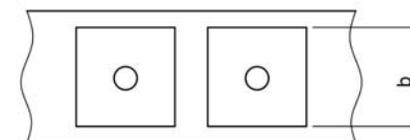
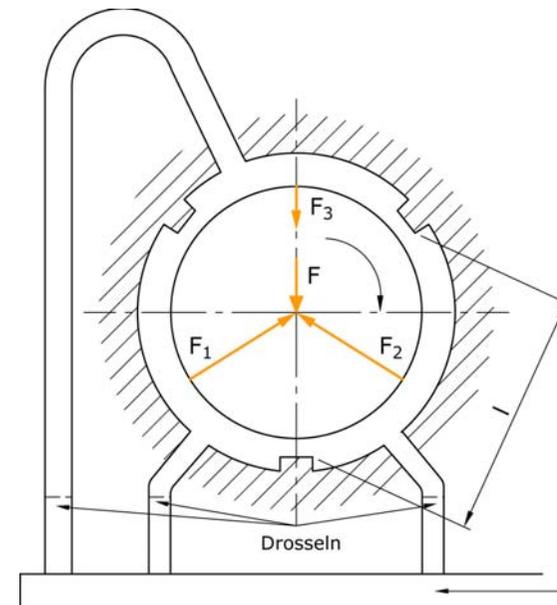
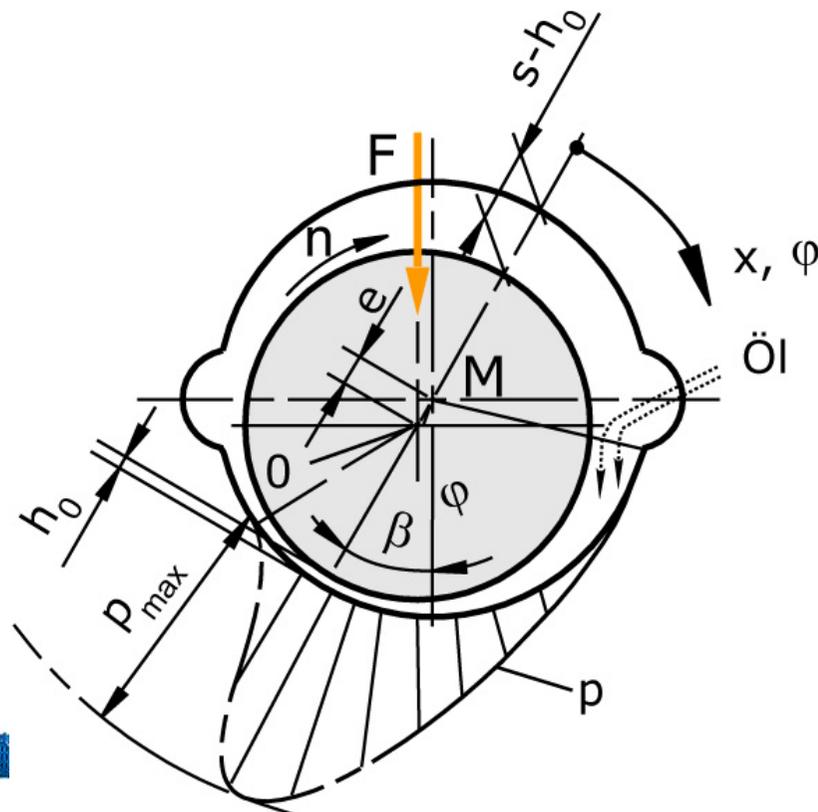
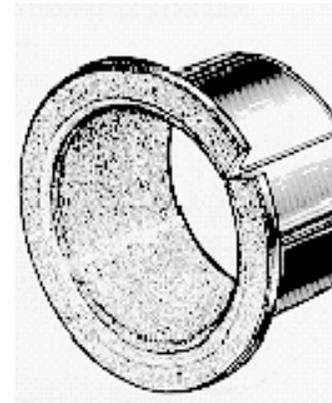


# 6.4 Gleitlager

## Einteilung nach Funktionsprinzip

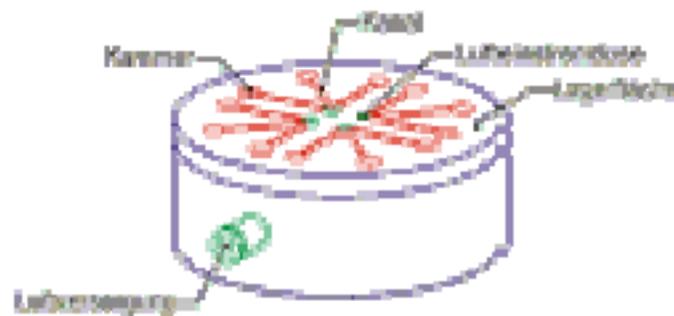
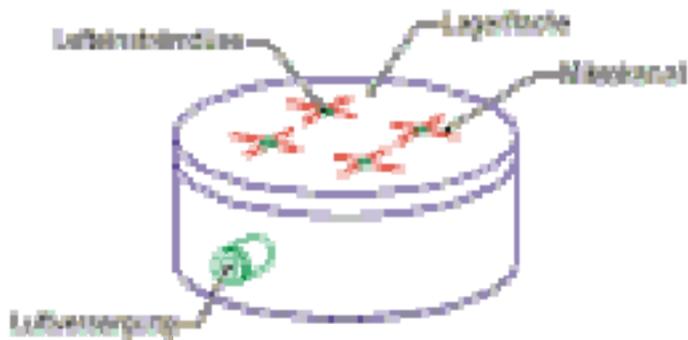
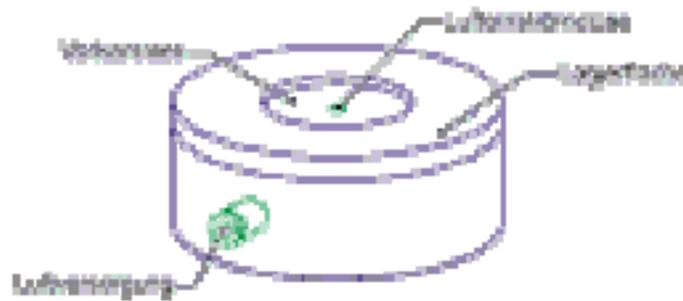
- Festkörperreibungslager
- Mischreibungslager
- Hydrodynamische Lager
- Hydrostatische Lager



# 6.4 Gleitlager

## Einteilung nach Funktionsprinzip

- Aerodynamische Lager
- Aerostatische Lager



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

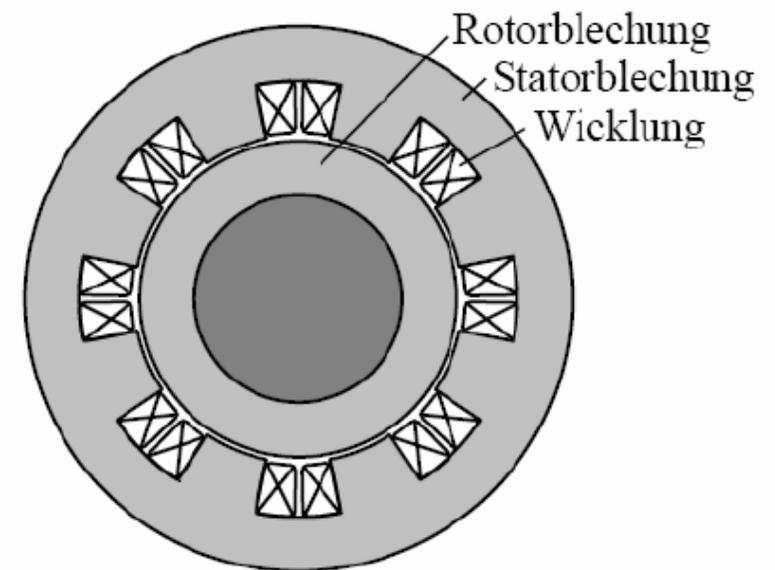
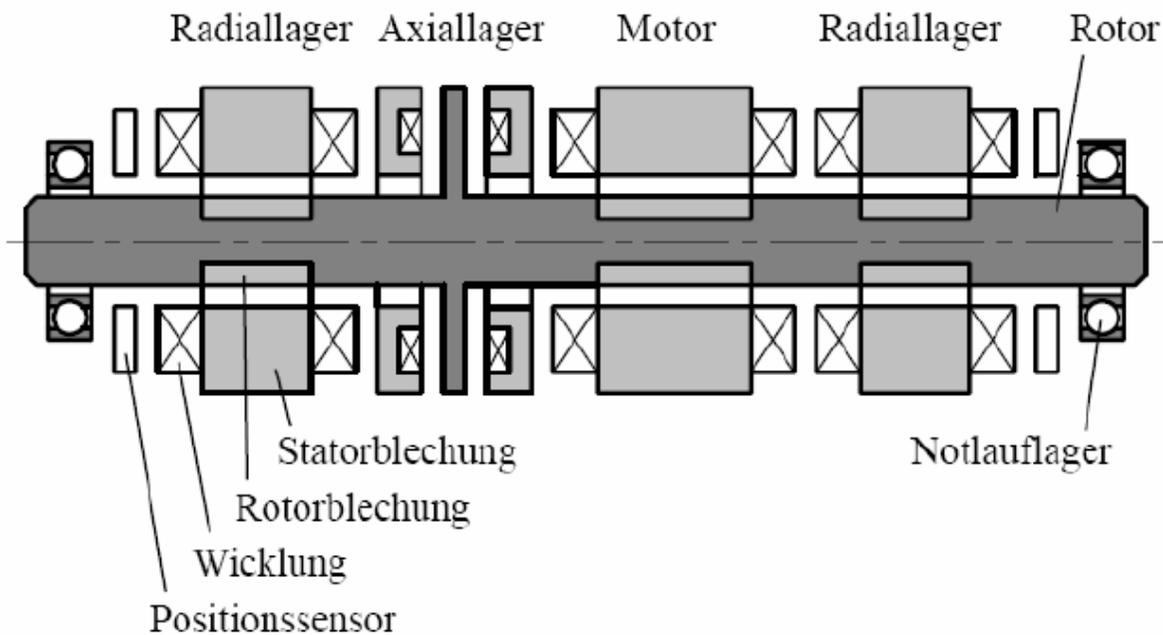
**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 6.4 Gleitlager

## Einteilung nach Funktionsprinzip

- Magnetlager



## 6.4 Gleitlager

---

Einteilung nach dem Schmierstoff:

- Nicht geschmierte Lager,
- feststoffgeschmierte Lager,
- fettgeschmierte Lager,
- ölgeschmierte Lager,
- wassergeschmierte Lager und
- gasgeschmierte Lager.

Einteilung nach der Krafrichtung:

- Radiallager, Querlager (Traglager): für radiale Kräfte
- Axiallager, Längslager (Spurlager): für axiale Kräfte



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4 Verwendete Materialien

---

Werkstoff (-aufbau) der Lagerschale

- **Monometallische Werkstoffe:** Weißmetalle (z. B. Zinn, Zink, Nickel, Blei, Wismut), Rotguss (z. B. Kupferbronze, Sinterbronze, Massivbronze, Zinnbronzen, Bleibronze), Leichtmetalle (z. B. Aluminiumbronze)
- **Zweischichtwerkstoffe:** Metall-Kunststoff-Verbund (z. B. Stahlrücken mit Gleitschicht aus PVDF, PTFE), Metall-Metall-Verbund (z. B. Stahlrücken mit Gleitschicht aus Bleibronze-Verbundmaterial)
- **Mehrschichtwerkstoffe:** Metall-Kunststoff-Verbund (z. B. St + Sinterbronze + (PTFE + Pb))
- **Thermoplastische Compounds:** Bestehen aus einer Kunststoffmatrix, in die Füllstoffe und Festschmierstoffe homogen eingebunden sind. Die Füllstoffe sorgen für die erforderliche mechanische Festigkeit und je nach Typ für eine hohe Verschleißfestigkeit, eine verbesserte Wärmeabfuhr oder für elektrostatische Leitfähigkeit. Die Festschmierstoffzusätze ermöglichen niedrige Reibungszahlen (z. B. PBT + Bronzepulver + PTFE).
- **Faserverstärkte Kunststoffverbundwerkstoffe:** z. B. verschleißfestes Harz verstärkt mit organischen Fasern und modifizierten Gleitzusätzen.
- **Keramik**



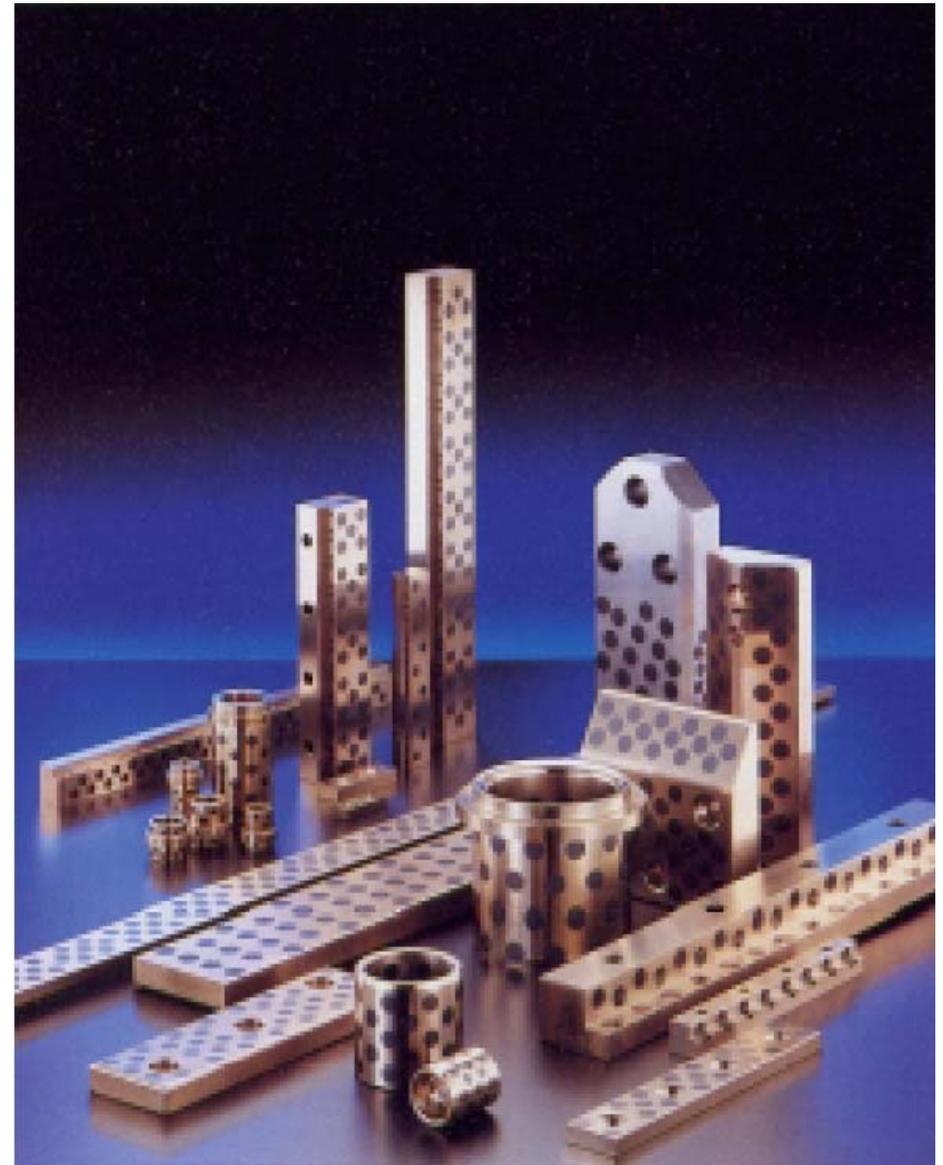
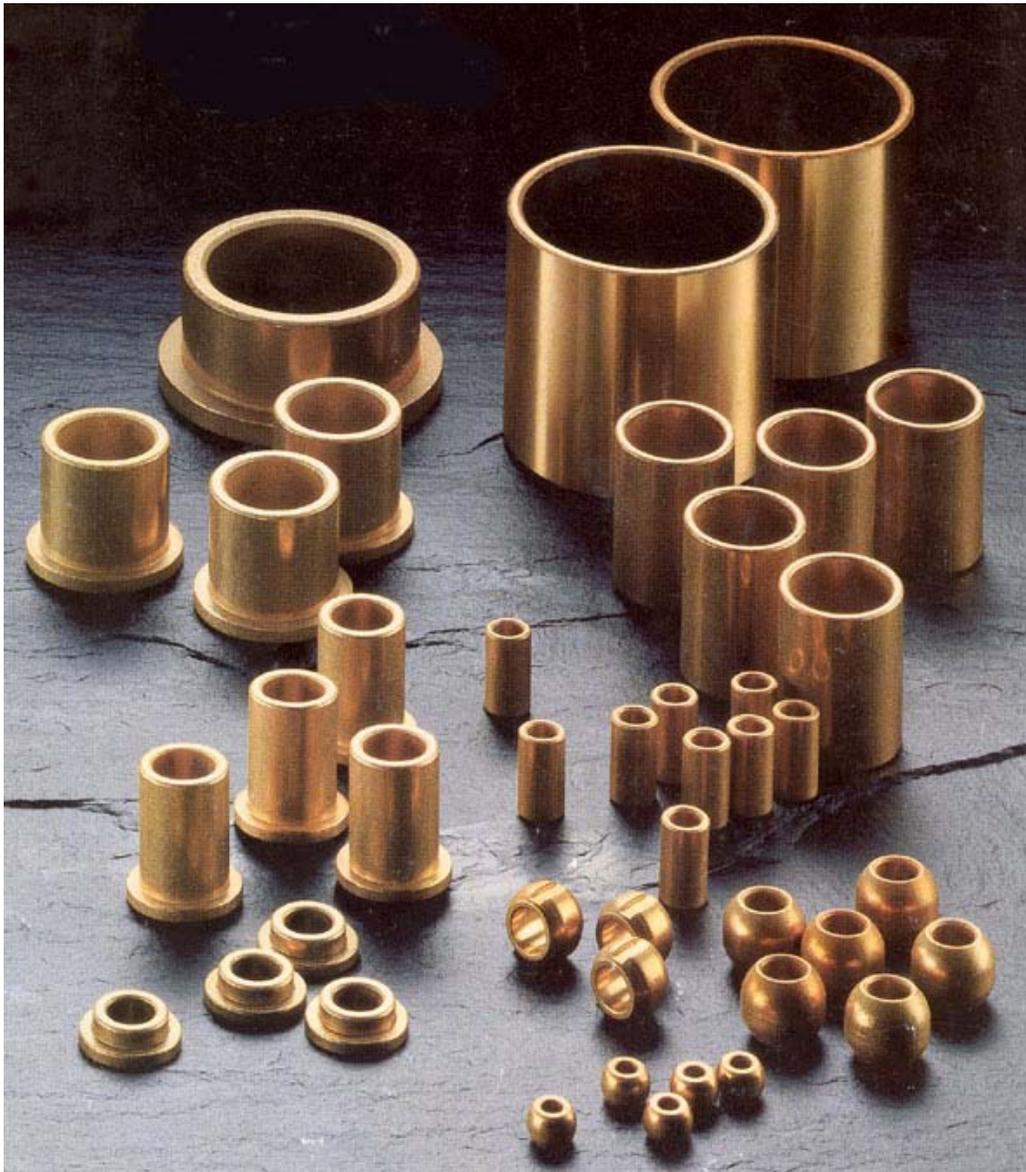
**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.2 Festkörperreibungslager

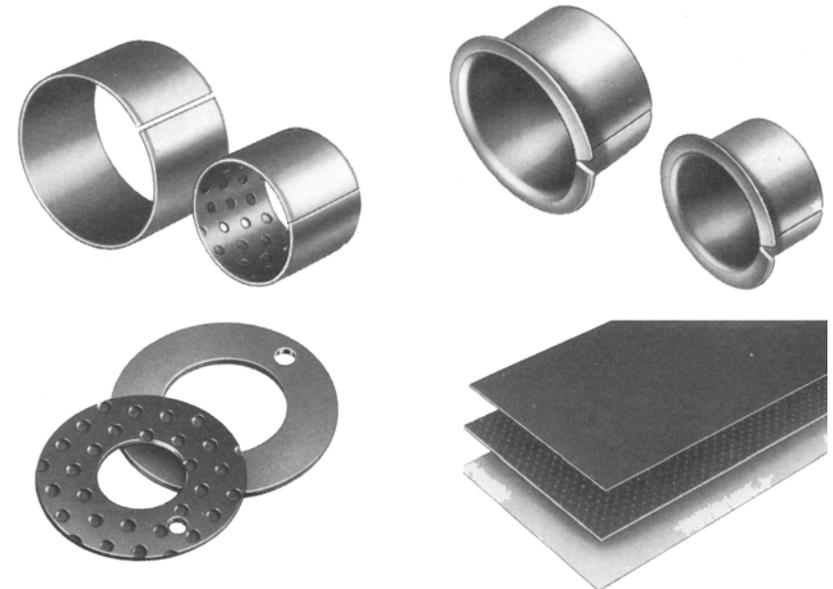


Selbstschmierende Sinterbüchsen aus Bronze

## 6.4.2 Festkörperreibungslager

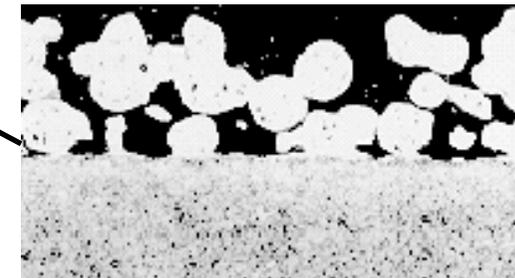
### Materialien

- Gusseisen (Graphiteinlagerung)
- Sintermetalle
- Kupferlegierungen
- Blei-Zinnlegierungen
- Kunststoff



