

Lösung WNV2

Berechnung verschiedenartiger Welle-Nabe-Verbindungen für identische Einsatzbedingungen im Vergleich

1. Passfederberechnung

Die Abmessungen $b \times h$ der Passfeder sind den Wellendurchmessern zugeordnet. Die Länge der Passfeder wird über die Flächenpressung p berechnet. Es wird zwischen rundstirniger (Form A) und eckiger Ausführung (Form B) unterschieden.

• Bestimmen der Querschnittsgrößen (hierzu Auszug aus DIN 6885 T1)

$$\begin{array}{ll} \text{Wellendurchmesser } d = 45 \text{ mm} & \\ \text{Passfederbreite } b = 14 \text{ mm} & \\ \text{Passfederhöhe } h = 9 \text{ mm} & \rightarrow \text{Wellennuttiefe } t_1 = 5,5 \text{ mm} \\ \text{Passfederwerkstoff } C45E, R_{\min} = 370 \text{ N/mm}^2 & \text{Nabennuttiefe } t_2 = 3,8 \text{ mm} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Anzahl der Passfedern } i = 1 & \\ \text{Traganteil } \varphi = 1 & \text{gewählte Passfederform A (rundstirnig)} \end{array}$$

• Bestimmung der erforderlichen tragenden Passfederlänge

$$T_{\text{eq}} = K_A \cdot T_{\text{nenn}} = p_{\text{zul}} \cdot t_{\text{tr}} \cdot l_{\text{tr}} \cdot \frac{d}{2} \cdot i \cdot \varphi \quad 8.5 \text{ und } 8.6 \quad S11$$

$$\rightarrow l_{\text{tr}} = \frac{2 \cdot T_{\text{eq}}}{p_{\text{zul}} \cdot t_{\text{tr}} \cdot d \cdot i \cdot \varphi} \quad T_{\text{eq}} \quad \text{äquivalentes Drehmoment}$$

$$\rightarrow t_{\text{tr}} = t_1 \text{ bzw. } (h - t_1) \quad K_A \quad \text{Anwendungsfaktor}$$

$$p_{\text{zul}} \quad \text{zulässige Flächenpressung}$$

$$l_{\text{erf}} \quad \text{Welle bzw. Nabe mit Passfeder}$$

$$l_{\text{erf}} \quad \text{erforderliche tragende Passfeder-}$$

$$l_{\text{erf}} \quad \text{Länge}$$

$$K_A = 1$$

Tabelle Skript S18

$$p_{\text{zul}} = 0,9 \cdot R_{\min}$$

S19

R_{\min} Minimalwert der Streckgrenze vom Wellen-, Nabens-, bzw. Passfederwerkstoff

$$\text{Welle: } p_{\text{zulW}} = 0,9 \cdot 355 = 319,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Nabe: } p_{\text{zulN}} = 0,9 \cdot 440 = 396 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Passfeder: } p_{\text{zulF}} = 0,9 \cdot 370 = 333 \text{ N/mm}^2$$

- erforderliche tragende Passfederlänge entsprechend der zulässigen Pressung zwischen Wellennut und Passfeder

$$p_{\text{zul}} = p_{\text{zulW}} = 319,5 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{\text{erf}} = \frac{2 \cdot 870 \cdot 1 \cdot 10^3}{319,5 \cdot 5,5 \cdot 45 \cdot 1 \cdot 1} = 22 \text{ mm}$$

- erforderliche tragende Passfederlänge entsprechend der zulässigen Pressung zwischen Nabennut und Passfeder

$$p_{\text{zul}} = p_{\text{zulF}} = 333 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{\text{erf}} = \frac{2 \cdot 870 \cdot 1 \cdot 10^3}{333 \cdot (9 - 5,5) \cdot 45 \cdot 1 \cdot 1} = 33,2 \text{ mm}$$

erforderliche Passfederlänge l: $l \geq l_{\text{erf}} + b = 33,2 + 14 = 47,2 \text{ mm}$

gewählt Passfederlänge nach DIN 6885 T1: **l = 50 mm**

- Überprüfen des Längen-Durchmesser-Verhältnisses:

$$\frac{l_{\text{tr}}}{d} \leq 1,3 , \quad l_{\text{tr}} = l - b = 36 \text{ mm}$$

$$\frac{36}{45} = 0,8 \leq 1,3$$

→ Passfeder DIN 6885-A 14 x 9 x 50

- Berechnung des übertragbaren Drehmomentes für die gewählte Passfeder mit der Länge l = 50 (Nachrechnung)

$$l_{\text{tr}} = l - b = 50 - 14 = 36 \text{ mm}$$

$$T_{\text{zul}} = p_{\text{zul}} \cdot (h - t_1) \cdot l_{\text{tr}} \cdot \frac{d}{2} \cdot i \cdot \varphi$$

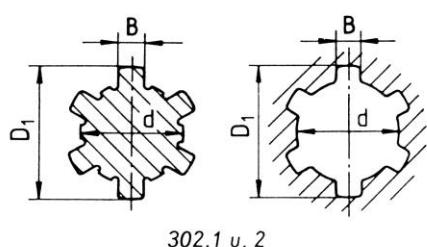
$$T_{\text{zul}} = 333 \cdot 3,5 \cdot 36 \cdot \frac{45}{2} \cdot 1 \cdot 1$$

$$T_{\text{zul}} = 944055 \text{ Nmm} = 944 \text{ Nm}$$

2. Keilwellenberechnung

(hierzu Auszug aus DIN ISO 14)

Keilwellenverbindungen werden als feste oder längsbewegliche Verbindungen von Welle und Nabe zur Übertragung von Drehmomenten eingesetzt. Sie besitzen gerade Flanken und sind innenzentriert. Diese Norm legt die Maße für eine leichte und mittlere Reihe fest. Anwendung finden Keilwellenverbindungen z. B. bei Schieberädern in Schaltgetrieben.



Toleranzklassen für Paßflächen d (Auswahl)

Gleitsitz	H7/f7
Übergangssitz	H7/g7
Festsitz	H7/h7

Weitere Toleranzen
s. DIN ISO 14.

Nennmaße in mm (Auswahl)

Anzahl der Keile n	d	6						8								
		11	13	16	18	21	23	26	28	32	36	42	46	52	56	62
leichte Reihe	D ₁						26	30	32	36	40	46	50	58	62	68
	B						6	6	7	6	7	8	9	10	10	12
mittlere Reihe	D ₁	14	16	20	22	25	28	32	34	38	42	48	54	60	65	72
	B	3	3,5	4	5	5	6	6	7	6	7	8	9	10	10	12

Keilwellen- und Keilnaben-Profil mit 8 Keilen für d = 42 mm (Innenzentrierung, Gleitsitz H7/f7) mittlere Reihe auswählen und die erforderliche Nabendicke ausrechnen.

- Wahl der Verbindung

Keilwellen-Profil DIN ISO 14 – 8 x 42 x 48
 innerer Durchmesser
 äußerer Durchmesser
 Keilbreite

d = 42 f7
 D₁ = 48 a11
 B = 8 d10

Keilnaben-Profil DIN ISO 14 – 8 x 42 x 48
 innerer Durchmesser
 äußerer Durchmesser
 Keilbreite

d = 42 H7
 D₁ = 48 H10
 B = 8 H11

- Berechnung der erforderlichen tragenden Länge der Verbindungen
 (Kriterium: Flächenpressung an den Flanken)

$$M_T = 0,75 \cdot h_{tr} \cdot l_{tr} \cdot z \cdot r_m \cdot p_{zul}$$

Skript S.32

M_T übertragbares Moment

M_T = M_{tnenn} · K_A

$$\rightarrow l_{erf} = \frac{M_t}{0,75 \cdot z \cdot r_m \cdot h_{tr} \cdot p_{zul}}$$

z Anzahl der Mitnehmer

$$h_{tr} \text{ tragende Zahnhöhe}$$

$$h_{tr} = \frac{(D_1 - d)}{2}$$

p_{zul} zulässige Flächenpressung an den
 Mitnehmer- bzw. Nabenflanken

r_m mittlerer Radius

$$M_T = 1 \cdot 870 \text{ Nm}$$

$$r_m = \frac{d + D_1}{4}$$

$$z = 8$$

$$r_m = \frac{42 + 48}{4} = 22,5 \text{ mm}$$

$$h_{tr} = \frac{48 - 42}{2} = 3 \text{ mm}$$

$$p_{zul} = p_{zulW} = 319 \text{ N/mm}^2, \text{ da } p_{zulW} < p_{zulN}$$

$$l_{erf} = \frac{1 \cdot 870 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 8 \cdot 22,5 \cdot 3 \cdot 319} = 6,7 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

