

Berthold Schlecht

# Maschinenelemente

Tabellen und Formelsammlung



Ertragbare Spannungsamplitude  $\sigma_A$

$$\sigma_{A,SV} \approx 0,75 \cdot \left( \frac{180}{d} + 52 \right) \quad [\text{N/mm}^2] \tag{8.83}$$

$$\sigma_{A,SG} \approx 0,75 \cdot \left( \frac{180}{d} + 52 \right) \cdot \left( 2 - \frac{F_V}{F_{0,2}} \right) \quad [\text{N/mm}^2] \tag{8.84}$$

- $\sigma_a$       Spannungsamplitude  $[\text{N/mm}^2]$
- $\Phi$         Kraftverhältnis  $[-]$
- $F_{SAa}$     Kraftamplitude  $[\text{N}]$
- $A_3$       Kernquerschnitt  $[\text{mm}^2]$
- $F_{Ao}$      oberer Grenzwert der Kraft  $[\text{N}]$
- $F_{Au}$      unterer Grenzwert der Kraft  $[\text{N}]$
- $\sigma_A$      ertragbare Spannungsamplitude  $[\text{N/mm}^2]$
- $\sigma_{A,SV}$     ertragbare Spannungsamplitude schlussvergüteter Gewinde  $[\text{N/mm}^2]$
- $\sigma_{A,SG}$     ertragbare Spannungsamplitude schlussgewalzter Gewinde  $[\text{N/mm}^2]$
- $F_V$       Vorspannkraft  $[\text{N}]$
- $F_{0,2}$      Schraubenkraft an der Mindestdehngrenze  $R_{p0,2}$  des Werkstoffes  $[\text{N}]$

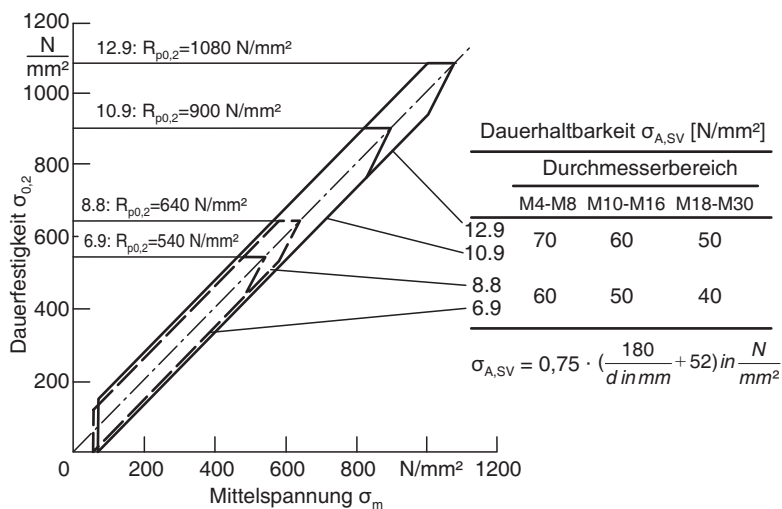
Die Gültigkeit von (8.83) und (8.84) ist auf den Bereich  $0,2 \cdot F_{0,2} < F_V < 0,8 \cdot F_{0,2}$  beschränkt.

