

# Konstruktion der Lagerung einer Tischfräse

## **Aufgabenstellung:**

Gegenstand der vorliegenden Aufgabe war es, die Lagerung der Arbeitsspindel einer Holztischfräse zu entwickeln. Die Konstruktion sollte für eine maximale Antriebsleistung von 16 kW und eine Nenndrehzahl von 10000 1/min ausgelegt werden, wobei die Länge der Spindel auf 300 mm festgelegt war.

## Inhalt

Literaturverzeichnis.....	4
Überschlägige Berechnung des Wellendurchmessers .....	5
Handskizze der Spindellagerung .....	7
Berechnung der Gestaltfestigkeit der Frässpindel – Ermittlung der vorhandenen Sicherheit.....	8
1.) Grundlagen.....	8
1.1) Bauteilkennwerte.....	8
1.2) Formeln und Konstanten .....	10
a) Kerbwirkungsfaktor .....	10
b) Oberflächenfaktor .....	10
c) Größeneinfluss.....	10
d) Konstruktionsfaktor .....	10
e) Gestaltfestigkeit .....	11
1.3) Nebenrechnung.....	12
a) Torsionsmoment .....	12
b) Biegemoment.....	13
c) spezielle Widerstandsmomente .....	14
2.) Berechnung .....	18
2.1) Passfedernut.....	18
2.2) Absatz Ø30 – Ø35.....	20
2.3) Absatz Ø35 – Ø40.....	22
2.4) Querbohrung Ø6 .....	24
2.5) Absatz Ø40 – Ø35.....	26
2.6) Gewindefreistich Ø28 x 2 .....	28
2.7) Absatz Gewinde M30 x 1,5 – Ø28 .....	30
Lebensdauerberechnung der Wälzlager .....	32
1.) Grundlagen.....	32
1.1) Wälzlagerkennwerte.....	32
1.2) Wellenbelastung radial .....	33
a) Riemenauswahl .....	33
b) Scheibendurchmesser (kleines Rad) .....	33
c) Scheibenbreite .....	33
d) Riemenbreite .....	33
e) Riemengeschwindigkeit.....	33
f) Biegehäufigkeit .....	34
g) Wellenbelastung .....	34
1.3) Wellenbelastung axial .....	35
2.) Lagerberechnung.....	36
2.1) Belastung dynamisch .....	36
a) Lagerkräfte dynamisch .....	36
b) dynamisch äquivalente Belastung .....	37
c) Lebensdauer dynamisch.....	37
2.2) Belastung statisch.....	38
a) Lagerkräfte statisch.....	38
b) statisch äquivalente Belastung .....	39
c) Lebensdauer statisch .....	39
Festigkeitsberechnung der Passfederverbindung .....	40
Festigkeitsberechnung der Morsekegelverbindung .....	41
1.) Erforderliche axiale Einpresskraft zur Übertragung des Drehmoments.....	41
2.) Kraft auf die Mantelfläche.....	42
3.) Flächenpressung auf die Mantelfläche .....	42
4.) Zulässige Normalspannung in der Wandung .....	43
Zusammenfassung.....	44
1.) Hauptergebnisse der Berechnung .....	44
2.) Gewählte Konstruktionselemente .....	45
3.) Diskussion .....	46

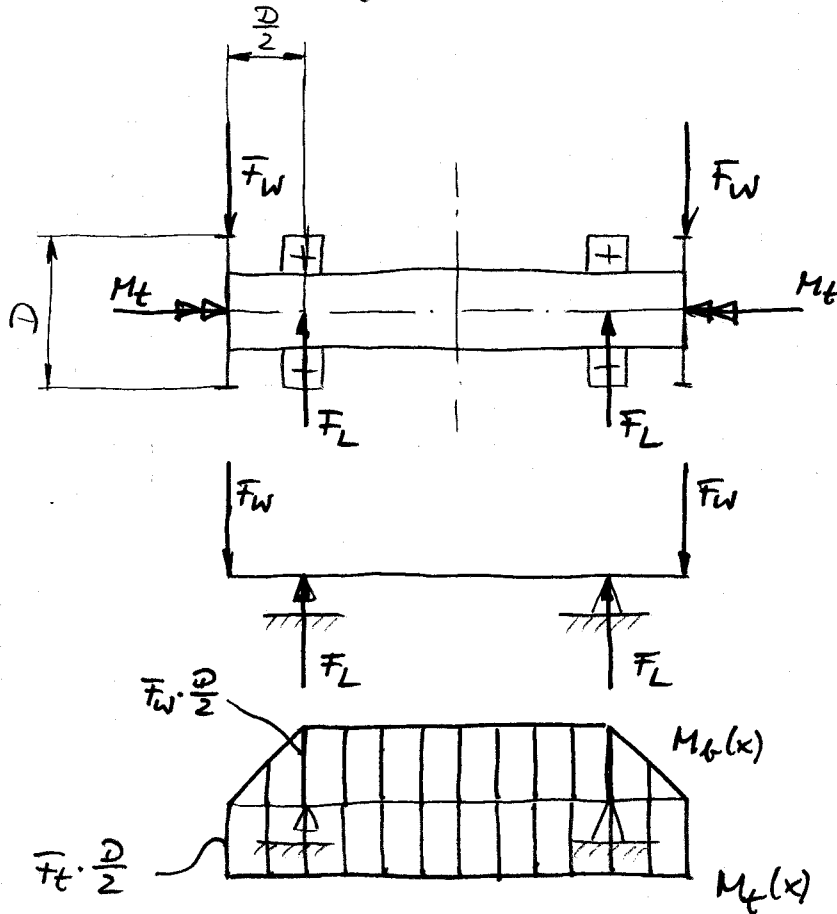
Spindellagerung .....	3
Technische Zeichnungen .....	47
1.) Schnittdarstellungen der Spindeleinheit.....	48
1.1) Längsschnitt.....	48
1.2) Querschnitt .....	51
2.) Einzelteilzeichnung der Frässpindel .....	52
3.) Zusammenbau der Spindeleinheit.....	53
3.1) Zusammenbauzeichnung .....	53
3.2) Stückliste .....	54
3.3) Montageanweisung .....	55
Anhang .....	56
1.) Datenblätter .....	56
2.) Softwarenachweis.....	59

## Literaturverzeichnis

- Roloff / Matek: Maschinenelemente – Normung, Berechnung, Gestaltung  
15., durchgesehene Auflage  
Vieweg Verlagsgesellschaft 2001  
Abk.: **LB**
- Roloff / Matek: Maschinenelemente – Tabellen  
15., durchgesehene Auflage  
Vieweg Verlagsgesellschaft 2001  
Abk.: **TB**
- FAG Wälzlager – Kugellager, Rollenlager, Gehäuse, Zubehör  
Katalog WL 41 520/3 DB  
FAG OEM und Handel AG 1999  
Abk.: **FAG-Katalog**
- Die Gestaltung von Wälzlagerungen  
Konstruktionsbeispiele aus dem Maschinen-, Fahrzeug- und Gerätebau  
Publ.-Nr. WL 00200/5 DA  
FAG OEM und Handel AG 2000
- Tabellenbuch Metall  
41. neubearbeitete und erweiterte Auflage  
Verlag Europa-Lehrmittel 1999

# Überschlägige Berechnung des Wellendurchmessers

5



$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n} \quad ; \quad M_t = \bar{F}_t \cdot \frac{D}{2} \Rightarrow \bar{F}_t = \frac{2M_t}{D}$$

$$M_{b,max} = \bar{F}_W \cdot \frac{D}{2} \approx 2,5 \cdot \bar{F}_t \cdot \frac{D}{2} = 2,5 \cdot \frac{2M_t}{D} \cdot \frac{D}{2}$$

$$\Rightarrow M_{b,max} \approx 2,5 M_t = 2,5 \frac{P}{2\pi n}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_t^2 + \frac{3}{4} M_{b,max}^2}{0,1 \sigma_{\text{zul}}}} \quad ; \quad \sigma_{\text{zul}} = \frac{\sigma_{\text{GN}}}{S_D \cdot k_{\text{qs}}} \quad ;$$

$$S_D = 2 \quad ; \quad k_{\text{qs}} \approx 3 \Rightarrow \sigma_{\text{zul}} \approx \frac{1}{6} \sigma_{\text{GN}}$$

$$\Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{P \cdot \sqrt{2,5^2 + \frac{3}{4} \cdot 1^2}}{2\pi n \cdot \frac{1}{60} \sigma_{\text{GN}}}} = \sqrt[3]{\frac{30P \cdot \sqrt{7}}{\pi n \cdot \sigma_{\text{GN}}}}$$

Werkstoff: 16MnCr5 (einsatzgehärtet)

$$\Rightarrow \underline{\underline{\sigma_{GMN} = 450 \frac{N}{mm^2}}}$$

$$\Rightarrow d \geq 3 \sqrt{\frac{30 \cdot 16 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot \sqrt{7} \cdot 60,8 \cdot \text{mm}^2}{\pi \cdot 10^4 \cdot 450 \text{ N} \cdot 8}}$$

$$= 17,533 \text{ mm} \approx \underline{\underline{18 \text{ mm}}}$$

Ausführung: Hohlwelle (Lösen / Spannen  
des Werkzeugs)

$$d \approx 2t ; d_a = d_i + 2t \Rightarrow \underline{d_a \approx d_i + d}$$

$$d_i = 15 \text{ mm (M10 + Anlagefläche)}$$

$$\Rightarrow d_a \approx 15 \text{ mm} + 18 \text{ mm} = \underline{\underline{33 \text{ mm}}}$$

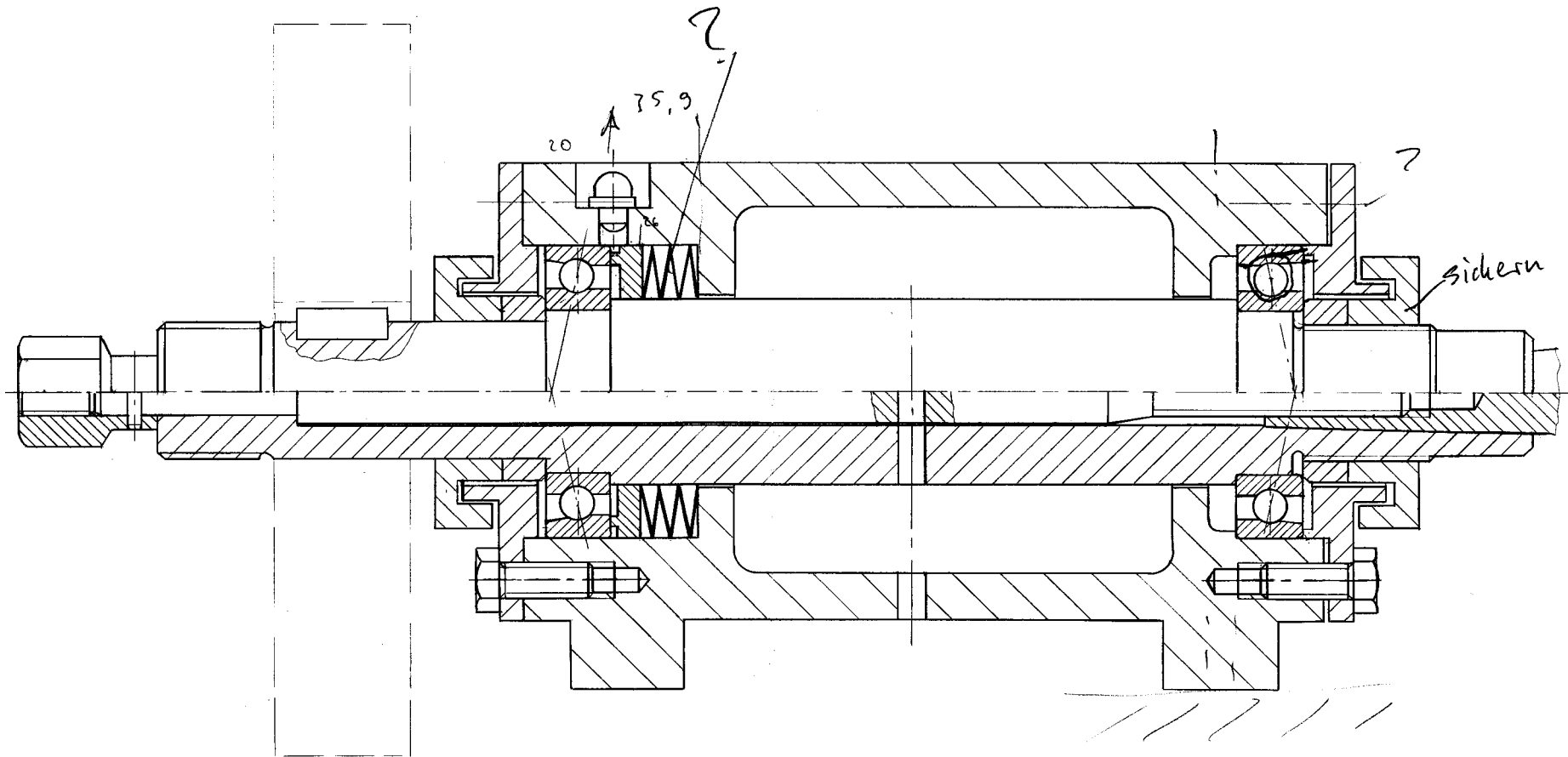
$$\Rightarrow \underline{\underline{d_{a, \text{gewählt}} = 35 \text{ mm (Wälzlagernorm)}}}$$

6

TB1-1d

TB3-11e

✓



Seitenansicht

# Berechnung der Gestaltfestigkeit der Frässpindel

8

## - Ermittlung der vorhandenen Sicherheit

### 1.) Grundlagen:

#### 1.1) Bauteilkennwerte:

Abmessungen siehe technische Zeichnung!

Werkstoff: 16 MnCr 5, einsatzgehärtet, 40 HRC,

Einhärtetiefe 0,5 mm

$$\Rightarrow R_m = 900 \frac{N}{mm^2}$$

TB1-1d

$$\sigma_{GWN} = 450 \frac{N}{mm^2}$$

TB1-1d

Oberflächen: - Freistiche Rz 63

techn.

