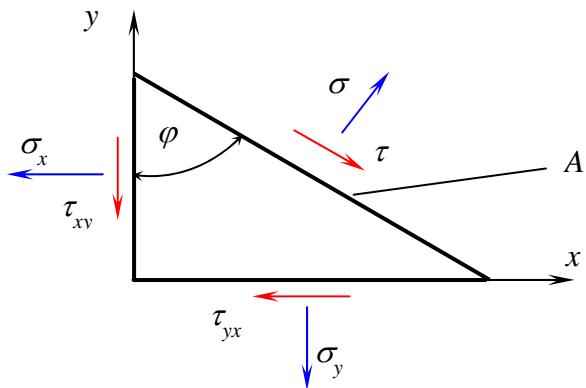


Formelsammlung Maschinenelemente

Ebener Spannungszustand



Allg:

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\varphi + \tau_{xy} \sin 2\varphi$$

$$\tau = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\varphi - \tau_{xy} \cos 2\varphi$$

Max Hauptnormalspannung:

dazugehöriger Winkel

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

$$\tan 2\varphi = \frac{2\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)}$$

Anstrengungshypothesen

Schubspannungshypothese:

$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad (\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (\sigma_x = \sigma, \sigma_y = 0, \tau_{xy} = \tau)$$

Gestaltänderungs- Energie- Hypothese:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy})$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (\sigma_x = \sigma, \sigma_y = 0, \tau_{xy} = \tau)$$

Allgemein:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + \varphi^2 \tau_{IA}^2} \quad \varphi = \frac{\sigma_{grenz}}{\tau_{grenz}} \dots\dots\dots \text{Grenzspannungsverhältnis}$$

Dauerfestigkeitsnachweis:

$$\sigma_{agrenz,red} = \sigma_{agrenz} \cdot b_o \cdot b_g$$

Kerbwirkung:

$$\beta_k = 1 + (\alpha_k - 1)\eta_k$$

$\eta_k \approx 0,5 \div 0,7$ unlegierter, niedrig legierter Baustahl, für S235 \div E335

$\eta_k \approx 0,6 \div 0,9$ Vergütungsstähle, für C25E \div C60E

$\eta_k \approx 0,94 \div 0,95$ Vergütungsstähle, für 42CrMo4 \div 30CrNiMo8

$\eta_k \approx 0,95 \div 1,0$ Federstahl

$\eta_k \approx 0,4 \div 0,8$ Leichtmetalle

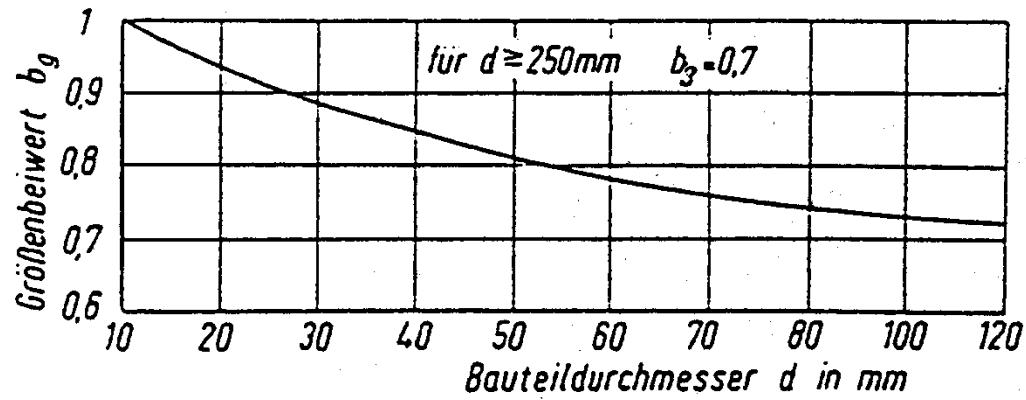
Dauerfestigkeitsnachweis mit Kerbe:

$$\sigma_{aK,grenz,red} = \frac{\sigma_{agrenz} \cdot b_o \cdot b_g}{\beta_k}$$

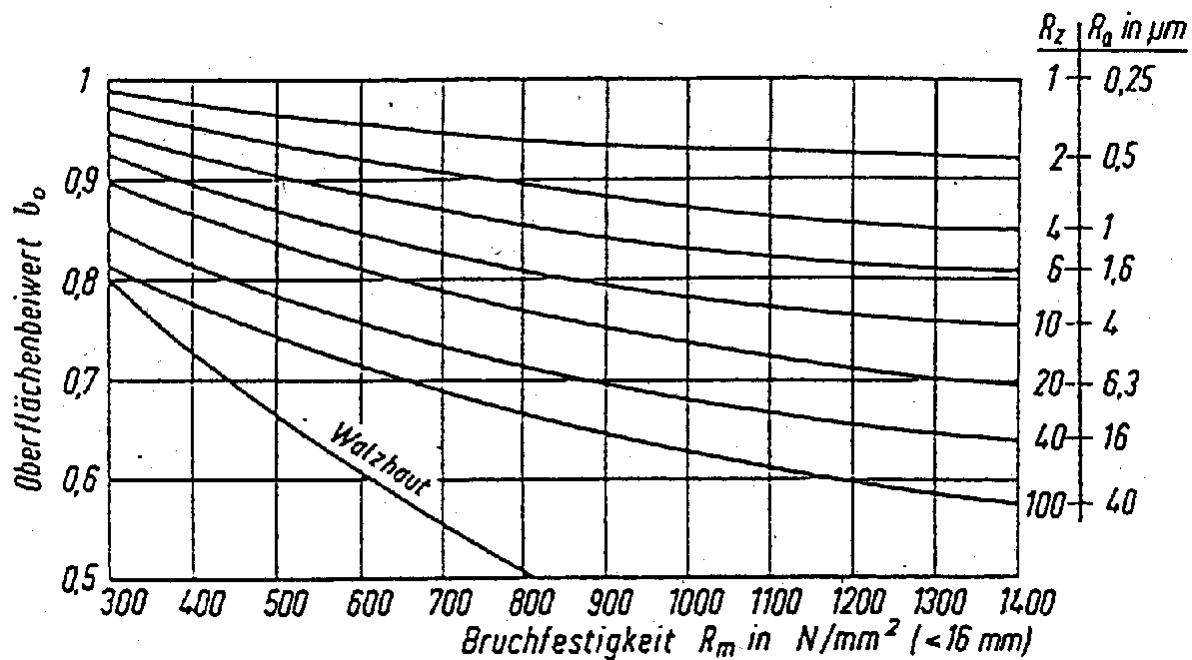
Maschinenbaustähle:

