

1 Werkstoffe

1.1 Werkstofftechnik

1.1.1 Definitionen

E-Modul, Elastizitätsmodul: $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ (Hooksche Gerade)

G-Modul, Schubmodul:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

Werkstoff	E-Modul E [kN/mm ²]	G-Modul G [kN/mm ²]	Querkontraktionszahl (Poissonzahl) ν
Stahl	210	80,7	0,3
Aluminium	70 (69-75)	26,3	0,33
Messing	90 (78-133)	32,8	0,37
Beton	30 (22-45)	12,5	0,20

Tab. 1.1 [2]

Belastungsarten:

Festigkeit:

Zug

$R_{p0,2}$ Streckgrenze (elastische Dehnung, keine bleibende Verformung) für Stahl mit höherer Festigkeit

R_{eff} obere Streckgrenze für kohlenstoffarmen (weichen) Stahl

R_{eL} untere Streckgrenze für kohlenstoffarmen (weichen) Stahl

R_e Streckgrenze für Leichtmetalle

R_m Zugfestigkeit (plastische Verformung, max. auftretende Spannung bezüglich Ausgangsdurchmesser)

A Bruchdehnung:

$$A[\%] = \frac{l_{Bruch} - l_0}{l_0}$$

Zug / Druck

σ_{zdW} Wechselfestigkeit für Zug - Druck:

$$\sigma_{zdW} \approx 0,4 \cdot R_m$$

σ_{zdSch} Schwellfestigkeit für Zug - Druck:

$$\sigma_{zdSch} \approx 2 \cdot \sigma_{zdW} \left(1 - \frac{\sigma_{zdW}}{2 \cdot R_m} \right)$$

Biegung

σ_{bW} Biegewechselfestigkeit:

$$\sigma_{bW} \approx 0,5 \cdot R_M$$

σ_{schW} Biegeschwellfestigkeit:

$$\sigma_{bSch} \approx 2 \cdot \sigma_{bW} \left(1 - \frac{\sigma_{bW}}{2 \cdot R_m} \right)$$

Torsion

τ_{tW} Torsionswechselfestigkeit:

$$\tau_{tW} \approx 0,3 \cdot R_m$$

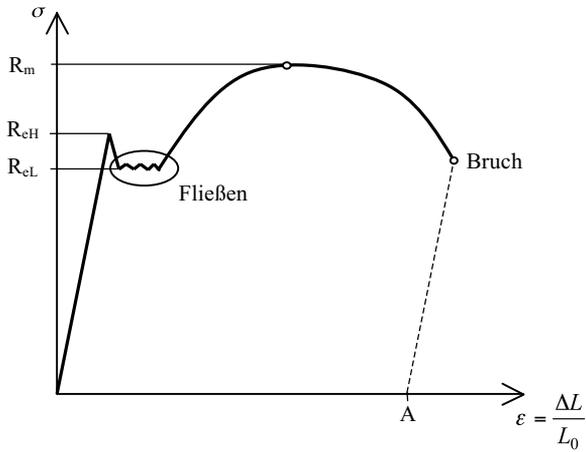
τ_{tSch} Torsionsschwellfestigkeit:

$$\tau_{tSch} \approx 2 \cdot \tau_{tW} \left(1 - \frac{\tau_{tW}}{2 \cdot R_m} \right)$$

1.1.2 Spannungs-Dehnungsdiagramme

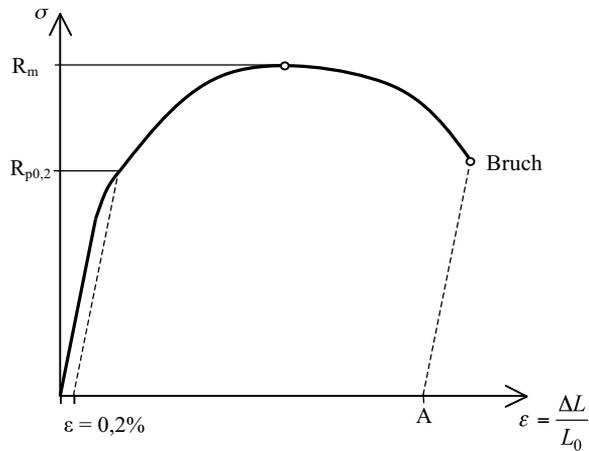
Stähle mit ausgeprägter Fließgrenze:

z. B. Baustahl, Automatenstahl, Vergütungsstahl



Stähle mit nicht ausgeprägter Fließgrenze:

z. B. Werkzeugstahl, Aluminiumlegierung, Kupferlegierung, Magnesiumlegierung, Gusseisen



