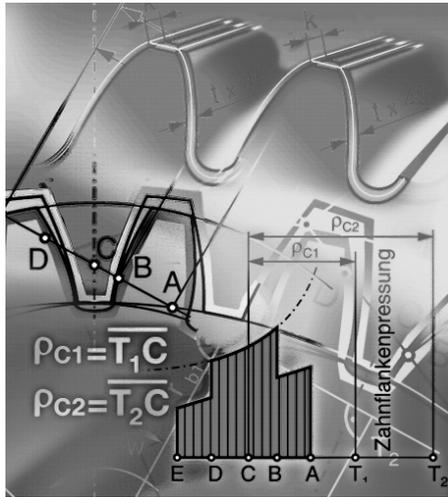


Berthold Schlecht

# Maschinenelemente

Tabellen und Formelsammlung



**Berthold Schlecht**

# Maschinenelemente

Tabellen und Formelsammlung




---

Higher Education  
 München • Harlow • Amsterdam • Madrid • Boston  
 San Francisco • Don Mills • Mexico City • Sydney  
 a part of Pearson plc worldwide

Ertragbare Spannungsamplitude  $\sigma_A$ 

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

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

|                 |   |
|-----------------|---|
| $\sigma_a$      | 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 [ $\text{N}$ ] |

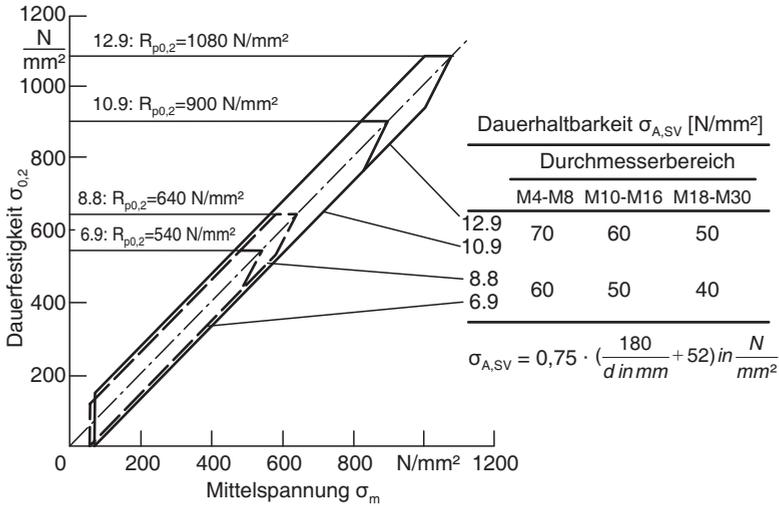
Die Gültigkeit von (8.83) und (8.84) ist auf den Bereich  $0,2 \cdot F_{0,2} < F_V < 0,8 \cdot F_{0,2}$  beschränkt.

