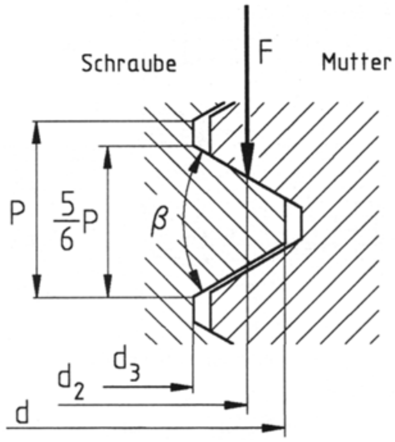
Erforderliche Einschraubtiefe bei unterschiedlichen Werkstoffen

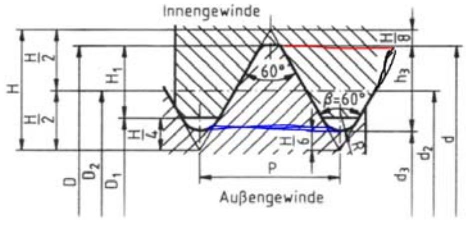


Wird eine Schraube mit der Längskraft F belastet, so treten am Nenndurchmesser d des eingeschraubten Mutterngewindes Schub-, Biege- und Druckspannungen auf.

Unter der Annahme einer gleichmäßigen Lastverteilung über der Mutterhöhe m lassen sich diese Spannungen näherungsweise wie folgt berechnen:

Bild 1: Gewindebeanspruchung am Nenndurchmesser *d*

Für metrische Gewinde ergibt sich mit
$d_2 = d - 0{,}65 \cdot P$ und $d_3 = d - 1{,}227 \cdot P$ sowie $\beta = 60°$:



Metrisches ISO-Spitzgewinde (DIN 13, Teil 1)

$D_1 = d - 2 \cdot H_1$ $\quad H = \frac{P}{2\tan(\beta/2)} = 0{,}866 \cdot P$

$d_2 = d - 0{,}650 \cdot P$ $\quad H_1 = \frac{5}{8} H = 0{,}541 \cdot P$

$D_2 = d_2 = d - \frac{3}{4} H$ $\quad h_3 = \frac{17}{24} H = 0{,}613 \cdot P$

$d_3 = d - 1{,}227 \cdot P$ $\quad R = \frac{1}{6} H = 0{,}144 \cdot P$

Querschnittshöhe bei Nenndurchmesser d (rot):

$$P - 2 \cdot \frac{H}{8} \cdot \tan\frac{\beta}{2} = P - \frac{P}{8} = \frac{7}{8}P$$

Querschnittshöhe bei Kerndurchmesser d_3 (blau):

$$P - 2 \cdot \frac{H}{6} \cdot \tan\frac{\beta}{2} = P - \frac{P}{6} = \frac{5}{6}P$$

Schubspannung $\quad \tau_s = \frac{F}{A} = \frac{8F}{z \cdot \pi \cdot d \cdot 7 \cdot P} = 0{,}364 \cdot \frac{F}{m \cdot d}$ $\quad$ mit $z = \frac{m}{P}$

Biegespannung $\quad \sigma_b = \frac{M_b}{Wa} = 1{,}247 \cdot \frac{F}{m \cdot d} \cdot \frac{(d - d_2)}{m}$

mit $M_b = F \cdot \frac{d - d_2}{2}$ und $W_a = \frac{1}{6}\pi \cdot d \cdot \frac{m}{p} \cdot \left(\frac{7}{8}p\right)^2 = 0{,}401 \cdot d \cdot m \cdot P$

Aus der radialen Kraftkomponente $F_r = F \cdot \tan(\beta/2)$ folgt

Druckspannung $\quad \sigma_d = \frac{F_r}{A} = \frac{F \cdot \tan\frac{\beta}{2}}{\pi \cdot d \cdot m \cdot \frac{7}{8}} = 0{,}21 \cdot \frac{F}{m \cdot d}$ $\quad$ für $\beta = 60°$

Damit gilt für die Vergleichsspannung im Gewinde der Mutter nach der GEH:

$$\sigma_{v\,Mutter} = \frac{F}{m \cdot d} \cdot \sqrt{\left(1{,}247 \cdot \frac{(d - d_2)}{P} + 0{,}21\right)^2 + 0{,}397} \approx 1{,}2 \cdot \frac{F}{m \cdot d}$$

Setzt man für die Vergleichsspannung im Gewinde der Mutter die max. zulässige Spannung des Mutternwerkstoffes und für die Zugspannung im Gewindebolzen σ_z die max. zulässige Spannung des Schraubenwerkstoffes ein, so ergibt sich die kritische Mutterhöhe bzw. die kritische Einschraubtiefe m zu:

$$\frac{\sigma_{zul\,Schraube}}{\sigma_{zul\,Mutter}} = \frac{4}{\pi \cdot {d_s}^2} \cdot \frac{m \cdot d}{K} = \frac{m}{d} \cdot \frac{4}{1{,}2955 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{d}{d_s}\right)^2 = \frac{m}{d} \cdot 1{,}061 \cdot \left(\frac{d}{d_s}\right)^2$$

$$\frac{m}{d} \geq 0{,}9425 \cdot \frac{\sigma_{zul\,Schraube}}{\sigma_{zul\,Mutter}} \cdot \left(\frac{d_s}{d}\right)^2$$

Mit $\frac{d}{d_s} \approx 0{,}91$ ergibt sich dann als weitere Vereinfachung näherungsweise

$$\frac{m}{d} \geq 0{,}736 \cdot \frac{\sigma_{zul\ Schraube}}{\sigma_{zul\ Mutter}}$$

Soll demnach beispielsweise eine Edelstahlschraube M10 aus A2-50 nach ISO 3506-1 mit $R_{p0,2} = 210 \frac{N}{mm^2}$ in ein Gehäuse aus Aluminium EN AW - 5005 (AlMg1) mit $R_{p0,2} = 110 \frac{N}{mm^2}$ eingeschraubt werden, so ergibt sich die erforderliche Einschraubtiefe zu $\frac{m}{d} \geq 1{,}32$ (1,405).

Für gleiche Werkstofffestigkeiten von Mutter und Schraube führt dieser Berechnungsansatz bei M10 zu einer Einschraubtiefe von $\frac{m}{d} \geq 0{,}7\ (0{,}74)$. Üblichen Werte liegen bei $\frac{m}{d} = 0{,}8$. Diese ergeben sich näherungsweise, wenn man den gleichen Berechnungsansatz für den Kerndurchmesser der Schraube d_3 formuliert, wobei dann der Werkstoffunterschied nicht zum Tragen kommt. Weitere Unterscheide sind gut mit dem stark vereinfachenden Ansatz der gleichmäßigen Lastverteilung begründbar.

Alle Angaben und Berechnungen ohne Gewähr!