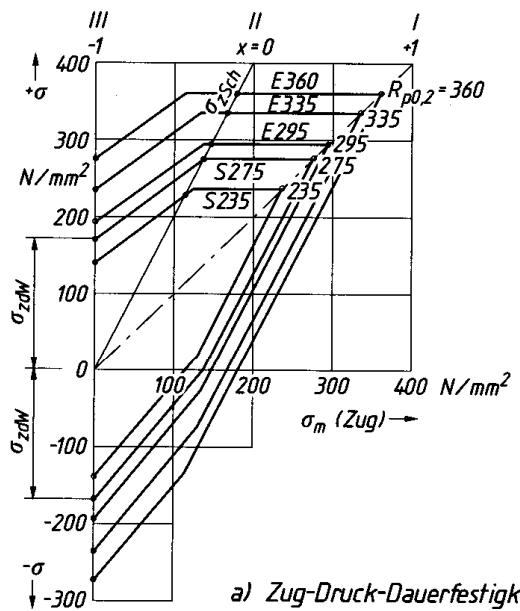
Kurzname	Stahlsorte Werkstoff- nummer	A % min.	R _{mN} min.	R _{cN} R _{p0,2N} min.	σ _{zdWN} (σ _{zdSchN})	σ _{bWN} (σ _{bSchN})	τ _{tWN} (τ _{tSchN})	relative Werkstoff- kosten ³⁾	Eigenschaften und Verwendungsbeispiele
a) Unlegierte Baustähle, warmgewalzt, nach DIN EN 10025									Warmgewalzte, unlegierte Grund- und Qualitätsstähle ohne Eignung zur Wärmebehandlung, die durch Zugfestigkeit und Streckgrenze gekennzeichnet sind und für die Verwendung bei Umgebungstemperatur in geschweißten, genieteten und geschraubten Bauteilen bestimmt sind
Normabmessung d _N = 16 mm									
S185	1.0035	18	310	185					untergeordnete Bauteile bei geringer Beanspruchung; Geländer, Treppen u. dgl.; Schweißeignung nicht gewährleistet
S235JR S235JRG1 S235JRG2 S235JO S235JG3 S235JG4	1.0037 1.0036 1.0038 1.0114 1.0116 1.0117	26	360	235	140 (225)	180 (270)	105 (160)	1.1	üblicher Stahl im Maschinen- und Stahlbau bei mäßiger Beanspruchung; Flacherzeugnisse, Stab- und Formstähle; gut bearbeitbar; Schweißeignung und Zähigkeit verbessern sich stetig von der Gütegruppe JR bis zur Gütegruppe J2G4
S275JR S275JO S275JG3 S275JG4	1.0044 1.0143 1.0144 1.0145	22	430	275	170 (270)	215 (320)	125 (190)	1,05	mäßig beanspruchte Bauteile; Wellen, Achsen, Hebel; gut bearbeitbar, gute Schweißeignung
S355JR S355JO S355JG3 S355JG4 S355K2G3 S355K2G4	1.0045 1.0553 1.0570 1.0577 1.0595 1.0596	22	510	355	205 (325)	255 (380)	150 (245)		hoch beanspruchte Tragwerke im Stahl-, Kran- und Brückenzbau; hohe Streckgrenze durch Si- und Mn-Gehalte; Schweißeignung und Sprödbruchsicherheit verbessern sich stetig von der Gütegruppe JR bis zur Gütegruppe K2G4
E295	1.0050	20	490	295	195 (295)	245 (355)	145 (205)	1,1	gut bearbeitbar; meist verwendeter Stahl bei mittlerer Beanspruchung; Wellen, Achsen, Bolzen
E335	1.0060	16	590	335	235 (335)	290 (400)	180 (230)	1,7	für höher beanspruchte verschleißfeste Teile; Wellen, Ritzel, Spindeln
E360	1.0070	11	690	360	275 (360)	345 (430)	205 (250)		höchst beanspruchte verschleißfeste Teile in naturhartem Zustand; Nokken, Walzen, Gesenke, Steuerungsteile
b) Schweißeignige Feinkornbaustähle, normalgeglüht/normalisierend gewalzt, nach DIN EN 10113-2									zähe, sprödbruch- und alterungsunempfindliche Stähle mit geringem C-Gehalt und feinem Korn, gekennzeichnet durch hohe Streckgrenze und gute Schweißbarkeit
Normabmessung d _N = 16 mm									
S275N S275NL	1.0490 1.0491	24	370	275	150 (240)	185 (275)	110 (185)		optimaler Einsatz bei hoher Zugbeanspruchung im Zeitfestigkeitsgebiet mit nur geringen dynamischen Spannungssamplituden; z. B. Leichtbau von Untergestellen, Fahrzeugrahmen, Druckbehältern, Förderanlagen (warmfeste, kaltzähe und ultrahochfeste Feinkornbaustähle s. Normen)
S355N S355NL	1.0545 1.0546	22	470	355	190 (305)	235 (350)	140 (240)		
S420N S420NL	1.8902 1.8912	19	520	420	210 (335)	260 (390)	155 (265)		
S460N S460NL	1.8901 1.8903	17	550	460	220 (350)	275 (410)	165 (280)		

Größenbeiwert b_g :

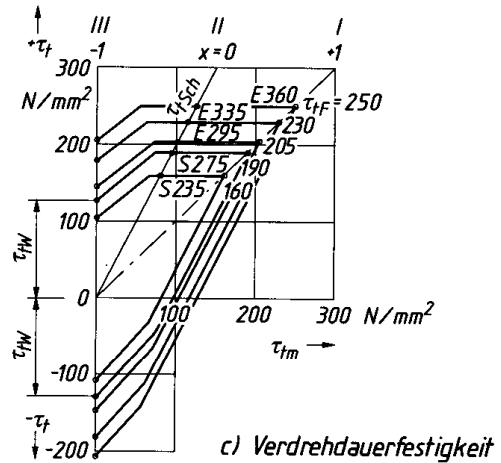


Oberflächenbeiwert b_o :

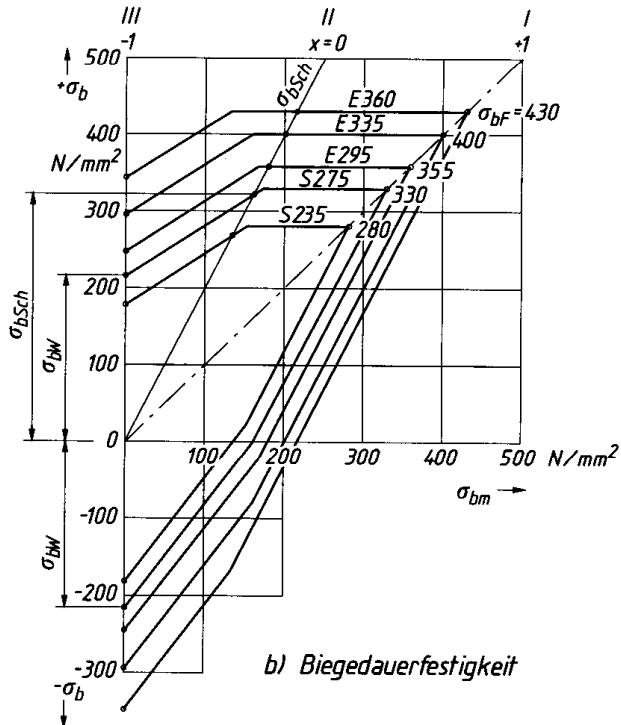


Smith- Diagramme:

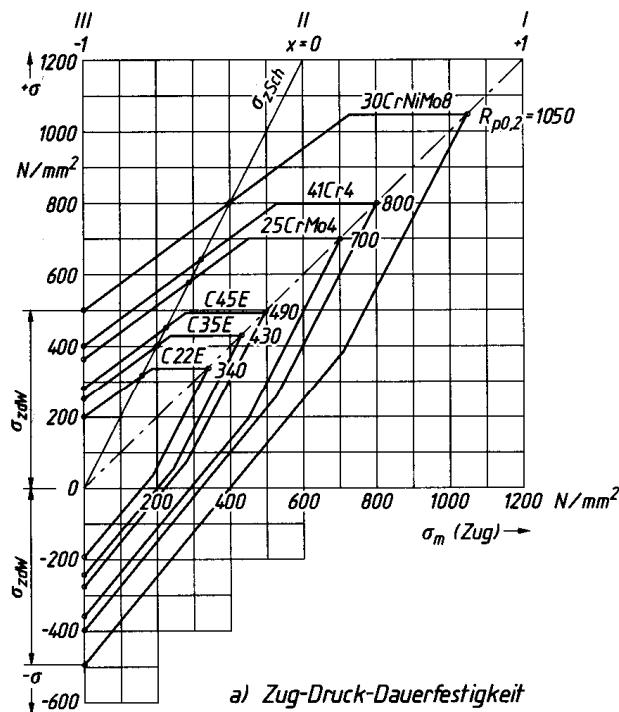
a) Zug-Druck-Dauerfestigkeit



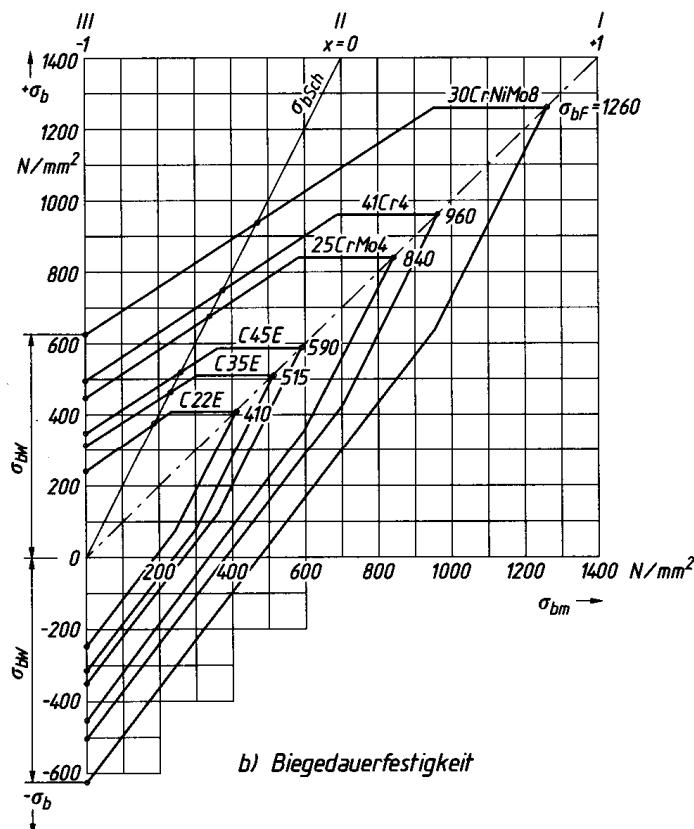
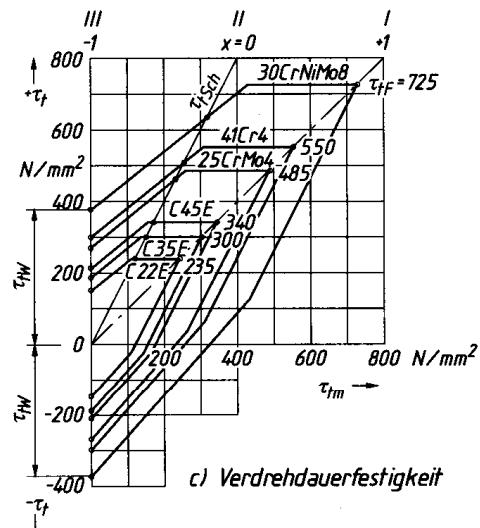
c) Verdrehdauerfestigkeit



$$\sigma_{agrenz} = \sigma_{ogrenz} - \sigma_m$$



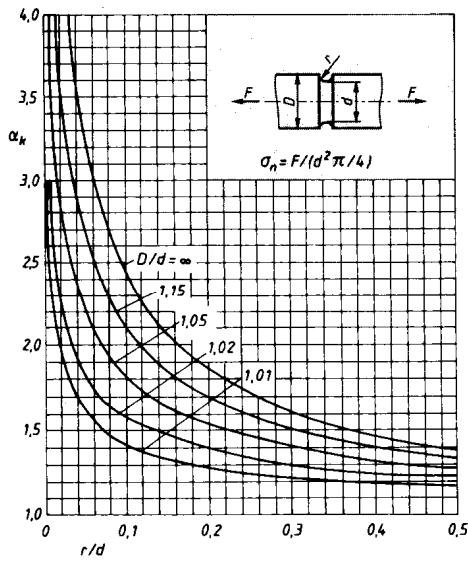
a) Zug-Druck-Dauerfestigkeit



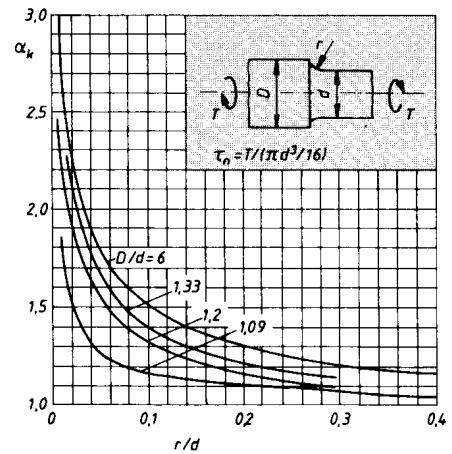
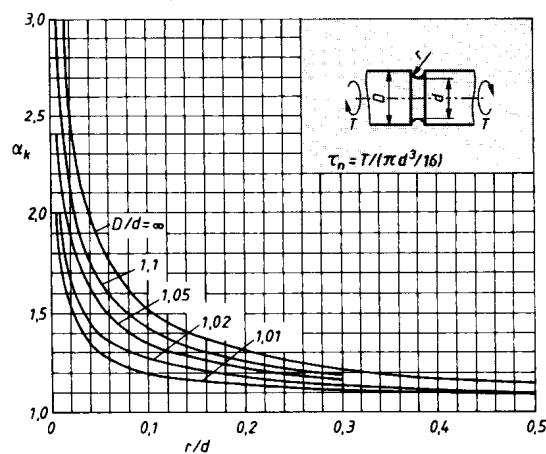
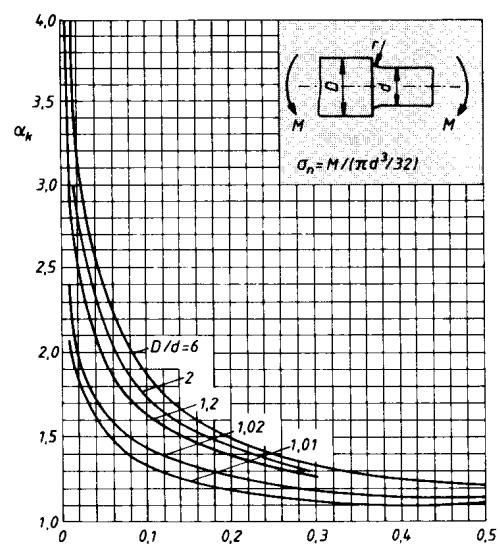
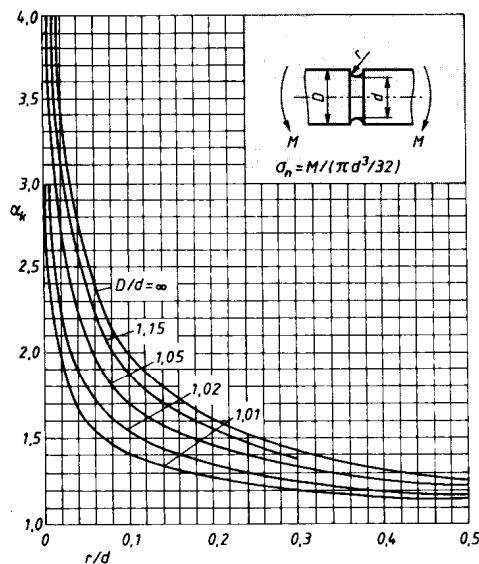
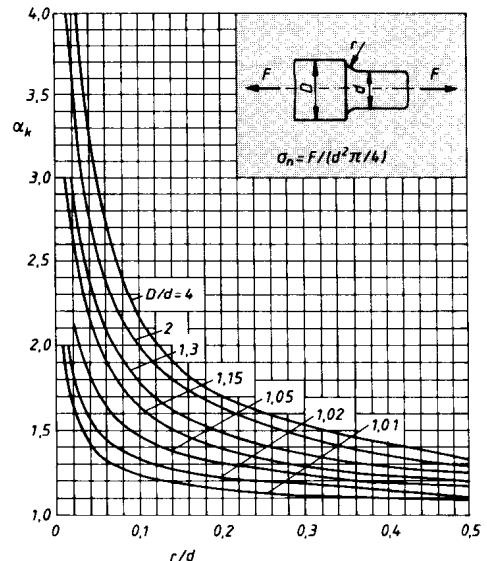
b) Biegendauerfestigkeit