## Anhaltswerte für die Ausschlagdauerfestigkeit zugbelasteter Schrauben

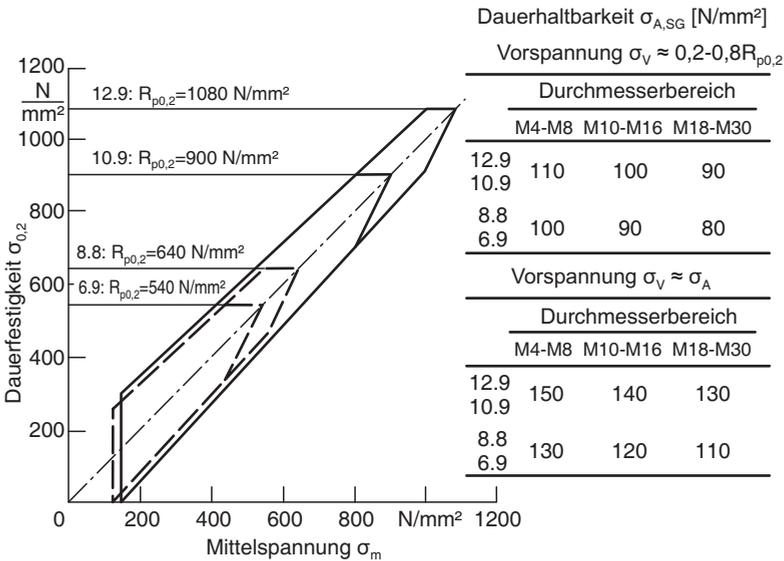
| Herstellung | Geschnitten und vergütet, gerollt und vergütet |     |               | Vergütet und dann gerollt |               | Vergütet, geschliffen und im Kern nachgedrückt |      |
|-------------|--|-----|---------------|---------------------------|---------------|--|------|
|             | 5.6  | 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 Zugmutter um 20 %, übergreifende Mutter um 5 % und ringförmig eingedrehte Mutter um 10 %. Für Schrauben  $< \text{M8}$  kann  $\sigma_A$  um  $\sim 10 \text{ N/mm}^2$  erhöht werden, für Schrauben  $> \text{M18}$  wird  $\sigma_A$  um ca.  $10 \text{ N/mm}^2$  kleiner.

## Dauerfestigkeit schlussvergüteter Schrauben



## Dauerfestigkeit schlussgerollter Schrauben



$$\sigma_{A,SG} = 0,75 \left( \frac{180}{d \text{ in mm}} + 52 \right) \cdot \left( 2 - \frac{F_V}{F_{p0,2}} \right)$$

gültig für:  $0,2 F_{p0,2} < F_V < 0,8 F_{p0,2}$

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

#### Flächenpressung

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

mit

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

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

|               |  |
|---------------|--|
| $p$           | Flächenpressung [ $N/mm^2$ ]                     |
| $p_G$         | zulässige Grenzflächenpressung [ $N/mm^2$ ]      |
| $f_a$         | Anziehungsfaktor [-]                             |
| $F_{S_{max}}$ | maximale Schraubenkraft [ $N$ ]                  |
| $A_p$         | Querschnitt [ $mm^2$ ]                           |
| $F_M$         | 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  | $R_{p0,2,min}$<br>in $N/mm^2$ | Grenzflächenpressung $p_G$ in $N/mm^2$ |
|--------------------|--------------------|-------------------------------|--|
| Baustähle          | S235JRG1           | 230                           | 490                                    |
|                    | S355J0             | 355                           | 760                                    |
| Vergütungsstähle   | 34CrMo4            | 800                           | 870                                    |
|                    | 16MnCr5            | 850                           | 900                                    |
| Gusseisen          | GJL-250            | --- ( $R_m = 250$ )           | 900                                    |
|                    | GJS-400-15         | 250                           | 700                                    |
| Al-Knetlegierung   | AlMgSiF28          | 200                           | 230                                    |
|                    | AlZnMgCu 1,5       | 470                           | 410                                    |
| Magnesiumlegierung | GD-AZ91 (MgA19ZnI) | 150                           | 180                                    |

## Mindesteinschraubtiefe

| Festigkeitsklasse               | Empfohlene Einschraubtiefe |                |      |               |      |
|---------------------------------|----------------------------|----------------|------|---------------|------|
|                                 | 8.8                        | 8.8            | 10.9 | 10.9          | 12.9 |
| Gewindefinheit $d/P$            | < 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, $R_m > 800$ 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 [ $mm^2$ ]

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

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

$S$  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 [ $N$ ]

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

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

## zulässige Scherspannung

$$\tau_{a,zul} = \alpha_a \cdot \frac{R_m}{S_M} \quad (8.91)$$

$\tau_{a,zul}$  zulässige Scherspannung [ $N/mm^2$ ]

$R_m$  Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes [ $N/mm^2$ ]

