

Berthold Schlecht

Maschinenelemente

Tabellen und Formelsammlung

Ertragbare Spannungsamplitude σ_A

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

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

σ_a Spannungsamplitude [N/mm^2]

Φ Kraftverhältnis [-]

F_{SAa} Kraftamplitude [N]

A_3 Kernquerschnitt [mm^2]

F_{Ao} oberer Grenzwert der Kraft [N]

F_{Au} unterer Grenzwert der Kraft [N]

σ_A ertragbare Spannungsamplitude [N/mm^2]

$\sigma_{A,SV}$ ertragbare Spannungsamplitude schlussvergüteter Gewinde [N/mm^2]

$\sigma_{A,SG}$ ertragbare Spannungsamplitude schlussgewalzter Gewinde [N/mm^2]

F_V Vorspannkraft [N]

$F_{0,2}$ Schraubenkraft an der Mindestdehngrenze $R_{p0,2}$ des Werkstoffes [N]

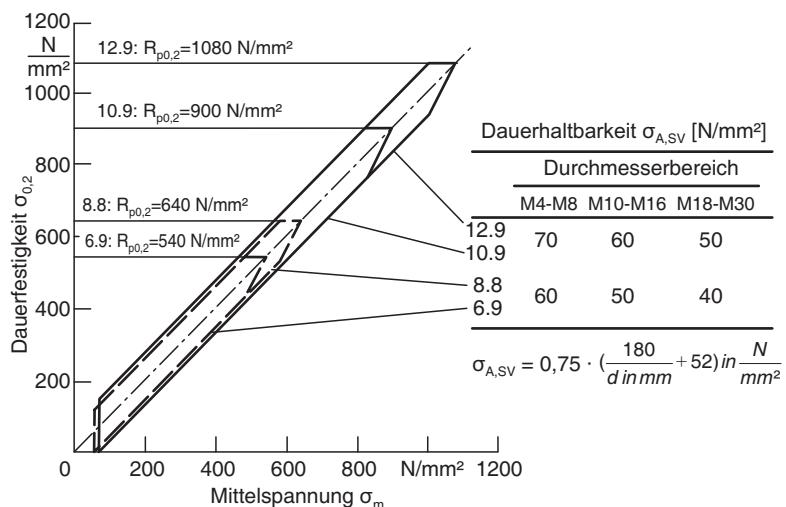
Die Gültigkeit von (8.83) und (8.84) ist auf den Bereich $0,2 \cdot F_{0,2} < F_V < 0,8 \cdot F_{0,2}$ beschränkt.

Anhaltswerte für die Ausschlagdauerfestigkeit zugbelasteter Schrauben

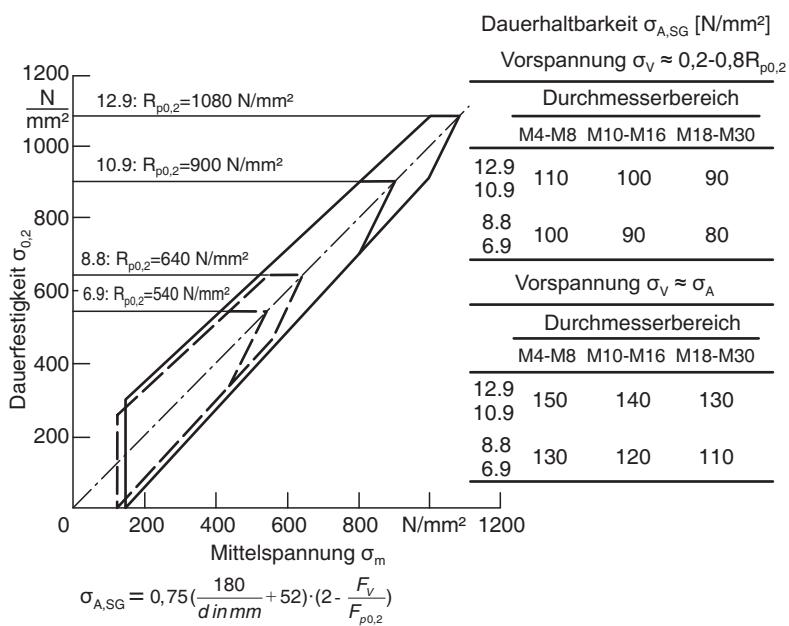
Herstellung	Geschnitten und vergütet, gerollt und vergütet			Vergütet und dann gerollt		Vergütet, geschliffen und im Kern nachgedrückt	
Festigkeitsklasse	5.6	8.8	10.9 und 12.9	8.8	10.9 und 12.9	10.9	12.9
σ_A	30 ... 40	50	60	90	100	140	170

