

# 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 Nachschlagwerk 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, Hebewerk), oszillierende Fördersysteme (Schubkurbel) und Schrittschaltwerke (Malteserkreuzgetriebe). Als nächstes wird das vorgesetzte 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.hanserfachbuch.de](http://plus.hanserfachbuch.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 eingeprägt 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 Tipecska, die mit ihren Ratschlägen und praxisnahen Informationen maßgeblich zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben.

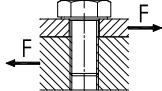
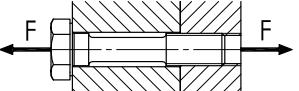
Madrid, im April 2024

*Stephan Regele*

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

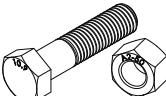
Auf der Webseite *http://www.maschinenelemente.biz* werden dann diese Veränderungen veröffentlicht.

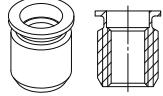
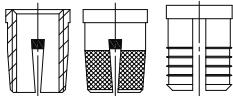
# Inhalt

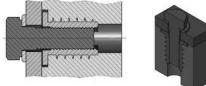
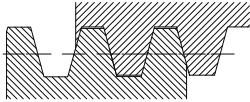
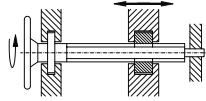
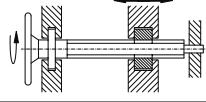
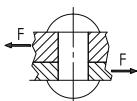
1	Werkstoffe			1
1.1	Werkstofftechnik		$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$	1
1.2	Stahl	Bau-, Vergütungs-, Einsatzstähle...		3
1.3	Gusswerkstoffe	Gusseisen, Temperguss, Stahlguss...		4
1.4	Nichteisenmetalle	Cu-, Al-, Mg-Legierungen...		5
1.5	Kunststoffe	Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere...		6
2	Schraubenverbindungen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

## Inhalt

---

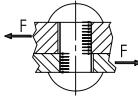
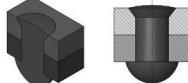
2.5	Einschraubtiefe/Mutterhöhe		15
2.6	Bezeichnungssysteme der Schrauben und Muttern		17
	Praxistipps		19
2.7	Schrauben		19
2.8	Muttern		28
2.9	Scheiben		35
2.10	Losdrehesicherung durch Kleben		38
2.11	Hersteller und Lieferanten		39

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

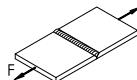
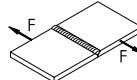
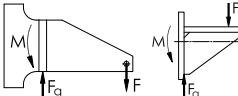
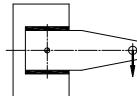
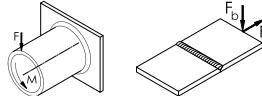
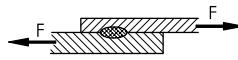
		Praxistipps	47
3.5	Funktion und Wirkung von Gewindeeinsätzen		47
3.6	Gewindeeinsätze		47
3.7	Hersteller und Lieferanten		51
4	Bewegungsschrauben	Berechnungen	52
4.1	Gewindetabellen und -normen (Trapezgewinde, Sägengewinde)		52
4.2	Gewindeauslegung		54
4.3	Festigkeitsnachweis	$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} < \sigma_{v,zul}$	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

## Inhalt

---

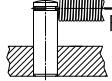
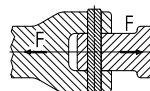
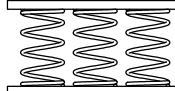
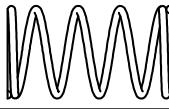
5.3	Lochleibungsdruck im Nietschaft		60
5.4	Momentenanschluss		62
		Praxistipps	63
5.5	Nietverbindungen allgemein		63
5.6	Niete		63
5.7	Verschiedene Blindniettypen im Vergleich		66
5.8	Hersteller und Lieferanten		67
<b>6 Klebeverbindungen</b>		<b>Berechnungen</b>	68
6.1	Festigkeitsnachweis		68
		Praxistipps	70
6.2	Kleben allgemein		70
6.3	Klebstoffarten	Epoxidharz-, Schmelzklebstoffe ...	72
6.4	Oberflächenbehandlung		73