$S_m$  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

$$\sigma_{l,zul} = \alpha_1 \cdot \frac{R_e}{S_M} \quad (8.92)$$

$\sigma_{l,zul}$  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 Krafrichtung ist maßgebend | Lochabstand in Krafrichtung 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 Krafrichtung  $e_1$  höchstens mit  $3 \cdot d$  und der Lochabstand in Krafrichtung  $e$  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<br>$\tau_{a,zul}$     | einschnittig<br>mehrschnittig | 84                          | 96  | 126                       | 144 | 70                           | 80  | 70                        | 80  |
|                                 |                               | 112                         | 128 | 168                       | 192 |                              |     |                           |     |
| Lochleibung<br>$\sigma_{a,zul}$ | einschnittig<br>mehrschnittig | 210                         | 240 | 315                       | 360 | 160                          | 180 | 160                       | 180 |
|                                 |                               | 280                         | 320 | 420                       | 480 |                              |     |                           |     |
| Zugspannung<br>$\sigma_{zul}$   |                               | 100                         | 110 | 140                       | 154 | 100                          | 110 | 140                       | 154 |

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

| Lastfall  | Ruhend   | Schwellend  | Wechselnd               |
|---|--|---|-------------------------|
| Zulässige Scherspannung $\tau_{a,zul}$<br>Für Spannhülsen $\approx 300 \text{ N/mm}^2$<br>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. Scherbuchsenwerkstoffes                                       |   |                         |
| Zulässige Lochleibung $\sigma_{a,zul}$<br>Für Grauguss etwa doppelte Werte  | $\approx 0,75 \cdot R_m$ oder<br>$\approx 1,2 \cdot R_e$   | $\approx 0,60 \cdot R_m$ 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

|           |   |
|-----------|---|
| <p>a)</p> | <p>b)</p> <div style="margin-top: 20px;"> <math display="block">\tan \alpha = \frac{P_h}{d_2 \cdot \pi} \quad (8.93)</math> <math display="block">\tan \beta_N = \tan \beta \cdot \cos \alpha \quad (8.94)</math> <math display="block">\tan \rho_G = \frac{\mu_G}{\cos \beta_N} \quad (8.95)</math> </div>   |
| <p>c)</p> | <p><math>\alpha</math>: Steigungswinkel des Gewindes<br/> <math>P_h</math>: Steigung des Gewindes<br/> <math>d_2</math>: Flankendurchmesser des Gewindes<br/> <math>\beta_N</math>: Flankenwinkel im Normalschnitt<br/> <math>\beta</math>: Flankenwinkel im Achsschnitt<br/> <math>\rho_G</math>: Reibungswinkel des Gewindes<br/> <math>\mu_G</math>: Reibungszahl im Gewinde</p> |

### 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 [-]

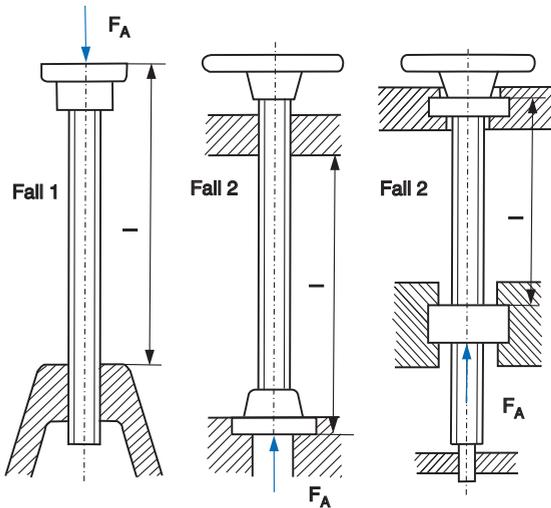
Das Anstrengungsverhältnis  $\alpha_0$  zur Umwertung der Torsions- in eine Zug- bzw. Druckspannung ist bei schwellender Belastung mit  $\alpha_0 = 1$  anzunehmen. In allen anderen Fällen beträgt  $\alpha_0 = 0,7$ .

## 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 $\sigma_{v,zul}$<br>Zulässige Zug-/Druck-Spannung $\sigma_{z,d,zul}$<br>$R_m$ : 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]

# 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>**