- Passfedernut Rz 63

Zeichnung

- Kanten, Absätze Rz 16

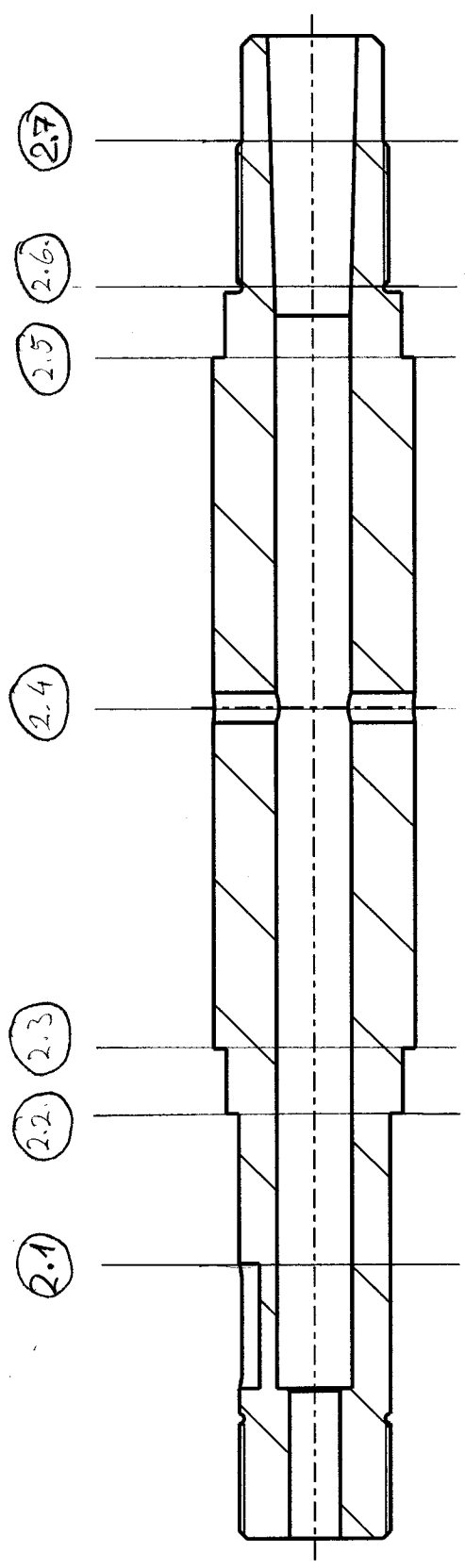
best.

- Bohrungen (Freimaß) Rz 63

TB2-12

unbemaßte Innenradien: R 0,4 (Schlichten  
mit Wendeschneid-  
platte)





## 1.2) Formeln und Konstanten:

10

### a) Kerbwirkungsfaktor:

$$\text{Biegung: } \beta_{kb} = 1 + c_b (\beta_{k(2,0)} - 1)$$

~~$$\text{Torsion: } \beta_{kt} = 1 + c_t (\beta_{k(1,4)} - 1)$$~~

(abgesetzte Rundstäbe)

TB 3-9a

### b) Oberflächenfaktor:

$$\text{Biegung: } k_{05} = 1 - 0,22 \lg R_z \cdot \left( \lg \frac{R_m}{20} - 1 \right)$$

$$\text{Torsion: } k_{0z} = 0,575 \cdot k_{05} + 0,425$$

$$\Rightarrow R_z 16: k_{05} = \underline{\underline{0,827}}; k_{0z} = \underline{\underline{0,900}}$$

$$R_z 63: k_{05} = \underline{\underline{0,741}}; k_{0z} = \underline{\underline{0,851}}$$

TB 3-10a

### c) Größeneinfluss:

$$k_t = 1 - 0,41 \lg \frac{d}{11}$$

$$k_g = 1 - 0,2 \frac{\lg \frac{d}{7,5}}{\lg 20}$$

$$k_d = 1 - 0,2 \lg \left[ d_k \cdot \frac{\lg \frac{d}{7,5}}{\lg 20} \right]; d_k \approx \beta_k$$

$$k_G = k_t \cdot k_g \cdot k_d \quad \checkmark$$

TB 3-11a

TB 3-11c

TB 3-11d

### d) Konstruktionsfaktor:

$$\text{Biegung: } k_{\sigma} = \left( \frac{\beta_{kb}}{k_G} + \frac{1}{k_{05}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{k_V}$$

~~$$\text{Torsion: } k_{\tau} = \left( \frac{\beta_{kt}}{k_G} + \frac{1}{k_{0z}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{k_V}$$~~

$$k_V = 1,2$$

LB 3.16

TB 3-12

e) Gestaltfestigkeit:

$$\sigma_{GW} = \frac{\sigma_W}{K_\sigma} ; \sigma_W \hat{=} \sigma_{\sigma WN} ; K_\sigma \hat{=} K_{\sigma \sigma}$$

LB 3.17

$$\Rightarrow \sigma_{GW} = \frac{\sigma_{\sigma WN}}{K_{\sigma \sigma}}$$

$$\sigma_V \leq \sigma_{zul} = \frac{\sigma_{GW}}{S_D} \Rightarrow S_D = \frac{\sigma_{GW}}{\sigma_V}$$

$$\Rightarrow S_D = \frac{\sigma_{\sigma WN}}{K_{\sigma \sigma} \cdot \sigma_V}$$

$$\cancel{K_{\sigma \sigma}} \cdot \sigma_V \hat{=} \sqrt{(\cancel{K_\sigma} \cdot \sigma_G)^2 + 3(d_0 \cdot \cancel{K_\sigma} \cdot \tau_t)^2} \text{ (GEH)} \quad \checkmark \text{ LB 3.5}$$

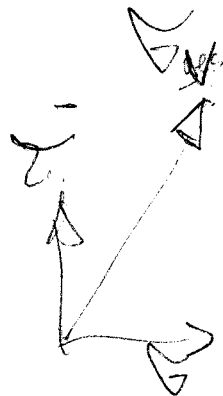
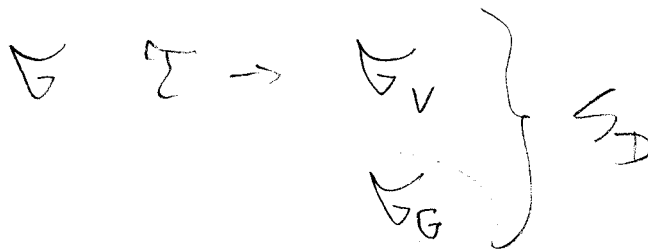
$$\Rightarrow S_D = \frac{\sigma_{\sigma WN}}{\sqrt{(\cancel{K_\sigma} \cdot \sigma_G)^2 + 3(d_0 \cdot \cancel{K_\sigma} \cdot \tau_t)^2}}$$

$$d_0 \approx 0,7$$

LB S.41

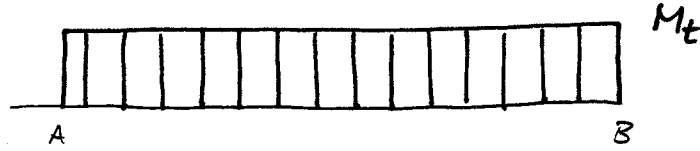
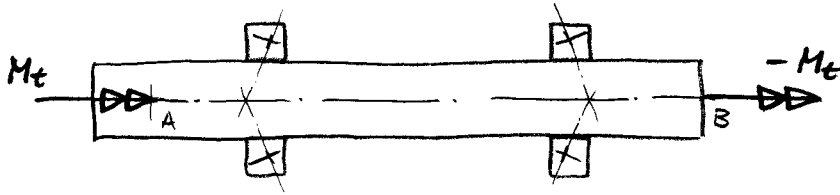
$$\sigma_G = \frac{M_G}{W_G} ; W_G = \frac{I_G}{R_{max}} = \frac{I_Y}{z_{max}} \quad \checkmark$$

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t} ; W_t \hat{=} \frac{I_P}{R_{max}} \quad \checkmark$$



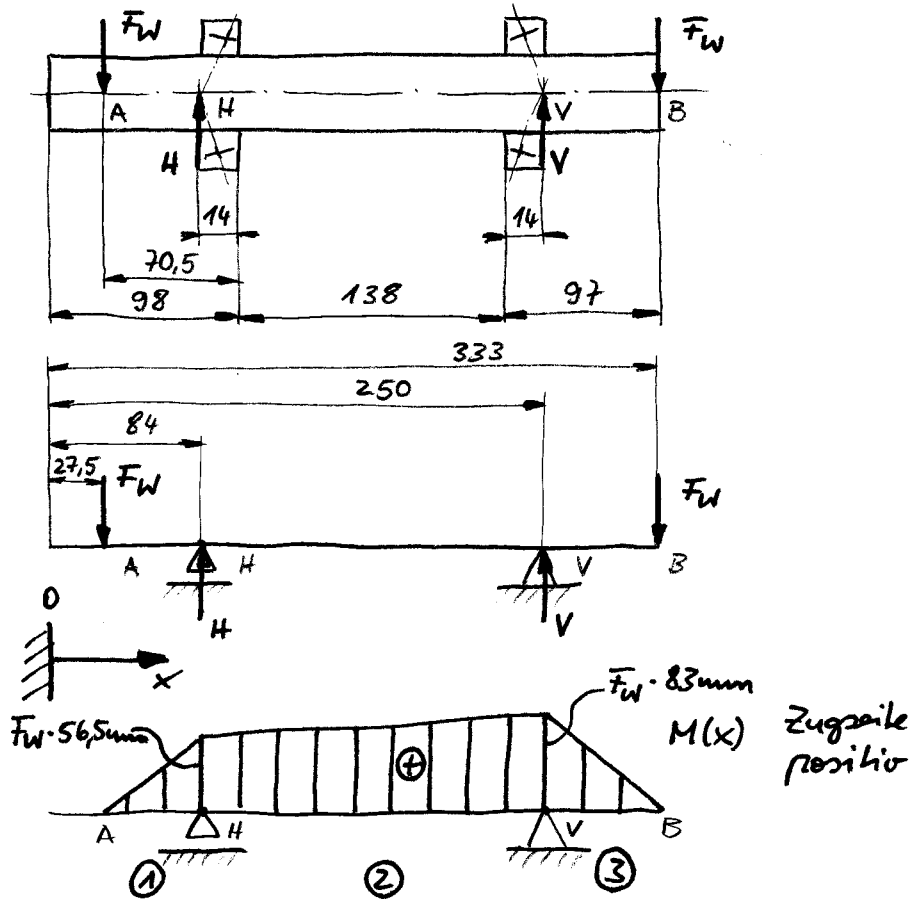
1.3) Nebenrechnung:

a) Torsionsmoment:



$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n} = \frac{16000 \text{ Nm} \cdot s}{\frac{\pi}{30} s \cdot 10000}$$
$$= 15,279 \text{ Nm} = \underline{\underline{15279 \text{ Nm}}}$$

b) Biegemoment:



①:  $M(x) = F_W \cdot (x - 27,5 \text{ mm})$

②:  $\sum \overset{\curvearrowleft}{M}_H = 0 = F_W \cdot 56,5 \text{ mm} + V \cdot (222,5 - 56,5) \text{ mm} - F_W(305,5 - 56,5) \text{ mm}$

$\Rightarrow V = F_W \cdot \frac{(305,5 - 56,5 - 56,5) \text{ mm}}{(222,5 - 56,5) \text{ mm}} = F_W \cdot \frac{192,5}{166}$

$0 = M(x) - (333 \text{ mm} - x) + V(250 \text{ mm} - x)$

$\Rightarrow M(x) = F_W(333 \text{ mm} - x) - F_W(250 \text{ mm} - x) \cdot \frac{192,5}{166}$

$\Rightarrow M(x) = \frac{F_W}{166} (7153 \text{ mm} + 26,5x)$

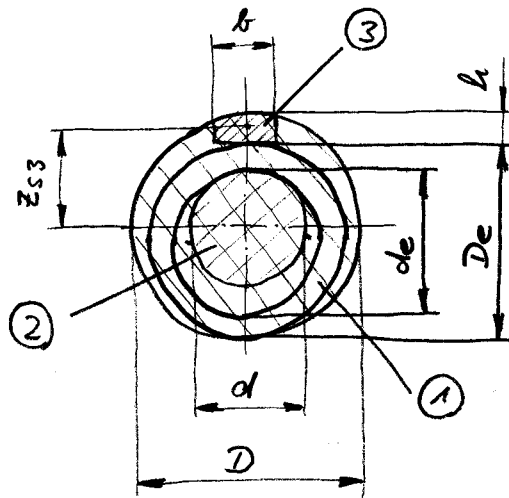
③:  $M(x) = F_W \cdot (333 \text{ mm} - x)$

$M_G = M(x)$

c) spezielle Widerstandsmomente:

14

Passfedernut:



Torsion:

$$\bar{I}_p > \frac{\pi}{32} (D_e^4 - d_e^4)$$

TB 11-3

$$W_t = \frac{\bar{I}_p}{\hat{r}} ; \quad \hat{r} = \frac{D - 2r}{2}$$

$$\Rightarrow W_t > \frac{8\pi (D_e^4 - d_e^4)}{16 \cdot 32 (D - 2r)} = \frac{\pi (26^4 - 19^4)}{16 (30 - 2 \cdot 4)} \text{ mm}^3$$
$$= \underline{\underline{2915 \text{ mm}^3}}$$

Biegung:

$$W_b = \frac{I_y}{\frac{D}{2}}$$

15

$$\bar{I}_y = \bar{I}_{y1} - \bar{I}_{y2} - \bar{I}_{y3}; \quad \bar{I}_{y1} \approx \frac{\pi D^4}{64}; \quad \bar{I}_{y2} \approx \frac{\pi d^4}{64}$$

TB11-3

Paralleler oben:  $\bar{I}_{y3} \approx \frac{b h^3}{12} + z_{s3}^2 A_3; \quad z_{s3} \approx 0$

$$z_{s3} \approx \frac{D-h}{2}; \quad A_3 \approx b \cdot h$$

$$\Rightarrow \bar{I}_{y3} \approx \frac{b \cdot h^3}{12} + \frac{(D-h)^2}{4} \cdot b \cdot h = \frac{b h}{12} (h^2 + 3(D-h)^2)$$

