

HANSER



Leseprobe

zu

Auslegung von Maschinenelementen

von Stephan Regele

Print-ISBN: 978-3-446-47975-3

E-Book-ISBN: 978-3-446-48068-1

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446479753>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Das vorliegende, aktualisierte Werk hat seinen Ursprung in meiner täglichen Arbeit als Konstrukteur und dem daraus entspringenden Bedürfnis, ein Nachschlagewerk zur Verfügung zu stellen, das die notwendigen Informationen zur Auslegung von Maschinen- und Verbindungselementen in anwenderbetonter, kompakter und zeitsparender Weise zusammenfasst.

Seit der letzten überarbeiteten und erweiterten Auflage sind mehrere Kapitel neu hinzugekommen, wie z. B. Laufräder, Planetengetriebe und als größtes Kapitel die Antriebsauslegung der Getriebe- und Fördertechnik. Dieses letztgenannte Kapitel umfasst die Auslegung von Fördersystemen, Getrieben und elektrischen Antrieben, also den kompletten Antriebsstrang. Zuerst wird eine Fördereinheit ausgelegt. Dazu gehören lineare Fördereinheiten (Rollengurtförderer, Gewindespindelantrieb, Hebwerk), oszillierende Fördersysteme (Schubkurbel) und Schrittschaltwerke (Malteserkreuzgetriebe). Als nächstes wird das vorgeschaltete Getriebe (Stirnrad- oder Planetenradgetriebe) berechnet. Und als letztes werden die Kennwerte des elektrischen Antriebs (Direktantrieb, Getriebemotor) ermittelt.

Das Konzept des Werkes ist streng lösungsorientiert. Das heißt, die für die Lösung einer Aufgabenstellung notwendigen Informationen, wie Problembeschreibung, Skizzen, Berechnungsgleichungen und Tabellenwerte, sind jeweils umfassend dem entsprechenden Abschnitt zugeordnet und nicht über das Buch verstreut. Das für die Anwendung dieser Informationen notwendige theoretische Wissen des Benutzers wird vorausgesetzt. Deshalb kann und will dieses Werk kein Lehrbuch der Mechanik und Maschinenelemente ersetzen sondern es soll ein zuverlässiger Begleiter des praktisch tätigen Konstrukteurs sein und ihn in seiner täglichen Arbeit unterstützen.

Praktische Excel-Berechnungstools stehen unter plus.hanser-fachbuch.de zum Download bereit. Zwar gibt es bereits viele ähnliche Programme, allerdings benötigen die meisten davon konkrete Literatur, um damit Berechnungen durchführen zu können. Die mitgelieferten Excel-Tools wurden so konzipiert, dass der zeitliche Rechenaufwand für den Konstrukteur so gering wie nur möglich gehalten wird. Die Programme sind selbsterklärend, sie besitzen leicht verständliche und übersichtliche Eingabe- und Ausgabemasken. Die vorgegebenen Werkstofftabellen sind erweiterbar, sodass jederzeit mit neuen Materialwerten gerechnet werden kann. Bei fehlerhaften bzw. widersprüchlichen Eingaben erscheinen Fehlermeldungen mit Korrekturhinweisen. Sollte die mechanische Sicherheit nicht erfüllt werden, so gibt ein Hinweis die nötige Information zur Korrektur bestimmter Variablen. Das Übertragen von spezifischen Kennwerten und Konstanten aus diesem oder anderen Büchern entfällt, da diese Werte einprogrammiert sind und über Menüs eingestellt werden können. Mit diesen Excel-Tools können daher eigenständig und ohne weitere Hilfsmittel in kurzer Zeit Berechnungen durchgeführt werden.

Mein Dank geht an dieser Stelle an Dr.-Ing. Claus Müller, Dipl.-Ing. Klaus-Rüdiger Härtel und Dipl.-Ing. (FH) Géza Típecska, die mit ihren Ratschlägen und praxisnahen Informationen maßgeblich zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben.