1.2 Stahl

Kurzname	Werkstoffnr.	A	R _{mN}	R _e bzw. R _{p 0,2}	σ _{zdW}	σ _{zdSch}	σ _{bW}	σ _{bSch}	τ _{bW}	τ _{bSch}
Unlegierte Baustähle. warm gewalzt (nach DIN EN 10025)										
S235JRG2 (St 37)	1.0038	26	360	235	140	225	180	270	105	160
S355J2G3 (St 52)	1.0570	22	510	355	205	325	255	380	150	248
E295	1.0050	20	490	295	195	295	245	355	145	205
S275JR (St 44)	1.0044	22	430	275	170	270	215	320	125	190
Vergütungsstähle (nach DIN EN 10083-1)										
34CrMo4	1.7220	11	1000	800	400	640	500	750	300	510
51CrV4	1.8159	9	1100	900	440	705	550	825	330	560
Einsatzstähle										
20MnCr5	1.7147	8	1100	730	440	705	550	825	330	505
17CrNiMo6	1.6587	8	1150	830	460	735	575	860	345	575
Nitrierstähle										
31CrMoV9	1.8519	11	1000	800	400	640	500	750	300	510
34CrAlNi7	1.8550	12	850	650	340	545	425	635	255	435
Automatenstähle										
9SMn36	1.0736	7	540	430	215	345	270	405	160	270
35SPb20	1.0756	7	590	400	235	375	295	440	175	275
Nichtrostende Stähle (nach DIN EN 10088)										
X6CrMoS17	1.4105	20	430	250	170	250	215	300	130	175
X6Cr17	1.4016	20	450	240	180	240	225	290	135	165
X14CrMoS17	1.4102	11	640	450	225	410	320	480	190	310
X5CrNi18-10	1.4301 (AISI304)	40	520	210	210	210	250	250	145	145
X8CrNiS18-9	1.4305	35	500	190	190	190	230	230	130	130
X2CrNiMo17-12-2	1.4404 (AISI316)	40	520	220	220	220	260	260	150	150
X5CrNiMo17-12-2	1.4401 (AISI316)	40	520	220	220	220	260	260	150	150
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	40	520	220	220	220	260	260	150	150
X2CrNiN24-4	1.4362	25	600	400	240	385	300	450	180	275
X2CrNiMoN22-5 3	1.4462	30	640	450	225	410	320	480	190	310

Tab. 1.2 [2]; A [%]: Bruchdehnung
R_{mN} [N/mm²]: Normwert für Zugfestigkeit
R_e [N/mm²]: Normwert für Streckgrenze
R_{p 0,2} [N/mm²]: Normwert für 0,2%-Dehngrenze
σ_{zdW} [N/mm²]: Wechselfestigkeit Zug-Druck
σ_{zdSch} [N/mm²]: Schwellfestigkeit Zug-Druck
σ_{bW} [N/mm²]: Biegewechselfestigkeit
σ_{bSch} [N/mm²]: Biegeschwellfestigkeit
τ_{bW} [N/mm²]: Torsionswechselfestigkeit
τ_{bSch} [N/mm²]: Torsionsschwellfestigkeit

1.3 Gusswerkstoffe

Kurzname	Werkstoffnr.	A	R _{mN}	R _{p0,2}	σ _{bW}	E-Modul
Gusseisen mit Lamellengraphit (nach DIN EN 1561)						
EN-GJL-150	EN-JL1020	0,3-0,8	150	98	70	78-103
EN-GJL-300	EN-JL1050		300	195	140	108-137
Gusseisen mit Kugelgraphit (nach DIN EN 1563)						
EN-GJS-350-22	EN-JS1010	22	350	220	180	169
EN-GJS-600-3	EN-JS1060	3	600	370	248	174
EN-GJS-900-2	EN-JS1090	2	900	600	317	176
Bainitisches Gusseisen (nach DIN EN 1564)						
EN-GJS-800-8	EN-JS1100	8	800	500	450	163
EN-GJS-1400-1	EN-JS1130	1	1400	1100		156
Temperguss (nach DIN EN 1562)						
EN-GJMW-360-12	EN-JM1020	12	360	190	155	175-195
EN-GJMB-350-10	EN-JM1130	10	350	200	150	
EN-GJMB-800-1	EN-JM1200	1	800	600	320	
Austenitisches Gusseisen (nach DIN 1694)						
GGL-NiCuCr15 6 2	0.6655	2	170		75	85-105
GGL-NiCr30 3	0.6676	1-3	190		85	98-113
GGG-Ni22	0.7670	20-40	370	170	160	85-112
Stahlguss (nach DIN 1681)						
GS-38	1.0420	25	380	200	150	210
GS-60	1.0558	15	600	300	235	210
Vergütungsstahlguss (nach DIN 17205)						
GS-25CrMo4	1.7215	18	600	450	220	210
GS-35CrMoV10 4	1.7755	15	850	700	320	210
GS-33NiCrMo7 4 4	1.6740	16	850	700	320	210
Nichtrostender Stahlguss (nach DIN EN 17445)						
G-X8CrNi13	1.4008	15	590	440	230	
G-X22CrNi17	1.4059	4	780	600	310	
G-X6CrNi8 9	1.4308	20	440	175	170	
G-X3CrNiMoN17 13 5	1.4439	20	490	210	190	

Tab. 1.3 [2]; A [%]: Bruchdehnung
R_{mN} [N/mm²]: Normwert für Zugfestigkeit
R_{p0,2} [N/mm²]: Normwert für 0,2-%-Dehngrenze
σ_{bW} [N/mm²]: Biegewechselfestigkeit
E-Modul [kN/mm²]

1.4 Nichteisenmetalle

Kurzname	Werkstoffnr.	A	R _{mN}	R _{p 0,2}	σ _{b W}	E-Modul
Kupferlegierungen						
CuPb1P F26	2.1160.26	7	260	200	100	130
CuZn37 F37	2.0321.26	27	370	250	120	110
CuSn8 F54	2.1030.30	25	540	470	200	115
CuNi10Fe1Mn F28	2.0872.10	30	280	100	150	132
CuAl10FeMn2 F59	2.0936.97	12	590	250	200	120
G-CuSn10	2.1050.01	18	270	130		100
GC-CuSn7ZnPb	2.1090.04	16	270	120		93
G-CuAl10Ni	2.0975.01	12	600	270		115
GK-CuAl10Fe	2.0940.02	25	550	200		121
Aluminiumlegierungen Knetlegierungen						
ENAW-AIMg3-H111	ENAW-5754	14	180	80	70	70
ENAW-AICu4	ENAW-2007	7	370	240		70
ENAW-AISi1MgMn-T6	ENAW-6082	10	310	255	110	70
ENAW-AlZn5	ENAW-7022	10	350	280	120	72
Aluminiumlegierungen Gusslegierungen						
G-AISi12	3.2581.01	5	150	70	50	75
GK-AIMg5Si	3.3261.02	2	180	110	60	69
GK-AICu4TiMgka	3.1371.42	8	320	220	90	72
GD-AlZn10Si8Mg	-	2	300	230		75
Magnesiumlegierungen						
MgAl3Zn F24	3.5312.08	10	240	155		45
G-MgAl8Zn1ho	3.5812.43	8	240	90	80	44
G-MgAl9Zn1ho	3.5912.43	6	240	110	80	44
G-MgAl9Zn1wa	3.5912.61	2	240	150	80	44