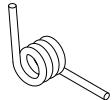
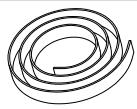
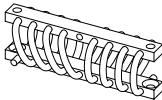
6.5	Konstruktive Gestaltung der Klebeverbindung		74
6.6	Hersteller und Lieferanten		74

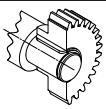
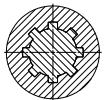
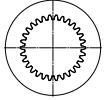
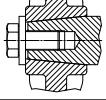
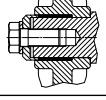
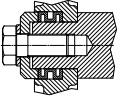
7	Schweißverbindungen	Berechnungen	75
7.1	Zug-/Druckbeanspruchung		75
7.2	Scherung		75
7.3	Torsion		75
7.4	Biegung		76
7.5	Schubbeanspruchung durch Drehmoment		78
7.6	Überlagerte Beanspruchungen		79
7.7	Zulässige Spannungen in den Schweißnähten	$\sigma_{zul} = \sigma_{zul}^* \cdot K_A$	79
7.8	Punktschweißverbindungen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

## Inhalt

---

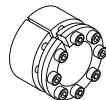
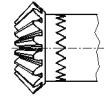
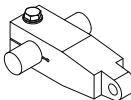
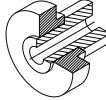
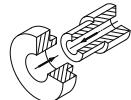
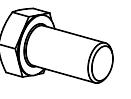
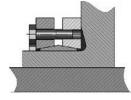
8	Bolzen und Stifte	Berechnungen	82
8.1	Steckstiftverbindung		82
8.2	Querstiftverbindung		83
8.3	Längsstiftverbindung		84
8.4	Bolzen (Gelenkbolzen)		85
9	Sicherungsringe	Berechnungen	87
9.1	Sicherungsringe für Wellen		87
9.2	Sicherungsringe für Bohrungen		89
9.3	Tragfähigkeitsberechnung der Nut		91
10	Federn	Berechnungen	92
10.1	Grundlagen		92
10.2	Zylindrische Druckfedern		94
10.3	Zylindrische Zugfedern		95

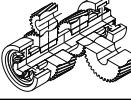
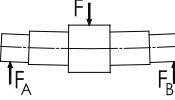
10.4	Drehfedern		96
10.5	Spiralfedern		97
10.6	Tellerfedern		98
10.7	Gummifedern		100
10.8	Drahtseilfedern		103

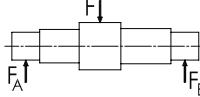
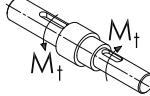
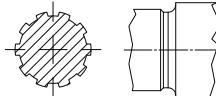
11	Welle-Nabe-Verbindung	Berechnungen	107
11.1	Passfeder (formschlüssig)		107
11.2	Keilwelle (formschlüssig)		108
11.3	Zahnwelle (formschlüssig)		108
11.4	Kegelpressverband (kraftschlüssig)		109
11.5	Kegelspannring (kraftschlüssig)		110
11.6	Sternscheiben (kraftschlüssig)		112
11.7	Druckhülse (kraftschlüssig)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

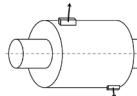
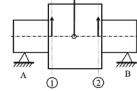
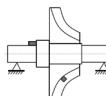
## Inhalt

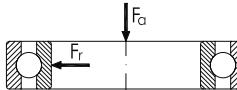
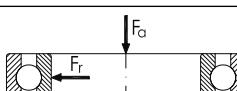
---

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	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_i)^2}$	145

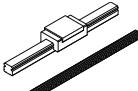
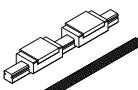
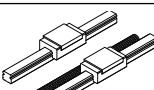
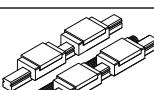
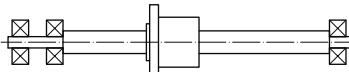
13	Auswuchttechnik	Berechnungen	146
13.1	Definition		146
13.2	Unwuchttarten		147
13.3	Auswuchtgüte	$G = \omega \cdot e_{zul}$	148
13.4	Zuordnung der Ausgleichsebenen		149
13.5	Auswuchten auf Umschlag		153

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

## Inhalt

---

14.3	Berechnungsfaktoren $X, Y, X_0, Y_0$		156
14.4	Schrägkugel- 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

## Inhalt

---

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	Kupplungsrehmoment ohne genaue Betriebsdaten		213	
18.2	Kupplungsrehmoment		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