Madrid, im April 2024

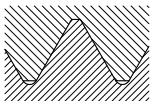

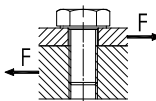
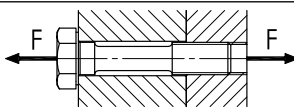
Stephan Regele


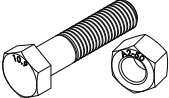


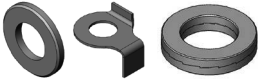


Für Kritik, Anregungen, Hinweise und Verbesserungsvorschläge unter der Adresse *info@maschinenelemente.biz* bin ich jederzeit dankbar.

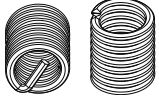
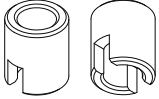
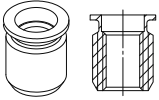
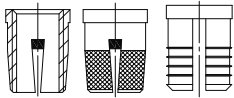
Auf der Webseite *<http://www.maschinenelemente.biz>* werden dann diese Veränderungen veröffentlicht.

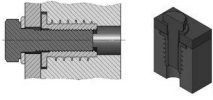


Inhalt

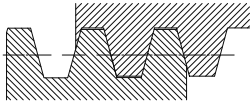
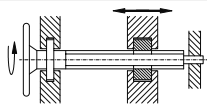
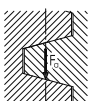
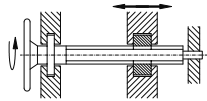
1	Werkstoffe		1
1.1	Werkstofftechnik	 $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$	1
1.2	Stahl	Bau-, Vergütungs-, Einsatzstähle...	3
1.3	Gusswerkstoffe	Gusseisen, Temperguss, Stahlguss...	4
1.4	Nichteisenmetalle	Cu-, Al-, Mg-Legierungen...	5
1.5	Kunststoffe	Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere...	6

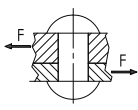
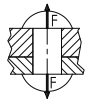
2	Schraubenverbindungen	Berechnungen	7
2.1	Gewindetabellen und -normen		7
2.2	Montagevorspannkraft und Anziehdrehmoment		9
2.3	Querbelastete Schrauben		13
2.4	Nachgiebigkeit der Schrauben und Bauteile		14

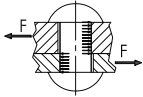
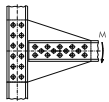
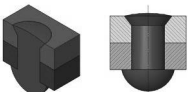

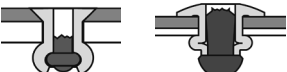

2.5	Einschraubtiefe/Mutterhöhe		15
2.6	Bezeichnungssysteme der Schrauben und Muttern		17
		Praxistipps	19
2.7	Schrauben		19
2.8	Muttern		28
2.9	Scheiben		35
2.10	Losdreh Sicherung durch Kleben		38
2.11	Hersteller und Lieferanten		39

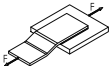


3	Gewindeeinsätze	Berechnungen	40
3.1	Drahtgewindeeinsatz Helicoil®		40
3.2	Gewindeeinsatzbuchse Ensat® S / SB		43
3.3	Gewindeeinsatzbuchse Kobsert®		44
3.4	Gewindeeinsatzbuchse Expansionsert® / Spredsert®		45



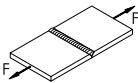
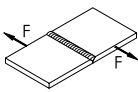

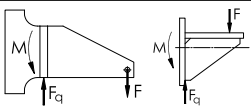
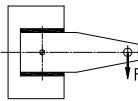
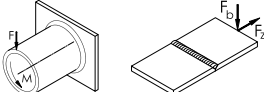
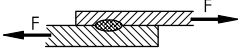
		Praxistipps	47
3.5	Funktion und Wirkung von Gewindeeinsätzen		47
3.6	Gewindeeinsätze		47
3.7	Hersteller und Lieferanten		51

