skript:**

$$\text{Sommerfeldzahl: } S_o = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega};$$

$$\text{Minimale Schmierfilmdicke: } h_{\min} = \delta_{\min} \cdot \frac{s_{\max}}{2}$$

Relatives Lagerspiel:

$$\psi = \frac{s}{d}, \text{ mit } s = \text{absolutes Lagerspiel}$$

$$\omega_{\ddot{u}0} = 1,8 \cdot \frac{F_r \cdot \psi \cdot h_{\min}}{b \cdot d^2 \cdot \eta} \quad \omega_{\ddot{u}} = A \cdot \omega_{\ddot{u}0} \quad \frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1 - q_1^2}{E_1} + \frac{1 - q_2^2}{E_2} \right) \quad K_E = 2 \cdot \frac{E' \cdot h_{\min}}{p_m \cdot d}$$

Werkstoff	E-Modul $E$ in $\text{N/mm}^2$	Querzahl $q$
Stahl	210.000	0,30
Bronze	90.000	0,35
Grauguss	100.000	0,25
PA 6.6	2.000	0,40



## Übungsaufgabe GL 003

**E-GL 1** Welche Phasen durchläuft ein hydrodynamisches Gleitlager während seines Anlaufes vom Stillstand bis zur Betriebsdrehzahl? Beschreiben Sie kurz die einzelnen Betriebszustände.

**E-GL 2** Nennen Sie zwei Vorteile von hydrostatischen gegenüber hydrodynamischen Gleitlagern.

**E-GL 3** Warum sollte die maximale relative Schmierfilmdicke kleiner als der Wert 0,4 sein? Wodurch wird die untere Grenze der absoluten Schmierfilmdicke vorgeben?

Die Betriebsbedingungen eines hydrodynamischen Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Werkstoff der Lagerschale: Grauguss      Lagernenddurchmesser:  $d = 35 \text{ mm}$   
 Betriebsdrehzahl:  $n = 1450 \text{ min}^{-1}$       Toleranz: F6/e6  
 Lagernennbreite:  $b = 30 \text{ mm}$       Viskosität des Öls:  $\eta = 300 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2}$

**E-GL 4** Wie klein darf die Radialkraft unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranzen minimal werden, so dass die Bedingung  $\delta \leq 0,4$  gerade noch erfüllt ist?

### Formeln:

Toleranzen:  $F6 = \begin{smallmatrix} +33 \\ +20 \end{smallmatrix}$ ;  $e6 = \begin{smallmatrix} -40 \\ -53 \end{smallmatrix}$

Sommerfeldzahl:  $So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega}$

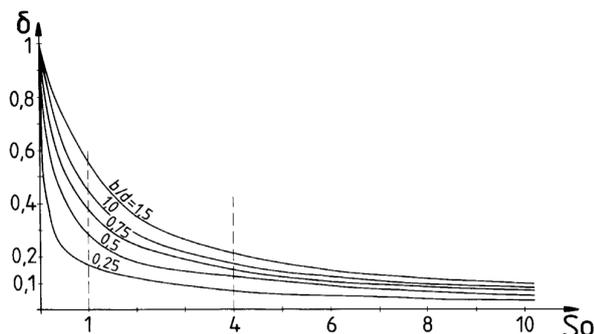
Relatives Lagerspiel:  $\psi = \frac{s}{d}$ , mit  $s =$  absolutes Lagerspiel

$So$	$\mu$	Reibbeiwert:
$< 1$	$\approx 3 \cdot \psi / So$	
$> 1$	$\approx 3 \cdot \psi / \sqrt{So}$	

Zulässiger mittlerer Lagerdruck:

Werkstoff der Lagerschale (Welle aus Stahl)	Zul. mittl. Lagerdruck $p_{m \text{ zul}}$ in $\text{N/mm}^2$	
	hydrodynamisch	Mischreibung
Bronze, Grauguss	20	0,5
Weißmetall	10	2,5
Teflon (PTFE)	20	10
sonst. Kunststoffe (geschmiert)	1 - 2	0,5 - 1

Relative Schmierfilmdicke in Abhängigkeit der Sommerfeldzahl:



## Übungsaufgabe GL 004

- E-GL 1**
- Nennen Sie die drei Reibungsformen, die im Zusammenhang mit hydrodynamischen Gleitlagern bekannt sind.
  - Welcher Zustand (Reibungsform) wird für den Dauerbetrieb eines Gleitlagers angestrebt?
  - Welchen Betriebszustand/-zustände kennzeichnet die Übergangsdrehzahl?
  - Welche Voraussetzungen müssen für die hydrodynamische Erzeugung des erforderlichen Schmierdrucks in einem Gleitlager vorhanden sein? Nennen Sie die drei Bedingungen.

**E-GL 2** Eine Welle ist mit hydrodynamischen Radialgleitlagern gelagert. Die Daten der Lagerung sind im Folgenden genannt.

Betriebsdrehzahl	$n$	= 6.000 min <sup>-1</sup>
Lagerdurchmesser	$d$	= 100 mm
Passung	E7/c7	
oberes Abmaß der Grundtoleranz c		= - 170 µm
unteres Abmaß der Grundtoleranz D		= + 72 µm
Toleranzfeldbreite IT 7		= 35 µm
Breite-Durchmesser Verhältnis	$b/d$	= 1,0
Viskosität des Schmiermittels	$\eta$	= 15 · 10 <sup>-9</sup> Ns/mm <sup>2</sup>
Größtspiel des Lagers	$s_{\max}$	= 277 µm

**E-GL 2.1** In welchem Bereich sollte die Sommerfeldzahl liegen, damit das Gleitlager lauffähig ist? Welche Bedingungen (mit Erläuterung) für die relative und absolute Schmierfilmdicke ergeben sich aus den Grenzen für die Sommerfeldzahl?

**E-GL 2.2** Wie groß darf die Radialkraft bei Mittenspiel maximal werden, damit das Gleitlager lauffähig ist?

**E-GL 2.3** Welche Maßnahmen können unter Beibehaltung der groben geometrischen Abmessungen grundsätzlich getroffen werden, um ein Gleitlager auf höhere Radialkräfte abzustimmen?

**Formeln:**

**Sommerfeldzahl  $So$ :**

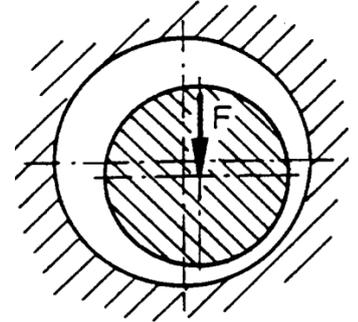
$$So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega}$$

## Übungsaufgabe GL 005

Gegeben ist die Schnittdarstellung einer hydrodynamischen Gleitlagerung im Betriebszustand.

E-GL1 Zeichnen Sie die Drehrichtung der Welle in die Skizze ein.

E-GL2 Zeichnen Sie die Druckverteilung an der Lagerschale ein.



E-GL3 Geben Sie in der Skizze die Lage der Bohrungen für den Schmiermittelzufluß und für die Schmiermittelabführung an.

E-GL4 Schlagen Sie eine Maßnahme vor, die bewirkt, daß das Lager beim Hochfahren aus dem Stillstand nicht durch das Gebiet der Mischreibung laufen muß.

E-GL5 Nennen Sie mindestens drei Vorteile und drei Nachteile von Gleitlagern gegenüber Wälzlagern.

## Übungsaufgabe GL 006

**E-GL 1** Grenzen Sie die Begriffe „Festkörperreibung“, „Flüssigkeitsreibung“ und „Mischreibung“ voneinander ab. Welche Art der Reibung wird bei hydrodynamischen Gleitlagern angestrebt?

**E-GL 2** Skizzieren Sie die Stribeck-Kurve und kennzeichnen Sie die Übergangsdrehzahl.

**E-GL 3** Welche Gefahr besteht bei einem hydrodynamischen Gleitlager, wenn die Radiallast plötzlich abfällt? Wie kann diesem Problem konstruktiv entgegengewirkt werden?

Die Betriebsbedingungen eines Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Radialkraft:	$F_r = 1750 \text{ N}$	Lagernennendurchmesser:	$d = 25 \text{ mm}$
Betriebsdrehzahl:	$n = 2850 \text{ min}^{-1}$	Toleranz:	F6/e6
Lagernennbreite:	$b = 20 \text{ mm}$	Relative Schmierfilmdicke:	$\delta = 0,2$

Das Lager wird durch Luft mit einer Geschwindigkeit von  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  bei einer Temperatur von  $24^\circ\text{C}$  gekühlt.

**E-GL 4** Welche dynamische Viskosität  $\eta$  muss das Öl haben, damit sich der beschriebene Betriebsfall bei Mittenspiel einstellt?

**E-GL 5** Auf welche Temperatur erwärmt sich das Lager im Betrieb?

**Formeln:**

Toleranzen:  $F6 = {}^{+33}_{+20}$ ;  $e6 = {}^{-40}_{-53}$

Sommerfeldzahl:  $So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega}$

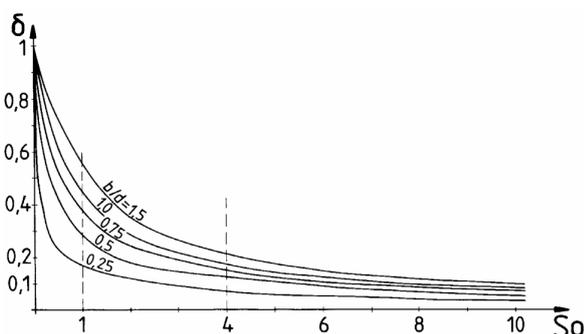
Relatives Lagerspiel:  $\psi = \frac{s}{d}$ , mit  $s$  = absolutes Lagerspiel

Reibbeiwert:	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>So</math></th> <th><math>\mu</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>&lt; 1</math></td> <td><math>\approx 3 \cdot \psi / So</math></td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 1</math></td> <td><math>\approx 3 \cdot \psi / \sqrt{So}</math></td> </tr> </tbody> </table>	$So$	$\mu$	$< 1$	$\approx 3 \cdot \psi / So$	$> 1$	$\approx 3 \cdot \psi / \sqrt{So}$
$So$	$\mu$						
$< 1$	$\approx 3 \cdot \psi / So$						
$> 1$	$\approx 3 \cdot \psi / \sqrt{So}$						

Reibleistung:  $P_R = F_R \cdot v = \mu \cdot F_r \cdot \omega \cdot \frac{d}{2}$

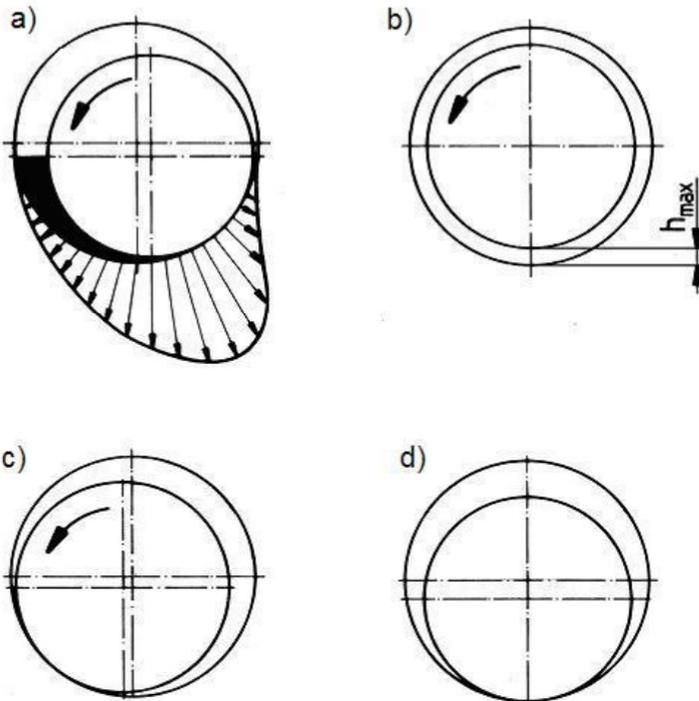
Abgeführte Wärmemenge bei Luftkühlung:  $\dot{Q}_{ab} = \alpha \cdot A \cdot (t - t_L)$ ; mit  $\frac{\alpha}{\left[ \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \right]} = 7 + 12 \cdot \sqrt{\frac{v}{[\text{m/s}]}}$  und  $A \approx 30 \cdot d \cdot b + 15 \cdot d^2$

Relative Schmierfilmdicke in Abhängigkeit der Sommerfeldzahl:

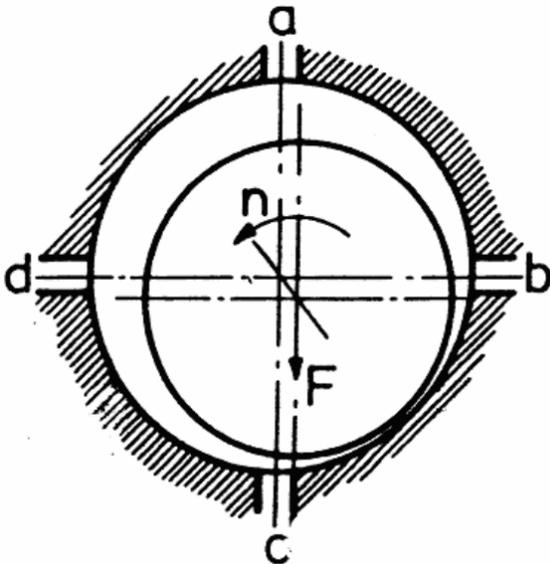


## Übungsaufgabe GL 007

E-GL 1 Beschreiben Sie kurz die dargestellten Betriebszustände.