### Schmierung

- ohne/trockenlaufend (Festschmierstoff)
- mit Fett
- Sinterlager getränkt mit Schmierstoff



zulässige Flächenbelastung  $p$  - dynamisch [N/mm<sup>2</sup>]

zulässige Flächenbelastung $p$ - statisch [N/mm <sup>2</sup> ]							
minimale Temperatur $T_{\min}$ [°C]							
maximale Temperatur $T_{\max}$ [°C]							
Reibungszahl $\infty$							
maximale $p \cdot v$ [N/mm <sup>2</sup> m/s = W/mm <sup>2</sup> ]							
max. Gleitgeschwindigkeit $v$ [m/s]							
Werkstoffe							
Kupferlegierung CuSn 12, Fettgeschmiert	2,5	2,8	0,09– 0,15	140	-40	200	100
Kupferlegierung CuSn 8, Fettgeschmiert	2,5	2,8	0,06– 0,15	150	-40	120	40
Ölgetränkte Sinterbronze SINT B 50 (DIN 1850)	10	10	0,08– 0,12	90	-5	10	5

Ölgetränkte Sinterbronze SINT B 50 (DIN 1850) bzw. SINT A50 (ISO 2795). Tränkungsgruppe 1, Trocken oder Ölgeschmiert	10	10	0,08– 0,12	90	-5	10	5
Stahl-Bleibronze- Verbundmaterial St + CuPb10Sn10, Öl- oder Fettgeschmiert	2,5	2,8	0,05– 0,12	150	-40	300	140
Metall-Kunststoff- Verbundmaterial St + Sinterbronze + (PTFE + Pb), Trocken	2,5	1,8	0,02– 0,25	280	-200	250	140
PTFE Laufschrift + Füllstoffe (erdalkalische Metalle + Polymerfasern), Trocken	2,5	1,0	0,04– 0,25	280	-200	250	140
PBT + Bronzepulver + PTFE	1	0,8	0,08–	100	-40	70	35

# Vorlesung 9: Wiederholung Vorlesung 8

---

## Wälzlager:

- Auslegung nach statischer Tragfähigkeit
- Auslegung nach Lebensdauer
- Schmierung / Dichtung

## Gleitlager:

- Einteilung (hydrodynamisch, hydrostatisch, Festkörperreibung)
- Materialien
- Schmierstoffart



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.2 Festkörperreibungslager

---

Anwendung, Eigenschaften:

- niedrige Lasten und Geschwindigkeiten
- gute Gleiteigenschaften
- tiefe Kosten
- wartungsfrei
- genormte Bauteile erhältlich
- Feinwerktechnik, Büromaschinen

Auslegung nach:

- Tragfähigkeit
- Abrieb
- thermische Belastung



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.2 Festkörperreibungslager

---

Tragfähigkeit:  $p = \frac{F}{bd_w} < p_{zul}$  wenn Spiel klein

$F$  Lagerlast

$b$  Lagerbreite

$d_w$  Wellendurchmesser

Lebensdauer:

Verschleissbeanspruchung:  $\xi = \frac{pv}{(pv)_{zul}}$

Verschleissrate:  $\frac{\Delta s}{\Delta t} = f(\xi, Material)$  in  $\mu\text{m/h}$  aus Tabelle

$\Delta s$  Verschleisstiefe in  $\mu\text{m}$

Verschleissbedingung  $\Delta s < \Delta s_{zul}$  → Lebensdauer



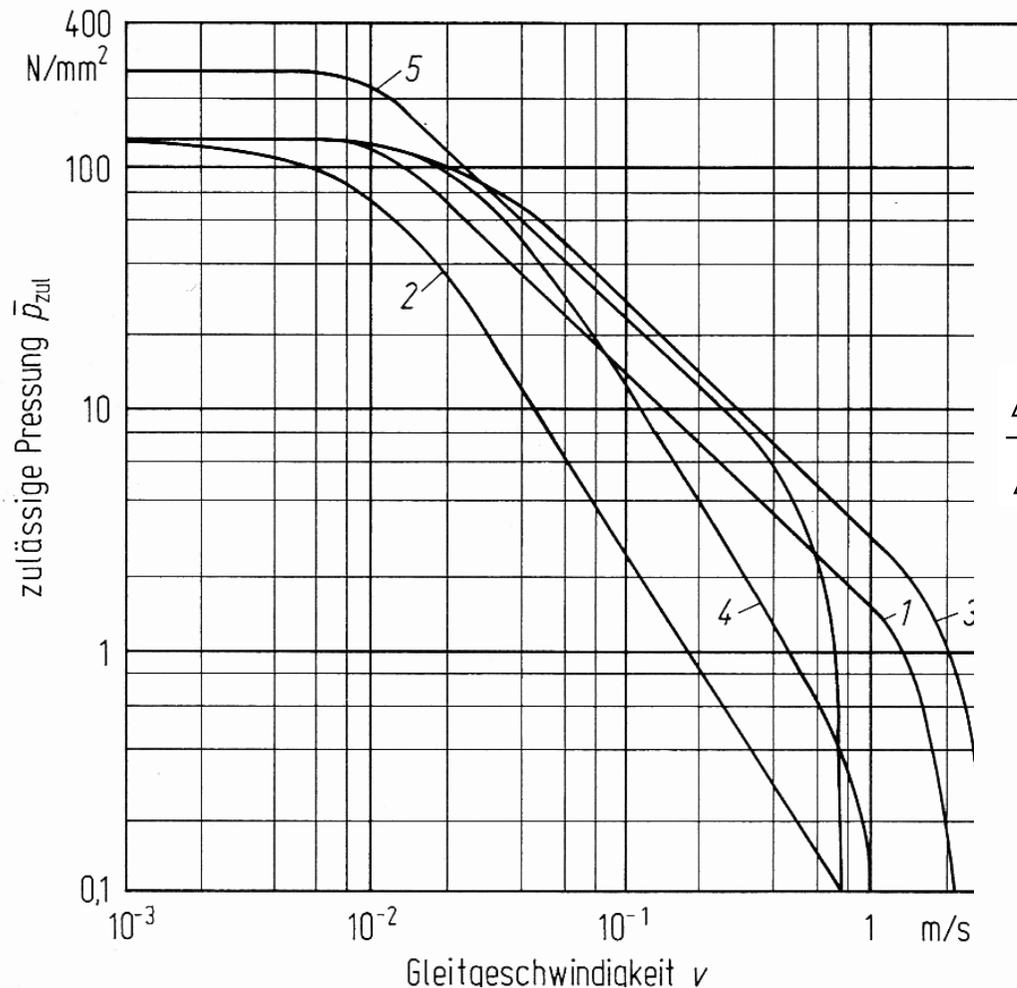
**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

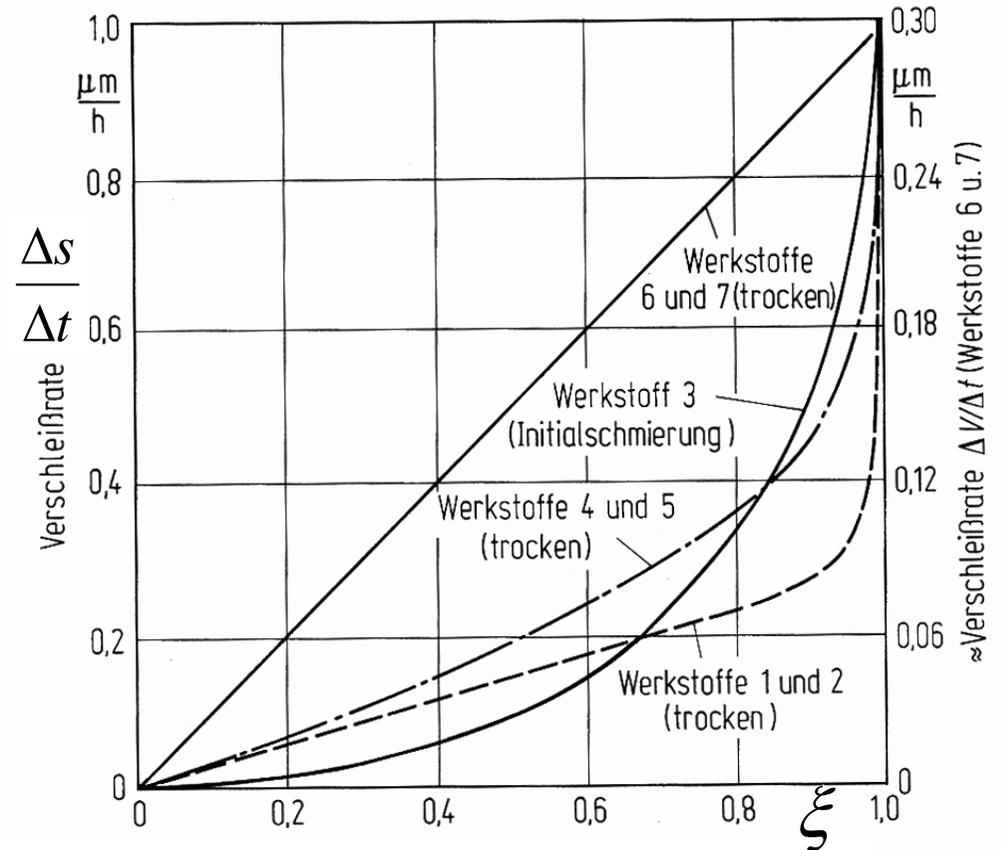
**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 6.4.2 Festkörperlager



1, ..., 7 verschiedene Lagermaterialien  
 Verschleissrate:  $0.3 \mu m/h$



1: Zinnbronze porös, PTFE mit Zusätzen Pb, MoS2, Graphit

2: Zinnbronze, porös, Thermoplast, trocken

3: wie 2 mit Initialschmierung

4: PTFE – Folie mit Zusätzen (Graphit, Zinnbronzegewebe, Glasfaser, MoS2

5: PTFE, Polyester, Phenolharzmischgewebe

## 6.4.2 Festkörperreibungslager

---

Thermische Belastung: Reibleistung:  $P_V = \mu \omega r F_N$

Leistungsbilanz:  $P_V = \Delta \vartheta_L A_L \lambda_L s^{-1} + \Delta \vartheta_W A_W \lambda_W b^{-1}$

Leistungsbilanz:  $\Delta \vartheta_L = K_L (\vartheta - \vartheta_{amb})$   
 $\Delta \vartheta_W = K_W (\vartheta - \vartheta_{amb})$

$$\vartheta = P_V \left[ K_L A_L \lambda_L s^{-1} + K_W A_W \lambda_W b^{-1} \right]^{-1} + \vartheta_{amb} < \vartheta_{zul}$$

$s, b$  Wandstärke, Breite der Lagerbuchse

$$K_L = 0.5$$

Geometriefaktoren

$$K_W = 0.02$$

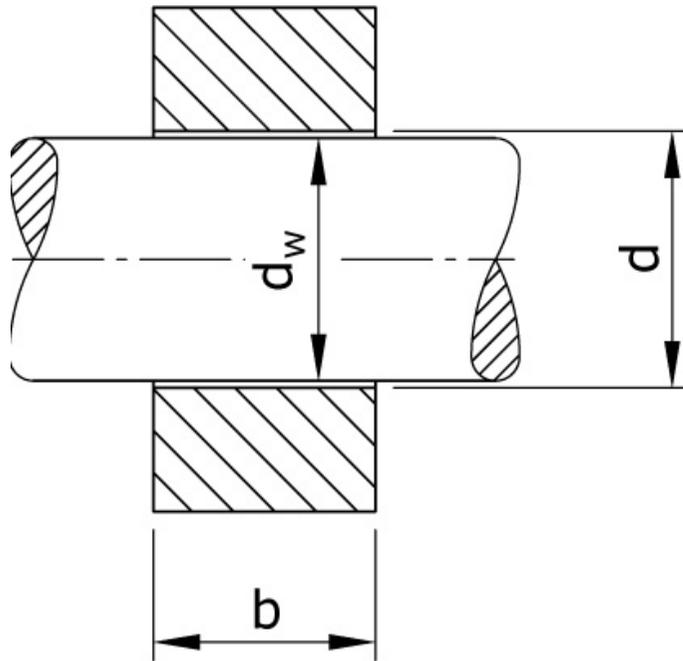
$$A_L = \pi d b$$

Wärmeabgebende Fläche der Lagerbuchse

$$A_W = \frac{\pi}{4} d_W^2$$

Hälfte der wärmeabgebenden Fläche der Welle

## 6.4.2 Entwurfsrichtlinien



Gestaltung:  $\frac{b}{d_w} = 0,5 \dots 0,8 \dots 1,2$

$$\psi = \frac{d - d_w}{d_w} \approx 0,5\text{‰}$$

⇒ schmale Lager:

- größerer Schmierstoffverbrauch
- kleinere Lagertemperatur
- kleinere Verkantung

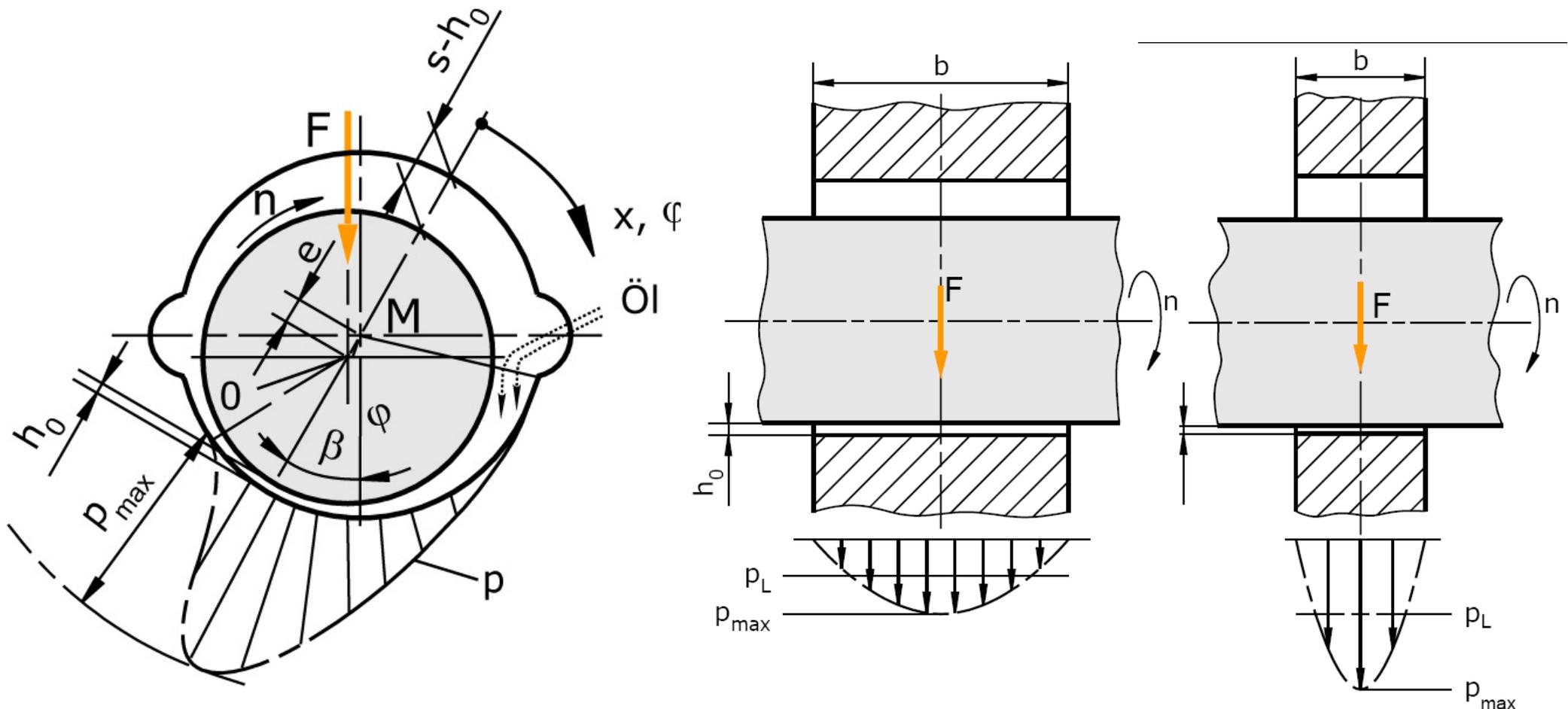
⇒ breitere Lager:

- grössere Belastung

## 6.4.3 Hydrodynamische Gleitlager

Prinzip: Erzeugung des tragenden Öldrucks intern, Ölspalthöhe wird durch die Relativbewegung zwischen den Reibpartnern und das in einen Keilspalt mitgeschleppte Öl erzeugt.

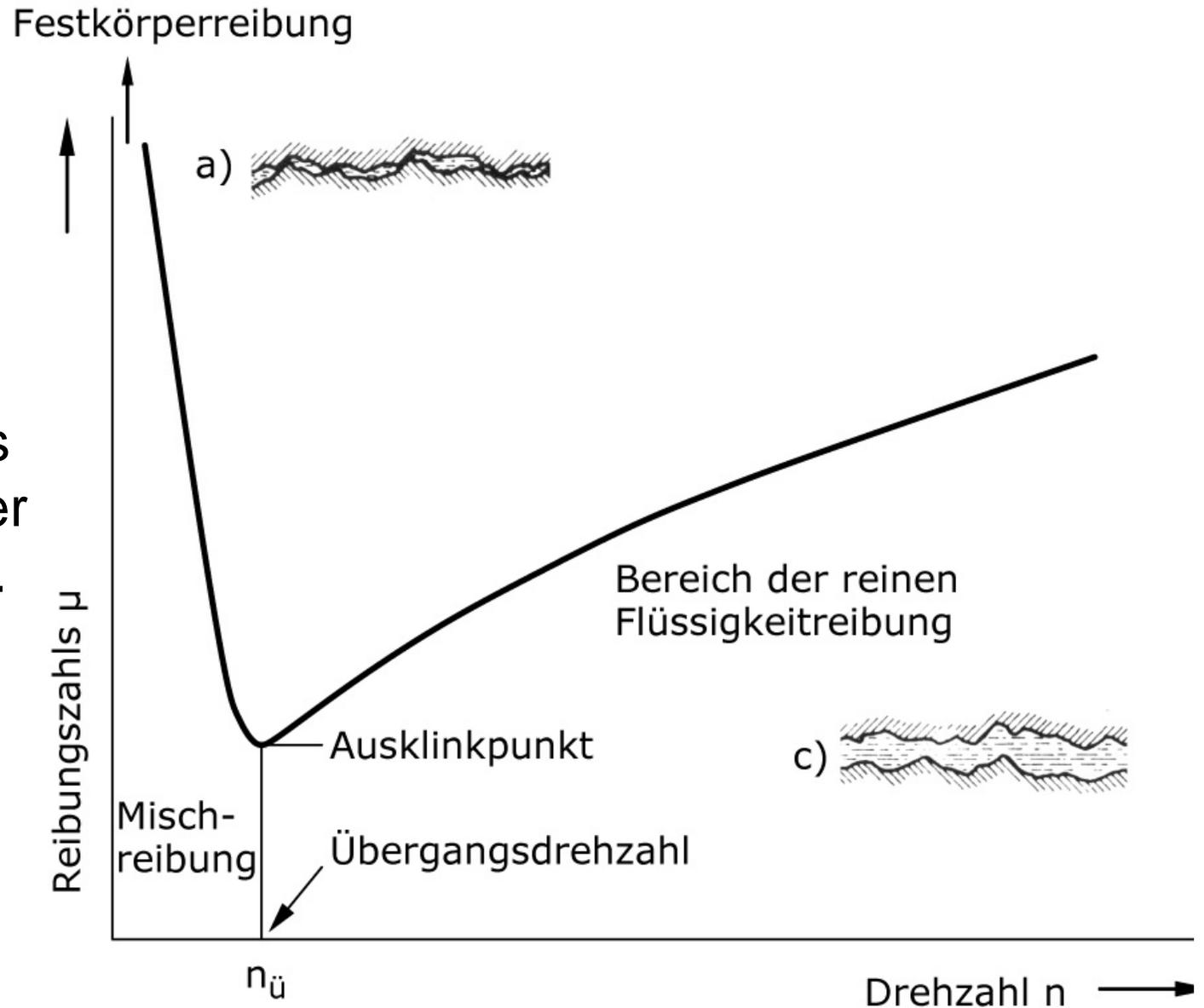
Druck der Ölzufuhr ist für die Tragfähigkeit vernachlässigbar



# 6.4.3 Hydrodynamische Gleitlager

## Stribeckkurve

Bei  $n=0$  liegt immer Festkörperreibung vor. Ein hydrodynamisches Gleitlager startet immer mit Festkörperreibung. Daher sind Lagerwerkstoffe mit guten Notlaufeigenschaften erforderlich.