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

Dauerfestigkeit schlussvergüteter Schrauben



Dauerfestigkeit schlussgerollter Schrauben



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 Anziehfaktor [-]

$F_{S\max}$ maximale Schraubenkraft [N]

A_p Querschnitt [mm^2]

F_M Montagevorspannkraft [N]

Φ Kraftverhältnis [-]

F_A Betriebskraft [N]

d_w Durchmesser der Kopfaulage [mm]

d_a Innendurchmesser der ebenen Kopfaulage [mm]

d_h Durchmesser des Durchgangsloches [mm]

Zulässige Grenzflächenpressung

Werkstoffgruppe	Werkstoffkurzname	$R_{p0,2,min}$ in N/mm^2	Grenzflächenpressung p_G in N/mm^2
Baustähle	S235JRG1 S355JO	230 355	490 760
Vergütungsstähle	34CrMo4 16MnCr5	800 850	870 900
Gusseisen	GJL-250 GJS-400-15	--- ($R_m = 250$) 250	900 700
Al-Knetlegierung	AlMgSiF28 AlZnMgCu I,5	200 470	230 410
Magnesiumlegierung	GD-AZ91 (MgA19ZnI)	150	180

Mindesteinschraubtiefe

	Empfohlene Einschraubtiefe				
Festigkeitsklasse	8.8	8.8	10.9	10.9	12.9
Gewindefeinheit d / P	< 9	≥ 9	< 9	≥ 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 [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 ($S_m = 1,1$)

α_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 ($S_m = 1,1$)

α_1 Abstandsfaktor nach [8.15]

Abstandsfaktor α_1 für Schraubenlöcher in Stahlkonstruktionen nach DIN 18800

Abstandsfaktor α_1 ¹⁾	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 $e_3 = 2,4 \cdot d$	$\alpha_1 = 0,73 \cdot e_1/d - 0,2$	$\alpha_1 = 0,72 \cdot e/d - 0,51$

¹⁾ Für Zwischenwerte von e_2 und e_3 darf linear interpoliert werden.

Tabelle 8.15: Abstandsfaktor α_1 für Schraubenlöcher in Stahlbaukonstruktionen nach DIN 18800

e_i Lochabstände nach [6.1]

Zur Berechnung von α_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 α_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 Bau-teile aus S35		5.6 für Bau-teile aus S355		4.6 für Bau-teile aus S35		5.6 für Bau-teile 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 σ_{zul}		100	110	140	154	100	110	140	154

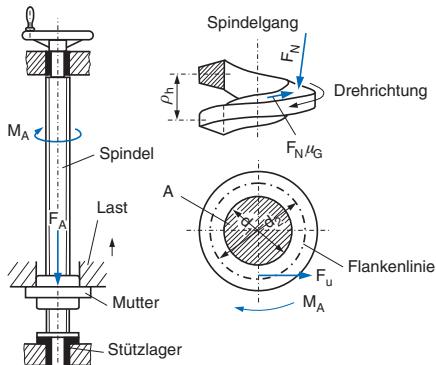
Anhaltswerte zulässiger Spannungen für quer beanspruchte Schraubenverbindungen im Maschinenbau

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. Scherbuchsenwerkstoffes			
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			

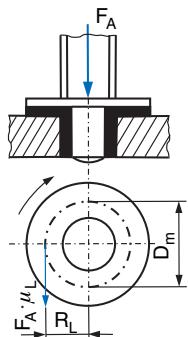
8.6 Bewegungsschrauben und Spindeln

Lastheben mit einer Bewegungsschraube

a)



b)

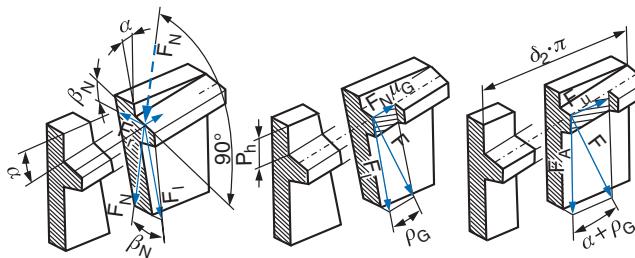


$$\tan \alpha = \frac{P_h}{d_2 \cdot \pi} \quad (8.93)$$

$$\tan \beta_N = \tan \beta \cdot \cos \alpha \quad (8.94)$$

$$\tan \rho_G = \frac{\mu_G}{\cos \beta_N} \quad (8.95)$$

c)



