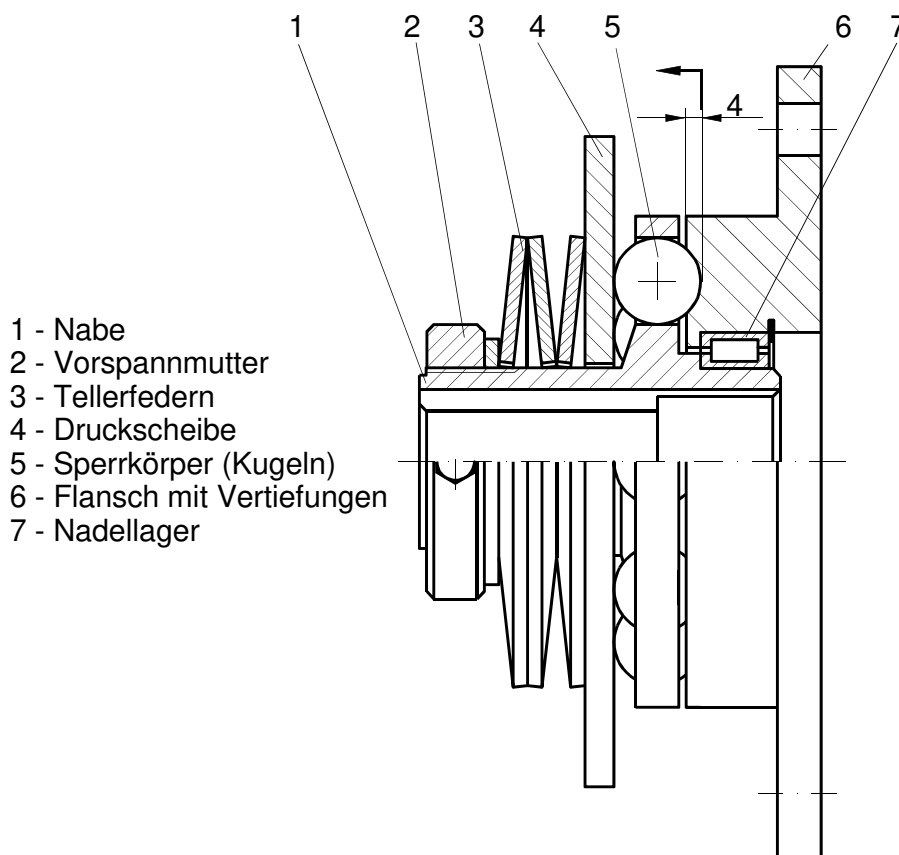


# Federn

## 1. Aufgabe

Die dargestellte Kupplung wird zum Schutz von Maschinen vor Überlasten eingesetzt. Beim Überschreiten des durch die Vorspannung der Federn bestimmten Drehmomentes werden die als Sperrkörper dienenden Kugeln aus den Vertiefungen des auf der Nabe drehbar gelagerten Flanschteiles herausgedrückt, die Kupplung ratscht durch und der Kraftfluß wird unterbrochen. Durch die eingesetzten Federn soll die Vorspannung zwischen einem unteren Wert von  $F_u = 5,0 \text{ kN}$  und einem oberen Wert  $F_o = 30,0 \text{ kN}$  variiert werden können. Für eine solche verstellbare Sicherheitskupplung sind die Federelemente und die Einstelldaten für zwei Ausführungen zu berechnen.



- 1 - Nabe
- 2 - Vorspannmutter
- 3 - Tellerfedern
- 4 - Druckscheibe
- 5 - Sperrkörper (Kugeln)
- 6 - Flansch mit Vertiefungen
- 7 - Nadellager

Tellerfeder DIN 2093 - A 100 Gr 2

Innendurchmesser	$D_i = 51 \text{ mm},$
Außendurchmesser	$D_a = 100 \text{ mm},$
Dicke des Einzeltellers	$t = 6 \text{ mm},$
Bauhöhe unbelastet	$l_0 = 8,5 \text{ mm},$
zulässige Federkraft	$F_{zul} = 48 \text{ kN},$
zulässiger Federweg	$s_{zul} = 1,65 \text{ mm}.$