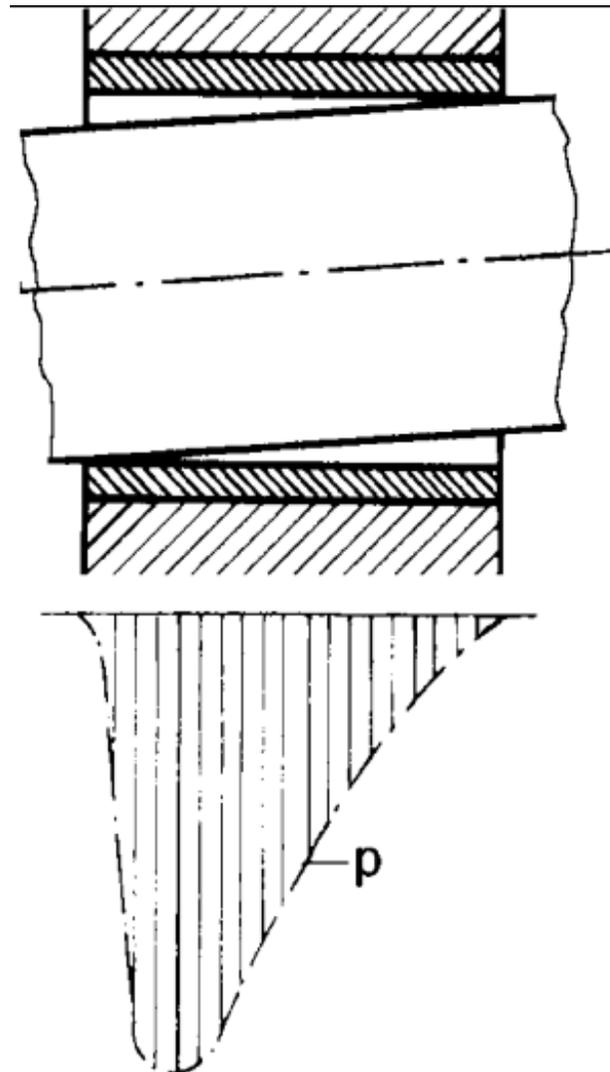
## 6.4.3 Hydrodynamische Gleitlager

Auswirkungen von  
Wellenverformungen

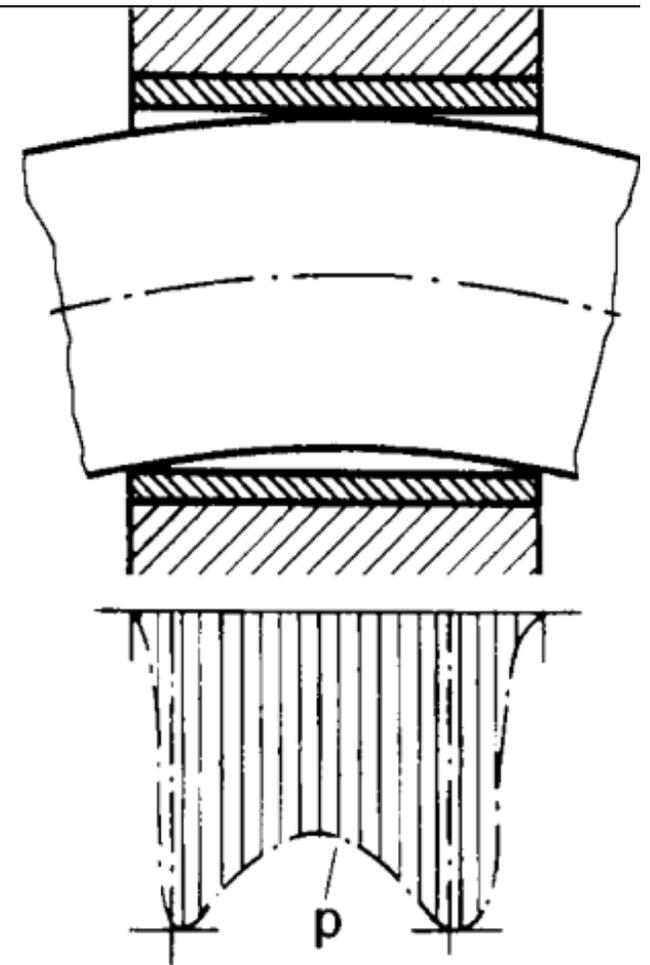
→ Kantentragen

→ Vorzeitiger  
Verschleiss

→ Fressen



Wellenschiefstellung



Wellendurchbiegung



**ETH**

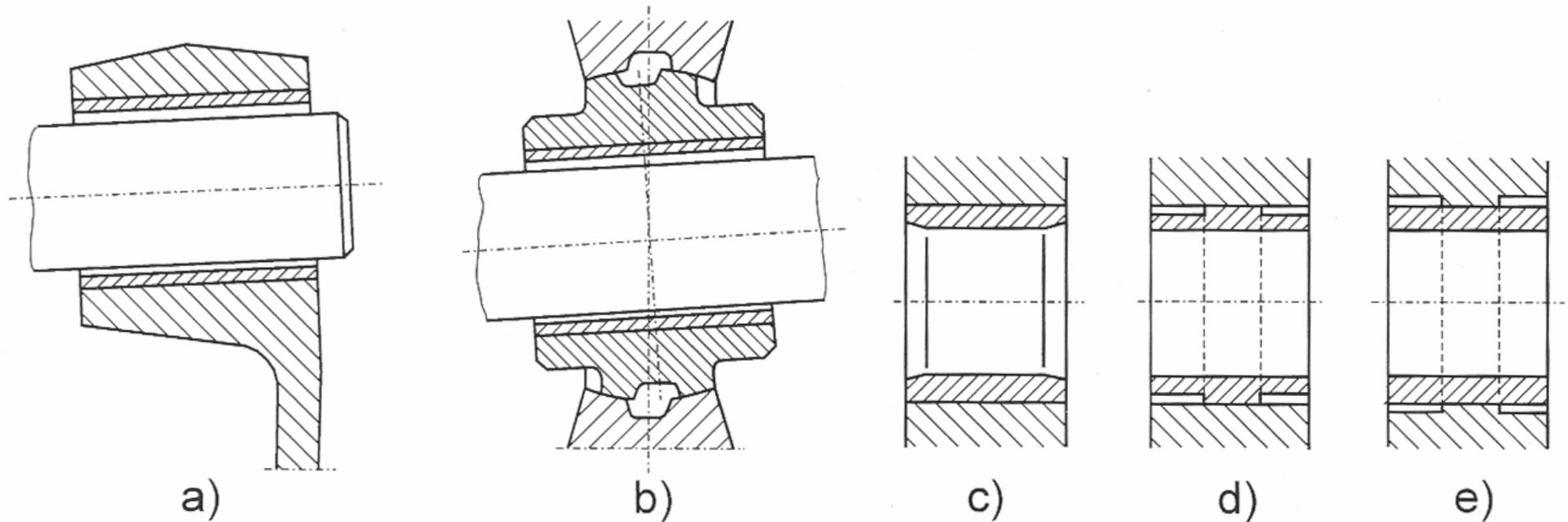
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

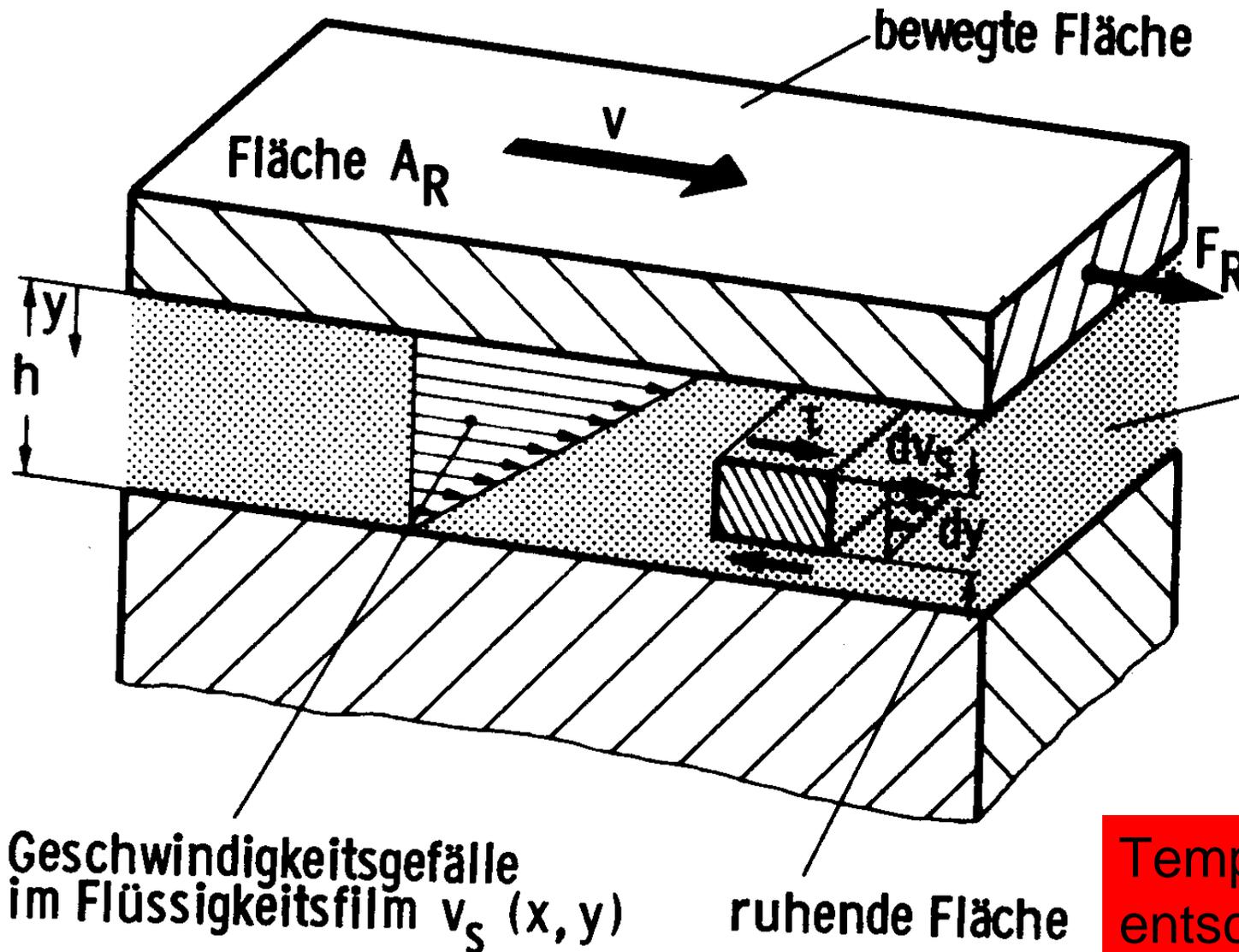
## 6.4.3 Hydrodynamische Gleitlager

Konstruktive Massnahmen zur Vermeidung von Kantenträgen  
→ Konstruktion biegeweicher Lagerschilde



## 6.4.3.2. Hydrodynamische Schmiertheorie, Viskosität

Die Viskosität ist ein Modell für innere molekulare Reibung



Viskosität:

$$\tau = \eta \frac{dv_s}{dy}$$

$$\tau = \eta \frac{v}{h}$$

Flüssigkeitsfilm

$$[\eta] = \frac{Ns}{m^2}$$

$$\eta = \eta(T, p)$$

Temperaturabhängigkeit entscheidend

## 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Viskosität

$$\eta = a \cdot \exp\left[\frac{b}{T + 95^\circ\text{C}}\right]$$

$$b = 159.558 \cdot \ln \frac{\eta_{40}}{0.00018}$$

$$a = \eta_{40} \exp \frac{-b}{135}$$

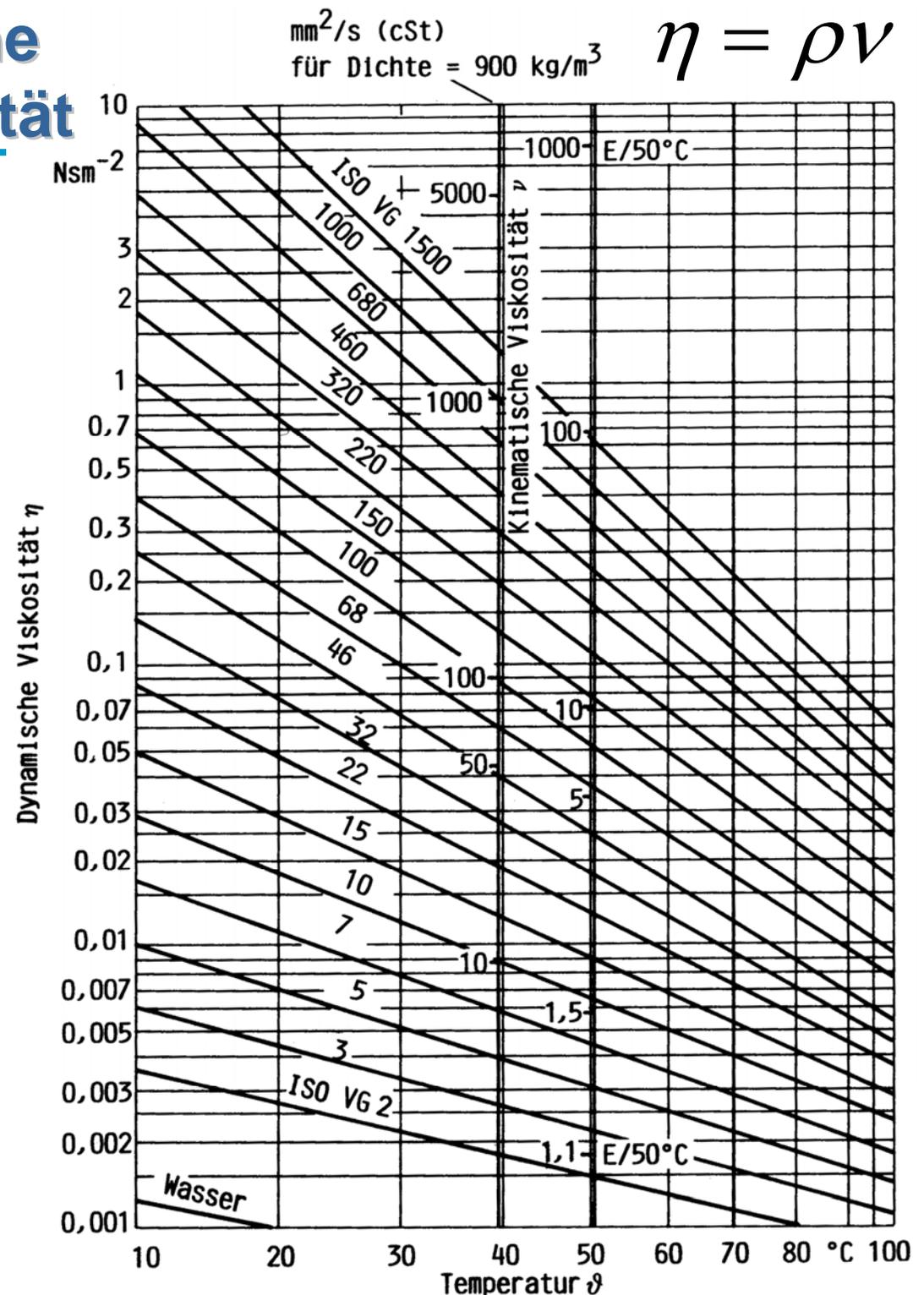
Reibkraft

$$F_R = \tau \cdot A_R = \eta \frac{v}{h} \cdot A_R$$

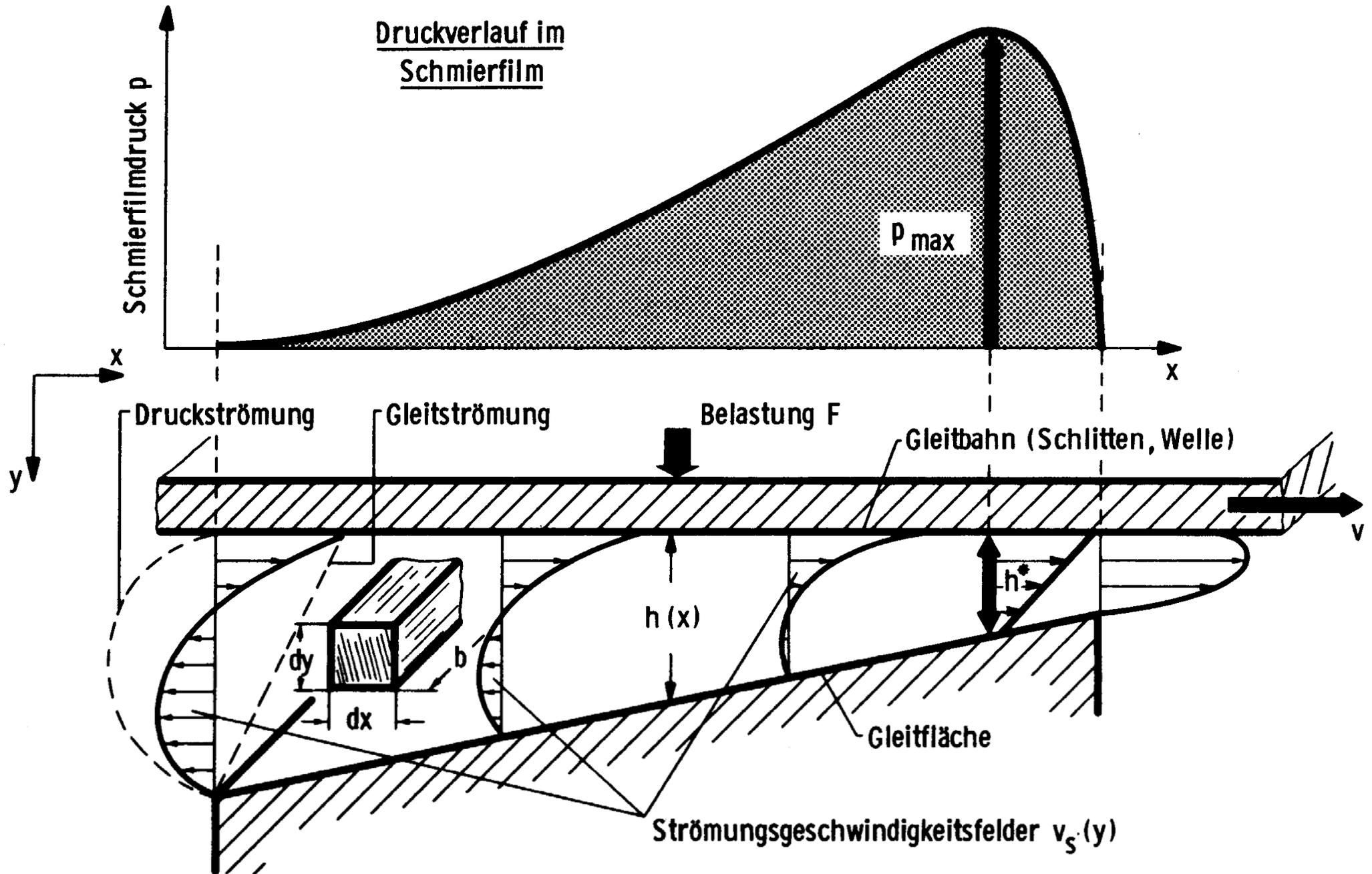
Reibleistung

$$P_R = F_R \cdot v = \eta \frac{v^2}{h} \cdot A_R$$

viskose Reibung immer geschwindigkeitsabhängig



# 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Keilspalt



## 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Voraussetzungen

---

Erzeugung eines Druckes durch Keilspalt

Voraussetzungen:

Geometrie:  $h = h(x) \ll l \ll b \rightarrow$  ebene Strömung

$$v_y = 0$$

$$v_x = v(x, y)$$

$$\frac{dv_i}{dt} = 0$$

Stationäre Gleitlager

$$p = p(x)$$

$$\eta = \text{const}$$



**ETH**

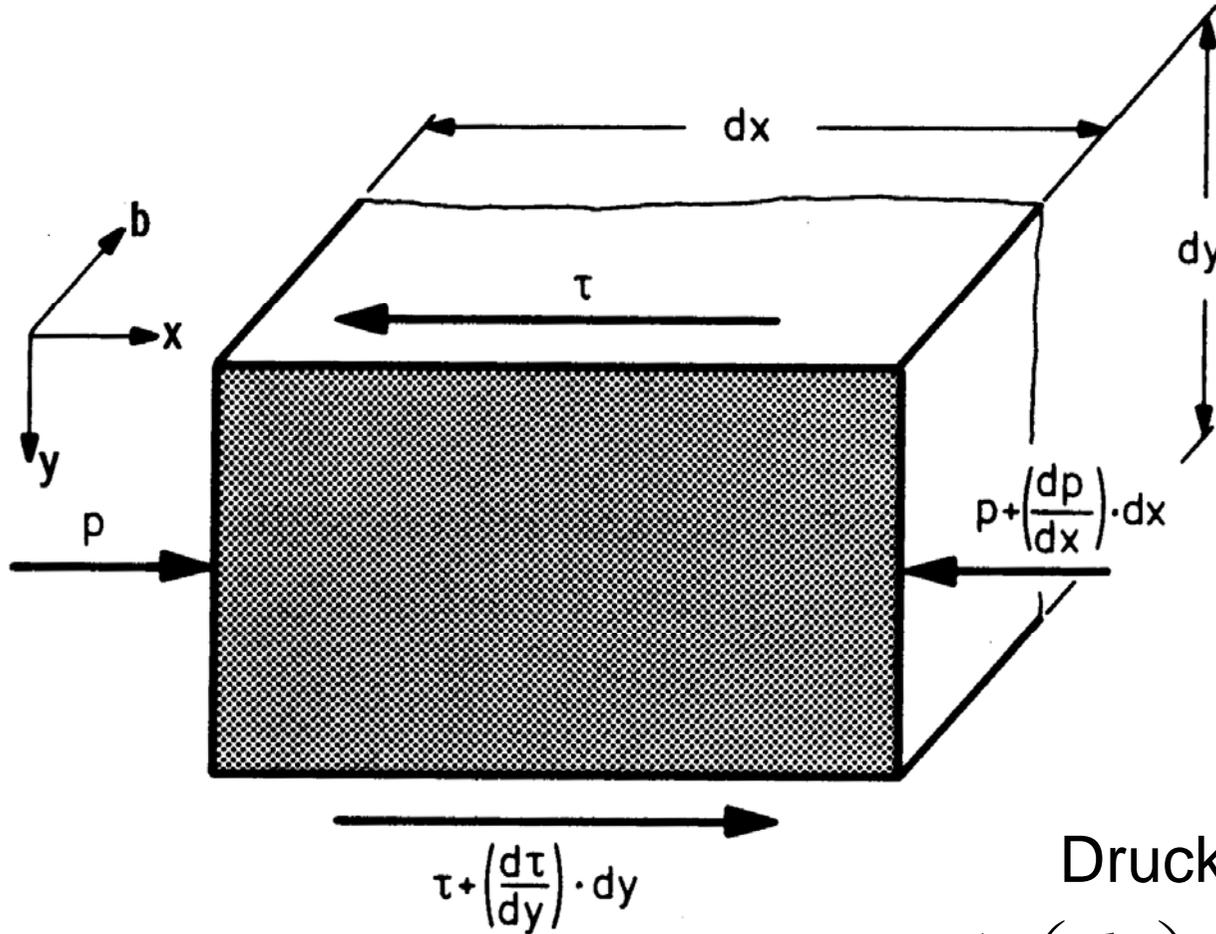
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 4. Hydrodynamische Schmiertheorie, GGW