Anhaltswerte für die Ausschlagdauerfestigkeit zugbelasteter Schrauben

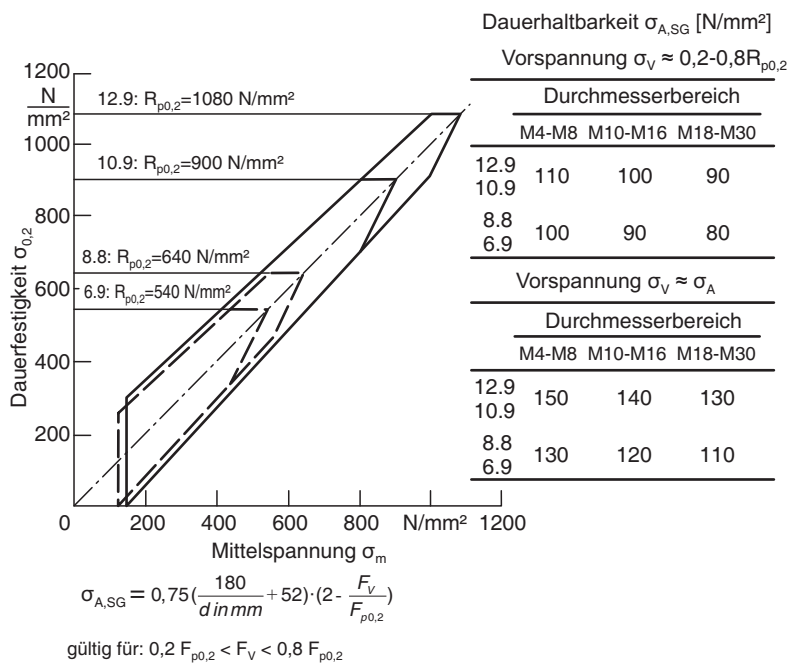
Herstellung	Geschnitten und vergütet, gerollt und vergütet			Vergütet und dann gerollt		Vergütet, geschliffen und im Kern nachgedrückt	
Festigkeitsklasse	5.6	8.8	10.9 und 12.9	8.8	10.9 und 12.9	10.9	12.9
$\sigma_A$	30 ... 40	50	60	90	100	140	170

$\sigma_A$  erhöht sich für Zugmuttern um 20 %, übergreifende Muttern um 5 % und ringförmig eingedrehte Muttern um 10 %. Für Schrauben < M8 kann  $\sigma_A$  um  $\sim 10 \text{ N/mm}^2$  erhöht werden, für Schrauben > M18 wird  $\sigma_A$  um ca.  $10 \text{ N/mm}^2$  kleiner.

## Dauerfestigkeit schlussvergüteter Schrauben



## Dauerfestigkeit schlussgerollter Schrauben



8.5.6 Einhaltung der Flächenpressung an der Schraubenkopf- und Mutterauflage sowie im Gewinde

Flächenpressung

$$p = f_a \cdot \frac{F_{Smax}}{A_p} = \frac{F_M + \Phi \cdot F_A}{A_p} \approx \frac{F_M}{0,9 \cdot A_p} \leq p_G$$
 (8.85)

mit

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_a^2) \quad \text{für } d_h < d_a$$
 (8.86)

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_h^2) \quad \text{für } d_h > d_a$$
 (8.87)

- $p$  Flächenpressung [N/mm<sup>2</sup>]
- $p_G$  zulässige Grenzflächenpressung [N/mm<sup>2</sup>]
- $f_a$  Anziehungsfaktor [–]
- $F_{Smax}$  maximale Schraubenkraft [N]
- $A_p$  Querschnitt [mm<sup>2</sup>]
- $F_M$  Montagevorspannkraft [N]
- $\Phi$  Kraftverhältnis [–]
- $F_A$  Betriebskraft [N]
- $d_w$  Durchmesser der Kopfauflage [mm]
- $d_a$  Innendurchmesser der ebenen Kopfauflage [mm]
- $d_h$  Durchmesser des Durchgangsloches [mm]

Zulässige Grenzflächenpressung

Werkstoffgruppe	Werkstoffkurzname	$R_{p0,2,min}$ in N/mm <sup>2</sup>	Grenzflächenpres- sung $p_G$ in N/mm <sup>2</sup>
Baustähle	S235JRG1	230	490
	S355JO	355	760
Vergütungsstähle	34CrMo4	800	870
	16MnCr5	850	900
Gusseisen	GJL-250	--- ( $R_m = 250$ )	900
	GJS-400-15	250	700
Al-Knetlegierung	AlMgSiIF28	200	230
	AlZnMgCu I,5	470	410
Magnesiumlegierung	GD-AZ91 (MgA19Znl)	150	180

