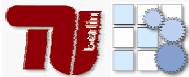


SS 2007

Prof. Dr.-Ing. Lucienne Blessing
Dr.-Ing. Michael Schmidt-Kretschmer

Konstruktionslehre III



© TU Berlin,
Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik

Informationen

Legende zur Prinzipskizzen

http://kt48.kf.tu-berlin.de/UserFiles/File/info/PrinzipielleDarstellungen_d.pdf

Aufgabenstellung

Version mit ergänzenden Daten ist verfügbar

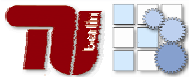


© TU Berlin,
Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik

Dipl.-Ing. Kilian Gericke
UE Konstruktionslehre III

Themen

- Fragen zur Hausaufgabe
- Vorauslegung einer Schraubenverbindung nach VDI 2230
- Ablauf Nachrechnung der Schraubenverbindung
- Skizzierübung



Systematik der Schraubenberechnung

Vorarbeiten

- Werkstoffparameter der Schraubenverbindung
- Geometrische Parameter der Schraubenverbindung
- Belastungen der Schraubenverbindung

Vorauslegung

- Abschätzung der Schraubengröße mit VDI 2230 Tab. 7

Nachrechnung

- Nachgiebigkeit der Verbindung berechnen
- Kraftverhältnisse bestimmen
- Vorspannkräfte berechnen
- Verspannungsschaubild erstellen
- Sicherheiten berechnen

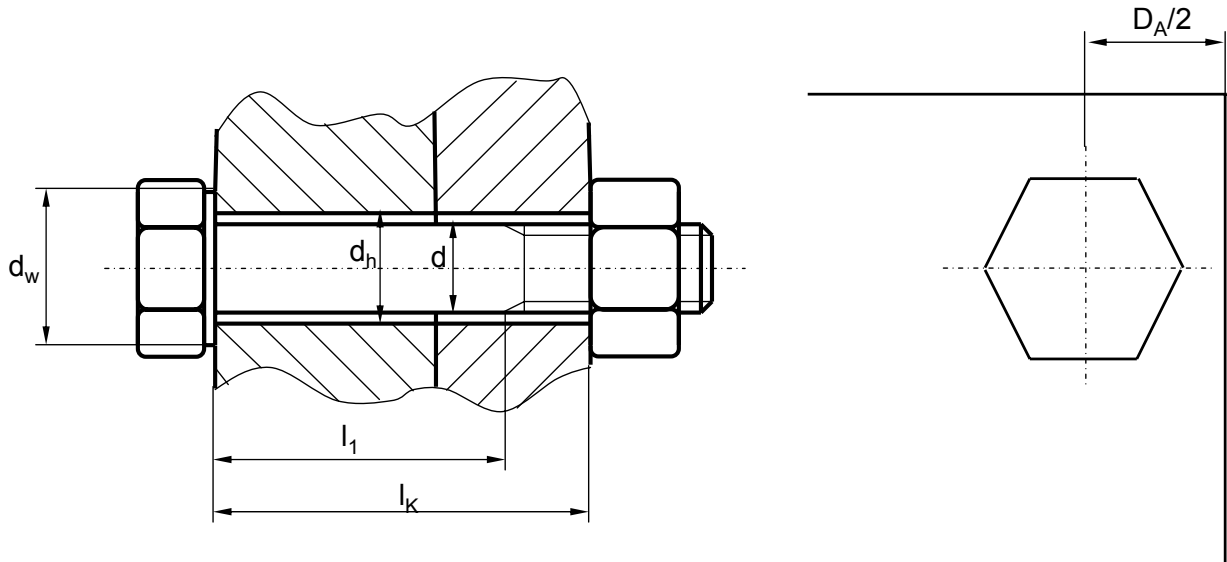


Vorarbeiten

Geometrie

Geometrische Parameter der Schraubenverbindung

- Detaillierte Skizze der Verschraubung (siehe Beispiel)
- Antragen wichtiger Parameter (siehe Skizze)
- Berechnung von Kern- und Flankendurchmesser



Vorarbeiten

Werkstoff und Belastungen

Werkstoffparameter der Schraubenverbindung

- Werkstoffkennwerte (E-Modul, Fließgrenze, zul. Flächenpressung etc.)
- Reibbeiwerte