E-GL 2 An welcher Stelle des hydrodynamischen Lagers sollte das Schmiermittel zugeführt werden? An welcher Stelle sollte es wieder abgeführt werden? Gebens Sie eine kurze Begründung.

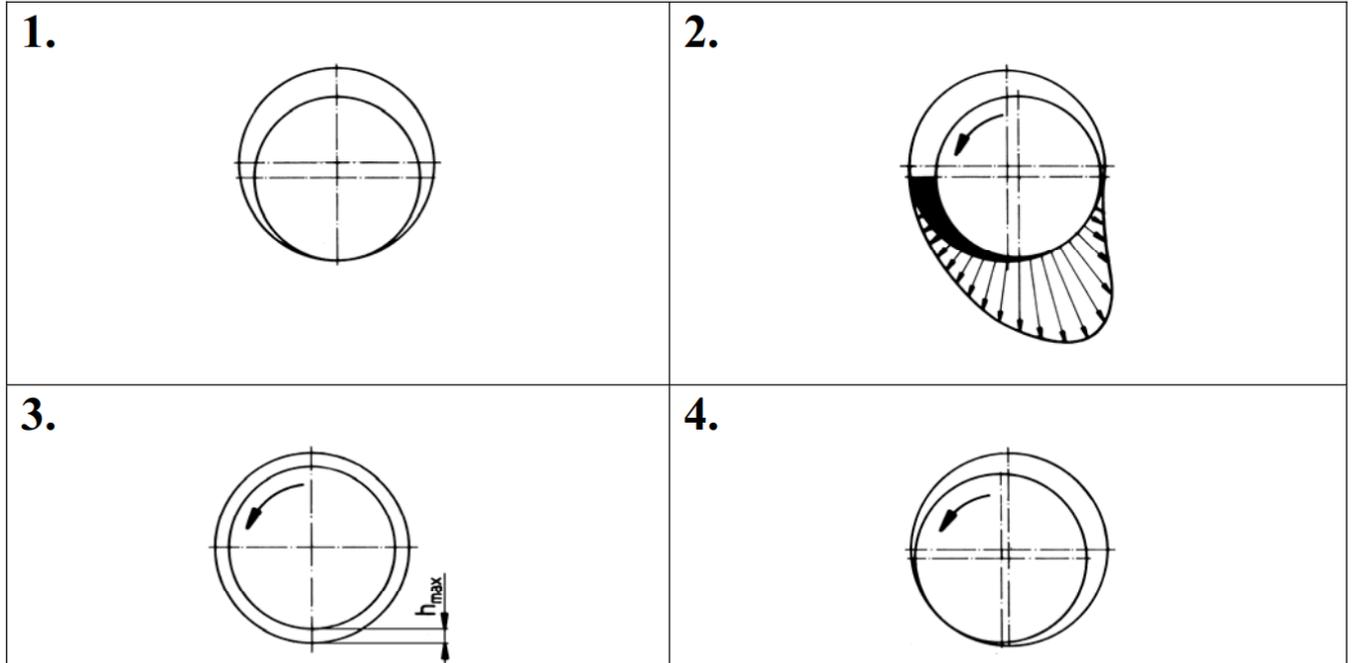


E-GL 3 Skizzieren Sie den Aufbau eines Ringkammerlagers (hydrostatisches Axiallager).

E-GL 4 Wie kann der Instabilität eines hydrostatischen Radiallagers konstruktiv entgegengewirkt werden (Einfache Skizze oder kurze Beschreibung).

## Übungsaufgabe GL 008

- E-GL 1**
- Zeichnen Sie den qualitativen Verlauf der *Stribeckkurve* für Gleitlager in das Diagramm ein, und bezeichnen Sie die Achsen des Diagramms.
  - Kennzeichnen Sie die Übergangsdrehzahl.
  - Geben Sie die Bezeichnungen der unten dargestellten Betriebszustände des hydrodynamischen Gleitlagers an.
  - Ordnen Sie die in der Praxis auftretenden Betriebszustände aus der unteren Darstellung der *Stribeckkurve* in a) zu.



**E-GL 2** Eine Turbinenwelle ist mit hydrodynamischen Radialgleitlagern gelagert. Die Daten der Lagerung sind im Folgenden genannt.

Ein neuer Einsatzfall erfordert eine höhere Drehzahl der Turbinenwelle, welche die ursprüngliche Bemessungsdrehzahl übersteigt.

Betriebskraft	$F_r$	= 100 kN
Betriebsdrehzahl	$n$	= 10.000 min <sup>-1</sup>
Lagerdurchmesser	$d$	= 200 mm
Passung	D7/b8	
oberes Abmaß der Grundtoleranz b		= -340 µm
unteres Abmaß der Grundtoleranz D		= +170 µm
Toleranzfeldbreite IT 7		= 46 µm
Toleranzfeldbreite IT 8		= 72 µm
Breite-Durchmesser Verhältnis	$b/d$	= 0,8
Viskosität des Schmiermittels	$\eta$	= 15 · 10 <sup>-9</sup> Ns/mm <sup>2</sup>
Größtspiel des Lagers	$s_{max}$	= 628 µm

**E-GL 2.1** Ist das Lager auch unter den neuen Einsatzbedingungen ( $n = 10.000 \text{ min}^{-1}$ ) lauffähig? Zur Klärung dieser Frage ist die Sommerfeldzahl für Mindest- und Höchstspiel zu berechnen und zu bewerten.

**E-GL 2.2** Durch die Drehzahlerhöhung auf  $n = 10.000 \text{ min}^{-1}$  beträgt die Temperatur des Schmiermittels bei Luftkühlung  $t_{\text{Luftkühlung}} = 85 \text{ °C}$ . Um die Betriebstemperatur auf einen annehmbaren Wert von  $t_{\text{Ölkühlung}} = 50 \text{ °C}$  herabzusetzen, soll eine Ölkühlung vorgesehen werden.

Wie groß ist der erforderliche Ölvolumenstrom, den die Versorgungspumpe der Kühlung liefern muss?

Es sind zusätzlich folgende Daten zu berücksichtigen.

Lufttemperatur	$t_L$	= 20 °C
Eintrittstemperatur des Öls	$t_E$	= 30 °C
Wärmeübergangszahl	$\alpha$	= 20 W/(K·m <sup>2</sup> )
spezifische Wärme des Öls	$c$	= 1,84 Nm/(kg·K)
Dichte des Öls	$\rho$	= 900 kg/m <sup>3</sup>

### Auszug aus den Vorlesungsumdrucken

**Sommerfeldzahl  $S_o$ :**

$$S_o = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega}$$

**Abgeführte Wärmemenge bei Luftkühlung  $Q_{ab}$ :**

$$\dot{Q}_{ab} = \alpha \cdot A \cdot (t - t_L)$$

mit  $A \approx 30 \cdot d \cdot b + 15 \cdot d^2$

**Abgeführte Wärmemenge bei Ölkühlung  $Q_{ab}$ :**

$$\dot{Q}_{ab} = c \cdot \rho \cdot \dot{V} \cdot (t - t_E)$$

## Übungsaufgabe GL 009

- E-GL 1** Welche Phasen durchläuft ein hydrodynamisches Gleitlager während seines Anlaufes vom Stillstand bis zur Betriebsdrehzahl? Beschreiben Sie kurz die einzelnen Betriebszustände.
- E-GL 2** Nennen Sie zwei Vorteile von hydrostatischen gegenüber hydrodynamischen Gleitlagern.
- E-GL 3** Warum sollte die maximale relative Schmierfilmdicke kleiner als der Wert 0,4 sein? Wodurch wird die untere Grenze der absoluten Schmierfilmdicke vorgeben?

Die Betriebsbedingungen eines hydrodynamischen Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Werkstoff der Lagerschale:	Grauguss	Lagernendurchmesser:	$d = 35 \text{ mm}$
Betriebsdrehzahl:	$n = 1450 \text{ min}^{-1}$	Toleranz:	F6/e6
Lagernbreite:	$b = 30 \text{ mm}$	Viskosität des Öls	$\eta = 300 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2}$

- E-GL 4** Wie klein darf die Radialkraft unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranzen minimal werden, so dass die Bedingung  $\delta \leq 0,4$  gerade noch erfüllt ist?

**Formeln:**

Toleranzen:  $F6 = +0,033; e6 = -0,053$

Sommerfeldzahl:  $So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega}$

Relatives Lagerspiel:  $\psi = \frac{s}{d}$ , mit  $s$  = absolutes Lagerspiel

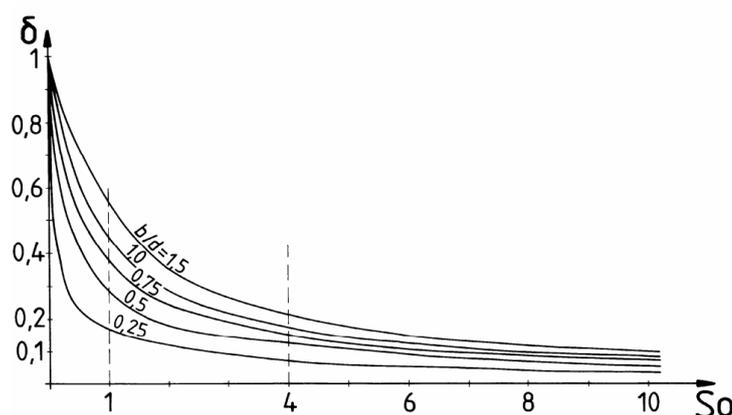
Reibbeiwert:

$So$	$\mu$
$< 1$	$\approx 3 \cdot \psi / So$
$> 1$	$\approx 3 \cdot \psi / \sqrt{So}$

Zulässiger mittlerer Lagerdruck:

Werkstoff der Lagerschale (Welle aus Stahl)	Zul. mittl. Lagerdruck $p_{m \text{ zul}}$ in $\text{N/mm}^2$	
	hydrodynamisch h	Mischreibung
Bronze, Grauguss	20	0,5
Weißmetall	10	2,5
Teflon (PTFE)	20	10
sonst. Kunststoffe (geschmiert)	1 - 2	0,5 - 1

Relative Schmierfilmdicke in Abhängigkeit der Sommerfeldzahl:



## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 009

**E-GL 1** Welche Phasen durchläuft ein hydrodynamisches Gleitlager während seines Anlaufes vom Stillstand bis zur Betriebsdrehzahl? Beschreiben Sie kurz die einzelnen Betriebszustände.

**Lösung**

- 1) Zunächst Lastübertragung durch Festkörperkontakt. Die Welle beginnt entgegen dem Drehsinn an der Lagerschale hochzuwandern.
- 2) Mischreibung: Anteil an Festkörperreibung nimmt mit steigender Drehzahl kontinuierlich ab. Reibbeiwert sinkt schnell ab.
- 3) Flüssigkeitsreibung: Anvisierter Betriebszustand; keine Festkörperreibung mehr vorhanden.

**E-GL 2** Nennen Sie zwei Vorteile von hydrostatischen gegenüber hydrodynamischen Gleitlagern.

**Lösung**

- Weniger Reibung und Verschleiß bei An- und Auslauf.
- Nahezu zentrische Wellenlage bei Radiallagern.
- Bessere Regelbarkeit bei wechselnden Radiallasten (keine Gefahr des „Wellentanzens“)

**E-GL 3** Warum sollte die maximale relative Schmierfilmdicke kleiner als der Wert 0,4 sein? Wodurch wird die untere Grenze der absoluten Schmierfilmdicke vorgeben?

**Lösung**

- Bei  $\delta > 0,4$  besteht die Gefahr des „Wellentanzens“
- Die untere Grenze wird durch den Übergang von der Misch- zur reinen Flüssigkeitsreibung vorgegeben:

$$\text{Es muss gelten: } h_{\min} \geq R_{Z \text{ Welle}} + R_{Z \text{ Lagerschale}}$$

Die Betriebsbedingungen eines hydrodynamischen Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Werkstoff der Lagerschale:	Grauguss	Lagernendurchmesser:	$d = 35 \text{ mm}$
Betriebsdrehzahl:	$n = 1450 \text{ min}^{-1}$	Toleranz:	F6/e6
Lagernennbreite:	$b = 30 \text{ mm}$	Viskosität des Öls	$\eta = 300 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2}$

**E-GL 4** Wie klein darf die Radialkraft unter Berücksichtigung der Fertigungstoleranzen minimal werden, so dass die Bedingung  $\delta \leq 0,4$  gerade noch erfüllt ist?