Tab. 1.4 [2]; A [%]: Bruchdehnung
R_{mN} [N/mm²]: Normwert für Zugfestigkeit
R_{p 0,2} [N/mm²]: Normwert für 0,2-%-Dehngrenze
σ_{b W} [N/mm²]: Biegewechselfestigkeit
E-Modul [kN/mm²]

1.5 Kunststoffe

Kurzname	Dichte	Dehnung		σ_M	σ_{bW}	$\sigma_{1/1000}$	E-Modul	Temperatur	
		ε_M	ε_B					max.	min.
Thermoplaste									
Polyethylen PE-HD	0,96	12	400	20	16	1	1000	80	-50
Polypropylen PP	0,9	10	800	35	20	6	1200	100	0
Acrylnitril-Polybutadien-Styrol-Pfropfpolymer ABS	1,05	2	20	32	15	9	2300	75	-40
Polyvinylchlorid PVC	1,38	4	10	50		20	3000	65	-5
Polytetrafluorethylen PTFE (Teflon)	2,15	10	350	12	30	1	410	250	-200
Polyoxymethylen POM	1,41	8	25	65	27	12	2800	90	-60
Polyamid PA66	1,13	5	20	80		7	2800	100	-30
Duroplaste									
Phenolharz-Hartgewebe Hgw2081	1,3		50	25			7000	110	
Polyesterharz UP	1,2		0,6	40			3500	100	
GFK-Laminate	1,65			250	50		16000	100	
PUR	0,4		7	8			350	100	
Elastomere									
Thermoplastisches Polyurethan TPU	1,2		400	35	6		50	80	-60
Acrylnitril-Butadien-Kautschuk NBR	1,0		450	6			50	100	-30
Ethylen-Propylen-Kautschuk EPDM	0,86		500	4			200	120	-50

Tab. 1.5 [2]; Dichte [g/cm³]
 ε_M [%]: Dehnung bei Zugfestigkeit
 ε_B [%]: Dehnung bei Bruchdehnung
 σ_M [N/mm²]: Zugfestigkeit
 σ_{bW} [N/mm²]: Biegewechselfestigkeit
 $\sigma_{1/1000}$ [N/mm²]: Zeitdehnspannung
E-Modul [kN/mm²]
Temperatur [°C]

2 Schraubenverbindungen

2.1 Gewindetabellen und -normen

Metrisches ISO-Gewinde (Flankenwinkel 60°)

Regelgewinde					
Gewinde-Ø	Steigung	Flanken-Ø	Bolzen Kern-Ø	Mutter Kern-Ø	Steigungswinkel
D = d	P	D ₂ = d ₂	d ₃ (d _k)	D ₁	φ
M 1	0,25	0,838	0,693	0,729	5,43
M 1,2	0,25	1,038	0,893	0,929	4,38
M 1,6	0,35	1,373	1,170	1,221	4,64
M 2	0,4	1,740	1,509	1,567	4,19
M 2,5	0,45	2,208	1,948	2,013	3,71
M 3	0,5	2,675	2,387	2,459	3,41
M 4	0,7	3,545	3,141	3,242	3,60
M 5	0,8	4,480	4,019	4,134	3,25
M 6	1,0	5,350	4,773	4,917	3,41
M 8	1,25	7,188	6,466	6,647	3,17
M 10	1,5	9,026	8,160	8,376	3,03
M 12	1,75	10,863	9,853	10,106	2,94
M 16	2,0	14,701	13,546	13,835	2,48
M 20	2,5	18,376	16,933	17,294	2,48
M 24	3,0	22,051	20,319	20,752	2,48
M 27	3,0	25,051	23,319	23,752	2,18
M 30	3,5	27,727	25,706	26,211	2,30
M 36	4,0	33,402	31,093	31,670	2,19
M 42	4,5	39,077	36,477	37,129	2,10

Feingewinde			
Gewindebezeichnung	Flanken-Ø	Bolzen Kern-Ø	Mutter Kern-Ø
d × P	D ₂ = d ₂	d ₃ (d _k)	D ₁
M 3 × 0,25	2,773	2,571	2,621
M 4 × 0,35	3,675	3,387	3,459
M 5 × 0,5	4,675	4,387	4,459
M 6 × 0,75	5,513	5,080	5,188
M 8 × 1	7,350	6,773	6,917
M 10 × 0,75	9,513	9,080	9,188
M 10 × 1	9,35	8,773	8,917
M 12 × 1	11,350	11,773	10,917
M 12 × 1,25	11,188	10,466	10,467
M 16 × 1	15,350	14,773	14,917
M 16 × 1,5	15,026	14,160	14,376
M 20 × 1	19,350	18,773	18,917
M 20 × 1,5	19,026	18,160	18,376
M 24 × 1,5	23,026	22,160	22,376
M 24 × 2	22,701	21,546	21,835
M 30 × 1,5	29,026	28,160	28,376
M 30 × 2	28,701	27,546	27,835
M 36 × 2	34,701	33,546	33,835
M 42 × 2	40,701	39,546	39,835