## Inhalt

---

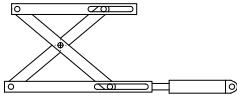
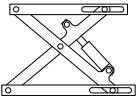
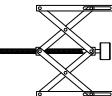
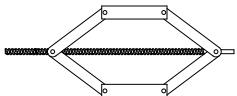
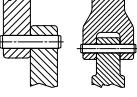
<b>20</b>	Zahnräder	Berechnungen	247
20.1	Allgemeine Berechnungen		247
20.2	Geradverzahntes Stirnradpaar		248
20.3	Schrägverzahntes Stirnradpaar		249
20.4	Geradverzahntes Kegelradpaar		249
20.5	Schrägverzahntes Kegelradpaar		251
20.6	Schneckenradsatz		252
20.7	Planetengetriebe		253
<b>21</b>	Zahnriementriebe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

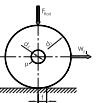
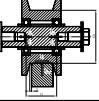
21.4	Zahnriemenprofile		270
21.5	Zahnriemenspanner		273
21.6	Zahnriemenräder		276
21.7	Auslegung der Zahnriementriebe		277
21.8	Hersteller und Lieferanten		277
22	Kettentriebe	Praxistipps	279
22.1	Kettentriebe allgemein		279
22.2	Rollenketten		280
22.3	Kettenräder		282
22.4	Kettenspanner		283
22.5	Kettenführungen für Rollenketten		284
22.6	Schmierung		285

## Inhalt

---

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

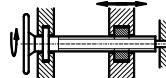
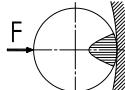
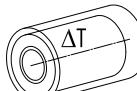
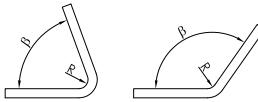
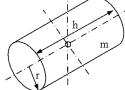
25	Scherenhubtische	Berechnungen	310
25.1	Scherenhubtisch, Typ 1		310
25.2	Scherenhubtisch Typ 2		313
25.3	Scherenhubtisch Typ 3		317
25.4	Scherenwagenheber		321
25.5	Antriebsauslegung einer Gewindespindel	$M = F \cdot \tan(\alpha + \rho_G) \cdot \frac{d_2}{2}$	322
25.6	Gelenkbolzauslegung		324

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

## Inhalt

---

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	$2Fe + \frac{3}{2} O_2 + 3 H_2O \rightarrow 2 Fe(OH)_3$	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	$\mu, \mu_0$	453
<b>30 Technische Grundlagen</b>		<b>Berechnungen</b>	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
<b>31</b>	<b>Excel-Programme</b>	<b>siehe Online-Kapitel 31</b>	<b>472</b>
<b>32</b>	<b>Anhang</b>		<b>473</b>
	Internet-Adressen ausgewählter Hersteller und Lieferanten		473
	Literaturhinweise		476
	Index		477

# 1 Werkstoffe

## 1.1 Werkstofftechnik

### 1.1.1 Definitionen

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

G-Modul, Schubmodul: 
$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

Werkstoff	E-Modul E [kN/mm <sup>2</sup> ]	G-Modul G [kN/mm <sup>2</sup> ]	Querkontraktionszahl (Poissonzahl) $\nu$
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:

Zug

Festigkeit:

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

$R_{eH}$  obere Streckgrenze für kohlenstoffarme (weichen) Stahl

$R_{eL}$  untere Streckgrenze für kohlenstoffarme (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

$\sigma_{zdW}$  Wechselfestigkeit für Zug – Druck:

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

$\sigma_{zdsch}$  Schwellfestigkeit für Zug – Druck:

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

Biegung

$\sigma_{bw}$  Biegewechselfestigkeit:

$$\sigma_{bw} \approx 0,5 \cdot R_m$$

$\sigma_{schw}$  Biegeschwellfestigkeit:

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

Torsion

$\tau_{tw}$  Torsionswechselfestigkeit:

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

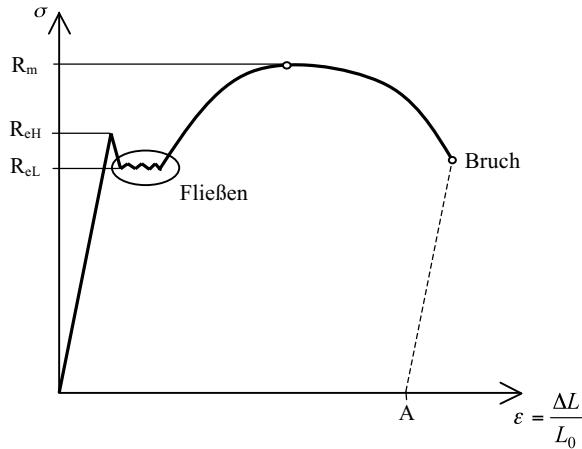
$\tau_{tsch}$  Torsionsschwellfestigkeit:

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

### 1.1.2 Spannungs-Dehnungsdiagramme

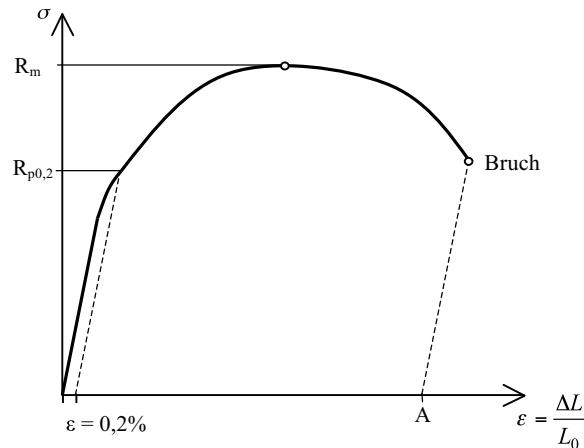
*Stähle mit ausgeprägter Fließgrenze:*

z. B. Baustahl, Automatenstahl, Vergütungsstahl



*Stähle mit nicht ausgeprägter Fließgrenze:*

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



## 1.2 Stahl

Kurzname	Werkstoffnr.	A	R <sub>mN</sub>	R <sub>e</sub> bzw. R <sub>p 0,2</sub>	$\sigma_{zd\ W}$	$\sigma_{zd\ Sch}$	$\sigma_{b\ W}$	$\sigma_{b\ Sch}$	$\tau_{b\ W}$	$\tau_{b\ Sch}$
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<sub>mN</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für ZugfestigkeitR<sub>e</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für StreckgrenzeR<sub>p 0,2</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für 0,2%-Dehngrenze $\sigma_{zd\ W}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Wechselfestigkeit Zug-Druck $\sigma_{zd\ Sch}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Schwellfestigkeit Zug-Druck $\sigma_{b\ W}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Biegewechselfestigkeit $\sigma_{b\ Sch}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Biegeschwellefestigkeit $\tau_{b\ W}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Torsionswechselfestigkeit $\tau_{b\ Sch}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Torsionsschwellefestigkeit

### 1.3 Gusswerkstoffe

Kurzname	Werkstoffnr.	A	R <sub>mN</sub>	R <sub>p,0,2</sub>	σ <sub>b,W</sub>	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<sub>mN</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für ZugfestigkeitR<sub>p,0,2</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für 0,2-%-Dehngrenzeσ<sub>b,W</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: BiegeweichselfestigkeitE-Modul [kN/mm<sup>2</sup>]

## 1.4 Nichteisenmetalle

Kurzname	Werkstoffnr.	A	R <sub>mN</sub>	R <sub>p 0,2</sub>	σ <sub>b W</sub>	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-AlMg3-H111	ENAW-5754	14	180	80	70	70
ENAW-AlCu4	ENAW-2007	7	370	240		70
ENAW-AlSi1MgMn-T6	ENAW-6082	10	310	255	110	70
ENAW-AlZn5	ENAW-7022	10	350	280	120	72
Aluminiumlegierungen Gusslegierungen						
G-AlSi12	3.2581.01	5	150	70	50	75
GK-AlMg5Si	3.3261.02	2	180	110	60	69
GK-AlCu4TiMgka	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<sub>mN</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für Zugfestigkeit  
R<sub>p 0,2</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für 0,2-%-Dehngrenze  
σ<sub>b W</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Biegewechselfestigkeit  
E-Modul [kN/mm<sup>2</sup>]