**Lösung**  $\delta \leq 0,4 \Rightarrow S_o \geq 1,1$  ( aus Diagramm mit  $b/d \approx 0,86$  )

$$1,1 \leq \frac{F_R \cdot \left(\frac{s}{d}\right)^2}{\eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot n} \Leftrightarrow F_R \geq \frac{1,1 \cdot b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{s^2}$$

Der kritischste Fall ergibt sich beim maximalen Spiel!  $s = s_{\max} = 0,086 \text{ mm}$

$$F_R \geq \frac{1,1 \cdot 30 \text{ mm} \cdot (35 \text{ mm})^3 \cdot 300 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 24,17 \frac{1}{\text{s}}}{(0,086 \text{ mm})^2}$$

$$F_R \geq 8.714,55 \text{ N}$$

## Übungsaufgabe GL 010

Ein Konstrukteur hat ein hydrodynamisch geschmiertes Gleitlager ausgewählt. Folgende Daten sind bereits bekannt:

Bezeichnung	Wert
Mittlerer Lagerdruck	$p_m = 2,22 \text{ N/mm}^2$
Relative Lagerspiel	$\psi = 1 \text{ ‰}$
Lagernenndurchmesser	$d = 180 \text{ mm}$
Breite-Durchmesserverhältnis	$b/d = 0,85$
Viskosität-Schmiermittel	$\eta = 0,002 \text{ Ns/m}^2$
Wärmeübergangszahl	$\alpha = 20 \text{ W/K m}^2$

**E-GL 1** Wie groß ist die Sommerfeldzahl bei einer relativen Gleitgeschwindigkeit von 100 m/s? Liegt Schnelllauf oder Schwerlast vor?

**E-GL 2** Wie groß sind Reibleistung und Reibmoment in dem Lager?

**E-GL 3** Wie hoch ist die Gleitflächentemperatur bei einer Umgebungstemperatur von  $t_1 = 20 \text{ °C}$ ?

Hinweis: Wenn GL2 nicht gelöst wurde, kann mit  $P_R = 200 \text{ W}$  gerechnet werden!

### Formeln

$$1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s/m}^2$$

#### Sommerfeldzahl

$$\psi = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \approx \frac{s}{d} \quad So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot (s/d)^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So_{\min} = \frac{F_r \cdot s_{\min}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So_{\max} = \frac{F_r \cdot s_{\max}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$So$  = Sommerfeldzahl  
 $s_{\min}$  = Kleinstspiel  
 $s_{\max}$  = Größtspiel  
 $\eta$  = Dynamische Viskosität  
 $F_r$  = Radialkraft  
 $b$  = Lagerbreite  
 $d$  = Nenndurchmesser  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit

$$p_m = \frac{F_r}{b \cdot d} = \frac{F_r}{d^2 \cdot (b/d)} \leq p_{m \text{ zul}}$$

Werkstoff Lagerschale (Welle aus Stahl)	Zul. mittl. Lagerdruck $p_{m \text{ zul}}$ in $\text{N/mm}^2$	
	hydrodynamisch	Mischreibung
Bronze	20	0,5
Weißmetall	10	2,5
sonst. Kunststoffe (geschmiert)	1 - 2	0,5 - 1

Reibleistung  $P_R$ :

$$P_R = F_R \cdot v = \mu \cdot F_r \cdot \omega \cdot \frac{d}{2}$$

$F_R$  = Reibkraft  
 $F_r$  = Radialkraft  
= Reibbeiwert

$v$  = Relativgeschwindigkeit  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit  
 $d$  = Nenndurchmesser

Abgeführte  
Wärmemenge  
Luftkühlung  $Q_{ab}$ :

bei  $\dot{Q}_{ab} = \alpha \cdot A \cdot (t - t_L)$

$A$  = Abstrahlfläche

$$A \approx 30 \cdot d \cdot b + 15 \cdot d^2$$

$\alpha$  = Wärmeübergangszahl

$$\left[ \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \right] = 7 + 12 \cdot \sqrt{\frac{v}{[\text{m/s}]}}$$

$$\approx 20 \text{ W/K m}^2$$

$b$  = Lagerbreite

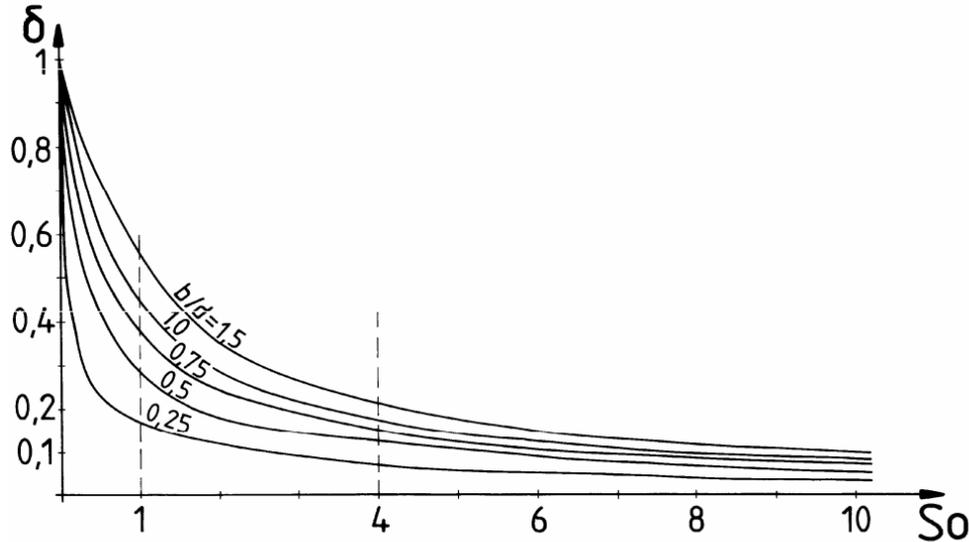
$t$  = Gleitflächentemperatur

$t_L$  = Lufttemperatur

zulässig:

$$(t - t_L) \approx 30 \text{ °C bis } 90 \text{ °C}$$

$v \approx 1,25 \text{ m/s}$  =  
Strömungsgeschwindigkeit  
der Luft



### Empfohlener Betriebsbereich für Gleitlager

$So < 1$  Schnelllaufbereich;  $\approx 0,4$ ; ggf. Wellentanzten

$So > 4$  Schwerlastbereich; ggf.  $h < h_{\min}$ , Mischreibung

– Reibbeiwert :

$So$	
$< 1$	$\approx 3 \cdot \psi / So$
$> 1$	$\approx 3 \cdot \psi / \sqrt{So}$

## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 010

Ein Konstrukteur hat ein hydrodynamisch geschmiertes Gleitlager ausgewählt. Folgende Daten sind bereits bekannt:

Bezeichnung	Wert
Mittlerer Lagerdruck	$p_m = 2,22 \text{ N/mm}^2$
Relative Lagerspiel	$\psi = 1 \text{ ‰}$
Lagernendurchmesser	$d = 180 \text{ mm}$
Breite-Durchmesserverhältnis	$b/d = 0,85$
Viskosität-Schmiermittel	$\eta = 0,002 \text{ Ns/m}^2$
Wärmeübergangszahl	$\alpha = 20 \text{ W/K m}^2$

**E-GL 1** Wie groß ist die Sommerfeldzahl bei einer relativen Gleitgeschwindigkeit von 100 m/s? Liegt Schnelllauf oder Schwerlast vor?

**Lösung:**

$$So = \frac{2,22 \text{ N/mm}^2 \cdot (0,001)^2}{2 \cdot 10^{-9} \cdot 1.111,1 \text{ ls}^{-1}} = 0,999$$

$$v = r \cdot \omega \quad \rightarrow \quad \omega = \frac{v}{r} = \frac{100 \text{ m/s}}{0,09 \text{ m}} = 1.111,1 \text{ ls}^{-1}$$

$So \leq 1 \rightarrow$  Schnelllaufbereich!

**E-GL 2** Wie groß sind Reibleistung und Reibmoment in dem Lager?

**Lösung:**

$$P_R = \mu \cdot F_r \cdot v$$

$$\mu \approx \frac{3 \cdot \psi}{So} \approx 0,003$$

$$p_m = \frac{F_r}{d^2 \cdot (b/d)} \quad \rightarrow \quad F_r = 61.138,8 \text{ N}$$

$$P_R = 18.341 \text{ W}$$

$$P_R = M \cdot \omega \quad \rightarrow \quad M = \frac{P_R}{\omega} = 16,5 \text{ Nm}$$

**E-GL 3** Wie hoch ist die Gleitflächentemperatur bei einer Umgebungstemperatur von  $t_1 = 20 \text{ °C}$ ?

Hinweis: Wenn GL2 nicht gelöst wurde, kann mit  $P_R = 200 \text{ W}$  gerechnet werden!

**Lösung:**

$$\dot{Q}_{\text{ab}} = P_R = \alpha \cdot A \cdot (t - t_L)$$

$$\frac{P_R}{\alpha \cdot A} + t_L = t$$

$$A \approx 30 \cdot d \cdot b + 15 \cdot d^2 = 1,312 \text{ m}^2$$

$$t = 300,7 \text{ K} = 27,62 \text{ °C} \text{ (200 W)}$$

$$t = 992,12 \text{ K} = 718,9 \text{ °C} \text{ (18.341 W)}$$

## Formeln

$$1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s/m}^2$$

### Sommerfeldzahl

$$\psi = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \approx \frac{s}{d} \quad S_o = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot (s/d)^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$S_{o\text{min}} = \frac{F_r \cdot s_{\text{min}}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$S_{o\text{max}} = \frac{F_r \cdot s_{\text{max}}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$S_o$  = Sommerfeldzahl  
 $s_{\text{min}}$  = Kleinstspiel  
 $s_{\text{max}}$  = Größtspiel  
 $\eta$  = Dynamische Viskosität  
 $F_r$  = Radialkraft  
 $b$  = Lagerbreite  
 $d$  = Nenndurchmesser  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit

$$p_m = \frac{F_r}{b \cdot d} = \frac{F_r}{d^2 \cdot (b/d)} \leq p_{m\text{zul}}$$

Werkstoff Lagerschale (Welle aus Stahl)	Zul. mittl. Lagerdruck $p_{m\text{zul}}$ in N/mm <sup>2</sup>	
	hydrodynamisch	Mischreibung
Bronze	20	0,5
Weißmetall	10	2,5
sonst. Kunststoffe (geschmiert)	1 - 2	0,5 - 1

Reibleistung  $P_R$ :

$$P_R = F_R \cdot v = \mu \cdot F_r \cdot \omega \cdot \frac{d}{2}$$

$F_R$  = Reibkraft  
 $F_r$  = Radialkraft  
 $O$  = Reibbeiwert

$v$  = Relativgeschwindigkeit  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit

## Übungsaufgabe GL 011

Ein hydrodynamisch geschmiertes Radialgleitlager soll ausgelegt werden.

### gegebene Daten:

Betriebskraft	$F_r = 15 \text{ kN}$	Betriebsdrehzahl	$n = 3000 \text{ min}^{-1}$
Wellennendurchmesser	$d = 80 \text{ mm}$	Breite-Durchmesserverhältnis	$b/d = 0,8$
Wellenwerkstoff	St 52	Lagerschalenwerkstoff	Grauguss
Viskosität des Schmiermittels	$\eta = 32 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2}$		

**E-GL 1** Welches relative Lagerspiel  $\psi$  würden Sie für dieses Lager anstreben?

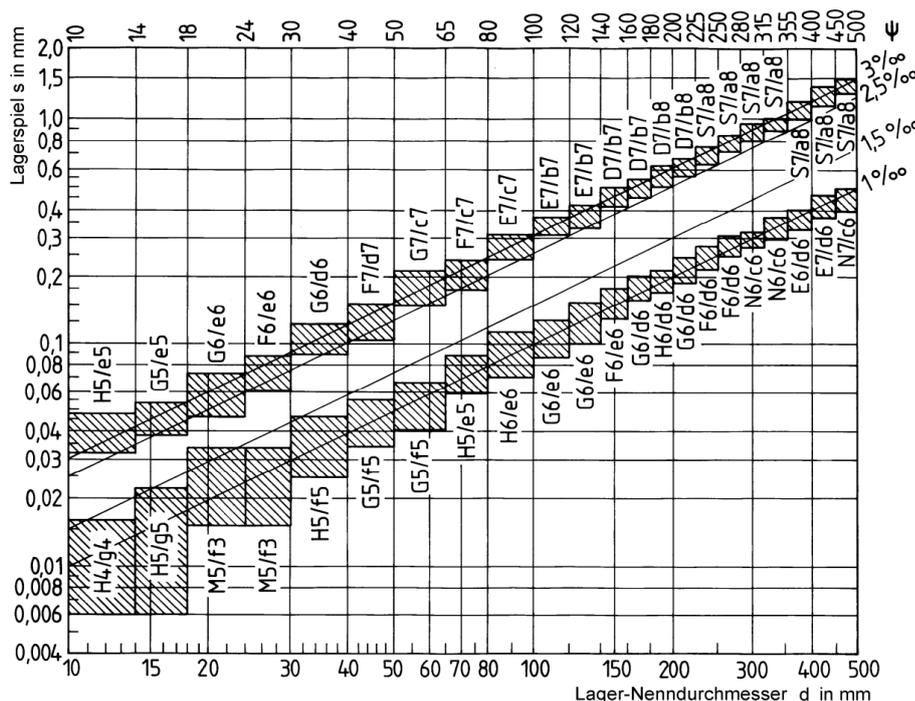
**E-GL 2** Legen Sie eine geeignete Passung für die Kombination Welle/Lagerschale fest (Erläutern Sie kurz die Vorgehensweise)!