Kerbwirkung, Formzahlen:

Rundstab mit Ringnut



abgesetzter Rundstab



Biegekritische Drehzahl:

Masselose Welle mit Einzelmasse m :

$$\omega_k = \sqrt{\frac{c}{m}} \quad \text{mit } c = \frac{F}{f} \quad \text{in } \left[\frac{N}{m} \right]$$

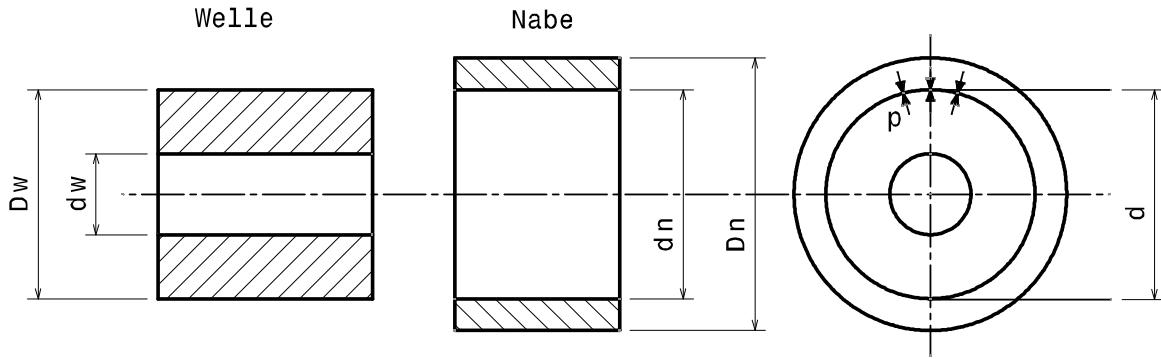
Erste Eigenfrequenz der massebehafteten, glatten Welle:

$$\omega_{k1} = \frac{d\pi^2}{4l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \text{für Stahl:} \quad \omega_{k1} = \frac{d}{l^2} \cdot 12,5 \cdot 10^6 \quad \text{mit } d, l \text{ in [mm]}$$

Gesetz von Dunkerley:

$$\frac{1}{\omega_k^2} = \frac{1}{\omega_1^2} + \frac{1}{\omega_A^2} + \frac{1}{\omega_B^2} + \dots$$

Pressverband:



Erforderliche Pressung:

$$p \geq \frac{2M_t}{d^2 \cdot \mu \cdot \pi \cdot l}$$

auftretende Spannungen:

$$\text{Nabe:} \quad \sigma_{U,Nabe} = p \frac{1+Q^2}{1-Q^2} \quad \sigma_{N,Nabe} = -p \quad \text{mit} \quad Q = \frac{d}{D_n}$$

$$\text{Welle:} \quad \sigma_{U,Welle} = -p \frac{1+q^2}{1-q^2} \quad \sigma_{N,Welle} = -p \quad \text{mit} \quad q = \frac{d_w}{d}$$

Erforderliches wirksames Übermaß:

$$\bar{U} = p \cdot d \cdot \left[\frac{1}{E_{Nabe}} \left(\frac{1+Q^2}{1-Q^2} + \gamma_{Nabe} \right) + \frac{1}{E_{Welle}} \left(\frac{1+q^2}{1-q^2} - \gamma_{Welle} \right) \right]$$

Erforderliches Gesamtübermaß:

$$U = \bar{U} + 0,8 \cdot (R_{t,Welle} + R_{t,Nabe})$$

Fügetemperatur:

$$\Delta \vartheta = \frac{U + e}{\alpha \cdot d}$$

Gewinde / Schrauben:

$$M_{ges} = \frac{d_f}{2} \cdot F_v \cdot \tan(\alpha \pm \rho_G) + \frac{d_L}{2} \cdot F_v \cdot \mu_{gleit}$$

mit der Näherung: $\tan(\alpha \pm \rho_G) = \tan \alpha \pm \tan \rho_G$ gilt hinreichend genau für kleine Winkel

und $d_f \approx 0,9 \cdot d$, $d_L \approx 1,26 \cdot d$, $\alpha \approx 2,5^\circ$, $\mu_{gleit} \approx 0,14 \Rightarrow \mu_G = \tan \rho_G \approx 0,16$ ergibt sich:

$$M_{ges} = d \cdot F_v \cdot (0,02 \pm 0,07 \pm 0,09) \Rightarrow \underline{M_{A,ges} = 0,18 \cdot d \cdot F_v} \quad \text{für Anziehen}$$

bei der Annahme geänderter Reibbedingungen $\mu_{gleit} \approx 0,08$ ergibt sich:

$$\Rightarrow \underline{M_{A,ges} = 0,11 \cdot d \cdot F_v} \quad \text{für Anziehen}$$

Axial belastete Schraube:

$$F_b = \Delta F_s + \Delta F_f \quad \Delta F_s = F_b \cdot \phi_n \quad \Delta F_f = F_b \cdot (1 - \phi_n)$$

$$\text{mit } \phi_n = n \cdot \phi \quad \phi = \frac{c_s}{c_s + c_f} \quad n = \frac{l_k'}{l_k}$$

Nachgiebigkeit der Schraube:

$$\delta_s = \frac{1}{c_s} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_k + \delta_G$$

$$\text{Schraubenschaft } \delta_l: \quad \delta_l = \frac{l_1}{E \cdot A_l} \quad \text{mit } A_l = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