Mindesteinschraubtiefe

	Empfohlene Einschraubtiefe				
Festigkeitsklasse	8.8	8.8	10.9	10.9	12.9
Gewindefeinheit $d / P$	< 9	$\geq 9$	< 9	$\geq 9$	< 9
AlCuMg 1 F40	$1,1 \cdot d$	$1,40 \cdot d$	–		
EN-GJL-250	$1,0 \cdot d$	$1,25 \cdot d$	$1,4 \cdot d$		
S235, Ck15	$1,0 \cdot d$	$1,25 \cdot d$	$1,4 \cdot d$		
E295, C35	$0,9 \cdot d$	$1,00 \cdot d$	$1,2 \cdot d$		
Stahl vergütet, $R_m > 800 \text{ MPa}$	$0,8 \cdot d$	$0,90 \cdot d$	$1,0 \cdot d$		

8.5.7 Beanspruchbarkeit von Schrauben im Kran- und Stahlbau  
(als Überschrift formatieren)

benötigter Spannungsquerschnitt

$$A_S \geq \frac{F_{z,d}}{\sigma_{z,d \text{ zul}}} \quad \text{mit} \quad \sigma_{z,d \text{ zul}} = \frac{R_{p0,2}}{S} \quad (8.88)$$

$A_S$  Spannungsquerschnitt [ $\text{mm}^2$ ]

$F_{z,d}$  einwirkende Zug- oder Druckkraft [ $\text{N}$ ]

$R_{p0,2}$  Dehngrenze des Schraubenwerkstoffes [ $\text{N/mm}^2$ ]

$S$  Sicherheitsfaktor [–]

$S = 1,5$  bis  $2,0$  bei Anziehen unter Last

$S = 1,25$  bis  $1,5$  in allen anderen Fällen

Kraftamplitude

$$F_{SAa} = \frac{F_{Ao} - F_{Au}}{2} \quad (8.89)$$

$F_{SAa}$  Kraftamplitude [ $\text{N}$ ]

$F_{Ao}$  oberer Grenzwert der Kraft [ $\text{N}$ ]

$F_{Au}$  unterer Grenzwert der Kraft [ $\text{N}$ ]

zulässige Scherspannung

$$\tau_{a,zul} = \alpha_a \cdot \frac{R_m}{S_M} \tag{8.91}$$

- $\tau_{a,zul}$  zulässige Scherspannung [N/mm<sup>2</sup>]
- $R_m$  Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes [N/mm<sup>2</sup>]
- $S_m$  Teilsicherheitsbeiwert ( $S_m = 1,1$ )
- $\alpha_a$  Beiwert
  - $\alpha_a = 0,60$  für Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6, 5.6 und 8.8
  - $\alpha_a = 0,55$  für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9
  - $\alpha_a = 0,44$  wenn eine Scherfuge im Gewinde vorliegt

zulässige Lochleibungsspannung

$$\sigma_{l,zul} = \alpha_1 \cdot \frac{R_e}{S_M} \tag{8.92}$$

- $\sigma_{l,zul}$  zulässige Lochleibungsspannung
- $R_e$  Streckgrenze der Bauteilwerkstoffe (z.B. S235 und S355 im Stahlbau)
- $S_m$  Teilsicherheitsbeiwert ( $S_m = 1,1$ )
- $\alpha_1$  Abstandsfaktor nach [8.15]

Abstandsfaktor  $\alpha_1$  für Schraubenlöcher in Stahlkonstruktionen nach DIN 18800

Abstandsfaktor $\alpha_1$ <sup>1)</sup>	Randabstand in Kraftrichtung ist maßgebend	Lochabstand in Kraftrichtung ist maßgebend
$e_2 \geq 1,5 \cdot d$ und $e_3 \geq 3,0 \cdot d$	$\alpha_1 = 1,1 \cdot e_1/d - 0,3$	$\alpha_1 = 1,08 \cdot e/d - 0,77$
$e_2 = 1,2 \cdot d$ und $e_3 = 2,4 \cdot d$	$\alpha_1 = 0,73 \cdot e_1/d - 0,2$	$\alpha_1 = 0,72 \cdot e/d - 0,51$

<sup>1)</sup> Für Zwischenwerte von  $e_2$  und  $e_3$  darf linear interpoliert werden.