### **Variante I mit wechselseitig angeordneten Tellerfedern (siehe Skizze)**

- a) Berechnen Sie, ob bei maximaler Vorspannung bei einem Einsatz von  $n = 5$  Tellerfedern des Typs DIN 2093 -A 100 Gr 2 die zulässigen Tellerfederwerte eingehalten werden, wenn das Federpaket beim Auslösen der Kupplung durch das Herausrücken der Kugeln aus ihren Sitzen um weitere 4 mm zusammengedrückt wird. Werden die zulässigen Werte überschritten, führen Sie die weiteren Berechnungen mit einer Tellerfederanzahl von  $n = 7$  fort.
- b) Berechnen Sie die Länge  $L_{T0}$  des ungespannten Federpaketes.
- c) Berechnen Sie den Vorspannweg  $s_{Tu}$  für die minimale Vorspannkraft.
- d) Berechnen Sie den Vorspannweg  $s_{T0}$  für die maximale Vorspannkraft.
- e) Berechnen Sie die Ausnutzung  $A_{T0}$  bei maximaler Vorspannung.
- f) Berechnen Sie die Ausnutzung  $A_T^*$  bei ausgerückten Kugeln.

### **Variante II mit der spezifizierten Schraubenfeder nach DIN 2096**

Drahtdurchmesser	$d$	=	28 mm
Windungsdurchmesser	$D$	=	100 mm
Anzahl der federnden Windungen	$i_f$	=	3
Schubmodul	$G$	=	83 000 Nmm <sup>-2</sup>
zul. Schubspannungen	$\tau_{t\text{ zul}}$	=	700 Nmm <sup>-2</sup>

- g) Berechnen Sie die Federrate  $c_S$  der Schraubenfeder.
- h) Berechnen Sie den Vorspannweg  $s_{Su}$  für die minimale Vorspannkraft.
- i) Berechnen Sie den Vorspannweg  $s_{S0}$  für die maximale Vorspannkraft.
- j) Berechnen Sie die Ausnutzung  $A_{S0}$  bei maximaler Vorspannung.
- k) Berechnen Sie die Ausnutzung  $A_S^*$  bei ausgerückten Kugeln.

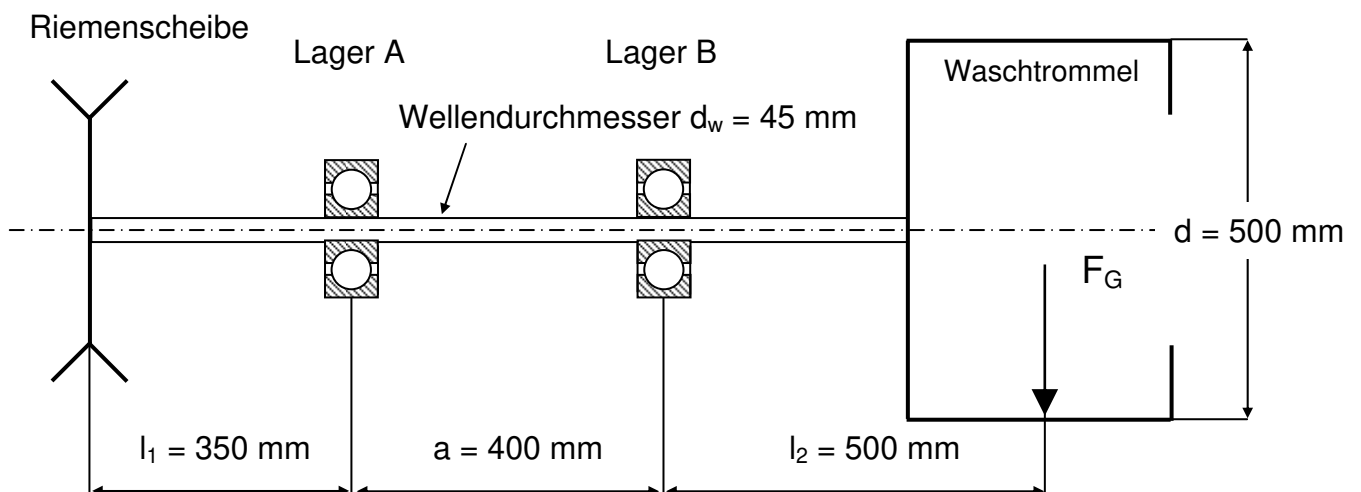
**Hinweis:** Die Ausnutzung kann hier aufgefaßt werden als das Verhältnis von auftretender zu zulässiger Belastung, Verformung oder Beanspruchung.