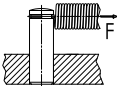


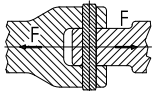
4	Bewegungsschrauben	Berechnungen	52
4.1	Gewindetabellen und -normen (Trapezgewinde, Sägewinde)		52
4.2	Gewindeauslegung		54
4.3	Festigkeitsnachweis	$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} < \sigma_{v,zul}$	55
4.4	Flächenpressung der Gewindeflanken		57
4.5	Prüfung auf Knicksicherheit		59




5	Nietverbindungen	Berechnungen	60
5.1	Scherspannung im Nietquerschnitt		60
5.2	Zugspannung im Niet		60

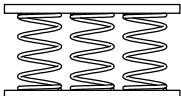

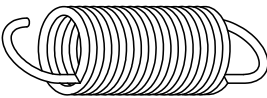
5.3	Lochleibungsdruck im Nietschaft		60
5.4	Momentenanschluss		62
		Praxistipps	63
5.5	Nietverbindungen allgemein		63
5.6	Niete		63
5.7	Verschiedene Blindniettypen im Vergleich		66
5.8	Hersteller und Lieferanten		67

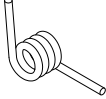
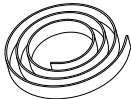


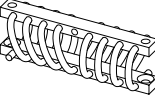
6	Klebeverbindungen	Berechnungen	68
6.1	Festigkeitsnachweis		68
		Praxistipps	70
6.2	Kleben allgemein		70
6.3	Klebstoffarten	Epoxidharz-, Schmelzklebstoffe ...	72
6.4	Oberflächenbehandlung		73

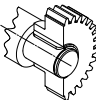





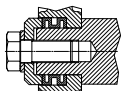
6.5	Konstruktive Gestaltung der Klebeverbindung		74
6.6	Hersteller und Lieferanten		74
7	Schweißverbindungen	Berechnungen	75
7.1	Zug-/Druckbeanspruchung		75
7.2	Scherung		75
7.3	Torsion		75
7.4	Biegung		76
7.5	Schubbeanspruchung durch Drehmoment		78
7.6	Überlagerte Beanspruchungen		79
7.7	Zulässige Spannungen in den Schweißnähten	$\sigma_{zul} = \sigma_{zul}^* \cdot K_A$	79
7.8	Punktschweißverbindungen		80

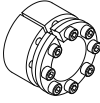
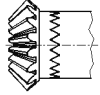
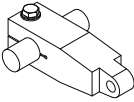
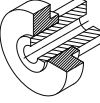
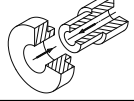
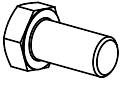
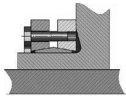


8	Bolzen und Stifte	Berechnungen	82
8.1	Steckstiftverbindung		82
8.2	Querstiftverbindung		83
8.3	Längsstiftverbindung		84
8.4	Bolzen (Gelenkbolzen)		85

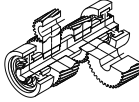
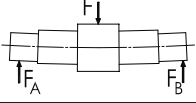
9	Sicherungsringe	Berechnungen	87
9.1	Sicherungsringe für Wellen		87
9.2	Sicherungsringe für Bohrungen		89
9.3	Tragfähigkeitsberechnung der Nut		91

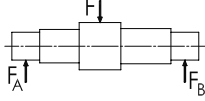
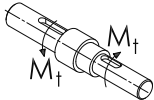
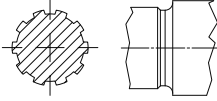
10	Federn	Berechnungen	92
10.1	Grundlagen		92
10.2	Zylindrische Druckfedern		94
10.3	Zylindrische Zugfedern		95


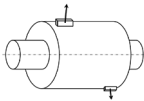
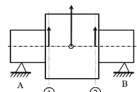
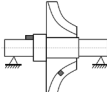
10.4	Drehfedern		96
10.5	Spiralfedern		97
10.6	Tellerfedern		98
10.7	Gummifedern		100
10.8	Drahtseilfedern		103

