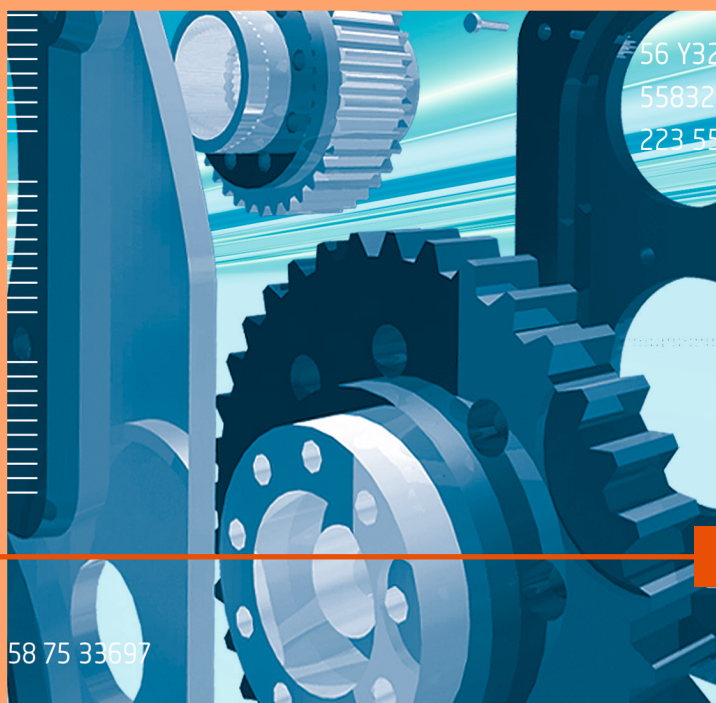


Stephan Regele



# Auslegung von Maschinenelementen

Formeln, Einsatztipps,  
Berechnungsprogramme



3., aktualisierte Auflage

HANSER



Regele  
**Auslegung von Maschinenelementen**



**Ihr Plus - digitale Zusatzinhalte!**

Auf unserem Download-Portal finden Sie zu diesem Titel kostenloses Zusatzmaterial. Geben Sie dazu einfach diesen Code ein:

plus-Z8nwV-CrwbF

**plus.hanser-fachbuch.de**



**Bleiben Sie auf dem Laufenden!**

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

**www.hanser-fachbuch.de/newsletter**



Stephan Regele

# **Auslegung von Maschinenelementen**

Formeln, Einsatztipps, Berechnungs-  
programme

3., aktualisierte Auflage

**HANSER**

Über den Autor:

*Dipl.-Ing. Stephan Regele* war sechs Jahre Konstrukteur bei der MAN Roland Druckmaschinen AG. Seit 2002 ist er Inhaber eines Ingenieurbüros in der Nähe von Madrid ([www.inotec-sl.net](http://www.inotec-sl.net)). Zu den Hauptgeschäftsfeldern des Unternehmens zählen Entwicklungsprojekte auf den Gebieten des Betriebsmittel- und Prüfvorrichtungsbaus für die Luftfahrt- und Transportindustrie.



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

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

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Wir behalten uns auch eine Nutzung des Werks für Zwecke des Text- und Data Mining nach § 44b UrhG ausdrücklich vor. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2024 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Dr. Philippa Söldenwagner-Koch

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: © Atelier Frank Wohlgemuth, Bremen

Satz: Eberl & Koesel Studio, Kempten

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany

## 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, Hebewerk), 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](http://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




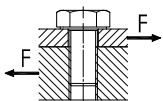
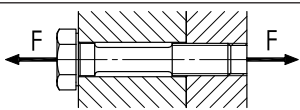
*Stephan Regele*


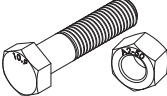


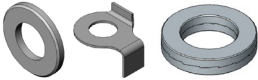




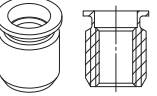
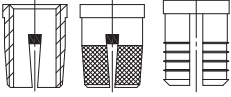
Für Kritik, Anregungen, Hinweise und Verbesserungsvorschläge unter der Adresse [info@maschinenelemente.biz](mailto:info@maschinenelemente.biz) bin ich jederzeit dankbar.

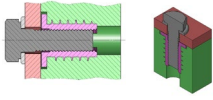
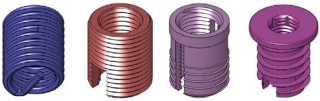

Auf der Webseite <http://www.maschinenelemente.biz> werden dann diese Veränderungen veröffentlicht.