## Wälzlager

### 2. Aufgabe

Für die Trommellagerung einer Waschmaschine ist die Dimensionierung der Lager durchzuführen. Die dazu notwendigen Annahmen sind aus der Skizze zu entnehmen. Zur Ermittlung der Lagerbelastungen kann für die Gesamtkraft  $F_G$  die Zentrifugalkraft  $F_Z$ , resultierend aus einer Unwuchtmasse  $m = 1,5 \text{ kg}$  und der Schleuderdrehzahl  $n = 1000 \text{ 1/min}$ , angenommen werden. Diese Kraft wirkt in der Mitte der Waschtrommel.

(Hinweis: Die Zentrifugalkraft  $F_Z$  errechnet sich aus  $F_Z = m \cdot \frac{d}{2} \cdot \omega^2$ .)



- a) Wählen Sie für die Lagerstelle auf der Riemenseite (Lager A) und für die trommelseitige Lagerstelle (Lager B) aus unten stehender Tabelle ein Rillenkugellager aus, unter Berücksichtigung, dass die nominelle Lebensdauer  $L_h$  500 h betragen soll.

Tabelle zu Aufgabenteil a)

$d_w$ [mm]	D [mm]	B [mm]	dyn. C [kN]	stat. $C_0$ [kN]	Grenzdreh- zahl [ $\text{min}^{-1}$ ]	Bezugsdrehzahl n [ $\text{min}^{-1}$ ]	Kurzzeichen [Lager FAG]
45	75	10	16,2	12,8	22000	8500	16009
45	75	16	20	14,3	22000	11000	6009
45	85	19	31	20,4	19000	10000	6209

Auszug aus dem FAG-Wälzlagerkatalog

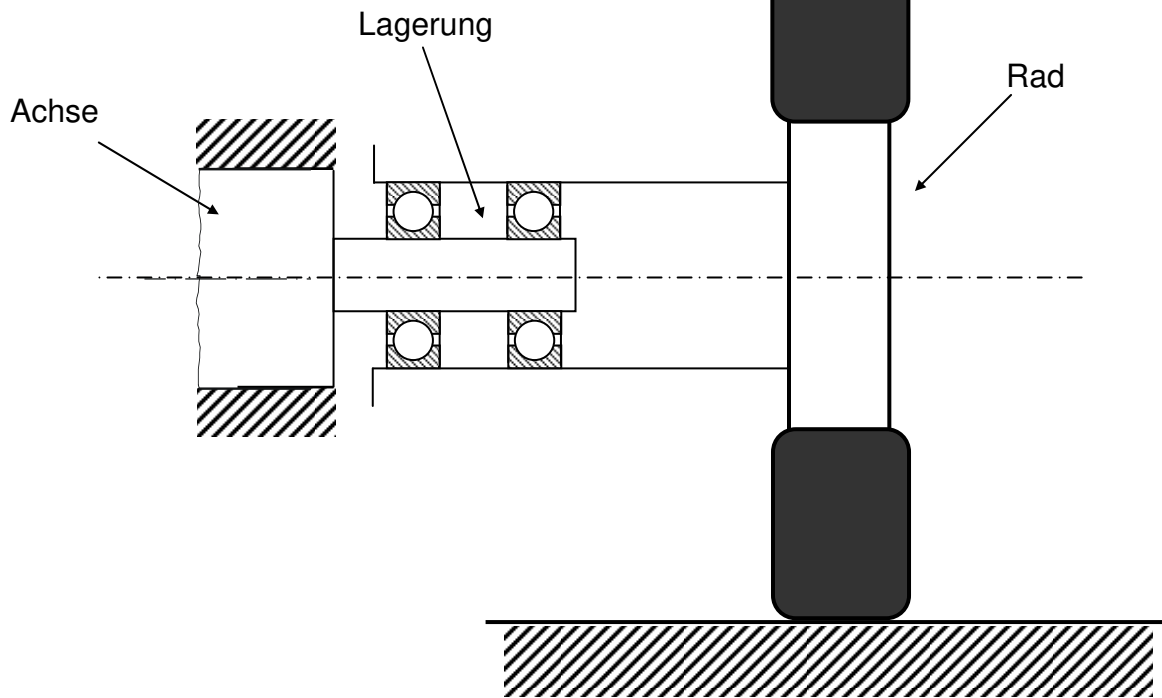
- b) Das Lager A soll durch ein Rollenlager gleicher Abmessung mit der dynamischen Tragzahl  $C = 21 \text{ kN}$  ersetzt werden. Um wie viel Prozent steigt die Lebensdauer dieses Lagers gegenüber der des in Aufgabenteil a) ausgewählten Rillenkugellagers?
- c) Welche Beanspruchungen ergeben sich für die Lagerringe bezüglich Punkt- und Umfangslast? Kreuzen Sie die entsprechenden Lösungen in der nachfolgenden Tabelle an.