## 1.5 Kunststoffe

Kurzname	Dichte	Dehnung		$\sigma_M$	$\sigma_{BW}$	$\sigma_{1/1000}$	E-Modul	Temperatur	
		$\varepsilon_M$	$\varepsilon_B$					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 [ $\text{g/cm}^3$ ]

$\varepsilon_M$  [%]: Dehnung bei Zugfestigkeit

$\varepsilon_B$  [%]: Dehnung bei Bruchdehnung

$\sigma_M$  [ $\text{N/mm}^2$ ]: Zugfestigkeit

$\sigma_{BW}$  [ $\text{N/mm}^2$ ]: Biegeweichselfestigkeit

$\sigma_{1/1000}$  [ $\text{N/mm}^2$ ]: Zeitdehnspannung

E-Modul [ $\text{kN/mm}^2$ ]

Temperatur [ $^\circ\text{C}$ ]

## 2 Schraubenverbindungen

### 2.1 Gewindetabellen und -normen

Metrisches ISO-Gewinde (Flankenwinkel 60°)

Regelgewinde					
Gewinde-Ø	Steigung	Flan-	Bolzen	Mutter	Steigungs-
D = d	P	kern-Ø	Kern-Ø	Kern-Ø	winkel
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	Flankenkern-Ø	Bolzenkern-Ø	Mutterkern-Ø
d × P	D <sub>2</sub> = d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub> (d <sub>k</sub> )	D <sub>1</sub>
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):

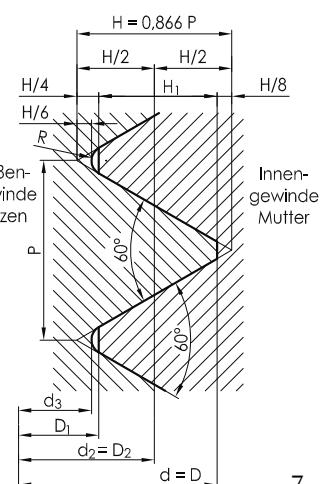
$$A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

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 <sub>1</sub> = D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> = d <sub>2</sub>	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:

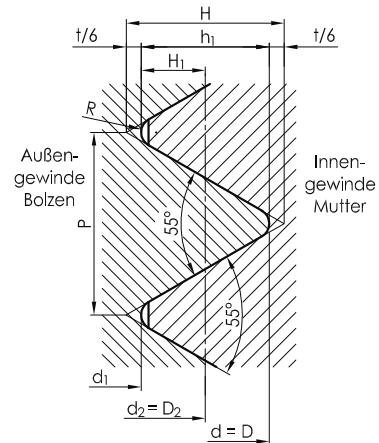
$$d_1 = D_1 = d - 1,28 \cdot P$$

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:

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

 $\sigma_v$  Vergleichsspannung [ $\text{N/mm}^2$ ]:  $\sigma_v = 0,9 \cdot R_{p0,2}$ , 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]

 $d_0 = d_T$ : Taillenschrauben [mm]

 $\mu_G$  Gewindereibzahl [-] (0,10 ... 0,14)

 Temperaturabhängige Festigkeitswerte von Schraubenstahl ( $R_{p0,2}$ ) [ $\text{N/mm}^2$ ]:

Festigkeitsklasse	4.8	5.6	6.8	8.8	10.9	12.9	rostfreie Schrauben		
							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
	+200 °C		230		540	790	925	168	360
	+250 °C		215		510	745	875	163	349
	+300 °C		195		480	705	825	157	337
	+400 °C						147	315	420

 Tab. 2.3 [1]; Technische Daten von Wegertseder ([www.wegertseder.com](http://www.wegertseder.com))

Montagevorspannkraft:

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

$A_0$  Schraubenquerschnitt [ $\text{mm}^2$ ]

$A_0 = A_S$ : Schaftschrauben

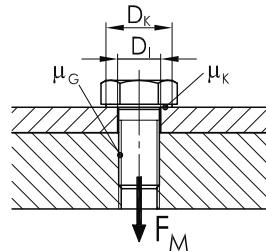
$$A_S = \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

$d_2$ : Flankendurchmesser [mm]

$d_3$ : Kerndurchmesser [mm]