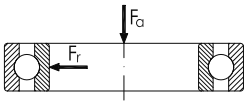
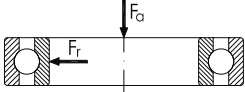
11	Welle-Nabe-Verbindung	Berechnungen	107
11.1	Passfeder (formschlüssig)		107
11.2	Keilwelle (formschlüssig)		108
11.3	Zahnwelle (formschlüssig)		108
11.4	Kegelpressverband (kraftschlüssig)		109
11.5	Kegelspannring (kraftschlüssig)		110
11.6	Sternscheiben (kraftschlüssig)		112
11.7	Druckhülse (kraftschlüssig)		113

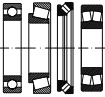
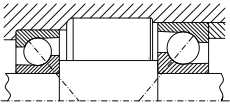
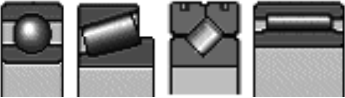


11.8	Kegelspannring (kraftschlüssig)		114
11.9	Stirnzahnverbindung		116
11.10	Klemmverbindung (kraftschlüssig)		117
11.11	Zylindrischer Pressverband, Berechnung rein elastischer Beanspruchung		119
11.12	Fügetemperatur		121
11.13	Vorspannkräfte für kraft- schlüssige Spannelemente		122
		Praxistipps	124
11.14	Funktion und Wirkung von Spannelementen		124
11.15	Spannelemente		126
11.16	Hersteller und Lieferanten		132

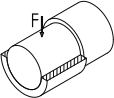
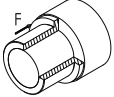
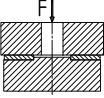
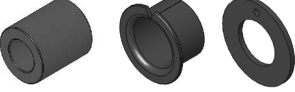
12	Achsen und Wellen	Berechnungen	133
12.1	Biegemomenten- und Querkraftverlauf		133
12.2	Durchbiegung		135

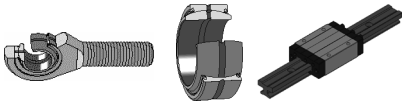

12.3	Biegekritische Drehzahl		136
12.4	Verdrehwinkel		137
12.5	Berechnung gefährdeter Wellenquerschnitte		138
12.6	Allgemeine Festigkeitsberechnung	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_t)^2}$	145

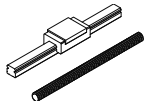
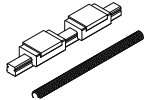
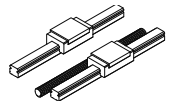
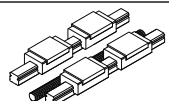
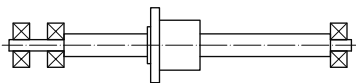
13	Auswuchttechnik	Berechnungen	146
13.1	Definition		146
13.2	Unwuchtarten		147
13.3	Auswuchtgüte	$G = \omega \cdot e_{zul}$	148
13.4	Zuordnung der Ausgleichsebenen		149
13.5	Auswuchten auf Umschlag		153

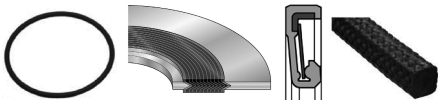
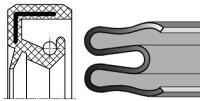
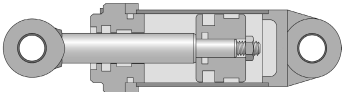
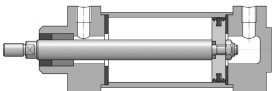
14	Wälzlager	Berechnungen	155
14.1	Dynamische äquivalente Belastung		155
14.2	Statische äquivalente Belastung		155

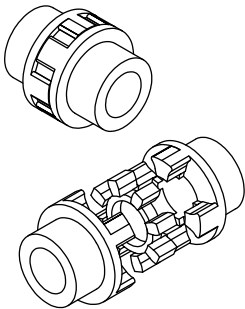
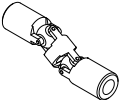
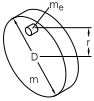
14.3	Berechnungsfaktoren X, Y, X ₀ , Y ₀		156
14.4	Schräggugel- bzw. Kegelrollenlager		159
14.5	Lebensdauerberechnung	$L = \left(\frac{C \cdot f_T}{P} \right)^3 \cdot 10^6$	161
		Praxistipps	162
14.6	Auswahl der Wälzlager		162
14.7	Wälzlager		163
14.8	Hersteller und Lieferanten		168