Für die Übertragung der Momentenbelastung würde für die WNV eine Breite l = 7 mm ausreichen.

- Berechnung des übertragbaren Drehmomentes aufgrund der zulässigen Flächenpressung für die Verbindung der Breite l_{vorh} = L

$$M_{tzul} = 0,75 \cdot l_{vorh} \cdot h_{tr} \cdot z \cdot r_m \cdot p_{zulW}$$

$$M_{tzul} = 0,75 \cdot 50 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 22,5 \cdot 319 \cdot 10^{-3} = 6460 \text{ Nm}$$

3. Pressverbindung (elastischer Verformungszustand)

- erforderliche Mindestfugenpressung p_{Ferf}

- zu übertragendes Moment:

$$M_t = K_A \cdot M_{t\text{nenn}} = 1 \cdot 870 \text{ Nm}$$

- Kraft in der Pressfuge:

$$F_u = \frac{2 \cdot M_t}{d} = \frac{2 \cdot 870 \cdot 10^3}{45}$$

$$\mathbf{F_u = 38,7 \cdot 10^3 \text{ N}}$$

- Mindestfugenpressung:

$$p_{\text{Ferf}} = \frac{F_u \cdot S_R}{d \cdot \pi \cdot L \cdot \mu} \quad \begin{array}{l} \text{Fugenlänge} \\ \text{erf. Sicherheit gegen Rutschen} \\ \text{Haftbeiwert} \end{array} \quad \begin{array}{l} L = 50 \text{ mm} \\ S_R = 2 \\ \mu = 0,2 \end{array}$$

$$p_{\text{Ferf}} = \frac{38,7 \cdot 10^3 \cdot 2}{45 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,2} = \mathbf{54,7 \text{ N/mm}^2}$$

- Grenzfugenpressung p_{Fzul}

Nabe: $p_{\text{FzulN}} = \frac{1 - Q^2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_{\text{zulN}}$ S.63

$$Q = Q_A = \frac{d}{D} = \frac{45}{70} = 0,64$$
 S.58

$$\sigma_{\text{zulN}} = \frac{R_{\text{eN}}}{S_F} = \frac{440}{1,2} = 367 \text{ N/mm}^2$$

erf. Sicherheit. gegen Fließen $S_F = 1,2$

$$p_{\text{FzulN}} = \frac{1 - 0,64^2}{\sqrt{3}} \cdot 367 = 125 \text{ N/mm}^2$$

Welle: $p_{\text{FzulW}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_{\text{zulW}}$ Gleichung nicht im Skript

$$\sigma_{\text{zulW}} = \frac{R_{\text{eW}}}{S_F} = \frac{355}{1,2} = 296 \text{ N/mm}^2$$

$$p_{\text{FzulW}} = \frac{2 \cdot 296}{\sqrt{3}} = 342 \text{ N/mm}^2$$

$$\mathbf{p_{\text{Fzul}} = p_{\text{FzulN}} = 125 \text{ N/mm}^2}$$

- Haftmaßbestimmung Z_{erf} bzw. Z_{zul}

$$Z_{\text{erf}} = \frac{p_{\text{Ferf}} \cdot d}{E} \left[1 + \frac{1 + Q_A^2}{1 - Q_A^2} \right]$$
 S.61

$$\text{für } Q_I = 0 \quad E_I = E_A \quad \nu_I = \nu_A = 0,3$$

$$Z_{\text{erf}} = \frac{54,7 \cdot 45}{2,1 \cdot 10^5} \left[1 + \frac{1+0,64^2}{1-0,64^2} \right]$$