	Punktlast	Umfangslast
Lagerinnenring		
Lageraußenring		

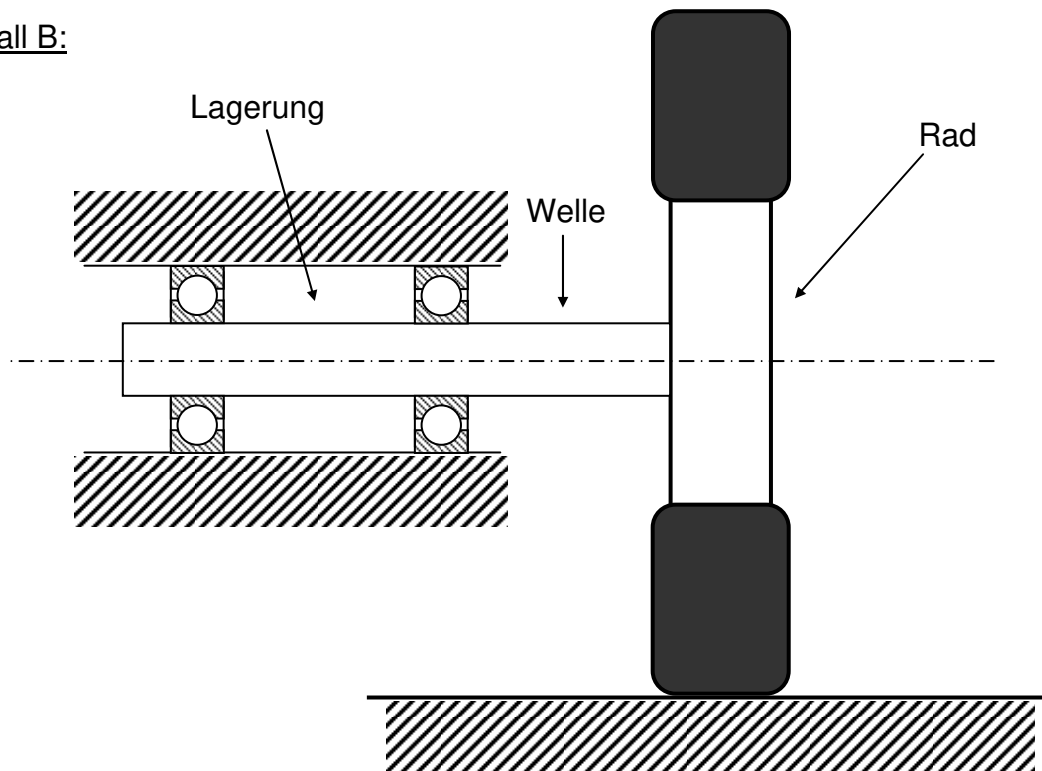
- d) Für welche der beiden, auf der nächsten Seite dargestellten Radlagerungs-fälle A bzw. B ist eine größere Lagerlebensdauer zu erwarten? Geben Sie eine Begründung in der nachfolgend angegebenen Tabelle an.