Belastungen der Schraubenverbindung

- Erstellung eines mechanischen Ersatzmodells
- Berechnung aller an der Verbindung angreifenden Kräfte
- Umrechnung der Torsionsmomente in Querkraftbelastungen
- Umrechnung der Biegemomente in Axialkraftbelastungen
- Einteilung in statische und dynamische Belastung
- Einteilung in exzentrische und zentrische Belastungen

Vorauslegung nach VDI 2230, Tabelle A7

Kraft in N	Nenn Durchmesser in mm		
	Festigkeitsklasse		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1 000	3	3	3
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	

Quelle: VDI 2230, Düsseldorf 2003, Blatt1 S.115

Vergleich Axialkraft - Querkraft

Axialkraft = 1500 N

Querkraft = 200 N

Haftreibungskoeffizient μ (Stahl/Stahl geölt) = 0,1

→ $200 \text{ N} / 0,1 = 2000 \text{ N} > 1500 \text{ N}$

→ Auslegung erfolgt über die **Querkraft**

Schritt 1 (Belastung)

250 N ist die nächst größere Kraft in Spalte 1

Schritt 2 (min. Vorspannkraft)

Vier Schritte für die Auslegung mit Querkraftbelastung

→ 1600 N

Schritt 3 (max. Vorspannkraft)

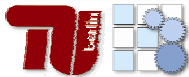
Ein Schritt für das Anziehen mit Drehwinkelmessung

→ 2500 N

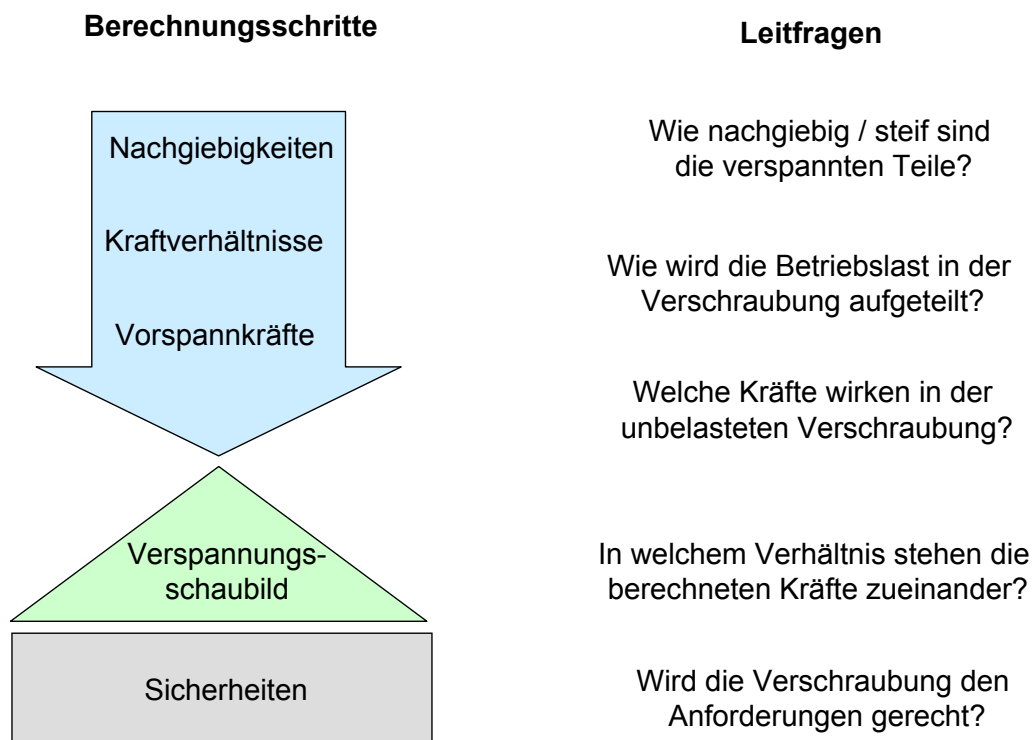
Schritt 4 (Auswahl)

Für 2500 N findet man in der Spalte 3 „Festigkeitsklasse 10.9“
die Schraubengröße M3

→ Die Schraubenverbindung muss nun detailliert nachgerechnet werden.



