

---

# 4 Schraubenverbindungen

☆☆☆

## 4.1 Taillenschraube

Die in Abbildung 4.1 dargestellte Taillenschraube (galvanisch verzinkt) der Festigkeitsklasse 12.9 soll auf eine Spannung im Taillenquerschnitt von 80% der Dehngrenze trocken angezogen werden. Bei der Gegenlage handelt es sich um blanken Stahl.

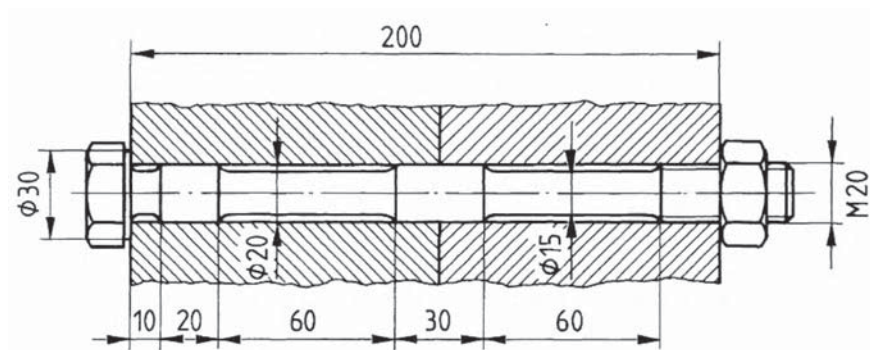


Abbildung 4.1: Taillenschraube

### Aufgabenstellung

Ermitteln Sie die Montagevorspannkraft  $F_M$ , das Schraubenanziehmoment  $M_A$  sowie die Längung  $f_S$  der Schraube.

★★☆

## 4.2 Riemenscheibe

Die Hälften einer großen Riemenscheibe aus EN-GJL-250 sind durch vier Schraubenbolzen der Festigkeitsklasse 8.8 miteinander verbunden. Infolge der Drehbewegung entsteht je Scheibenhälfte eine Fliehkraft von  $F = 240 \text{ kN}$ , die durch die Bolzen aufzunehmen ist. Diese sollen mittels Drehmomentenschlüssel (drehmomentgesteuert) angezogen werden und sind mit Unterlegscheiben nach DIN 125 – 200HV (Härte ungefähr wie S355, Innendurchmesser wie Durchgangslochreihe „fein“) versehen.

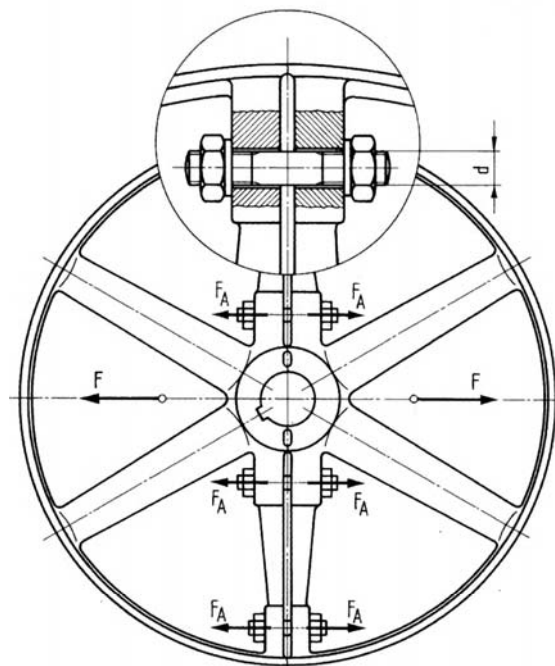


Abbildung 4.2: Verschraubte Riemenscheibenhälften

### Gegebene Größen

Klemmlänge	$l_K = 85 \text{ mm}$
Schraubenlänge	$l_S = l_K + 2,5 \cdot d$
Gewindelänge	$l_G = 1,5 \cdot d$
Außendurchmesser der Mutterauflagefläche	$d_w = 33,3 \text{ mm}$
Krafteinleitungsfaktor	$n = 0,7$
Reibwert im Gewinde	$\mu_G = 0,08$
Reibwert Kopfauflage	$\mu_K = 0,1$
Oberfläche der Riemenscheibenhälften	$R_Z = 12 \mu\text{m}$
erforderliche Mindestklemmkraft	$F_{KR\min} = 50 \text{ kN}$

**Aufgabenstellungen**

1. Welche Schraubengröße (Reihe 1) ist erforderlich, wenn

$$F_{M\max} = F_{Mzul} \geq 2,5 \cdot F_A$$

mit der Schraubenbetriebskraft  $F_A$  angenommen wird?