Gewindebereich δ_2 :
$$\delta_2 = \frac{l_2}{E \cdot A_{sp}}$$

Kopfverformung δ_K :
$$\delta_K = \frac{l_{K,fiktiv}}{E \cdot A_1}$$

d ... Nenndurchmesser

A_{sp} ... Spannungsquerschnitt

mit $l_{K,fiktiv} = 0,4 \cdot d$

Gewindeverformung der Mutter δ_G : $\delta_G \approx \delta_K$

Nachgiebigkeit des Flansches:

$$\delta_f = \frac{1}{c_f} = \frac{l_k}{E \cdot A_f}$$

Fall a): $d_a \leq d_w$ kein Druckkegel, konstant belastete Hülse

$$\Rightarrow A_f = \frac{\pi}{4} \cdot (d_a^2 - d_i^2)$$

Fall b): $d_w + l_k \geq d_a \geq d_w$ der Druckkegel kann sich nicht voll ausbilden

$$\Rightarrow A_f = \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_i^2) + \frac{\pi}{8} \cdot d_w \cdot (d_a - d_w) \cdot \left[\left(\sqrt[3]{\frac{l_k \cdot d_w}{d_a^2}} + 1 \right)^2 - 1 \right]$$

Fall c): $d_a > d_w + l_k$ der Druckkegel bildet sich voll aus \Rightarrow mit: $d_a = d_w + l_k$

$$A_f = \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_i^2) + \frac{\pi}{8} \cdot d_w \cdot l_k \cdot \left[\left(\sqrt[3]{\frac{l_k \cdot d_w}{(d_w + l_k)^2}} + 1 \right)^2 - 1 \right]$$

SL / SLP Verbindungen

- Schubbeanspruchung in der Schraube (Abscherung)
- Lochleibung im Blech
- Zugbeanspruchung im Restquerschnitt

$$\tau_a = \frac{F_i}{n \cdot A} \leq \tau_{zul}$$

... Schubbeanspruchung

n ... Anzahl der Schrauben
 d ... belasteter Durchmesser

A ... belasteter Querschnitt
 t_i ... Blhdicke

... Lochleibung

$$\sigma_{L,i} = \frac{F_i}{n \cdot d \cdot t_i} \leq \sigma_{zul}$$

Zulässige Spannungen:

	Schubbeanspruchung τ_{zul}		Lochleibung σ_{zul}	
	SL	SLP	SL	SLP
ruhend	$0,5 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Schraube}$	$0,6 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Schraube}$	$1,0 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Bauteil}$	$1,2 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Bauteil}$
Schwellend	$0,4 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Schraube}$	$0,5 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Schraube}$	$0,8 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Bauteil}$	$1,0 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Bauteil}$
wechselnd	$0,3 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Schraube}$	$0,4 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Schraube}$	$0,7 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Bauteil}$	$0,9 \cdot \sigma_{0,2} \text{ Bauteil}$

$$\sigma = \frac{F_i}{A_{i,Netto}} \leq \sigma_{zul,Bauteil}$$

$A_{i,Netto} \dots$ Netto-Blech-Querschnitt

GV / GVP – Verbindungen

- Übertragung der Belastung F durch Reibschluss
- Zugspannung im Restquerschnitt
- Lochleibung im Blech

	GV	GVP
F_{zul} pro Schraube und Fügefläche	$\frac{\mu}{\gamma} \cdot F_{v,Schraube}$	$1,6 \cdot \frac{\mu}{\gamma} \cdot F_{v,Schraube}$
fiktive Lochleibung $\bar{\sigma}_{L,zul}$	$3 \cdot \sigma_{0,2}$	$3,6 \cdot \sigma_{0,2}$
Belastung im Restquerschnitt \bar{F}	$F - 0,4 \cdot F_{zul}$	$F - 0,25 \cdot F_{zul}$

mit: $\mu = 0,2$ für unbehandelte Fügefläche $\mu = 0,5$ für sandgestrahlte Fügeflächen
 $\nu = 1,25 \dots 1,4$

Biegelinien statisch bestimmter Träger:

	Belastungsfall	Gleichung der Biegelinie	Durchbiegung	Neigungswinkel
1		$0 \leq x \leq l/2: \\ w(x) = \frac{F l^3}{48 E I_y} \left[3 \frac{x}{l} - 4 \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$	$f_m = \frac{F l^3}{48 E I_y}$	$\alpha_A = \alpha_B = \frac{F l^2}{16 E I_y}$
2		$0 \leq x \leq a: \\ w_1(x) = \frac{F a b^2}{6 E I_y} \left[\left(1 + \frac{l}{b} \right) \frac{x}{l} - \frac{x^3}{a b l} \right]$ $a \leq x \leq l: \\ w_{II}(x) = \frac{F a^2 b}{6 E I_y} \left[\left(1 + \frac{l}{a} \right) \frac{l-x}{l} - \frac{(l-x)^3}{a b l} \right]$	$f = \frac{F a^2 b^2}{3 E I_y l}$ $a > b: f_m = \frac{F b \sqrt{(l^2 - b^2)/3}}{9\sqrt{3} E I_y l}$ $a < b: f_m = \frac{F a \sqrt{(l^2 - a^2)/3}}{9\sqrt{3} E I_y l}$ $\text{in } x_m = \sqrt{(l^2 - b^2)/3}$ $\text{in } x_m = l - \sqrt{(l^2 - a^2)/3}$	$\alpha_A = \frac{F a b (l+b)}{6 E I_y l}$ $\alpha_B = \frac{F a b (l+a)}{6 E I_y l}$
3a		$w(x) = \frac{M l^2}{6 E I_y} \left[2 \frac{x}{l} - 3 \left(\frac{x}{l} \right)^2 + \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$	$f = \frac{M l^2}{16 E I_y} \text{ in } x = \frac{l}{2}$ $f_m = \frac{M l^2}{9\sqrt{3} E I_y} \text{ in } x_m = l - \frac{l}{\sqrt{3}}$	$\alpha_A = \frac{M l}{3 E I_y}$ $\alpha_B = \frac{M l}{6 E I_y}$
3b		$w(x) = \frac{M l^2}{6 E I_y} \left[\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$	$f = \frac{M l^2}{16 E I_y} \text{ in } x = \frac{l}{2}$ $f_m = \frac{M l^2}{9\sqrt{3} E I_y} \text{ in } x_m = \frac{l}{\sqrt{3}}$	$\alpha_A = \frac{M l}{6 E I_y}$ $\alpha_B = \frac{M l}{3 E I_y}$
4		$w(x) = \frac{q l^4}{24 E I_y} \left[\frac{x}{l} - 2 \left(\frac{x}{l} \right)^3 + \left(\frac{x}{l} \right)^4 \right]$	$f_m = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E I_y}$	$\alpha_A = \alpha_B = \frac{q l^3}{24 E I_y}$
5		$w(x) = \frac{q_2 l^4}{360 E I_y} \left[7 \frac{x}{l} - 10 \left(\frac{x}{l} \right)^3 + 3 \left(\frac{x}{l} \right)^5 \right]$	$f_m = \frac{q_2 l^4}{153,3 E I_y} \text{ in } x_m = 0,519 l$	$\alpha_A = \frac{7}{360} \frac{q_2 l^3}{E I_y}$ $\alpha_B = \frac{8}{360} \frac{q_2 l^3}{E I_y}$
6		$w(x) = \frac{F l^3}{6 E I_y} \left[2 - 3 \frac{x}{l} + \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$	$f = \frac{F l^3}{3 E I_y}$	$\alpha = \frac{F l^2}{2 E I_y}$
7		$w(x) = \frac{q l^4}{24 E I_y} \left[3 - 4 \frac{x}{l} + \left(\frac{x}{l} \right)^4 \right]$	$f = \frac{q l^4}{8 E I_y}$	$\alpha = \frac{q l^3}{6 E I_y}$