Nachrechnung - Ablaufschema



Nachgiebigkeiten - Schraube

Nachgiebigkeit der Schraube

$$\delta_s = \sum \delta_{i,s} = \delta_K + \delta_1 + \delta_f + \delta_G + \delta_M$$

Einzelnachgiebigkeiten

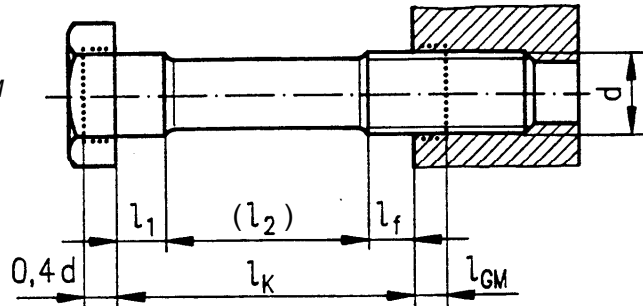
$$\delta_K = \frac{0,4 \cdot d}{E_s \cdot A_N} \quad \text{mit} \quad A_N = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$\delta_1 = \frac{l_1}{E_s \cdot A_1} \quad \text{mit} \quad A_1 = A_N$$

$$\delta_f = \frac{l_f}{E_s \cdot A_3} \quad \text{mit} \quad A_3 = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2$$

$$\delta_G = \frac{0,5 \cdot d}{E_s \cdot A_3} \quad \text{mit} \quad A_3 = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2$$

$$\delta_M = \frac{0,4 \cdot d}{E_s \cdot A_N} \quad \text{mit} \quad A_N = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$



- δ_K - Nachgiebigkeit des Kopfes
- δ_1 - Nachgiebigkeit des Schaftes
- δ_f - Nachgiebigkeit des freien Gewindes
- δ_G - Nachgiebigkeit des eingeschraubten Gewindes
- δ_M - Nachgiebigkeit der Mutter
- d - Nenndurchmesser der Schraube
- E_s - Elastizitätsmodul der Schraube
- A_N - Nennquerschnitt
- A_1 - Schaftquerschnitt
- A_3 - Kernquerschnitt

Quelle: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI 2230 Entwurf – Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen, Zylindrische Einschraubverbindungen. VDI-Verlag, Düsseldorf, November 1998

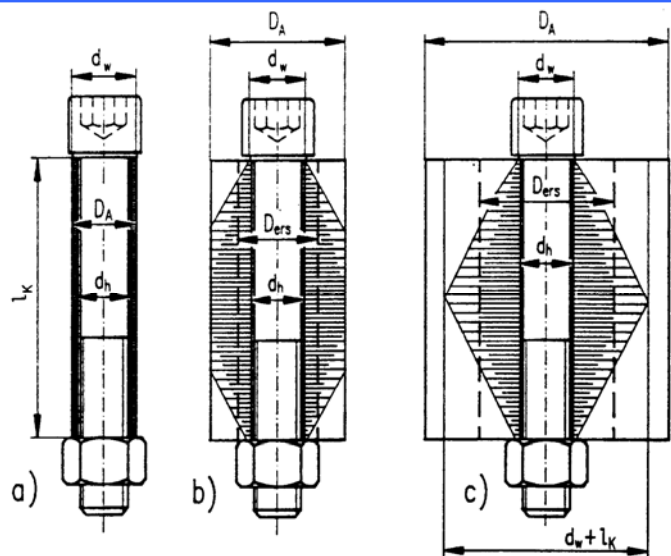


Nachgiebigkeiten - Platte

Nachgiebigkeit der Platten

$$\delta_P = \frac{l_K}{E_P \cdot A_{ers}}$$

- l_K - Klemmlänge
/ Dicke der verspannten Teile
- E_P - Elastizitätsmodul der
verspannten Teile
- A_{ers} - Ersatzquerschnitt
- D_A - Außendurchmesser der
verspannten Hülsen / Platten (für A_{ers})



- a) $A_{ers} = \frac{\pi}{4} (D_A^2 - d_h^2)$ für $D_A < d_w$
- b) $A_{ers} = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} d_w (D_A - d_w) \left[\left(\sqrt[3]{\frac{l_K d_w}{D_A^2} + 1} \right)^2 - 1 \right]$ für $d_w \leq D_A \leq d_w + l_K$
- c) $A_{ers} = \frac{\pi}{4} (d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8} d_w l_K \left[\left(\sqrt[3]{\frac{l_K d_w}{(l_K + d_w)^2} + 1} \right)^2 - 1 \right]$ für $d_w + l_K < D_A$



Nachgiebigkeitsverhältnis und Arbeitskräfte

Bestimmung des Kraftereinleitungsfaktors n

- Berechnung nach VDI 2230
- Abschätzung

Berechnung des Nachgiebigkeitsverhältnisses

$$\Phi = \frac{\delta_p}{(\delta_p + \delta_s)}$$

- Φ - Kraftverhältnis
- δ_p - Nachgiebigkeit der Platten
- δ_s - Nachgiebigkeit der Schraube