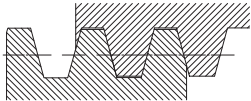
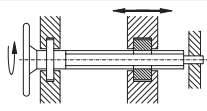
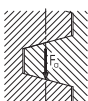
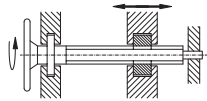


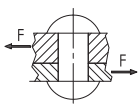

# Inhalt

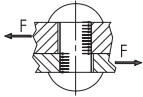
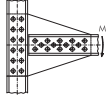
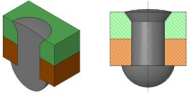

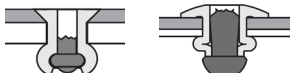

1	Werkstoffe		1	
1.1	Werkstofftechnik		$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$	1
1.2	Stahl	Bau-, Vergütungs-, Einsatzstähle...	3	
1.3	Gusswerkstoffe	Gusseisen, Temperguss, Stahlguss...	4	
1.4	Nichteisenmetalle	Cu-, Al-, Mg-Legierungen...	5	
1.5	Kunststoffe	Thermoplaste, Duroplaste, Elastomere...	6	
2	Schraubenverbindungen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

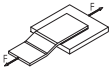


2.5	Einschraubtiefe/Mutterhöhe		15
2.6	Bezeichnungssysteme der Schrauben und Muttern		17
		<b>Praxistipps</b>	19
2.7	Schrauben		19
2.8	Muttern		28
2.9	Scheiben		35
2.10	Losdrehicherung durch Kleben		38
2.11	Hersteller und Lieferanten		39
<b>3</b>	<b>Gewindeeinsätze</b>	<b>Berechnungen</b>	<b>40</b>
3.1	Drahtgewindeeinsatz Helicoil®		40
3.2	Gewindeeinsatzbuchse Ensart® S / SB		43
3.3	Gewindeeinsatzbuchse Kobsert®		44
3.4	Gewindeeinsatzbuchse Expansionsert® / Sprederst®		45



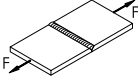
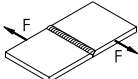

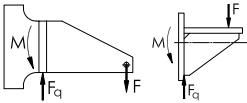
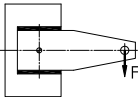
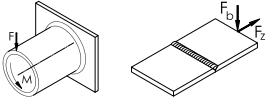
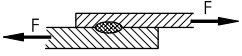
		Praxistipps	47
3.5	Funktion und Wirkung von Gewindeeinsätzen		47
3.6	Gewindeeinsätze		47
3.7	Hersteller und Lieferanten		51

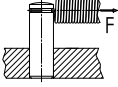


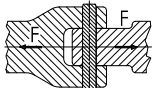
4	Bewegungsschrauben	Berechnungen	52
4.1	Gewindetabellen und -normen (Trapezgewinde, Sägewinde)		52
4.2	Gewindeauslegung		54
4.3	Festigkeitsnachweis	$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} < \sigma_{v,zul}$	55
4.4	Flächenpressung der Gewindeflanken		57
4.5	Prüfung auf Knicksicherheit		59




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

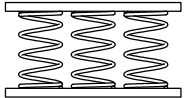

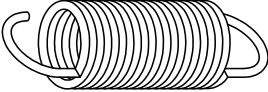
5.3	Lochleibungsdruck im Nietschaft		60
5.4	Momentenanschluss		62
		Praxistipps	63
5.5	Nietverbindungen allgemein		63
5.6	Niete		63
5.7	Verschiedene Blindniettypen im Vergleich		66
5.8	Hersteller und Lieferanten		67

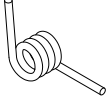



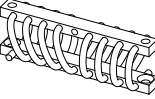
6	Klebeverbindungen	Berechnungen	68
6.1	Festigkeitsnachweis		68
		Praxistipps	70
6.2	Kleben allgemein		70
6.3	Klebstoffarten	Epoxidharz-, Schmelzklebstoffe ...	72
6.4	Oberflächenbehandlung		73

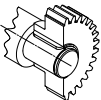
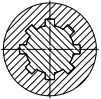
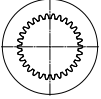
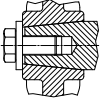
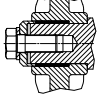

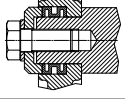
6.5	Konstruktive Gestaltung der Klebeverbindung		74
6.6	Hersteller und Lieferanten		74
7	Schweißverbindungen	Berechnungen	75
7.1	Zug-/Druckbeanspruchung		75
7.2	Scherung		75
7.3	Torsion		75
7.4	Biegung		76
7.5	Schubbeanspruchung durch Drehmoment		78
7.6	Überlagerte Beanspruchungen		79
7.7	Zulässige Spannungen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