Parallel zur Seite:  $\bar{I}'_{y3} = \frac{h b^3}{12}$

$$\Rightarrow \frac{b h}{12} (h^2 + 3(D-h)^2) \stackrel{?}{>} \frac{h b^3}{12}$$

$$h^2 + 3(D-h)^2 \stackrel{?}{>} b^2$$

$$D-h = [30-4] \text{ mm} = 26 \text{ mm} > b = 8 \text{ mm}$$

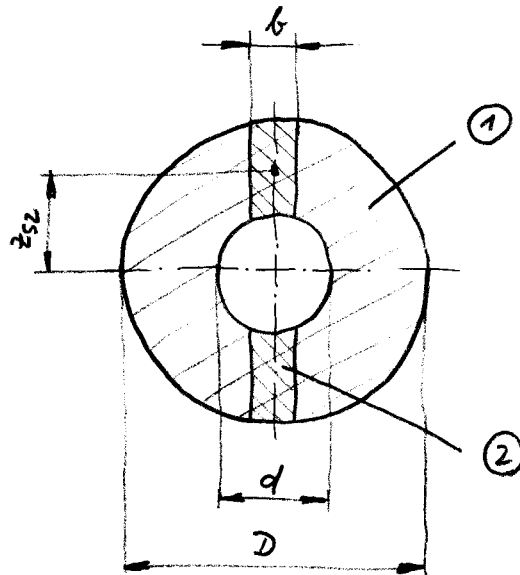
$$\Rightarrow \underline{\underline{\bar{I}_{y3} \gg \bar{I}'_{y3}}}}$$

$$\Rightarrow I_y \approx \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) - \frac{b h}{12} (h^2 + 3(D-h)^2)$$

$$\Rightarrow W_b \approx \frac{\pi}{32 D} (D^4 - d^4) - \frac{b h}{6 D} (h^2 + 3(D-h)^2)$$

$$= \left[ \frac{\pi}{32 \cdot 30} (30^4 - 15^4) - \frac{8 \cdot 4}{6 \cdot 30} (4^2 + 3(30-4)^2) \right] \text{ mm}^3$$

$$\underline{\underline{= 2122 \text{ mm}^3}}$$



Torsion:

$$\frac{\text{Vollwelle}}{\text{Hohlwelle}}: \frac{I_{tV}}{I_{tH}} = \frac{\frac{\sqrt{2}}{32} D^4}{\frac{\sqrt{2}}{32} (D^4 - d^4)} = \frac{D^4}{D^4 - d^4}$$

TB 11-3

$$\Rightarrow \bar{I}_{tH} = I_{tV} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D^4} = \underline{\underline{I_{tV} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)}}$$

Vollwelle mit Querbohrung:  $\underline{\underline{I_t' \approx 0,02 D^3 (5D - 8,56)}}$  TB 11-3

$$I_t \approx \bar{I}_t' \cdot \frac{\bar{I}_{tH}}{I_{tV}}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \bar{I}_t &\approx 0,02 D^3 (5D - 8,56) \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) \\ &= 0,17 D^4 \left(\frac{10}{17} - \frac{8}{D}\right) \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) \end{aligned}$$

$$W_t = \frac{\bar{I}_t}{R} = \frac{2\bar{I}_t}{D}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow W_t &\approx 0,34 D^3 \left(\frac{10}{17} - \frac{8}{D}\right) \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right) \\ &= 0,34 \cdot 40^3 \left(\frac{10}{17} - \frac{6}{40}\right) \left(1 - \frac{15^4}{40^4}\right) \text{ mm}^3 \\ &= \underline{\underline{9347 \text{ mm}^3}} \end{aligned}$$



Biegung:  $\bar{I}_G = \bar{I}_{G1} - 2\bar{I}_{G2}; \bar{I}_{G1} = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$

17

Bohrung > senkrecht:  $\bar{I}_{G2} \approx \frac{b(D-d)^3}{12 \cdot 8} + z_{S2}^2 \cdot A_2;$

TB 11-3

$$z_{S2} \approx \frac{D+d}{4}; \quad A_2 \approx \frac{b(D-d)}{2}$$

$$\Rightarrow \bar{I}_{G2} \approx \frac{b(D-d)^3}{96} + \frac{(D+d)^2}{16} \cdot \frac{b(D-d)}{2} = \frac{b(D-d)^3}{32} \left( \frac{1}{3} + \left( \frac{D+d}{D-d} \right)^2 \right)$$

Bohrung < waagrecht:  $\bar{I}_{G2}' \approx \frac{(D-d)b^3}{12}$

$$3 \frac{b(D-d)^3}{32 \cdot 8} \left( \frac{1}{3} + \left( \frac{D+d}{D-d} \right)^2 \right) \stackrel{?}{>} \frac{(D-d)b^3}{12}$$

$$\Rightarrow \frac{(D-d)^2}{8} \underbrace{\left( 1 + 3 \left( \frac{D+d}{D-d} \right)^2 \right)}_{> 4} \stackrel{?}{>} b^2$$

$$\Rightarrow \frac{(D-d)^2}{2} = \frac{(40-15)^2}{2} \text{ mm}^2 = 312,5 \text{ mm}^2 \gg 36 \text{ mm}^2$$

$$\Rightarrow \bar{I}_{G2} \gg \bar{I}_{G2}'$$

$$\Rightarrow \bar{I}_G \approx \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) - \frac{b(D-d)^3}{16} \left( \frac{1}{3} + \left( \frac{D+d}{D-d} \right)^2 \right)$$

$$W_G = \frac{\bar{I}_G}{r_{\max}} = \frac{2\bar{I}_G}{D}$$

$$\Rightarrow W_G \approx \frac{1}{8D} \left[ \frac{\pi}{4}(D^4 - d^4) - b(D-d)^3 \left( \frac{1}{3} + \left( \frac{D+d}{D-d} \right)^2 \right) \right]$$

$$= \frac{1}{8 \cdot 40} \left[ \frac{\pi}{4}(40^4 - 15^4) - 6(40-15)^3 \left( \frac{1}{3} + \left( \frac{40+15}{40-15} \right)^2 \right) \right] \text{ mm}^3$$

$$= \underline{\underline{4643 \text{ mm}^3}}$$

2. Berechnung2.1. Passfeder

$$\textcircled{a} \quad \beta_{kt} = 2,0$$

$$\beta_{kb} = 2,3$$

TB 3-9b

TB 3-9b

$$\textcircled{b} \quad K_{\sigma} = 1 - 0,22 \lg 63 \cdot \left( \lg \frac{900}{20} - 1 \right)$$

$$\underline{K_{\sigma} = 0,741}$$

$$K_{\sigma z} = 0,575 \cdot 0,741 + 0,425$$

$$\underline{K_{\sigma z} = 0,85}$$

$$\textcircled{c} \quad \underline{K_t} = 1 - 0,41 \lg \left( \frac{30}{11} \right) = \underline{0,82}$$

$$\underline{K_g} = 1 - 0,2 \frac{\lg \left( \frac{30}{32} \right)}{\lg 20} = \underline{0,91}$$

$$K_{dt} = 1 - 0,2 \lg \left[ 2,0 \cdot \frac{\lg \left( \frac{30}{7,5} \right)}{\lg 20} \right]$$

$$\underline{K_{dt} = 1,007}$$

$$K_{db} = 1 - 0,2 \lg \left[ 2,3 \cdot \frac{\lg \left( \frac{30}{7,5} \right)}{\lg 20} \right]$$

$$\underline{K_{db} = 0,995}$$

$$K_{Gt} = K_t \cdot K_g \cdot K_{dt} = 0,82 \cdot 0,91 \cdot 1,007$$

$$\underline{K_{Gt} = 0,751}$$

$$K_{Gb} = K_t \cdot K_g \cdot K_{db} = 0,82 \cdot 0,91 \cdot 0,995$$

$$\underline{K_{Gb} = 0,742}$$

$$\textcircled{d} \quad K_{\tau} = \left( \frac{2,0}{0,751} + \frac{1}{0,85} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_{\tau} = 2,581}$$

$$K_{\sigma} = \left( \frac{2,3}{0,742} + \frac{1}{0,741} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_{\sigma} = 3,136}$$

TB 3-12

③

$$\underline{\underline{\tau_t}} = \frac{15279 \text{ Nmm}}{2915 \text{ mm}^3} = \underline{\underline{5,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$W_t$  siehe 1.3

$$\underline{\underline{\sigma_b}} = \frac{14005,75 \text{ Nmm}}{2122 \text{ mm}^3} = \underline{\underline{6,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$M_b = 509,3 \text{ N} \cdot 27,5 \text{ mm} = 14005,75 \text{ Nmm}$$

$W_b$  siehe 1.3

$$S_D = \frac{\sigma_{bw}}{\sqrt{(K_\sigma \cdot \sigma_b)^2 + 3(d_0 \cdot K_\tau \cdot \tau_t)^2}}$$

$$S_D = \frac{450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{(3,136 \cdot 6,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})^2 + 3(0,7 \cdot 2,581 \cdot 5,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})^2}}$$

$$\underline{\underline{S_D \approx 17}}$$

2.2. Absatz  $\phi 30 \rightarrow \phi 35$ 

20

TB 3-9a

$$\textcircled{a} \quad \frac{D}{d} = \frac{35}{30} = 1,17 \quad c_t = 0,5$$

$$\frac{R}{d} = \frac{0,4}{30} = 0,013 \quad \beta_{R(1,4)} = 1,8$$

$$\beta_{kt} = 1 + 0,5(1,8 - 1) = \underline{1,4}$$

$$\beta_{kb} = 1 + 0,4(2,9 - 1) = \underline{1,76}$$

$$c_b = 0,4$$

TB 3-9a

$$\textcircled{b} \quad K_{00} = 1 - 0,22 \lg 16 \left( \lg \frac{900}{20} - 1 \right)$$

$$\underline{K_{00} = 0,826}$$

$$\underline{K_{0z} = 0,90}$$

$$\textcircled{c} \quad \left. \begin{array}{l} K_t = 0,82 \\ K_g = 0,91 \end{array} \right\} \text{siehe 2.1. c}$$

$$K_{\Delta t} = 1 - 0,2 \lg \left[ 1,4 \cdot \frac{\lg \left( \frac{30}{7,5} \right)}{\lg 20} \right]$$

$$\underline{K_{\Delta t} = 1,038}$$

$$K_{\Delta b} = 1 - 0,2 \lg \left[ 1,76 \cdot \frac{\lg \left( \frac{32}{7,5} \right)}{\lg 20} \right]$$

$$\underline{K_{\Delta b} = 1,018}$$

$$\underline{K_{gt} = 0,82 \cdot 0,91 \cdot 1,038 = 0,775}$$

$$\underline{K_{gb} = 0,82 \cdot 0,91 \cdot 1,018 = 0,760}$$

$$\textcircled{d} \quad K_z = \left( \frac{1,4}{0,775} + \frac{1}{0,9} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_z = 1,743}$$

$$K_o = \left( \frac{1,76}{0,760} + \frac{1}{0,826} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_o = 2,297}$$

e)

$$\tau_t = \frac{15279 \text{ Nmm}}{4970 \text{ mm}^3} = 3,07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} \left( \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} \right) = \frac{\pi}{16} \left( \frac{30^4 \text{ mm}^4 - 15^4 \text{ mm}^4}{30 \text{ mm}} \right)$$

$$W_t = 4970 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_b = \frac{28857 \text{ Nmm}}{2485 \text{ mm}^3} = 11,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_b = \frac{\pi}{32} \left( \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} \right) = 2485 \text{ mm}^3$$

$$H_b = \frac{509,3 \text{ N}}{166} \cdot (7153 + 26,5 \cdot 85)$$

$$H_b = 28857 \text{ Nmm}$$

$$S_D = \frac{450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{\left( 2,247 \cdot 11,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2 + 3 \cdot \left( 0,7 \cdot 1,743 \cdot 3,07 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2}}$$

$$\underline{\underline{S_D = 16}}$$

2.3. Absatz  $\phi 35 \rightarrow \phi 40$ 

$$\textcircled{a} \quad \frac{D}{d} = \frac{40}{35} = 1,14 \quad c_t = 0,6$$

TB 3-9a

$$\frac{R}{d} = \frac{0,4}{35} = 0,0114 \quad \beta_{K(1,4)} = 1,9$$

TB 3-9a

$$\underline{\beta_{Kt}} = 1 + 0,6 (1,9 - 1) = \underline{1,54}$$

$$\underline{\beta_{Kb}} = 1 + 0,35 (2,9 - 1) = \underline{1,67}$$

$$c_b = 0,35$$

TB 3-9a

$$\textcircled{b} \quad \left. \begin{array}{l} \underline{K_{0\sigma}} = 0,826 \\ \underline{K_{0\tau}} = 0,90 \end{array} \right\} \text{siehe 2.2.b}$$

$$\textcircled{c} \quad \underline{K_t} = 1 - 0,41 \lg\left(\frac{35}{11}\right) = \underline{0,79}$$

$$\underline{K_g} = 1 - 0,2 \frac{\lg\left(\frac{35}{7,5}\right)}{\lg 20} = \underline{0,90}$$

$$\underline{K_{dt}} = 1 - 0,2 \lg\left[1,54 \cdot \frac{\lg\left(\frac{35}{7,5}\right)}{\lg 20}\right]$$

$$\underline{K_{dt}} = \underline{0,842}$$

$$\underline{K_{db}} = 1 - 0,2 \lg\left[1,67 \cdot \frac{\lg\left(\frac{35}{7,5}\right)}{\lg 20}\right]$$

$$\underline{K_{db}} = \underline{0,828}$$

$$\underline{K_{Gt}} = 0,79 \cdot 0,9 \cdot 0,842 = \underline{0,599}$$

$$\underline{K_{Gb}} = 0,79 \cdot 0,9 \cdot 0,828 = \underline{0,589}$$

$$\textcircled{d} \quad K_L = \left( \frac{1,54}{0,599} + \frac{1}{0,9} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_L} = \underline{2,438}$$

$$K_{\sigma} = \left( \frac{1,67}{0,589} + \frac{1}{0,826} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_{\sigma}} = \underline{2,769}$$

$$\textcircled{e} \quad \underline{\tau_t} = \frac{15279 \text{ Nmm}}{8134 \text{ mm}^3} = \underline{1,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} \left( \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} \right) = \frac{\pi}{16} \left( \frac{35^4 - 15^4}{35 \text{ mm}} \right)$$

$$W_t = 8134 \text{ mm}^3$$

$$\underline{\sigma_b} = \frac{29914 \text{ Nmm}}{4067 \text{ mm}^3} = \underline{7,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$W_o = \frac{W_b}{2} = 4067 \text{ mm}^3$$

$$M_o = \frac{509,3 \text{ N}}{166} \cdot (7153 + 26,5 \cdot 98)$$

$$M_o = 29914 \text{ Nmm}$$

$$S_D = \frac{450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{\left( 2769 \cdot 7,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2 + 3 \cdot \left( 0,7 \cdot 2438 \cdot 1,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2}}$$

$$\underline{\underline{S_D \approx 2,1}}$$

## 2.4. Querbohrung $\phi 6$

24

TB 3-9b

$$\textcircled{a} \quad \beta_{kt} = \beta_{kb} = 1,8$$

$$\textcircled{b} \quad \left. \begin{array}{l} \underline{k_{0\tau} = 0,85} \\ \underline{k_{0\sigma} = 0,741} \end{array} \right\} \text{ siehe 2.1.6}$$

$$\textcircled{c} \quad \underline{k_t} = 1 - 0,41 \lg\left(\frac{40}{11}\right) = \underline{0,77}$$

$$\underline{k_g} = 1 - 0,2 \frac{\lg\left(\frac{40}{7,5}\right)}{\lg 20} = \underline{0,89}$$

$$\underline{k_{kt}} = \underline{k_{kb}} = 1 - 0,2 \lg\left[1,8 \frac{\lg\left(\frac{40}{7,5}\right)}{\lg 20}\right]$$