2. Weisen Sie die statische Festigkeit der Schraubenverbindung nach (Spannungsdifferenz)! Dabei ist von folgendem Nachgiebigkeitsverhältnis auszugehen:

$$\frac{\delta_P}{\delta_S} \approx 0,7$$

3. Ermitteln Sie die Restklemmkraft  $F_{KR}$  sowie die kritische Flächenpressung! Sind die Werte zulässig? Welches Anziehmoment  $M_A$  muss aufgebracht werden?
4. Welche dynamische Sicherheit liegt vor, wenn die angegebene Fliehkraft  $F$  als Oberlast eines schwellenden Lastfalls mit  $\kappa = 0,6$  vorliegt? Welcher Zusammenhang besteht zwischen Drehzahl und Fliehkraft? Hat das wirkende Drehmoment Einfluss auf die Schraubenverbindung?

★★☆

### 4.3 Scheibenkupplung

Zur Verbindung der Flansche (aus EN-GJL-250) einer Scheibenkupplung soll eine Schraubenverbindung mit 6 Sechskantschrauben M8 x 45 (ISO 4014) verwendet werden.

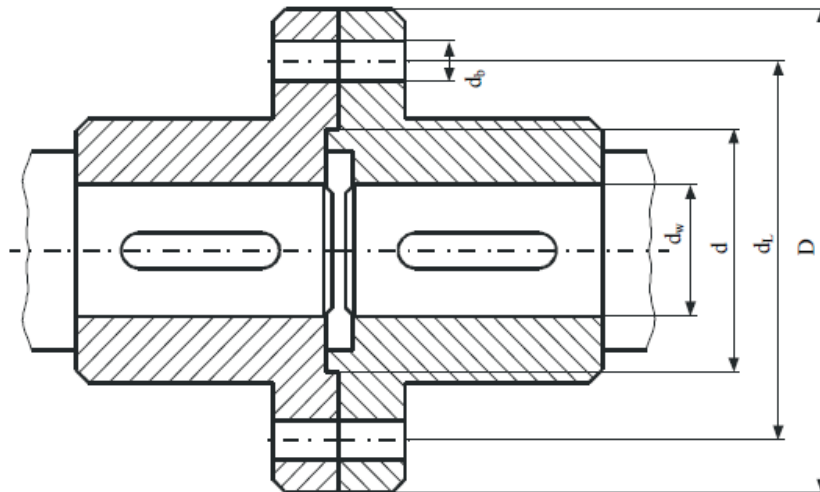


Abbildung 4.3: Zu verschraubende Kupplungshälften

#### Gegebene Größen

Kupplungsdurchmesser	$D = 110 \text{ mm}$
Lochkreisdurchmesser	$d_L = 86 \text{ mm}$
Durchmesser der Zentrierung	$d = 55 \text{ mm}$
Wellendurchmesser	$d_w = 30 \text{ mm}$
Bohrungsdurchmesser	$d_b = 9 \text{ mm}$
Anzahl der Schrauben	$z = 6$
Anziehmoment	$M_A = 17 \text{ Nm}$
Zu übertragendes Drehmoment	$M_t = 200 \text{ Nm}$
Sicherheit gegen Rutschen	$S_R = 2$
Reibwert (Gewinde, Kopfauflage, Fuge)	$\mu = 0,14$

**Aufgabenstellungen**

1. Bestimmen Sie die Festigkeitsklasse der Schrauben unter der Voraussetzung, dass

$$\sigma_{Mzul} = 0,7 \cdot R_{p0,2}$$

ist.

2. Ist das angegebene Drehmoment  $M_t$  übertragbar, sofern die Schrauben mit dem Moment  $M_A$  angezogen werden? Setzerscheinungen sollen dabei unberücksichtigt bleiben.
3. Welches Drehmoment ist übertragbar, wenn die Schrauben derart angezogen werden, dass 90% der Streckgrenze des Schraubenwerkstoffes ausgenutzt sind? Ermitteln Sie auch das zugehörige Anziehmoment!
4. Wie hoch ist die Flächenpressung unter der Kopfauflage bei maximaler Schraubenauslastung?

★★★

## 4.4 Vergleich zweier Verschraubungsvarianten

Der Verschlussdeckel eines Hydraulikbehälters wird durch einen pulsierenden Druck schwellend belastet. Es stehen die in Abbildung 4.4 dargestellten Varianten zur Wahl.