	Belastungsfall	Gleichung der Biegelinie	Durchbiegung	Neigungswinkel
8		$w(x) = \frac{q l^4}{24 E I_y} \left[3 - 4 \frac{x}{l} + \left(\frac{x}{l} \right)^4 \right]$	$f = \frac{q l^4}{8 E I_y}$	$\alpha = \frac{q l^3}{6 E I_y}$
9		$w(x) = \frac{q_2 l^4}{120 E I_y} \left[4 - 5 \frac{x}{l} + \left(\frac{x}{l} \right)^5 \right]$	$f = \frac{q_2 l^4}{30 E I_y}$	$\alpha = \frac{q_2 l^3}{24 E I_y}$
10		$w(x) = \frac{q_1 l^4}{120 E I_y} \left[11 - 15 \frac{x}{l} + 5 \left(\frac{x}{l} \right)^4 - \left(\frac{x}{l} \right)^5 \right]$	$f = \frac{11}{120} \frac{q_1 l^4}{E I_y}$	$\alpha = \frac{q_1 l^3}{8 E I_y}$
11		$0 \leq x \leq l:$ $w(x) = -\frac{F a l^2}{6 E I_y} \left[\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$ $0 \leq \bar{x} \leq a:$ $w(\bar{x}) = \frac{F a^3}{6 E I_y} \left[2 \frac{\bar{x}}{a} \frac{l}{a} + 3 \left(\frac{\bar{x}}{a} \right)^2 - \left(\frac{\bar{x}}{a} \right)^3 \right]$	$f = \frac{F a^2 (l+a)}{3 E I_y}$ $f_m = \frac{F a l^2}{9 \sqrt{3} E I_y}$ in $x_m = \frac{l}{\sqrt{3}}$	$\alpha = \frac{F a (2l+3a)}{6 E I_y}$ $\alpha_A = \frac{F a l}{6 E I_y}$ $\alpha_B = \frac{F a l}{3 E I_y}$
12		$0 \leq x \leq l:$ $w(x) = -\frac{q a^2 l^2}{12 E I_y} \left[\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right]$ $0 \leq \bar{x} \leq a:$ $w(\bar{x}) = \frac{q a^4}{24 E I_y} \left[4 \frac{l}{a} \frac{\bar{x}}{a} + 6 \left(\frac{\bar{x}}{a} \right)^2 - 4 \left(\frac{\bar{x}}{a} \right)^3 + \left(\frac{\bar{x}}{a} \right)^4 \right]$	$f = \frac{q a^3 (4l+3a)}{24 E I_y}$ $f_m = \frac{q a^2 l^2}{18 \sqrt{3} E I_y}$ in $x_m = \frac{l}{\sqrt{3}}$	$\alpha = \frac{q a^2 (l+a)}{6 E I_y}$ $\alpha_A = \frac{q a^2 l}{12 E I_y}$ $\alpha_B = \frac{q a^2 l}{6 E I_y}$

Passungen für das System Einheitsbohrung nach ISO 286- T2 (Auszug) in [µm]

Nennmaß in mm	Spiel-		Übergangs-			Über- maß-	Spiel-			Übergangs-			Über- maß-		
			Passungen							Passungen					
	H6	h5	j6	k6	n5	r5	H7	f7	g6	h6	k6	m6	n6	r6	s6
<3	+ 6 0	0 - 4	+ 4 - 2	+ 6 0	+ 8 + 4	+ 14 + 10	+10 0	- 6 - 16	- 2 - 8	0 - 6	+ 6 0	+ 8 + 2	+10 + 4	+ 16 + 10	+ 20 + 14
> 3– 6	+ 8 0	0 - 5	+ 6 - 2	+ 9 + 1	+13 + 8	+ 20 + 15	+12 0	- 10 - 22	- 4 - 12	0 - 8	+ 9 + 1	+12 + 4	+16 + 8	+ 23 + 15	+ 27 + 19
> 6– 10	+ 9 0	0 - 6	+ 7 - 2	+10 + 1	+16 +10	+ 25 + 19	+15 0	- 13 - 28	- 5 - 14	0 - 9	+10 + 1	+15 + 6	+19 +10	+ 28 + 19	+ 32 + 23
> 10– 18	+11 0	0 - 8	+ 8 - 3	+12 + 1	+20 +12	+ 31 + 23	+18 0	- 16 - 34	- 6 - 17	0 -11	+12 + 1	+18 + 7	+23 +12	+ 34 + 23	+ 39 + 28
> 18– 30	+13 0	0 - 9	+ 9 - 4	+15 + 2	+24 +15	+ 37 + 28	+21 0	- 20 - 41	- 7 - 20	0 -13	+15 + 2	+21 + 8	+28 +15	+ 41 + 28	+ 48 + 35
> 30– 50	+16 0	0 -11	+11 - 5	+18 + 2	+28 +17	+ 45 + 34	+25 0	- 25 - 50	- 9 - 25	0 -16	+18 + 2	+25 + 9	+33 +17	+ 50 + 34	+ 59 + 43
> 50– 65	+19 0	0 -13	+12 - 7	+21 + 2	+33 +20	+ 54 + 41	+30 0	- 30 - 60	- 10 - 29	0 -19	+21 + 2	+30 +11	+39 +20	+ 60 + 41	+ 72 + 53
> 65– 80						+ 56 + 43								+ 62 + 43	+ 78 + 59
> 80–100	+22 0	0 -15	+13 - 9	+25 + 3	+38 +23	+ 66 + 51	+35 0	- 36 - 71	- 12 - 34	0 -22	+25 + 3	+35 +13	+45 +23	+ 73 + 76	+ 93 +101
>100–120						+ 69 + 54								+ 51 + 54	+ 71 + 79
>120–140	+25 0					+ 81 + 63	+40 0							+ 88 + 90	+117 +125
>140–160		0 -18	+14 -11	+28 + 3	+45 +27	+ 83 + 65		- 43 - 83	- 14 - 39	0 -25	+28 + 3	+40 +15	+52 +27	+ 63 + 65	+ 92 +100
>160–180						+ 86 + 68								+ 93 + 68	+133 +108
>180–200	+29 0				+51 +31	+ 97 + 77	+46 0							+106 + 80	+151 +130
>200–225		0 -20	+16 -13	+33 + 4		+100 + 80		- 50 - 96	- 15 - 44	0 -29	+33 + 4	+46 +17	+60 +31	+109 + 80	+159 +130
>225–250						+104 + 84								+113 + 84	+169 +140
>250–280	+32 0	0 -23	+16 -16	+36 + 4	+57 +34	+117 + 94	+52 0	- 56 -108	- 17 - 49	0 -32	+36 + 4	+52 +20	+66 +34	+126 +130	+190 +202
>280–315						+121 + 98								+ 94 + 98	+158 +170
>315–355	+36 0	0 -25	+18 -18	+40 + 4	+62 +37	+133 +108	+57 0	- 62 -119	- 18 - 54	0 -36	+40 + 4	+57 +21	+73 +37	+144 +150	+226 +244
>355–400						+139 +114								+ 108 + 114	+190 +208
>400–450	+40 0	0 -27	+20 -20	+45 + 5	+67 +40	+153 +126	+63 0	- 68 -131	- 20 - 60	0 -40	+45 + 5	+63 +23	+80 +40	+166 +172	+272 +292
>450–500						+159 +132								+ 126 + 132	+232 +252