$$\underline{k_{kt}} = \underline{k_{kb}} = \underline{0,9999}$$

$$\underline{k_{gt}} = \underline{k_{gb}} = 0,77 \cdot 0,89 \cdot 0,9999 = \underline{0,685}$$

$$\textcircled{d} \quad k_{\tau} = \left(\frac{1,8}{0,685} + \frac{1}{0,85} - 1\right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{k_{\tau}} = \underline{2,549}$$

$$k_{\sigma} = \left(\frac{1,8}{0,685} + \frac{1}{0,741} - 1\right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{k_{\sigma}} = \underline{2,707}$$

$$\textcircled{e} \quad \underline{\tau_t} = \frac{15279 \text{ Nmm}}{9347 \text{ mm}^3} = \underline{1,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$W_t$  siehe 1.3

$$\underline{\sigma_b} = \frac{35442 \text{ Nmm}}{4643 \text{ mm}^3} = \underline{7,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$M_b = \frac{509,3 \text{ N}}{166} \cdot (7153 + 26,5 \cdot 166)$$

$$M_b = 35442 \text{ Nmm}$$

$W_b$  siehe 1.3



$$S_D = \frac{450 \frac{N}{\text{mm}^2}}{\sqrt{\left(2,707 \cdot 7,6 \frac{N}{\text{mm}^2}\right)^2 + 3\left(0,7 \cdot 2,549 \cdot 16 \frac{N}{\text{mm}^2}\right)^2}}$$

$$\underline{\underline{S_D = 21}}$$

$$\textcircled{a} \quad \frac{D}{d} = 1,14 \quad c_t = 0,6$$

TB 3-9a

$$\frac{R}{d} = 0,0114 \quad \beta_K = 1,9$$

TB 3-9a

$$\underline{\beta_{Kt}} = 1 + 0,6 (1,9 - 1) = \underline{1,54}$$

$$\underline{\beta_{Kb}} = \underline{0,35}$$

$$\textcircled{b} \quad \underline{K_{\sigma\sigma}} = \underline{0,826} \quad \underline{K_{\sigma\tau}} = \underline{0,9} \quad \text{siehe 2.2b}$$

$$\textcircled{c} \quad \underline{K_t} = \underline{0,79}$$

$$\underline{K_g} = \underline{0,9}$$

$$\underline{K_{dt}} = \underline{0,842}$$

$$\underline{K_{db}} = \underline{0,828}$$

$$\underline{K_{gt}} = \underline{0,599}$$

$$\underline{K_{gb}} = \underline{0,589}$$

siehe 2-3.c

$$\textcircled{d} \quad \underline{K_T} = \underline{2,438}$$

$$\underline{K_G} = \underline{2,769}$$

$$\textcircled{e} \quad \underline{\tau_t} = \underline{1,9 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$\underline{W_t} = \underline{8134 \text{ mm}^3}$$

siehe 2.3.c

$$\underline{\sigma_b} = \frac{41215 \text{ Nmm}}{4067 \text{ mm}^3} = \underline{10,1 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$W_b = \frac{W_t}{2} = 4067 \text{ mm}^3$$

$$S_D = \frac{450 \frac{N}{\text{mm}^2}}{\sqrt{(2,769 \cdot 10,1 \frac{N}{\text{mm}^2})^2 + 3(0,7 \cdot 2,438 \cdot 1,9 \frac{N}{\text{mm}^2})^2}}$$

$$\underline{\underline{S_D = 16}}$$

2.6. Gewindefreistich  $\phi 28 \times 2$ 

28

$$\textcircled{a} \quad \frac{D}{d} = \frac{35}{28} = 1,25 \quad c_t = 0,87$$

TB 3-9a

$$\frac{R}{d} = \frac{1}{28} = 0,036 \quad \beta_K(1,4) = 1,4$$

TB 3-9a

$$\beta_{kt} = 1 + 0,87(1,4 - 1) = \underline{1,35}$$

$$\beta_{kb} = 1 + 0,5(2,4 - 1) = \underline{1,7} \quad c_b = 0,5$$

TB 3-9a

$$\textcircled{b} \quad K_{0\sigma} = 1 - 0,22 \lg 63 \left( \lg \frac{900}{20} - 1 \right)$$

$$\underline{K_{0\sigma} = 0,741}$$

$$\underline{K_{0\tau} = 0,85}$$

} siehe 2.1.b

$$\textcircled{c} \quad \underline{K_t} = 1 - 0,41 \lg \left( \frac{28}{11} \right) = \underline{0,83}$$

$$\underline{K_g} = 1 - 0,2 \frac{\lg \left( \frac{28}{7,5} \right)}{\lg 20} = \underline{0,91}$$

$$\underline{K_{kt}} = 1 - 0,2 \lg \left[ 1,35 \frac{\lg \left( \frac{28}{7,5} \right)}{\lg 20} \right]$$

$$\underline{K_{dt}} = \underline{1,045}$$

$$\underline{K_{db}} = 1 - 0,2 \lg \left[ 1,7 \cdot \frac{\lg \left( \frac{28}{7,5} \right)}{\lg 20} \right]$$

$$\underline{K_{db}} = \underline{1,025}$$

$$\underline{K_{kt}} = 0,831 \cdot 0,91 \cdot 1,045 = \underline{0,789}$$

$$\underline{K_{gb}} = 0,83 \cdot 0,91 \cdot 1,025 = \underline{0,774}$$

$$\textcircled{d} \quad K_{\tau} = \left( \frac{1,14}{0,789} + \frac{1}{0,85} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_{\tau} = 1,474}$$

$$K_{\sigma} = \left( \frac{1,28}{0,774} + \frac{1}{0,741} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_{\sigma} = 1,821}$$

e)

$$\tau_t = \frac{15279 \text{ Nmm}}{3851 \text{ mm}^3} = 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} \left( \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} \right) = \frac{\pi}{16} \left( \frac{28^4 \text{ mm}^4 - 16^4 \text{ mm}^4}{28 \text{ mm}} \right)$$

$$W_t = 3851 \text{ mm}^3$$

$$W_b = \frac{W_t}{2} = 1925,5 \text{ mm}^3$$

$$M_b = 509,3 \text{ N} \cdot (333 - 251)$$

$$M_b = 41763 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_b = \frac{41763 \text{ Nmm}}{1925,5 \text{ mm}^3} = 21,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$s_D = \frac{450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{(1,821 \cdot 21,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})^2 + 3(0,7 \cdot 1,474 \cdot 4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})^2}}$$

$$\underline{\underline{s_D \approx 11}}$$

$$\textcircled{a} \quad \frac{D}{d} = \frac{30}{28} = 1,071 \quad c_t = 0,35$$

TB 3-9a

$$\frac{R}{d} = \frac{0,4}{28} = 0,014 \quad P_{k(1,4)} = 1,7$$

TB 3-9a

$$\beta_{kt} = 1 + 0,35(1,7 - 1) = \underline{1,25}$$

$$\beta_{kb} = 1 + 0,2(2,9 - 1) = \underline{1,38} \quad c_b = 0,2$$

$$\textcircled{b} \quad \left. \begin{array}{l} K_{\sigma} = 0,741 \\ K_{\tau} = 0,85 \end{array} \right\} \text{ siehe 2.1.b}$$

$$\textcircled{c} \quad \left. \begin{array}{l} K_L = 0,83 \\ K_G = 0,91 \end{array} \right\} \text{ siehe 2.6.c}$$

$$K_{kt} = 1 - 0,2 \lg \left( 1,25 \cdot \frac{\lg \left( \frac{28}{7,5} \right)}{\lg 20} \right) = \underline{1,052}$$

$$K_{kb} = 1 - 0,2 \lg \left( 1,38 \cdot \frac{\lg \left( \frac{28}{7,5} \right)}{\lg 20} \right) = \underline{1,043}$$

$$K_{\sigma t} = 0,83 \cdot 0,91 \cdot 1,052 = \underline{0,795}$$

$$K_{\sigma b} = 0,83 \cdot 0,91 \cdot 1,043 = \underline{0,788}$$

$$\textcircled{d} \quad K_T = \left( \frac{1,25}{0,795} + \frac{1}{0,85} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_T = 1,590}$$

$$K_G = \left( \frac{1,38}{0,788} + \frac{1}{0,741} - 1 \right) \cdot \frac{1}{1,1}$$

$$\underline{K_G = 1,898}$$

$$\textcircled{e} \quad \tau_t = \frac{15279 \text{ Nmm}}{3725 \text{ mm}^3} = \underline{4,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} \left( \frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} \right) = \frac{\pi}{16} \left( \frac{28^4 \text{ mm}^4 - 17^4 \text{ mm}^4}{28 \text{ mm}} \right)$$

$$W_t = 3725 \text{ mm}^3$$

$$\underline{\sigma_b} = \frac{27502 \text{ Nmm}}{1863 \text{ mm}^2} = 14,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_b = \frac{W_E}{2} = 1863 \text{ mm}^2$$

$$M_b = 509,3 \text{ N} \cdot (333 - 279) = 27502 \text{ Nmm}$$

$$S_D = \frac{450 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{\sqrt{(1,898 \cdot 14,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})^2 + 3(0,7 \cdot 1,59 \cdot 4,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})^2}}$$

$$\underline{\underline{S_D \approx 15}}$$

# Lebensdauerberechnung der Wälzlager

32

## 1.) Grundlagen:

### 1.1) Wälzlagerkennwerte:

Lagerauswahl: Spindellager B7007C.T. P4S.UL  
(FAG-katalog S. 208), 2 Stück;  
lt. „Die Gestaltung von Wälzlagerungen“,  
FAG OEM und Handel AG,  
für gezeigten Anwendungsfall  
empfohlen (S. 36);  
Vorteil: hohe Grenzgeschwindigkeit  
bei hoher Tragzahl, baugleich  
mit Kugellager 6007 (außen)

Abmessungen:  $d = 35 \text{ mm}$   
 $D = 62 \text{ mm}$   
 $B = 14 \text{ mm}$   
 $\alpha = 15^\circ$

Kennwerte:  $C = 19 \text{ kN}$   
 $C_0 = 13,7 \text{ kN}$   
 $n_{\text{max, Fett}} = 22000 \text{ min}^{-1}$

Einbauweise: - 2 Stück, Abstand 138 mm  
- O-Anordnung  
- axial feder vorgespannt



## 1.2) Wellenbelastung radial:

33

a) Riemenauswahl:

Flachriemen, da hohe Umfangsgeschwindigkeit erwartet

LB S. 556f

gewählt: Mehrschichtriemen Extremultus 81

TB 16-1

(Fa. Siegfing)

$$v_{\max} = 60 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f_{B_{\max}} = \frac{100}{\text{s}}$$

b) Scheibendurchmesser (kleines Rad):

$$\frac{P}{n} = \frac{16 \text{ kWmin}}{10000} = \underline{\underline{0,0016 \text{ kWmin}}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{d_{\min} = 90 \text{ mm}}} = d_k, \text{ gewählt } (v_u \text{ minimal})$$

TB 16-7

c) Scheibenbreite:

$$B_{\min} = 50 \text{ mm}$$

TB 16-9a

gewählt: B = 63 mm (erhöhte Betriebsbedingungen, Holzmehl)

d) Riemenbreite:

$$\underline{\underline{b = 50 \text{ mm}}}$$

TB 16-9b

e) Riemen geschwindigkeit:

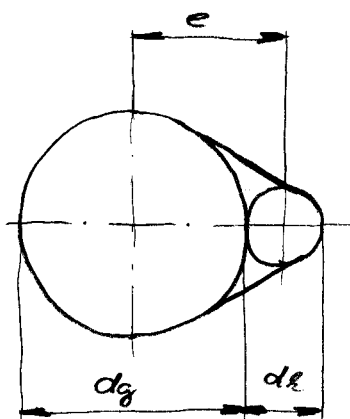
$$\begin{aligned} v_u &= n \cdot u_k = n \cdot \pi \cdot d_k = 10000 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ s}} \cdot \pi \cdot 0,09 \text{ m} \\ &= \underline{\underline{47,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} < v_{\max}} \end{aligned}$$

f) Biegehäufigkeit:

$$d_g = i \cdot d_k ; \quad n_{\text{Mot}} \approx 3000 \text{ min}^{-1} ;$$

$$i = \frac{n}{n_{\text{Mot}}} = \frac{10000}{3000} = \underline{\underline{\frac{10}{3}}}$$

$$\Rightarrow d_g = \frac{10}{3} \cdot 90 \text{ mm} = \underline{\underline{300 \text{ mm}}}$$



$$\begin{aligned} e &> \frac{d_g + d_k}{2} \\ &= \frac{300 + 90}{2} \text{ mm} \\ &= \underline{\underline{195 \text{ mm}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow L' &> 2 \cdot e + \frac{\pi}{2} (d_g + d_k) + \frac{(d_g - d_k)^2}{4e} \\ &= \left[ 2 \cdot 195 + \frac{\pi}{2} (300 + 90) + \frac{(300 - 90)^2}{4 \cdot 195} \right] \text{ mm} \\ &= 1059,15 \text{ mm} \approx \underline{\underline{1,06 \text{ m}}} \end{aligned}$$

LB 16.23

$$\Rightarrow f_B < \frac{v_a \cdot z}{L'} = \frac{47,14 \text{ m} \cdot 2}{1,06 \text{ m} \cdot 3} = \frac{88,9}{3} < f_{B\text{max}}$$

LB 16.37

g) Wellenbelastung:

$$\underline{\underline{\mu = 0,7}}$$

TB 16-2

$$\beta_n = 2 \arccos \left( \frac{d_g - d_k}{2e} \right) = 2 \arccos \left( \frac{300 - 90}{2 \cdot 195} \right) \approx 114,8^\circ$$

LB 16.24

$$\beta_n, \text{ gewählt} = \underline{\underline{120^\circ}} \quad (\text{Achsenabstand in Praxis größer})$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{k = 1,5}}$$

TB 16-5

$$F_W = k \cdot F_t ; \quad F_t = \frac{2 \cdot M_t}{d}$$

LB 16.35

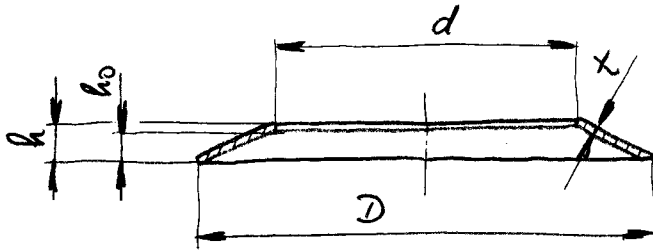
$$\Rightarrow F_W = k \cdot \frac{2M_t}{d} = 1,5 \cdot \frac{2 \cdot 15279 \text{ Nm}}{90 \text{ mm}} = \underline{\underline{509,300 \text{ N}}}$$

