

## Schraubenberechnung: Hebeöse

Eine Platte mit einer aufgeschweißten Öse wird zum Heben einer Last verwendet. Die Platte wird mit 4 Schrauben M8 der Festigkeitsklasse 8.8 an der Last angebracht. Sie zu hebende Last beträgt 60000,00N.

Sicherheit  $\nu$ : 1,50  
Reibungszahl  $\mu, \mu_K, \mu_G$ : 0,16

### Schritt 1.1: Bestimmung der Kräfte, welche auf die Schrauben wirken.

Die Last wird gleichmäßig auf alle vier Schrauben verteilt.

$$F_A = \frac{F}{n} = \frac{60000,00\text{N}}{4} = 15000,00\text{N}$$

### Schritt 1.2: Was für eine Art von Belastung und Beanspruchung liegt vor?

Belastungsart: statisch  
Beanspruchungsart: Zug  
Grenzspannung  $\sigma_{\text{grenz}}$ : Streckgrenze  $R_e$ , Tabelle 'Beanspruchungsarten, Grenzspannungen'  
Streckgrenze  $R_e$ : 640,00  $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ; bei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8

### Schritt 1.3: Berechnung der Vorspannkraft

Da keine Klemmkraft anliegt, ist die Vorspannkraft gleich der Betriebskraft.

$$F_V = F_B$$

### Schritt 1.4: Prüfung auf maximaler Zugspannung im Spannungsquerschnitt

Die gewählte Schraube (M8 8.8) wird auf Festigkeit geprüft.

Sicherheit  $\nu$ : 1,50

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{\sigma_{\text{grenz}}}{\nu} = \frac{R_e}{\nu} = \frac{640,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{1,50} \approx 426,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Wir berechnen den Spannungsquerschnitt der Schraube, den wir mindestens benötigen, um die Vorspannkraft bei einer Sicherheit von 2,5 zu übertragen.

$$\sigma_{\text{vorh}} = \frac{F_V}{A_S} = \frac{15000,00\text{N}}{36,60\text{mm}^2} \approx 409,84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{vorh}} \approx 409,84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} <= 426,67 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \approx \sigma_{\text{zul}}$$

Gut: die vorhandene Spannung  $\sigma_{\text{vorh}}$  ist kleiner als die zulässige Spannung  $\sigma_{\text{zul}}$ .

### Schritt 1.5: Berechnung des Anziehdrehmoment aus der Vorspannkraft

$$M_A = F_V \cdot \frac{1}{2} [d_2 \cdot \tan(\varphi + \varrho_G) + \mu_K \cdot d_K]$$

$$\varrho_G = \arctan \left( \frac{\mu_G}{\cos \frac{60^\circ}{2}} \right) = \arctan \left( \frac{0,16}{\cos \frac{60^\circ}{2}} \right) = 10,47^\circ$$

$$d_k \approx 2 \cdot 0,65 \cdot d = 2 \cdot 0,65 \cdot 8,00\text{mm} = 10,40\text{mm}$$

$$\varphi = \arctan \left( \frac{P}{d_2 \pi} \right) = \arctan \left( \frac{1,25\text{mm}}{7,19\text{mm} \cdot \pi} \right) = 3,17^\circ$$

$$\begin{aligned}
M_A &= F_V \cdot \frac{1}{2} [d_2 \cdot \tan(\varphi + \varrho_G) + \mu_K \cdot d_K] \\
&= 15000N \cdot \frac{1}{2} [7,19mm \cdot \tan(3,17^\circ + 10,47^\circ) + 0,16 \cdot 10,40mm] \\
&= 15000N \cdot \frac{1}{2} [1,74mm + 1,66mm] \\
&\approx 26,00Nm
\end{aligned}$$

Aus der Tabelle ‘Maximale Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente’ entnehmen wir

Gewinde:	M8
Festigkeitsklasse:	8.8
Reibungszahl $\mu$ :	0,16
Maximales Anziehdrehmoment:	29,80 Nm

$$M_A = 26,00Nm \leq 29,80Nm = M_{A,\max}$$

Gut: das vorhandene Anziehdrehmoment  $M_A$  ist kleiner als das maximale Anziehdrehmoment  $M_{A,\max}$ .

#### Schritt 1.6: Berechnung def Flächenpressung am Schraubenkopf aus der Vorspannkraft

$$A_P = \frac{\pi}{4} \cdot (d_k^2 - d_h^2) = \frac{\pi}{4} \cdot ((11,60mm)^2 - (8,40mm)^2) = 50,27mm^2$$

$$p_{\text{vorh}} = \frac{F_V}{A_P} = \frac{15000N}{50,27mm^2} = 298,42 \frac{N}{mm^2}$$

Aus der Tabelle ‘Grenzflächenpressung  $p_G$  für Werkstoffe (Auswahl) nach VDI 2230’ entnehmen wir die maximal zulässige Spannung und vergleicht diese mit der vorhandenen Spannung. Wird diese überschritten, muss eine Scheibe verwendet werden.

