

## Schraubenberechnung nach VDI 2230 (10/2001)

Die nachfolgenden Berechnungen sind gültig

- für zentrisch belastete Schrauben,
- wenn keine thermischen Beanspruchungen auftreten.

### Rechenschritte (R0 bis R13)

#### R0 Ermittlung des Nenndurchmessers $d$

Eine überschlägige Ermittlung des Schraubennendurchmessers  $d$  erfolgt nach untenstehender Tabelle:

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4
	Nenndurchmesser $d$ in mm		
Kraft in [N]	Festigkeitsklasse		
	12.9	10.9	8.8
1.600	3	3	3
2.500	3	3	4
4.000	4	4	5
6.300	4	5	6
10.000	5	6	8
16.000	6	8	10
25.000	8	10	12
40.000	10	12	14
63.000	12	14	16
100.000	16	18	20
160.000	20	22	24
250.000	24	27	30
400.000	30	33	36
630.000	36	39	

- A) Wähle in Spalte 1 die nächst größere Kraft zu der an der Verschraubung angreifenden Betriebskraft  $F_A$  bzw.  $F_Q$ .
- B) Die erforderliche Mindestvorspannkraft ergibt sich, indem man von dieser Zahl weitergeht um:
- 4 Schritte für statische oder dynamische Querkraft  $F_Q$
  - 1 Schritt für dynamische axiale Betriebskraft  $F_A$
  - 0 Schritte für statische axiale Betriebskraft  $F_A$
- C) Die erforderliche maximale Vorspannkraft ergibt sich, indem man von dieser Kraft weitergeht um:
- 2 Schritte für Anziehen mit einfachem Drehschrauber
  - 1 Schritt für Anziehen mit Drehmomentschlüssel oder Präzisionsschrauber
  - 0 Schritte für streckgrenzgesteuertes Anziehen
- D) Neben der gefundenen Zahl steht in Spalte 2 bis 4 die erforderliche Schraubenabmessung in mm für die gewählte Festigkeitsklasse der Schraube.

Beispiel:

Eine Verbindung wird dynamisch durch die Axialkraft  $F_A = 8.500\text{ N}$  belastet. Die Schraube mit der Festigkeitsklasse 10.9 soll mit einem Drehmomentschlüssel montiert werden.

- A)  $10.000\text{ N}$  ist die nächstgrößere Kraft in Spalte 1.  
 B)  $1\text{ Schritt}$  für „dynamische Axialkraft“ führt zu  $F_{V,\min} = F_{M,\min} = 16.000\text{ N}$   
 C)  $1\text{ Schritt}$  für „Anziehen mit Drehmomentschlüssel“ führt zu  $F_{V,\max} = F_{M,\max} = 25.000\text{ N}$   
 D) In Spalte 3 findet man dann **M10** für die Festigkeitsklasse 12.9

**R1 Ermittlung des Anziehungsfaktors  $\alpha_A$** 

Der Anziehungsfaktor berücksichtigt die Streuung der erzielbaren Montagevorspannkraft zwischen  $F_{M,\min}$  und  $F_{M,\max}$ . Abhängig vom Anziehverfahren kann der Anziehungsfaktor der Tabelle auf Seite 191 (Haberhauer/Bodenstein) entnommen werden.

**R2 Ermittlung der erforderlichen Mindestklemmkraft**

- a) Reibschluß zur Übertragung einer Querkraft

$$F_{K,\min} = \frac{S_R \cdot F_Q}{\mu_{T,\min} \cdot n \cdot i}$$

- b) Abdichten gegen ein Medium

$$F_{K,\min} = A_D \cdot p_D \quad \text{mit } A_D : \text{Fläche der Dichtung}$$

und  $p_D$  : erforderliche Flächenpressung in der Dichtung

**R3 Aufteilung der Betriebskraft in  $F_{SA}$  und  $F_{PA}$ , Ermittlung von  $\Phi$ ,  $\delta_S$ ,  $\delta_P$  und  $n$** 

Die Schraubenzusatzkraft  $F_{SA} = n \cdot \Phi \cdot F_A$

und die Plattenzusatzkraft  $F_{PA} = (1 - n \cdot \Phi) \cdot F_A$

können mit Hilfe des Kraftverhältnisses  $\Phi_n = n \cdot \Phi$  berechnet werden. Für das Kraftverhältnis wird die elastische Nachgiebigkeit der Schraube  $\delta_S$ , die elastische Nachgiebigkeit der verspannten Teile  $\delta_P$  sowie eine Abschätzung des Kräfteinleitungsfaktors  $n$  benötigt (siehe Haberhauer/Bodenstein Seite 187 ff).