### 1.3) Wellenbelastung axial:

35

⇒ Vorspannkraft der Tellerfedern

Tellerfeder gewählt: 6 Stück kN-542600 (Fa. Bamer)



$$t = 0,7 \text{ mm}$$

$$D = 61,5 \text{ mm}$$

$$d = 40,5 \text{ mm}$$

$$h = 1,8 \text{ mm}$$

$$h_0 = h - t = (1,8 - 0,7) \text{ mm} = \underline{\underline{1,1 \text{ mm}}}$$

$$N = 6 \text{ (Anzahl Federn)}$$

$$s = 0,1 \text{ mm (Konstruktiv festgelegt)}$$

$$k_1 = 0,54$$

$$k_4 = 1$$

$$\mu = 0,3 ; E = 206 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

TB 10-8

LB S. 293

LB S. 293

$$F = \frac{4E}{1-\mu^2} \cdot \frac{t^4}{k_1 \cdot D^2} \cdot k_4^2 \cdot \frac{s}{t} \left[ k_4^2 \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{t} \right) \cdot \left( \frac{h_0}{t} - \frac{s}{2t} \right) + 1 \right]$$

LB 10.24

$$= \frac{4 \cdot 206 \cdot 10^3}{1-0,3^2} \cdot \frac{0,7^4}{0,54 \cdot 61,5^2} \cdot 1 \cdot \frac{0,1}{0,7} \left[ 1 \cdot \left( \frac{1,1}{0,7} - \frac{0,1}{0,7} \right) \cdot \left( \frac{1,1}{0,7} - \frac{0,1}{1,4} \right) + 1 \right] \text{ N}$$

$$= \underline{\underline{47,793 \text{ N}}}$$

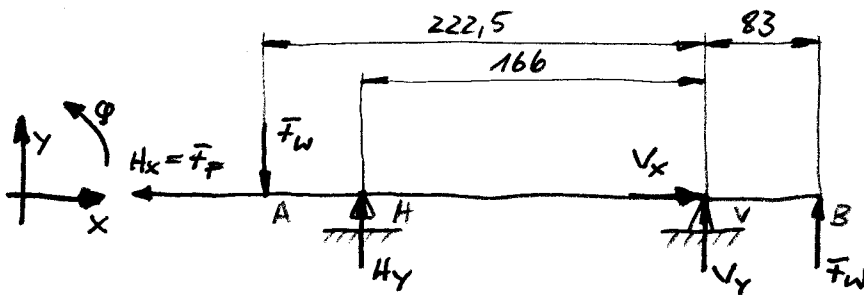
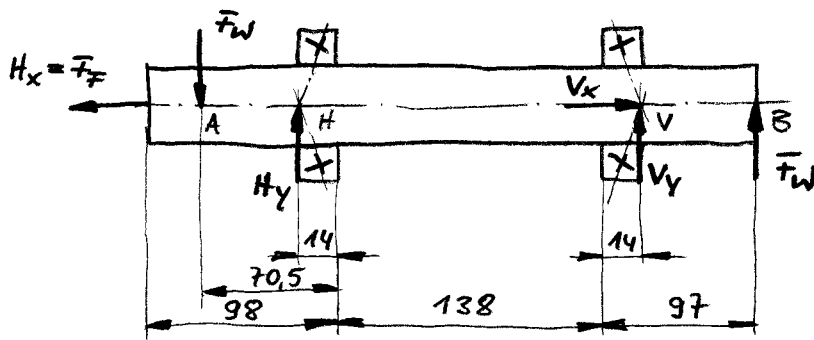
$$F_F = N \cdot F = 6 \cdot 47,793 \text{ N} = \underline{\underline{286,756 \text{ N}}}$$

## 2.) Lagerberechnung:

36

### 2.1) Belastung dynamisch:

#### a) Lagerkräfte dynamisch:



$$\sum \bar{F}_x = 0 = -\bar{F}_F + V_x \quad (1)$$

$$\sum \bar{F}_y = 0 = -\bar{F}_W + H_y + V_y + \bar{F}_W \quad (2)$$

$$\sum M_V = 0 = \bar{F}_W \cdot 222,5 \text{ mm} - H_y \cdot 166 \text{ mm} + \bar{F}_W \cdot 83 \text{ mm} \quad (3)$$

$$(3): H_y = \bar{F}_W \cdot \frac{(222,5 + 83) \text{ mm}}{166 \text{ mm}} = 509,3 \text{ N} \cdot \frac{222,5 + 83}{166} \\ = \underline{\underline{937,296 \text{ N}}}$$

$$(2): V_y = \bar{F}_W - H_y - \bar{F}_W = \underline{\underline{-937,296 \text{ N}}}$$

$$(1): V_x = \bar{F}_F = \underline{\underline{286,756 \text{ N}}}$$

$$H_x = \bar{F}_F = \underline{\underline{286,756 \text{ N}}}$$

$$\Rightarrow \text{für beide Lager: } |F_a| = \underline{\underline{286,756 \text{ N}}}$$

$$|F_r| = \underline{\underline{937,296 \text{ N}}}$$

b) dynamisch äquivalente Belastung:

$$f_0 = 15,4 \text{ (aus Tabelle)} \quad \checkmark$$

$$\frac{f_0 \cdot \bar{F}_a}{i \cdot C_0} = \frac{15,4 \cdot 286,756 \text{ N}}{1 \cdot 13,7 \cdot 10^3 \text{ N}} = \underline{\underline{0,322}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{e_{\text{nit}} \approx 0,4}} \text{ (aus Tabelle)}$$

$$e = \frac{\bar{F}_a}{F_r} = \frac{286,756 \text{ N}}{937,296 \text{ N}} = 0,306 < e_{\text{nit}} \Rightarrow \underline{\underline{P = \bar{F}_r}} \quad \checkmark$$

37

FAG -

Katalog

S. 204 f

c) Lebensdauer dynamisch:

$$f_{L,\text{min}} = \underline{\underline{3}}$$

$$f_L = \frac{C}{P} \cdot \sqrt[3]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}}$$

$$P = \underline{\underline{3}}$$

$$\Rightarrow f_L = \frac{19000 \text{ N}}{937,296 \text{ N}} \cdot \sqrt[3]{\frac{33 \frac{1}{3}}{10000}} = \underline{\underline{3,028}}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{f_L > f_{L,\text{min}}}}$$

$L_H =$

TB 14-7

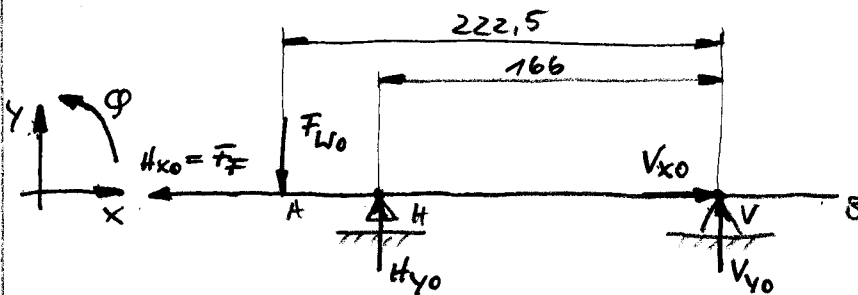
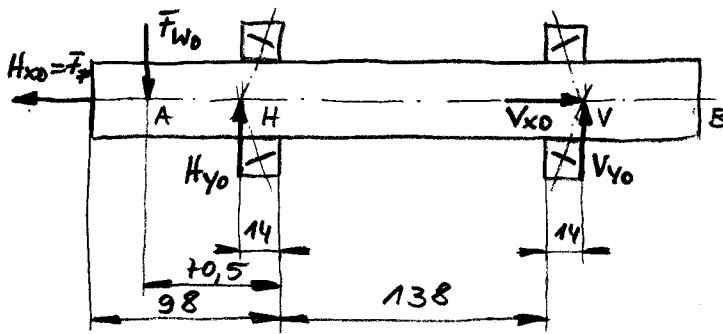
LB 14.7

LB S. 475

## 2.2) Belastung statisch:

a) Lagerkräfte statisch:

38



$$\sum \bar{F}_x = 0 = -\bar{F}_T + V_{x0} \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 = -\bar{F}_{W0} + H_{y0} + V_{y0} \quad (2)$$

$$\sum M_y = 0 = \bar{F}_{W0} \cdot 222,5 \text{ mm} - H_{y0} \cdot 166 \text{ mm} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \bar{F}_{W0} &\approx \bar{F}_W - \bar{F}_t = \lambda \cdot \bar{F}_t - \bar{F}_t = (1,5 - 1) \bar{F}_t = 0,5 \bar{F}_t \\ &= 0,5 \cdot \frac{\sum M_t}{d_R} = \frac{15279 \text{ Nmm}}{90 \text{ mm}} \\ &= \underline{\underline{169,767 \text{ N}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3): H_{y0} &= \bar{F}_{W0} \cdot \frac{222,5 \text{ mm}}{166 \text{ mm}} = 169,767 \text{ N} \cdot \frac{222,5}{166} \\ &= \underline{\underline{227,549 \text{ N}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2): V_{y0} &= \bar{F}_{W0} - H_{y0} = 169,767 \text{ N} - 227,549 \text{ N} \\ &= \underline{\underline{-57,782 \text{ N}}} \end{aligned}$$

$$(1): V_{x0} = \bar{F}_T = H_{x0} = \underline{\underline{286,756 \text{ N}}}$$

$$\Rightarrow \text{Lager hinten} : |\bar{F}_{T0H}| = \underline{\underline{227,549 \text{ N}}}$$

$$\text{Lager vorne} : |\bar{F}_{T0H}| = \underline{\underline{57,782 \text{ N}}}$$

$$\text{für beide Lager} : |\bar{F}_{a0}| = \underline{\underline{286,756 \text{ N}}}$$

b) statisch äquivalente Belastung:

$$e_{\text{rit}} = 1,09$$

$$e_v = \frac{\bar{F}_{a0}}{\bar{F}_{rov}} = \frac{286,756 \text{ N}}{57,782 \text{ N}} = 4,963 > e_{\text{rit}}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_{v0} &= 0,5 \bar{F}_{rov} + 0,46 \bar{F}_{a0} \\ &= 0,5 \cdot 57,782 \text{ N} + 0,46 \cdot 286,756 \text{ N} \\ &= \underline{\underline{160,799 \text{ N}}} \end{aligned}$$

$$e_H = \frac{\bar{F}_{a0}}{\bar{F}_{roh}} = \frac{286,756 \text{ N}}{227,549 \text{ N}} = 1,260 > e_{\text{rit}}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow P_{H0} &= 0,5 \bar{F}_{roh} + 0,46 \bar{F}_{a0} \\ &= 0,5 \cdot 227,549 \text{ N} + 0,46 \cdot 286,756 \text{ N} \\ &= \underline{\underline{245,682 \text{ N}}} \end{aligned}$$

c) Lebensdauer statisch

$$f_{s,\text{min}} = 3$$

$$f_{sv} = \frac{C_0}{P_{v0}} = \frac{13700 \text{ N}}{160,799 \text{ N}} = \underline{\underline{85,2}} > f_{s,\text{min}}$$

$$f_{sh} = \frac{C_0}{P_{H0}} = \frac{13700 \text{ N}}{245,682 \text{ N}} = \underline{\underline{55,763}} > f_{s,\text{min}}$$

39

FAG -

Katalog

S.205 f

FAG -

Kat. S.205

LB 14.3

# Festigkeitsberechnung der Passfederverbindung

40

- Flächenpressung der Passfeder  
(DIN 6885 - A 8 x 7 x 25)

$$K_A = 1,1$$

$$T = 9550 \cdot \frac{P}{n} = 9550 \cdot \frac{16 \text{ kW}}{10.000 \frac{1}{\text{min}}}$$

$$\underline{T = 15,28 \text{ Nm}}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$\underline{h'} = 0,45 \cdot h = 0,45 \cdot 7 \text{ mm} = \underline{3,15 \text{ mm}}$$

$$\underline{l'} = l - b = 25 \text{ mm} - 8 \text{ mm} = \underline{17 \text{ mm}}$$

$$n = 1 \rightarrow \varphi = 1$$

$$P_m = \frac{2 \cdot K_A \cdot T}{d \cdot h' \cdot l' \cdot n \cdot \varphi} \leq P_{Fzul}$$

$$P_m = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 15280 \text{ Nm}}{30 \text{ mm} \cdot 3,15 \text{ mm} \cdot 17 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 1}$$

$$\underline{\underline{P_m = 20,92 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq P_{Fzul}}}$$

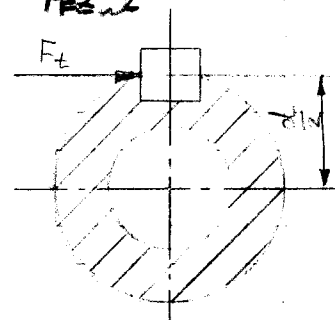
$$P_{Fzul} = \frac{R_e}{S_F}$$

$$S_F = 1,1$$

$$R_e = R_{p0,2} = 290 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\underline{\underline{P_{Fzul} = \frac{290 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,1} = 263,63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$P_m \leq P_{Fzul}$$



TB 3\_5a

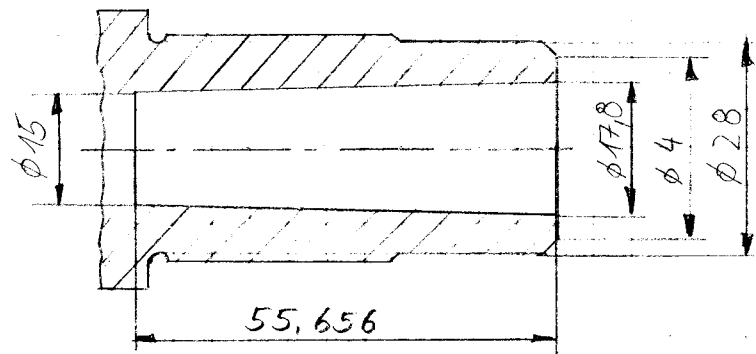
TB 12\_1b

TB 1\_3b



# Festigkeitsberechnung der Morsekegelverbindung

41



1) Erforderliche axiale Einpresskraft zur  
Übertragung des Drehmoments

$$F_c = \frac{2 \cdot K_A \cdot v_H \cdot M_t \cdot \sin \left( s + \frac{\lambda}{2} \right)}{D_{MF} \cdot \sin s}$$

$$K_A = 1,1$$

$$v_H = 1,5$$

$$\mu = 0,1$$

$$s = \arctan \mu = 5,711^\circ$$

$$\frac{\lambda}{2} = 1,431^\circ$$

$$\underline{D_{MF}} = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{15 \text{ mm} + 17,78 \text{ mm}}{2} = \underline{16,39 \text{ mm}}$$

$$F_c = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 15280 \text{ Nmm} \cdot \sin(5,711^\circ + 1,431^\circ)}{16,39 \text{ mm} \cdot \sin 5,711^\circ}$$

$$F_c = 3843,79 \text{ N}$$

$$\underline{\underline{F_c \approx 3,84 \text{ kN}}}$$

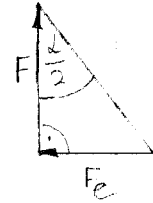
TB 3-5a

TB 1-14b

2) Kraft auf die Mantelfläche

$$F = \frac{F_c}{\tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{3843,79 \text{ N}}{\tan 1,431^\circ}$$

$$\underline{F = 153,87 \text{ kN}}$$

3) Flächenpressung auf die Mantelfläche

$$D = 17,78 \text{ mm}$$

$$d = 15 \text{ mm}$$

$$h = 55,656 \text{ mm}$$

$$p = \frac{F}{A_m}$$

$$A_m = \frac{\pi \cdot h_s}{2} (D + d)$$

$$h_s = \sqrt{h^2 + \left(\frac{D-d}{2}\right)^2}$$

$$h_s = \sqrt{(55,656 \text{ mm})^2 + \left(\frac{2,78 \text{ mm}}{2}\right)^2}$$

$$\underline{h_s = 55,673 \text{ mm}}$$

$$A_m = \frac{\pi \cdot 55,673 \text{ mm}}{2} (17,78 \text{ mm} + 15 \text{ mm})$$

$$\underline{\underline{A_m = 2866,66 \text{ mm}^2}}$$

$$\underline{\underline{p = \frac{153870 \text{ N}}{2866,66 \text{ mm}^2} \approx 53,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

