
Schraubverbindung

Autor & Copyright: Dipl.-Ing. Harald Nahrstedt

Version: 2016 / 2019 / 2021 / 365

Erstellungsdatum: 12.01.2024

Überarbeitung:

Quelle: Beitrag zum techn. Unterricht / Schraubenberechnung von H.Nahrstedt

Beschreibung:

Festigkeitsnachweis einer Schraubverbindung.

Anwendungs-Datei: 06-06-03_Schraubverbindung.xlsx

1 Überschlägige Bestimmung des Schraubennendurchmessers

Aus der Gleichung für den notwendigen Spannungsquerschnitt

$$A_S = \frac{F_{S \max}}{\sigma_S} \quad (1)$$

Mit $F_{S \max}$ als maximale Schraubenkraft und der Streckgrenze des Schraubenwerkstoffs σ_S ergibt sich durch Einsetzen

$$A_S = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{F_A(1+\varphi)v}{\sigma_S} \quad (2)$$

Durch beiderseitiges Ergänzen mit d^2 (d =Nenndurchmesser) und Umstellung folgt

$$d = \sqrt{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d}{d_S}\right)^2 \frac{F_A(1+\varphi)v}{\sigma_S}} \quad (3)$$

Darin ist (d/d_S) ca. 1,16 nach DIN 13, F_A die Betriebskraft, v die Sicherheit gegen Erreichen der Streckgrenze (hier $v = 1,1$ gewählt), φ der Verspannungsfaktor mit

$$\frac{1}{\varphi} = \frac{F_K}{F_A} = \frac{F_V + F_{SA} - F_A}{F_A} = \frac{F_V}{F_A} + \frac{F_{SA}}{F_A} - 1 \quad (4)$$

Mit den Mittelwerten $F_V / F_A = 3$ und $F_{SA} / F_A = 0,35$ folgt die kurze Vorwahlformal für den Nenndurchmesser

$$d_N = 0,8 \sqrt{\frac{F_A}{\sigma_S}} \quad (5)$$

2 Durch die Festlegung gewonnene Größen

Durch die Schraubenvorwahl ergibt sich

$$A_S = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right)^2 \quad (6)$$

Mit d_1 als Kerndurchmesser und d_2 als Flankendurchmesser. Der Torsionwiderstand bestimmt sich aus

$$W_t = \frac{\pi}{16} d_1^3 \quad (7)$$

Der mittlere Steigungswinkel beträgt

$$\tan \gamma_m = \frac{h}{\pi \cdot d_2} \quad (8)$$

mit h als Steigung. Der Reibungswinkel ρ_G ist

$$\mu' = \tan \rho_G = 1,155 \mu \quad (9)$$

mit μ als Gewindereibungskoeffizient. Der in Schraubenkopf- und Mutterauflagefläche vorhandene Reibungskoeffizient μ_A wirkt am Reibradius

$$r_A = \frac{D_1 + D_2}{4} \quad (10)$$

Darin sind D_1 = Außendurchmesser und D_2 = Innendurchmesser der Kreisauflegefläche (Bild 1).

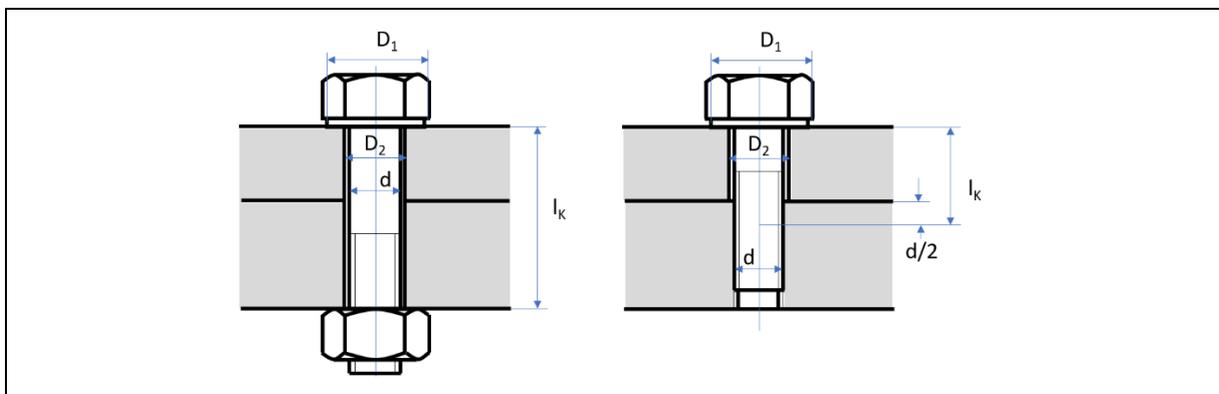


Bild 1. Schraubverbindungen

Die Federkonstante f_s einer Schraube ergibt sich unter Beachtung verschiedener Schraubentypen nach Bild 2 aus