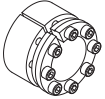
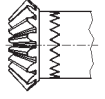
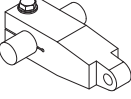
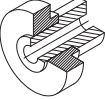
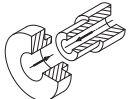
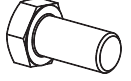
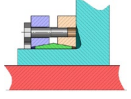
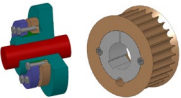

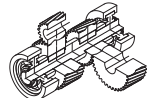
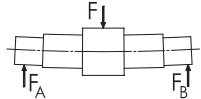
8	Bolzen und Stifte	Berechnungen	82
8.1	Steckstiftverbindung		82
8.2	Querstiftverbindung		83
8.3	Längsstiftverbindung		84
8.4	Bolzen (Gelenkbolzen)		85

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

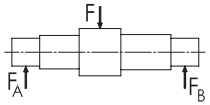
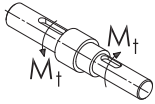
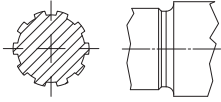
10	Federn	Berechnungen	92
10.1	Grundlagen		92
10.2	Zylindrische Druckfedern		94
10.3	Zylindrische Zugfedern		95


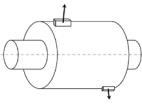
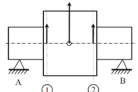
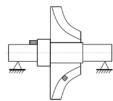
10.4	Drehfedern		96
10.5	Spiralfedern		97
10.6	Tellerfedern		98
10.7	Gummifedern		100
10.8	Drahtseilfedern		103

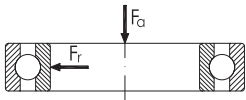
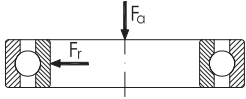
11	Welle-Nabe-Verbindung	Berechnungen	107
11.1	Passfeder (formschlüssig)		107
11.2	Keilwelle (formschlüssig)		108
11.3	Zahnwelle (formschlüssig)		108
11.4	Kegelpressverband (kraftschlüssig)		109
11.5	Kegelspannring (kraftschlüssig)		110
11.6	Sternscheiben (kraftschlüssig)		112
11.7	Druckhülse (kraftschlüssig)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

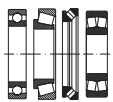
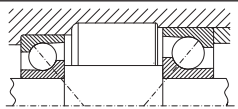
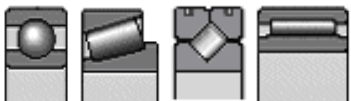
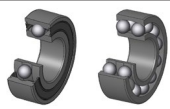

11.8	Kegelspannring (kraftschlüssig)		114
11.9	Stirnzahnverbindung		116
11.10	Klemmverbindung (kraftschlüssig)		117
11.11	Zylindrischer Pressverband, Berechnung rein elastischer Beanspruchung		119
11.12	Fügetemperatur		121
11.13	Vorspannkräfte für kraft- schlüssige Spannelemente		122
		Praxistipps	124
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

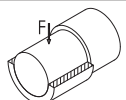
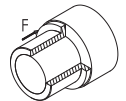
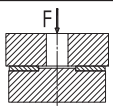
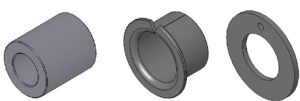


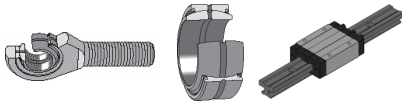

12.3	Biegekritische Drehzahl		136
12.4	Verdrehwinkel		137
12.5	Berechnung gefährdeter Wellenquerschnitte		138
12.6	Allgemeine Festigkeitsberechnung	$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_t)^2}$	145

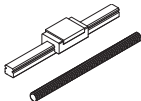
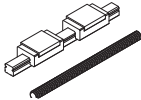
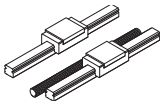
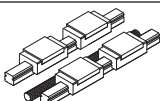
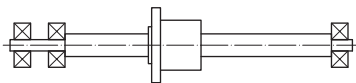
13	Auswuchttechnik	Berechnungen	146
13.1	Definition		146
13.2	Unwuchtarten		147
13.3	Auswuchtgüte	$G = \omega \cdot e_{zul}$	148
13.4	Zuordnung der Ausgleichsebenen		149
13.5	Auswuchten auf Umschlag		153

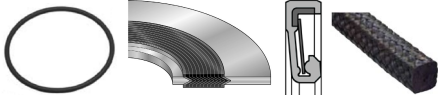
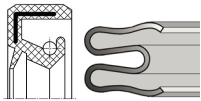
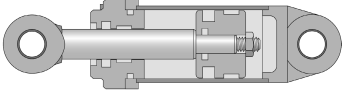
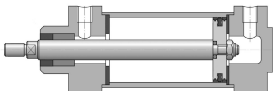
14	Wälzlager	Berechnungen	155
14.1	Dynamische äquivalente Belastung		155
14.2	Statische äquivalente Belastung		155