## 4) Zulässige Normalspannung in der Wandung

43

$$\delta = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{zul}}$$

$$\delta = \frac{24 \text{ mm}^2 - 17,78 \text{ mm}}{2}$$

$$\underline{\delta = 3,11 \text{ mm}}$$

$$\sigma_{tats.} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \delta}$$

$$\sigma_{tats.} = \frac{53,68 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 17,78 \text{ mm}}{2 \cdot 3,11 \text{ mm}}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{tats.} = 153,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$\sigma_{zul} = 630 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = R_{p0,2}$$

TB 3-1c

$$S_F = \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{tats.}}$$

$$S_F = \frac{630 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{153,45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$\underline{\underline{S_F = 4,1}}$$

## **Zusammenfassung**

### **1.) Hauptergebnisse der Berechnung**

Für die maximale Leistungsaufnahme am Antrieb und einen willkürlichen, aber reichlich dimensionierten Belastungsfall auf der Werkzeugseite ergaben die Berechnungen eine Gestaltfestigkeit mit mehr als zehnfacher Sicherheit gegen Fließen an allen kritischen Stellen der Frässpindel (S. 18ff).

Bei gleicher Beanspruchung, die ja im Normalbetrieb einen Maximalwert darstellt, konnte der vom Kugellagerhersteller geforderte dynamische Lebensdauerfaktor von 3,0 knapp nachgewiesen werden (S. 37). Dies entspricht einer theoretischen Lebensdauer von über 13500 h. Die statische Belastbarkeit der verwendeten Wälzlager wird hierbei bei weitem nicht ausgeschöpft (vgl. S. 39).

Eine Überbeanspruchung des vorgesehenen Flachriemens ist selbst bei direkter Übersetzung von einem handelsüblichen Drehstrommotor ausgeschlossen (Siehe S. 33f).

Durch ein Paket aus sechs Tellerfedern werden die beiden Wälzlager mit einer Kraft von ca. 287 N axial vorgespannt und dauerhaft spielfrei gemacht (S. 35).

Die Passfeder wurde so dimensioniert, dass bei maximalem Antriebsdrehmoment die zulässige Flächenpressung in der Nabennut der Riemenscheibe nicht überschritten werden kann. Der Nachweis hierfür ist auf Seite 40 geführt.

Wie die Berechnungen ab Seite 41 zeigen, ist auch der Werkzeugaufnahmekegel bei üblicher Eintreibkraft gegen Aufplatzen sicher.

## **2.) Gewählte Konstruktionselemente**

- Frässpindel: einsatzgehärtete Hohlwelle mit 40 mm Nenndurchmesser, 35 mm Durchmesser an den Lagerstellen und 15 mm Innendurchmesser im mittleren Bereich
- Werkzeugaufnahme: Morsekegel MK 2 Form C nach DIN 228 mit Klemmbolzen M10 zum Ein- und Austreiben für Kegelschäfte mit Anzugsgewinde
- Gehäuse: Aluminium-Sandguss (Ø 100 mm) mit kokillengegossenen Alu-Lagerdeckeln auf beiden Seiten und 4 Befestigungslaschen auf der Unterseite für Durchgangsschrauben M10
- Lagerung: zwei Spindellager B7007C T P4S UL (Ø35 x Ø62 x 14) der Firma FAG in O-Anordnung
- Lagervorspannung: Paket aus 6 wechselsinnig geschichteten, speziellen Kugellagertellerfedern KN-542600 der Firma Bauer
- Kraftübertragung: gewölbte Riemenscheibe Ø 90 mm x 63 mm nach DIN 111 mit Bohrung Ø 30 mm für Flachriemen 50 mm
- Mitnahme: Passfederverbindung 8 mm x 7 mm x 25 mm nach DIN 6885 Form A mit festem Sitz
- Schmierung: separate Fettschmierung der beiden Lagerstellen über Schmiernippel M6 nach DIN 71412 Form A, nach außen mit Labyrinth abgedichtet

### **3.) Diskussion**

Das vorliegende Projekt hatte zum Ziel, die Lagerung der Arbeitsspindel einer Holztischfräse zu entwickeln und hierbei sowohl das Konstruieren nach allgemeinen Gestaltungsrichtlinien zu trainieren als auch das Bearbeiten eines umfangreichen Pflichtenheftes zu zeigen.

Zunächst waren lediglich eine Antriebsleistung von 16 kW, eine Nenndrehzahl von 10000 1/min und die Gesamtspindellänge von 300 mm vorgegeben. Unglücklicherweise erfolgten die ersten Entwurfsberechnungen und damit die Festlegung der Hauptabmessungen ausschließlich im Hinblick auf die Festigkeit der Frässpindel, was zu einer Fehleinschätzung des erforderlichen Wellendurchmessers führte. Je nach avisiertem Wälzlagertyp war nämlich die Auslegung der Lagerung in Bezug auf die Lagerbelastbarkeit das entscheidende Kriterium für die Durchmesserwahl. Ein frühzeitiger Hinweis auf diesen Sachverhalt wäre hier sehr hilfreich gewesen.

So konnte nur durch nachträgliche Vergrößerung der Riemenscheibe und Verringerung der axialen Vorspannkraft eine akzeptable Lebensdauer der verwendeten Kugellager sichergestellt werden ohne dass eine völlige Neukonstruktion erfolgen musste, was zeitlich sicher unmöglich gewesen wäre. Dies führte jedoch teilweise andere Überlegungen und Ziele bei der Gestaltung der Gesamtkonstruktion ad absurdum.

So sollte beispielsweise ursprünglich der Durchmesser der Riemenscheibe möglichst klein gehalten werden, um die Umfangsgeschwindigkeit des Riemens zu minimieren. Dass diese Überlegung richtig war, lässt sich anhand sämtlicher Bauvorschläge in der Fachliteratur nachvollziehen.

Durch die geringere Vorlast auf die Tellerfedern verringerte sich gleichzeitig die axiale Belastbarkeit der Spindellagerung durch das Werkzeug, was zu Bearbeitungsungenauigkeiten führen kann.

Andererseits waren die eingesetzten (sehr teuren) Spindellager gerade deshalb ausgewählt worden, um sie eventuell später durch baugleiche und erheblich preiswertere Rillenkugellager ersetzen zu können, was jedoch nun zu einer inakzeptablen Lebensdauer führen würde und deshalb nicht mehr möglich ist.

Richtigerweise hätte der Lagerinnendurchmesser wohl mindestens bei 45 mm, der Außendurchmesser entsprechend bei 85 mm liegen müssen. Dies hätte ein Welle von ca. 50 mm Nenndurchmesser erforderlich gemacht.

Dennoch konnten letztlich alle geforderten Pflichten aus der Aufgabenstellung weitgehend erfüllt und die technischen Spezifikationen ebenfalls eingehalten werden. Eine Ideallösung stellt die vorliegende Konstruktion jedoch sicherlich nicht dar.

## **Technische Zeichnungen**

## **1.) Schnittdarstellungen der Spindeleinheit**

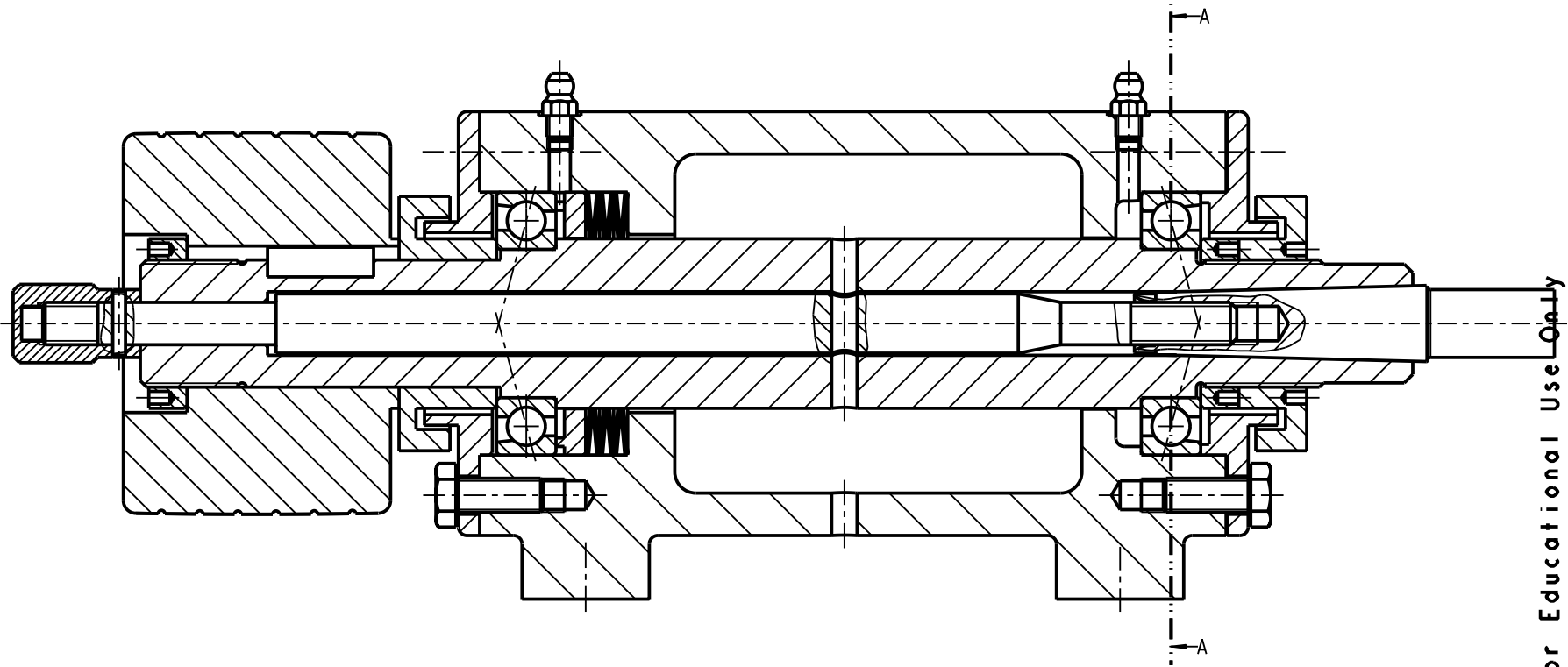
### **1.1) Längsschnitt**

(CAD-Zeichnung – Testatversion – ohne Abbildung)





For Educational Use Only



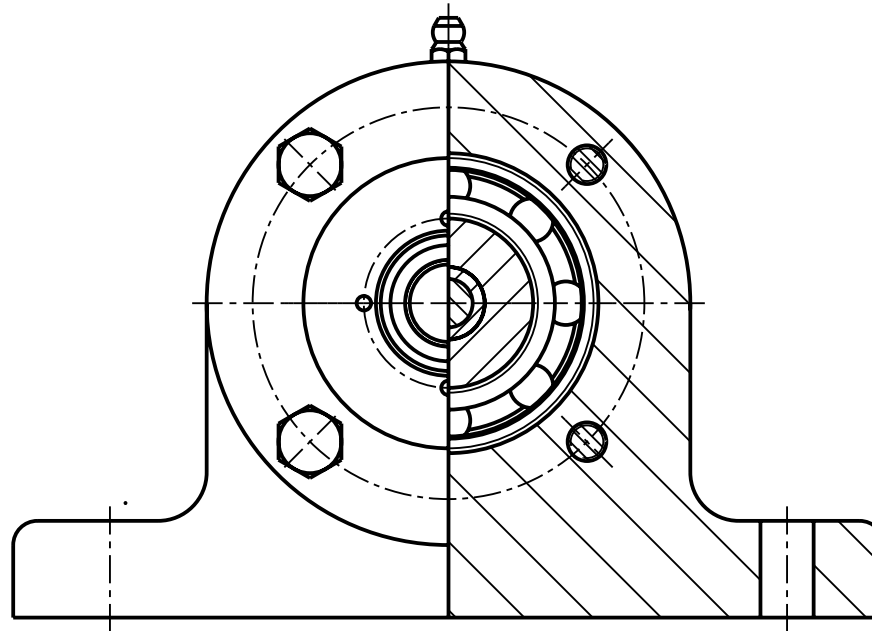
For Educational Use Only

For Educational Use Only

Dateiname des Zeichnungsobjektes: M0121774-000G		Dateityp: ASSEM	Dateiname der Zeichnung: M0121774-000L	
	Allgemeintol. DIN ISO 2768-m-S	Werkstück -kanten DIN 6784	Maßstab <b>1:1</b>	
		Datum Name	Benennung:	
	Bear. 27.11.2002	Hof: Falk	<b>Spindellagerung Laengsschnitt</b>	
	Gepr.			
	Norm		Zeichnungsnummer:	
			<b>M0121774-000</b>	
Zustl.	Änderung	Datum	Nam (Urspr.)	Blattf <b>2 Bl.</b>
				(Ers.f.:) (Ers.d.:)