15	Gleitlager und -führungen	Berechnungen	169
15.1	Radialgleitlager		169
15.2	Bundbuchse		169
15.3	Axialgleitlager		170
		Praxistipps	172
15.4	Auswahl der Gleitlager		172

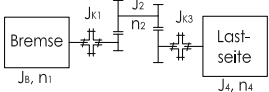
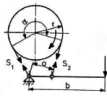
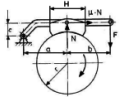
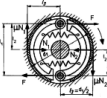



15.5	Verschiedene Anwendungen		176
15.6	Hersteller und Lieferanten		177

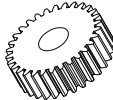
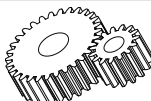
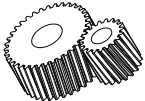
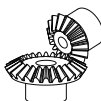






16	Linearführungen	Berechnungen	178
16.1	Auslegung: ein Wagen auf einer Schiene		179
16.2	Auslegung: zwei Wagen auf einer Schiene		180
16.3	Auslegung: zwei Wagen auf zwei Schienen		181
16.4	Auslegung: vier Wagen auf zwei Schienen		182
16.5	Bedingung für kombinierte Belastungen	$\Sigma \frac{F}{C} + \Sigma \frac{M}{M_0} \leq 1$	184
16.6	Leistungsauslegung	$P = M \cdot \omega = M \cdot 2\pi n$	184
16.7	Knicksicherheit der Antriebs- spindel		187
16.8	Kritische Drehzahl der Antriebs- spindel	n_k	188
16.9	Nominelle Lebensdauer	$L = \left(\frac{C}{F_m} \right)^a \cdot 50000$	188


17	Dichtungstechnik	Praxistipps	191
17.1	Übersicht		191
17.2	Dichtungselemente		192
17.3	Dichtungselemente für Hydraulikzylinder		202
17.4	Dichtungselemente für Pneumatikzylinder		207


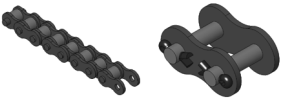

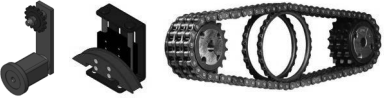


18	Kupplungen	Berechnungen	213
18.1	Kupplungsdrehmoment ohne genaue Betriebsdaten		213
18.2	Kupplungsdrehmoment		214
18.3	Verdrehwinkel einer elastischen Kupplung		216
18.4	Periodisches Wechseldrehmoment		217
18.5	Wellengelenke		218
18.6	Trägheitsmomente		219




		Praxistipps	220
18.7	Funktion und Wirkung von schaltbaren Kupplungen		220
18.8	Nicht schaltbare Kupplungen		221
18.9	Hersteller und Lieferanten		235

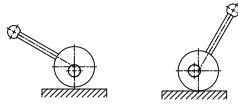

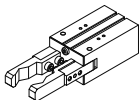
19	Bremsen	Berechnungen	236
19.1	Allgemeine Berechnungen		236
19.2	Bandbremsen		237
19.3	Außenbackenbremsen		241
19.4	Innenbackenbremsen		243
19.5	Kegelbremsen		244
19.6	Lamellenbremse		246
19.7	Teilscheibenbremsen		246


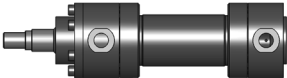


20	Zahnräder	Berechnungen	247
20.1	Allgemeine Berechnungen		247
20.2	Geradverzahntes Stirnradpaar		248
20.3	Schrägverzahntes Stirnradpaar		249
20.4	Geradverzahntes Kegelradpaar		249
20.5	Schrägverzahntes Kegelradpaar		251
20.6	Schneckenradsatz		252
20.7	Planetengetriebe		253
21	Zahnriementriebe	Berechnungen	256
21.1	Auslegung		256
		Praxistipps	268
21.2	Zahnriementriebe allgemein		268
21.3	Zahnriemenwerkstoffe		269