## Schraubenberechnung: Drehmoment über Flansch übertragen

Ein Nenndrehmoment von 1375,00N soll auf ein Flansch mit 8 Schrauben ( Festigkeitsklasse 8.8) übertragen werden. Für den Betrieb gilt ein Anwendungsfaktor von 1,50. Der Lockkreisdurchmesser für die Schrauben ist 105,00mm.

Reibungszahl in der Trennfuge: 0,12  
 Sicherheit  $\nu$ : 1,50  
 Reibungszahl  $\mu, \mu_K, \mu_G$ : 0,16

### Schritt 1.1: Bestimmung der Kräfte, welche auf die Schrauben wirken.

Wir haben ein Anwendungsfaktor und ein Nenndrehmoment gegeben. Das Nenndrehmoment wird mit dem Anwendungsfaktor multipliziert, um die obere Grenze des zu übertragenden Drehmoments zu bestimmen.

$$M = M_{\text{nenn}} \cdot K_A = 1375,00 \text{Nm} \cdot 1,50 = 2062,50 \text{Nm}$$

Das Drehmoment verteilt sich gleichmäßig auf jede der 8 Schrauben. Somit überträgt jede Schraube eine Querkraft:

$$F_Q = \frac{M}{n \cdot \frac{d}{2}} = \frac{2062,50 \text{Nm}}{8 \cdot \frac{105,00 \text{mm}}{2}} = 4910,71 \text{N}$$

Damit mit Hilfe der Schraube die Querkraft übertragen werden kann, muss sie die Flanschflächen so aneinanderpressen, daß die Haftreibung zwischen den Platten die Kraft überträgt.

Somit ergibt sich für die Betriebskraft

$$F_A = \frac{F_Q}{\mu_{\text{Trennfuge}}} = \frac{4910,71 \text{N}}{0,12} \approx 40922,58 \text{N}$$

### Schritt 1.2: Was für eine Art von Belastung und Beanspruchung liegt vor?

Belastungsart: statisch  
 Beanspruchungsart: Zug  
 Grenzspannung  $\sigma_{\text{grenz}}$ : Streckgrenze  $R_e$ , Tabelle 'Beanspruchungsarten, Grenzspannungen'  
 Streckgrenze  $R_e$ :  $640,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ; bei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8

### Schritt 1.3: Berechnung der Vorspannkraft

Da keine Klemmkraft anliegt, ist die Vorspannkraft gleich der Betriebskraft.

$$F_V = F_B$$

### Schritt 1.4: Überschlägige bestimmung der Schraubengröße

Da die Schraube (Größe, Typ) noch nicht festgelegt ist, wird diese über den mindestens erforderlichen Spannungsquerschnitt bestimmt.

Da wir in der Vorauslegung sind, nehmen wir eine Sicherheit von  $\nu_{\text{vor}} = 2,00$ , um die maximal zulässige Spannung zu berechnen.

Sicherheit  $\nu_{\text{vor}}$ : 2,00

$$\sigma_{\text{zul},\text{vor}} = \frac{\sigma_{\text{grenz}}}{\nu_{\text{vor}}} = \frac{R_e}{\nu_{\text{vor}}} = \frac{640,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2,00} \approx 320,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Wir berechnen den Spannungsquerschnitt der Schraube, den wir mindestens benötigen, um die Vorspannkraft bei einer Sicherheit von 2,00 zu übertragen.

$$A_{S,\min} = \frac{F_V}{\sigma_{zul,vor}} = \frac{40922,58\text{N}}{320,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \approx 127,88\text{mm}^2$$

Wir verwenden eine Schraube M16.

#### Schritt 1.5: Berechnung des Anziehdrehmoment aus der Vorspannkraft

$$M_A = F_V \cdot \frac{1}{2} [d_2 \cdot \tan(\varphi + \varrho_G) + \mu_K \cdot d_K]$$

$$\varrho_G = \arctan \left( \frac{\mu_G}{\cos \frac{60^\circ}{2}} \right) = \arctan \left( \frac{0,16}{\cos \frac{60^\circ}{2}} \right) = 10,47^\circ$$

$$d_k \approx 2 \cdot 0,65 \cdot d = 2 \cdot 0,65 \cdot 16,00\text{mm} = 20,80\text{mm}$$

$$\varphi = \arctan \left( \frac{P}{d_2 \pi} \right) = \arctan \left( \frac{2,00\text{mm}}{14,70\text{mm} \cdot \pi} \right) = 2,48^\circ$$

$$\begin{aligned} M_A &= F_V \cdot \frac{1}{2} [d_2 \cdot \tan(\varphi + \varrho_G) + \mu_K \cdot d_K] \\ &= 40923\text{N} \cdot \frac{1}{2} [14,70\text{mm} \cdot \tan(2,48^\circ + 10,47^\circ) + 0,16 \cdot 20,80\text{mm}] \\ &= 40923\text{N} \cdot \frac{1}{2} [3,38\text{mm} + 3,33\text{mm}] \\ &\approx 137,00\text{Nm} \end{aligned}$$