$$Z_{\text{erf}} = 0,0397 \text{ mm} \rightarrow 40 \mu\text{m}$$

$$Z_{\text{zul}} = \frac{p_{F,zul} \cdot d}{E} \left[1 + \frac{1+Q_A^2}{1-Q_A^2} \right]$$

$$Z_{\text{zul}} = \frac{125 \cdot 45}{2,1 \cdot 10^5} \left[1 + \frac{1+0,64^2}{1-0,64^2} \right]$$

$$Z_{\text{zul}} = 0,091 \text{ mm} \rightarrow 91 \mu\text{m}$$

• Passungswahl

$$U_{\text{erf}} = Z_{\text{erf}} + 0,8 (R_{zw} + R_{zn})$$

S.51

$$G = 2 (0,4R_{zw} + 0,4R_{zn}) \rightarrow \text{Glättung}$$

$$U_{\text{erf}} = 40 \mu\text{m} + 0,8 (1,6 \mu\text{m} + 4 \mu\text{m}) = 45 \mu\text{m}$$

$$U_{\text{zul}} = Z_{\text{zul}} + 0,8 (R_{zw} + R_{zn})$$

$$U_{\text{zul}} = 91 \mu\text{m} + 0,8 (1,6 \mu\text{m} + 4 \mu\text{m}) = 96 \mu\text{m}$$

ISO-Passung wählen, die folgende Bedingungen erfüllt:

$U_k > U_{\text{erf}}$	U_k	kleinstes Übermaß der zu wählenden Passung
$U_g < U_{\text{zul}}$	U_g	größtes Übermaß der zu wählenden Passung

gewählt: Einheitsbohrung **H7** → $\varnothing 45^{+0,025}_{-0,000}$ d. h. die Welle muss ein unteres Abmaß von mindestens **45 μm + 25 μm = 70 μm** haben. Das obere Abmaß darf **96 μm** nicht überschreiten.

Auswahl der Passung für die Welle aus der Toleranztabelle **u7** bzw. **u8** mit einem unteren Abmaß von **70 μm** und oberen Abmaß von **95 μm** bzw. **109 μm**

Somit festgelegt: $\varnothing 45H7/u7$

$$\begin{aligned} \varnothing 45u7 &\quad es = 95 \mu\text{m} \quad ei = 70 \mu\text{m} \\ \varnothing 45H7 &\quad ES = 25 \mu\text{m} \quad EI = 0 \mu\text{m} \\ \rightarrow U_g &= EI - es = 0 - 95 = -95 \mu\text{m} \\ \rightarrow U_k &= ES - ei = 25 - 70 = -45 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$$|U_{\text{erf}}| = 45 \mu\text{m} = |U_k| = 45 \mu\text{m}$$

$$|U_{\text{zul}}| = 96 \mu\text{m} > |U_g| = 95 \mu\text{m}$$

• Montage

-Dehnsitz (Welle unterkühlen)

$$t_w = t_u + \frac{|u_g| + \Delta D}{\alpha_w \cdot d} \quad 8.17 \text{ und } 8.18$$

S. 52

$$\Delta D = 0,001 \cdot d = 0,045 \text{ mm}$$

$$t_u = 20^\circ\text{C}$$

$$\alpha_w = -8,5 \cdot 10^{-6} \text{ grd}^{-1}$$

$$t_w = 20 + \frac{0,095 + 0,045}{-8,5 \cdot 10^{-6} \cdot 45}$$

$t_w = -346^\circ\text{C}$ nicht realisierbar, da nur bis maximal -196°C Unterkühlung (flüssiger Stickstoff) möglich ist.

- Schrumpfsitz (Nabe erwärmt)

$$t_N = 20 + \frac{0,095 + 0,045}{11 \cdot 10^{-6} \cdot 45} \quad \alpha_N = 11 \cdot 10^{-6} \text{ grd}^{-1}$$

$t_N = 303^\circ\text{C}$ Erwärmung in Mineralöl oder im Ofen in Schutzgasatmosphäre;
Gefahr des Verzunderns der Nabenoberfläche bzw. der Gefügebeeinflussung durch die relativ hohe Temperatur.