Gleichgewicht an einem infinitesimalen Volumenelement



$$\frac{dp}{dx} = \frac{d\tau}{dy} = \eta \frac{d^2v}{dy^2}$$

zweimal Integrieren

$$v(y) = \frac{1}{2\eta} \left( \frac{dp}{dx} \right) y^2 + c_1 y + c_2$$

RB einsetzen :  $v(y = 0) = v_0$ ,  
 $v(y = h(x)) = 0$

Druckströmung

Gleitströmung

$$v(y) = \frac{1}{2\eta} \left( \frac{dp}{dx} \right) \cdot [y^2 - h(x)y] + v_0 \left( 1 - \frac{y}{h(x)} \right)$$



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
 Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
 Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Volumenstrom

Die Durchflussmenge berechnet sich aus (Fluid inkompressibel):

$$\dot{Q} = \int_0^{h(x)} v(y)b \, dy$$

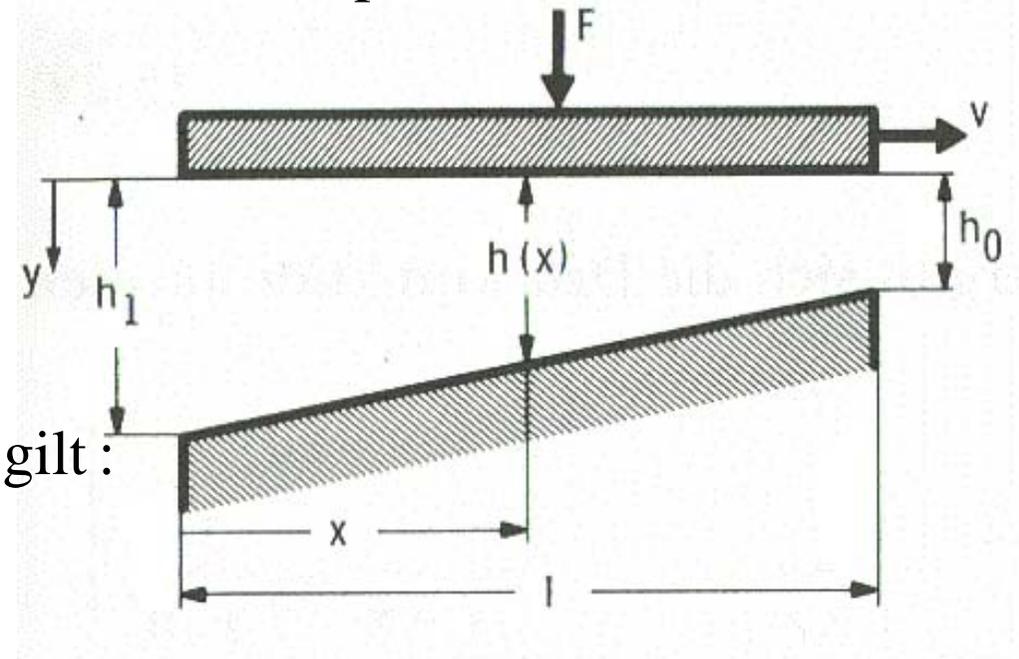
$$\dot{Q} = b \left( \frac{v_0 h}{2} - \frac{h^3}{12\eta} \cdot \frac{dp}{dx} \right)$$

am Punkt des Druckmaximums ( $\frac{dp}{dx} = 0$ ) gilt:

$$v^*(y) = v_0 \left( 1 - \frac{y}{h^*} \right)$$

$$\dot{Q}^* = \frac{v_0}{2} b h^*$$

$h^*$  ist die Höhe des Spaltes im Druckmaximum.



$$h(x) = h_0 + \frac{l-x}{l} (h_1 - h_0)$$

für  $0 \leq x \leq l$

## 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Druckverteilung

Kontinuitätsgleichung:  $\dot{Q}^* = \dot{Q}(x) = \text{const}$

$$\frac{dp}{dx} = 6\eta v_0 \frac{h(x) - h^*}{h^3(x)} \quad \text{Reynoldssche Differentialgleichung}$$

Dimensionslose Schreibweise:

$$\text{Keilparameter } K: \quad K = \frac{h_1}{h_0} - 1 \quad , \quad h^* = Ah_0$$

$$\text{Spaltkoordinate:} \quad \xi = \frac{x}{l} \quad , \quad d\xi = \frac{1}{l} dx$$

$$\text{Druckfunktion:} \quad P = \frac{h_0^2 p}{6\eta v_0 l}$$

$$\frac{dP}{d\xi} = \frac{1 + K - K\xi - A}{(1 + K - K\xi)^3}$$

$$P = \frac{1}{K(1 + K - K\xi)} - \frac{A}{2K(1 + K - K\xi)^2} + C$$

## 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Druckverteilung, Tragfähigkeit

Die Gleichung für  $dP/d\xi$  und die Randbedingungen

$$p(x=0) = 0 \Rightarrow P(\xi=0) = 0$$

$$p(x=l) = 0 \Rightarrow P(\xi=1) = 0$$

ergeben die Integrationskonstante C und den Faktor A

→ Druckverteilung

$$P = \frac{K(1-\xi)\xi}{(2+K)(1+K-K\xi)^2} \quad A = \frac{2(1+K)}{2+K}$$

Integration des Drucks über die Spaltfläche liefert die Tragfähigkeit

$$F = \Psi b \int_0^l p(x) dx = \Psi \frac{6\eta v_0 l^2 b}{h_0^2} \int_0^1 P d\xi$$

$$F = \Psi \frac{6\eta v_0 l^2 b}{h_0^2} \left[ \frac{\ln(1+K)}{K^2} - \frac{2}{2K+K^2} \right]$$

Leckagefaktor:  $\Psi$   
abhängig von:

- Keilparameter,
- Lagerbreitenverhältnis



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# Vorlesung 10: Wiederholung Vorlesung 9

---

## Schmiermittel / Dichtungen:

- Schmierfette
- Schmierverfahren
- Schmieranlagen
- Progressivverteiler
- nicht berührende Dichtungen: Nilos – Ring, Labyrinth - Dichtung
- berührende Dichtungen: Radialwellendichtring, Axialgleitringdichtung

## Gleitlager:

- Hydrodynamische Schmiertheorie:  
Keilspalt, Druckaufbau
- Berechnung der Tragfähigkeit
- Berücksichtigung Leckage
- Bauformen Radialgleitlager, Axialgleitlager
- Radialgleitlager:  $2 - D$  – Strömungsproblem
- Sommerfeldzahl als Zustandsparameter des Gleitlagers

## 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Tragfähigkeit

$$F = p_m lb \Psi = \frac{6\eta v_0 l^2 b}{h_0^2} K_{pm} \cdot \Psi$$

b/l	$\psi$ für K=1	$\psi$ für K=2
0,5	0,19	0,22
1,0	0,44	0,45
2,0	0,69	0,71
4,0	0,84	0,85
$\infty$	1,00	1,00

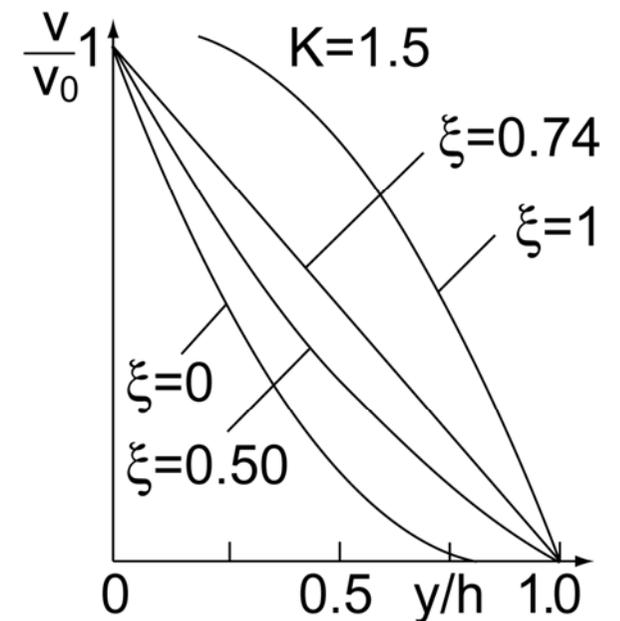
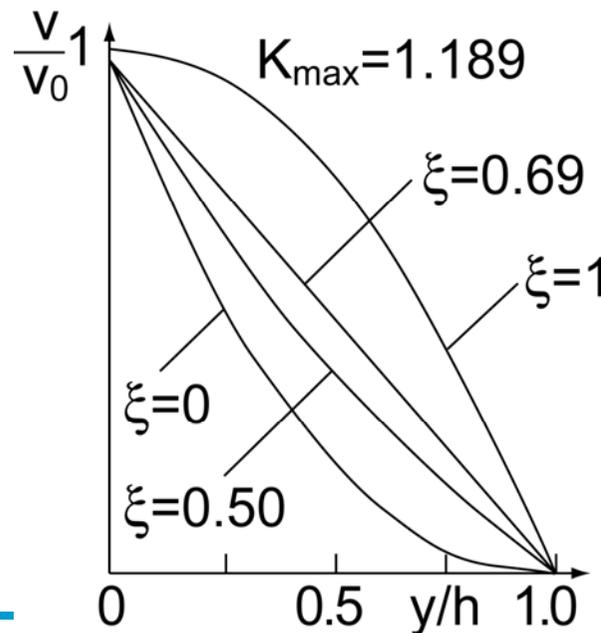
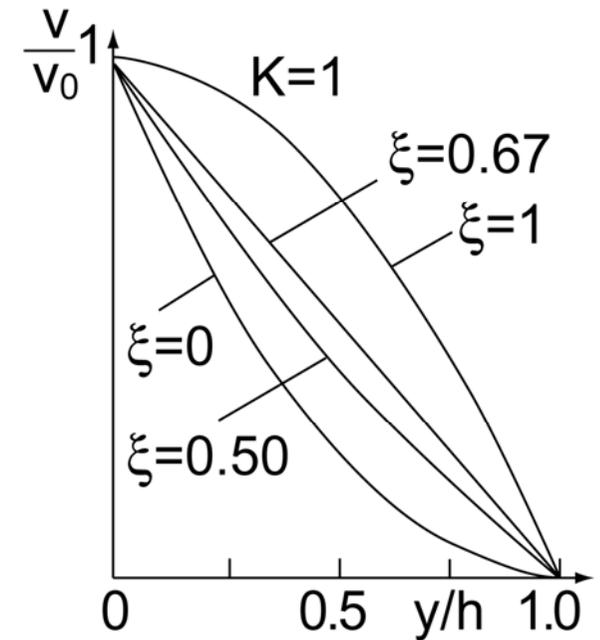
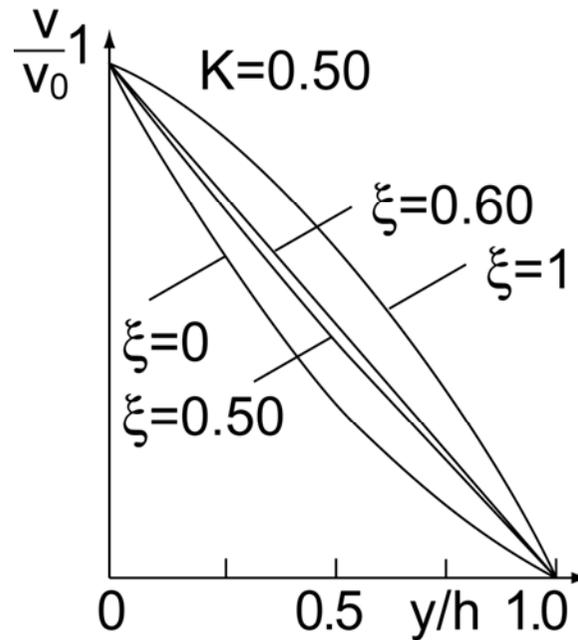
K	$K_{pm}$
0,6	0,0235
0,7	0,0247
0,8	0,0255
0,9	0,0261
1,0	0,0265
1,2	0,0267
1,4	0,0265
1,5	0,0263
2,0	0,0246



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

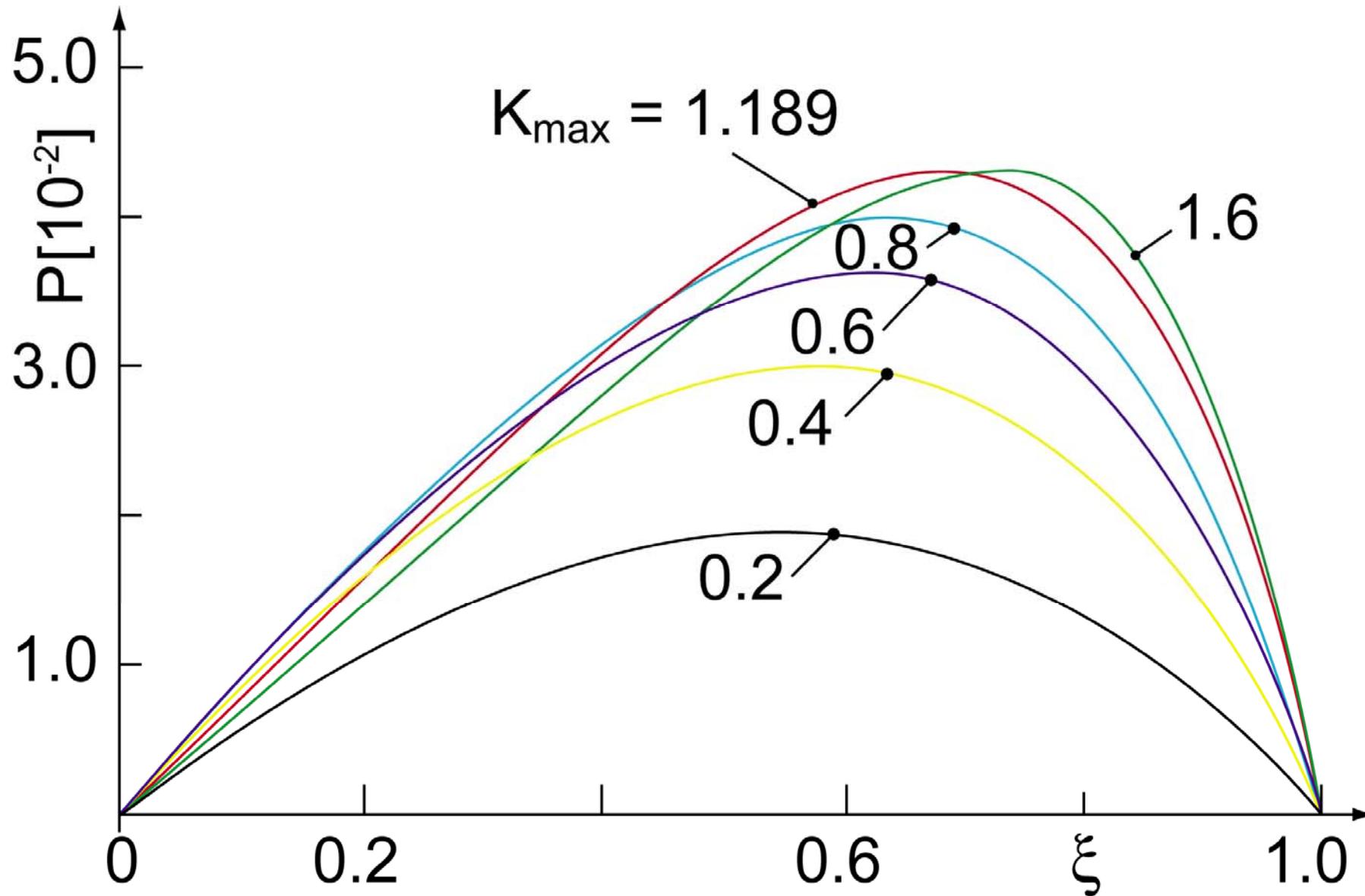
# 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Ergebnisse: Geschwindigkeitsfeld



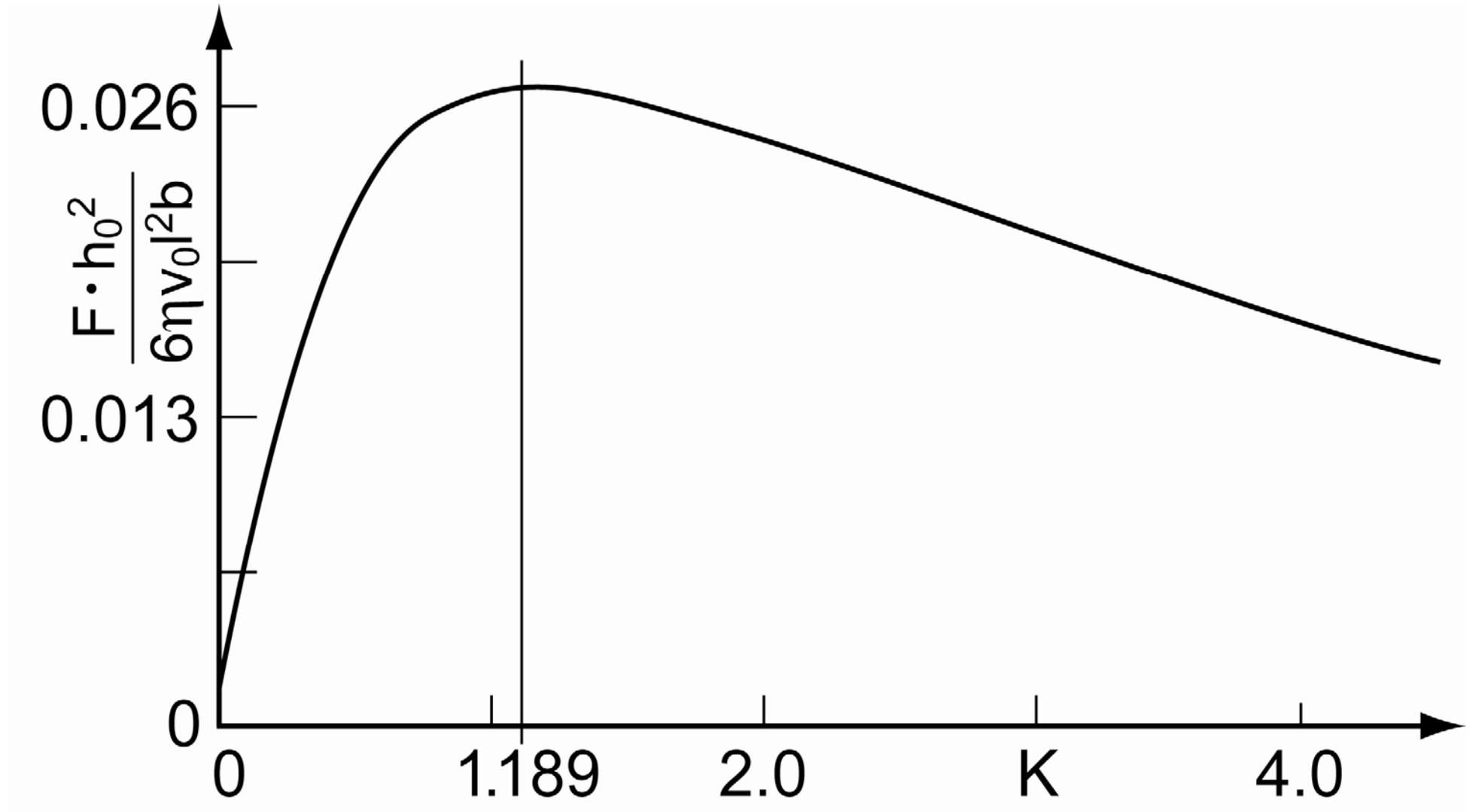
**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Ergebnisse: Druckfeld