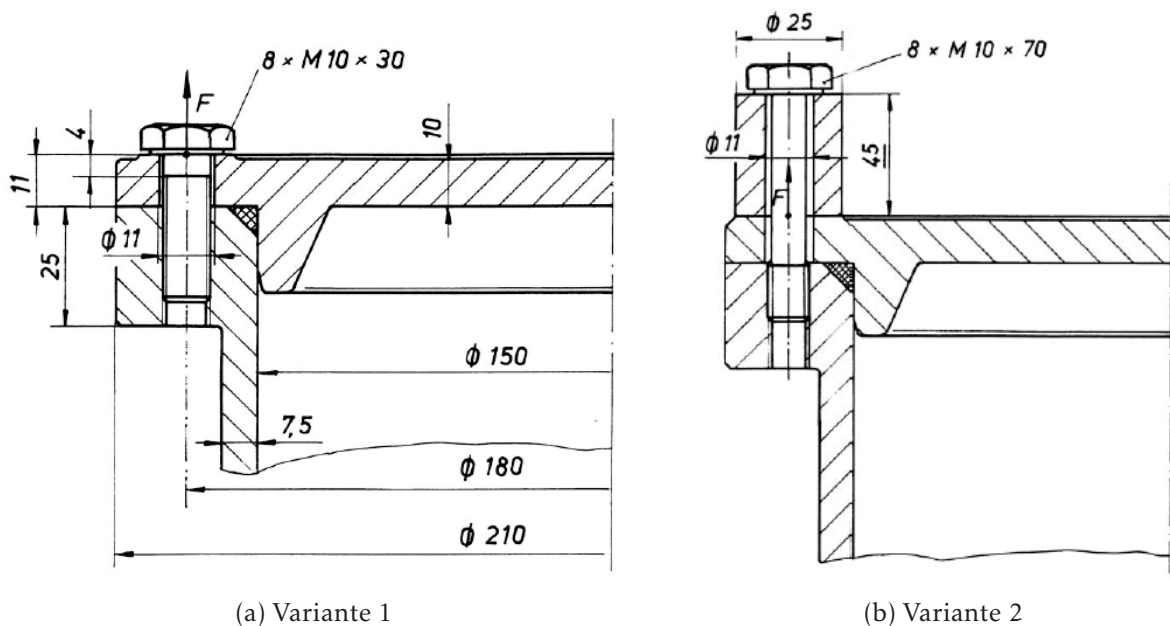


Abbildung 4.4: Verschraubungsvarianten des Behälterdeckels

Angaben zur Geometrie der in Variante 2 verwendeten Dehnschraube sind Abbildung 4.7 zu entnehmen. In beiden Varianten sollen Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9 zum Einsatz kommen.

### Gegebene Größen

maximaler Betriebsdruck	$p_{\max} = 100 \text{ bar}$
Schraubendauerfestigkeit	$\sigma_A = 52,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$
E-Modul Deckelwerkstoff	$E = 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$
Reibwert (Gewinde, Kopfauf- lage, Fuge)	$\mu = 0,08$

### Werkstoffe

Flansch	E295
Hülse	E295
Deckel	EN-GJL-250

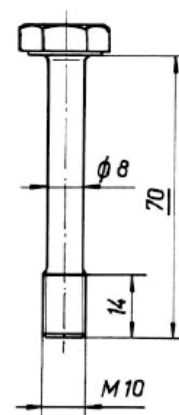


Abbildung 4.5: Sechskantschraube

**Aufgabenstellungen**

1. Ermitteln Sie für beide Verschraubungsfälle die Ermüdungsbruchsicherheit! Die Nachgiebigkeit des Schraubenkopfes und der Mutter betrage in beiden Fällen

$$\delta_K = \delta_M = 2,425 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mm}}{\text{N}}$$

2. Wie weit können die Dehnschrauben vorgespannt werden, wenn die Streckgrenze zu 90% ausgenutzt wird? Leiten Sie die Gleichung zur Berechnung der zulässigen Montagevorspannkraft aus

$$\sqrt{\sigma_M^2 + 3 \cdot \tau_M^2} \leq 0,9 \cdot R_{p0,2}$$

her!

3. Ermitteln Sie die notwendige Montagevorspannkraft  $F_{M\min}$  der Dehnschraube, wenn die erforderliche Restklemmkraft  $F_{KR} = 10^3 \text{ N}$  beträgt! Legen Sie ein entsprechendes Anziehverfahren fest, so dass die maximale Montagevorspannkraft  $F_{M\max}$  zulässig ist.
4. Bestimmen Sie für beide Schraubfälle die auftretenden Flächenpressungen während der Montage und im Betrieb! Sind die Werte zulässig?
5. Zeichnen Sie die Verspannschaubilder für beide Schraubfälle!

★★☆

## 4.5 Thermisches Anziehen

Bei sehr großen Schrauben ist das Anziehen mittels Drehmomentenschlüssel kaum mehr möglich, so dass bspw. thermische Verfahren zum Einsatz kommen. Dabei wird die Schraube im erwärmten Zustand in das Durchgangsloch der zu verbindenden Bauteile eingeführt und die Mutter bis zur Anlage aufgeschraubt. Beim Erkalten zieht sich die Schraube zusammen und erzeugt so die gewünschte Vorspannkraft.