Tabelle 8.15: Abstandsfaktor  $\alpha_1$  für Schraubenlöcher in Stahlbaukonstruktionen nach DIN 18800

- $e_i$  Lochabstände nach [6.1]

Zur Berechnung von  $\alpha_1$  darf der Randabstand in Kraftrichtung  $e_1$  höchstens mit  $3 \cdot d$  und der Lochabstand in Kraftrichtung  $e$  höchstens mit  $3,5 \cdot d$  in Rechnung gestellt werden. Es ist stets zu untersuchen, ob der Randabstand  $e_1$  oder der Lochabstand  $e$  den kleineren Wert  $\alpha_1$  ergibt.

### Zulässige Spannungen für Verbindungsmittel im Kranbau nach DIN 15018 beim allgemeinen Spannungsnachweis

Spannungsart		Passschrauben nach DIN 7968				Rohe Schrauben nach DIN 7990			
		4.6 für Bauteile aus S35		5.6 für Bauteile aus S355		4.6 für Bauteile aus S35		5.6 für Bauteile aus S355	
		H	HZ	H	HZ	H	HZ	H	HZ
Abscheren $\tau_{a,zul}$	einschnittig mehrschnittig	84 112	96 128	126 168	144 192	70	80	70	80
Lochleibung $\sigma_{a,zul}$	einschnittig mehrschnittig	210 280	240 320	315 420	360 480	160	180	160	180
Zugspannung $\sigma_{zul}$		100	110	140	154	100	110	140	154

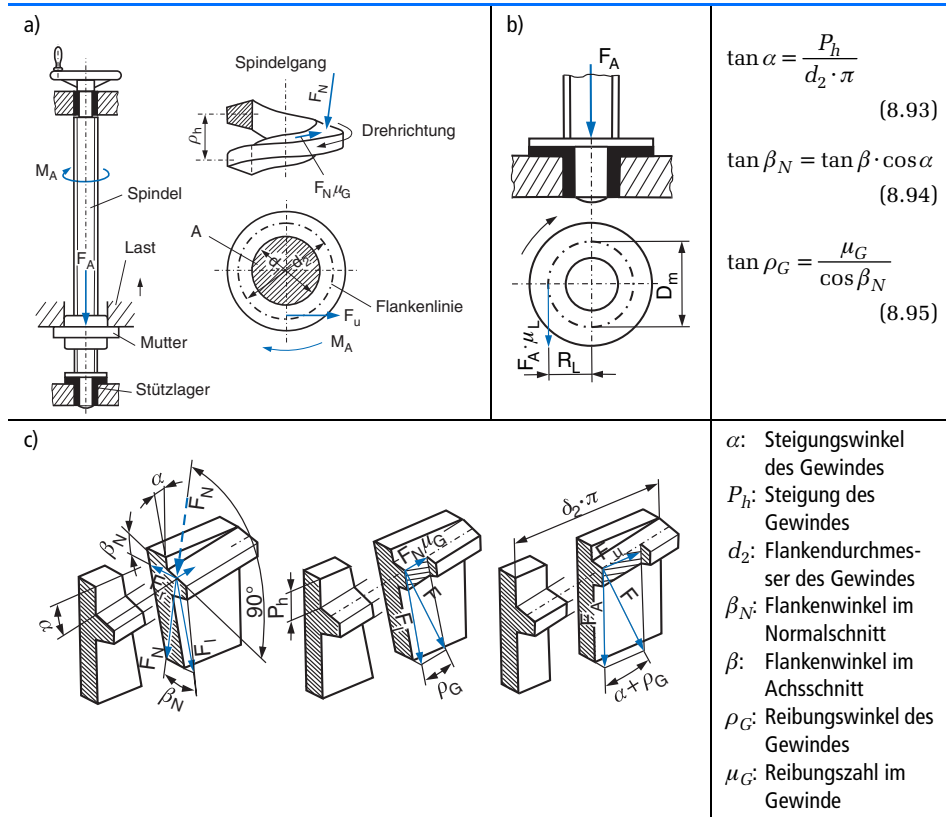
### Anhaltswerte zulässiger Spannungen für quer beanspruchte Schraubenverbindungen im Maschinenbau