## 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Ergebnisse: Tragfähigkeit



## 6.4.3.2 Hydrodynamische Schmiertheorie, Steifigkeit

---

Die Steifigkeit bestimmt sich aus der Verschiebung:

$$k = \frac{dF}{d(\Delta h)}$$

Bei einer zusätzlichen Kraft  $\Delta F$  ergibt sich Spaltveränderung  $\Delta h$  :

$$F + \Delta F = \frac{6\eta\nu l^2 b}{(h_0 - \Delta h)^2} K_{pm} \Psi$$

$$\frac{dF}{d(\Delta h)} = 2 \frac{6\eta\nu l^2 b}{(h_0 - \Delta h)^3} K_{pm} \Psi$$

$$k_F = \frac{2\sqrt{(F + \Delta F)^3}}{\sqrt{6\eta\nu l^2 b K_{pm} \Psi}}$$



**ETH**

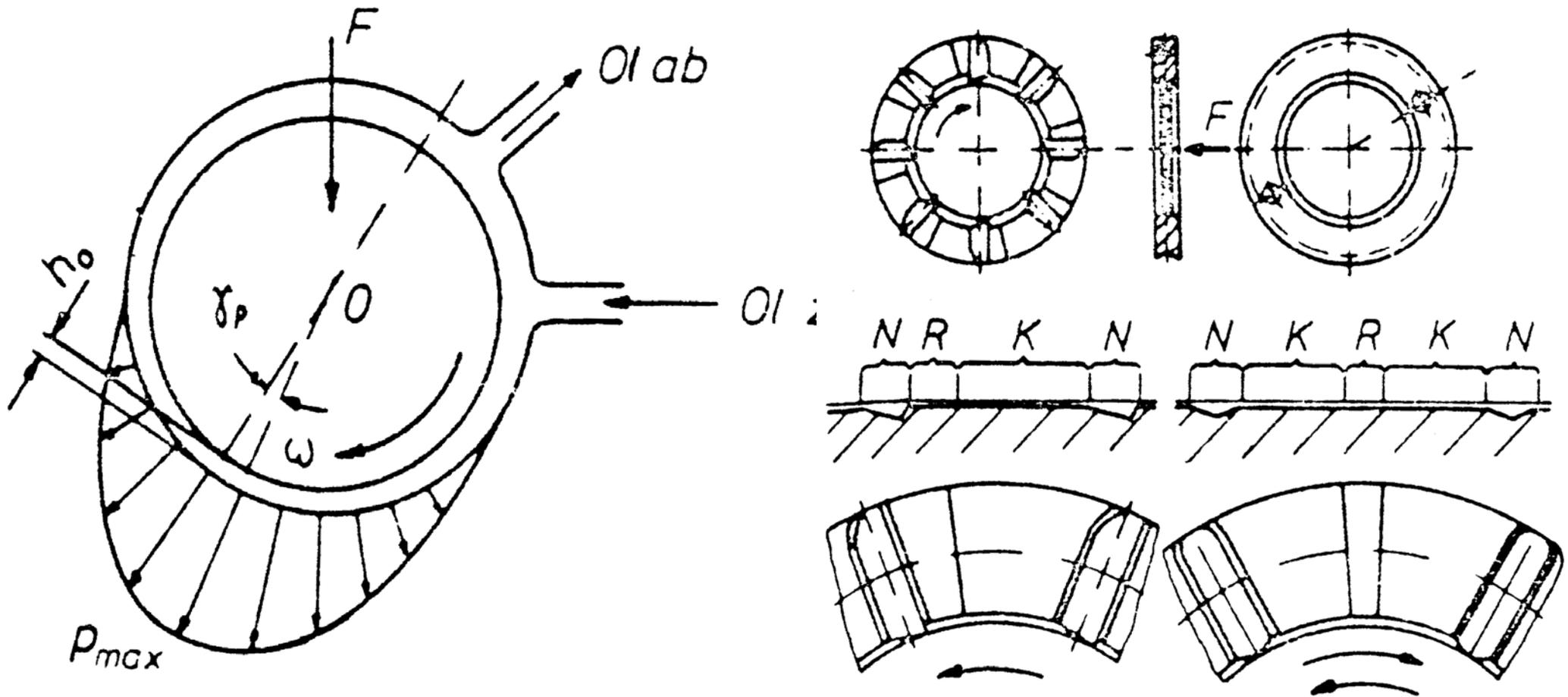
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 6.4.3.3 Bauart hydrodynamischer Gleitlager

Axiallager = Spurlager: Rastflächen vorsehen



Druckaufbau im Lager selbst → Druckzufuhr ganz sicher nicht im Druckbereich



**ETH**

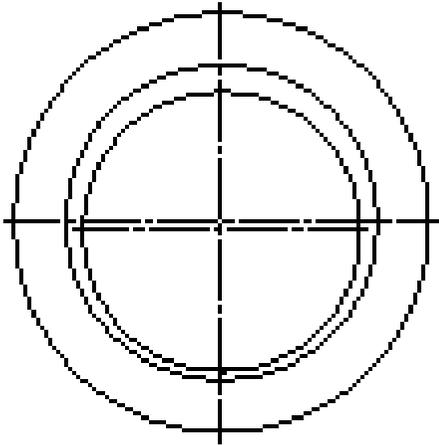
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

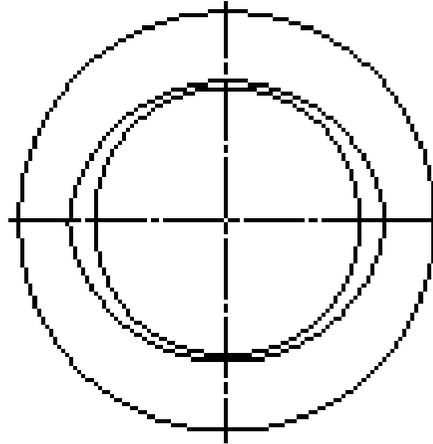
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 6.4.3.3 Bauart hydrodynamischer Gleitlager

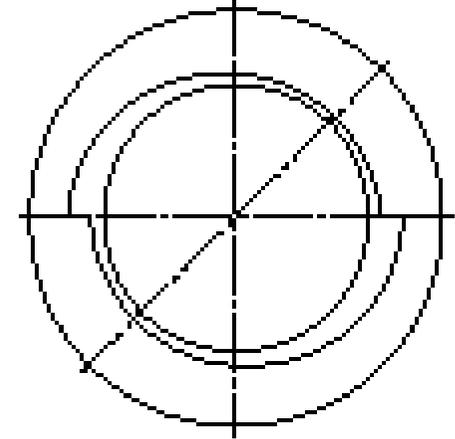
Zylindrisches Lager mit einfachem Keilspalt



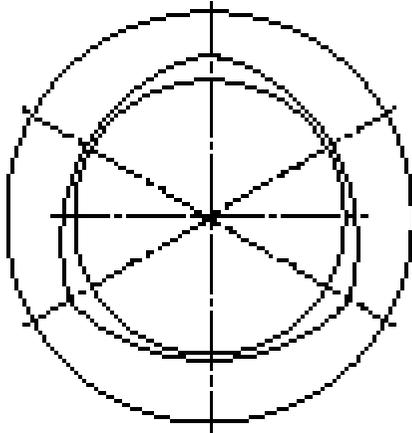
Zitronenspiellager



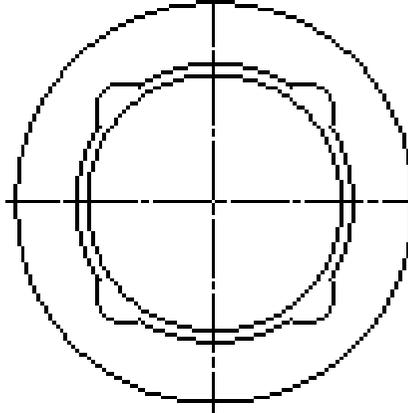
Versetztes Zitronenspiellager



Dreikeillager



Vierkeillager



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

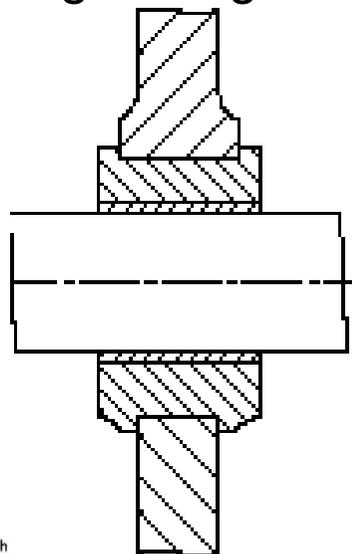
**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

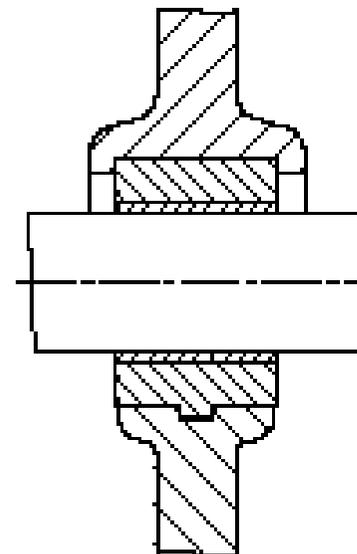
## 6.4.3.3 Bauart hydrodynamischer Radialgleitlager

Lagerwerkstoff teuer, →

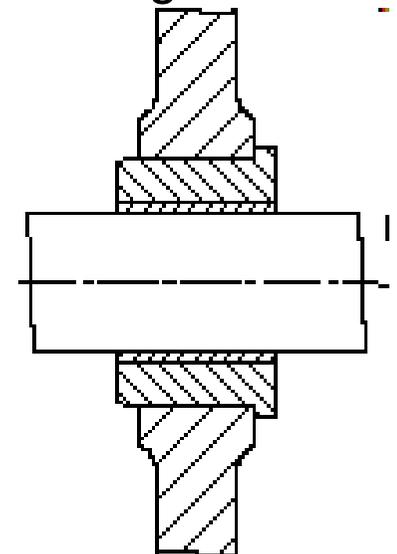
- Weißmetall: 2–5 mm, abhängig von  $d$ .
- Bronze: aufgegossen oder gespritzt: 2–5 mm, abhängig von  $d$  als Büchse eingepresst: 0,1 bis 0,2  $d$
- Lagerschale im Lager- bzw. Maschinenkörper gegen Verdrehung und axiale Verschiebung sichern.
- Für Schmierstoff-Zuführung Schmiertaschen und Kanäle vorsehen. Schmiertaschen nie in belastete Zone legen.
- Durchbiegung oder Verlagerung der Welle unter Last muss die Lagerschale selbsteinstellend oder gelenkig sein oder eine elastische Unterstützung bzw. biegeeweiche Lagerschale verwendet werden.



a)



b)



c)

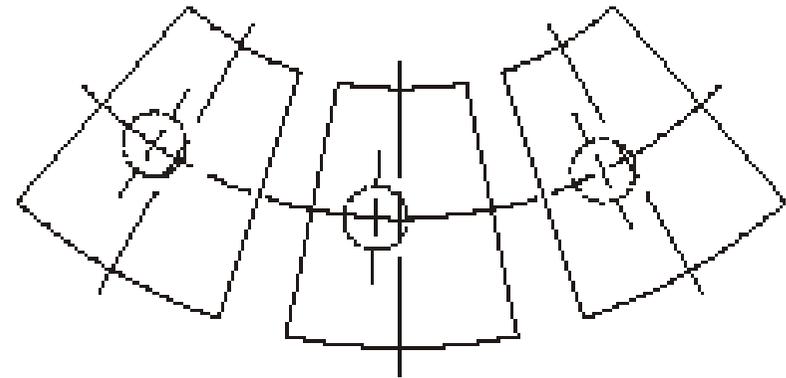
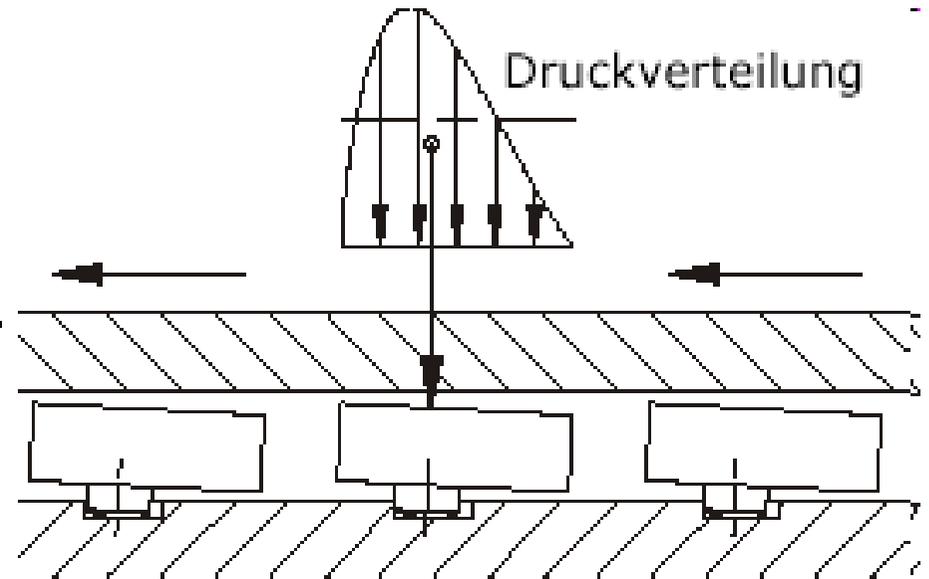


**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

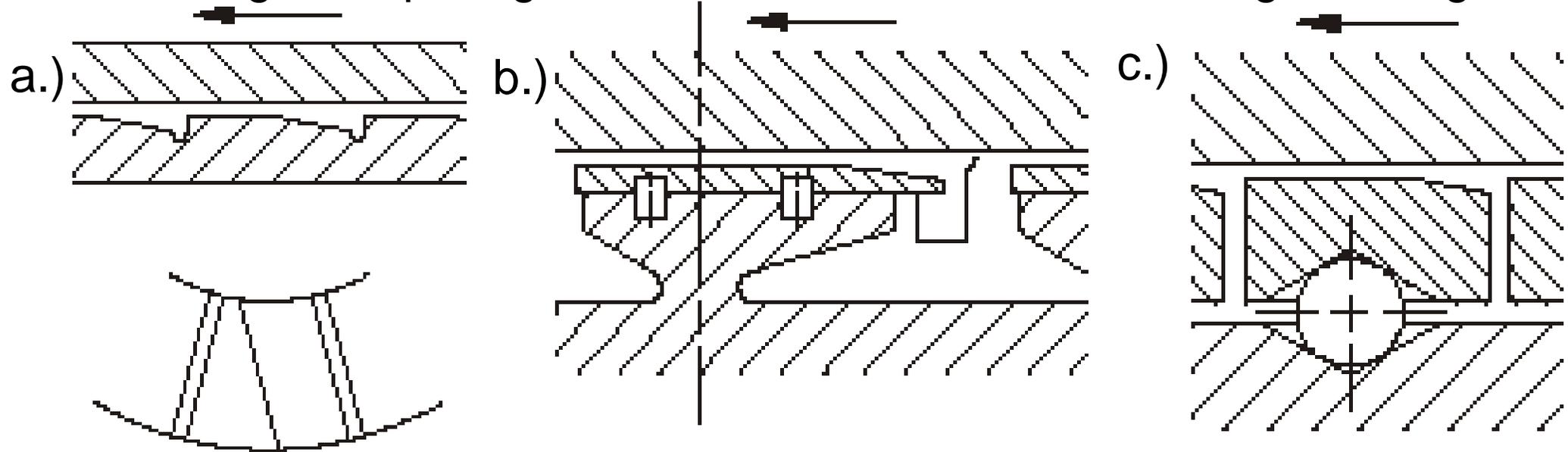
## 6.4.3.3 Bauart hydrodynamischer Gleitlager

- Anlaufbund bzw. Stirnfläche mit großer Formgenauigkeit eben und rechtwinklig zur Wellenachse mit geringer Rauhmigkeit ausführen.
- Stützfläche in Segmente auflösen und Keilflächen einarbeiten oder Segmente als Kippsegmente ausbilden.
- Drehrichtung beachten, bei Reversierbetrieb – Sondermaßnahmen vorsehen, die unter Umständen die Belastbarkeit nachteilig beeinflussen.
- Bei kleinen Drehzahlen Durchmesser größer wählen.



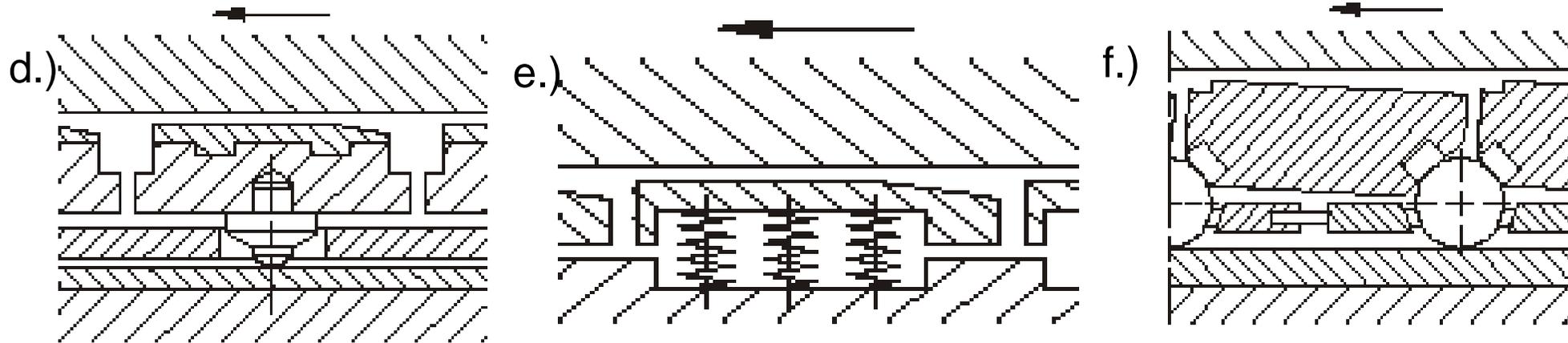
## 6.4.3.3 Bauart hydrodynamischer Axialgleitlager

Axiallager = Spurlager: Rastflächen vorsehen, Wirkung einseitig



- a.) Grundaufbau, Feststehende Spurplatte mit radialen Ölzufuhrnuten, Keil – und Rastflächen nur eine Drehrichtung, Arbeitet optimal nur an einer Stelle des F-v-Raumes. Glatte Wellenspurplatte
- b.) Federnd abgestützter Tragschuh. Keilwinkel passt sich der Last an. Abstützung am Ort der F – Resultierenden, Abstreifer zum Öлтаusch
- c.) Kippsegmentlager: Segment stellt sich auf optimale Keilspaltverhältnisse ein. Kugel in konischen Segmenten

## 6.4.3.3 Bauart hydrodynamischer Axialgleitlager



- d.) Tragbolzen mit balliger Auflage
- e.) Abstützung über Schraubenfedern
- f.) Abstützung über Stützkugeln und Rollen

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

---

Auslegungsschritte:

- 1.) Zulässige Lagerlast
- 2.) Dimensionierung Volumenstrom
- 3.) Wärmebilanz, Lagertemperatur
- 4.) Festlegung Betriebslagerspiel, zulässige Spalthöhe

Zulässige Lagerlast

$$p_L = \frac{F}{bd_w} \leq p_{zul}$$

$p_{zul}$  abhängig vom Material der Lagerschale



**ETH**

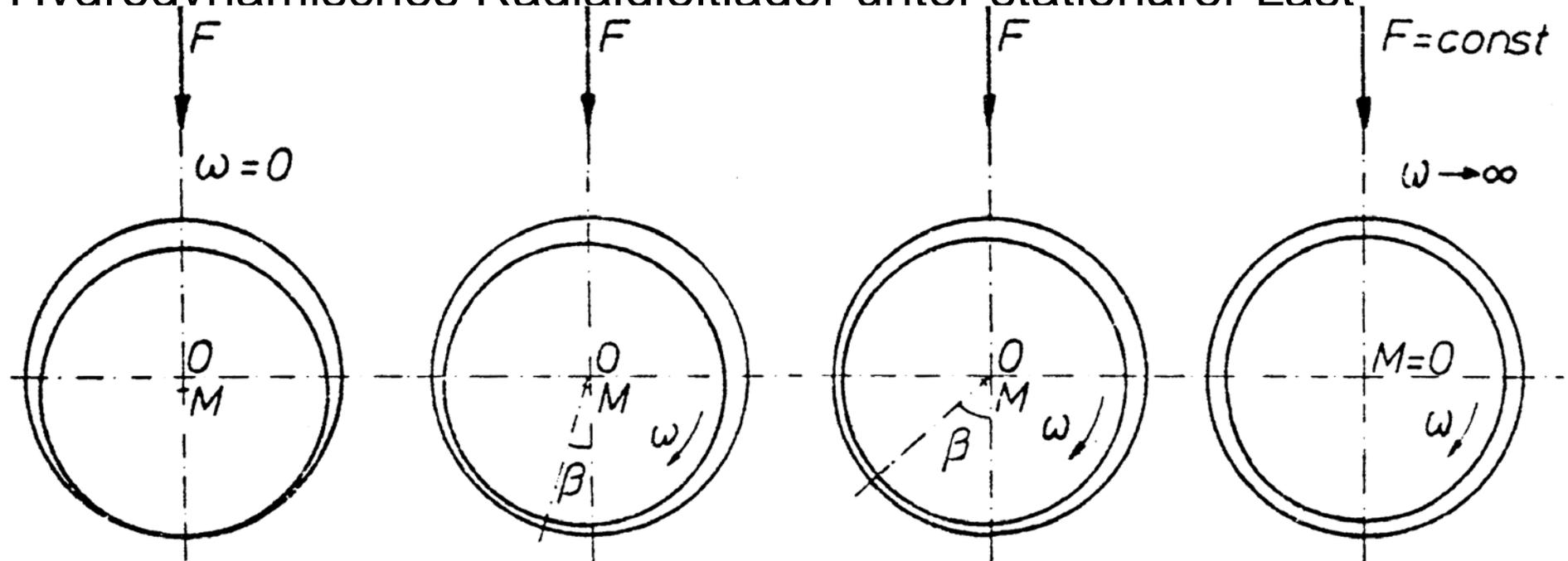
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