Aus der Tabelle ‘Maximale Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente’ entnehmen wir

Gewinde:	M16
Festigkeitsklasse:	8.8
Reibungszahl $\mu$ :	0,16
Maximales Anziehdrehmoment:	252,00 Nm

$$M_A = 137,00\text{Nm} \leq 252,00\text{Nm} = M_{A,\max}$$

Gut: das vorhandene Anziehdrehmoment  $M_A$  ist kleiner als das maximale Anziehdrehmoment  $M_{A,\max}$ .

#### Schritt 1.6: Berechnung def Flächenpressung am Schraubenkopf aus der Vorspannkraft

$$A_P = \frac{\pi}{4} \cdot (d_k^2 - d_h^2) = \frac{\pi}{4} \cdot ((22,00\text{mm})^2 - (17,00\text{mm})^2) = 153,15\text{mm}^2$$

$$p_{\text{vorh}} = \frac{F_V}{A_P} = \frac{40923\text{N}}{153,15\text{mm}^2} = 267,20 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Aus der Tabelle ‘Grenzflächenpressung  $p_G$  für Werkstoffe (Auswahl) nach VDI 2230’ entnehmen wir die maximal zulässige Spannung und vergleicht diese mit der vorhandenen Spannung. Wird diese überschritten, muss eine Scheibe verwendet werden.

## Schraubenberechnung: Deckel auf Flansch unter Druck

Ein Vorschweißflansch DN100, PN16 mit einem Blindflansch (Deckel) verspannt werden. Es herrscht ein Betriebsinnendruck von  $1,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ . Die Flansche werden über eine Flachdichtung gedichtet. Die Dichtflächenpressung beträgt  $3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ . Der Dichtring hat einen Innendurchmesser von 115mm, einen Außendurchmesser von 162mm. Verwendet werden 8 Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8.

Anziehfaktor:	2,00 (Die Schrauben werden mit einem Drehmomentschlüssel angezogen)
Reibungszahl an der Kopfauflage:	0,16
Reibungszahl im Gewinde:	0,16

### Schritt 1.1: Bestimmung der Kräfte, welche auf die Schrauben wirken.

Wir haben hier zwei Kräfte, die wir betrachten müssen.

- Die Klemmkraft, die zu jedem Zeitpunkt bestehen muss, damit der Dichtungsring dicht hält.
- Die Betriebskraft, die dem Innendruck standhalten muss.

**Klemmkraft berechnen:** Damit die Dichtung ihre Funktion erfüllt, muss sie mit einem Druck von  $3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  beaufschlagt werden.

$$F_{\text{Di}} = p_{\text{Di}} \cdot A_{\text{Di}}$$

Wir müssen also erst die Dichtfläche berechnen.

$$A_{\text{Di}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{Da}}^2 - d_{\text{Di}}^2) = \frac{\pi}{4} \cdot ((162\text{mm})^2 - (115\text{mm})^2) \approx 10225\text{mm}^2$$

$$F_{\text{Di}} = p_{\text{Di}} \cdot A_{\text{Di}} = 3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 10225\text{mm}^2 = 30675\text{N}$$

Diese Gesamtdichtkraft verteilt sich gleichmäßig auf alle Schrauben. Somit berechnet sich die Klemmkraft je Schraube zu

$$F_{\text{Kl}} = \frac{F_{\text{Di}}}{n} = \frac{30675\text{N}}{8} \approx 3834\text{N}$$

**Betriebskraft berechnen:** Um dem Innendruck von  $1,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  standzuhalten, muss der Deckel mit folgender Druckkraft zugehalten werden:

$$F_{\text{Dr}} = p_{\text{Dr}} \cdot A_{\text{Dr}}$$

Wir müssen also erst die Druckfläche berechnen.

$$A_{\text{Dr}} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{Di}}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot (115\text{mm})^2 \approx 10387,00\text{mm}^2$$

$$F_{\text{Dr}} = p_{\text{Dr}} \cdot A_{\text{Dr}} = 1,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 10387,00\text{mm}^2 = 16619,00\text{N}$$

Diese Gesamtdruckkraft verteilt sich gleichmäßig auf alle Schrauben. Somit berechnet sich die Betriebskraft je Schraube zu

$$F_{\text{A}} = \frac{F_{\text{Dr}}}{n} = \frac{16619,00\text{N}}{8} \approx 2077,38\text{N}$$