Nennmaß in mm	Spiel- Passungen					Übermaß-			Spiel- Passungen					Über- maß ¹⁾
	H8	d9	e8	f8	h9	s8	u8	x8	H11	a11	c11	d9	h11	z11
< 3	+14 0	- 20 - 45	- 14 - 28	- 6 - 20	0 - 25	+ 28 + 14	+ 32 + 18	+ 34 + 20	+ 60 0	-270 -330	- 60 -120	- 20 - 45	0 - 60	+ 86 + 26
> 3– 6	+18 0	- 30 - 60	- 20 - 38	- 10 - 28	0 - 30	+ 37 + 19	+ 41 + 23	+ 46 + 28	+ 75 0	-270 -345	- 70 -145	- 30 - 60	0 - 75	+ 110 + 35
> 6– 10	+22 0	- 40 - 76	- 25 - 47	- 13 - 35	0 - 36	+ 45 + 23	+ 50 + 28	+ 56 + 34	+ 90 0	-280 -370	- 80 -170	- 40 - 76	0 - 90	+ 132 + 42
> 10– 14	+27 0	- 50 - 93	- 32 - 59	- 16 - 43	0 - 43	+ 55 + 28	+ 60 + 33	+ 67 + 40	+110 0	-290 -400	- 95 -205	- 50 - 93	0 -110	+ 160 + 50
> 14– 18	+27 0	- 50 - 93	- 32 - 59	- 16 - 43	0 - 43	+ 55 + 28	+ 60 + 33	+ 72 + 45	+110 0	-290 -400	- 95 -205	- 50 - 93	0 -110	+ 170 + 60
> 18– 24	+33 0	- 65 - 117	- 40 - 73	- 20 - 53	0 - 52	+ 68 + 35	+ 74 + 41	+ 87 + 54	+130 0	-300 -430	- 110 -240	- 65 -117	0 -130	+ 203 + 73
> 24– 30	+33 0	- 65 - 117	- 40 - 73	- 20 - 53	0 - 52	+ 68 + 35	+ 81 + 48	+ 97 + 64	+130 0	-300 -430	- 110 -240	- 65 -117	0 -130	+ 218 + 88
> 30– 40	+39 0	- 80 - 142	- 50 - 89	- 25 - 64	0 - 62	+ 82 + 43	+ 99 + 60	+ 119 + 80	+160 0	-310 -470	- 120 -280	- 80 -142	0 -160	+ 272 + 112
> 40– 50	+39 0	- 80 - 142	- 50 - 89	- 25 - 64	0 - 62	+ 82 + 43	+ 109 + 70	+ 136 + 97	+160 0	-320 -480	- 130 -290	- 80 -142	0 -160	+ 296 + 136
> 50– 65	+46 0	- 100 - 174	- 60 - 106	- 30 - 76	0 - 74	+ 99 + 53	+ 133 + 87	+ 168 + 122	+190 0	-340 -530	- 140 -330	- 100 -174	0 -190	+ 362 + 172
> 65– 80	+46 0	- 100 - 174	- 60 - 106	- 30 - 76	0 - 74	+ 105 + 59	+ 148 + 102	+ 192 + 146	+190 0	-360 -550	- 150 -340	- 100 -174	0 -190	+ 408 + 210
> 80– 100	+54 0	- 120 - 207	- 72 - 126	- 36 - 90	0 - 87	+125 + 71	+ 178 + 124	+ 232 + 178	+220 0	-380 -600	- 170 -390	- 120 -207	0 -220	+ 478 + 258
> 100– 120	+54 0	- 120 - 207	- 72 - 126	- 36 - 90	0 - 87	+133 + 79	+ 198 + 144	+ 264 + 210	+220 0	-410 -630	- 180 -400	- 120 -207	0 -220	+ 530 + 310
> 120– 140	+63 0	- 145 - 245	- 85 - 148	- 43 - 106	0 - 100	+155 + 92	+ 233 + 170	+ 311 + 248	+250 0	-460 -710	- 200 -450	- 145 -245	0 -250	+ 615 + 365
> 140– 160	+63 0	- 145 - 245	- 85 - 148	- 43 - 106	0 - 100	+163 + 100	+ 253 + 190	+ 343 + 280	+250 0	-520 -770	- 210 -460	- 145 -245	0 -250	+ 665 + 415
> 160– 180	+63 0	- 145 - 245	- 85 - 148	- 43 - 106	0 - 100	+171 + 108	+ 273 + 210	+ 373 + 310	+250 0	-580 -830	- 230 -480	- 145 -245	0 -250	+ 715 + 465
> 180– 200	+72 0	- 170 - 285	- 100 - 172	- 50 - 122	0 - 115	+194 + 122	+ 308 + 236	+ 422 + 350	+290 0	-660 -950	- 240 -530	- 170 -285	0 -290	+ 810 + 520
> 200– 225	+72 0	- 170 - 285	- 100 - 172	- 50 - 122	0 - 115	+202 + 130	+ 330 + 258	+ 457 + 385	+290 0	-740 -1030	- 260 -550	- 170 -285	0 -290	+ 865 + 575
> 225– 250	+72 0	- 170 - 285	- 100 - 172	- 50 - 122	0 - 115	+212 + 140	+ 356 + 284	+ 497 + 425	+290 0	-820 -1110	- 280 -570	- 170 -285	0 -290	+ 930 + 640
> 250– 280	+81 0	- 190 - 320	- 110 - 191	- 56 - 137	0 - 130	+239 + 158	+ 396 + 315	+ 556 + 475	+320 0	-920 -1240	- 300 -620	- 190 -320	0 -320	+ 1030 + 710
> 280– 315	+81 0	- 190 - 320	- 110 - 191	- 56 - 137	0 - 130	+251 + 170	+ 431 + 350	+ 606 + 525	+320 0	-1050 -1370	- 330 -650	- 190 -320	0 -320	+ 1110 + 790
> 315– 355	+89 0	- 210 - 350	- 125 - 214	- 62 - 151	0 - 140	+279 + 190	+ 479 + 390	+ 679 + 590	+360 0	-1200 -1560	- 360 -720	- 210 -350	0 -360	+ 1260 + 900
> 355– 400	+89 0	- 210 - 350	- 125 - 214	- 62 - 151	0 - 140	+297 + 208	+ 524 + 435	+ 749 + 660	+360 0	-1350 -1710	- 400 -760	- 210 -350	0 -360	+ 1360 + 1000
> 400– 450	+97 0	- 230 - 385	- 135 - 232	- 68 - 165	0 - 155	+329 + 232	+ 587 + 490	+ 837 + 740	+400 0	-1500 -1900	- 440 -840	- 230 -385	0 -400	+ 1500 + 1100
> 450– 500	+97 0	- 230 - 385	- 135 - 232	- 68 - 165	0 - 155	+349 + 252	+ 637 + 540	+ 917 + 820	+400 0	-1650 -2050	- 480 -880	- 230 -385	0 -400	+ 1650 + 1250