Hydrodynamisches Radialgleitlager unter stationärer Last



Lagerspiel / relatives Lagerspiel:  $s = d_L - d_W$  ,  $\psi = \frac{s}{d_L}$

relative Exzentrizität:  $\varepsilon = \frac{2e}{s}$

Mit zunehmender Drehzahl wird mehr Öl in den Keilspalt gefördert

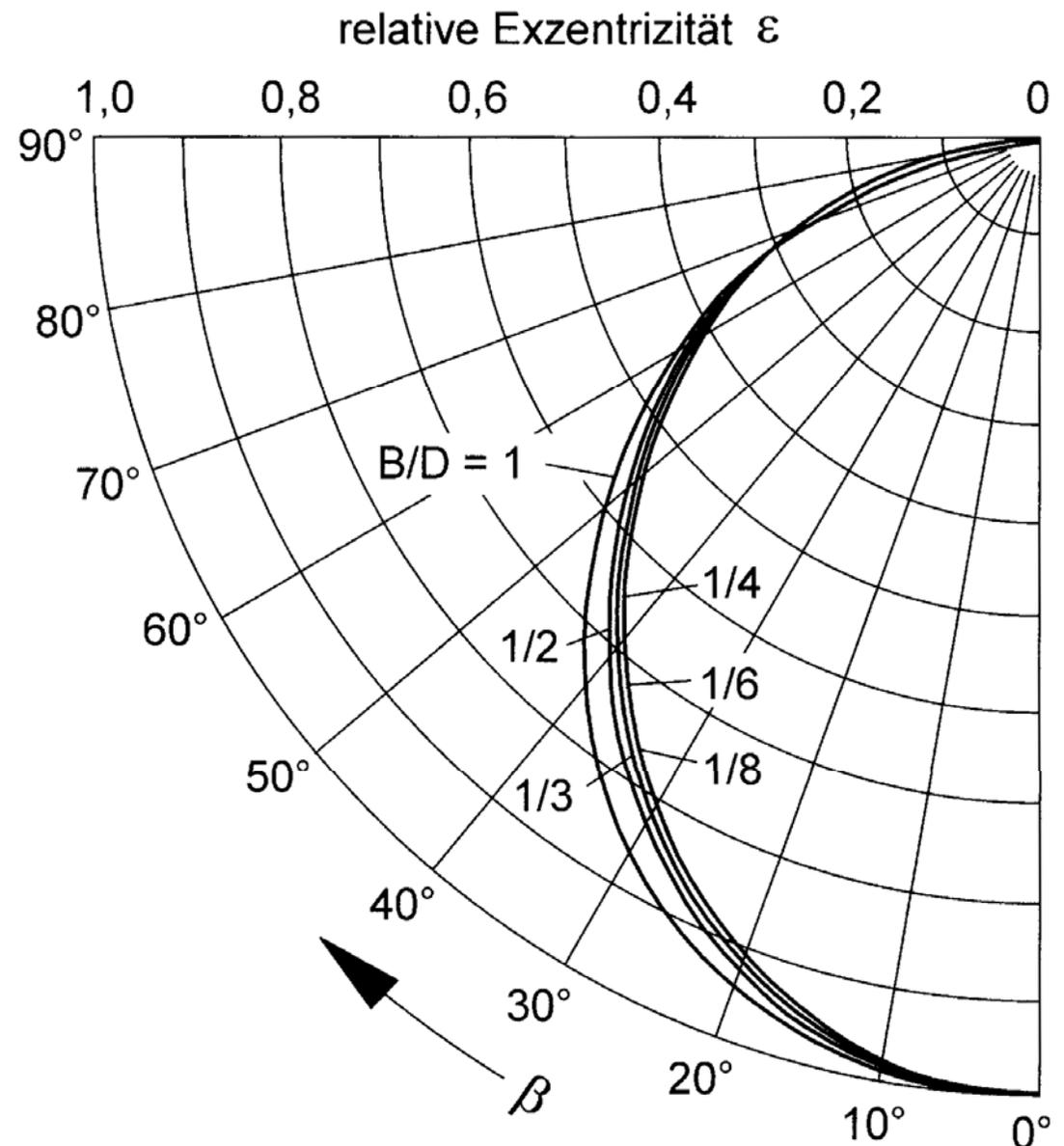
→ die Welle schwimmt auf

→ die Exzentrizität immer kleiner ausgehend von  $\varepsilon = 1$

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

Zustand des Lagers definiert durch Exzentrizität  $\varepsilon$  und Verlagerungswinkel  $\beta$

Gümbel – Kurve:  
Polarendiagramm:  
geometrischer Ort des Wellenmittelpunkts  
Verlagerungswinkel  $\beta$   
zwischen Lastrichtung  
und engstem Spalt  
abhängig von der Drehzahl



## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

Übertragung Prinzip des Keilspalts auf Radialgleitlager

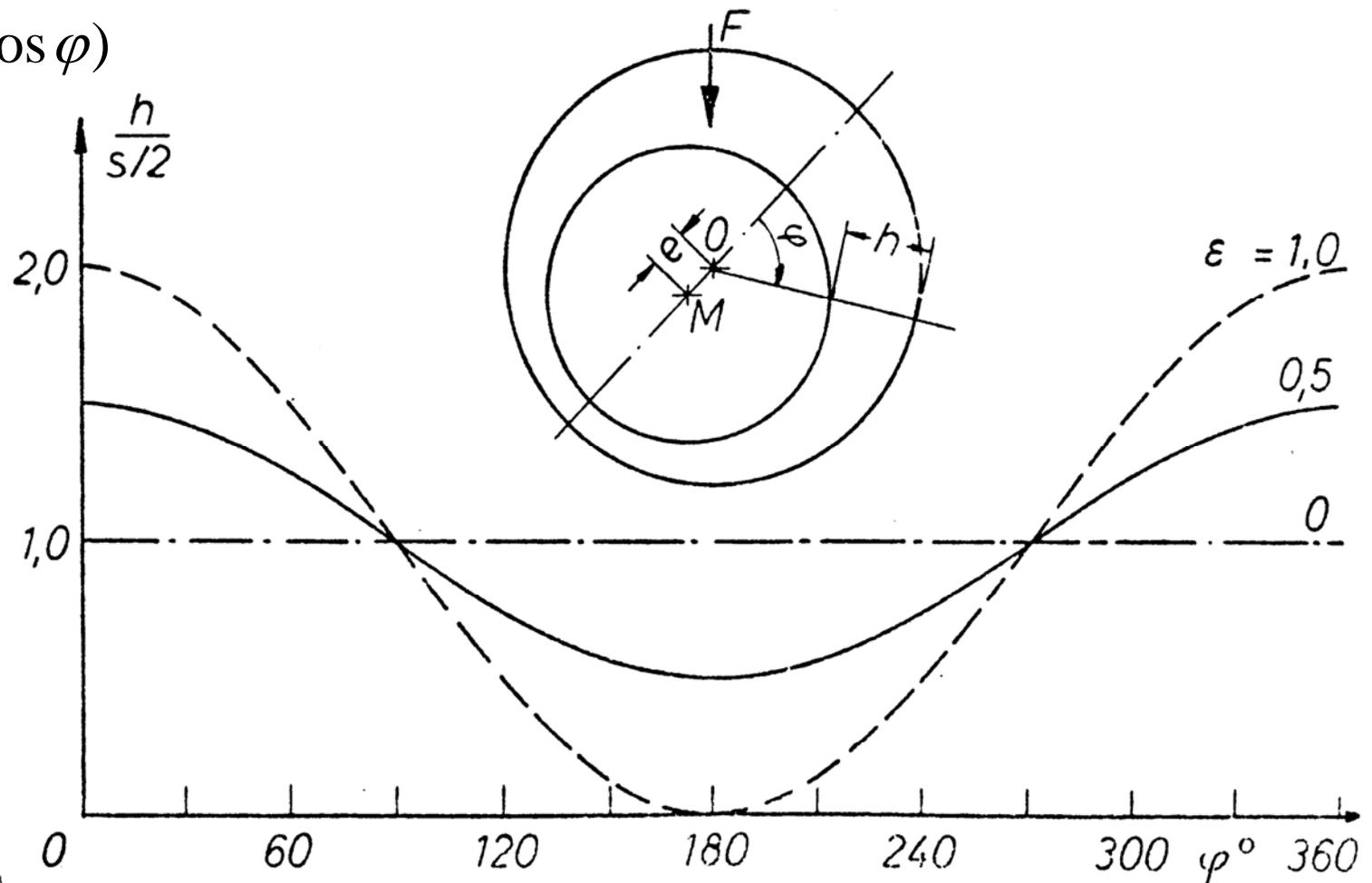
$s \ll d_L$  Vernachlässigung der Krümmung der Welle / Lagerschale

Spaltfunktion, Spalthöhe

$$h(\varphi) = \frac{d_L \psi}{2} (1 + \varepsilon \cos \varphi)$$

$$\varepsilon = 0$$

→ Welle rotiert  
konzentrisch in  
der Lagerschale

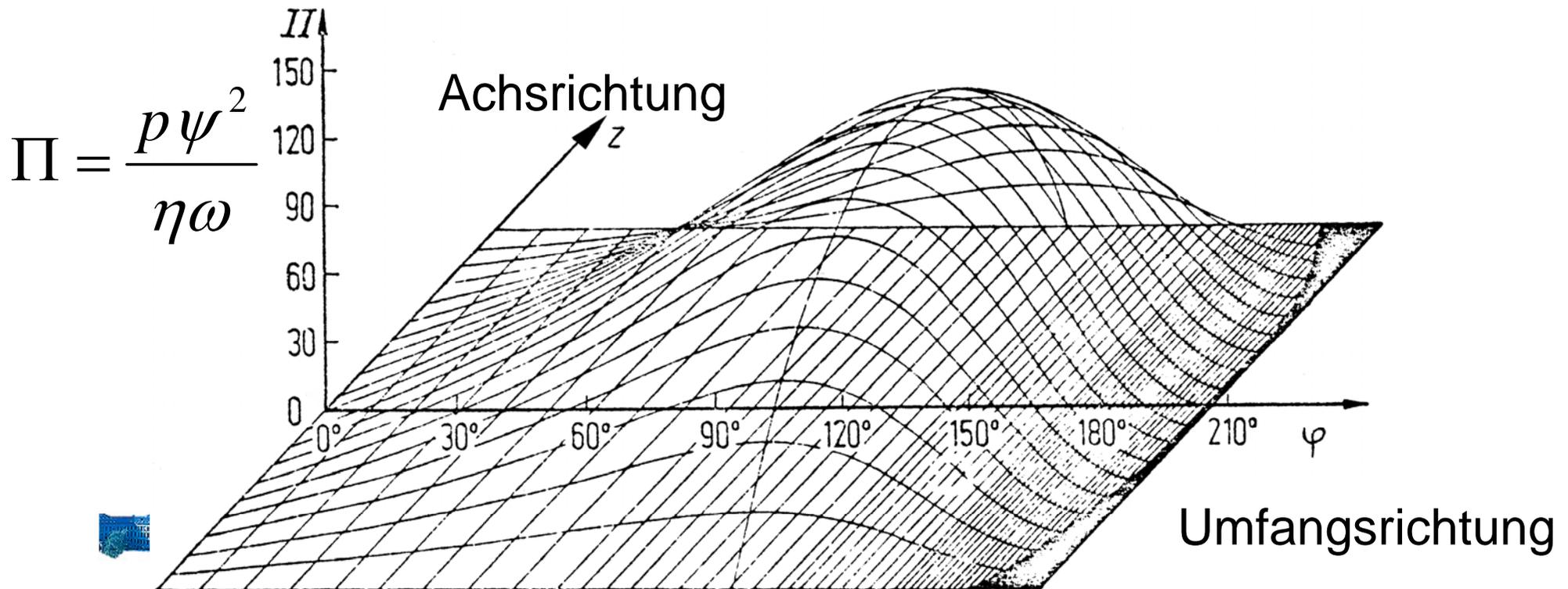


## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

Berücksichtigung des Abströmens in axialer Richtung und der Spaltfunktion → Reynoldssche Dgl.

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left[ (1 + \varepsilon \cos \varphi)^3 \frac{\partial p}{\partial \varphi} \right] + (1 + \varepsilon \cos \varphi)^3 \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = -12\eta\omega \frac{\varepsilon}{\psi^2} \sin \varphi$$

$$\text{Re} = \frac{\rho\omega d_w^2 \psi}{4\eta} \leq \frac{41.3}{\sqrt{\psi}} \quad \text{für laminares Verhalten}$$



KW1

z ist auf die Lagerbreite bezogen!!!!  
daher kommt B/DL schon als Parameter vor.  
Konrad Wegener; 07.05.2008

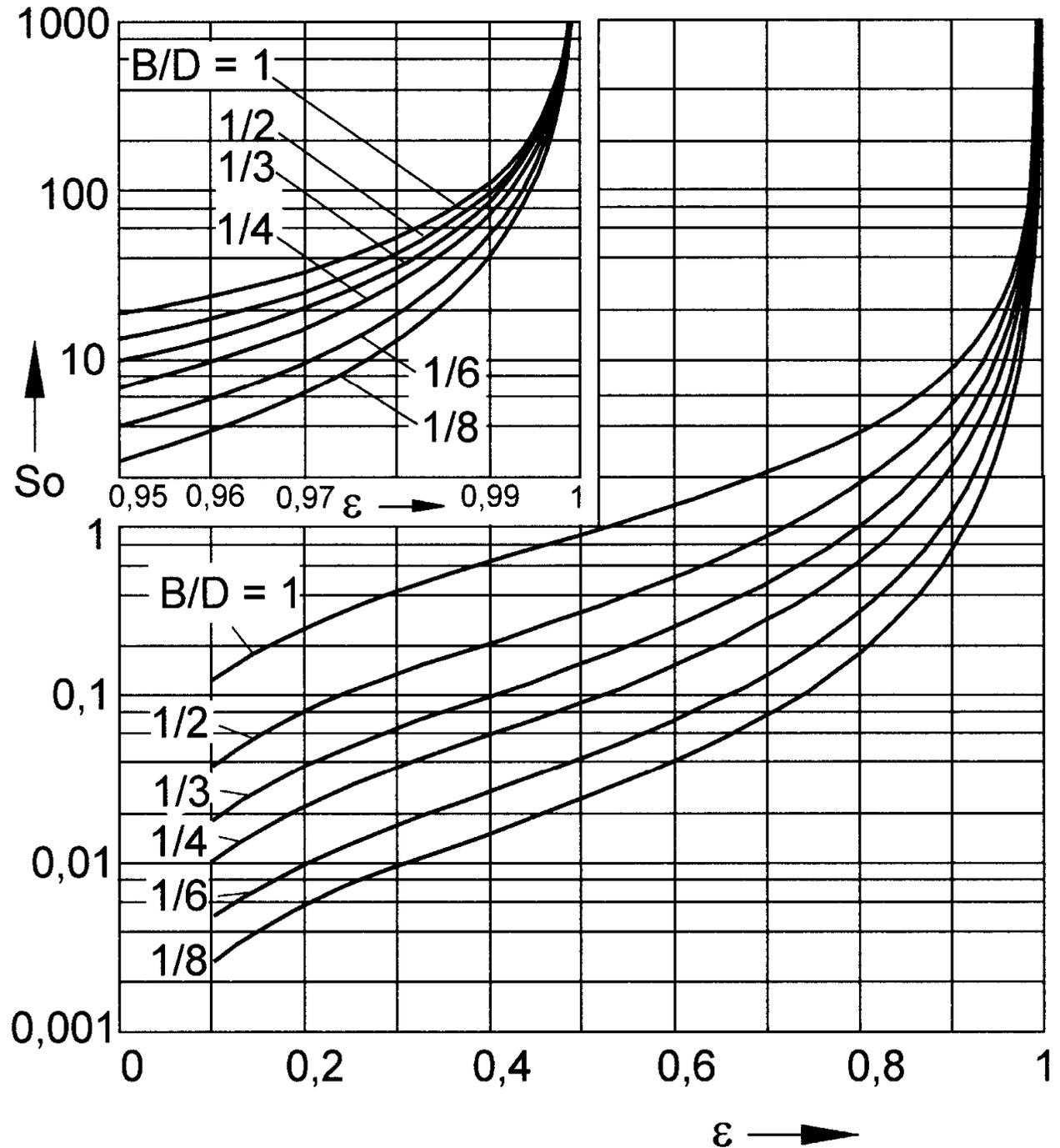
# 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

Lagerzustand

$$S_o = \frac{p_L \psi^2}{\eta \omega}$$

mittlerer Lagerdruck

$$p_L = \frac{F}{bd_L}$$



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

$S_o = \frac{p_L \psi^2}{\eta \omega}$  Sommerfeldzahl  $\rightarrow$  Zustandsparameter für Gleitlager

$p_L = \frac{F}{b d_L}$  mittlerer Lagerdruck

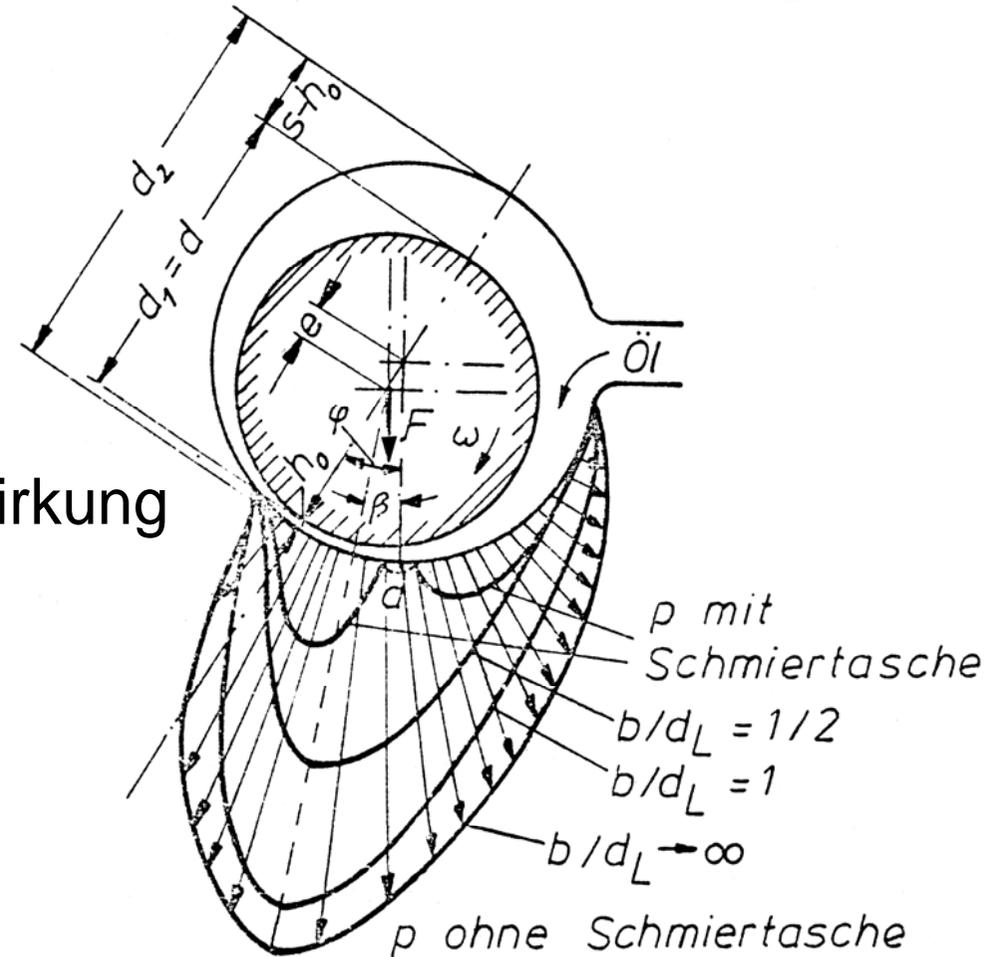
Ölvolumenstrom:  
num. Lösung der Reynolds Dgl.