**E-GL 3** Ein Konstrukteur hat sich für die Passung **H5/e5** entschieden. Berechnen Sie die Sommerfeldzahl für das Größt- und für das Kleinstspiel!

**E-GL 4** In welchem Bereich sollte die Sommerfeldzahl in der Praxis liegen?  
Ist das Lager grundsätzlich lauffähig?

### Auszüge aus dem Vorlesungsumdruck:

Werkstoff der Lagerschale	Relatives Lagerspiel $\psi$
Bronze	$\approx 0,0025 \dots 0,003 = 2,5 \dots 3 \text{ ‰}$
Weißmetall	$\approx 0,0005 = 0,5 \text{ ‰}$
Grauguss	$\approx 0,001 \dots 0,002 = 1 \dots 2 \text{ ‰}$
Kunststoff	$\approx 0,003 \dots 0,004 = 3 \dots 4 \text{ ‰}$



$$\text{Sommerfeldzahl } So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega}; \quad \psi = \frac{d_2 - d_1}{d_1}$$



Lage Qualität	c							
	3	4	5	6	7	8	9	10
über 18	-110	-110	-110	-110	-110	-110	-110	-110
bis 30	-114	-116	-119	-123	-131	-143	-162	-194
über 30	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120
bis 40	-124	-127	-131	-136	-145	-159	-182	-220
über 40	-130	-130	-130	-130	-130	-130	-130	-130
bis 50	-134	-137	-141	-146	-155	-169	-192	-230

Lage Qualität	d							
	3	4	5	6	7	8	9	10
über 18	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65
bis 30	-69	-71	-74	-78	-86	-98	-117	-149
über 30	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
bis 50	-84	-87	-91	-96	-105	-119	-142	-180
über 50	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100
bis 80	-105	-108	-113	-119	-130	-146	-174	-220

Lage Qualität	e						f						g									
	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
über 18	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
bis 30	-49	-53	-61	-73	-92	-124	-24	-26	-29	-33	-41	-53	-72	-104	-11	-13	-16	-20	-28	-40	-59	-91
über 30	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
bis 50	-61	-66	-75	-89	-112	-150	-29	-32	-36	-41	-50	-64	-87	-125	-13	-16	-20	-25	-34	-48	-71	-109
über 50	-60	-60	-60	-60	-60	-60	—	-30	-30	-30	-30	-30	-30	—	—	-10	-10	-10	-10	—	—	—
bis 80	-73	-79	-90	-106	-134	-180	—	-38	-43	-49	-60	-76	-104	—	—	-18	-23	-29	-40	—	—	—

**ISO-Abmaße DIN ISO 286 für Innenmaße**

Lage Qualität	E						F						G									
	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
über 18	+49	+53	+61	+73	+92	+124	+24	+26	+29	+33	+41	+53	+72	+104	+11	+13	+16	+20	+28	+40	+59	+91
bis 30	+40	+40	+40	+40	+40	+40	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+7	+7	+7	+7	+7	+7	+7	+7
über 30	+61	+66	+75	+89	+112	+150	+29	+32	+36	+41	+50	+64	+87	+125	+13	+16	+20	+25	+34	+48	+71	+110
bis 50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+9
über 50	+73	+79	+90	+106	+134	+180	—	—	+43	+49	+60	+76	+104	—	—	—	+23	+29	+40	+58	—	—
bis 80	+60	+60	+60	+60	+60	+60	—	—	+30	+30	+30	+30	+30	—	—	—	+10	+10	+10	+10	—	—

Lage Qualität	H																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
über 18	+1,5	+2,5	+4	+6	+9	+13	+21	+33	+52	+84	+130	+210	+330	+520	+840	+1300	+2100	+3300
bis 30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
über 30	+1,5	+2,5	+4	+7	+11	+16	+25	+39	+62	+100	+160	+250	+390	+620	+1000	+1600	+2500	+3900
bis 50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
über 50	+2	+3	+5	+8	+13	+19	+30	+46	+74	+120	+190	+300	+460	+740	+1200	+1900	+3000	+4600
bis 80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Lage Qualität	J			K						M									
	6	7	8	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
über 18	+8	+12	+20	-0,5	0	+1	+2	+6	+10	—	—	-6,5	-6	-5	-4	0	+4	-8	-8
bis 30	-5	-9	-13	-4,5	-6	-8	-11	-15	-23	—	—	-10,5	-12	-14	-17	-21	-29	-60	-92
über 30	+10	+14	+24	-0,5	+1	+2	+3	+7	+12	—	—	-7,5	-6	-5	-4	0	+5	-9	-9
bis 50	-6	-11	-15	-4,5	-6	-9	-13	-18	-27	—	—	-11,5	-13	-16	-20	-25	-34	-71	-109
über 50	+13	+18	+28	—	+3	+4	+9	+14	—	—	—	—	-6	-5	0	+5	—	—	—
bis 80	-6	-12	-18	—	-10	-15	-21	-32	—	—	—	—	-19	-24	-30	-41	—	—	—

## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 011

Ein hydrodynamisch geschmiertes Radialgleitlager soll ausgelegt werden.

### gegebene Daten:

Betriebskraft	$F_r = 15 \text{ kN}$	Betriebsdrehzahl	$n = 3000 \text{ min}^{-1}$
Wellennenddurchmesser	$d = 80 \text{ mm}$	Breite-Durchmesserverhältnis	$b/d = 0,8$
Wellenwerkstoff	St 52	Lagerschalenwerkstoff	Grauguss
Viskosität des Schmiermittels	$\eta = 32 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2}$		

**E-GL 1** Welches relative Lagerspiel  $\psi$  würden Sie für dieses Lager anstreben?

**Lösung:**  $\psi = 1 \dots 2\%$

**E-GL 2** Legen Sie eine geeignete Passung für die Kombination Welle/Lagerschale fest (Erläutern Sie kurz die Vorgehensweise)!

**Lösung:** H6 / e6  
*Begründung siehe Diagramm*

**E-GL 3** Ein Konstrukteur hat sich für die Passung **H5/e5** entschieden. Berechnen Sie die Sommerfeldzahl für das Größt- und für das Kleinstspiel!

**Lösung:**  $\varnothing 80 \text{ e5} \equiv \varnothing 80 \begin{smallmatrix} -0,060 \\ -0,073 \end{smallmatrix}$   $\varnothing 80 \text{ H5} \equiv \varnothing 80 \begin{smallmatrix} 0,013 \\ 0 \end{smallmatrix}$

$$S_{\min} = 0,06 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 0,086 \text{ mm}$$

$$\psi_{\min} = \frac{S_{\min}}{d} = \frac{0,06 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} = 7,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\psi_{\max} = \frac{S_{\max}}{d} = \frac{0,086 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} = 1,075 \cdot 10^{-3}$$

$$So_{\min} = \frac{15.000 \text{ N} \cdot (7,5 \cdot 10^{-4})^2}{0,8 \cdot (80 \text{ mm})^2 \cdot 32 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}}} = 0,164$$

$$So_{\max} = \frac{15.000 \text{ N} \cdot (1,075 \cdot 10^{-3})^2}{0,8 \cdot (80 \text{ mm})^2 \cdot 32 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \frac{1}{\text{s}}} = 0,34$$

**E-GL 4** In welchem Bereich sollte die Sommerfeldzahl in der Praxis liegen?  
Ist das Lager grundsätzlich lauffähig?

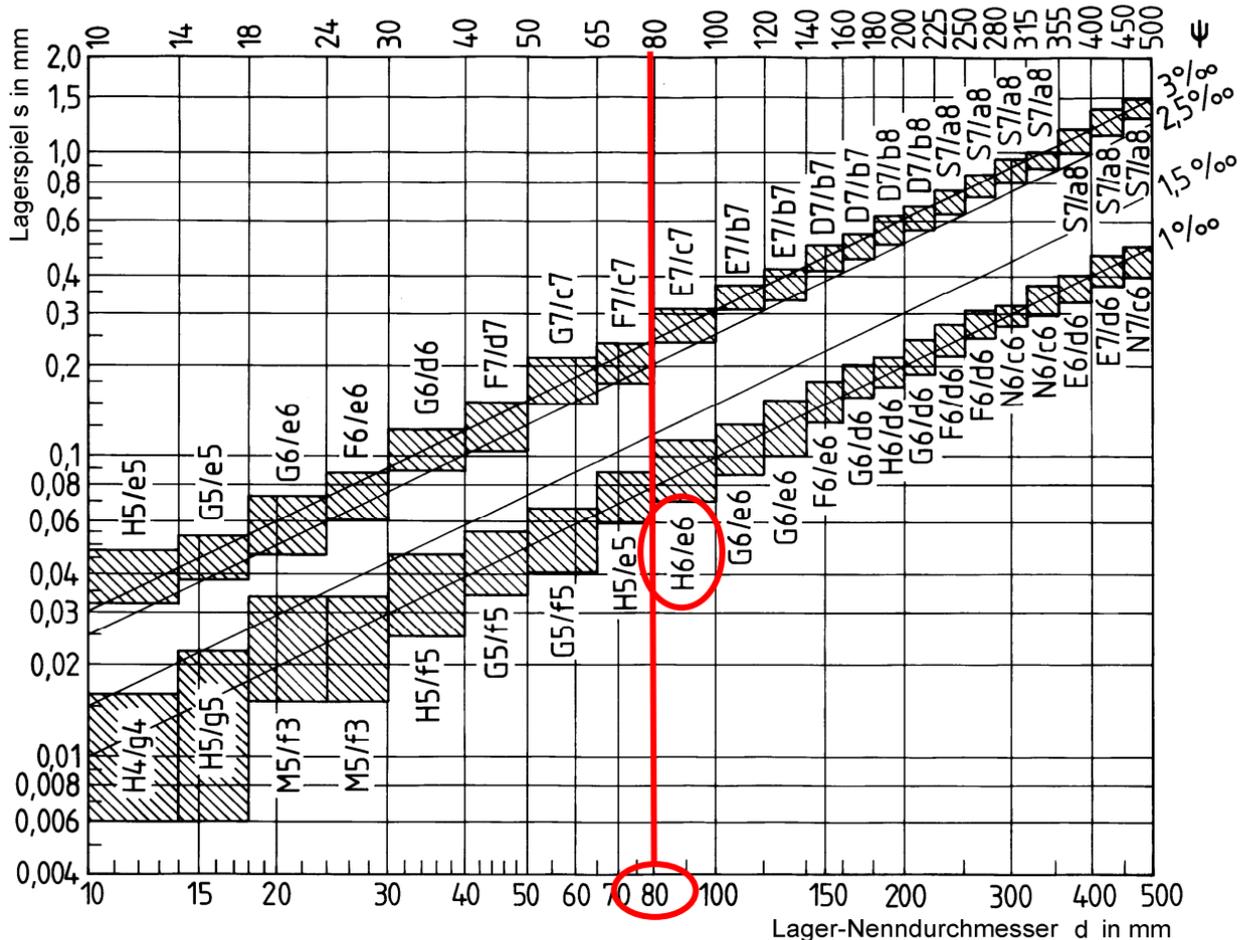
**Lösung:**

$$1 \leq So \leq 10 \quad (\text{evtl. auch } 1 \dots 4)$$

Das Lager ist nicht lauffähig, da  $So \leq 1$ .

