

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)

Wellendurchmesser	$d = 45 \text{ mm}$	
Passfederbreite	$b = 14 \text{ mm}$	
Passfederhöhe	$h = 9 \text{ mm}$	→ Wellennuttiefe $t_1 = 5,5 \text{ mm}$
Passfederwerkstoff	C45E, $R_{\text{emin}} = 370 \text{ N/mm}^2$	Nabennuttiefe $t_2 = 3,8 \text{ mm}$

Anzahl der Passfedern $i = 1$

Traganteil $\varphi = 1$

gewählte Passfederform A (rundstirnig)

• Bestimmung der erforderlichen tragenden Passfederlänge

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

8.5 und 8.6 S11

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

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

T_{eq} äquivalentes Drehmoment

K_A Anwendungsfaktor

p_{zul} zulässige Flächenpressung
Welle bzw. Nabe mit Passfeder
 l_{erf} erforderliche tragende Passfederlänge

$$K_A = 1$$

Tabelle Skript S18

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

S19
 R_{emin} Minimalwert der Streckgrenze vom
Wellen-, Naben-, bzw. Passfederwerkstoff

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

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

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)**

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

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

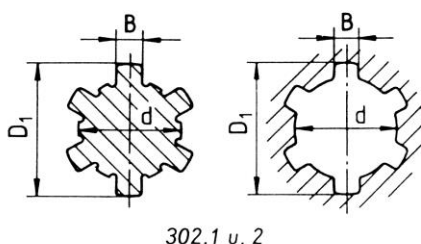
$$T_{\text{zul}} = 333 \cdot 3,5 \cdot 36 \cdot \frac{45}{2} \cdot 1 \cdot 1$$

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

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 innen zentriert. 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	6								8							
d	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 Nabenbreite ausrechnen.

• Wahl der Verbindung

Keilwellen-Profil DIN ISO 14 – 8 x 42 x 48

innerer Durchmesser	$d = 42 \text{ f7}$
äußerer Durchmesser	$D_1 = 48 \text{ a11}$
Keilbreite	$B = 8 \text{ d10}$

Keilnaben-Profil DIN ISO 14 – 8 x 42 x 48

innerer Durchmesser	$d = 42 \text{ H7}$
äußerer Durchmesser	$D_1 = 48 \text{ H10}$
Keilbreite	$B = 8 \text{ H11}$

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

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

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

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

$$z = 8$$

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

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

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

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

Für die Übertragung der Momentenbelastung würde für die WNV eine Breite $l = 7 \text{ mm}$ ausreichen.

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

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

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

Skript S.32

M_T übertragbares Moment

$$M_T = M_{t\text{tenn}} \cdot K_A$$

z Anzahl der Mitnehmer

h_{tr} tragende Zahnhöhe

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

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

r_m mittlerer Radius

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

3. Pressverbindung (elastischer Verformungszustand)

- erforderliche Mindestfugenpressung p_{Ferf}

- zu übertragendes Moment:

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

- Kraft in der Pressfuge:

$$F_u = \frac{2 \cdot M_t}{d} = \frac{2 \cdot 870 \cdot 10^3}{45}$$
$$F_u = 38,7 \cdot 10^3 \text{ N}$$

- Mindestfugenpressung:

$$p_{\text{Ferf}} = \frac{F_u \cdot S_R}{d \cdot \pi \cdot L \cdot \mu}$$

Fugenlänge $L = 50 \text{ mm}$
erf. Sicherheit gegen Rutschen $S_R = 2$
Haftbeiwert $\mu = 0,2$

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

- 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

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

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

S.63

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

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

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

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

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

- 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

für $Q_I = 0$

$E_I = E_A$

$\nu_I = \nu_A = 0,3$

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

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

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

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

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

• Passungswahl

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

S.51

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

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

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

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

ISO-Passung wählen, die folgende Bedingungen erfüllt:

$$\begin{aligned} U_k &> U_{\text{erf}} \\ U_g &< U_{\text{zul}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_k &\text{ kleinstes Übermaß der zu wählenden Passung} \\ U_g &\text{ größtes Übermaß der zu wählenden Passung} \end{aligned}$$

gewählt: Einheitsbohrung **H7** $\rightarrow \varnothing 45^{+0,025}_{/0,000}$ 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 Toleranztafel **u7** bzw. **u8** mit einem unteren Abmaß von **70 μm** und oberem Abmaß von **95 μm** bzw. 109 μm

Somit festgelegt: $\varnothing 45\text{H7/u7}$

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

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

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

• 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

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

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

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

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

$$t_w = -346^\circ\text{C}$$

nicht realisierbar, da nur bis maximal -196°C Unter-
terkühlung (flüssiger Stickstoff) möglich ist.

- Schrumpfsitz (Nabe erwärmt)

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

$$t_N = 303^\circ\text{C}$$

Erwärmung in Mineralöl oder im Ofen in Schutzgasat-
mosphäre;
Gefahr des Verzunderns der Nabenoberfläche bzw. der
Gefügebeeinflussung durch die relativ hohe Temperatur.