$$\frac{1}{f_s} = \frac{1}{E_S} \sum_{i=1}^n \frac{4 l_i}{\pi d_i^2} \quad (11)$$

mit E_S = E-Modul des Schraubenwerkstoffs.

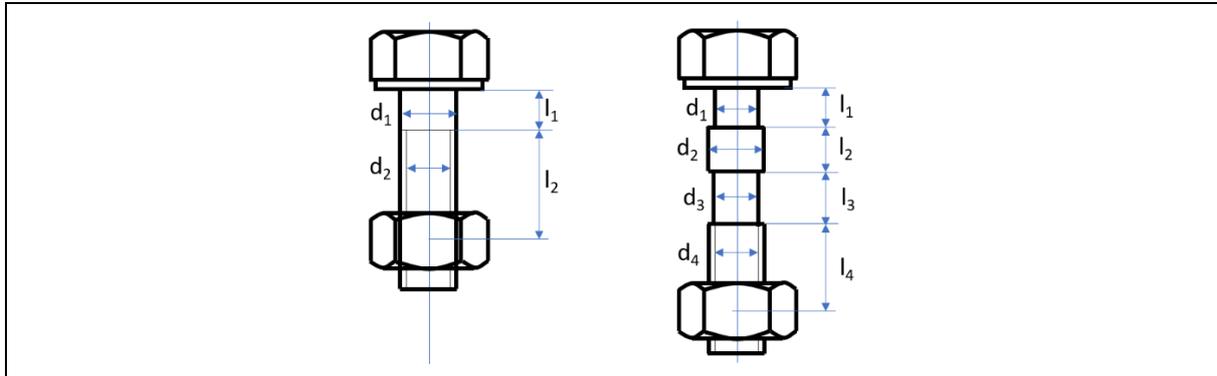


Bild 2. Verschiedene Schraubentypen

Die Federkonstante f_T der verspannten Teile ergibt sich unter Beachtung konstruktiver Gegebenheiten (Bild 1) aus

$$f_T = \frac{\pi \cdot E_T}{l_k} \left(\left(D_1 + \frac{l_k}{a} \right)^2 - D_2^2 \right). \quad (12)$$

mit E_T = E-Modul des Bauteilwerkstoffs und der Materialkonstanten a .

Tabelle 1. Materialkonstante a

Werkstoff	a
Stahl	10
Grauguß	8
Aluminiumlegierung	6

Die Vorspannkraft ist

$$F_V = \alpha \cdot F_A. \quad (13)$$

Der Erfahrungswert liegt bei $\alpha = 2,5$ bis $3,5$.

Die Restvorspannung bestimmt sich mit

$$F_{SA} = \frac{F_A}{1 + \frac{f_T}{f_s}}. \quad (14)$$

3 Festigkeitsnachweis

Mit den ermittelten Daten lassen sich Spannungen und Sicherheiten bestimmen.

Anzieh- (Reib-) Moment

$$M_A = F_V \left(\frac{d_2}{2} \tan(\gamma_m + \rho_G) + r_A \cdot \mu_A \right). \quad (15)$$

Torsionsspannung durch das Anziehen

$$\tau_t = \frac{M_A}{W_t}. \quad (16)$$

Maximale Zugspannung im Schraubenquerschnitt

$$\sigma_{max} = \frac{F_V + F_{SA}}{A_S}. \quad (17)$$

Eine aus den vorherigen Spannungen ermittelte Vergleichsspannung nach der Hypothese der größten Gestaltänderungsenergie nach *Huber* und *von Mises*

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3 \tau_t^2} \quad (18)$$

ergibt sich eine Sicherheit gegen Erreichen der Streckgrenze von

$$v_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_v}. \quad (19)$$

Die Untersuchung eines Dauerbruchs bei schwellender Betriebslast setzt eine Ausschlagsspannung

$$\sigma_a = \frac{F_{SA}}{2 A_S}. \quad (20)$$

zur Ausschlagfestigkeit ins Verhältnis, zur Sicherheit

$$v_a = \frac{\sigma_A}{\sigma_a}, \quad (21)$$

mit σ_A , der Ausschlagfestigkeit des Schraubenwerkstoffs.