Tab. 2.1 Auszug aus [2], [4], [7]

Bolzen-Gewindetiefe:

$$h_3 = \frac{d - d_3}{2}$$

Mutter-Gewindetiefe:

$$H_1 = \frac{d - D_1}{2}$$

Spannungsquerschnitt (Bolzen):

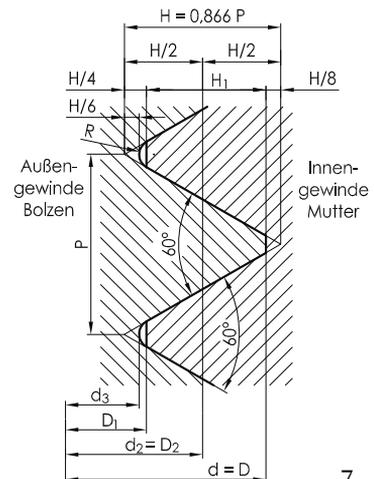
$$A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

Kernquerschnitt (Bolzen):

$$A_K = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} (= A_K)$$

Flankendurchmesser:

$$d_2 = D_2 = d - 0,6495 \cdot P$$



Kerndurchmesser des Bolzens: $d_3 = d - 1,2269 \cdot P$

Kerndurchmesser der Mutter: $D_1 = d - 1,0825 \cdot P$

Kernlochbohrerdurchmesser: $D_{Bohrer} = d - P$

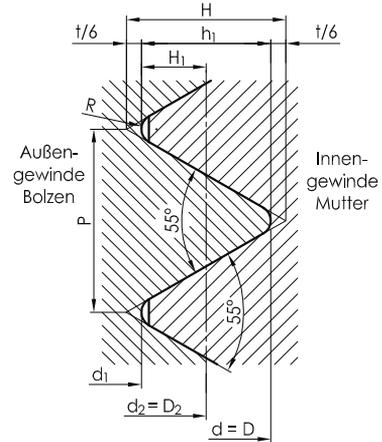
Steigungswinkel: $\varphi = \arctan\left(\frac{P}{d_2 \cdot \pi}\right) \cdot 180^\circ$

Whitworth-Regelgewinde BSW 84 (Flankenwinkel 55°)

Gewindebezeichnung	Außen-Ø	Kern-Ø	Flanken-Ø	Gangzahl je inch	Steigung
d = D	D = d	d ₁ = D ₁	D ₂ = d ₂	Z	P
W 1/16"	1,588	1,0	1,317	60	0,423
W 3/32"	2,381	1,70	2,043	48	0,529
W 1/8"	3,175	2,36	2,767	40	0,635
W 5/32"	3,969	2,95	3,459	32	0,794
W 3/16"	4,763	3,41	4,086	24	1,058
W 7/32"	5,556	4,20	4,878	24	1,058
W 1/4"	6,350	4,72	5,535	20	1,270
W 5/16"	7,940	6,13	7,035	18	1,411
W 3/8"	9,525	7,49	8,507	16	1,587
W 7/16"	11,113	8,79	9,951	14	1,814
W 1/2"	12,700	9,99	11,300	12	2,117
W 9/16"	14,288	11,58	12,909	12	2,117
W 5/8"	15,875	12,92	14,397	11	2,309
W 3/4"	19,050	15,80	17,425	10	2,540
W 7/8"	22,225	18,61	20,417	9	2,822
W 1"	25,400	21,34	23,370	8	3,175
W 1 1/8"	28,575	23,93	26,252	7	3,628
W 1 1/4"	31,750	27,11	29,430	7	3,628
W 1 3/8"	34,925	29,51	32,217	6	4,233
W 1 1/2"	38,100	32,68	35,390	6	4,233
W 1 5/8"	41,275	34,77	38,022	5	5,080
W 1 3/4"	44,450	37,95	41,200	5	5,080
W 1 7/8"	47,625	40,40	44,012	4,5	5,644
W 2"	50,800	43,58	47,190	4,5	5,644
W 2 1/4"	57,150	49,02	53,085	4	6,350
W 2 1/2"	63,500	55,37	59,435	4	6,350
W 2 3/4"	69,850	60,56	65,205	3,5	7,257
W 3"	76,200	66,91	72,560	3,5	7,257
W 3 1/4"	82,550	72,55	77,548	3,25	7,815
W 3 1/2"	88,900	78,90	83,890	3,25	7,815
W 3 3/4"	95,250	84,41	89,831	3	8,467
W 4"	101,600	90,76	96,181	3	8,467

Tab. 2.2 Auszug aus [4], [7]

- Gewindetiefe: $h_1 = H_1 = 0,64 \cdot P$
- Spannungsquerschnitt (Bolzen): $A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2$
- Kernquerschnitt (Bolzen): $A_3 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} (= A_K)$
- Kerndurchmesser: $d_1 = D_1 = d - 1,28 \cdot P$
- Flankendurchmesser: $d_2 = D_2 = d - 0,64 \cdot P$
- Steigung: $P = \frac{2,54}{Z}$



2.2 Montagevorspannkraft und Anziedrehmoment (längs belastete Schrauben)

Montagevorspannung in der Schraube:

$$\sigma_M = \frac{\sigma_v}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[\frac{2 \cdot d_2}{d_0} \left(\frac{0,32 \cdot P}{d_2} + 1,16 \cdot \mu_G \right) \right]^2}} \quad [\text{N/mm}^2]$$

- σ_v Vergleichsspannung [N/mm²]: $\sigma_v = 0,9 \cdot R_{p0,2}$, Tab. 2.3
- P Gewindesteigung [mm]
- d_0 $d_0 = d_s$: Schaftschrauben: $d_s = 0,5 \cdot (d_2 + d_3)$
 d_2 : Flankendurchmesser [mm]
 d_3 : Kerndurchmesser [mm]
 $d_0 = d_f$: Taillenschrauben [mm]
- μ_G Gewindereibzahl [-] (0,10 ... 0,14)