**R4 Vorspannkraftänderung**

Für den Vorspannkraftverlust einer Schraubenverbindung infolge Setzens gilt:

$$F_Z = \frac{f_Z}{\delta_S + \delta_P}$$

Richtwerte für die Setzbeträge  $f_Z$  können der Tabelle auf Seite 201 (Haberhauer/Bodenstein) entnommen werden.

**R5 Ermittlung der Mindestmontagevorspannkraft  $F_{M,\min}$** 

Die erforderliche Mindestvorspannkraft erhält man bei Beachtung von Vorspannkraftänderungen unter der Annahme der größten möglichen Entlastungen der Verbindung:

$$F_{M,\min} = F_{K,erf} + (1 - \Phi_n) F_A + F_Z$$

**R6 Ermittlung der Maximalmontagevorspannkraft  $F_{M,\max}$** 

Unter Berücksichtigung von (R1) ergibt sich die mögliche Maximalmontagevorspannkraft zu:

$$F_{M,\max} = \alpha_A \cdot F_{M,\min}$$

**R7 Ermittlung der Montagebeanspruchung  $\sigma_{red,M}$  und  $F_{M,zul}$  und Überprüfung der Schraubengröße**

Für den Fall, daß die Vergleichsspannung im Montagezustand nur eine anteilige Ausnutzung der nach ISPO 898-1 genormten Mindeststreckgrenze der Schraube zugelassen wird, gilt mit dem Ausnutzungsgrad  $\nu$ :

$$\sigma_{red,M\ zul} = \nu \cdot R_{p0,2\min}$$

Üblicherweise wird auf 90% der Streckgrenze angezogen, das heißt:  $\nu = 0,9$ .

Die für die gewählte Schraube zulässige Montagevorspannkraft kann aus den Gleichungen auf Seite 194 (Haberhauer/Bodenstein) berechnet werden:

$$F_{M\ zul} = F_{V\ zul} = \frac{\nu \cdot R_{p0,2\min}}{\sqrt{\frac{1}{A_S^2} + 3 \left( \frac{16 \cdot d_2 \cdot \tan(\varphi + \rho'_{\min})}{2 \cdot \pi \cdot d_3^3} \right)^2}}$$

Bei 90%iger Ausnutzung der Mindeststreckgrenze kann die zulässige Montagevorspannkraft für Regelschrauben auch Tabelle 2.32 entnommen werden.

Für die in **R0** gewählte Schraube muß gelten:

$$F_{M\ zul} \geq F_{M,\max}$$

Wird diese Forderung nicht erfüllt, ist entweder ein größerer Schraubendurchmesser oder eine höhere Festigkeitsklasse zu wählen und die Berechnung ab **R2** zu wiederholen.

**R8 Ermittlung der Betriebsbeanspruchung  $\sigma_{red,B}$** 

Für Verbindungen, bei denen die Streckgrenze der Schraube bei Belastung nicht überschritten werden soll, gilt für die maximale Schraubenkraft:

$$F_{S,\max} = F_{M,\max} + \Phi_n \cdot F_{A,\max}$$

Für die im Betrieb wirkende Vergleichsspannung gilt (Haberhauer/Bodenstein Seite 194):

$$\sigma_V = \sigma_{red,B} = \sqrt{\sigma_{z,max}^2 + 3(0,5 \cdot \tau_t)^2} \quad \text{mit} \quad \sigma_{z,max} = \frac{F_{S,max}}{A_S}$$

$$\text{und} \quad \tau_t = \frac{16 \cdot F_{M,max} \cdot d_2 \cdot \tan(\varphi + \rho'_{min})}{2 \cdot \pi \cdot d_3^3}$$