**Auszüge aus dem Vorlesungsumdruck:**

Werkstoff der Lagerschale	Relatives Lagerspiel $\psi$
Bronze	$\approx 0,0025 \dots 0,003 = 2,5 \dots 3 \text{ ‰}$
Weißmetall	$\approx 0,0005 = 0,5 \text{ ‰}$
Grauguss	$\approx 0,001 \dots 0,002 = 1 \dots 2 \text{ ‰}$
Kunststoff	$\approx 0,003 \dots 0,004 = 3 \dots 4 \text{ ‰}$



$$\text{Sommerfeldzahl } So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega}; \quad \psi = \frac{d_2 - d_1}{d_1}$$

## Übungsaufgabe GL 012

Die Betriebsbedingungen eines Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Radialkraft:	$F_r = 100 \text{ kN}$	Wellendurchmesser:	$d_1 = d = 50 \text{ mm}$
Betriebsdrehzahl:	$n = 3.000 \text{ min}^{-1}$	Durchmesser Lagerschale:	$d_2 = 50,1 \text{ mm}$
Lagernennbreite:	$b = 40 \text{ mm}$	Viskosität $\eta$ :	$0,3 \text{ Ns/m}^2$
Material:	Grauguss		

- E-GL 1** Berechnen Sie die Sommerfeldzahl  $So$ .
- E-GL 2** Ermitteln Sie die relative Schmierfilmdicke  $\delta$ .
- E-GL 3** Berechnen Sie die vorhandene Schmierfilmdicke  $h_{\text{vorh}}$ .
- E-GL 4** Mit welcher Maximaldrehzahl  $n_{\text{max}}$  kann das Lager betrieben werden, sodass gerade kein Wellentanz auftritt?
- E-GL 5** Skizzieren Sie den prinzipiellen Verlauf der Stribeck-Kurve und kennzeichnen Sie den Bereich der Flüssigkeitsreibung.
- E-GL 6** Nennen Sie vier Vorteile von Gleitlagern gegenüber Wälzlagern.

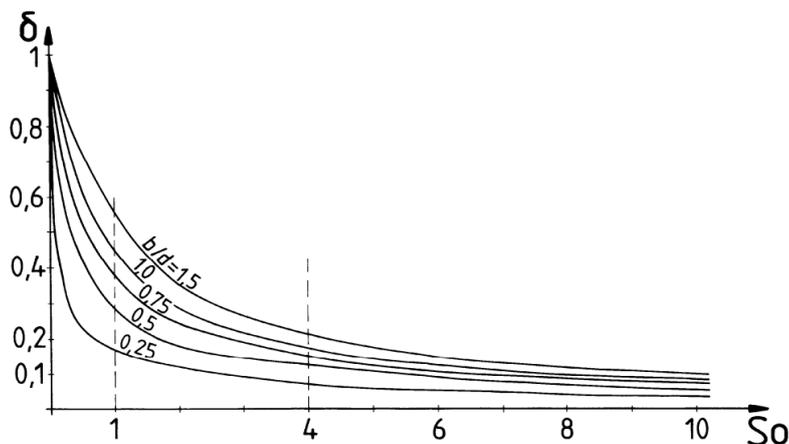
### Formeln:

Sommerfeldzahl: 
$$So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega}$$

Relatives Lagerspiel: 
$$\psi = \frac{s}{d}, \text{ mit } s = \text{absolutes bzw. mittleres Lagerspiel}$$

Absolutes Lagerspiel: 
$$\delta = \frac{h_{\text{vorh}}}{h_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot h_{\text{vorh}}}{d_2 - d_1}$$

Relative Schmierfilmdicke in Abhängigkeit der Sommerfeldzahl:



### Empfohlener Betriebsbereich für Gleitlager

$So < 1$	Schnellaufbereich; $\delta \approx 0,4$ ; ggf. Wellentanz
$So > 4$	Schwerlastbereich; ggf. $h < h_{\text{min}}$ , Mischreibung

## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 012

Die Betriebsbedingungen eines Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Radialkraft:	$F_r = 100 \text{ kN}$	Wellendurchmesser:	$d_1 = d = 50 \text{ mm}$
Betriebsdrehzahl:	$n = 3.000 \text{ min}^{-1}$	Durchmesser Lagerschale	$d_2 = 50,1 \text{ mm}$
Lagernennbreite:	$b = 40 \text{ mm}$	Viskosität $\eta$ :	$0,3 \text{ Ns/m}^2$
Material	Grauguss		

**E-GL 1** Berechnen Sie die Sommerfeldzahl  $So$ .

**Lösung:**

$$So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_R \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So = \frac{100.000 \text{ N} \cdot (0,1 \text{ mm})^2}{40 \text{ mm} \cdot (50 \text{ mm})^3 \cdot 3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 3.000 \frac{1}{\text{min}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}}$$

$$So = 2,122$$

**E-GL 2** Ermitteln Sie die relative Schmierfilmdicke  $\delta$ .

**Lösung:**

$$\frac{b}{d} = \frac{40 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 0,8 \quad \text{nach Diagramm} \quad \delta = 0,25 \dots 0,28$$

**E-GL 3** Berechnen Sie die vorhandene Schmierfilmdicke  $h_{\text{vorh}}$ .

**Lösung:**

$$\delta = \frac{h_{\text{vorh}}}{h_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot h_{\text{vorh}}}{d_2 - d_1}$$

$$\Rightarrow h_{\text{vorh}} = \frac{\delta \cdot (d_2 - d_1)}{2} = \frac{0,265 \cdot (50,1 \text{ mm} - 50 \text{ mm})}{2} = 0,01325 \text{ mm}$$

**E-GL 4** Mit welcher Maximaldrehzahl  $n_{\max}$  kann das Lager betrieben werden, sodass gerade kein Wellentanz auftritt?

**Lösung:**

$$\delta_{\max} = 0,4 \quad \text{sonst Wellentanz}$$

$$\text{Aus Diagramm: } S_o = 1 \dots 1,1; \quad b/d = 0,8$$

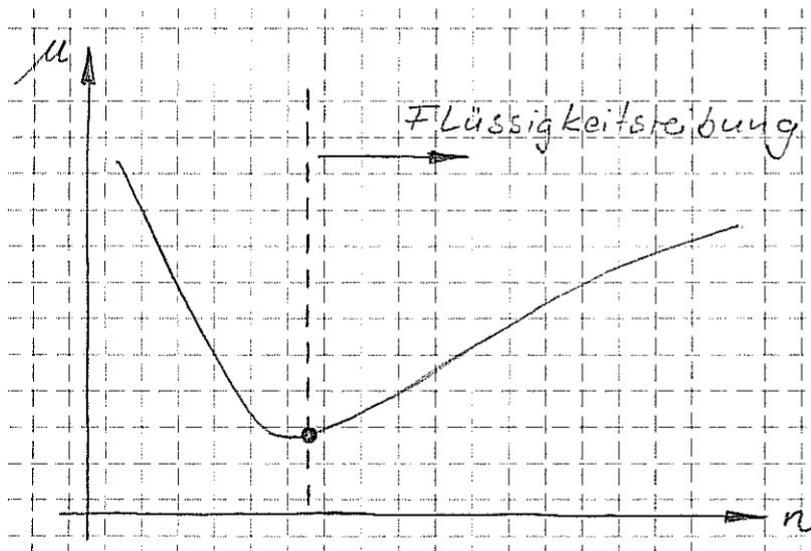
$$S_o = \frac{F_R \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}$$

$$\Rightarrow n = \frac{F_R \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot S_o} = \frac{100.000 \text{ N} \cdot (0,1 \text{ mm})^2}{40 \text{ mm} \cdot (50 \text{ mm})^3 \cdot 3 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1}$$

$$\Rightarrow n = 106,1 \text{ s}^{-1} = 6.366,2 \text{ min}^{-1}$$

**E-GL 5** Skizzieren Sie den prinzipiellen Verlauf der Stribeck-Kurve und kennzeichnen Sie den Bereich der Flüssigkeitsreibung.

**Lösung:**



**E-GL 6** Nennen Sie vier Vorteile von Gleitlagern gegenüber Wälzlagern.

**Lösung:**

- geringe Reibbeiwerte
- unempf. gegen Stöße
- geteilte und ungeteilte Ausführung
- einfach im Aufbau

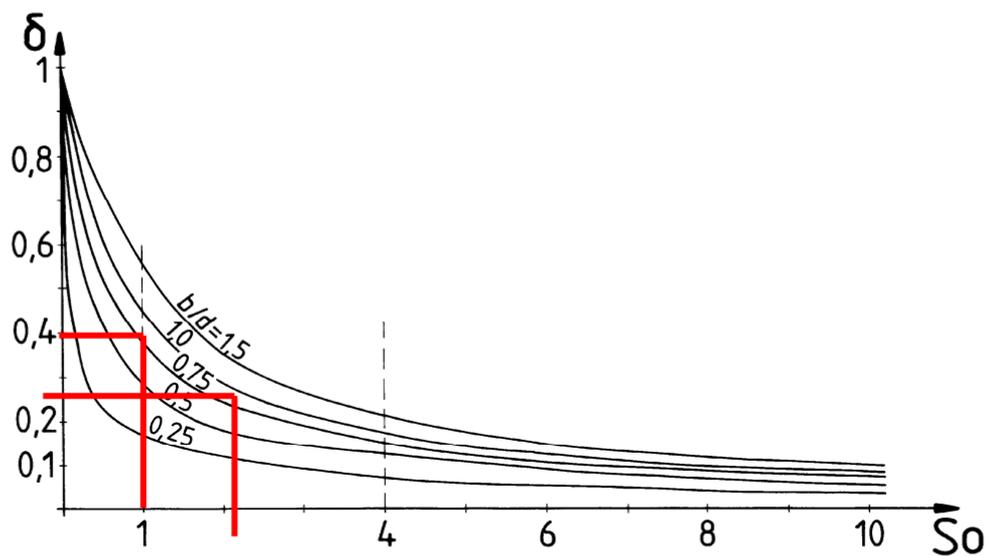
**Formeln:**

Sommerfeldzahl: 
$$So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega}$$

Relatives Lagerspiel: 
$$\psi = \frac{s}{d}, \text{ mit } s = \text{absolutes bzw. mittleres Lagerspiel}$$

Absolutes Lagerspiel: 
$$\delta = \frac{h_{\text{vorh}}}{h_{\text{max}}} = \frac{2 \cdot h_{\text{vorh}}}{d_2 - d_1}$$

Relative Schmierfilmdicke in Abhängigkeit der Sommerfeldzahl:



**Empfohlener Betriebsbereich für Gleitlager**

$So < 1$  Schnellaufbereich;  $\delta \approx 0,4$ ; ggf. Wellentanz

$So > 4$  Schwerlastbereich; ggf.  $h < h_{\text{min}}$ , Mischreibung

## Übungsaufgabe GL 013

Ein Konstrukteur hat ein hydrodynamisch geschmiertes Gleitlager ausgelegt. Als Schmiermittel soll Wasser eingesetzt werden. Folgende Daten sind bereits bekannt:

Bezeichnung	Wert
Betriebskraft	$F_R = 1000 \text{ N}$
Betriebsdrehzahl	$n = 10\,000 \text{ min}^{-1}$
Lagernenndurchmesser	$d = 42 \text{ mm}$
Breite-Durchmesserverhältniss	$b/d = 0,6$
Viskosität-Schmiermittel	$\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$
$R_{z,Welle}$ und $R_{z,Lagerschale}$	$1,6 \mu\text{m}$

Hinweis:  $1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s/m}^2$

- E-GL 1** Welche Toleranzen/Passung müssen die Welle und die Lagerschale besitzen, wenn die Sommerfeldzahl  $S = 1,3$  ist?
- E-GL 2** Aus fertigungstechnischen Gründen haben Sie sich für die Passung **H5/e5** entschieden. Ist diese Gleitlagerung unter den gegebenen Einsatzbedingungen grundsätzlich lauffähig?
- E-GL 3** Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Viskosität des Schmiermittels und dem Anwendungsfall der Gleitlagerung?

*Schmiermittel mit hoher Viskosität werden eingesetzt, bei...*

*Schmiermittel mit geringer Viskosität werden eingesetzt, bei ...*

- E-GL 4** Für welchen Anwendungsfall eignet sich Wasser, hinsichtlich der Viskosität, als Schmiermittel? Begründen Sie ihre Antwort.