Fall	
Begründung	

Fall A:



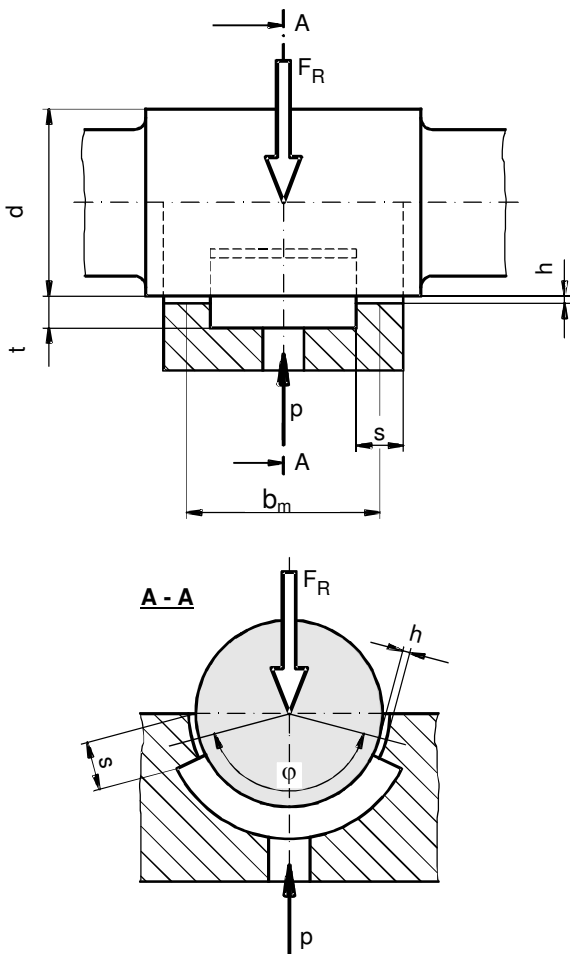
Fall B:



## Gleitlager

### 3. Aufgabe

Das dargestellte hydrostatische Radial-Gleitlager (siehe Skizze) wird durch eine volumetrische Pumpe mit einem Taschendruck von  $p_i = 4,5 \cdot 10^5$  Pa versorgt.



Es sind folgende Daten gegeben:

Drehzahl:	$n$	$= 20$	$s^{-1}$
mittl. Randlänge der Tasche:	$b_m$	$= 150$	mm
Wellendurchmesser:	$d$	$= 120$	mm
Stegbreite:	$s$	$= 4$	mm
Winkel zwischen den Stegmitten:	$\varphi$	$= 150^\circ$	
Ölzähigkeit:	$\eta$	$= 5 \cdot 10^{-3}$	$Nsm^{-2}$
Wirkungsgrad der Ölpumpe:	$\eta_p$	$= 0,8$	
Zulässige Flächenpressung des Stegs:	$p_{zul}$	$= 10$	$Nmm^2$
Umgebungsdruck:	$p_0$	$= 0$	Pa
Rautiefe der Welle:	$R_{zWelle}$	$= 12$	$\mu m$
Rautiefe des Stegs:	$R_{zSteg}$	$= 6$	$\mu m$

- Wie groß ist die radiale Lagerlast  $F_R$ , die von diesem Lager aufgenommen werden kann?
- Überprüfen Sie ob die angegebene Stegbreite  $s$  ausreichend dimensioniert ist.
- Wie groß muß die Pumpenleistung mindestens sein, damit Flüssigkeitsreibung im Lager gewährleistet ist?

- d) Berechnen Sie die Reibverlustleistung des Lagers wenn die Pumpenleistung einen Wert annimmt, bei dem sich die optimale Spalthöhe  $h_{opt}$  einstellt.
- e) Ermitteln Sie die Ölmenge  $\dot{V}$ , welche bei dem in Aufgabenteil d) beschriebenen Betriebszustand des Lagers über den Rundspalt abfließt.
- f) Wie groß ist die Summe der Verlustleistungen  $\sum P_v$ ? (Betriebszustand aus Aufgabenteil d))
- g) Skizzieren Sie in das Diagramm auf der nächsten Seite die qualitativen Kurvenverläufe der Reibverlustleistung, der Pumpenleistung und der Summe der Verlustleistungen in Abhängigkeit von der Schmier-spalthöhe. Markieren Sie außerdem den in Aufgabenteil d) beschriebenen Betriebszustand und geben Sie die Proportionalität der Reibverlustleistung und der Pumpenleistung zur Schmier-spalthöhe an.
- h) Das Lager soll durch ein hydrostatisches 2-Taschenlager ersetzt werden. Berechnen Sie die Exzentrizität  $e$  im belasteten Zustand des Lagers, wenn das Lager für den unbelasteten Zustand mit  $F_0 = F_R$  bei  $h_0 = h_{opt}$  ausgelegt wurde (siehe Skizze). (Hinweis: Hierbei ist  $F_1 = 1,78 \cdot F_R$  !)