$A_0 = A_T$ : Taillenschrauben

$\sigma_M$  Montagevorspannung in der Schraube [ $\text{N/mm}^2$ ]



Anziehdrehmoment (für metrische Regelgewinde  $60^\circ$ ):

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

$F_M$  Montagevorspannkraft [kN]

$P$  Gewindesteigung [mm]

$d_2$  Flankendurchmesser [mm]

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

$D_K$  äußerer Durchmesser [mm] der Kopfaulagefläche

$D_l$  Bohrdurchmesser [mm]

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

$\mu_k$  Reibzahl der Kopfaulage [-] (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]

$\varphi$  Gewindesteigungswinkel [ $^\circ$ ]:

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

$P$  Gewindesteigung [mm]

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

$\mu_G$  Gewindereibzahl [-] ( $0,10 \dots 0,14$ ), Tab. 2.4 bis Tab. 2.6

$\beta$  Flankenwinkel [ $^\circ$ ] mit:

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

$\mu_K$  Reibzahl der Kopfaulage [-], Tab. 2.4 bis Tab. 2.6

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

$D_K$  äußerer Durchmesser [mm] der Kopfaulagefläche

$D_l$  Bohrdurchmesser [mm]

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

phosphatiert leicht geölt	phosphatiert MoS <sub>2</sub> geschmiert	galvanisch verzinkt	galvanisch kadmiert	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  $\mu_K$  und  $\mu_G$  für Schrauben:

Oberfläche des Gewindes	schwarzvergütet phosphatiert				galvanisch verzinkt		galvanisch kadmiert		Klebstoffe
Gewindefertigung	Gewalzt			geschnitten	gewalzt oder geschnitten				
Schmierung	trocken	geölt	MoS <sub>2</sub>	geölt	trocken	geölt	trocken	geölt	-
$\mu_G$	0,12	0,10	0,08	0,10	0,12	0,10	0,12	0,08	0,14
Oberfläche der Kopfauflage	schwarzvergütet phosphatiert				galvanisch verzinkt		galvanisch kadmiert		
Gewindefertigung	gepresst			gedreht	gepresst				
Schmierung	trocken	geölt	MoS <sub>2</sub>	geölt	MoS <sub>2</sub>	trocken	geölt	trocken	geölt
$\mu_K$	0,10	0,10	0,08	0,10	0,08	0,10	0,10	0,08	0,08

Tab. 2.5 [1]

Reibungszahlen  $\mu_K$  und  $\mu_G$  für rostfreie Schrauben:

Schmiermittel		unter dem Kopf		im Gewinde	
Unter dem Kopf	im Gewinde	$\mu_K$	$\mu_G$		
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:

Montagevorspannkräfte 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]		
$\mu_{ges}$	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			
		$F_{M_3}$ , zul [kN], $\mu_G$	0,08	0,12	0,20	$M_{A_3}$ , zul [Nm], $\mu_K$ , ( $\mu_G=0,12$ )	0,08	0,12
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	

Tab. 2.8 [1]

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

# Index

## Symbole

$\omega$ -Verfahren 459

## A

Abstreifer (Hydraulik) 205  
 Achsen und Wellen 133  
 Anlaufscheibe 172  
 Antriebsauslegung einer Gewindespindel 322  
 Antriebsleistung eines Fahrwerkes 332  
 Anziehdrehmoment 9 f.  
 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  
 Expansionssert® 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 Bewegungs-schrauben 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  
Kammprofildichtungen 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  
 Krezrollenlager 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 Wälzlagern 161  
 Lineare Interpolation 470  
 Linearführung 176  
 Linearführungen 178  
 Lineartisch 176  
 Lochleibungsdruck im Nietschaft 60  
 Losdrehsicherung 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  
Rohniere 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  
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  
Schweißnähten 79  
Schweißverbindungen 75  
Schwellfestigkeit 1  
Schwingungisolierung 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 116f.  
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  
Unwuchtarten 147

**V**

Verbindungsglieder 281  
Verbund-Gleitlager 175  
VierpunktLAGER 164

**W**

WälzLAGER 155, 162, 303  
- Auswahl 162  
Wasserbasierende Klebstoffe 72  
Wechseldrehmoment von Kupplungen 217  
Wechselfestigkeit 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