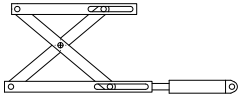
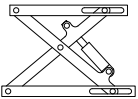
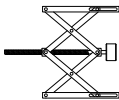
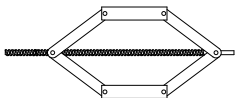
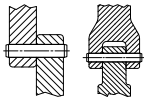
21.4	Zahnriemenprofile		270
21.5	Zahnriemenspanner		273
21.6	Zahnriemenräder		276
21.7	Auslegung der Zahnriementriebe		277
21.8	Hersteller und Lieferanten		277


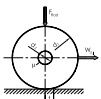
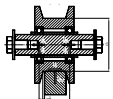
22	Kettentriebe	Praxistipps	279
22.1	Kettentriebe allgemein		279
22.2	Rollenketten		280
22.3	Kettenräder		282
22.4	Kettenspanner		283
22.5	Kettenführungen für Rollenketten		284
22.6	Schmierung		285

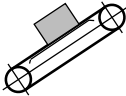

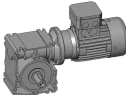
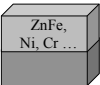

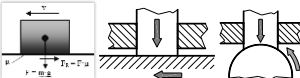
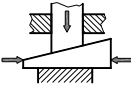


22.7	Schubketten		286
22.8	Auslegung der Kettentriebe		287
22.9	Hersteller und Lieferanten		288

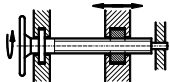
23	Greif- und Spannmechanismen	Berechnungen	289
23.1	Exzenterspanner		289
23.2	Schubstangenspanner		291
23.3	Greifer		295

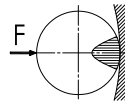

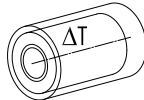
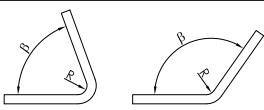
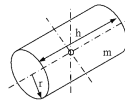
24	Pneumatik- und Hydraulikzylinder	Berechnungen	303
24.1	Pneumatikzylinder		303
24.2	Hydraulikzylinder		305
24.3	Gasfeder		307
24.4	Hersteller und Lieferanten		308

25	Scherenhubtische	Berechnungen	310
25.1	Scherenhubtisch, Typ 1		310
25.2	Scherenhubtisch Typ 2		313
25.3	Scherenhubtisch Typ 3		317
25.4	Scherenwagenheber		321
25.5	Antriebsauslegung einer Gewindespindel	$M = F \cdot \tan(\alpha + \rho_G) \cdot \frac{d_2}{2}$	322
25.6	Gelenkbolzenauslegung		324


26	Laufräder	Berechnungen	327
26.1	Laufradkraft		327
26.2	Fahrwiderstand		329
26.3	Lagerkräfte an einem Laufrad		330
26.4	Antriebsleistung eines Fahrwerkes	$P = M \cdot \omega$	332

27	Antriebsauslegung der Getriebe- und Fördertechnik	Berechnungen	333
27.1	Fördertechnik		335
27.2	Getriebetechnik		400
27.3	Elektrischer Antrieb		423
28	Korrosionsschutz	Praxistipps	442
28.1	Korrosion	$2Fe + \frac{3}{2}O_2 + 3H_2O \rightarrow 2Fe(OH)_3$	442
28.2	Korrosionsschutz		444
28.3	Hersteller und Lieferanten		445
29	Reibung	Berechnungen	446
29.1	Gleit- und Haftreibung		446
29.2	Keilreibung		448
29.3	Reibrichtgesperre		449
29.4	Rollreibung		450