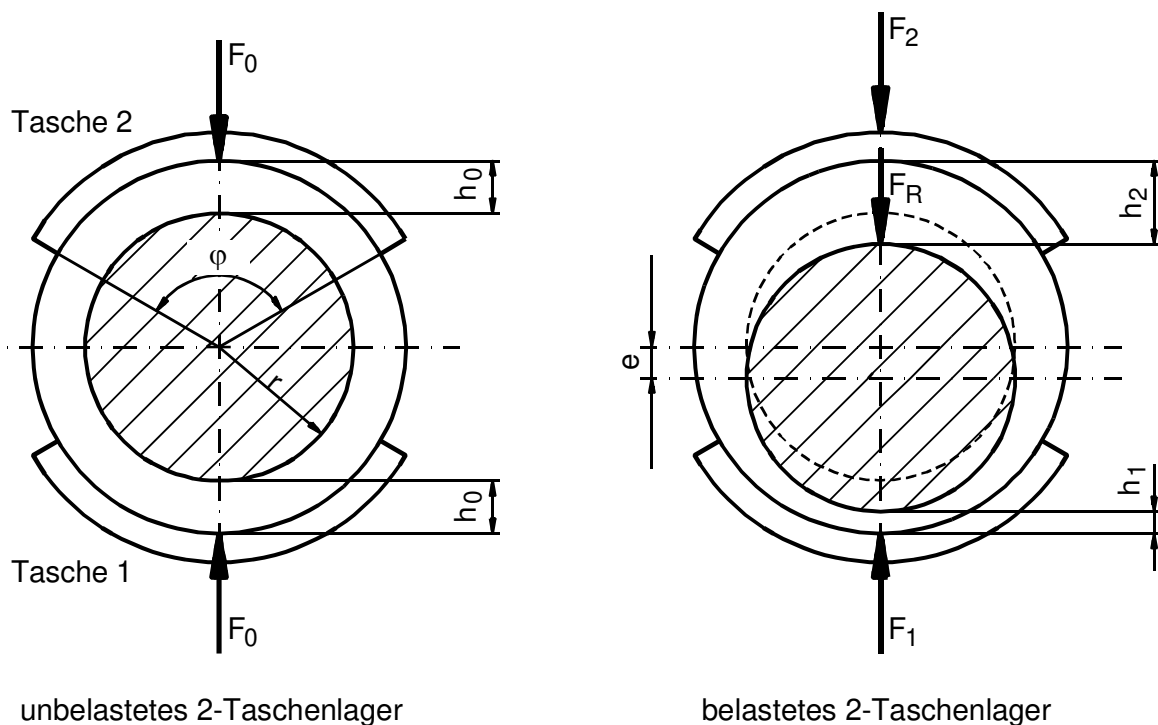