For Educational Use Only

For Educational Use Only



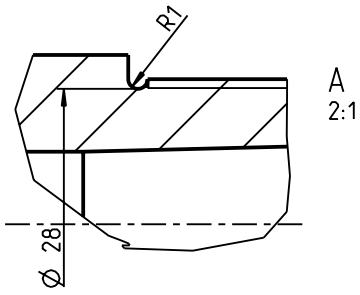
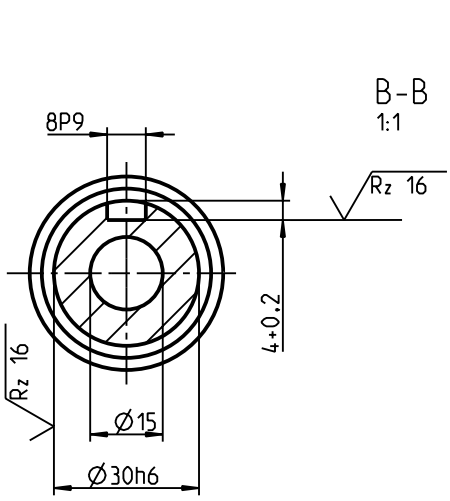
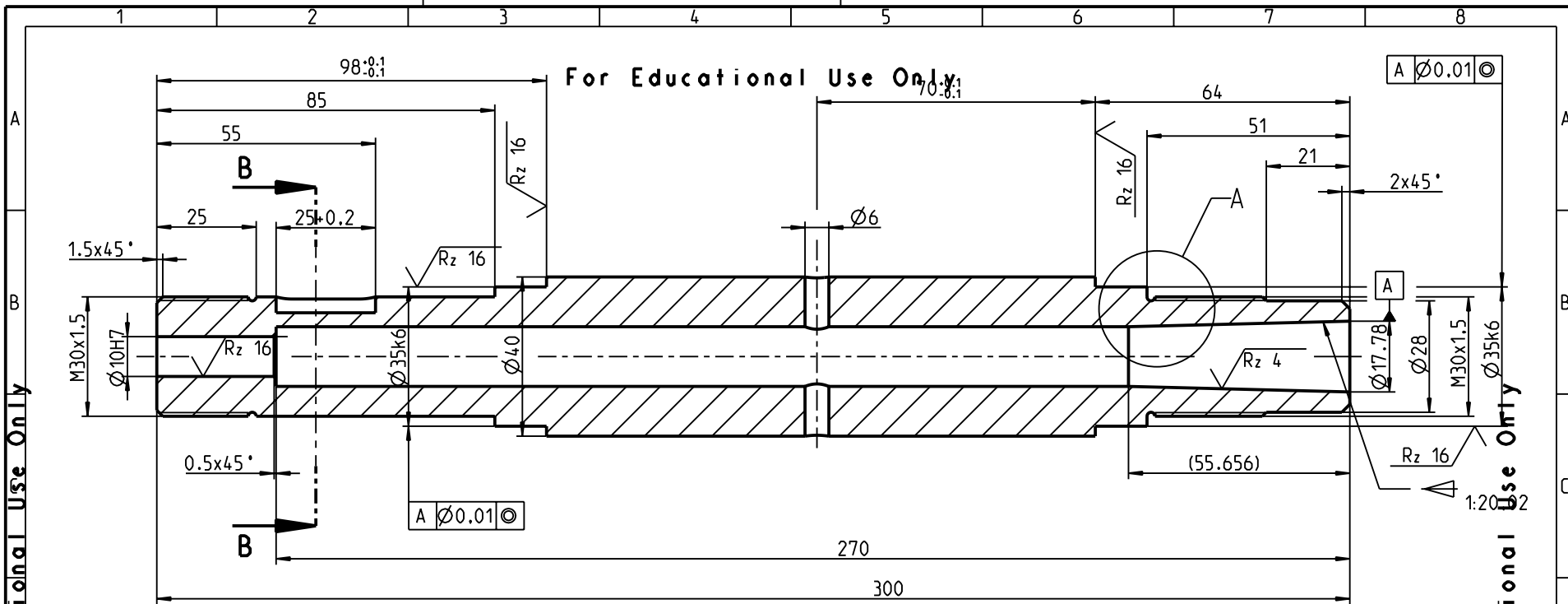
A - A

For Educational Use Only

For Educational Use Only

Dateiname des Zeichnungsobjektes: SPINDELLAGERUNG		Dateityp: ASSEM	Dateiname der Zeichnung: SPINDELLAGERUNG	
	Allgemeintol. DIN ISO 2768-m-S		Werkstück -kanten DIN 6784	Maßstab <b>1:1</b>
		Datum	Name	Benennung:  <b>Spindellagerung Querschnitt</b>
	Bear.	27.11.2002	Hof: Falk	
	Gepr.			
	Norm			
Zustl. Änderung Datum Nam (Urspr.)			Zeichnungsnummer: <b>0121774-000</b>	
			(Ers.f.:)	(Ers.d.:)
			Blatt 2	2 Bl.

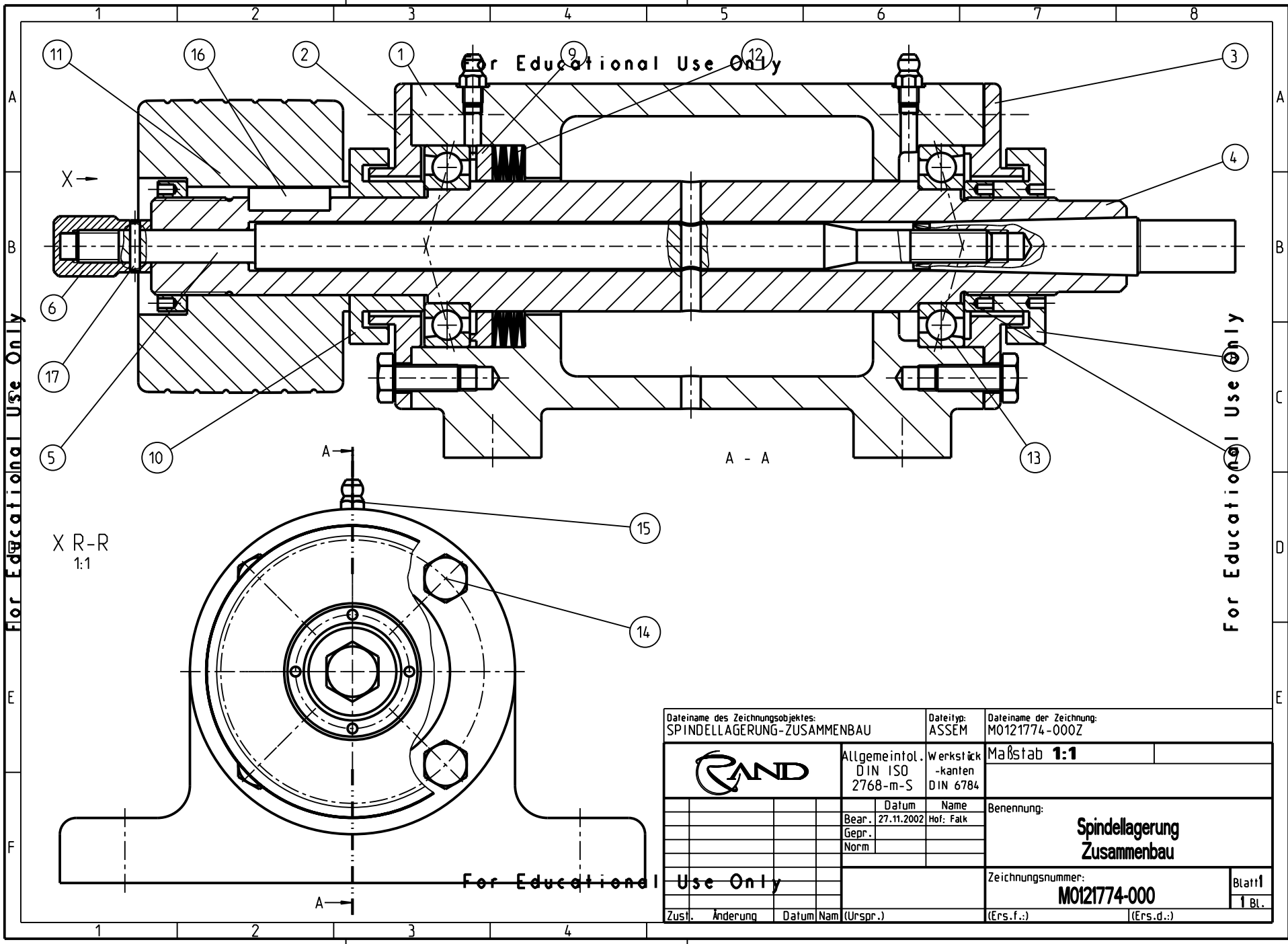
For Educational Use Only




Einsatzgehaertet  
40+ 4HRC Eht = 0.5 + 0.3

$\sqrt{Rz 63}$  ( $\sqrt{Rz 16}$   $\sqrt{Rz 4}$ )

Dateiname des Zeichnungsobjektes: M0121774-004		Dateityp: PART	Dateiname der Zeichnung: M0121774-004	
		Allgemeintol. DIN ISO 2768-m-S	Werkstück -kanten DIN 6784	Maßstab <b>1:1</b>
		Gew.: <b>1,87kg</b>		
$\text{Ø}10\text{H}7$ -0.015 0		Datum	Name	<b>Fraesspindel</b>
$\text{Ø}30\text{h}6$ 0 -0.013		Bear. 09.12.02	Hof: Falk	
$\text{Ø}35\text{k}6$ -0.018 -0.002		Gepr.	Norm	
<b>For Educational Use Only</b> Passmaß Abmaß		Zeichnungsnummer: <b>M0121774-004</b>		Blattf 1 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Nam (Urspr.)	(Ers.f.:) (Ers.d.:)



Dateiname des Zeichnungsobjektes: SPINDELLAGERUNG-ZUSAMMENBAU		Dateityp: ASSEM	Dateiname der Zeichnung: M0121774-000Z	
 Allgemeintol. DIN ISO 2768-m-S		Werkstück -kanten DIN 6784	Maßstab <b>1:1</b>	
			Benennung: <b>Spindellagerung Zusammenbau</b>	
		Datum	Name	
		Bear. 27.11.2002	Hof: Falk	
		Gepr.		
		Norm		
		Zeichnungsnummer: <b>M0121774-000</b>		Blattf 1 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Nam (Urspr.)	(Ers.f.:) (Ers.d.:)

1	2	3	4	5	6
Pos.	Menge	Einheit	Benennung	Sachnummer / Norm - Kurzbezeichnung	Bemerkung
1	1	Stk.	Gehaeuse	M0121774-001	EN AC-AISI10Mg SF
2	1	Stk.	Deckel links	M0121774-002	EN AC-AISI10Mg KF
3	1	Stk.	Deckel rechts	M0121774-003	EN AC-AISI10Mg KF
4	1	Stk.	Fraesspindel	M0121774-004	16MnCr5 G
5	1	Stk.	Klemmbolzen	M0121774-005	E335
6	1	Stk.	Hutmutter	M0121774-006	16MnCr5 G
7	2	Stk.	Lochmutter	M0121774-007	10S20
8	1	Stk.	Labyrinthmutter	M0121774-008	10S20
9	1	Stk.	Druckscheibe	M0121774-009	10S20
10	1	Stk.	Labyrinthhülse	M0121774-010	10S20
11	1	Stk.	Riemenscheibe Ø90 x 63	M0121774-011	ENAW-AICu4
12	6	Stk.	Tellerfeder	KN-542600	Fa. Bauer
13	2	Stk.	Spindellager	B7007C T P4S UL	FAG
14	8	Stk.	Sechskantschraube	ISO 4017 - M8 x 20 8.8	
15	2	Stk.	Schmiernippel	DIN 71412 – A M6 5.8	
16	1	Stk.	Passfeder	DIN 6885 – A – 8 x 7 x 25	
17	1	Stk.	Zylinderstift	ISO 8734 – 3 x 16 – C1	

				Datum	Name	<b>Spindellagerung</b>
			Bearb	07.01.03	Hof; Falk	
			Gepr.			
			Norm			
						<b>M0121774-000</b>
						Blatt 1
						1 Bl.
Zus	Änderung	Datum	Na	(Urspr.)	(Ers. f. :)	(Ers. d. :)

### **3.3) Montageanweisung**

- Klemmbolzen (Pos. 5) in Frässpindel (Pos. 4) einführen, mit geeignetem Bolzen Durchmesser 6 an Querbohrung gegenhalten
- Hutmutter (Pos. 6) montieren
- Nach Anziehen Stiftloch bohren und mit Zylinderstift (Pos. 17) sichern
- Auf die Antriebsseite der Frässpindel (Pos. 4) Spindellager (Pos. 13), Deckel links (Pos. 2) und Labyrinthhülse (Pos. 10) aufstecken.
- Darauf achten, dass die Spindellager in der gezeichneten Richtung (O-Anordnung) eingebaut werden
- Passfeder (Pos. 16) in Passfedernut einsetzen
- Um die Riemenscheibe (Pos. 11) mit der Lochmutter (Pos. 7) auf der Antriebsseite der Frässpindel (Pos. 4) zu befestigen, wieder mit dem Bolzen Durchmesser 6 an der Bohrung in Frässpindel (Pos. 4) gegenhalten
- Tellerfederpakete (Pos. 12) in dargestellter Anordnung und Druckscheibe (Pos. 9) auf die Frässpindel (Pos. 4) schieben
- Vormontierte Frässpindel (Pos. 4) von der Antriebsseite in das Gehäuse (Pos. 1) führen
- Deckel links (Pos. 2) mit Sechskantschraube (Pos. 14) anbringen und zweites Spindellager (Pos. 13) auf die Frässpindel (Pos. 4) aufschieben, Lochmutter (Pos. 7) dagegenschrauben und anziehen
- Deckel rechts (Pos. 3) mit Sechskantschraube (Pos. 14) befestigen und Labyrinthmutter (Pos. 8) montieren
- Schmiernippel (Pos. 15) einschrauben und Fett einfüllen

# FAG Spindellager

Käfig · Drehzahlreignung · Wärmebehandlung · Dynamisch äquivalente Belastung

## Käfig

Der Standardkäfig der Spindellager ist ein Massiv-Fensterkäfig aus Hartgewebe (Nachsetzzeichen T), der am Außenring geführt wird. Der Käfig eignet sich längerfristig für Temperaturen bis 100 °C.

## Drehzahlreignung

Die DIN 732 T1 (Thermische Bezugsdrehzahl) ist bei diesen Genauigkeitslagern nicht anwendbar.

Die für Spindellager angegebenen erreichbaren Drehzahlen gelten für elastisch vorgespannte und niedrig belastete Einzellager. Die Drehzahlen für Fettschmierung sind Höchstwerte, die z. B. mit dem FAG Wälzlagerfett Arcanol L74V erreicht werden. Die Zahlenwerte für Ölschmierung beziehen sich auf Minimalmengenschmierung, z. B. Öl-Luftschmierung. Bei Kühltschmierung können die Drehzahlwerte überschritten werden. Da bei dieser Schmierung eine beträchtliche Ölmenge durch das Lager gepumpt wird, muß man mit einem Anstieg des Drehwiderstands rechnen.