¹⁾ für $N > 65$ mm Übermaßpassung
bis $N = 65$ mm Übergangspassung

Flächenträgheitsmomente

$I_y = \frac{bh^3}{12}$ $I_z = \frac{hb^3}{12}$ $W_y = \frac{bh^2}{6}$ $W_z = \frac{hb^2}{6}$	$I_y = I_z = \frac{a^4}{12}$ $W_y = W_z = \frac{a^3}{6}$ $I_{\bar{y}} = I_{\bar{z}} = \frac{a^4}{12}$ $W_{\bar{y}} = W_{\bar{z}} = \frac{\sqrt{2}}{12} a^3 = 0,118 a^3$
$I_y = I_z = \frac{5\sqrt{3}}{16} R^4 = 0,5413 R^4$ $W_y = \frac{5}{8} R^3 = 0,625 R^3$ $W_z = \frac{5\sqrt{3}}{16} R^3 = 0,5413 R^3$	$I_y = I_z = (1+2\sqrt{2}) \frac{R^4}{6} = 0,638 R^4$ $W_y = W_z = 0,6906 R^3$ $I_{\bar{y}} = I_{\bar{z}} = (1+2\sqrt{2}) \frac{R^4}{6} = 0,638 R^4$ $W_{\bar{y}} = W_{\bar{z}} = 0,638 R^3$
$I_y = \frac{bh^3}{36}$ $I_z = \frac{hb^3}{48}$ $W_y = \frac{bh^2}{24}$ für $e = \frac{2}{3} h$ $W_z = \frac{hb^2}{24}$	$I_y = \frac{h^3}{36} \frac{b_1^2 + 4b_1 b_2 + b_2^2}{b_1 + b_2}$ $W_y = \frac{h^2}{12} \frac{b_1^2 + 4b_1 b_2 + b_2^2}{2b_1 + b_2}$ für $e = \frac{h}{3} \frac{2b_1 + b_2}{b_1 + b_2}$
$I_y = I_z = \frac{\pi d^4}{64}$ $W_y = W_z = \frac{\pi d^3}{32}$	$I_y = I_z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$ $W_y = W_z = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D}$ bei geringer Wanddicke $\left(\frac{s}{d_m}\right)^2 \ll 1$: $I_y = I_z = \frac{\pi d_m^3 s}{8}, W_y = W_z = \frac{\pi d_m^2 s}{4}$
$I_y = \frac{\pi a^3 b}{4}$ $I_z = \frac{\pi b^3 a}{4}$ $W_y = \frac{\pi a^2 b}{4}$ $W_z = \frac{\pi b^2 a}{4}$	$I_y = \frac{\pi}{4} (a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2)$ $W_y = \frac{\pi (a_1^3 b_1 - a_2^3 b_2)}{4 a_1}$ bei geringer Wanddicke: $I_y = \frac{\pi a^2 (a+3b) s}{4}, W_y = \frac{\pi a (a+3b) s}{4}$
$I_y = \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right) r^4 = 0,1098 r^4$ $W_y = I_y/e = 0,1908 r^3$ für $e = \left(1 - \frac{4}{3\pi}\right) r = 0,5756 r$	$I_y = 0,1098(R^4 - r^4) - 0,283 R^2 r^2 \frac{R-r}{R+r}$ $W_{y,1,2} = I_y/e_{1,2}$ für $e_1 = \frac{4}{3\pi} \frac{R^2 + Rr + r^2}{R+r}$ bzw. $e_2 = R - e_1$

Allg. gilt

Polaares Flächenträgheitsmoment

$$I_y = \int_A z^2 \, dA$$

$$I_P = \int_A r^2 \, dA = I_y + I_z$$

$$I_z = \int_A y^2 \, dA$$

d.h. für den Kreis

$$W_{ax} = \frac{\pi}{32} D^3$$

$$W_p = 2 \cdot \frac{\pi}{32} D^3 = \frac{\pi}{16} D^3$$

für den Kreisring

$$W_{ax} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D}$$

$$W_p = 2 \cdot \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{(D^4 - d^4)}{D}$$

Metrisches Regelgewinde nach ISO DIN 13 T1

Gewinde-Nenn-durchmesser $d = D$	Steigung	Flanken-durch-messer	Kern-durchmesser		Gewindetiefe		Spannungs-querschnitt ¹⁾ A_s mm ²	
Reihe 1	Reihe 2	P	$d_f = D_f$	d_k	D_k	h	H	
1		0,25	0,838	0,693	0,729	0,153	0,135	0,460
1,2		0,25	1,038	0,893	0,929	0,153	0,135	0,732
1,6		0,35	1,373	1,170	1,221	0,215	0,189	1,27
2		0,4	1,740	1,509	1,567	0,245	0,217	2,07
2,5		0,45	2,208	1,948	2,013	0,276	0,244	3,39
3		0,5	2,675	2,387	2,459	0,307	0,271	5,03
	3,5	0,6	3,110	2,765	2,850	0,368	0,325	6,78
4		0,7	3,545	3,141	3,242	0,429	0,379	8,78
	4,5	0,75	4,013	3,580	3,688	0,460	0,406	11,3
5		0,8	4,480	4,019	4,134	0,491	0,433	14,2
6		1	5,350	4,773	4,917	0,613	0,541	20,1
8		1,25	7,188	6,466	6,647	0,767	0,677	36,6
	(9)	1,25	8,188	7,466	7,647	0,767	0,677	48,1
10		1,5	9,026	8,160	8,376	0,920	0,812	58,0
	(11)	1,5	10,026	9,160	9,376	0,920	0,812	72,3
12		1,75	10,863	9,853	10,106	1,074	0,947	84,3
	14	2	12,701	11,546	11,835	1,227	1,083	115
16		2	14,701	13,546	13,835	1,227	1,083	157

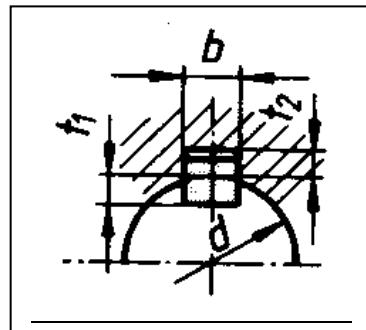
Passfedern nach DIN 6885:

Wellen-durch-messer d	Nutenkeile und Federn			
	Breite \times Höhe $b \times h$	Wellen-Nuttiefe	Nabennuttiefe für Keile	Nabennuttiefe für Federn
über ... bis			t_1	t_2
10 ... 12	4 × 4	2,5	1,2	1,8
12 ... 17	5 × 5	3	1,7	2,3
17 ... 22	6 × 6	3,5	2,2	2,8
22 ... 30	8 × 7	4	2,4	3,3
30 ... 38	10 × 8	5	2,4	3,3
38 ... 44	12 × 8	5	2,4	3,3
44 ... 50	14 × 9	5,5	2,9	3,8
50 ... 58	16 × 10	6	3,4	4,3
58 ... 65	18 × 11	7	3,4	4,4
65 ... 75	20 × 12	7,5	3,9	4,9
75 ... 85	22 × 14	9	4,4	5,4
85 ... 95	25 × 14	9	4,4	5,4
95 ... 110	28 × 16	10	5,4	6,4
110 ... 130	32 × 18	11	6,4	7,4
130 ... 150	36 × 20	12	7,1	8,4
150 ... 170	40 × 22	13	8,1	9,4
170 ... 200	45 × 25	15	9,1	10,4

Passfeder:

$$P_N = \frac{2M_t}{i \cdot k \cdot d \cdot (l - b) \cdot t_2} \leq P_{zul}$$

$$P_{zul} = \frac{R_e}{1,1 \dots 1,5}$$

**Wälzlagerberechnung**

Statische Tragfähigkeit: $P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$

Dynamische Tragfähigkeit: $\left(\frac{C}{P}\right)^p = \frac{L_{10}}{L_0}$