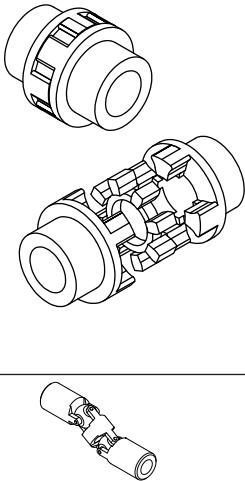

14.3	Berechnungsfaktoren X, Y, X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub>		156
14.4	Schrägkugel- bzw. Kegelrollenlager		159
14.5	Lebensdauerberechnung	$L = \left( \frac{C \cdot f_r}{P} \right)^3 \cdot 10^6$	161
		Praxistipps	162
14.6	Auswahl der Wälzlager		162
14.7	Wälzlager		163
14.8	Hersteller und Lieferanten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

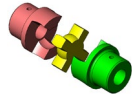
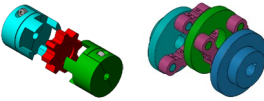

15	Gleitlager und -führungen	Berechnungen	169
15.1	Radialgleitlager		169
15.2	Bundbuchse		169
15.3	Axialgleitlager		170
		Praxistipps	172
15.4	Auswahl der Gleitlager		172

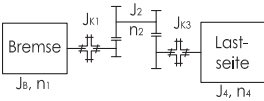
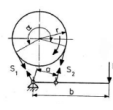
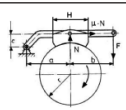
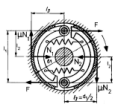
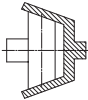
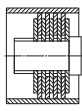
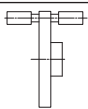
15.5	Verschiedene Anwendungen		176
15.6	Hersteller und Lieferanten		177

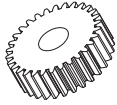
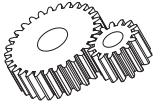
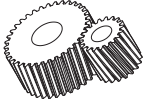




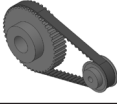
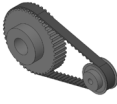
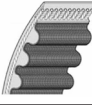
16	Linearführungen	Berechnungen	178
16.1	Auslegung: ein Wagen auf einer Schiene		179
16.2	Auslegung: zwei Wagen auf einer Schiene		180
16.3	Auslegung: zwei Wagen auf zwei Schienen		181
16.4	Auslegung: vier Wagen auf zwei Schienen		182
16.5	Bedingung für kombinierte Belastungen	$\Sigma \frac{F}{C} + \Sigma \frac{M}{M_0} \leq 1$	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

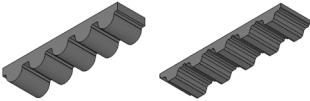
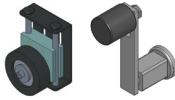
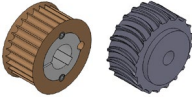


17	Dichtungstechnik	Praxistipps	191
17.1	Übersicht		191
17.2	Dichtungselemente		192
17.3	Dichtungselemente für Hydraulikzylinder		202
17.4	Dichtungselemente für Pneumatikzylinder		207

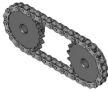
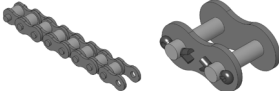
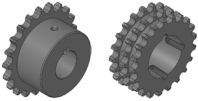

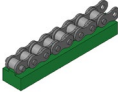

18	Kupplungen	Berechnungen	213
18.1	Kupplungsdrehmoment ohne genaue Betriebsdaten		213
18.2	Kupplungsdrehmoment		214
18.3	Verdrehwinkel einer elastischen Kupplung		216
18.4	Periodisches Wechseldrehmoment		217
18.5	Wellengelenke		218
18.6	Trägheitsmomente		219




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

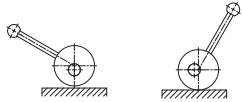

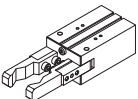
19	Bremsen	Berechnungen	236
19.1	Allgemeine Berechnungen		236
19.2	Bandbremsen		237
19.3	Außenbackenbremsen		241
19.4	Innenbackenbremsen		243
19.5	Kegelbremsen		244
19.6	Lamellenbremse		246
19.7	Teilscheibenbremsen		246


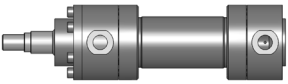


20	Zahnräder	Berechnungen	247
20.1	Allgemeine Berechnungen		247
20.2	Geradverzahntes Stirnradpaar		248
20.3	Schrägverzahntes Stirnradpaar		249
20.4	Geradverzahntes Kegelradpaar		249
20.5	Schrägverzahntes Kegelradpaar		251
20.6	Schneckenradsatz		252
20.7	Planetengetriebe		253
21	Zahnriementriebe	Berechnungen	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