α : Steigungswinkel des Gewindestecks
 P_h : Steigung des Gewindestecks
 d_2 : Flankendurchmesser des Gewindestecks
 β_N : Flankenwinkel im Normalschnitt
 β : Flankenwinkel im Achsschnitt
 ρ_G : Reibungswinkel des Gewindestecks
 μ_G : Reibungszahl im Gewinde

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]

α Steigungswinkel [$^\circ$]

ρ_G Reibungswinkel [$^\circ$]

Wirkungsgrad

Drehbewegung in Längsbewegung (Arbeitshub)

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

Längsbewegung in Drehbewegung (Rückhub)

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

η_A, η_R Wirkungsgrad [-]

α Steigungswinkel [$^\circ$]

ρ_G Reibungswinkel [$^\circ$]

Damit eine Längs- in eine Drehbewegung umgewandelt werden kann, darf keine Selbsthemmung vorliegen, d. h. der Steigungswinkel α muss stets größer als der Reibungswinkel ρ_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^2]

F Axialkraft [N]

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

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^2]

F wirkende Zug- bzw. Druckkraft [N]

A_3 Kernquerschnitt [mm]

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

Torsionsbeanspruchung

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

- τ_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

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

- σ_v Vergleichsspannung [N/mm^2]
 $\sigma_{v,zul}$ zulässige Vergleichsspannung [N/mm^2]
 $\sigma_{z,d}$ Zug- bzw. Druckspannung [N/mm^2]
 τ_t Torsionsspannung [N/mm^2]
 α_0 Anstrengungsverhältnis [-]

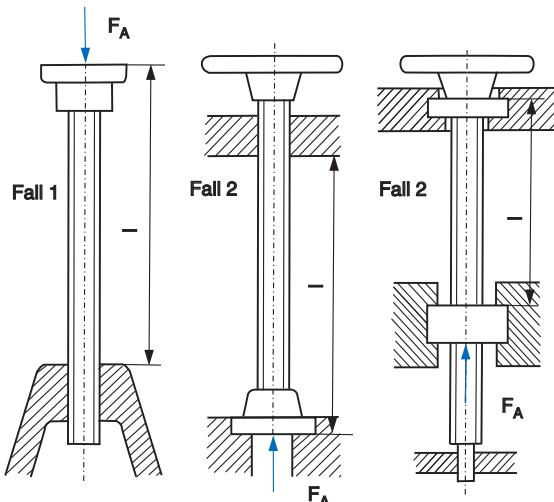
Das Anstrengungsverhältnis α_0 zur Umwertung der Torsions- in eine Zug- bzw. Druckspannung ist bei schwelender Belastung mit $\alpha_0 = 1$ anzunehmen. In allen anderen Fällen beträgt $\alpha_0 = 0,7$.

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 E355):

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

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 E355):

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

Knicksicherheit

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

S Knicksicherheit [–]

σ_K Knickspannung [N/mm^2]

σ_{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	[8.18]
Zulässige Vergleichsspannung $\sigma_{v,zul}$ Zulässige Zug-/Druck-Spannung $\sigma_{z,d,zul}$ R_m : Zugfestigkeit des Spindelwerkstoffes	Trapezgewinde	$\approx 0,20 \cdot R_m$	$\approx 0,13 \cdot R_m$	
	Sägengewinde	$\approx 0,25 \cdot R_m$	$\approx 0,16 \cdot R_m$	

Mittlere Reibungszahlen für Bewegungsgewinde

Werkstoff der Mutter	Schmierung	Reibungszahlen Gewinde		Reibungszahlen Lagerung
		der Ruhe μ_{G0}	der Bewegung μ_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-Wälz-lager, 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

$$p = \frac{F \cdot P}{l_1 \cdot d_2 \cdot \pi \cdot H_1} \leq p_{zul} \quad (8.107)$$

p Flächenpressung [N/mm^2]

p_{zul} zulässige Flächenpressung [N/mm^2]

F Axialkraft [N]

P Gewindeteilung [-]

l_1 Länge des Mutterngewindes [mm]

d_2 Flankendurchmesser [mm]

H_1 Flankenüberdeckung [-]

8

Zulässige Flächenpressungen

Werkstoff-paarung	Stahl Stahl	Stahl Grauguss	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

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>