$\dot{V} = \dot{V}_D + \dot{V}_{pZ}$  Förderwirkung, Druckwirkung

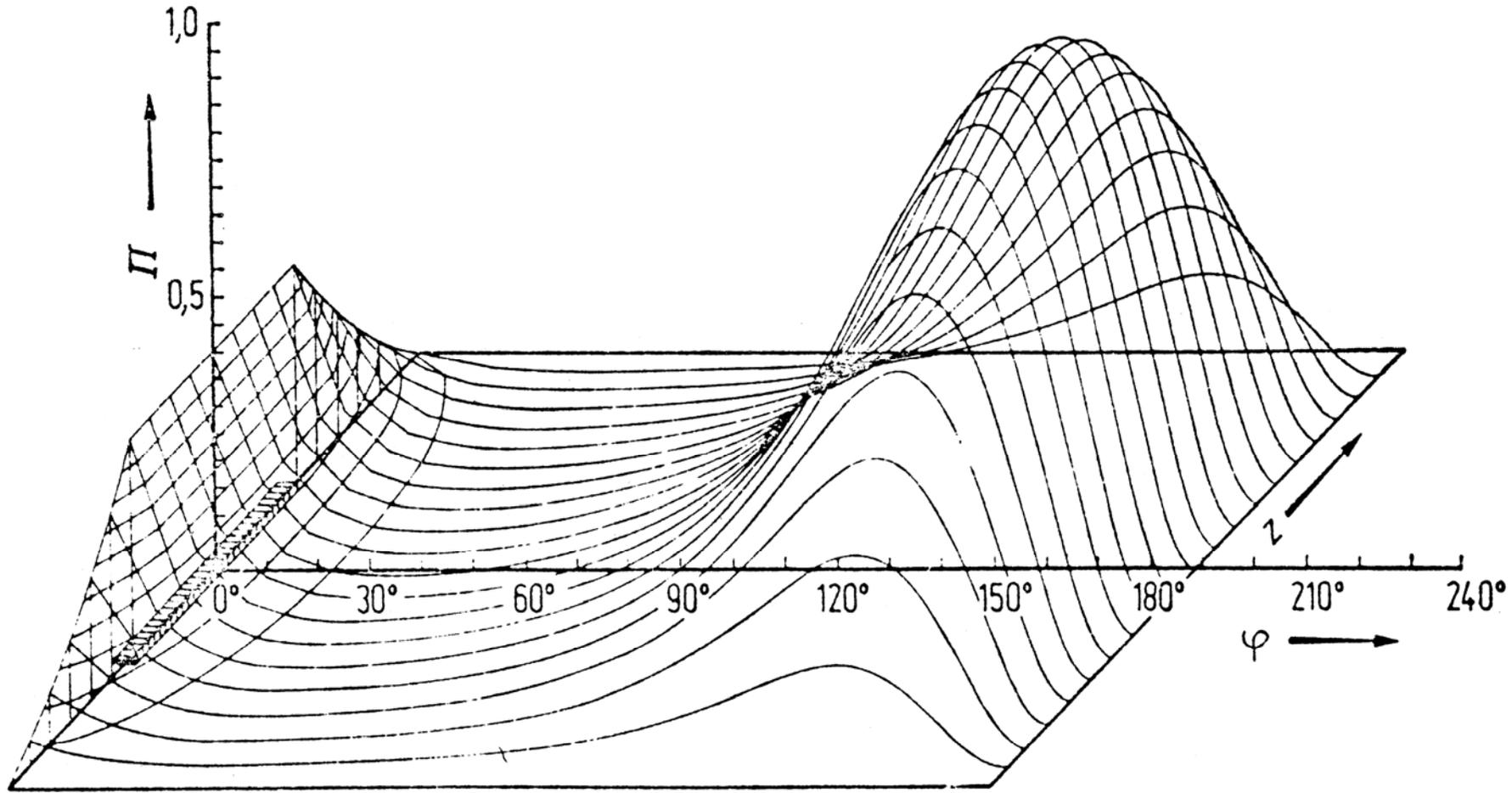
$$\dot{V}_D = \frac{d_w^3 \omega \psi \varepsilon}{4} \left[ \frac{b}{d_L} - 0.223 \left( \frac{b}{d_L} \right)^3 \right]$$

$$\dot{V}_{pZ} = \frac{\pi \psi^3 (1 + \varepsilon)^3 d_w^3}{48 \eta \ln(b/t_0)} \frac{p_Z}{q_T}$$

$$q_T = 1.188 + 1.582 \frac{t_0}{b} - 2.585 \left( \frac{t_0}{b} \right)^2 + 5.563 \left( \frac{t_0}{b} \right)^3 \quad t_0 = \text{Breite der Schmiertasche}$$



# 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager



Druckverteilung im Gleitlager für Schmiertasche an weitester Stelle

des Spalts  $t_0/b=0.4$ ,  $b/d_L=0.25$ ,  $\epsilon=0.7$ , 
$$\Pi = \frac{p \psi^2}{\eta \omega}$$

# 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

## Lagerreibung

$$\tau = \eta \frac{dv}{dy} = \eta \frac{v_W}{h}$$

$$v_W = \frac{d_W}{2} \omega$$

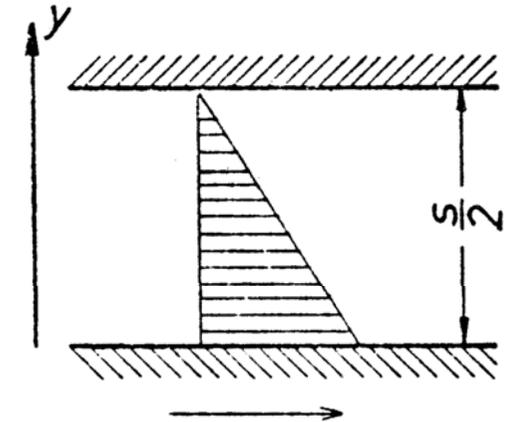
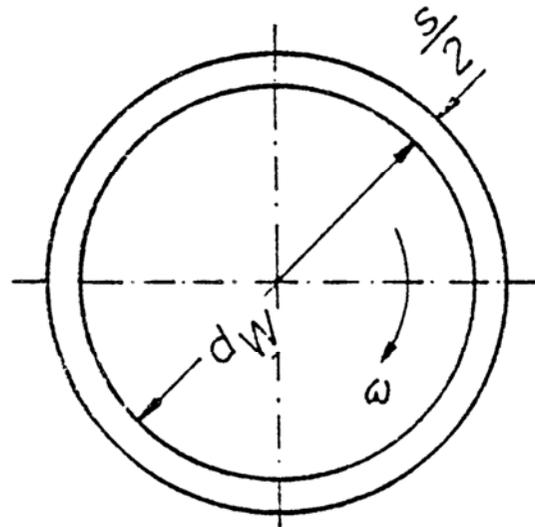
$$F_R = \pi d_W b \eta \frac{\omega}{\psi} \quad , \quad F = b d_W p_L$$

$$\mu = \frac{F_R}{F} \Rightarrow$$

$$\frac{\mu}{\psi} = \frac{\pi}{S_o}$$

Petroffsche Gleichung

gültig für unendlich breite Lager, zentrische Rotation



$$S_o = \frac{p_L \psi^2}{\eta \omega}$$

# Vorlesung 10: Wiederholung Vorlesung 9

---

- Gleitlager:
- Hydrodynamische Schmiertheorie:  
Keilspalt, Druckaufbau
- Berechnung der Tragfähigkeit
- Berücksichtigung Leckage
- Bauformen Radialgleitlager, Axialgleitlager
- Radialgleitlager: 2 – D – Strömungsproblem
- Sommerfeldzahl als Zustandsparameter des Gleitlagers

$$S_o = \frac{p_L \psi^2}{\eta \omega} \quad p_L = \frac{F}{bd_L}$$

- Ölvolumenströme Druck / und Schleppstrom
- Abhängigkeit der  $S_o$  von der relativen Exzentrizität
- Petroff – Gleichung für Reibung unendlich breiter Lager



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

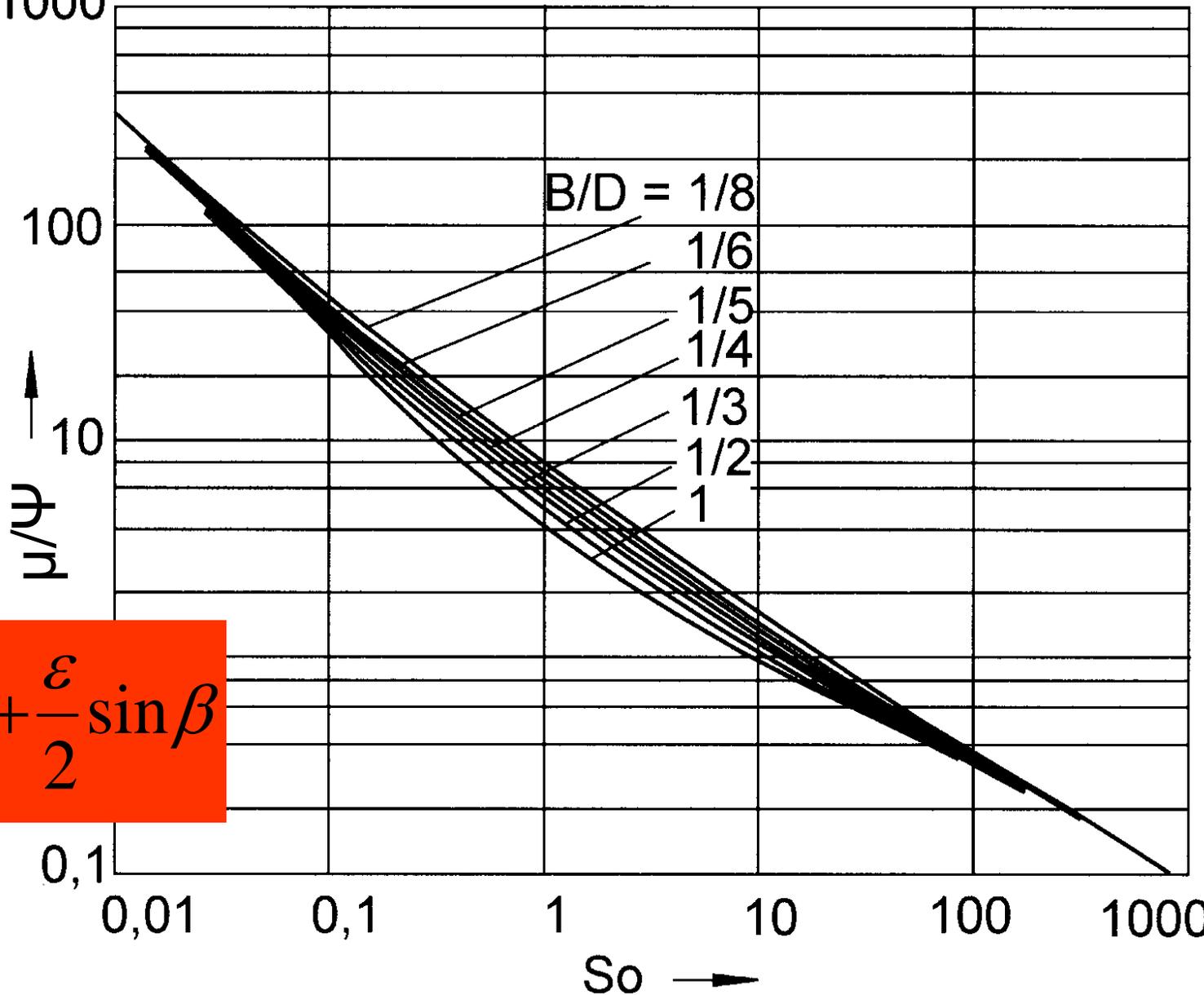
**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

Lagerreibung

1000

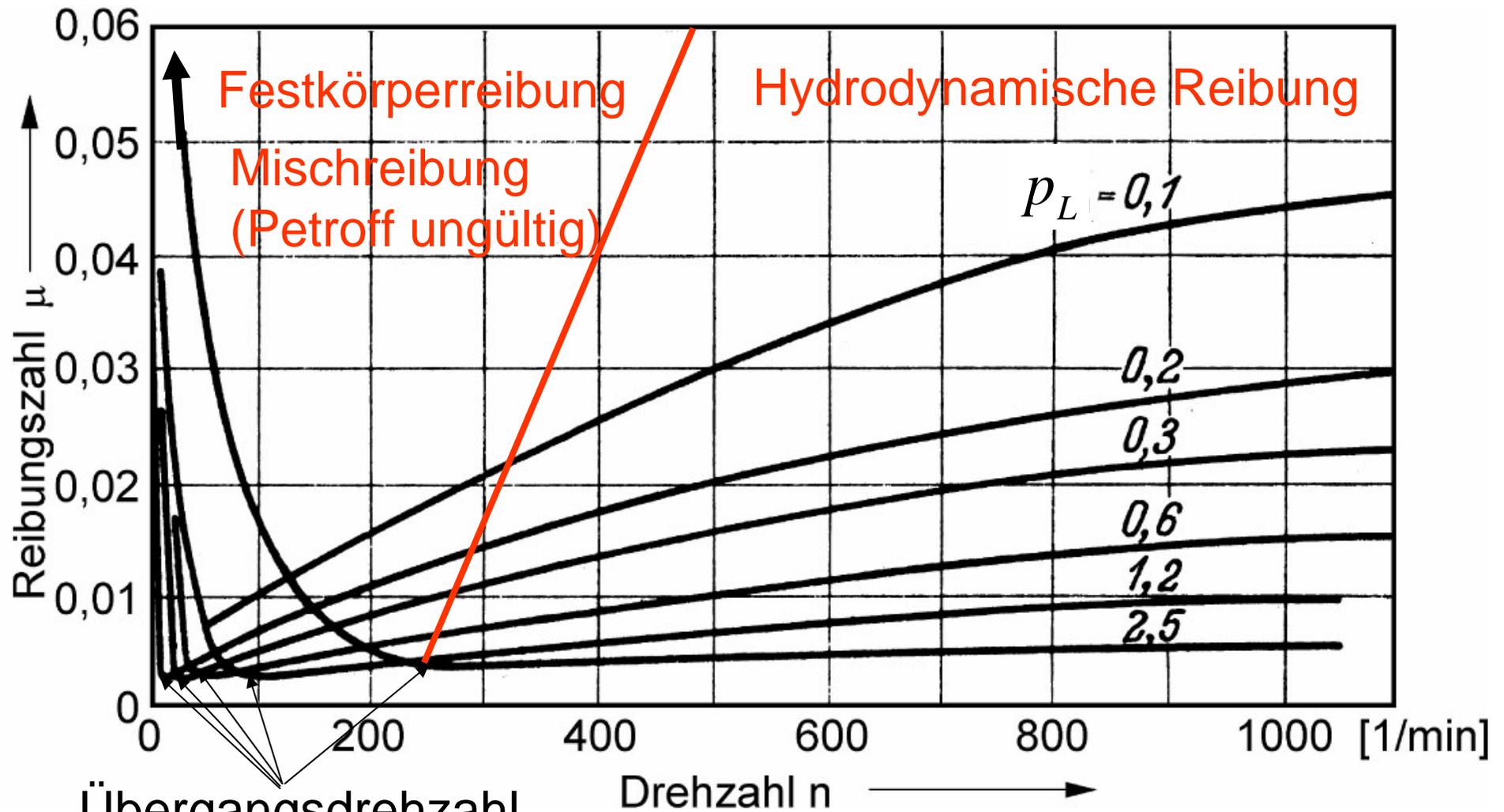


Näherung:

$$\frac{\mu}{\psi} = \frac{\pi}{S_o \sqrt{1 - \epsilon^2}} + \frac{\epsilon}{2} \sin \beta$$



## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager



Übergangsdrehzahl

Mischreibung: Festkörperreibung bei Rauigkeitsspitzen sowie hydrodynamisches Aufschwimmen



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

---

Reibleistung

$$M_R = \mu F \frac{d_W}{2} = \mu p_L b \frac{d_W^2}{2}$$

$$P_R = M_R \omega = \mu p_L b \frac{d_W^2}{2} \omega$$

Elimination von  $\mu$  über Petroff - Gleichung

$$P_R = \frac{\pi \psi}{S_o} p_L b \frac{d_W^2}{2} \omega = \frac{\pi}{\psi} \eta b \frac{d_W^2}{2} \omega^2$$

und mit  $S_o = \frac{p_L \psi^2}{\eta \omega}$



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

Leistungsbilanz:

$$P_R = P_\alpha + P_c$$

Reibleistung = Leistungsabgabe an die Umgebung plus  
Leistungsabgabe an Öl

Annahme: Schmierfilm, Welle und Gehäuse haben gleiche  
Temperatur  $\vartheta_L$

$$P_\alpha = \alpha A_G (\vartheta_L - \vartheta_U) \quad \text{Konvektion an die Umgebung}$$

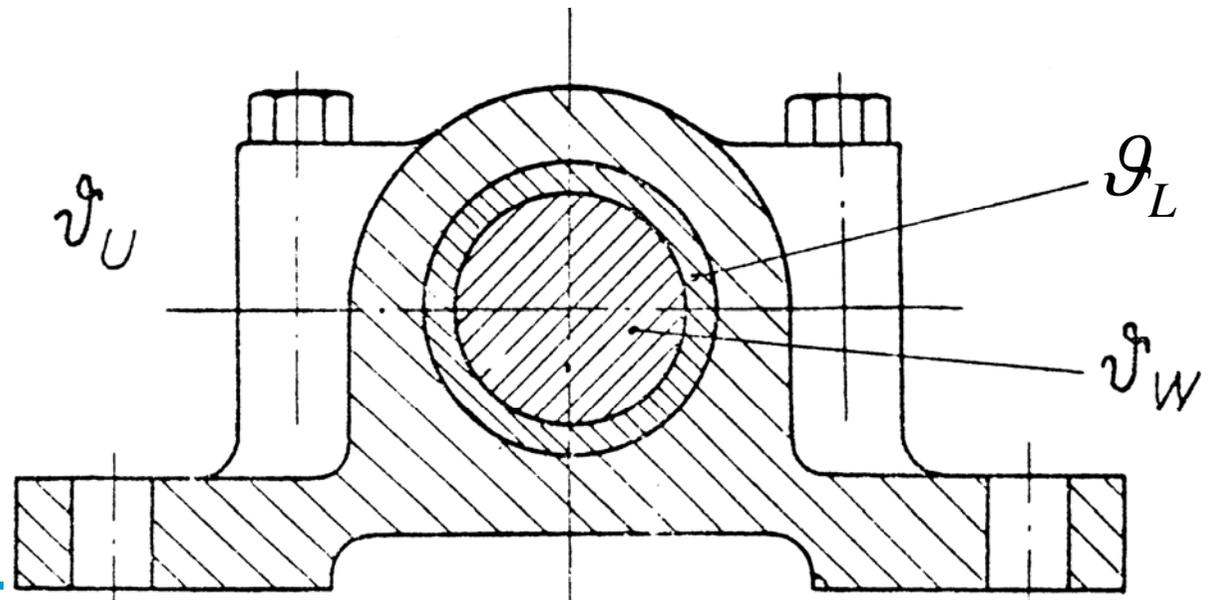
$$\alpha = 7 + 12\sqrt{w} \quad , \quad [w] = m/s \quad , \quad [\alpha] = \frac{W}{m^2 K}$$

$$A_G = \frac{\pi}{2} (D^2 - d_L^2) + \pi D_L b$$

Verschleppung durch Öl:

$$P_c = \dot{V} \rho c_p (\vartheta_a - \vartheta_e)$$

$$\vartheta_L = \frac{\vartheta_a + \vartheta_e}{2}$$



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

Lagerspiel: Einbaulagerspiel  $\leftrightarrow$  Betriebslagerspiel

Einbaulagerspiel:

$$s_{E \max} = (d_L + \Delta d_{Lo}) - (d_W + \Delta d_{Wu})$$

$$s_{E \min} = (d_L + \Delta d_{Lu}) - (d_W + \Delta d_{Wo})$$

Betriebslagerspiel: Erwärmung auf Betriebstemperatur

$$\Delta s_{\max} = \left[ (d_L + \Delta d_{Lo}) \alpha_L - (d_W + \Delta d_{Wu}) \alpha_W \right] (\vartheta_L - \vartheta_R)$$

$$\Delta s_{\min} = \left[ (d_L + \Delta d_{Lu}) \alpha_L - (d_W + \Delta d_{Wo}) \alpha_W \right] (\vartheta_L - \vartheta_R)$$

$$s_{B \max} = s_{E \max} + \Delta s_{\max}$$

$$s_{B \min} = s_{E \min} + \Delta s_{\min}$$

$$\psi_B = \frac{s_{B \max} + s_{B \min}}{2d_L} \quad \text{Prüfung auf Funktionssicherheit mit mittlerem Lagerspiel}$$

$$\psi_{B, \text{start}} = 10^{-3} \sqrt[4]{0.4 \cdot u_W} \quad , \quad [u_W] = m/s \quad \text{Prädiktorschritt}$$



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

---

Anhaltswerte für  $\psi_B$

- Rauher Betrieb und grobe Oberflächen: 0.3%
- Gering belastete Turbinenlager: 0.2%
- Allgemeiner Maschinenbau: 0.1%
- Werkzeugmaschinenspindeln: 0.05 bis 0.5%



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

# 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

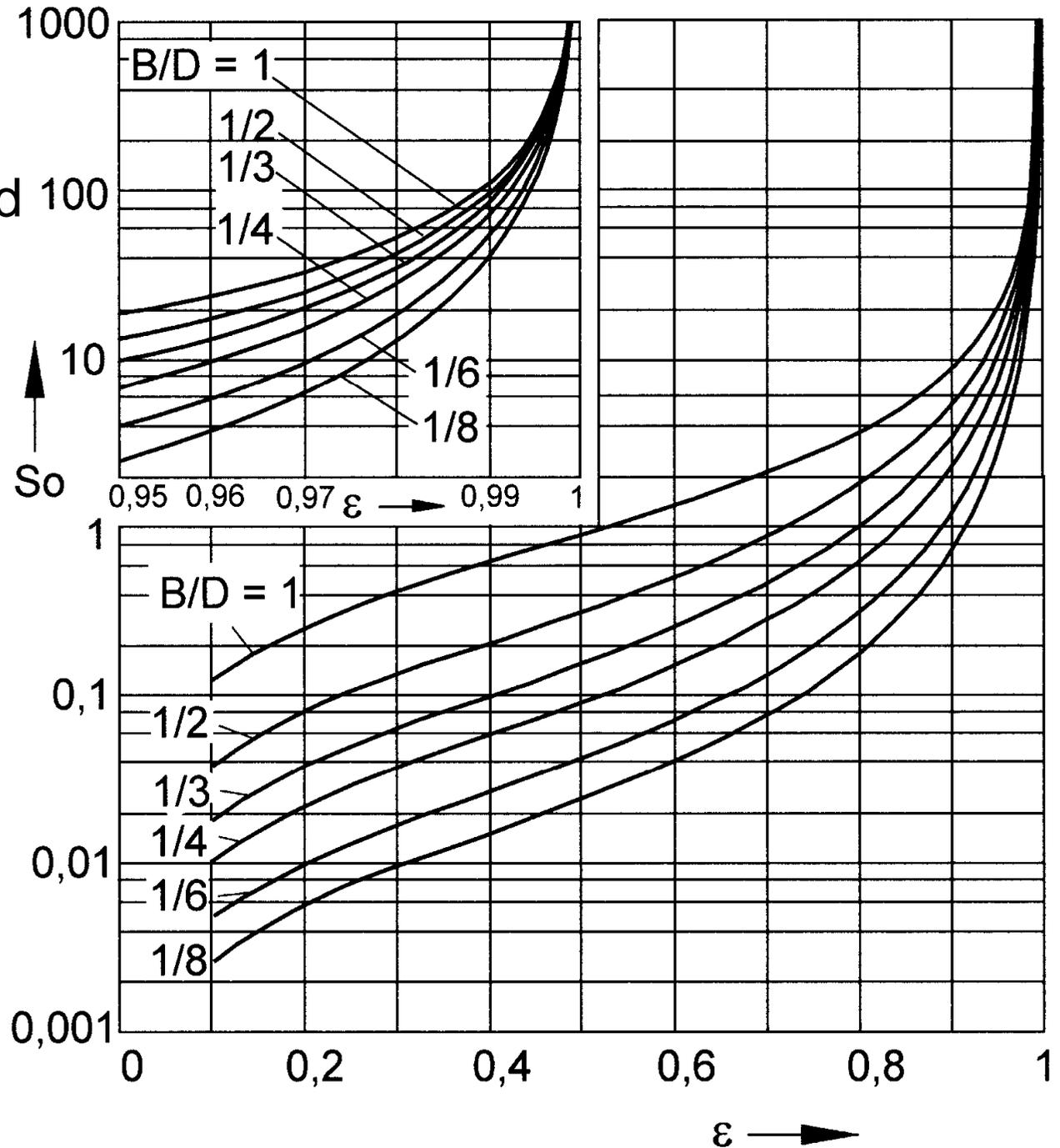
Lagerspalthöhe

$$S_o = \frac{p_L \psi^2}{\eta \omega} \quad \text{Lagerzustand}$$

min. Spalthöhe:  $\varphi = \pi$

$$h_0 = \psi_B \frac{d_L}{2} (1 - \varepsilon)$$

Viskosität bei Betriebstemperatur!!!