Temperaturabhängige Festigkeitswerte von Schraubenstahl ($R_{p0,2}$) [N/mm²]:

Festigkeitsklasse	rostfreie Schrauben									
	4.8	5.6	6.8	8.8	10.9	12.9	50 (A2-50)	70 (A4-70)	80 (A4-80)	
R_m	420	500	600	800	1040	1220	500	700	800	
$R_e / R_{p0,2}$	340	300	480	640	940	1100	210	450	600	
R_e $R_{p0,2}$	+100 °C		270		590	875	1020	178	382	510
	+200 °C		230		540	790	925	168	360	480
	+250 °C		215		510	745	875	163	349	465
	+300 °C		195		480	705	825	157	337	450
	+400 °C							147	315	420

Tab. 2.3 [1]; Technische Daten von Wegertseeder (www.wegertseeder.com)

Montagevorspannkraft:

$$F_M = A_0 \cdot \sigma_M \quad [\text{N}]$$

A_0 Schraubenquerschnitt [mm²]

$A_0 = A_S$: Schaftschrauben

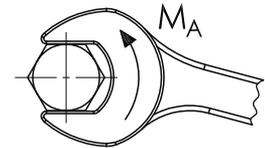
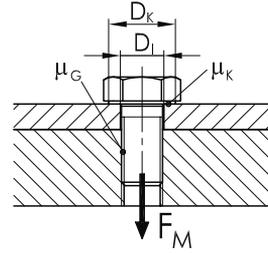
$$A_S = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

d_2 : Flankendurchmesser [mm]

d_3 : Kerndurchmesser [mm]

$A_0 = A_T$: Taillenschrauben

σ_M Montagevorspannung in der Schraube [N/mm²]



Anziehdrehmoment (für metrische Regelgewinde 60°):

$$M_A = F_M \cdot \left(0,159 \cdot P + 0,577 \cdot \mu_G \cdot d_2 + \mu_K \cdot \frac{d_K}{2} \right) \quad [\text{Nm}]$$

F_M Montagevorspannkraft [kN]

P Gewindesteigung [mm]

d_2 Flankendurchmesser [mm]

d_K mittlerer Kopfauflagendurchmesser [mm]: $d_K = 0,5 \cdot (D_K + D_I)$

D_K äußerer Durchmesser [mm] der Kopfauflagefläche

D_I Bohrdurchmesser [mm]

μ_G Gewindereibzahl [-] (wenn unbekannt, dann Annahme: $\mu_G = 0,12$)

μ_K Reibzahl der Kopfauflage [-] (wenn unbekannt, dann Annahme: $\mu_K = 0,12$)

Anziehdrehmoment (allgemein):

$$M_A = F_M \cdot \left(\frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho) + \mu_K \cdot \frac{d_K}{2} \right) \quad [\text{Nm}]$$

F_M Montagevorspannkraft [kN]

d_2 Flankendurchmesser [mm]

φ Gewindesteigungswinkel [°]:

P Gewindesteigung [mm]

$$\tan \varphi = \frac{P}{d_2 \cdot \pi}$$

ρ Gewindereibungswinkel [°]:

$$\tan \rho = \frac{\mu_G}{\cos\left(\frac{\beta}{2}\right)}$$

μ_G Gewindereibzahl [-] (0,10 ... 0,14), Tab. 2.4 bis Tab. 2.6

β Flankenwinkel [°] mit:

$$\beta[\text{rad}] = \beta[^\circ] \cdot \frac{\pi}{180^\circ}$$

μ_K Reibzahl der Kopfauflage [-], Tab. 2.4 bis Tab. 2.6

d_K mittlerer Kopfauflagendurchmesser [mm]: $d_K = 0,5 \cdot (D_K + D_I)$

D_K äußerer Durchmesser [mm] der Kopfauflagefläche

D_I Bohrdurchmesser [mm]

Reibungszahlen $\mu_k = \mu_G = \mu_{ges}$ für Schrauben und Muttern:

phosphatiert leicht geölt	phosphatiert MoS2 geschmiert	galvanisch verzinkt	galvanisch kadmiiert	Klebstoffe
0,12 (- 0,18)	0,08 (- 0,12)	0,12 (- 0,18)	0,08 (- 0,12)	0,2 (- 0,3)

Tab. 2.4 [2]

Reibungszahlen μ_k und μ_G für Schrauben:

Oberfläche des Gewindes	schwarzvergütet phosphatiert				galvanisch verzinkt	galvanisch kadmiiert	Klebstoffe
	Gewalzt		geschnitten				
Gewindefertigung	trocken	geölt	MoS ₂	geölt	trocken	geölt	-
Schmierung	trocken	geölt	MoS ₂	geölt	trocken	geölt	-
μ_G	0,12	0,10	0,08	0,10	0,12	0,10	0,14

Oberfläche der Kopfauflege	schwarzvergütet phosphatiert				galvanisch verzinkt	galvanisch kadmiiert
	gepresst		gedreht			
Gewindefertigung	trocken	geölt	MoS ₂	geölt	trocken	geölt
Schmierung	trocken	geölt	MoS ₂	geölt	trocken	geölt
μ_k	0,10	0,10	0,08	0,10	0,10	0,08

Tab. 2.5 [1]

Reibungszahlen μ_k und μ_G für rostfreie Schrauben:

Schmiermittel		unter dem Kopf	im Gewinde
Unter dem Kopf	im Gewinde	μ_k	μ_G
ohne Schmiermittel		0,08 (- 0,12)	0,23 (- 0,35)
mit Schmiermittel		0,08 (- 0,12)	0,12 (- 0,23)
Schutzfett gegen Korrosion		0,25 (- 0,35)	0,26 (- 0,45)

Tab. 2.6 Technische Daten von Wegertseder

Alternativ zur Berechnung:

Montagevorspannkraft und Anziehdrehmomente für metrische rostfreie Schrauben:

Gewinde	Festigkeitsklasse 70 „Standard A2-70, A4-70“						Festigkeitsklasse 80 „z. B. A4-80“					
	Montagevorspannkraft			Montageanziehdrehmoment			Montagevorspannkraft			Montageanziehdrehmoment		
	$F_{M,zul}$ [kN]			$M_{A,zul}$ [Nm]			$F_{M,zul}$ [kN]			$M_{A,zul}$ [Nm]		
μ_{ges}	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3
M 3	1,0	0,65	0,45	1	1,1	1,35	1,2	0,95	0,7	1,3	1,6	1,85
M 4	2,97	2,4	1,94	1,7	2,6	3	3,96	3,2	2,59	2,3	3,5	4,1
M 5	4,85	3,93	3,19	3,4	5,1	6,1	6,47	5,24	4,25	4,6	6,9	8
M 6	6,85	5,54	4,49	5,9	8,8	10,4	9,13	7,39	5,98	8	11,8	13,9
M 8	12,6	10,2	8,85	14,5	21,4	25,5	16,7	13,6	11	19,3	28,7	33,9
M 10	20	16,2	13,1	30	44	51	26,6	21,7	17,5	39,4	58	69
M 12	29,1	23,7	19,2	50	74	88	38,8	31,6	25,6	67	100	117
M 16	55	44,9	36,4	121	183	218	73,3	59,8	48,6	161	245	291
M 20	88,6	72,4	58,7	224	370	439	118	96,5	78,3	325	494	586
M 24	142	101	83	400	608	724	165	135	110	534	810	966

Tab. 2.7 Technische Daten von Würth

Umrechnung der Montagevorspannkraft:

$$F_{M(4.8)} = F_{M(8.8)} \cdot \frac{R_e(4.8)}{R_e(8.8)} \quad \text{mit:} \quad R_e: \text{Tab. 2.3} \quad F_M: \text{Tab. 2.7 und Tab. 2.8}$$

Zulässige Montagevorspannkraften und Anziehdrehmomente für metrische Schrauben
(mit Drehmomentschlüssel angezogene Schrauben):

Gewinde	Festigkeitsklasse	Montagevorspannkraft			Anziehdrehmoment		
		$F_{Mz, zul}$ [kN], μ_G			$M_{Az, zul}$ [Nm], μ_K , ($\mu_G=0,12$)		
		0,08	0,12	0,20	0,08	0,12	0,20
M4	8.8	4,4	4,05	3,4	2,2	2,8	3,7
	10.9	6,4	6,0	5,0	3,2	4,1	5,4
	12.9	7,5	7,0	5,9	3,8	4,8	6,4
M5	8.8	7,2	6,6	5,6	4,3	5,5	7,3
	10.9	10,5	9,7	8,2	6,3	8,1	10,7
	12.9	12,3	11,4	9,6	7,4	9,5	12,5
M6	8.8	10,1	9,4	7,9	7,4	9,5	12,5
	10.9	14,9	13,7	11,6	10,9	14,0	18,5
	12.9	17,4	16,1	13,5	12,5	16,5	21,5
M8	8.8	18,5	17,2	14,5	18	23	31
	10.9	27,0	25,0	21,3	26	34	45
	12.9	32,0	29,5	24,9	31	40	53
M10	8.8	29,5	27,5	23,1	36	46	62
	10.9	43,5	40,0	34,0	52	68	90
	12.9	50,0	47,0	40,0	61	79	106
M12	8.8	43	40	33,5	61	79	106
	10.9	63	59	49,5	90	117	155
	12.9	74	69	58,0	105	135	180
M16	8.8	81	75	64	145	195	260
	10.9	119	111	94	215	280	380
	12.9	139	130	110	250	330	450
M20	8.8	131	121	103	300	390	530
	10.9	186	173	147	420	560	750
	12.9	218	202	171	500	650	880
M24	8.8	188	175	148	510	670	910
	10.9	270	249	211	730	960	1300
	12.9	315	290	247	850	1120	1500
M30	8.8	300	280	237	1000	1350	1800
	10.9	430	400	340	1450	1900	2600
	12.9	500	465	395	1700	2250	3000
M36	8.8	440	410	350	1750	2350	3200
	10.9	630	580	495	2500	3300	4500
	12.9	730	680	580	3000	3900	5300

Weitere Schraubentypen:

Aluschrauben

Anziehen wie bei Festigkeitsklasse 5.6

V2A-Schrauben

Anziehen wie bei Festigkeitsklasse 6.8

Titanschrauben

Anziehen wie bei Festigkeitsklasse 8.8

Stahlschrauben in Aluminium
Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 benutzen, keine hochfesten Schrauben

Tab. 2.8 [1]

Index

Symbole

ω -Verfahren 459

A

Abstreifer (Hydraulik) 205
 Achsen und Wellen 133
 Anlaufscheibe 172
 Antriebsauslegung einer Gewindespindel 322
 Antriebsleistung eines Fahrwerkes 332
 Anziehdrehmoment 9f.
 Auslegung der Kettentriebe 287
 Auslegung der Zahnriementriebe 277
 Außenbackenbremsen 241
 Außenspannsatz 126
 Auswuchttechnik 146
 Axialgelenk 176
 Axial-Gelenklager 176
 Axialgleitlager 170
 Axiallager 172
 Axial-Nadellagerkranz 167
 Axial-Pendelrollenlager 157, 167
 Axial-Rillenkugellager 157, 166
 – zweiseitig wirkend 166
 Axial-Wellendichtringe 191, 200
 Axial- Zylinderrollenlager 167
 Axial-Zylinderrollenlager 158