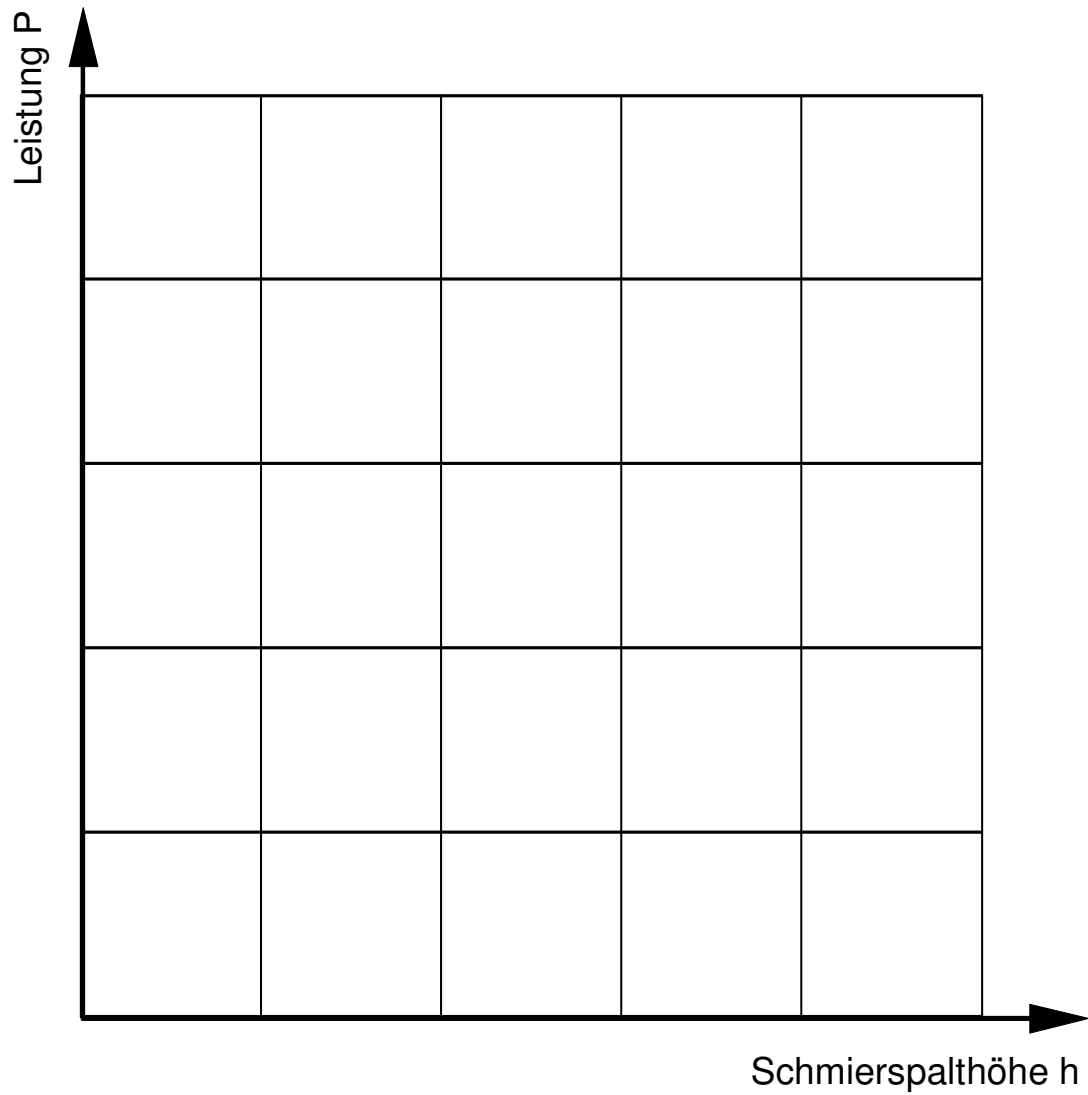