Es bleibt noch die Überprüfung der Flächenpressung unter Kopf- und Mutternaufgabe durch die vorhandene Flächenpressung

$$p = \frac{F_{max}}{A_a} \quad (22)$$

mit der Auflagefläche

$$A_a = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \quad (23)$$

ergibt sich die Sicherheit

$$v_p = \frac{p_{zul}}{p}, \quad (24)$$

Ist nur eine der Sicherheiten $v < 1$, dann muss entsprechend größer dimensioniert werden.

4 Der Algorithmus als Struktogramm

Einen ersten Eindruck vom Programmablauf liefert das Struktogramm (Bild 3).

Tabelle 1. Bestimmung des Nenndurchmessers

Eingabe F_A, σ_S
$d_N = 0,8 \sqrt{\frac{F_A}{\sigma_S}}$
Ausgabe d_N

Tabelle 2. Berechnung

Eingabe $d_1, d_2, h, D_1, D_2, \mu, \mu_A, l_K, E_S, E_T, a, \alpha$
$A_S = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2$
$W_t = \frac{\pi}{16} d_1^3$
$\gamma_m = \arctan \frac{h}{\pi \cdot d_2}$
$\rho_G = \arctan 1,155 \mu$
$r_A = \frac{D_1 + D_2}{4}$

$f_T = \frac{\pi \cdot E_T}{l_k} \left(\left(D_1 + \frac{l_K}{a} \right)^2 - D_2^2 \right)$	
Für alle Schraubenanteile $i = 1, \dots, n$	
	Eingabe l_i, d_i
	$\sum = \sum + \frac{4 l_i}{\pi d_i^2}$
$\frac{1}{f_S} = \frac{1}{E_S} \sum_1^n \frac{4 l_i}{\pi d_i^2}$	
$F_V = \alpha \cdot F_A$	
$F_{SA} = \frac{F_A}{1 + \frac{f_T}{f_S}}$	
$M_A = F_V \left(\frac{d_2}{2} \tan(\gamma_m + \rho_G) + r_A \cdot \mu_A \right)$	
$\tau_t = \frac{M_A}{W_t}$	
$\sigma_{max} = \frac{F_V + F_{SA}}{A_S}$	
$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3 \tau_t^2}$	
$\sigma_a = \frac{F_{SA}}{2 A_S}$	
$A_a = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2)$	
$p = \frac{F_{max}}{A_a}$	
Ausgabe $F_V, F_{SA}, M_A, \tau_t, \sigma_{max}, \sigma_v, \sigma_a, p$	

5 Prozeduren

Codeliste 1. Bestimmung des Nenndurchmessers

```
'Vor Aufruf die Werte in B1:B2 eingeben
Sub Vorwahl ()
    Dim wshBlatt As Worksheet
    Dim dFA As Double
    Dim dSS As Double
    Dim ddN As Double

    Set wshBlatt = Worksheets("Tabelle1")
    With wshBlatt
        dFA = .Cells(1, 2)
        dSS = .Cells(2, 2)
        ddN = 0.8 * Sqr(dFA / dSS)
        .Cells(3, 2) = Cdbl(Format(ddN, "#0.0"))
    End With
```

```

Set wshBlatt = Nothing
End Sub