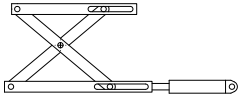
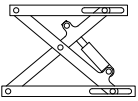
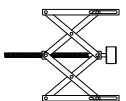
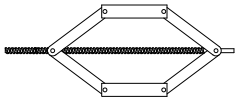
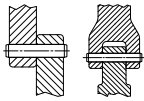
22	Kettentriebe	Praxistipps	279
22.1	Kettentriebe allgemein		279
22.2	Rollenketten		280
22.3	Kettenräder		282
22.4	Kettenspanner		283
22.5	Kettenführungen für Rollenketten		284
22.6	Schmierung		285


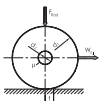
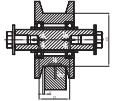
22.7	Schubketten		286
22.8	Auslegung der Kettentriebe		287
22.9	Hersteller und Lieferanten		288

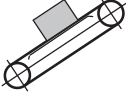

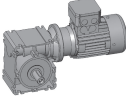
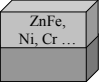

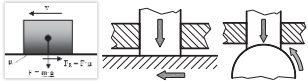
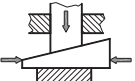


23	Greif- und Spannmechanismen	Berechnungen	289
23.1	Exzentrerspanner		289
23.2	Schubstangenspanner		291
23.3	Greifer		295


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

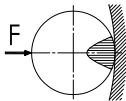

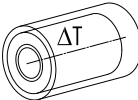
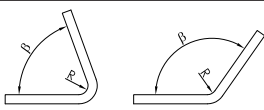
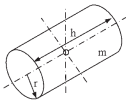


25	Scherenhubtische	Berechnungen	310
25.1	Scherenhubtisch, Typ 1		310
25.2	Scherenhubtisch Typ 2		313
25.3	Scherenhubtisch Typ 3		317
25.4	Scherenwagenheber		321
25.5	Antriebsauslegung einer Gewindespindel	$M = F \cdot \tan(\alpha + \rho_G) \cdot \frac{d_2}{2}$	322
25.6	Gelenkbolzenauslegung		324


26	Laufräder	Berechnungen	327
26.1	Laufkraft		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	$\mu, \mu_0$	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



## SCHLÜSSEL IM BUS

Ein Schlüssel liegt in diesem Bus.

Ein Schlüssel liegt in diesem Bus.

Es handelt sich in diesem Fall, ich schätze,  
ganz einfach: um zwei Inbus-Schlüssel-Sätze

*Willy Astor*

Unverrichter der Dinge

© 2006 Verlag Antje Kunstmann GmbH, München



# 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 <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:

#### 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

$\sigma_{zdW}$  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:

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

Torsion

$\tau_{tW}$  Torsionswechselfestigkeit:

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

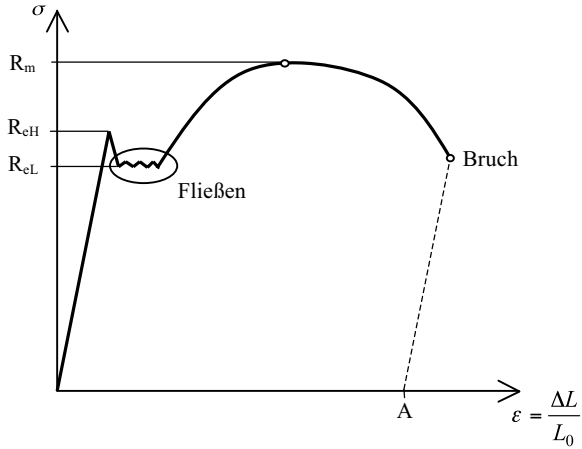
$\tau_{tSch}$  Torsionsschwellfestigkeit:

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

### 1.1.2 Spannungs-Dehnungsdiagramme

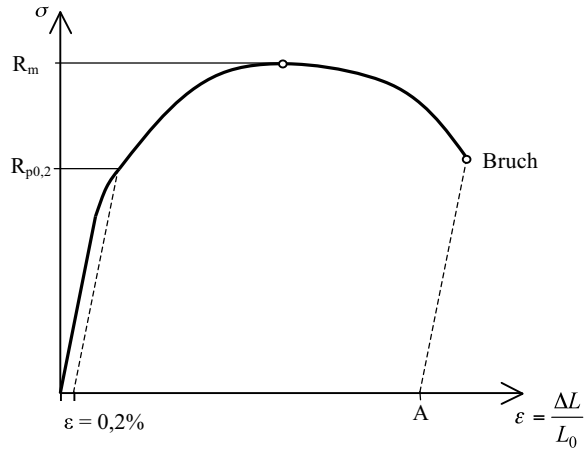
*Stähle mit ausgeprägter Fließgrenze:*

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>	σ <sub>zdW</sub>	σ <sub>zdSch</sub>	σ <sub>bW</sub>	σ <sub>bSch</sub>	τ <sub>bW</sub>	τ <sub>bSch</sub>
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 Zugfestigkeit  
R<sub>e</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für Streckgrenze  
R<sub>p 0,2</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für 0,2%-Dehngrenze  
σ<sub>zdW</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Wechselfestigkeit Zug-Druck  
σ<sub>zdSch</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Schwellfestigkeit Zug-Druck  
σ<sub>bW</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Biegechselfestigkeit  
σ<sub>bSch</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Biegeschwellfestigkeit  
τ<sub>bW</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Torsionswechselfestigkeit  
τ<sub>bSch</sub> [N/mm<sup>2</sup>]: Torsionsschwellfestigkeit

## 1.3 Gusswerkstoffe

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

Tab. 1.3 [2]; A [%]: Bruchdehnung  
 $R_{mN}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für Zugfestigkeit  
 $R_{p0,2}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Normwert für 0,2-%-Dehngrenze  
 $\sigma_{bW}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Biegewechselfestigkeit  
E-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-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<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>]: Biege-wechselfestigkeit  
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 [g/cm<sup>3</sup>]  
 $\varepsilon_M$  [%]: Dehnung bei Zugfestigkeit  
 $\varepsilon_B$  [%]: Dehnung bei Bruchdehnung  
 $\sigma_M$  [N/mm<sup>2</sup>]: Zugfestigkeit  
 $\sigma_{bW}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Biegewechselfestigkeit  
 $\sigma_{1/1000}$  [N/mm<sup>2</sup>]: Zeitdehnspannung  
E-Modul [kN/mm<sup>2</sup>]  
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 <sub>2</sub> = d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub> (d <sub>k</sub> )	D <sub>1</sub>	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 <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):

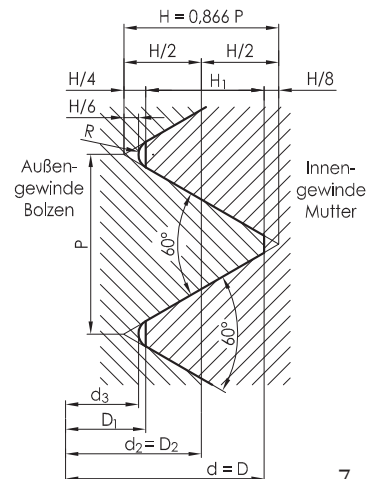
$$A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

Kernquerschnitt (Bolzen):

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

Flankendurchmesser:

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



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

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

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

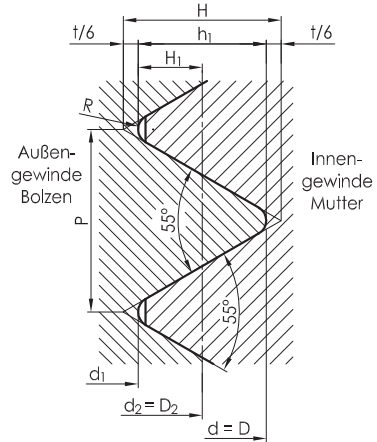
Steigungswinkel:  $\varphi = \arctan\left(\frac{P}{d_2 \cdot \pi}\right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi}$

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 Anziedrehmoment (längs belastete Schrauben)

Montagevorspannung in der Schraube:

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

- $\sigma_v$  Vergleichsspannung [N/mm<sup>2</sup>]:  $\sigma_v = 0,9 \cdot R_{p0,2}$ , 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]
- $\mu_G$  Gewindereibzahl [-] (0,10 ... 0,14)

Temperaturabhängige Festigkeitswerte von Schraubenstahl ( $R_{p0,2}$ ) [N/mm<sup>2</sup>]:

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

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

Montagevorspannkraft:

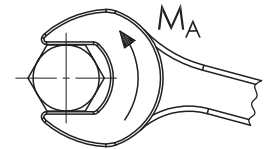
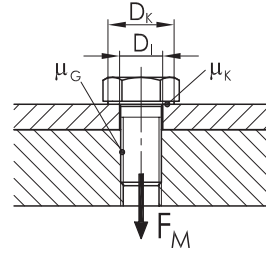
$$F_M = A_0 \cdot \sigma_M \quad [\text{N}]$$

$A_0$  Schraubenquerschnitt [mm<sup>2</sup>]  
 $A_0 = A_S$ : 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 [N/mm<sup>2</sup>]



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]

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

$\mu_K$  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]