B

Balgkupplung 221
 Bandbremsen 237
 Bewegungsschrauben 52
 Bezeichnungssysteme der Schrauben und
 Muttern 17
 Biegekritische Drehzahl bei Wellen 136
 Biegemomentenverlauf bei Achsen und
 Wellen 133
 Biegung bei Schweißverbindungen 76
 Blechabwicklung 462
 Blindnieten 65
 Blindniettypen im Vergleich 66
 Bolzen 82
 Bolzenkupplung 231
 Bolzen und Stifte 82
 Bremsbandbreite 240

Bremsbanddicke 240

Bremsen 236

Bremszeit 236

Bundbuchse 169, 172

C

Composite-Gleitlager 175

D

Dehnschraube 24
 Dichtungen für Drehdurchführungen 191, 200
 Dichtungstechnik 191
 Differentialbandbremsen 238
 Doppelbackenbremsen 242
 Doppelgelenk 176
 Doppel-Wellengelenk 229
 Drahtgewindeinsatz 40
 Drahtseilfedern 103
 Drehelastische Klauenkupplung 232
 Drehfedern 96
 Drehmoment von Kupplungen 214
 Drillknicken 460
 Druckfedern 94
 Druckhülse 113
 Duplex-Bremsen 244
 Durchbiegung bei Wellen 135
 Durchsteckschrauben 13

E

Edelstahlschrauben 17
 Einkomponentenkleber 73
 Einstellung der Riemen Spannung 274
 Elastische Kardan-Gelenkscheiben 234
 Elastische Klauenkupplung 235
 Elastischer Roll-Ring® Kettenspanner 284
 E-Modul 1
 Ensat® 43, 48
 Expansionsert® 45, 50
 Exzenterspanner 289

F

Fächerscheiben 37
 Fahrwiderstand 329
 Faserverbundwerkstoff-Buchsen 175

Federkupplung 222
Federn 92
Federringe 36
Federscheibenkupplung 222
Federsysteme 93
Federwerkstoffe 92
Feingewinde 7
Festigkeitsnachweis von Bewegungsschrauben 55
Flachbackengreifer 298
Flachdichtung 191
Flachdichtungen 192
Flachdichtungen für Flansche 192
Flächenpressung von Bewegungsschrauben 57
Flache Scheiben 35
Flachkopfschrauben 21
Flanschlager 176
Flügelmutter 34
Flügelschrauben 23
Fügetemperatur 121
Führungen (Hydraulik) 206
Führungen (Pneumatik) 210
Führungsringe 206

G

Gasdruckfedern 307
Gasfedern 307
Gaszugfedern 307
Gelenkbolzen 85
Gelenkbolzenauslegung 324
Gelenkkopf 176
Gelenklager 176
Gelenkwelle 230
Gelenkwelle mit Längenausgleich 230
gerollte Buchse 172
Gestreckte Länge 462
Gewindeauslegung
- Bewegungsschrauben 54
Gewindeinsatzbuchse 43
Gewindeinsatzbuchse Ensar[®] S/SB 43
Gewindeinsatzbuchse Kobsert[®] 44
Gewindeinsätze 40, 47
Gewindeinsätze Praxistipps 47
Gewindestifte 26
Gewindetabellen 7
- Bewegungsschrauben 52

Gleitlager 169, 172
- Anwendungen 176
Gleitringdichtungen 191, 201
Gleitspanner 284
G-Modul 1
Greifer 295
Greifkraft 295
Greif- und Spannmechanismen 289
Gummifedern 100
Gusswerkstoffe 4

H

Haftklebstoffe 72
Helicoil[®] 40, 47
Helicoil[®] plus 47
Hertzsche Pressung 454
Hochelastische Kupplung 233
Hochfeste Schrauben 25
Hydraulikzylinder 305
- Dichtungselemente 202

I

Innenbackenbremsen 243

K

Kalottenlager 173
Kammprofilabdichtungen 192
Kardan 218
Kardangelenk 229
Keensert[®] 51
Kegelbremsen 244
Kegelpressverband 109
Kegelradpaar 249
Kegelrollenlager 157, 159, 165
Kegelspannring 110
Kegelspannringverbindung 114
Keilwelle 108
Kettenführungen für Rollketten 284
Kettenkupplung 233
Kettenräder 282
Kettenspanner 283
Kettenspannräder 283
Kettentriebe 279
Klebeverbindungen 68
- Praxistipps 70
Klebstoffarten 72