```

Codeliste 2. Auswertung

```

'Vor Aufruf die Werte in B5:B16 eingeben
Sub Auswertung()
    Dim wshBlatt As Worksheet
    Dim dFA As Double
    Dim dSS As Double
    Dim dd1 As Double
    Dim dd2 As Double
    Dim dh As Double
    Dim dMy As Double
    Dim dMyA As Double
    Dim dK1 As Double
    Dim dK2 As Double
    Dim dLK As Double
    Dim dES As Double
    Dim dET As Double
    Dim dKa As Double
    Dim dAl As Double
    Dim dAS As Double
    Dim dWT As Double
    Dim dgm As Double
    Dim drG As Double
    Dim dRA As Double
    Dim dFT As Double
    Dim dDI As Double
    Dim dLI As Double
    Dim dSu As Double
    Dim dFS As Double
    Dim dFSA As Double
    Dim dMA As Double
    Dim dTT As Double
    Dim dSM As Double
    Dim dSV As Double
    Dim dSA As Double
    Dim dAA As Double
    Dim dp As Double
    Dim dFV As Double
    Dim iC As Integer

    Set wshBlatt = Worksheets("Tabelle1")
    With wshBlatt
'Einlesen
        dFA = .Cells(1, 2)
        dSS = .Cells(2, 2)
        dd1 = .Cells(5, 2)
        dd2 = .Cells(6, 2)
        dh = .Cells(7, 2)
        dMy = .Cells(8, 2)
        dMyA = .Cells(9, 2)
        dK1 = .Cells(10, 2)
        dK2 = .Cells(11, 2)
        dLK = .Cells(12, 2)
        dES = .Cells(13, 2)
        dET = .Cells(14, 2)
        dKa = .Cells(15, 2)
        dAl = .Cells(16, 2)
'Größen
        dAS = (3.14 / 4) * ((dd1 + dd2) / 2) ^ 2
        dWT = (3.14 / 16) * dd1 ^ 3
        dgm = Atn(dh / 3.14 / dd2)
        drG = Atn(1.155 * dMy)
        dRA = (dK1 + dK2) / 4
        dFT = 3.14 * dET / dLK * ((dK1 + dLK / dKa) ^ 2 - (dK2) ^ 2)
'Schraubenanteile
        iC = 2
        dSu = 0
        Do
            If .Cells(iC, 5) > 0 Then
                dDI = .Cells(iC, 5)
                dLI = .Cells(iC, 6)
                dSu = dSu + 4 * dLI / 3.14 / (dDI) ^ 2
                iC = iC + 1
            End If
        Loop While .Cells(iC, 5) > 0
    End With
End Sub

```

```

'Festigkeitsnachweis
dFS = dSu / dES
dFS = 1 / dFS
dFV = dA1 * dFA
dFSA = dFA / (1 + (dFT / dFS))
dMA = dFV * (dd2 / 2 * Tan(dgm + drG) + dRA * dMyA)
dTT = dMA / dWT
dSM = (dFV + dFSA) / dAS
dSV = Sqr((dSM) ^ 2 + 3 * (dTT) ^ 2)
dSA = dFSA / 2 / dAS
dAA = 3.14 / 4 * ((dK1) ^ 2 - (dK2) ^ 2)
dp = (dFV + dFSA) / dAA
'Ausgabe
.Cells(18, 2) = CDb1(Format(dFV, "#0,00"))
.Cells(19, 2) = CDb1(Format(dFSA, "#0,00"))
.Cells(20, 2) = CDb1(Format(dMA, "#0,00"))
.Cells(21, 2) = CDb1(Format(dTT, "#0,00"))
.Cells(22, 2) = CDb1(Format(dSM, "#0,00"))
.Cells(23, 2) = CDb1(Format(dSV, "#0,00"))
.Cells(24, 2) = CDb1(Format(dSA, "#0,00"))
.Cells(25, 2) = CDb1(Format(dp, "#0,00"))
End With
Set wshBlatt = Nothing
End Sub

```

6 Arbeitsblatt

Die grünen Zellen sind Eingaben und die gelben Ergebnisse (Bild 3).

	A	B	C	D	E	F
1	$F_A =$	90000 N			d_i [mm]	l_i [mm]
2	$\sigma_S =$	640 N/mm ²			5	10
3	$d_N =$	9,5 mm			10	8,16
4						
5	$d_1 =$	8,16 mm				
6	$d_2 =$	9,026 mm				
7	$h =$	1,5 mm				
8	$\mu =$	0,18				
9	$\mu_A =$	0,12				
10	$D_1 =$	17 mm				
11	$D_2 =$	11 mm				
12	$l_k =$	15 mm				
13	$E_S =$	210000 N/mm ²				
14	$E_T =$	210000 N/mm ²				
15	$a =$	10				
16	$\alpha =$	2,5				
17						
18	$F_V =$	225000 N				
19	$F_{SA} =$	3060 N				
20	$M_A =$	432777 Nmm				
21	$\tau_t =$	4059 N/mm ²				
22	$\sigma_{max} =$	3934 N/mm ²				
23	$\sigma_V =$	8056 N/mm ²				
24	$\sigma_a =$	26 N/mm ²				
25	$p =$	1729 N/mm ²				

Bild 3. Berechnungsformular

In den Spalten E und F können beliebig viele Schraubenanteile eingetragen werden.