29.5	Gewindereibung		452
29.6	Reibwerte	μ, μ_0	453

30	Technische Grundlagen	Berechnungen	454
30.1	Hertzsche Pressung		454
30.2	Knickbeanspruchung		456
30.3	Thermische Ausdehnung		460
30.4	Blechabwicklung		462
30.5	Massenträgheitsmomente		464
30.6	Lineare Interpolation	$y_0 = \frac{y_{+1} - y_{-1}}{x_{+1} - x_{-1}} \cdot (x_0 - x_{-1}) + y_{-1}$	470

31	Excel-Programme	siehe Online-Kapitel 31	472
----	-----------------	-------------------------	-----

32	Anhang		473
	Internet-Adressen ausgewählter Hersteller und Lieferanten		473
	Literaturhinweise		476
	Index		477

1 Werkstoffe

1.1 Werkstofftechnik

1.1.1 Definitionen

E-Modul, Elastizitätsmodul: $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ (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:

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

Torsion

τ_{tW} Torsionswechselfestigkeit:

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

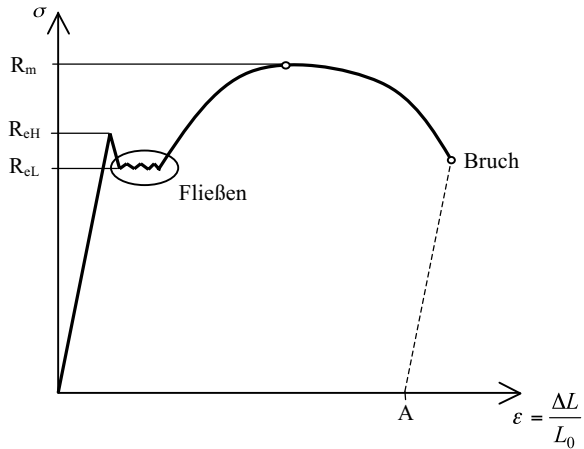
τ_{tSch} Torsionsschwellfestigkeit:

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

1.1.2 Spannungs-Dehnungsdiagramme

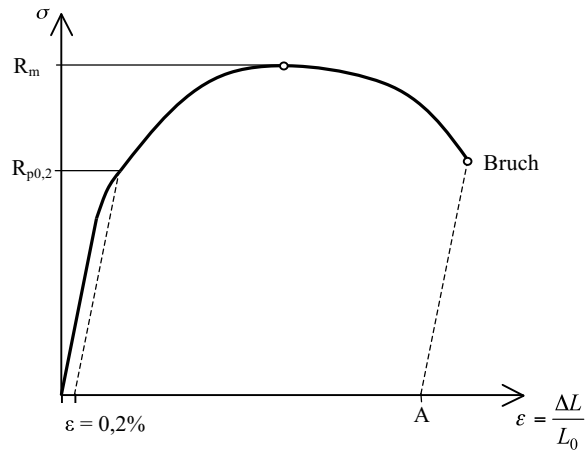
Stähle mit ausgeprägter Fließgrenze:

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. $R_{p0,2}$	σ_{zdW}	σ_{zdSch}	σ_{bW}	σ_{bSch}	τ_{bW}	τ_{bSch}
Unlegierte Baustähle, warm gewalzt (nach DIN EN 10025)										
S235JR2 (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
 $R_{p0,2}$ [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]: Biegechselfestigkeit
 σ_{bSch} [N/mm²]: Biegeschwellfestigkeit
 τ_{bW} [N/mm²]: Torsionschselfestigkeit
 τ_{bSch} [N/mm²]: Torsionsschwellfestigkeit

1.3 Gusswerkstoffe

Kurzname	Werkstoffnr.	A	R _{mN}	R _{p 0,2}	σ _{b W}	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_{p 0,2} [N/mm²]: Normwert für 0,2-%-Dehngrenze
σ_{b W} [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-CuSn7ZnNb	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	$\sigma_{b\ W}$	$\sigma_{1/1000}$	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]: Biegezugfestigkeit
 $\sigma_{1/1000}$ [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):