Lastfall	Ruhend	Schwellend	Wechselnd
Zulässige Scherspannung $\tau_{a,zul}$ Für Spannhülsen $\approx 300 \text{ N/mm}^2$ unabhängig vom Lastfall	$\approx 0,6 \cdot R_e$	$\approx 0,5 \cdot R_e$	$\approx 0,4 \cdot R_e$
	$R_e$ : Streckgrenze des Schrauben- bzw. Scherbolzenwerkstoffes		
Zulässige Lochleibung $\sigma_{a,zul}$ Für Grauguss etwa doppelte Werte	$\approx 0,75 \cdot R_m$ oder $\approx 1,2 \cdot R_e$	$\approx 0,60 \cdot R_m$ oder $\approx 0,9 \cdot R_e$	
	$R_e$ und $R_m$ : Streckgrenze und Zugfestigkeit des Schrauben-, Bauteil- oder Scherelementwerkstoffes		



## 8.6 Bewegungsschrauben und Spindeln

## Lastheben mit einer Bewegungsschraube



### 8.6.1 Kinematik der Bewegungsschraube

## Antriebsmoment

$$M_t = M_{GN} + M_{GR} \quad (8.96)$$

 $M_t$      Antriebsmoment [Nm] $M_{GN}$  Nutzmoment [Nm] $M_{GR}$  Reibungsmoment [Nm]

## Nutzmoment

$$M_{GN} = F_A \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\alpha \pm \rho_G) \quad (8.97)$$

 $M_{GN}$  Nutzmoment [Nm]

$F_A$  axial wirkende Längskraft [N]

$d_2$  Flankendurchmesser [mm]

$\alpha$  Steigungswinkel [°]

$\rho_G$  Reibungswinkel [°]

### Wirkungsgrad

Drehbewegung in Längsbewegung (Arbeitshub)

$$\eta_A = \frac{\tan \alpha}{\tan (\alpha + \rho_G)} \quad (8.99)$$

Längsbewegung in Drehbewegung (Rückhub)

$$\eta_R = \frac{\tan (\alpha - \rho_G)}{\tan \alpha} \quad (8.100)$$

$\eta_A, \eta_R$  Wirkungsgrad [–]

$\alpha$  Steigungswinkel [°]

$\rho_G$  Reibungswinkel [°]

Damit eine Längs- in eine Drehbewegung umgewandelt werden kann, darf keine Selbsthemmung vorliegen, d. h. der Steigungswinkel  $\alpha$  muss stets größer als der Reibungswinkel  $\rho_G$  sein.

## 8.6.2 Auslegung und Berechnung von Spindel und Mutter

### Erforderlicher Kernquerschnitt bei Bewegungsschrauben ohne Knickgefahr

$$A_3 \geq \frac{F}{\sigma_{z,d \text{ zul}}} \quad (8.101)$$

$A_3$  Kernquerschnitt [mm<sup>2</sup>]

$F$  Axialkraft [N]

$\sigma_{z,d \text{ zul}}$  zulässige Zug- bzw. Druckspannung [N/mm<sup>2</sup>]

### Zug- bzw. Druckbeanspruchung

$$\sigma_{z,d} = \frac{F}{A_3} \leq \sigma_{z,d \text{ zul}} \quad (8.104)$$

$\sigma_{z,d}$  Zug- bzw. Druckspannung [N/mm<sup>2</sup>]