## Formeln

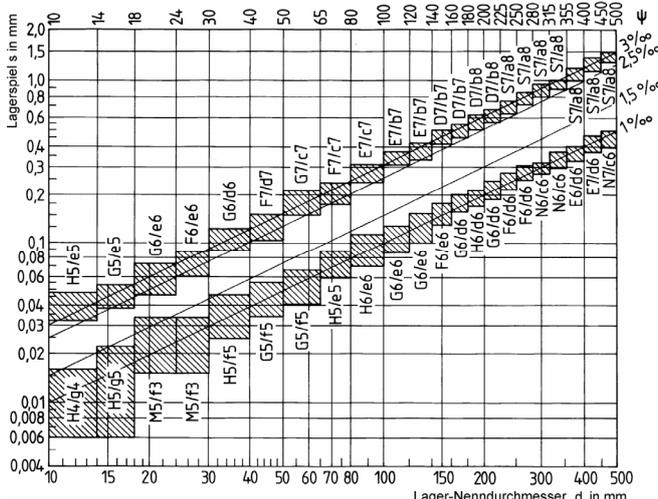
Sommerfeldzahl

$$\psi = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \approx \frac{s}{d} \quad So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot (s/d)^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So_{\min} = \frac{F_r \cdot s_{\min}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So_{\max} = \frac{F_r \cdot s_{\max}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$So$  = Sommerfeldzahl  
 $s_{\min}$  = Kleinstspiel  
 $s_{\max}$  = Größtspiel  
 $\eta$  = Dynamische Viskosität  
 $F_r$  = Radialkraft  
 $b$  = Lagerbreite  
 $d$  = Nenndurchmesser  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit



### ISO-Abmaße für Wellen (in $\mu\text{m}$ )

Lage Qualität	e						f						g										
	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10	
von 1 bis 3	-14	-14	-14	-14	-14	-14	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
	-18	-20	-24	-28	-39	-54	-8	-9	-10	-12	-16	-20	-31	-46	-4	-5	-6	-8	-12	-16	-27	-42	
über 3 bis 6	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
	-25	-28	-32	-38	-50	-68	-12,5	-14	-15	-18	-22	-28	-40	-58	-6,5	-8	-9	-12	-16	-22	-34	-52	
über 6 bis 10	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
	-31	-34	-40	-47	-61	-83	-15,5	-17	-19	-22	-28	-35	-49	-71	-7,5	-9	-11	-14	-20	-27	-41	-63	
über 10 bis 18	-32	-32	-32	-32	-32	-32	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
	-40	-43	-50	-59	-75	-102	-19	-21	-24	-27	-34	-43	-59	-86	-9	-11	-14	-17	-24	-33	-49	-76	
über 18 bis 30	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
	-49	-53	-61	-73	-92	-124	-24	-26	-29	-33	-41	-53	-72	-104	-11	-13	-16	-20	-28	-40	-59	-91	
über 30 bis 50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9
	-61	-66	-75	-89	-112	-150	-29	-32	-36	-41	-50	-64	-87	-125	-13	-16	-20	-25	-34	-48	-71	-109	

### ISO-Abmaße für Bohrungen (in $\mu\text{m}$ )

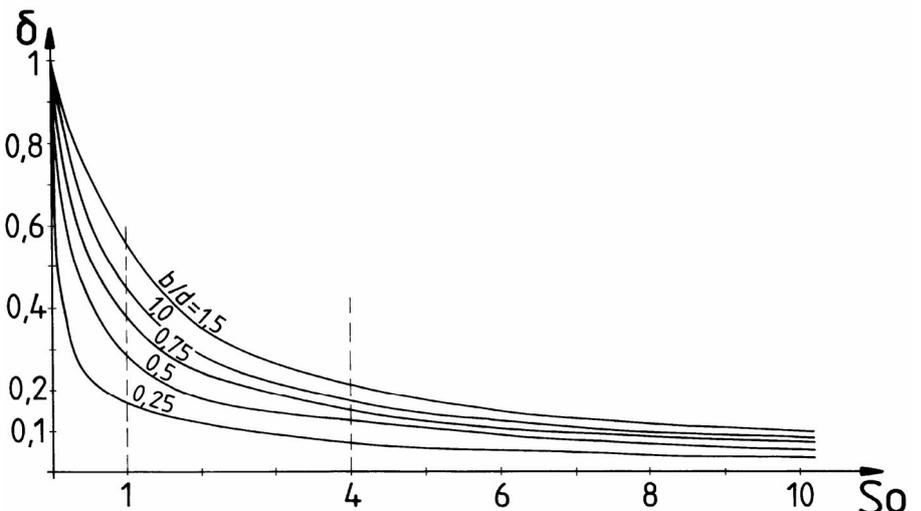
Lage Qualität	H																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
von 1 bis 3	+0,8	+1,2	+2	+3	+4	+6	+10	+14	+25	+40	+60	+100	+140	+250	+400	+600	—	—
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—
über 3 bis 6	+1	+1,5	+2,5	+4	+5	+8	+12	+18	+30	+48	+75	+120	+180	+300	+480	+750	+1200	+1800
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
über 6 bis 10	+1	+1,5	+2,5	+4	+6	+9	+15	+22	+36	+58	+90	+150	+220	+360	+580	+900	+1500	+2200
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
über 10 bis 18	+1,2	+2	+3	+5	+8	+11	+18	+27	+43	+70	+110	+180	+270	+430	+700	+1100	+1800	+2700
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
über 18 bis 30	+1,5	+2,5	+4	+6	+9	+13	+21	+33	+52	+84	+130	+210	+330	+520	+840	+1300	+2100	+3300
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
über 30 bis 50	+1,5	+2,5	+4	+7	+11	+16	+25	+39	+62	+100	+160	+250	+390	+620	+1000	+1600	+2500	+3900
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- Ermittlg. von  $\delta = f(S_o; b/d)$  mittels Diagramm rechts (vgl. vorn)
- Ermittlg. von  $\delta_{\max}$  für  $S_{o\min}$  und  $b/d$ ; Kontrolle:  $\delta_{\max} < 0,4$  ?
- Ermittlg. von  $\delta_{\min}$  für  $S_{o\max}$  und  $b/d$ ; Kontrolle:

$$h_{\text{vorhmin}} = \delta_{\min} \cdot \frac{S_{\max}}{2}$$

$$\geq R_{Z\text{Welle}} + R_{Z\text{Lagerschale}}$$

Sind beide Bedingungen erfüllt, ist das Lager grundsätzlich lauffähig.



## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 013

Ein Konstrukteur hat ein hydrodynamisch geschmiertes Gleitlager ausgelegt. Als Schmiermittel soll Wasser eingesetzt werden. Folgende Daten sind bereits bekannt:

Bezeichnung	Wert
Betriebskraft	$F_R = 1000 \text{ N}$
Betriebsdrehzahl	$n = 10\,000 \text{ min}^{-1}$
Lagernennendurchmesser	$d = 42 \text{ mm}$
Breite-Durchmesserverhältniss	$b/d = 0,6$
Viskosität Schmiermittel	$\eta = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa s}$
$R_{z,Welle}$ und $R_{z,Lagerschale}$	$1,6 \mu\text{m}$

*Hinweis:*  $1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s/m}^2$

**E-GL 1** Welche Toleranzen/Passung müssen die Welle und die Lagerschale besitzen, wenn die Sommerfeldzahl  $S = 1,3$  ist?

**Lösung:**

$$S_o = \frac{F_R \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega} \Rightarrow s = \sqrt{\frac{S_o \cdot b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}{F_R}}$$

$$\eta = 1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} = 1 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 10\,000 \frac{1}{\text{min} \cdot 60} = 1047,2 \text{ s}^{-1}$$

(0,5 P)

$$s = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 25,2 \text{ mm} \cdot (42 \text{ mm})^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \cdot 1047,2 \text{ s}^{-1}}{1000 \text{ N}}} = 0,05042 \text{ mm}$$

Mit Hilfe des Lagernennendurchmessers und dem berechneten Lagerspiel kann dem Diagramm die Passung G5/f5 entnommen werden.

Lösung der Aufgabe mit Hilfe des relativen Lagerspiel verläuft analog!

**E-GL 2** Aus fertigungstechnischen Gründen haben Sie sich für die Passung **H5/e5** entschieden. Ist diese Gleitlagerung unter den gegebenen Einsatzbedingungen grundsätzlich lauffähig?

**Lösung:**

$$\varnothing 42\text{H5} \cong \varnothing 42_{+0}^{+0,011}$$

$$\varnothing 42\text{e5} \cong \varnothing 42_{-0,061}^{-0,05}$$

$$s_{\min} = 0,05 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 0,072 \text{ mm}$$

$$S_{o_{\min}} = \frac{F_R \cdot s_{\min}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{1000 \text{ N} \cdot (0,05 \text{ mm})^2}{25,2 \text{ mm} \cdot (42 \text{ mm})^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \cdot 1047,7 \frac{1}{\text{s}}} = 1,28$$

$$S_{o_{\max}} = \frac{F_R \cdot s_{\max}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{1000 \text{ N} \cdot (0,072 \text{ mm})^2}{25,2 \text{ mm} \cdot (42 \text{ mm})^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\text{Ns}}{\text{mm}^2} \cdot 1047,7 \frac{1}{\text{s}}} = 2,650$$

$\delta_{\max} \approx 0,2 \rightarrow$  Damit ist die Bedingung  $\delta_{\max} < 0,4$  erfüllt!

$\delta_{\min} \approx 0,3 \Rightarrow h_{\text{vorh},\min} = 0,0108 \text{ mm} \Rightarrow h_{\text{vorh},\min} \geq 0,0016 \text{ mm}$

Die Gleitlagerung ist grundsätzlich lauffähig!

**E-GL 3** Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Viskosität des Schmiermittels und dem Anwendungsfall der Gleitlagerung?

**Lösung:**

*Schmiermittel mit hoher Viskosität werden eingesetzt, bei...*

*Anwendungsfällen mit niedrigen Drehzahlen und hoher Belastung*

*Schmiermittel mit geringer Viskosität werden eingesetzt, bei ...*

*Anwendungsfällen mit hoher Drehzahl und geringer Belastung*

**E-GL 4** Für welchen Anwendungsfall eignet sich Wasser, hinsichtlich der Viskosität, als Schmiermittel? Begründen Sie ihre Antwort.

**Lösung:**

- Die Viskosität von Wasser ist geringer als die Viskosität üblicher Schmiermittel.
- Durch die geringe Viskosität ist die Reibung gering (im Vergleich zu konventionellen Schmiermitteln)
- Aufgrund der geringen Reibung eignet sich Wasser als Schmiermittel nur bei Anwendungsfällen mit sehr hoher Drehzahl und geringer Belastung



### ISO-Abmaße für Bohrungen (in $\mu\text{m}$ )

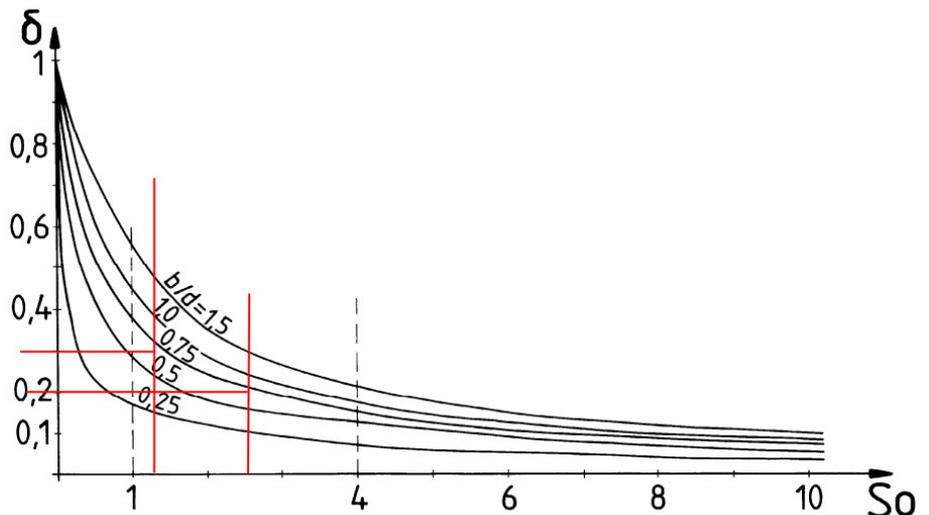
Lage Qualität	H																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
von 1 bis 3	+0,8 0	+1,2 0	+2 0	+3 0	+4 0	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+100 0	+140 0	+250 0	+400 0	+600 0	—	—
über 3 bis 6	+1 0	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+120 0	+180 0	+300 0	+480 0	+750 0	+1200 0	+1800 0
über 6 bis 10	+1 0	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+150 0	+220 0	+360 0	+580 0	+900 0	+1500 0	+2200 0
über 10 bis 18	+1,2 0	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+11 0	+18 0	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+180 0	+270 0	+430 0	+700 0	+1100 0	+1800 0	+2700 0
über 18 bis 30	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+210 0	+330 0	+520 0	+840 0	+1300 0	+2100 0	+3300 0
über 30 bis 50	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+7 0	+11 0	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+250 0	+390 0	+620 0	+1000 0	+1600 0	+2500 0	+3900 0

- Ermittlg. von  $\delta = f(S_o; b/d)$  mittels Diagramm rechts (vgl. vorn)
- Ermittlg. von  $\delta_{\max}$  für  $S_{o\min}$  und  $b/d$ ; Kontrolle:  $\delta_{\max} < 0,4$  ?
- Ermittlg. von  $\delta_{\min}$  für  $S_{o\max}$  und  $b/d$ ; Kontrolle:

$$h_{\text{vorhmin}} = \delta_{\min} \cdot \frac{S_{\max}}{2}$$

$$\geq R_{z\text{Welle}} + R_{z\text{Lagerschale}}$$

Sind beide Bedingungen erfüllt, ist das Lager grundsätzlich lauffähig.