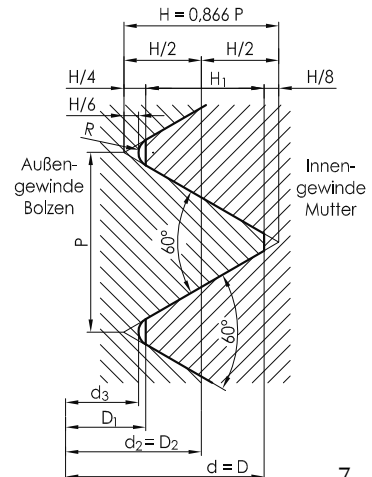
$$A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

Kernquerschnitt (Bolzen):

$$A_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} (= A_K)$$

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: $D_{Bohrer} = d - P$

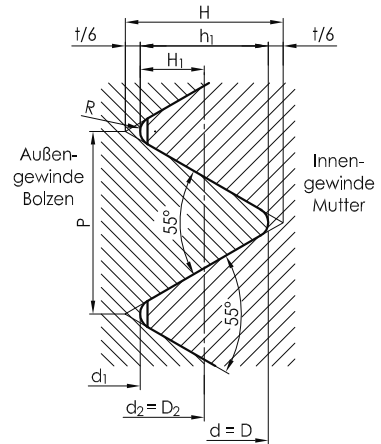
Steigungswinkel:
$$\varphi = \arctan \left(\frac{P}{d_2 \cdot \pi} \right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$$

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 Anziehdrehmoment (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/mm ²]: $\sigma_v = 0,9 \cdot R_{p0,2}$, 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]:

							rostfreie Schrauben		
Festigkeitsklasse	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 Wegertseder (www.wegertseder.com)

Montagevorspannkraft:

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

A_0 Schraubenquerschnitt [mm^2]

$A_0 = A_S$: Schaftschrauben

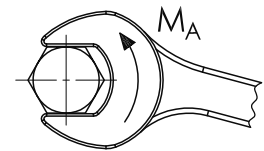
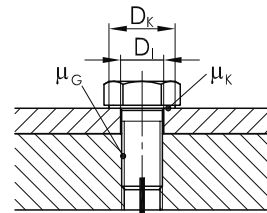
$$A_S = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

d_2 : Flankendurchmesser [mm]

d_3 : Kerndurchmesser [mm]

$A_0 = A_T$: Taillenschrauben

σ_M Montagevorspannung in der Schraube [N/mm^2]



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 [$^\circ$]:

P Gewindesteigung [mm]

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

ρ Gewindereibungswinkel [$^\circ$]:

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

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

β Flankenwinkel [$^\circ$] 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 MoS ₂ 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 kadmiert		Klebstoffe	
Gewindefertigung	Gewalzt			geschnitten	gewalzt oder geschnitten				
Schmierung	trocken	geölt	MoS ₂	geölt	trocken	geölt	trocken	geölt	-
μ _G	0,12	0,10	0,08	0,10	0,12	0,10	0,12	0,08	0,14

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

$$F_{M(4.8)} = F_{M(8.8)} \cdot \frac{R_{e(4.8)}}{R_{e(8.8)}}$$

mit: R_e : Tab. 2.3

F_M : Tab. 2.7 und Tab. 2.8

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

Gewinde d	Festig- keits- klasse	Montagevorspannkraft			Anziehdrehmoment		
		$F_{M9\ zul} [kN], \mu_G$			$M_{A9\ zul} [Nm], \mu_{K9} (\mu_G=0,12)$		
		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 Festigkeits-
klasse 5.6

V2A-Schrauben
Anziehen wie bei
Festigkeitsklasse 6.8

Titanschrauben
Anziehen wie bei Festigkeits-
klasse 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
 Drahtgewindeeinsatz 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 Riemenspannung 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
Gewindeeinsatzbuchse 43
Gewindeeinsatzbuchse Ensat® S/SB 43
Gewindeeinsatzbuchse Kobsert® 44
Gewindeeinsätze 40, 47
Gewindeeinsätze 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 Nestschaft 60
 Losdrehicherung 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

Sägewinde 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
 Schrägkugellager 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
 Schweißnähte 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
 Sicherungsscheiben 36
 Simmeringe® 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