Diagramm zu Aufgabenteil g)



Proportionalität zur Schmierspalthöhe  $h$  bitte angeben:

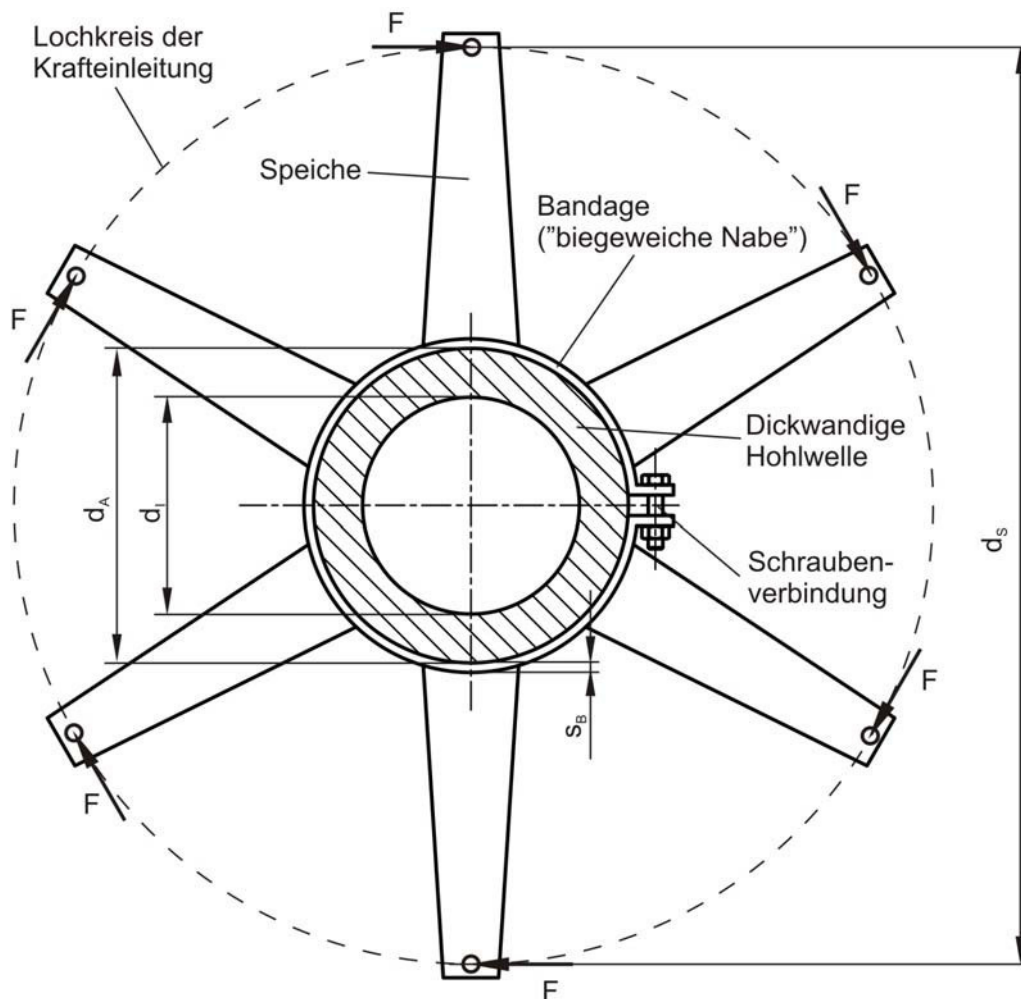
Reibverlustleistung:  $P_R(h) \sim$

Pumpenleistung:  $P_P(h) \sim$

## Welle-Nabe-Verbindung

### 4. Aufgabe

Ein Haspelstern wird durch eine radiale Klemmverbindung mit einer Hohlwelle im Mähwerk eines Mähdreschers reibschlüssig verbunden. Über den Haspelstern wird an jeder der Speichen eine Tangentialkraft  $F = 250 \text{ N}$  bei einem Lochkreisdurchmesser  $d_s = 1350 \text{ mm}$  eingeleitet.



Für die Klemmverbindung gelten weiterhin folgende Konstruktionsdaten in Verbindung mit der Konstruktionskizze:

Hohlwellenaußendurchmesser	$d_A = 254 \text{ mm}$
Hohlwelleninnendurchmesser	$d_i = 100 \text{ mm}$
Bandagenwandstärke	$s_B = 2 \text{ mm}$

Bandagenbreite  $b = 195 \text{ mm}$

Haftreibungsbeiwert zwischen Hohlwelle und Bandage  $\mu_H = 0,2$

- a) Berechnen Sie das von der Klemmverbindung zu übertragende Drehmoment  $M_t$ .
- b) Welches Reibmoment  $M_R$  muss in der Anpressfläche wirken, wenn die Verbindung mit einer Rutschsicherheit  $S_R = 2$  dimensioniert wird?
- c) Berechnen Sie die auftretende Flächenpressung  $p$  zwischen Hohlwelle und Bandage unter der Voraussetzung, dass es sich bei der Bandage um eine biegeweiche Nabe handelt.
- d) Wie groß muss die erforderliche Spannkraft  $F_{Sp}$  sein, mit der die Bandage auf die Hohlwelle geklemmt wird, damit die Übertragungsfähigkeit der Verbindung gewährleistet ist?

*(Hinweis: Verwenden Sie zur Berechnung die „Kesselformel“, da die Bandage als dünnwandiges Bauteil angenommen werden kann.)*

- e) Berechnen Sie die Zugspannung  $\sigma_z$  in der Bandage und die Bandagenverlängerung  $\Delta l$ . Als Bandagenwerkstoff wird der Baustahl S235JR mit einem Elastizitätsmodul  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$  verwendet.
- f) Welche Radial- und Tangentialspannungen  $\sigma_r$  und  $\sigma_t$  treten an der Hohlwelle innen und außen auf?

*(Hinweis: Bei der Hohlwelle handelt es sich um ein dickwandiges Bauteil.)*