$F$  wirkende Zug- bzw. Druckkraft [N]

$A_3$  Kernquerschnitt [mm<sup>2</sup>]

$\sigma_{z,d \text{ zul}}$  zulässige Zug- bzw. Druckspannung (nach [8.18]) [N/mm<sup>2</sup>]

## Torsionsbeanspruchung

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_p} = \frac{16 \cdot M_t}{\pi \cdot d_3^3} \leq \tau_{t,zul} \quad (8.103)$$

$\tau_t$	Torsionsspannung [ $N/mm^2$ ]
$M_t$	eingeleitetes Drehmoment [ $N/mm^2$ ]
$W_p$	polares Widerstandsmoment [ $N/mm^2$ ]
$d_3$	Kerndurchmesser [ $mm$ ]
$\tau_{t,zul}$	zulässige Torsionsspannung (nach [8.18]) [ $N/mm^2$ ]

## Vergleichsspannung

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{z,d}^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_t)^2} \leq \sigma_{v,zul} \quad (8.105)$$

$\sigma_v$	Vergleichsspannung [ $N/mm^2$ ]
$\sigma_{v,zul}$	zulässige Vergleichsspannung [ $N/mm^2$ ]
$\sigma_{z,d}$	Zug- bzw. Druckspannung [ $N/mm^2$ ]
$\tau_t$	Torsionsspannung [ $N/mm^2$ ]
$\alpha_0$	Anstrengungsverhältnis [–]

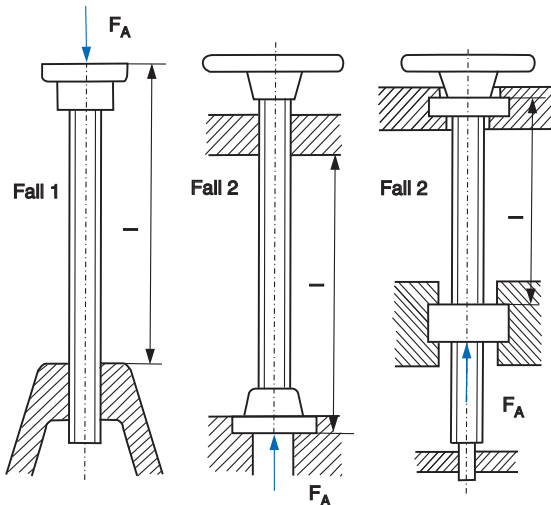
Das Anstrengungsverhältnis  $\alpha_0$  zur Umwertung der Torsions- in eine Zug- bzw. Druckspannung ist bei schwellender Belastung mit  $\alpha_0 = 1$  anzunehmen. In allen anderen Fällen beträgt  $\alpha_0 = 0,7$ .

## Erforderlicher Kerndurchmesser bei Bewegungsschrauben mit Knickgefahr

$$d_3 \geq \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F \cdot S \cdot l_K^2}{\pi^3 \cdot E}} \quad (8.102)$$

$d_3$	Kerndurchmesser [ $mm$ ]
$F$	Druckkraft [ $N$ ]
$S$	Knicksicherheit [–]
$l_K$	Knicklänge [ $mm$ ]
$E$	Elastizitätsmodul [ $N/mm^2$ ]

## Knickfälle für Bewegungsschrauben bzw. Spindeln



Schlankheitsgrad der Spindel:

$$\lambda = \frac{4 \cdot l_k}{d_3} \quad (8.108)$$

Knickspannung nach Euler (elastisch,  $\lambda \geq \lambda_0 = 105$  für S235 und  $\lambda \geq \lambda_0 = 89$  für E295 und E335):

$$\sigma_K = \frac{E \cdot \pi^2}{\lambda^2} \quad (8.109)$$

Knickspannung nach Tetmajer (unelastisch,  $\lambda < \lambda_0 = 105$  für S235):