## Übungsaufgabe GL 014

Ein Konstrukteur hat ein hydrodynamisch geschmiertes Gleitlager ausgewählt. Folgende Daten sind bereits bekannt:

Bezeichnung	Wert
Betriebskraft	$F_R = 30 \text{ kN}$
Betriebsdrehzahl	$n = 1500 \text{ min}^{-1}$
Lagernendurchmesser	$d = 65 \text{ mm}$
Breite-Durchmesserverhältnis	$b/d = 0,6$
Viskosität-Schmiermittel	$\eta = 0,079 \text{ Pa s}$

**E-GL 1** Welchen Werkstoff wählen Sie für die Lagerschale? Begründen Sie Ihre Auswahl durch eine Berechnung.

**E-GL 2** Legen Sie eine geeignete Passung für die Kombination Welle/Lagerschale fest.

**E-GL 3** Ein Konstrukteur hat sich für die Passung G7/c8 entschieden. Berechnen Sie die Sommerfeldzahl für das Größt- und Kleinstspiel und überprüfen Sie ob das Lager lauffähig ist.

**E-GL 4** Sie haben festgestellt, dass die Sommerfeldzahlen zu hoch sind und das Lager nicht lauffähig ist. Nennen Sie zwei Maßnahmen um die Funktionsfähigkeit des Lagers sicherzustellen. Die radiale Kraft kann nicht verändert werden!

## Formeln

$$1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s/m}^2$$

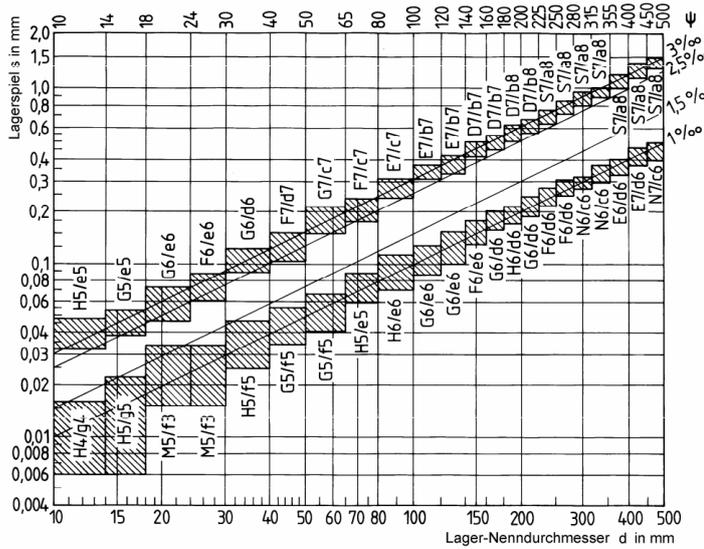
### Sommerfeldzahl

$$\psi = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \approx \frac{s}{d} \quad So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot (s/d)^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So_{\min} = \frac{F_r \cdot s_{\min}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So_{\max} = \frac{F_r \cdot s_{\max}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$So$  = Sommerfeldzahl  
 $s_{\min}$  = Kleinstspiel  
 $s_{\max}$  = Größtspiel  
 $\eta$  = Dynamische Viskosität  
 $F_r$  = Radialkraft  
 $b$  = Lagerbreite  
 $d$  = Nenndurchmesser  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit



$$p_m = \frac{F_r}{b \cdot d} = \frac{F_r}{d^2 \cdot (b/d)} \leq p_{mzul}$$

Werkstoff Lagerschale (Welle aus Stahl)	Zul. mittl. Lagerdruck $p_{mzul}$ in N/mm <sup>2</sup>	
	hydrodynamisch	Mischreibung
Bronze	20	0,5
Weißmetall	10	2,5
sonst. Kunststoffe (geschmiert)	1 - 2	0,5 - 1

ISO-Abmaße für Wellen (in µm)

	a					b						c				
	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12
von 1	-270	-270	-270	-270	-270	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-60	-60	-60	-60	-60
bis 3	-295	-310	-330	-370	-410	-154	-165	-180	-200	-240	-280	-74	-85	-100	-120	-160
über 3	-270	-270	-270	-270	-270	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-70	-70	-70	-70	-70
bis 6	-300	-318	-345	-390	-450	-158	-170	-188	-215	-260	-320	-88	-100	-118	-145	-190
über 6	-280	-280	-280	-280	-280	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-80	-80	-80	-80	-80
bis 10	-316	-338	-370	-430	-500	-172	-186	-208	-240	-300	-370	-102	-116	-138	-170	-230
über 10	-290	-290	-290	-290	-290	-150	-150	-150	-150	-150	-150	-95	-95	-95	-95	-95
bis 18	-333	-360	-400	-470	-580	-177	-193	-220	-260	-330	-420	-122	-138	-165	-205	-275
über 18	-300	-300	-300	-300	-300	-160	-160	-160	-160	-160	-160	-110	-110	-110	-110	-110
bis 30	-352	-384	-430	-510	-630	-193	-212	-244	-290	-370	-490	-143	-162	-194	-240	-320
über 30	-310	-310	-310	-310	-310	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-120	-120	-120	-120	-120
bis 40	-372	-410	-470	-560	-700	-209	-232	-270	-330	-420	-560	-159	-182	-220	-280	-370
über 40	-320	-320	-320	-320	-320	-180	-180	-180	-180	-180	-180	-130	-130	-130	-130	-130
bis 50	-382	-420	-480	-570	-710	-219	-242	-280	-340	-430	-570	-169	-192	-230	-290	-380
über 50	-340	-340	-340	-340	-340	-190	-190	-190	-190	-190	-190	-140	-140	-140	-140	-140
bis 65	-414	-460	-530	-640	-800	-236	-264	-310	-380	-490	-650	-186	-214	-260	-330	-440
über 65	-360	-360	-360	-360	-360	-200	-200	-200	-200	-200	-200	-150	-150	-150	-150	-150
bis 80	-434	-480	-550	-660	-820	-246	-274	-320	-390	-500	-660	-196	-224	-270	-340	-450

ISO-Abmaße für Bohrungen (in µm)

	G									
	3	4	5	6	7	8	9	10		
von 1	+4	+5	+6	+8	+12	+16	+27	+42		
bis 3	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2		
über 3	+6,5	+8	+9	+12	+16	+22	+34	+52		
bis 6	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4		
über 6	+7,5	+9	+11	+14	+20	+27	+41	+63		
bis 10	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5		
über 10	+9	+11	+14	+17	+24	+33	+49	+76		
bis 18	+6	+6	+6	+6	+6	+6	+6	+6		
über 18	+11	+13	+16	+20	+28	+40	+59	+91		
bis 30	+7	+7	+7	+7	+7	+7	+7	+7		
über 30	+13	+16	+20	+25	+34	+48	+71	+109		
bis 50	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+9		
über 50			+23	+29	+40	+56				
bis 80			+10	+10	+10	+10				

## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 014

Ein Konstrukteur hat ein hydrodynamisch geschmiertes Gleitlager ausgewählt. Folgende Daten sind bereits bekannt:

Bezeichnung	Wert
Betriebskraft	$F_R = 30 \text{ kN}$
Betriebsdrehzahl	$n = 1500 \text{ min}^{-1}$
Lagernendurchmesser	$d = 65 \text{ mm}$
Breite-Durchmesser Verhältnis	$b/d = 0,6$
Viskosität-Schmiermittel	$\eta = 0,079 \text{ Pa s}$

**E-GL 1** Welchen Werkstoff wählen Sie für die Lagerschale? Begründen Sie Ihre Auswahl durch eine Berechnung.

**Lösung:**

$$p_m = \frac{F_R}{b \cdot d} = \frac{30.000 \text{ N}}{39 \text{ mm} \cdot 65 \text{ mm}} \approx 11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

*Aufgrund des mittleren Lagerdrucks wird Bronze als Werkstoff ausgewählt!*

**E-GL 2** Legen Sie eine geeignete Passung für die Kombination Welle/Lagerschale fest.

**Lösung:**

*Passung nach Diagramm: F7/c7*

**E-GL 3** Ein Konstrukteur hat sich für die Passung G7/c8 entschieden. Berechnen Sie die Sommerfeldzahl für das Größt- und Kleinstspiel und überprüfen Sie ob das Lager lauffähig ist.

**Lösung:**

$$65 \text{ G7} \cong 65_{+0,01}^{+0,04}$$

$$65 \text{ c8} \cong 65_{-0,186}^{-0,140}$$

$$s_{\min} = 0,150 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 0,226 \text{ mm}$$

$$S_{O_{\min}} = \frac{30.000 \text{ N} \cdot (0,150 \text{ mm})^2}{39 \text{ mm} \cdot (65 \text{ mm})^3 \cdot 7,9 \cdot 10^{-8} \text{ N/mm}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 25 \text{ s}^{-1}} = 5,08$$

$$So_{\max} = \frac{30.000 \text{ N} \cdot (0,226 \text{ mm})^2}{39 \text{ mm} \cdot (65 \text{ mm})^3 \cdot 7,9 \cdot 10^{-8} \text{ N/mm}^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 25 \text{ s}^{-1}} = 11,53$$

- *Das Lager ist nicht Lauffähig, da die max. Sommerfeldzahl außerhalb des zulässigen Bereichs liegt.*

**E-GL 4** Sie haben festgestellt, dass die Sommerfeldzahlen zu hoch sind und das Lager nicht lauffähig ist. Nennen Sie zwei Maßnahmen, um die Funktionsfähigkeit des Lagers sicherzustellen. Die radiale Kraft kann nicht verändert werden!

**Lösung:**

- *Einsatz eines Öls mit höhere Viskosität*
- *Verhältnis b/d erhöhen*

## Übungsaufgabe GL 015

Es ist ein hydrodynamisches Radiallager für einen Motor eines Walzwerks auszulegen. Folgende Daten sind gegeben:

Bezeichnung	Wert
Leistung des Motors	2900 kW
Drehzahl	80 min <sup>-1</sup>
Lagernenndurchmesser	$d = 0,4$ m
Tragende Lagerbreite	$b = 0,3$ m
Radialkraft	$F = 200.000$ N
Werkstoff Welle- Lagerschale	Stahl - Weißmetall
Relatives Lagerspiel	$\psi = 0,5$ ‰

**E-GL 1** Welche dynamische Viskosität muss das Öl besitzen, wenn im Betrieb eine relative Schmierfilmdicke von  $\delta = 0,3$  vorhanden sein soll?

**E-GL 2** Wie groß ist die theoretisch ideale Betriebsdrehzahl bei einer Viskosität von  $\eta = 0,04$  Pa s und  $h_{\min} = 0,004$  mm?

**E-GL 3** Bei einem vergleichbaren Lager ist die zulässige Radialkraft im Betrieb nicht bekannt. Sie wissen, dass das Lager eine Sommerfeldzahl von  $So = 3$  besitzt. Welche Radialkräfte sind für dieses Lager zulässig? ( $\eta = 0,04$  Pa s)

### Formeln

$$1 \text{ Pa s} = 1 \text{ N s/m}^2$$

#### Sommerfeldzahl

$$\psi = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \approx \frac{s}{d} \quad So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot (s/d)^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{F_r \cdot s^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So_{\min} = \frac{F_r \cdot s_{\min}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$So_{\max} = \frac{F_r \cdot s_{\max}^2}{b \cdot d^3 \cdot \eta \cdot \omega}$$

$So$  = Sommerfeldzahl  
 $F_r$  = Radialkraft  
 $s_{\min}$  = Kleinstspiel  
 $b$  = Lagerbreite  
 $s_{\max}$  = Größtspiel  
 $d$  = Nenndurchmesser  
 $\eta$  = Dynamische Viskosität  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit

$$p_m = \frac{F_r}{b \cdot d} = \frac{F_r}{d^2 \cdot (b/d)} \leq p_{m \text{ zul}}$$

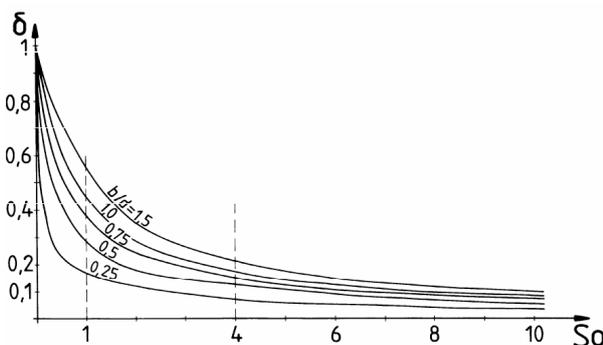
Werkstoff Lagerschale (Welle aus Stahl)	Zul. mittl. Lagerdruck $p_{m \text{ zul}}$ in N/mm <sup>2</sup>	
	hydrodynamisch	Mischreibung
Bronze	20	0,5
Weißmetall	10	2,5
sonst. Kunststoffe (geschmiert)	1 - 2	0,5 - 1

Reibleistung  $P_R$ :

$$P_R = F_R \cdot v = \mu \cdot F_r \cdot \omega \cdot \frac{d}{2}$$

$F_R$  = Reibkraft  
 $F_r$  = Radialkraft  
 $\mu$  = Reibbeiwert

$v$  = Relativgeschwindigkeit  
 $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit  
 $d$  = Nenndurchmesser



– Grenz-Übergangswinkelgeschwindigkeit

$$\omega_{a0} = 1,8 \cdot \frac{F_r \cdot \psi \cdot h_{\min}}{b \cdot d^2 \cdot \eta}$$

$F_r$  = Radialkraft  
 $\psi$  = Relatives Lagerspiel (s. oben)  
 $h_{\min}$  = Minimale Schmierfilmdicke  
 $b$  = Lagerbreite,  $d$  = Nenndurchmesser  
 $\eta$  = Dynamische Viskosität des Öls

## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 015

Es ist ein hydrodynamisches Radiallager für einen Motor eines Walzwerks auszulegen. Folgende Daten sind gegeben:

Bezeichnung	Wert
Leistung des Motors	2900 kW
Drehzahl	80 min <sup>-1</sup>
Lagernenndurchmesser	$d = 0,4 \text{ m}$
Tragende Lagerbreite	$b = 0,3 \text{ m}$
Radialkraft	$F = 200.000 \text{ N}$
Werkstoff Welle- Lagerschale	Stahl - Weißmetall
Relatives Lagerspiel	$\psi = 0,5 \text{ ‰}$

**E-GL 1** Welche dynamische Viskosität muss das Öl besitzen, wenn im Betrieb eine relative Schmierfilmdicke von  $\delta = 0,3$  vorhanden sein soll?