$\varphi$  Gewindesteigungswinkel [°]:

$P$  Gewindesteigung [mm]

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

$\rho$  Gewindereibungswinkel [°]:

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

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

$\beta$  Flankenwinkel [°] mit:

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

$\mu_K$  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 <sub>2</sub> 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  $\mu_k$  und  $\mu_G$  für Schrauben:

Oberfläche des Gewindes	schwarzvergütet phosphatiert				galvanisch verzinkt	galvanisch kadmiiert	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 Kopfauflege	schwarzvergütet phosphatiert					galvanisch verzinkt	galvanisch kadmiiert		
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:

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]		
$\mu_{ges}$	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:

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

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

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

Weitere Schraubentypen:

**Aluschrauben**

Anziehen wie bei 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]

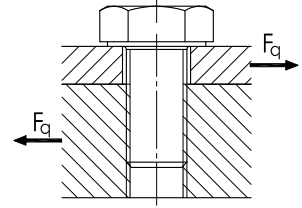
## 2.3 Querbelastete Schrauben

### 2.3.1 Querbelastete Durchsteckschrauben

Erforderliche Vorspannkraft:

$$F_V = \frac{F_Q \cdot S_R}{n \cdot m \cdot \mu} < F_{M,zul} \quad [\text{N}]$$

- $F_Q$  Querkraft [N]  
 $S_R$  Sicherheit:  $S_R = 1,5$  (schwingend);  $S_R = 1,3$  (ruhend)  
 $n$  Anzahl der Schrauben [-]  
 $m$  Anzahl der Bauteilreibflächen [-] (Fugen)  
 $\mu$  Haftreibzahl der Bauteile  
 Stahl-Stahl:  $\mu = 0,15 \dots 0,20$   
 Stahl-Gusseisen/Bronze:  $\mu = 0,18 \dots 0,25$   
 Gusseisen-Gusseisen/Bronze:  $\mu = 0,22 \dots 0,26$   
 $F_{M,zul}$  Zulässige Montagevorspannkraft [N], (Tab. 2.7 und 2.8)



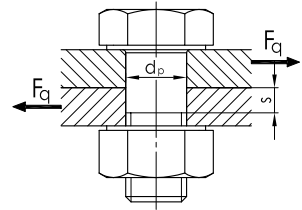
### 2.3.2 Querbelastete Passschrauben

Erforderliche Vorspannkraft: siehe oben

Scherspannung:

$$\tau_a = \frac{F_Q}{m \cdot A} \leq \tau_{a,zul} \quad [\text{N/mm}^2]$$

- $F_Q$  Querkraft an einer Schraube [N]  
 $m$  Anzahl der Bauteilreibflächen [-]  
 $A$  Schaftquerschnitt:  $A = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}$  [N/mm<sup>2</sup>]



Lochleibung:

$$\sigma_l = \frac{F_Q}{d \cdot s} \leq \sigma_{l,zul} \quad [\text{N/mm}^2]$$

- $F_Q$  Querkraft an einer Schraube [N]  
 $d$  Schaftdurchmesser [mm]  
 $s$  Kleinste tragende Länge der Schraube in einem Bauteil [mm]

Zulässige Spannungen querbeanspruchter Schraubenverbindungen:

Zulässige Spannungen	Lastfall			
	ruhend	schwel- lend	wech- selnd	
$\tau_{a,zul}$	$0,6 \cdot R_e$	$0,5 \cdot R_e$	$0,4 \cdot R_e$	$R_e$ : Schraubenwerkstoff (Tab. 2.3)
$\sigma_{l,zul}$	$0,75 \cdot R_m$ oder $1,2 \cdot R_e$	$0,6 \cdot R_m$ oder $0,9 \cdot R_e$	$0,6 \cdot R_m$ oder $0,9 \cdot R_e$	$R_m, R_e$ : Werkstoffe von Schraube oder Bauteil (Tab. 1.1 ff)

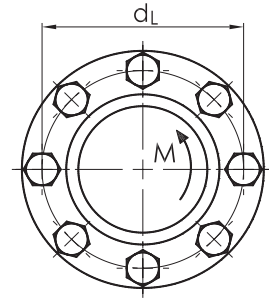
Tab. 2.9 [1]

### 2.3.3 Drehmomentübertragung durch einen Flansch

Erforderliche Vorspannkraft:

$$F_V = \frac{2 \cdot M}{n \cdot d_L \cdot \mu} < F_{M,zul} \quad [\text{N}]$$

- $M$  Drehmoment [Nmm]
- $n$  Anzahl der Schrauben [-]
- $\mu$  Haftreibzahl der Bauteile [-]
  - Stahl-Stahl:  $\mu = 0,15 \dots 0,20$
  - Stahl-Gusseisen/Bronze:  $\mu = 0,18 \dots 0,25$
  - Gusseisen-Gusseisen/Bronze:  $\mu = 0,22 \dots 0,26$
- $d_L$  Lochkreisdurchmesser [mm]
- $F_{M,zul}$  Zulässige Montagevorspannkraft [N], Tab. 2.7 und 2.8