$$\sigma_K = 310 - 1,14 \cdot \lambda \quad (8.110)$$

Knickspannung nach Tetmajer (unelastisch,  $\lambda < \lambda_0 = 89$  für E295 und E335):

$$\sigma_K = 335 - 0,62 \cdot \lambda \quad (8.111)$$

## Knicksicherheit

$$S = \frac{\sigma_K}{\sigma_{vorh}} \geq S_{erf} \quad (8.106)$$

- $S$  Knicksicherheit [–]  
 $\sigma_K$  Knickspannung [ $N/mm^2$ ]  
 $\sigma_{vorh}$  vorhandene Spannung [ $N/mm^2$ ]  
 $S_{erf}$  erforderliche Knicksicherheit [–]

Bei elastischer Knickung sollte sich die erforderliche Knicksicherheit im Bereich von  $S_{erf} \approx 3 \dots 6$  bewegen. Bei unelastischer Knickung liegt der Bereich bei  $S_{erf} \approx 4 \dots 2$  mit abnehmendem Schlankheitsgrad. Bei Schlankheitsgraden  $\lambda < 20$  kann der Nachweis der Knicksicherheit entfallen.

## Zulässige Vergleichsspannung

	Beanspruchung	Schwellend	Wechselnd
Zulässige Vergleichsspannung $\sigma_{v,zul}$ Zulässige Zug-/Druck-Spannung $\sigma_{z,d zul}$ $R_m$ : Zugfestigkeit des Spindelwerkstoffes	Trapezgewinde	$\approx 0,20 \cdot R_m$	$\approx 0,13 \cdot R_m$
	Sägewinde	$\approx 0,25 \cdot R_m$	$\approx 0,16 \cdot R_m$

[8.18]

Mittlere Reibungszahlen für Bewegungsgewinde

Werkstoff der Mutter	Schmierung	Reibungszahlen Gewinde		Reibungszahlen Lagerung
		der Ruhe $\mu_{G0}$	der Bewegung $\mu_G$	
Bronze, Rotguss	Fett	0,24 (0,35)	0,12 (0,15)	$\mu_L \approx \mu_G$ bei Gleitlagerung $\mu_L \approx 0,0013$ bis 0,004 für Axial-Wälzlager, bei Anlaufreibung ca. doppelte Werte
Bronze, Rotguss	Fett/Öl	0,19	0,08	
Polyamid PA6	Fett	0,19 (0,23)	0,07 (0,10)	

Mittlere Reibungszahlen für Bewegungsgewinde bei geschliffenen Spindeln aus Stahl ( $R_a = 0,4 \text{ }\mu\text{m}$ ) im eingelaufenen Zustand (Werte in Klammern bei Betriebsbeginn und nach Verschleiß)

Flächenpressung an den Gewindeflanken

$$p = \frac{F \cdot P}{l_1 \cdot d_2 \cdot \pi \cdot H_1} \leq p_{zul}$$

(8.107)

- $p$

Flächenpressung [N/mm<sup>2</sup>]
- $p_{zul}$

zulässige Flächenpressung [N/mm<sup>2</sup>]
- $F$

Axialkraft [N]
- $P$

Gewindeteilung [–]
- $l_1$

Länge des Mutterngewindes [mm]
- $d_2$

Flankendurchmesser [mm]
- $H_1$

Flankenüberdeckung [–]

Zulässige Flächenpressungen

Werkstoff-paarung	Stahl Stahl	Stahl Grau- guss	Stahl Bronze	Stahl gehärtet Bronze	Stahl – Kunststoff	
					$v = 30 \text{ m/min}$	$v = 10 \text{ m/min}$
Dauerbetrieb	8	5	10	15	2	5
Aussetzbetrieb	12	8	15	22	3	8
Seltener Betrieb	16	10	20	30	4	10

# Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: [info@pearson.de](mailto:info@pearson.de)

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.**

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

**<http://ebooks.pearson.de>**