

Berechnungsgrundlagen Spannsätze Zur Überprüfung Ihrer Verbindung

Die nachfolgend aufgeführten Berechnungsgrundlagen dienen zur überschlägigen Prüfung der Welle-Nabe-Verbindung.

Auch anzuwenden für Verbindungen mit Wellenkupp- lungen der Baureihe WK160 sowie Klemm- und Einschweißnaben.

Verwendete Formelzeichen

Grundabmessungen der ungespannten Elemente:

- D = Spannsatzaußen-/ Nabeninnendurchmesser
- D_N = Nabenaußendurchmesser
- d = Spannsatzinnen-/ Wellenaußendurchmesser (d_w)
- d_B = Hohlwelleninnendurchmesser
- h_1 = Spannlänge (vom Spannelement abhängig)
- B = Nabenbreite
- i = Anzahl der Spannschrauben im Spannsatz

Leistungsangaben:

- M_t = Übertragbares Drehmoment des Spannelementes
- M_{tres} = Übertragbares resultierendes Drehmoment des Spannelementes
- F_{ax} = Übertragbare Axialkraft des Spannelementes
- p_N = Flächenpressung in der Nabe
- p_w = Flächenpressung an der Welle
- N = Normalkraft
- F_v = Vorspannkraft (von den Spannschrauben erzeugt)

Werkstoffkennwerte und Faktoren:

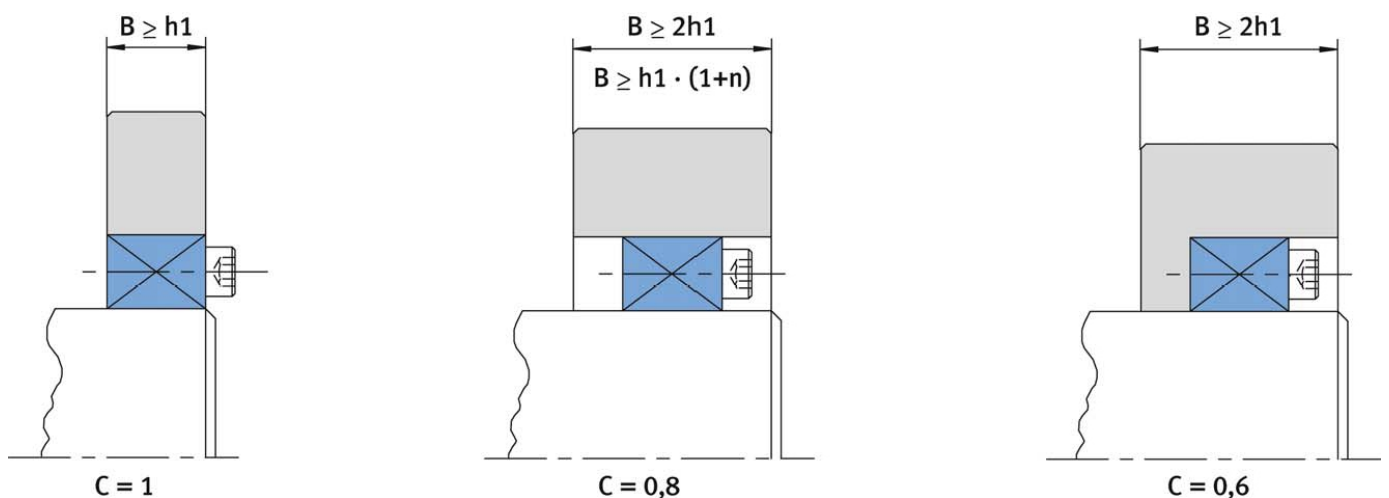
- $R_{p0,2}$ = Streckgrenze (R_e) des Naben-/ Wellenwerkstoffes
- R_m = Zugfestigkeit des Naben-/ Wellenwerkstoffes
- E_N = E-Modul des Nabenwerkstoffes
- E_w = E-Modul des Wellenwerkstoffes

- v = Sicherheit gegen plastische Verformung
- C = Nabenformfaktor, bei Wellen ist C = 0,6
- n = Anzahl der Spannelemente

- μ_w = Reibwert der Welle
- μ_k = Reibwert der Konen
- α = Kegelwinkel der Konen

Einbauverhältnisse, Nabenformfaktor C

Bei ungeschwächtem Nabenquerschnitt über dem Spannsatz ergeben sich folgende Werte für C:



Nabenlänge \geq Spannflächenlänge

Nabenlänge $\geq 2 \cdot$ Spannflächenlänge
Einsatz von zwei und mehr Spannsätzen

Nabenlänge $\geq 2 \cdot$ Spannflächenlänge

Naben- / Hohlwellenberechnung

Weiterführende Berechnungen auf Seite 3 und 4

Durch das Funktionsprinzip der Hakon Welle-Nabe-Verbindungen baut sich in der Verbindung eine Flächenpressung auf. Nabe und Welle müssen diesen Belastungen stand halten und sollten ggf. überprüft werden.