Berechnung der Arbeitskräfte

$$F_A = F_{SA} + F_{PA}$$

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

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

- F_A - Betriebskraft
- F_{SA} - Schraubenarbeitskraft
- F_{PA} - Plattenarbeitskraft
- n - Kraftereinleitungsfaktor



Mindestklemmkraft und Montagekraft

Berechnung der erforderlichen Mindestklemmkraft

$$F_{Kerf} = \max(F_{Kerf,Q}; F_{Kerf,P})$$

$$F_{Kerf,Q} = \Sigma (\text{Querkräfte}) / \mu_T$$

$$F_{Kerf,P} = p_{\text{Medium}} \cdot A_{\text{Dicht}}$$

Annahmen: -nur eine Trennfuge zwischen den verspannten Teilen
-kein Klaffen in der Trennfuge

- F_{Kerf} - Mindestklemmkraft
- $F_{Kerf,Q}$ - Mindestklemmkraft zur Übertragung der Querkräfte
- $F_{Kerf,P}$ - Mindestklemmkraft zur Sicherung der Dichtigkeit

Berechnung der Montagekraft

$$F_{Mmax} = \frac{\pi}{4} \cdot d_0^2 \cdot \frac{v \cdot R_{p0,2}}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left(\frac{3 \cdot d_2}{2 \cdot d_0} \cdot \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1,155 \cdot \mu_G \right) \right)^2}}$$

$$F_{Mmin} = F_{Mmax} / \alpha_A$$

- F_{Mmax} - Maximale Montagekraft
- F_{Mmin} - Minimale Montagekraft
- α_A - Anziehfaktor
- v - Streckgrenzenausnutzungsgrad
- $R_{p0,2}$ - Streck-/Dehngrenze der Schraube
- d_0 - Minimaler Schraubendurchmesser



Setz- und Vorspannkraft

Berechnung der Setzkraftverluste

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

F_Z - Setzkraftverlust

$$f_Z = 3,29 \cdot \left(\frac{l_K}{d}\right)^{0,34} \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

f_Z - Setzweg

Berechnung der Vorspannkraft

$$F_{Vmin} = F_{Mmin} - F_Z = F_V$$

F_{Vmin} - minimale Vorspannkraft
= Vorspannkraft F_V im
Verspannungsschaubild

$$F_{Vmax} = F_{Mmax} - F_Z$$

F_{Vmax} - maximale Vorspannkraft
(F_{Vmax} ist eher kein
gebräuchlicher Parameter)



Anziehmoment und maximale Schraubenkraft

Berechnung des Anziehmoments

$$M_A = F_V \cdot \left(0,159 \cdot P + 0,577 \cdot d_2 \cdot \mu_G + \frac{1}{2} \cdot D_{km} \cdot \mu_K \right)$$