Es soll nun bei einer Sechskantschraube

$$\text{DIN 931 – M80 x 6 x 400 – 5.6}$$

und einer Klemmlänge von  $l_K = 320 \text{ mm}$  (eine Fuge) eine Vorspannkraft von  $F_V = 1,2 \text{ MN}$  erzeugt werden.



**Abbildung 4.6:** M100-Schraube,  
Gewicht inkl. Mutter ca. 42 kg

### Gegebene Größen

Gewindelänge der Schraube	$l_G = 185 \text{ mm}$
Kerndurchmesser der Schraube	$d_K = 72,64 \text{ mm}$
Höhe der Mutter	$m = 32 \text{ mm}$
Oberfläche der zu verbindenden Teile	$R_Z = 5 \mu\text{m}$
Ausdehnungskoeffizient der Schraube	$\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

### Aufgabenstellungen

1. Um welchen Betrag  $f_{SM}$  muss die Schraubenlänge infolge der Erwärmung zunehmen, wenn die Nachgiebigkeit der Flansche ca. 30% der Nachgiebigkeit der Schraube beträgt? Berücksichtigen Sie das Setzverhalten der Verbindung!
2. Auf welche Temperatur  $\vartheta_S$  muss die Schraube vor der Montage erwärmt werden? Gehen Sie dabei von der üblichen Raumtemperatur  $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$  aus!



★★★

## 4.6 Thermisch induzierte Schraubenbelastung

Die Deckelverschraubung eines Druckbehälters ist durch gleichmäßig auf dem Umfang verteilte Sechskantschrauben nach ISO 4014 – M16 der Festigkeitsklasse 8.8 realisiert. Die bis zu 90% der Dehngrenze des Schraubenwerkstoffes angezogenen, phosphatierten und leicht geölten Schrauben sollen ein Abheben des Deckels aus EN AC-AlSi12CuK verhindern, wobei eine als ruhend angenommene Betriebslast  $F_A = 14 \text{ kN}$  (je Schraube) vorliegt.

### Aufgabenstellungen

1. Wählen Sie eine geeignete Schraubenlänge und zeigen Sie, dass eine Spannungsdifferenz in Höhe von

$$\sigma_{\text{sa}} \approx 20 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} < 0,1 \cdot R_{\text{p}02}$$

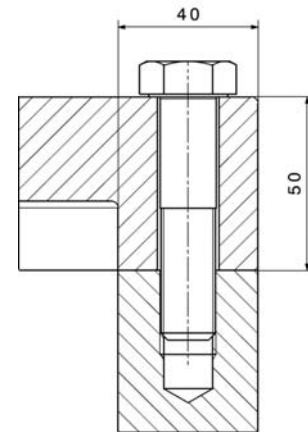
vorliegt und damit die wirkende Last als unkritisch einzustufen ist.

2. Infolge veränderter Randbedingungen ist neben der statischen Betriebslast nun auch eine zyklische Erwärmung des gesamten Behälters zu berücksichtigen. Mehrmals täglich erwärmt sich das Medium im Behälter um ca.  $100^\circ\text{C}$  und wird anschließend wieder auf Raumtemperatur abgekühlt. Die Temperaturerhöhung verursacht einerseits eine Betriebslaststeigerung um

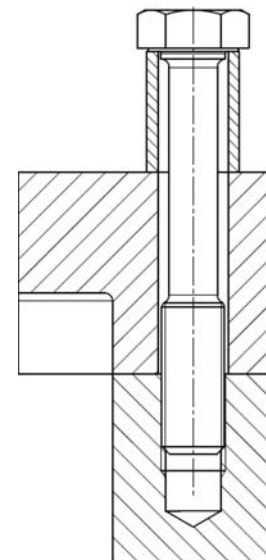
$$\Delta F_A = 7 \text{ kN}$$

und andererseits eine Ausdehnung des Behälters inkl. der Schrauben.

Ermitteln Sie unter diesen Gegebenheiten die dynamische Sicherheit der Sechskantschraube! Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Sicherheit einer 30mm längeren Dehnschraube, wobei zwischen Deckel und Schraubenkopf eine Hülse aus Invarstahl mit  $\alpha = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  und  $E = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$  sowie einem Außendurchmesser von  $D_{\text{Ha}} = 24 \text{ mm}$  zum Einsatz kommt!



**Abbildung 4.7:** Deckelverschraubung mit Sechskantschraube,  $n \approx 0,7$



**Abbildung 4.8:** Deckelverschraubung mit Invarhülse und Dehnschraube,  $n \approx 0,4$