Erforderlicher Nabenaußendurchmesser

Spannsätze

In der Praxis werden die erforderlichen Naben- und Wellendurchmesser überschlägig unter Vernachlässigung der Radialspannung ermittelt.

$$D_N \geq D \cdot \sqrt{\frac{R_{p0,2N} + p_N \cdot C}{R_{p0,2N} - p_N \cdot C}} [mm]$$

Bei spröden Werkstoffen ist anstelle der Streckgrenze

$$\frac{R_m}{2} \text{ einzusetzen.}$$

Sicherheit gegen Fließen :

$\nu = 1$ bis $1,3$ für duktile Werkstoffe
 $\nu = 1$ für spröde Werkstoffe



Ist die Nabe durch Bohrungen geschwächt, sollte der erforderliche Nabenaußendurchmesser um den jeweiligen Bohrungsdurchmesser vergrößert werden.

Erforderlicher Nabenaußendurchmesser

Schrumpfscheiben

Der Nabenaußendurchmesser ist in den Datentabellen festgelegt. Als Nabenmaterial ist Stahl, Stahlguss oder Sphäroguss mit einer Streckgrenze von ca. 360 N/mm^2 zu verwenden. Bei Verbindungen, die auch Biegemomente übertragen müssen oder bei dünnwandigen Naben ist der Werkstoff 42 CrMo 4, eine vergleichbare oder höherwertige Qualität einzusetzen. Ggf. ist die Nabe rechnerisch zu überprüfen. **Ausführliche Informationen erhalten Sie in den Berechnungsunterlagen für Schrumpfscheibenverbindungen.**

Maximaler Bohrungsdurchmesser

Bei Anwendungen mit Hohlwellen

$$d_B \leq d \cdot \sqrt{\frac{R_{p0,2W} - 2 \cdot p_W \cdot C}{R_{p0,2W}}} [mm]$$

Für Wellen gilt: $C = 0,6$

Kräfte und Momente

Haftreibungswert μ

Der gewählte Reibwert hat großen Einfluss auf die Berechnung des Drehmomentes. In der Literatur werden folgende Haftreibungswerte genannt:

- trocken für Stahl / Stahl: $\mu = 0,45$ bis $0,80$
- geölt für Stahl / Stahl: $\mu = 0,10$ bis $0,15$

Die Katalogwerte basieren auf folgende Haftreibungswerte:

- geölt für Stahl / Stahl: $\mu = 0,12$ bis $0,14$

Normalkraft

Die Schraubenvorspannkkräfte erzeugen die notwendige Normalkraft, die zur Übertragung des Drehmomentes erforderlich ist.

$$N = \frac{F_v \cdot i}{\tan \alpha + \mu_k} [N]$$



Die Formel für die Normalkraft muss dem Aufbau des Spannsatzes entsprechend angepasst werden.

Flächenpressung

Mittlere Flächenpressung, die beim Anziehen der Spannschrauben im Bereich von Welle und Nabe wirkt.

An der Welle:

$$p_W = \frac{N}{d \cdot \pi \cdot h_1} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

An der Nabenbohrung:

$$p_N = \frac{N}{D \cdot \pi \cdot h_1} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

Drehmoment

Das vom Spannsatz übertragbare Drehmoment

$$M_t = N \cdot \mu_w \cdot \frac{d}{2} [Nm]$$



Bei gleichzeitiger Übertragung von Drehmoment und Axialkraft ergeben sich resultierende Übertragungswerte der Spannverbindung.

Resultierendes Drehmoment

Von der Spannverbindung übertragbares Drehmoment

$$M_{tres} = \sqrt{M_t^2 - \left(F_{ax} \cdot \frac{d}{2}\right)^2} [Nm]$$

Axialkraft

Von der Spannverbindung übertragbare Axialkraft

$$F_{ax} = \frac{2 \cdot M_t}{d} [N]$$

Erweiterte Berechnungsgrundlagen

Naben- / Hohlwellenberechnung

Verwendete Formelzeichen

Spannungen:

- σ_v = Vergleichsspannung
- σ_{vNi} = Vergleichsspannung in der Nabe
- σ_{vWi} = Vergleichsspannung in der Hohlwelle
- σ_t = Tangentialspannung
- σ_{tNi} = Tangentialspannung am Nabeninnendurchmesser
- σ_{tNa} = Tangentialspannung am Nabenaußendurchm.
- σ_{tWi} = Tangentialspannung am Hohlwelleninnendurchm.
- σ_r = Radialspannung
- σ_{rNi} = Radialspannung am Nabeninnendurchmesser
- τ_t = Schubspannung
- τ_{tNi} = Schubspannung am Nabeninnendurchmesser
- τ_{tWi} = Schubspannung am Hohlwelleninnendurchmesser