M_A - Anziehmoment

D_{km} - mittlerer wirksamer

Reibungsdurchmesser

unter dem Schraubenkopf

μ_K - (Unter-)Kopfreibbeiwert

μ_G - Gewindereibbeiwert

P - Gewindesteigung

$$D_{km} = \frac{(d_w + d_h)}{2}$$

Berechnung der maximalen Schraubenlast

$$F_{Smax} = F_{Mmax} + F_{SA}$$

F_{Smax} - maximale Schraubenkraft

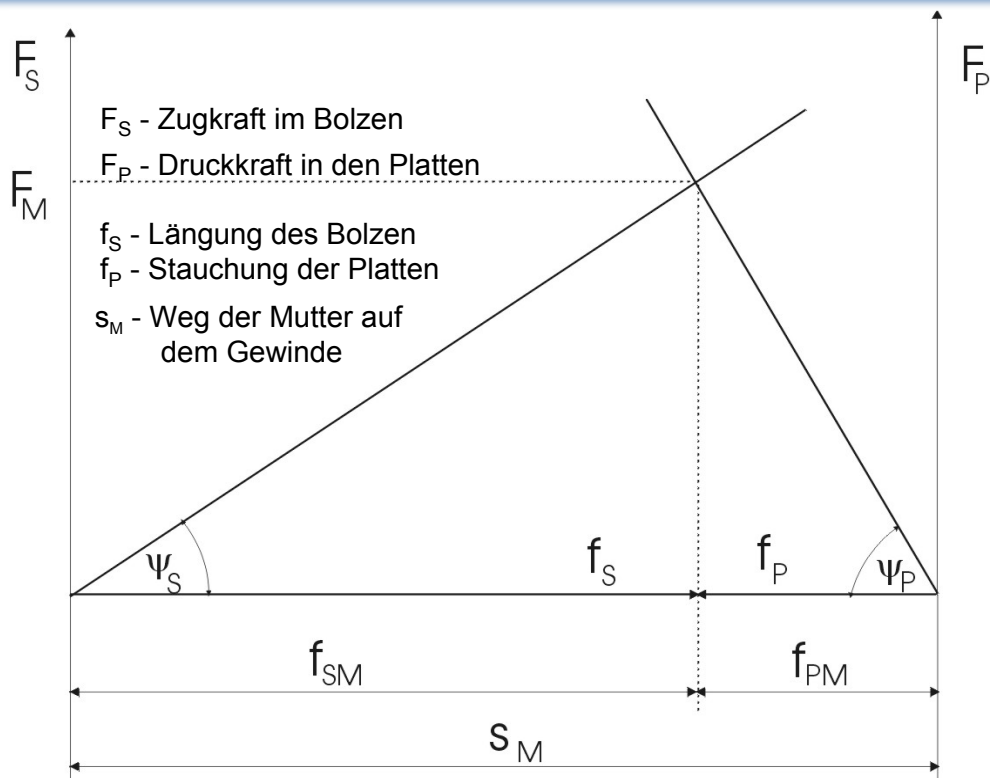


Verspannungsschaubild

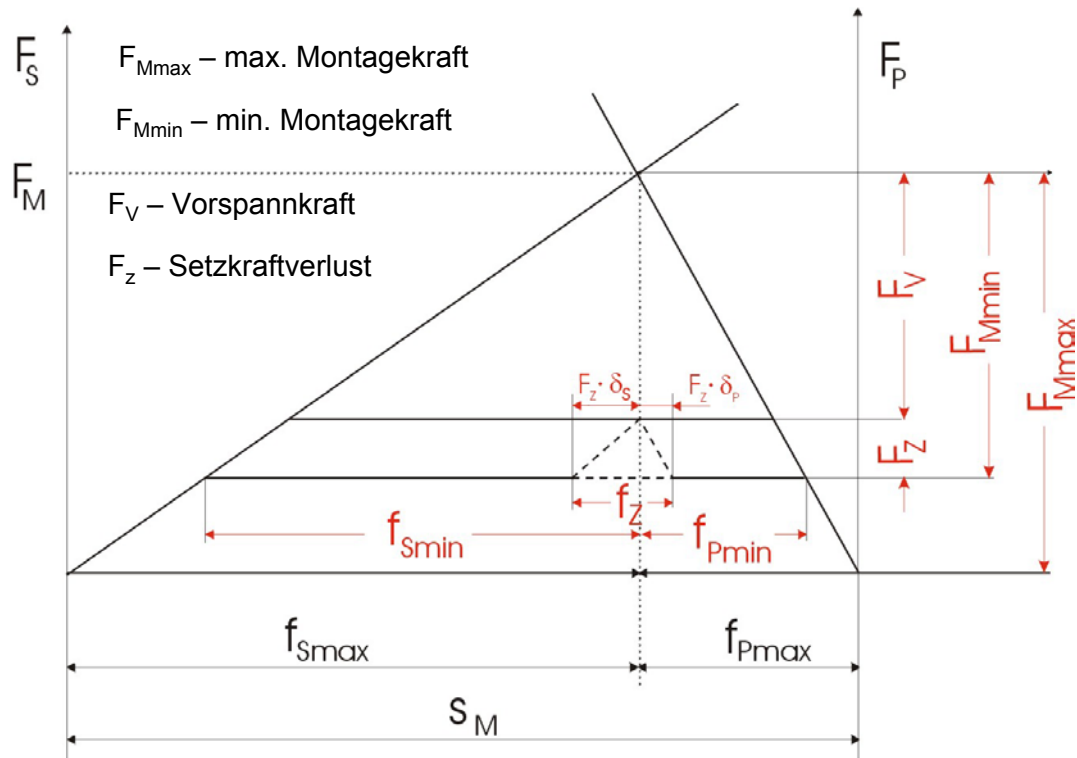
Längenungen der Verschraubungselemente

Maximale Schraubenlänge	$f_S = f_{SM} = f_{Smax} = \delta_S * F_{Mmax}$
Maximale Plattenstauchung	$f_P = f_{PM} = f_{Pmax} = \delta_P * F_{Mmax}$
Schraubenlänge bei minimaler Montagekraft	$f_{Smin} = \delta_S * F_{Mmin}$
Plattenstauchung bei minimaler Montagekraft	$f_{Pmin} = \delta_P * F_{Mmin}$
Auf der Schraube zurückgelegter Weg der Mutter	$s_M = f_S + f_P$