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

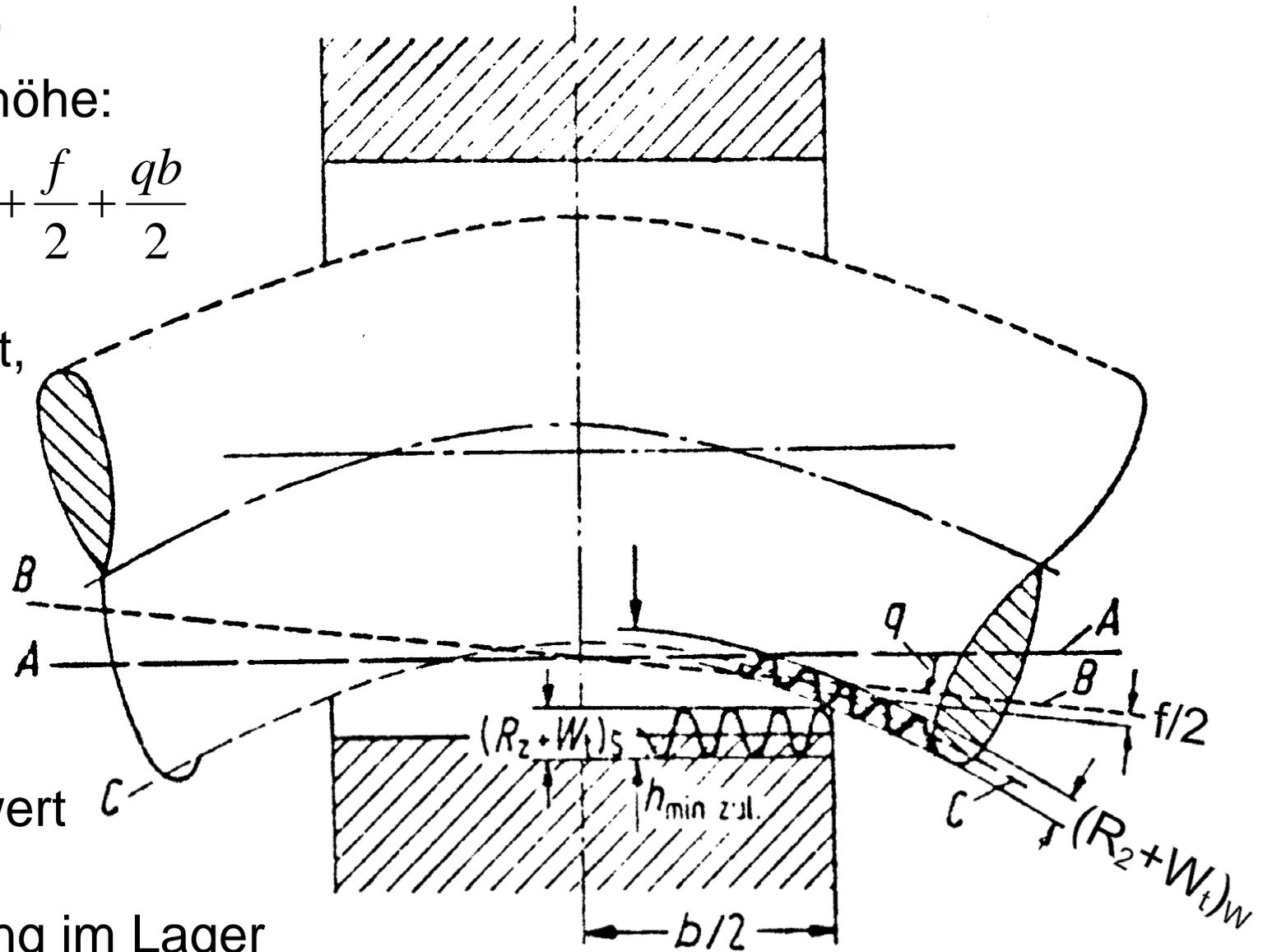
## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

zulässige Spalthöhe:

$$h_{0zul} = \sum (R_z + W) + \frac{f}{2} + \frac{qb}{2}$$

Einlauf unter  
verminderter Last,  
Laststeigerung :

$$h_{0zulE} = \sum R_a$$



- $R_z$  Rauigkeit
- $R_a$  Mittenrauhwert
- $W$  Welligkeit
- $f$  Durchbiegung im Lager
- $q$  Verkantungswinkel



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.3.4 Auslegung Radialgleitlager

---

Anforderungen:

- gutes Einlaufverhalten, gute Glättbarkeit
- gute Notlaufeigenschaften
- hohe Wärmeleitfähigkeit
- die relativ zur Last bewegte Oberfläche hat die höhere Härte

Weissmetalle: Hochbleihaltig oder hochzinnhaltig

- geringe Tragfähigkeit → nur als Verbundkonstruktion
- Zinn für die Korrosionsbeständigkeit

Bronzen: Bleibronze: gute Notlaufeigenschaften, nicht sehr verschleissfest. besser: Zinn – Blei.

Rotguss und Messing als Ersatz für Zinn – Bleibronzen

Al – Bronzen → hohe Verschleissbeständigkeit



**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

## 6.4.3.4 Auslegungsgang

---

- 1.) Annahme Betriebstemperatur
- 2.) Bestimmung des effektiven Lagerspiels
- 3.) Ermittlung der effektiven dynamischen Viskosität
- 4.) Überprüfung auf laminare Strömung im Lager
- 5.) Bestimmung der minimalen Schmierfilmdicke
- 6.) Bestimmung des Reibmoments (für Antriebsauslegung) und der Reibleistung
- 7.) Bestimmung des Schmiermitteldurchsatzes (für Dimensionierung der Pumpe)
- 8.) Berechnung der kleinsten zulässigen Spaltweite, der minimalen Gleitgeschwindigkeit für hydrodynamische Schmierung und Prüfung auf Betriebssicherheit.
- 9.) Berechnung der Lagertemperatur



**ETH**

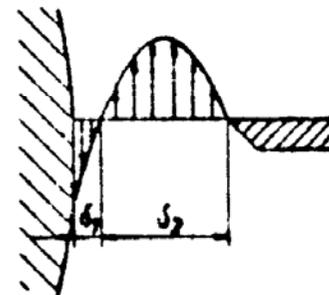
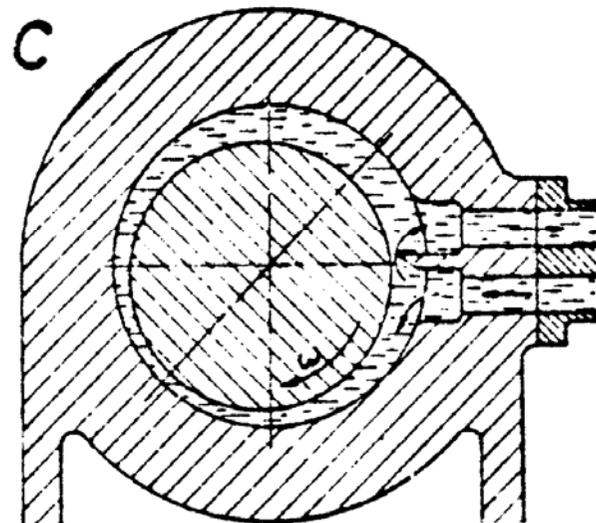
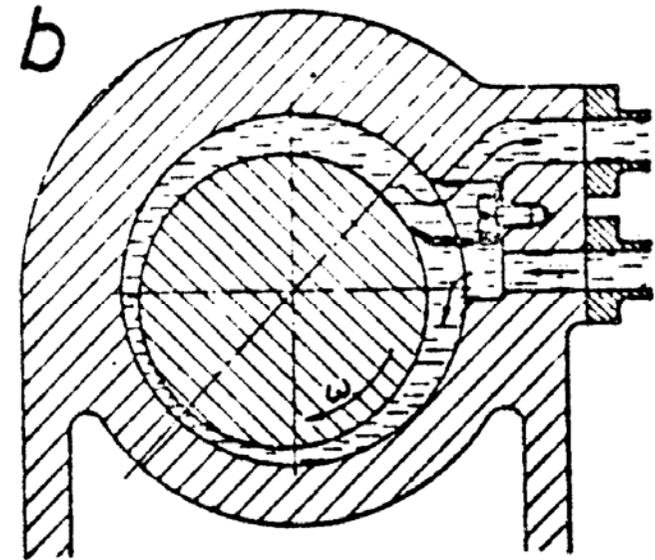
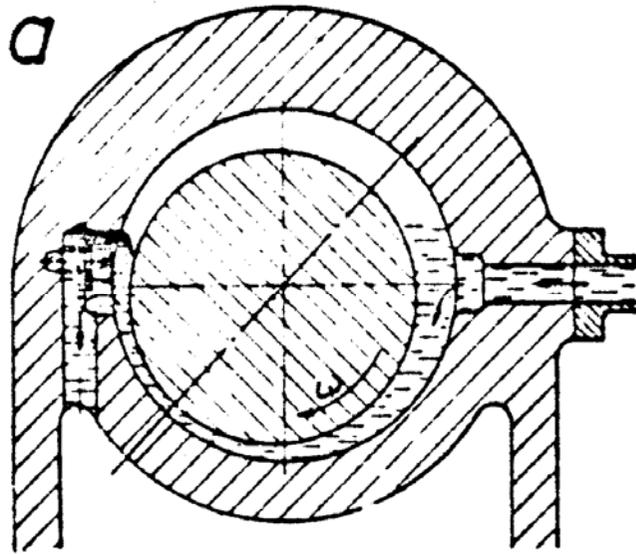
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

**IWF**

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung  
Institute of Machine Tools and Manufacturing

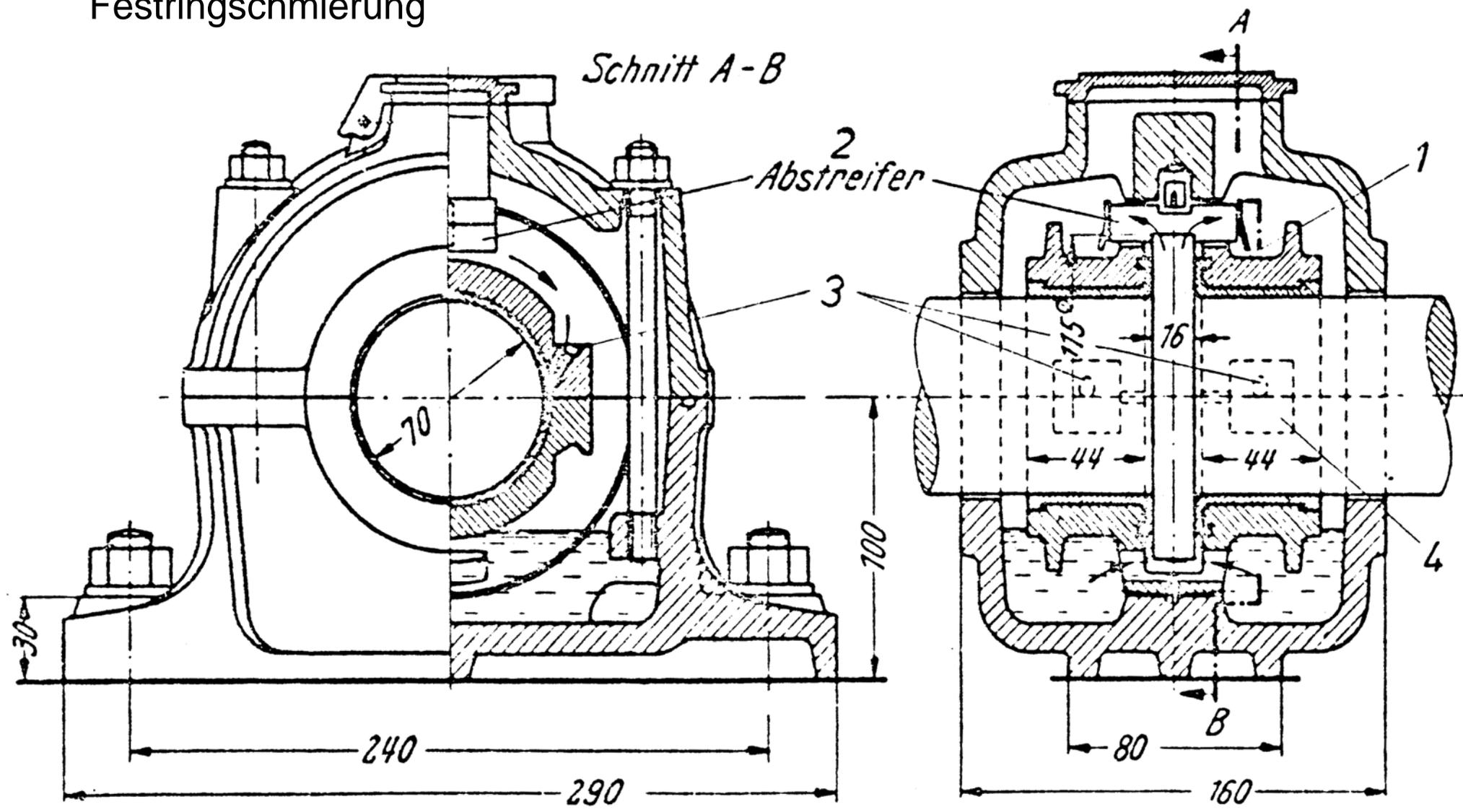
# 6.4.3.5 Beispiele: Ölerneuerung

Ölerneuerung



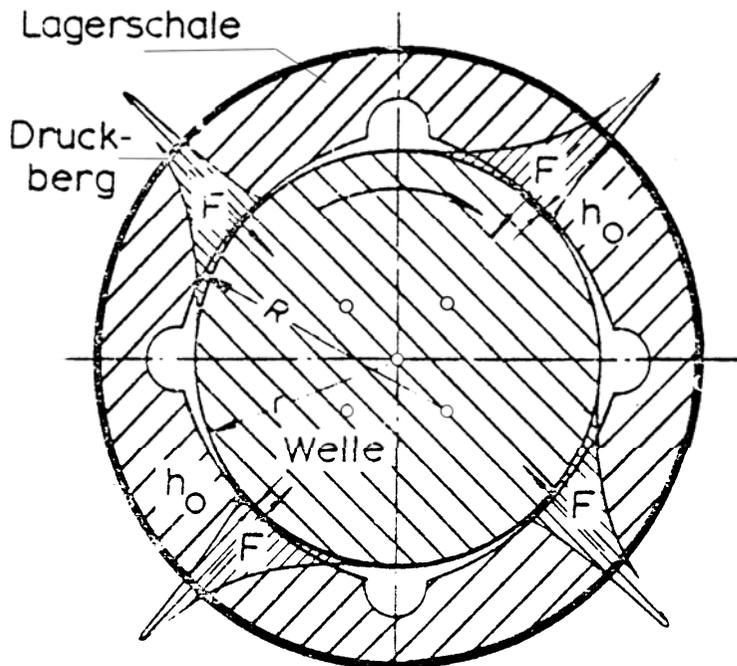
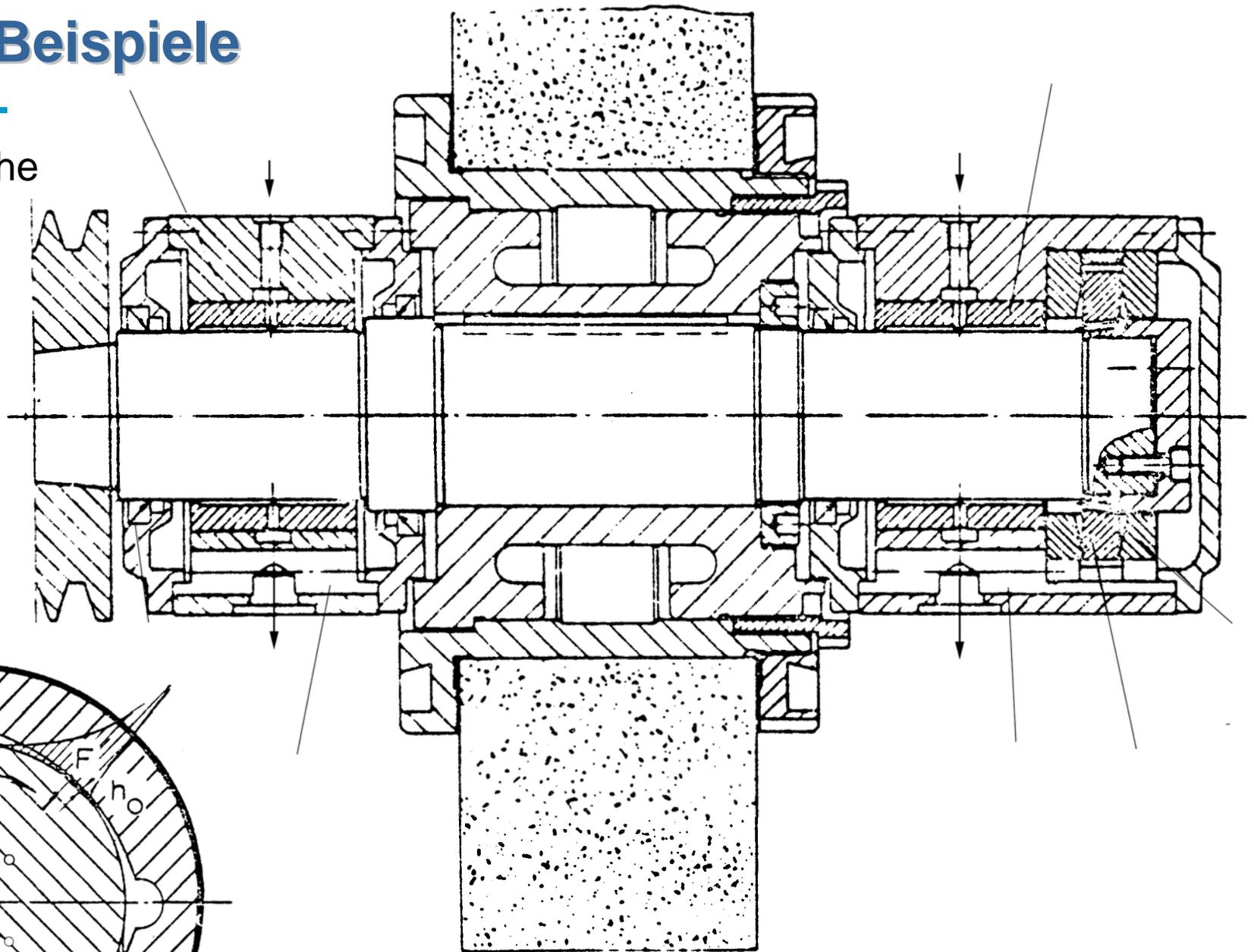
# 6.4.3.5 Beispiele

## Festringschmierung



# 6.4.3.5 Beispiele

Hydrodynamische Schleifspindel



# 6.4.3.5 Beispiele

Spurlager Wasserturbine  
Sphärisches Druckstück 2  
zur Winkeleinstellung  
Druckring 7  
Axialgleitlager 8  
Konusring 5  
(nachgiebig)