Werkstoffkennwerte und Faktoren:

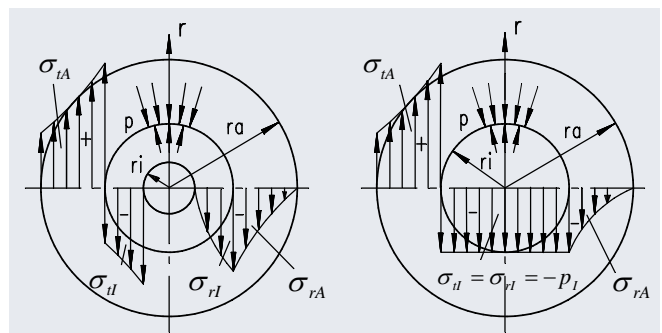
- $R_{p0,2}$ = Streckgrenze (R_e) des Naben-/ Wellenwerkstoffes
- R_m = Zugfestigkeit des Naben-/ Wellenwerkstoffes
- E_N = E-Modul des Nabenwerkstoffes
- E_W = E-Modul des Wellenwerkstoffes
- v = Sicherheit gegen plastische Verformung
- C = Nabenformfaktor, bei Wellen ist $C = 0,6$
- a_N = Durchmesser Verhältnis der Nabe
- a_W = Durchmesser Verhältnis der Hohlwelle
- Δ_{DN} = Aufweitung der Nabe
- Δ_{dB} = Einschnürung der Hohlwelle

Schematische Darstellung des Spannungsverlaufes

Die Berechnung der Spannungen und Dehnungen in der Welle-Nabe-Verbindung können auf den Fall eines unter Außen- bzw. Innendruck stehenden, dickwandigen zylindrischen Hohlkörpers (Kreisringquerschnitt) zurückgeführt werden.

$$\sigma_t = p \cdot \frac{r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \left(\frac{r_a^2}{r^2} + 1 \right)$$

$$\sigma_r = p \cdot \frac{r_i^2}{r_a^2 - r_i^2} \cdot \left(\frac{r_a^2}{r^2} - 1 \right)$$



Die gefährdeten Stellen des Pressverbandes befinden sich am Außenteil (Nabe) innen und bei dünnwandigen Hohlwellen am Innenteil innen.

Vergleichsspannung

Fasst man die an den betreffenden Stellen auftretenden Tangential-, Radial- und Schubspannungen unter Beachtung der Vorzeichen zu einer Vergleichsspannung zusammen, so muss jeweils die Bedingung erfüllt sein:

Vergleichsspannung in der Nabe:

$$\sigma_{vNi} \approx \sqrt{\sigma_{tNi}^2 + \sigma_{rNi}^2 - \sigma_{tNi} \cdot \sigma_{rNi} + 3\tau_{tNi}^2} \leq \frac{R_{p0,2N}}{\nu}$$

Vergleichsspannung in der Hohlwelle:

$$\sigma_{vWi} \approx \sqrt{\sigma_{tWi}^2 + 3\tau_{tWi}^2} \leq \frac{R_{p0,2W}}{\nu}$$

Tangentialspannung am Nabeninnendurchmesser:

$$\sigma_{tNi} \approx C \cdot \frac{p_N \cdot (a_N^2 + 1)}{a_N^2 - 1} \left[\frac{N}{mm^2} \right] ; a_N = \frac{D_N}{D} > 1,2$$

Tangentialspannung am Nabenaußendurchmesser:

$$\sigma_{tNA} \approx C \cdot \frac{2 \cdot P_N}{a_N^2 - 1} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Radialspannung am Nabeninnendurchmesser:

$$\sigma_{rNi} = -p_N \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Tangentialspannung am Hohlwelleninnendurchmesser:

$$\sigma_{tWi} \approx -C \cdot \frac{2 \cdot p_W \cdot a_W^2}{a_W^2 - 1} \left[\frac{N}{mm^2} \right] ; a_W = \frac{d}{d_B}$$

Schubspannung am Nabeninnendurchmesser:

$$\tau_{tNi} \approx \frac{16 \cdot M_t \cdot D \cdot 10^3}{\pi \cdot (D_N^4 - D^4)} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Schubspannung am Hohlwelleninnendurchmesser:

$$\tau_{tWi} \approx \frac{16 \cdot M_t \cdot d_B \cdot 10^3}{\pi \cdot (d^4 - d_B^4)} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

Aufweitung der Nabe

Am Außendurchmesser

$$\Delta_{D_N} \approx \frac{D_N \cdot \sigma_{tNa}}{E_N} [mm]$$

Einschnürung der Hohlwelle

Am Innendurchmesser

$$\Delta_{d_B} \approx \frac{d_B \cdot \sigma_{tWi}}{E_W} [mm]$$