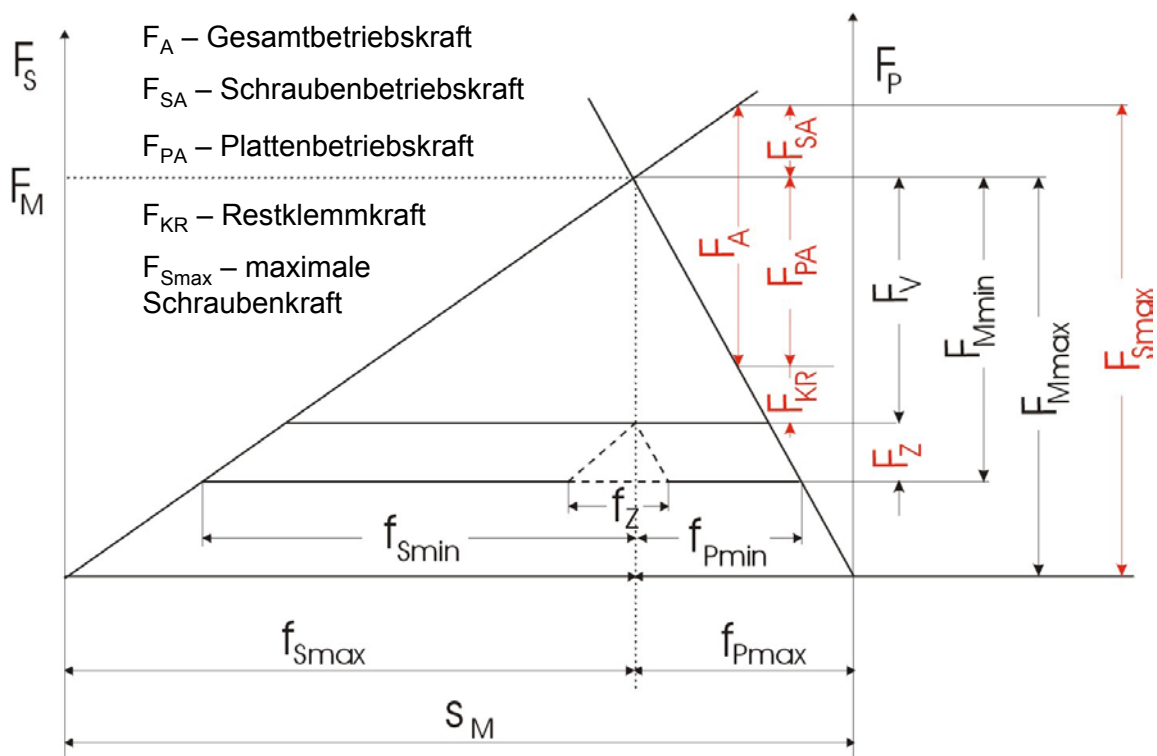
Verspannungsschaubild Nach der Montage



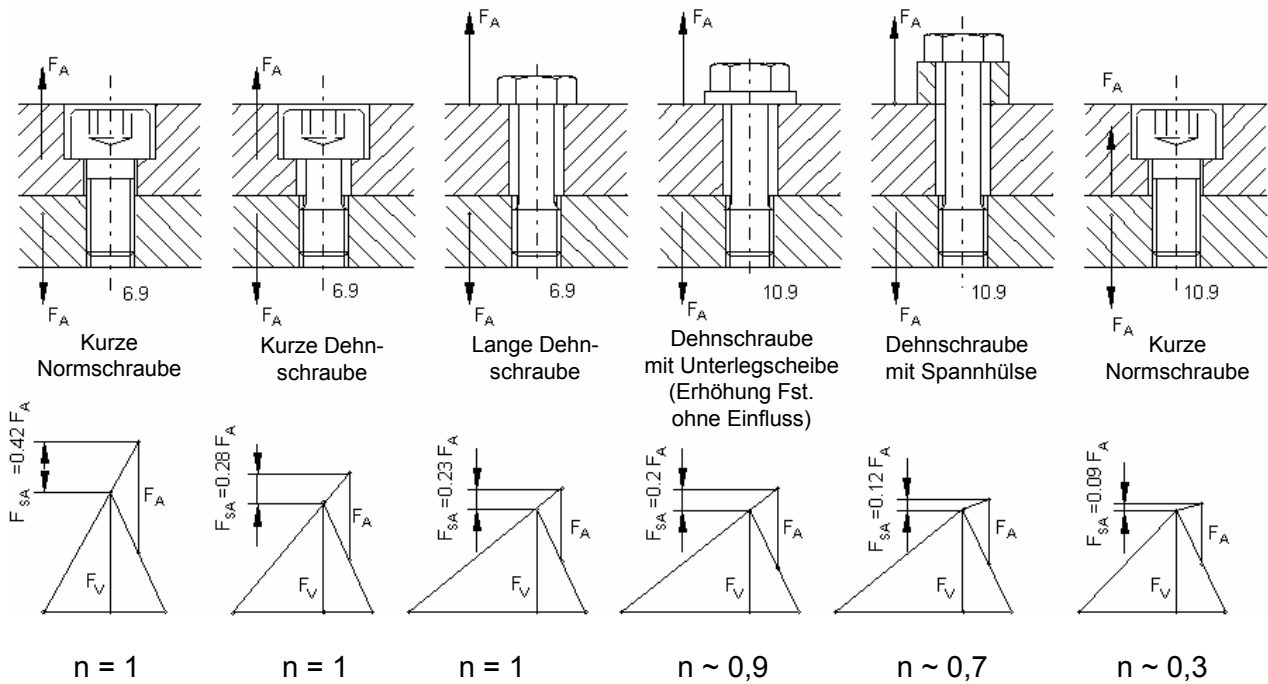
Verspannungsschaubild Nach dem Anziehen und Setzen



Verspannungsschaubild Unter Betriebslast



Einfluss von Nachgiebigkeit und Krafteinleitung



Sicherheiten Gleiten und Fließen

Sicherheit gegen Gleiten in der Trennfuge

$$S_R = F_{KRest} / F_{Kerf} > 1$$

$$F_{KRest} = F_{Vmin} - F_{PA}$$

- F_{Kerf} - Mindestklemmkraft
- F_{KRest} - Restklemmkraft
- F_{Vmin} - minimale Vorspannkraft
- F_{PA} - Plattenarbeitskraft

Sicherheit gegen Fließgrenzenüberschreitung

$$S_{stat} = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{red,B}} > 1$$

$$\sigma_{red,B} = \sqrt{\sigma_{zmax}^2 + \frac{3}{2} \cdot \tau_{max}^2}$$

$$\sigma_{zmax} = \frac{F_{Smax}}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2}$$

$$\tau_{max} = \frac{F_{Mmax} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \left(\frac{P}{\pi \cdot d_2} + 1,155 \cdot \mu_G\right)}{\frac{\pi}{16} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^3}$$