- Klebstofftypen 71
Klemmfaktor 298
Klemmverbindung 117
Knickbeanspruchung 456
Knickbelastung bei langen Zylindern 304
Knick-Drehmoment 460
Knicken bei Erwärmung 460
Knicksicherheit von Bewegungs-
schrauben 59
Kobsert® 49
Kolbendichtung (Hydraulik) 204
Kolbendichtung (Pneumatik) 209
Konstruktive Gestaltung der
Klebeverbindung 74
Korrosion 442
Korrosionsschutz 442, 444
Kreuzgelenk 229
Kreuzpaargelenk 229
Kreuzrollenlager 167
Kronenmutter (6kt) 32
Kunststoffe 6
Kunststoffgleitlager 174
Kupplungen 213, 220
- elastische 221
- starre 225
- L**
Lagerkräfte an einem Laufrad 330
Lamellenbremsen 246
Längsstiftverbindung 84
Laufräder 327
Laufradkraft 327
Lebensdauer von Kugellagern 161
Lebensdauerberechnung Wälzlager 161
Lineare Interpolation 470
Linearführung 176
Linearführungen 178
Lineartisch 176
Lochleibungsdruck im Nietschaft 60
Losdreh Sicherung durch Kleben 38
Lösungsmittelbasierende Klebstoffe 72
- M**
Membrankupplung 223
Metallringe 191, 194
Metrisches ISO-Gewinde 7
- Momentenanschluss bei Nieten 62
Montagevorspannkraft
- längs belastete Schrauben 9
Montagevorspannung von Schrauben 9
Muttern 28
Muttern in der Fahrzeugindustrie 34
- N**
Nachgiebigkeit der Schrauben und Bauteile 14
Nadellager 158, 165
Nichteisenmetalle 5
Nichtrostende Stähle 3
Niedrige Sechskantmuttern 28
Nietverbindungen 60, 63
Nord-Lock®-Scheiben 38
Nutmuttern 32
Nutmuttern für Wälzlager 33
- O**
Oberflächenbehandlung (Kleben) 73
Oldham®-Kupplung 224
O-Ringe 191, 193
- P**
Parallelkurbel-Kupplung 231
Passfeder 107
Passschrauben 13, 22
Pendelkugellager 157, 164
Pendelrollenlager 158, 166
Permanentmagnet-Rutschkupplungen 228
Pneumatikzylinder 303
- Dichtungselemente 207
PowerGrip® Kupplung 232
Pressverband, zylindrischer 119
Prismabackengreifer 298
Punktschweißverbindungen 80
- Q**
Querkontraktionszahl 1
Querkraftverlauf 133
Querstiftverbindung 83
Quicksert® 50
- R**
Radialgleitlager 169
Radiallager 172

Radial-Wellendichtringe 191, 198
Rändelmutter 33
Rändelschrauben 23
Regelgewinde 7
Reibwerte für Greifer 299
Rillenkugellager 156, 163
Rohniete für Stahlbau 63
Rohnieten 63
Rollenketten 280
Rundtischlager 176

S

Sägengewinde metrisch 53
Scheibe mit 2 Lappen 37
Scheiben 35
Scheiben (vierkant) für U- und I-Träger 35
Scherenhubtische 310
Scherenwagenheber 321
Scherspannung im Nietquerschnitt 60
Schmelzklebstoffe 72
Schmidt-Kupplung® 230
Schmierung 285
Schmierung (Pneumatik) 212
Schneckenradsatz 252
Schräg-Gelenklager 176
Schräggkugellager 156, 159, 163
Schrauben 19
– querbelastete 13
Schrauben in der Fahrzeugindustrie 27
Schraubenverbindungen 19
Schubbeanspruchungen bei Schweißverbindungen 78
Schubketten 286
Schubstangenspanner 291
Schulterkugellager 165
Schweißmuttern 31
Schweißnähten 79
Schweißverbindungen 75
Schwellfestigkeit 1
Schwingungsisolierung 104
Sechskant-Hutmuttern 30
Sechskantmuttern 28
– mit Flansch 30
– mit großen Schlüsselweiten 29
– mit Klemmteil 31

Sechskantschrauben 19
Senkschrauben 24
Sicherungsringe 87
Sicherungsseiben 36
Simmering® 198
Simplex-Bremsen 243
Sinter-Gleitlager 174
Spannelemente 126
Spannmechanismen 289
Spannsätze 124
Spannscheiben 36
Spannungs-Dehnungsdiagramm 2
Spielfreie Kupplung 227
Spiraldichtungen 192
Spiralfedern 97
Spredsert® 49
Stahl 3
Stangendämpfer (Pneumatik) 211
Stangendichtung (Hydraulik) 202
Stangendichtung (Pneumatik) 208
Steckstiftverbindung 82
Stegkupplung 225
Sternscheiben 112
Stifte 82
Stirnradpaar 248
Stirnzahnkupplung 226
Stirnzahnverbindung 116 f.
Stopfbuchspackungen 191, 196
Stoßisolierung 105
Streckgrenze 1
Stützlager 172
Summenbandbremsen 239

T

Taper Lock®-Spannbuchse 131
Teilscheibenbremsen 246
Tellerfedern 98
Temperaturerhöhung beim Bremsen 236
Thermische Ausdehnung 460
Tonnenlager 166
Torsion bei Schweißverbindungen 75
Tragfähigkeitsberechnung der Nut für Sicherungsringe 91
Trägheitsmomente 219
Trapezgewinde metrisch 52

U

UNI-LAT®-Kardankupplung 223

Unwucharten 147

V

Verbindungsglieder 281

Verbund-Gleitlager 175

Vierpunktlager 164

W

Wälzlager 155, 162, 303

- Auswahl 162

Wasserbasierende Klebstoffe 72

Wechseldrehmoment von Kupplungen 217

Wechselhaftigkeit 1

Welle-Nabe-Verbindungen 107

Wellengelenk 218

Wellenquerschnitte 138

Wendelkupplung 226

Werkstofftechnik 1

Whitworth-Regelgewinde 8

Winkelgelenk 176

Z

Zahnkupplung 227

Zahnräder 247

Zahnriemenprofile 270

Zahnriemenräder 276

Zahnriemenspanner 273

Zahnriementriebe 256, 268

Zahnscheiben 37

Zahnwelle 108

Zug-/Druckbeanspruchung bei
Schweißverbindungen 75

Zugfedern 95

Zugfestigkeit 1

Zugspannung im Niet 60

Zweikomponentenkleber 73

Zylinderlager 172

Zylinderrollenlager 158, 165

Zylinderschrauben 20

- mit Schlitz 22

- niedriger Kopf 20

- Pressverband 119