Es muss gelten:

$$\sigma_{red,B} < R_{p0,2min}$$

### R9 Ermittlung der Schwingbeanspruchung $\sigma_a$

Die Schwingfestigkeit ist in der Regel gewährleistet, wenn

$$S_D = \frac{\sigma_A}{\sigma_a} \geq 1,2$$

ist. Die zulässige Ausschlagspannung  $\sigma_A$  kann aus Abb. 2.104 (Haberhauer/Bodenstein Seite 196) entnommen werden. Der Spannungsausschlag berechnet sich zu

$$\sigma_a = \frac{F_{SA,a}}{A_S} = \frac{F_{SAo} - F_{SAu}}{2 \cdot A_S} = \frac{F_{S,max} - F_{S,min}}{2 \cdot A_S}$$

Für eine schwellende axiale Betriebskraft gilt:  $\sigma_a = \frac{F_{SA,a}}{A_S} = \frac{0,5 \cdot F_{SA}}{A_S}$

Für eine wechselnde axiale Betriebskraft gilt:  $\sigma_a = \frac{F_{SA,a}}{A_S} = \frac{F_{SA}}{A_S}$

### R10 Ermittlung der Flächenpressung $p_{max}$

Die Flächenpressung in den Auflageflächen zwischen Schraubenkopf bzw. Mutter einerseits und verspanntem Teil andererseits darf einen zulässigen Wert (Grenzflächenpressung) nicht überschreiten.

Montagezustand:  $p_{max} = \frac{F_{M,max}}{A_p} \leq p_G$

Betriebszustand:  $p_{max} = \frac{F_{S,max}}{A_p} = \frac{F_{M,max} + F_{SA,max}}{A_p} \leq p_G$

Für die Auflagefläche gilt:  $A_p = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_h^2)$

$p_G$ : Grenzflächenpressung (Tabelle 2.33)

$d_w$ : Durchmesser der Kopf- bzw. Mutterauflage (Tab. 2.27 und Abb. 2.102)

$d_h$ : Durchgangsbohrung (Tab. 2.27 und Abb. 2.102)

### R11 Ermittlung der Mindesteinschraubtiefe

Bei ausreichender Einschraubtiefe ist sichergestellt, daß die Verbindung bei Überlastung nicht durch Ausreißen bzw. Abscheren der Gewindegänge versagt, sondern durch Abreißen der Schraube.

Erforderliche Einschraubtiefen siehe Tabelle 2.31 (Haberhauer/Bodenstein Seite 194)

### R12 Ermittlung der Sicherheit gegen Gleiten und der Scherbeanspruchung

Auftretende Querkräfte in einer Schraubenverbindung sind durch Reibschluß zu übertragen. Die kleinste vorhandene Klemmkraft ergibt sich aus der kleinsten Montagevorspannkraft, der größten axialen Betriebskraft und dem Vorspannkraftverlust infolge Setzens:

$$F_{K\text{ vorh, min}} = F_{M, \text{min}} - (1 - \Phi_n) \cdot F_{A, \text{max}} - F_Z$$

Diese kleinste vorhandene Klemmkraft muß größer sein als die erforderliche Mindestklemmkraft aus R2:

$$F_{K\text{ vorh, min}} > F_{K, \text{min}}$$

Bei Überlastung, d.h. Rutschen in den Trennfugen, ist ein Versagen der Verbindung durch Abscheren oder Überschreiten der zulässigen Lochleibung auszuschließen. Es muß gelten:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{F_{Q, \text{max}}}{A_\tau} < \tau_B$$

Dabei sind  $F_{Q, \text{max}}$  die maximal auftretende Querkraft und  $A_\tau$  die entsprechende Scherfläche der Schraube.

Zur Bestimmung der Scherfestigkeit können folgende Anhaltswerte verwendet werden:

Werkstoffsorte	Scherfestigkeitsverhältnis $\tau_B / R_m$
Unlegierte Baustähle	0,60
Vergütungsstähle	0,65
Austenitische CrNi-Stähle	0,80
Gusseisen	0,90
Aluminiumlegierungen	0,60
Titanlegierung (ausgehärtet)	0,65

### R13 Ermittlung des Anziehdrehmomentes

Das Anziehdrehmoment wird für das drehmomentgesteuerte Anziehen benötigt. Es kann nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$M_A = M_G + M_{KR} = F_{M, \text{max}} \left[ \frac{d_2}{2} \tan(\varphi + \rho') + \mu_K \frac{D_{Km}}{2} \right]$$

Die Herleitung dieser Gleichung siehe Haberhauer/Bodenstein Kap. 2.7.5.2