- $R_{p0,2}$ - Streck-/Dehngrenze der Schraube
- $\sigma_{red,B}$ - reduzierte Vergleichsspannung im Betrieb
- σ_{zmax} - maximale Zugspannung
- τ_{max} - maximale Torsionsspannung beim Anziehen der Schraube
- F_{Smax} - maximale Schraubkraft
- F_{Mmax} - maximale Montagekraft
- μ_G - Gewindereibbeiwert

Sicherheiten

Flächenpressung und Dauerfestigkeit

Sicherheit gegen Grenzflächenpressungsüberschreitung

$$s_{press} = \frac{p_{Grenz}}{p_{vorh}} > 1$$

$$p_{vorh} = \frac{F_{M,max}}{A_{p,min}} \quad \text{mit} \quad A_{p,min} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_h^2)$$

- p_{Grenz} - Grenzflächenpressung
- p_{vorh} - Vorhandene Flächenpressung im Montagezustand
- $A_{p,min}$ - Auflagefläche des Schraubenkopfes

Sicherheit gegen Dauerbruch

$$s_{dyn} = \frac{\sigma_{ASV}}{\sigma_a} \geq 1,2$$

$$\sigma_{ASV} = 0,85 \cdot (150/d + 45) \cdot N/mm^2$$

$$\sigma_a = \frac{[0,5 \cdot (F_{SA,max} - F_{SA,min})]}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2}$$