Die hohen Drehzahlen des Einzellagers werden nicht erreicht, wenn Spindellager unmittelbar nebeneinander eingebaut werden oder zur Erhöhung der Steifigkeit vorgespannt sind. Die Tafel zeigt, mit welchen Reduktionsfaktoren bei mit starrer, leichter Vorspannung eingebauten Lagern gerechnet werden muß.

▼ Reduktion der Drehzahl bei leichter Vorspannung und paarweisem Einbau

Lagerungsaufbau	Drehzahlreduktion
	0,85 · n*
	0,75 · n*
	0,65 · n*

\* Erreichbare Drehzahl aus den Maßtabellen  
Beim paarweisen Einbau in Tandem-Anordnung und elastischer Vorspannung erreicht man ca. 0,9 · n\*.

## Wärmebehandlung

FAG Spindellager sind so wärmebehandelt, daß sie bis zu einer Betriebstemperatur von 150 °C eingesetzt werden können. Lager über 240 mm Außendurchmesser sind bis 200 °C maßstabil. Die Temperatur-Einsatzgrenze des Hartgewebekäfigs ist zu beachten.

## Dynamisch äquivalente Belastung

Spindellager mit Druckwinkel  $\alpha = 15^\circ$   
(Nachsetzzeichen C)

$$P = F_r \quad [\text{kN}] \text{ für } \frac{F_a}{F_r} \leq e$$

$$P = 0,44 \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ für } \frac{F_a}{F_r} > e$$

Der Axialfaktor Y und der Wert e hängen bei dem kleinen Druckwinkel  $\alpha = 15^\circ$  ab vom Verhältnis

$$\frac{f_0 \cdot F_a}{i \cdot C_0}$$

$\frac{f_0 \cdot F_a}{i \cdot C_0}$	e	Y
0,3	0,4	1,4
0,5	0,43	1,31
0,9	0,45	1,23
1,6	0,48	1,16
3	0,52	1,08
6	0,56	1

$f_0$  Wert ist aus der Tafel, Seite 205, abzulesen  
 $C_0$  statische Tragzahl des Einzellagers [kN]  
i Anzahl der Lager, die die Axiallast aufnehmen

Spindellager mit Druckwinkel  $\alpha = 25^\circ$   
(Nachsetzzeichen E)

$$P = F_r \quad [\text{kN}] \text{ für } \frac{F_a}{F_r} \leq 0,68$$

$$P = 0,41 \cdot F_r + 0,87 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ für } \frac{F_a}{F_r} > 0,68$$

# FAG Spindellager

Äquivalente Belastung · Statische Kennzahl · Einbaumaße · Nachsetzzeichen

▼ Faktor  $f_0$  für Spindellager mit einem Druckwinkel  $\alpha = 15^\circ$

Bohrungs- kennzahl	Lagerreihe				
	B719C	B70C	B72C	HSS719C HCS719C	HSS70C HCS70C
00	14,2	12,6	12,3	15,3	15,5
01	14,7	13,2	12,9	15,7	15,5
02	14,5	14,1	13,6	15,8	15,8
03	14,8	14,3	13,9	16	15,9
04	14,2	14,3	13,8	16,2	16,1
05	14,9	14,9	14,4	16,5	16,2
06	15,4	15,1	14,3	16,4	16,3
07	15,9	15,4	14,6	16,4	16,5
08	15,5	15,7	14,2	16,2	16,5
09	15,8	15,5	14,2	16,3	16,5
10	16	15,7	14,4	16,2	16,5
11	16	15,5	14,5	16,1	16,5
12	16,2	15,6	14,4	16,2	16,4
13	16,4	15,9	14,5	16,1	16,4
14	16,2	15,6	14,6	16,1	16,4
15	16,3	15,8	14,8	16,1	16,3
16	16,4	15,7	14,8	16,1	16,3
17	16,3	15,9	14,9	16	16,3
18	16,4	15,7	14,8	16	16,3
19	16,4	15,9	14,9	15,9	16,3
20	16,5	16	14,5	16	16,2
21	16,4	15,9	14,5	15,9	16,3
22	16,4	15,8	14,5	16	16,2
24	16,4	16	14,9	15,9	16,3
26	16,4	15,9	14,7	15,9	16,2
28	16,4	16	15		
30	16,3	16	15,3		
32	16,4	16,2	15,3		
34	16,5	15,9	15,4		
36	16,4	15,7	15,4		
38	16,4	15,9	15,2		
40	16,2	15,8	15,4		
44	16,4	15,7	15,3		
48	16,5	15,9			

## Statische Kennzahl

Für eine genügende Laufruhe der Lager soll die statische Kennzahl  $f_s$  über 3 liegen.

$$f_s = C_0/P_0$$

$C_0$  statische Tragzahl [kN] aus Lagertabellen,  
bei mehreren Lagern  $C_0 = i \cdot C_{0\text{Einzellager}}$   
i = Anzahl der Einzellager

$P_0$  statisch äquivalente Belastung

Spindellager mit Druckwinkel  $\alpha = 15^\circ$   
(Nachsetzzeichen C)

$$P_0 = F_r \quad [\text{kN}] \text{ für } \frac{F_a}{F_r} \leq 1,09$$

$$P_0 = 0,5 \cdot F_r + 0,46 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ für } \frac{F_a}{F_r} > 1,09$$

Spindellager mit Druckwinkel  $\alpha = 25^\circ$   
(Nachsetzzeichen E)

$$P_0 = F_r \quad [\text{kN}] \text{ für } \frac{F_a}{F_r} \leq 1,3$$

$$P_0 = 0,5 \cdot F_r + 0,38 \cdot F_a \quad [\text{kN}] \text{ für } \frac{F_a}{F_r} > 1,3$$

## Einbaumaße

Allgemeine Angaben zu den Einbaumaßen siehe Seite 123.

In den Lagertabellen sind das Größtmaß des Radius  $r_g$  und die Durchmesser der Anlageschultern angegeben.

## Nachsetzzeichen

C Druckwinkel  $15^\circ$

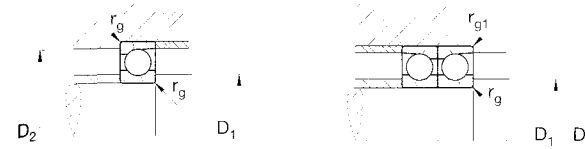
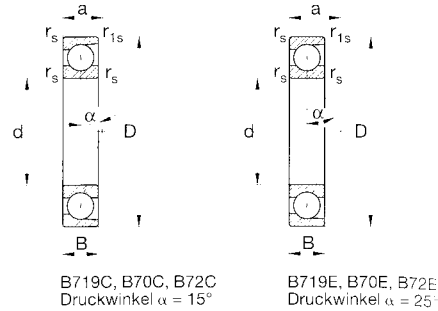
E Druckwinkel  $25^\circ$

P4S Toleranzklasse P4S

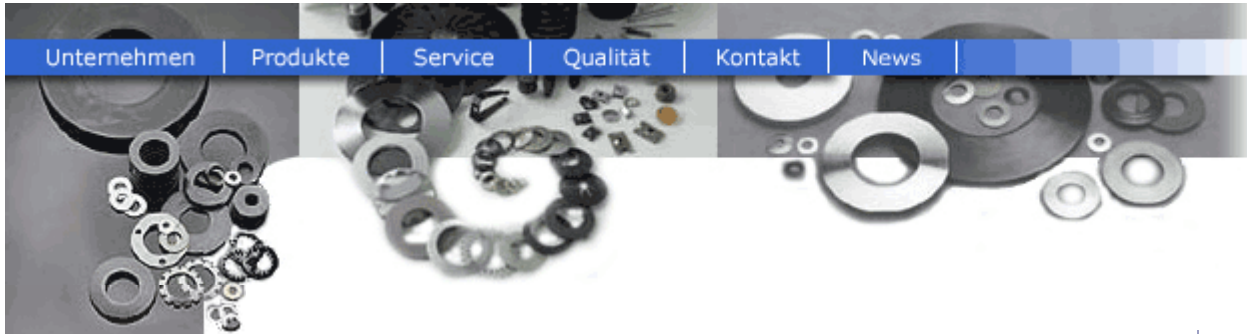
T Massiv-Fensterkäfig aus Hartgewebe

UL Universalausführung für z. B. paarweisen Einbau, Lagerpaar hat bei O- und X-Anordnung leichte Vorspannung





Welle	Abmessung						Gewicht kg	Tragzahl		erreichbare Drehzahl		Kurzzeichen Lager FAG	Einbaumaß			
	d mm	D	B	r <sub>s</sub> min	r <sub>1s</sub> min	a mm		dyn. C kN	stat. C <sub>0</sub>	Fett min <sup>-1</sup>	Öl minimal		D <sub>1</sub> H12 mm	D <sub>2</sub> H12	r <sub>g</sub> max	r <sub>g1</sub> max
25	25	52	15	1	1	13	0,13	15,6	9,3	28000	43000	B7205C.T.P4S.UL	30,5	46,5	1	1
	25	52	15	1	1	17	0,13	15	9	26000	40000	B7205E.T.P4S.UL	30,5	46,5	1	1
30	30	47	9	0,3	0,15	10	0,05	10,8	7,8	28000	43000	B71906C.T.P4S.UL	32,5	44	0,3	0,1
	30	47	9	0,3	0,15	14	0,05	10,2	7,35	26000	40000	B71906E.T.P4S.UL	32,5	44	0,3	0,1
	30	55	13	1	1	12	0,12	15	10,2	26000	40000	B7006C.T.P4S.UL	35,5	50	1	0,3
	30	55	13	1	1	17	0,12	14,3	9,8	24000	38000	B7006E.T.P4S.UL	35,5	50	1	0,3
	30	62	16	1	1	14	0,2	23,2	14,6	24000	38000	B7206C.T.P4S.UL	36,5	55,5	1	1
	30	62	16	1	1	19	0,2	22	14	22000	36000	B7206E.T.P4S.UL	36,5	55,5	1	1
	35	55	10	0,6	0,3	11	0,08	14,3	10,8	24000	38000	B71907C.T.P4S.UL	39	51,5	0,6	0,1
	35	55	10	0,6	0,3	16	0,08	13,4	10,4	22000	36000	B71907E.T.P4S.UL	39	51,5	0,6	0,1
40	35	62	14	1	1	14	0,16	19	13,7	22000	36000	B7007C.T.P4S.UL	40,5	56	1	0,3
	35	62	14	1	1	18	0,16	18,3	12,9	20000	34000	B7007E.T.P4S.UL	40,5	56	1	0,3
	35	72	17	1,1	1,1	16	0,28	30,5	20	20000	34000	B7207C.T.P4S.UL	42	64,5	1	1
	35	72	17	1,1	1,1	21	0,28	29	19	19000	32000	B7207E.T.P4S.UL	42	64,5	1	1
	40	62	12	0,6	0,3	13	0,11	17,6	13,7	22000	36000	B71908C.T.P4S.UL	43,5	58	0,6	0,1
	40	62	12	0,6	0,3	18	0,11	16,6	13,2	20000	34000	B71908E.T.P4S.UL	43,5	58	0,6	0,1
	40	68	15	1	1	15	0,2	20,4	16	20000	34000	B7008C.T.P4S.UL	46	61,5	1	0,3
	40	68	15	1	1	20	0,2	19,6	15	19000	32000	B7008E.T.P4S.UL	46	61,5	1	0,3
45	40	80	18	1,1	1,1	17	0,38	32	22,4	18000	30000	B7208C.T.P4S.UL	48,5	71	1	1
	40	80	18	1,1	1,1	23	0,38	30,5	21,6	17000	28000	B7208E.T.P4S.UL	48,5	71	1	1
	45	68	12	0,6	0,3	14	0,13	18,6	15,6	19000	32000	B71909C.T.P4S.UL	49	63,5	0,6	0,1
	45	68	12	0,6	0,3	19	0,13	17,6	15	18000	30000	B71909E.T.P4S.UL	49	63,5	0,6	0,1
	45	75	16	1	1	16	0,24	27,5	21,2	18000	30000	B7009C.T.P4S.UL	50	69,5	1	0,3
	45	75	16	1	1	22	0,24	26,5	20	17000	28000	B7009E.T.P4S.UL	50	69,5	1	0,3
	45	85	19	1,1	1,1	18	0,4	40,5	29	17000	28000	B7209C.T.P4S.UL	52	77,5	1	1
	45	85	19	1,1	1,1	25	0,4	39	27,5	15000	24000	B7209E.T.P4S.UL	52	77,5	1	1
50	50	72	12	0,6	0,3	14	0,13	19	16,6	18000	30000	B71910C.T.P4S.UL	53,5	68	0,6	0,1
	50	72	12	0,6	0,3	20	0,13	18	15,6	16000	26000	B71910E.T.P4S.UL	53,5	68	0,6	0,1
	50	80	16	1	1	17	0,26	28,5	22,8	17000	28000	B7010C.T.P4S.UL	55	74,5	1	0,3
	50	80	16	1	1	23	0,26	27	21,6	15000	24000	B7010E.T.P4S.UL	55	74,5	1	0,3
	50	90	20	1,1	1,1	19	0,46	43	31,5	16000	26000	B7210C.T.P4S.UL	57	82,5	1	1
	50	90	20	1,1	1,1	26	0,46	40,5	30,5	14000	22000	B7210E.T.P4S.UL	57	82,5	1	1



Unternehmen

Produkte

Service

Qualität

Kontakt

News



E-Mail



### Suche nach Produkten:

Masszeichnung - bitte klicken -

<= **DE** <=  Aussendurchmesser in mm

<= **DI** <=  Innendurchmesser in mm

<= **F1** <=  Kraft in N

Abfrage

Löschen

Artikel-Nr.	DE	DI	T	LO	F1	L1	Mat	Info
KN-542600	61,5	40,5	0,7	1,8	176	0,98	Ck75	

Anzeige: Datensatz 1 bis 1 von 1



wenn das von ihnen gesuchte Teil nicht dabei sein sollte, starten Sie doch die individuelle technische Anfrage.

- alle Produkte im Überblick
- Standard-Tellerfedern DIN 2093
- Präzisions-tellerfedern aus Superlegierungen
- **Produktsuche**
- AGB's

## 2.) Softwarenachweis

- *CAD-Software:*  
Parametric Technology Corporation  
**Pro/ENGINEER Student Edition**  
Version 2001
- *Textverarbeitung:*  
Microsoft Corporation  
**Microsoft Word**  
Versionen 97 SR-2, 2000
- *PDF-Generator:*  
Adobe Systems Incorporated  
**Adobe Acrobat**  
Version 4.0
- *CD-Brennsoftware:*  
CEQuadrat GmbH  
**WinOnCD**  
Version 3.70 (2000)