### Schritt 1.2: Was für eine Art von Belastung und Beanspruchung liegt vor?

Belastungsart:	statisch
Beanspruchungsart:	Zug
Grenzspannung $\sigma_{\text{grenz}}$ :	Streckgrenze $R_e$ , Tabelle 'Beanspruchungsarten, Grenzspannungen'
Streckgrenze $R_e$ :	$640,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ; bei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8

### Schritt 1.3: Berechnung der Vorspannkraft

Da eine Klemmkraft anliegt, muss die Vorspannkraft aus Betriebs- und Klemmkraft berechnet werden.

$$\begin{aligned} F_{V,\text{montage}} &= \alpha_A \cdot (F_K + F_A \cdot (1 - \varphi)) \\ &= 2,00 \cdot (3834,38N + 2077,38N \cdot (1 - 0,60)) \\ &\approx 9330,65N \end{aligned}$$

### Schritt 1.4: Überschlägige bestimmung der Schraubengröße

Da die Schraube (Größe, Typ) noch nicht festgelegt ist, wird diese über den mindestens erforderlichen Spannungsquerschnitt bestimmt.

Da wir in der Vorauslegung sind, nehmen wir eine Sicherheit von  $\nu_{\text{vor}} = 2,00$ , um die maximal zulässige Spannung zu berechnen.

Sicherheit  $\nu_{\text{vor}}: 2,00$

$$\sigma_{zul,vor} = \frac{\sigma_{\text{grenz}}}{\nu_{\text{vor}}} = \frac{R_e}{\nu_{\text{vor}}} = \frac{640,00 \frac{N}{mm^2}}{2,00} \approx 320,00 \frac{N}{mm^2}$$

Wir berechnen den Spannungsquerschnitt der Schraube, den wir mindestens benötigen, um die Vorspannkraft bei einer Sicherheit von 2,00 zu übertragen.

$$A_{S,\text{min}} = \frac{F_V}{\sigma_{zul,vor}} = \frac{9330,65N}{320,00 \frac{N}{mm^2}} \approx 29,16mm^2$$

Wir verwenden eine Schraube M8.

### Schritt 1.5: Berechnung des Anziehdrehmoment aus der Vorspannkraft

$$M_A = F_V \cdot \frac{1}{2} [d_2 \cdot \tan(\varphi + \varrho_G) + \mu_K \cdot d_K]$$

$$\varrho_G = \arctan \left( \frac{\mu_G}{\cos \frac{60^\circ}{2}} \right) = \arctan \left( \frac{0,16}{\cos \frac{60^\circ}{2}} \right) = 10,47^\circ$$

$$d_k \approx 2 \cdot 0,65 \cdot d = 2 \cdot 0,65 \cdot 8,00mm = 10,40mm$$

$$\varphi = \arctan \left( \frac{P}{d_2 \pi} \right) = \arctan \left( \frac{1,25mm}{7,19mm \cdot \pi} \right) = 3,17^\circ$$

$$\begin{aligned} M_A &= F_V \cdot \frac{1}{2} [d_2 \cdot \tan(\varphi + \varrho_G) + \mu_K \cdot d_K] \\ &= 9331N \cdot \frac{1}{2} [7,19mm \cdot \tan(3,17^\circ + 10,47^\circ) + 0,16 \cdot 10,40mm] \\ &= 9331N \cdot \frac{1}{2} [1,74mm + 1,66mm] \\ &\approx 16,00Nm \end{aligned}$$

Aus der Tabelle ‘Maximale Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente’ entnehmen wir

Gewinde:	M8
Festigkeitsklasse:	8.8
Reibungszahl $\mu$ :	0,16
Maximales Anziehdrehmoment:	29,80 Nm

$$M_A = 16,00Nm \leq 29,80Nm = M_{A,\text{max}}$$

Gut: das vorhandene Anziehdrehmoment  $M_A$  ist kleiner als das maximale Anziehdrehmoment  $M_{A,\text{max}}$ .

**Schritt 1.6: Berechnung def Flächenpressung am Schraubenkopf aus der Vorspannkraft**

$$A_P = \frac{\pi}{4} \cdot (d_k^2 - d_h^2) = \frac{\pi}{4} \cdot ((11,60\text{mm})^2 - (8,40\text{mm})^2) = 50,27\text{mm}^2$$

$$p_{\text{vorh}} = \frac{F_V}{A_P} = \frac{9331\text{N}}{50,27\text{mm}^2} = 185,63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Aus der Tabelle ‘Grenzflächenpressung  $p_G$  für Werkstoffe (Auswahl) nach VDI 2230’ entnehmen wir die maximal zulaessige Spannung und vergleicht diese mit der vorhandenen Spannung. Wird diese überschritten, muss eine Scheibe verwendet werden.