**Lösung:**

$$\frac{b}{d} = \frac{0,3 \text{ m}}{0,4 \text{ m}} = 0,75 \quad \text{Aus Diagramm:} \quad S_o = 1,5$$

$$S_o = \frac{F_R \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega \cdot d \cdot b}$$

$$\Leftrightarrow \eta = \frac{F_R \cdot \psi^2}{S_o \cdot \omega \cdot d \cdot b} = \frac{200.000 \text{ N} \cdot (0,0005)^2}{1,5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,33 \cdot \frac{1}{s} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}} = \frac{0,05 \text{ N s}}{1,507 \text{ m}^2}$$

$$\Leftrightarrow \eta = 0,0332 \frac{\text{N s}}{\text{mm}}$$

**E-GL 2** Wie groß ist die theoretisch ideale Betriebsdrehzahl bei einer Viskosität von  $\eta = 0,04 \text{ Pa s}$  und  $h_{\min} = 0,004 \text{ mm}$ ?

**Lösung:**

$$\omega_{\text{ü0}} = 1,8 \cdot \frac{200.000 \text{ N} \cdot 0,0005 \cdot 0,004 \text{ mm}}{300 \text{ mm} \cdot (400 \text{ mm})^2 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \frac{\text{N s}}{\text{mm}^2}}$$

$$\omega_{\text{ü0}} = \frac{0,72 \text{ Nmm}}{1,92 \text{ N s mm}} = 0,375 \frac{1}{s} = 22,5 \frac{1}{\text{min}}$$

**E-GL 3** Bei einem vergleichbaren Lager ist die zulässige Radialkraft im Betrieb nicht bekannt. Sie wissen, dass das Lager eine Sommerfeldzahl von  $So = 3$  besitzt. Welche Radialkräfte sind für dieses Lager zulässig? ( $\eta = 0,04 \text{ Pa s}$ )

**Lösung:**

$$So = \frac{F_r \cdot \psi^2}{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega}$$

$$\Leftrightarrow F_R \leq \frac{b \cdot d \cdot \eta \cdot \omega \cdot So}{\psi^2} = \frac{0,3\text{m} \cdot 0,4\text{m} \cdot 0,04 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,33 \frac{1}{\text{s}} \cdot 3}{(0,0005)^2}$$

$$\Leftrightarrow F_R \leq 481.342,26\text{N}$$

Überprüfen des zul. mittl. Lagerdrucks!

$$p_m = \frac{F_R}{b \cdot d} = \frac{481.342,26 \text{ N}}{400 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm}} = 4,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

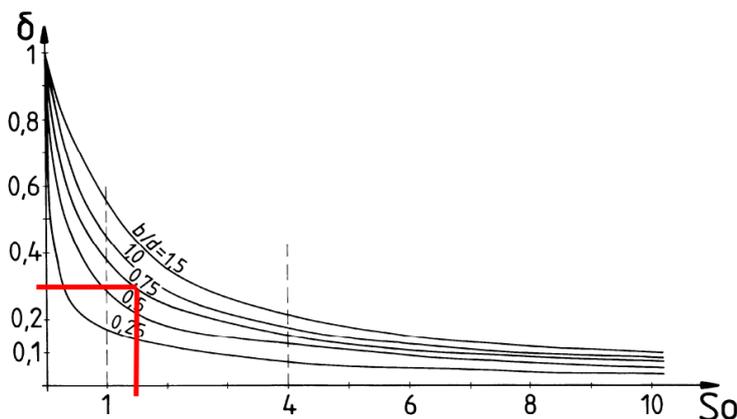
*Problem: Die zul. Flächenpressung wird während dem Hochfahren überschritten.*

*Abhilfe: Kraft langsam erhöhen od. Lagerkonstruktion ändern*

Alternative:  $F_R \leq p_m \cdot b \cdot d$

$$F_R \leq 2,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm} = 300.000 \text{ N}$$

*Festlegen der max. Kraft auf 300.000 N*



## Übungsaufgabe GL 016

Die Betriebsbedingungen eines Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Radialkraft:	$F_r = 10.000 \text{ N}$	Lagernendurchmesser:	$d = 50 \text{ mm}$
Betriebsdrehzahl:	$n = 750 \text{ min}^{-1}$	Toleranz:	F6/e6
Lagernennbreite:	$b = 75 \text{ mm}$	Relative Schmierfilmdicke:	$\delta = 0,4$

Das Lager wird durch Luft mit einer Geschwindigkeit von  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  bei einer Temperatur von  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  gekühlt.

**E-GL 1** Welche dynamische Viskosität  $\eta$  muss das Öl haben, damit sich der beschriebene Betriebsfall bei **Mittenspiel** einstellt?

**E-GL 2** Auf welche Temperatur erwärmt sich das Lager im Betrieb?

**E-GL 3** Welche Gefahr besteht bei einem hydrodynamischen Gleitlager, wenn die Radiallast plötzlich abfällt? Wie kann diesem Problem konstruktiv entgegengewirkt werden?

### Formeln:

Toleranzen:  $F6 = \begin{smallmatrix} +33 \\ +20 \end{smallmatrix}; e6 = \begin{smallmatrix} -40 \\ -53 \end{smallmatrix}$

Sommerfeldzahl:  $So = \frac{p_m \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega}$

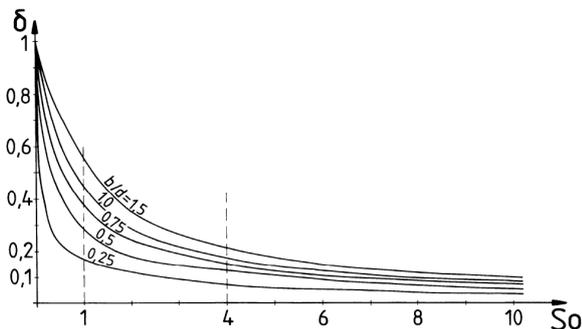
Relatives Lagerspiel:  $\psi = \frac{s}{d}$ , mit  $s$  = absolutes bzw. mittleres Lagerspiel

$So$	$\mu$
$< 1$	$\approx 3 \cdot \psi / So$
$> 1$	$\approx 3 \cdot \psi / \sqrt{So}$

Reibleistung:  $P_R = F_R \cdot v = \mu \cdot F_r \cdot \omega \cdot \frac{d}{2}$

Abgeführte Wärmemenge bei Luftkühlung:  $\dot{Q}_{ab} = \alpha \cdot A \cdot (t - t_L)$ ; mit  $\frac{\alpha}{\left[ \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \right]} = 7 + 12 \cdot \sqrt{\frac{v}{[\text{m/s}]}}$  und  $A \approx 30 \cdot d \cdot b + 15 \cdot d^2$

Relative Schmierfilmdicke in Abhängigkeit der Sommerfeldzahl:



## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 016

Die Betriebsbedingungen eines Radialgleitlagers sind durch die folgenden Größen gekennzeichnet:

Radialkraft:	$F_r = 10.000 \text{ N}$	Lagernenndurchmesser:	$d = 50 \text{ mm}$
Betriebsdrehzahl:	$n = 750 \text{ min}^{-1}$	Toleranz:	F6/e6
Lagernennbreite:	$b = 75 \text{ mm}$	Relative Schmierfilmdicke:	$\delta = 0,4$

Das Lager wird durch Luft mit einer Geschwindigkeit von  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  bei einer Temperatur von  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  gekühlt.

**GL 1** Welche dynamische Viskosität  $\eta$  muss das Öl haben, damit sich der beschriebene Betriebsfall bei **Mittenspiel** einstellt?

$$\frac{b}{d} = \frac{75\text{mm}}{50\text{mm}} = 1,5 \quad \delta = 0,4 \quad \text{aus Diagr.} \Rightarrow S_o \approx 1,8 \quad (1\text{P})$$

$$S_{mit} = \frac{S_{max} + S_{min}}{2} = \frac{0,086 + 0,06}{2} = 0,073\text{mm} \Rightarrow \psi \approx \frac{s}{d} = \frac{0,073\text{mm}}{50\text{mm}} = 1,46 \cdot 10^{-3} \quad (1\text{P})$$

$$S_o = 1,8 = \frac{F_r \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega \cdot d \cdot b} \quad \eta = \frac{F_r \cdot \psi^2}{S_o \cdot \omega \cdot b \cdot d} \quad (0,5\text{P})$$

$$= \frac{10.000\text{N} \cdot 0,00146^2}{1,8 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 750 \frac{1}{\text{min}} \cdot \frac{1}{60} \cdot 75\text{mm} \cdot 50\text{mm}} = 4,021 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Ns}}{\text{mm}} \quad (1\text{P})$$

**GL 2** Auf welche Temperatur erwärmt sich das Lager im Betrieb?

Wärmebilanz:  $P_R = \dot{Q}_{ab}$

$$\mu \cdot F_R \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{d}{2} = \alpha \cdot A \cdot (t - t_l)$$

$$\frac{\mu \cdot F_R \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{d}{2}}{\alpha \cdot A} + t_l = t$$

(1P)

$$\alpha = 7 + 12 \cdot \sqrt{2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 23,97 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2}$$

(1P)

$$A \approx 30 \cdot 75\text{mm} \cdot 50\text{mm} + 15 \cdot (50\text{mm})^2 \approx 0,15\text{m}^2$$

(0,5P)

$$\mu \approx \frac{3 \cdot \psi}{\sqrt{50}} \approx \frac{3 \cdot 0,00146}{\sqrt{1,8}} \approx 0,00326$$

$$t = \frac{0,00326 \cdot 10.000\text{N} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 750 \cdot \frac{1}{60\text{s}} \cdot \frac{50\text{mm}}{2}}{23,97 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2} \cdot 0,15 \text{m}^2} + 303,15\text{K} = 321 \text{K}$$

(1P)

**GL 3** Welche Gefahr besteht bei einem hydrodynamischen Gleitlager, wenn die Radiallast plötzlich abfällt? Wie kann diesem Problem konstruktiv entgegengewirkt werden?

„Wellentanz“: Zentrische Lage

⇒ Ein sich verengender Schmierpalt ist nicht vorhanden

(0,5P)

Abhilfe: z.B. Mehrflächengleitlager

(0,5P)



## LÖSUNG zu Übungsaufgabe GL 017

Die auf der Titanic verbaute Parson Turbine hatte ein Drehmoment von 681.000 Nm bei einer Drehzahl von 165 1/min. Der Lagernennendurchmesser der Antriebswelle betrug 380 mm. Die Antriebswelle wurde aus Stahl, die Lagerbuchse aus Bronze gefertigt.

**E-GL 1** Welches relative Lagerspiel würden Sie für das Lager anstreben?

**Lösung:**

$$2,5 - 3 \text{ ‰}$$

**E-GL 2** Legen Sie eine geeignete Passung für die Kombination Welle/Lagerschale fest!

**Lösung:**

*S7/a8*

**E-GL 3** Welche Reibungsarten treten bei der Verwendung von Gleitlagern auf?

**Lösung:**

*-Festkörperreibung*

*-Mischkörperreibung*

*-Flüssigkeitsreibung*

**E-GL 4** Nennen Sie vier Vorteile von Gleitlagern gegenüber Wälzlagern.

**Lösung:**

*- Im Nennbetriebspunkt näherungsweise verschleißfrei*

*-geringerer Fertigungsaufwand*

*-geringere Baugröße*

*-kostengünstig*

*... weitere Antworten möglich*

**E-GL 5** Welche Phasen durchläuft ein hydrodynamisches Gleitlager während seiner Beschleunigung vom Stillstand bis zur Betriebsdrehzahl?  
Skizzieren Sie den prinzipiellen Verlauf der Stribeck-Kurve und kennzeichnen Sie die einzelnen Bereiche!

**Lösung:**