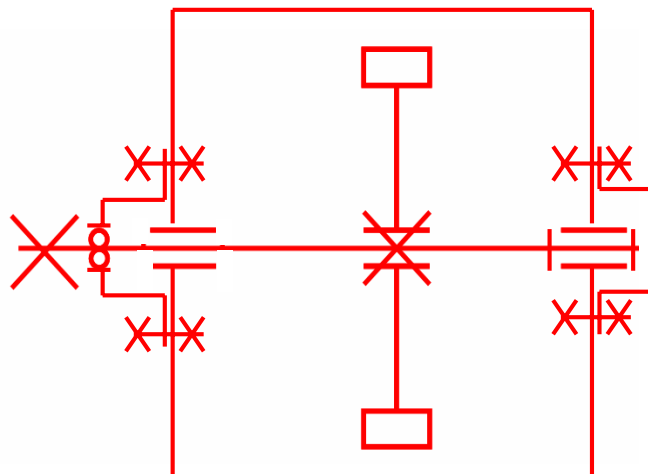
- s_{dyn} - Dynamische Sicherheit
- σ_{ASV} - Festigkeit des Schraubenwerkstoffs
- σ_a - Betriebskraftamplitude
- $F_{SA,max}$ - maximale Schraubenarbeitskraft
- $F_{SA,min}$ - minimale Schraubenarbeitskraft



Skizzierübung

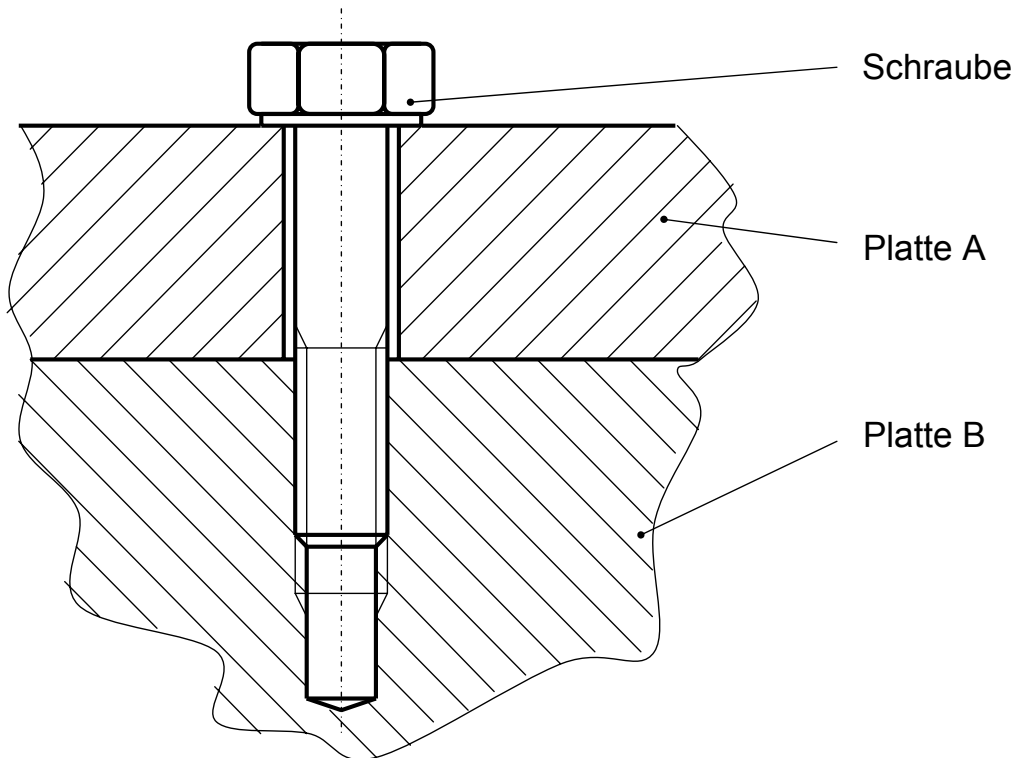
Fertigen Sie eine grobmaßstäbliche **Freihandskizze** für das in der Prinzipskizze dargestellte Getriebe an.

- Die Welle ist in einem mehrteiligen Gehäuse gelagert.
- Die Lager sind ölgeschmiert.
- Zahnrad und Gehäuse sollen nur angedeutet werden.
- Normteile bitte vereinfacht darstellen.
- Das Loslager soll als Zylinderrollenlager ausgeführt sein.



Normgerechte Verschraubungsdarstellung

Einschraubverbindung



Normgerechte Verschraubungsdarstellung

Durchsteckverbindung