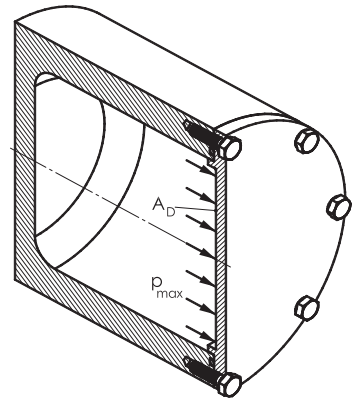


### 2.3.4 Abdichten gegen ein Medium

Erforderliche Vorspannkraft:

$$F_V = \frac{A_D \cdot p_{max}}{n} < F_{M,zul} \quad [\text{N}]$$

- $A_D$  Druckbeaufschlagte Fläche [mm<sup>2</sup>]
- $p_{max}$  maximaler Innendruck [N/mm<sup>2</sup>]  
1 bar = 0,1 N/mm<sup>2</sup> = 10<sup>6</sup> Pa = 14,504 psi
- $n$  Anzahl der Schrauben [-]
- $F_{M,zul}$  Zulässige Montagevorspannkraft [N], Tab. 2.7 und Tab. 2.8



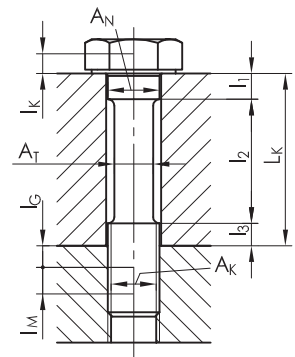
## 2.4 Nachgiebigkeit der Schrauben und Bauteile

### 2.4.1 Nachgiebigkeit der Schraube:

Dehnung:

$$\delta_S = \frac{1}{E_S} \cdot \left( \frac{l_K}{A_N} + \frac{l_1}{A_N} + \frac{l_2}{A_T} + \frac{l_3}{A_K} + \dots + \frac{l_G}{A_K} + \frac{l_M}{A_N} \right) \quad [\text{mm/kN}]$$

- $E_S$  E-Modul der Schraube [kN/mm<sup>2</sup>] (Stahl: 210 kN/mm<sup>2</sup>)
- $l_i \dots$  Länge der zylindrischen Einzelelemente der Schraube [mm]
  - $l_K = 0,4 \cdot d$  Ersatzlänge für Verformung im Schraubenkopf
  - $l_G = 0,5 \cdot d$  Ersatzlänge für Verformung im Gewinde
  - $l_M = 0,4 \cdot d$  zusätzliche Ersatzlänge für Verformung im Gewinde
- $A_i \dots$  Querschnittsfläche der verschiedenen Einzelelemente der Schraube [mm<sup>2</sup>]



$$A_N: \text{Nennquerschnitt: } A_N = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$A_T: \text{Tailenquerschnitt: } A_T = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \text{ (Schafschraube)}$$

$$A_K: \text{Kernquerschnitt: } A_K = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \text{ (=A3)}$$

$$\text{Verlängerung der Schraube: } f_{SM} = F_M \cdot \delta_S \text{ [mm]}$$

$F_M$  Montagevorspannkraft [N]

$\varphi_S$  Dehnung [mm/kN]

### 2.4.2 Nachgiebigkeit der Bauteile:

Stauchung:

$$\delta_B = \frac{1}{A_B} \cdot \left( \frac{L_1}{E_{B1}} + \frac{L_2}{E_{B2}} + \dots \right) \text{ [mm/kN]}$$

$L_i$  ... Einzeldicken der Bauteile [mm]

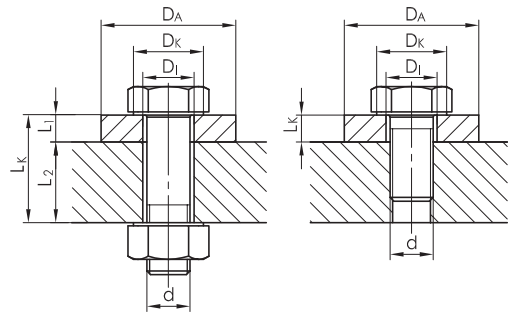
$E_{B1}$  E-Modul der Bauteile [kN/mm<sup>2</sup>]  
(Stahl: 210 kN/mm<sup>2</sup>)

$A_B$  Ersatzquerschnittsfläche [mm<sup>2</sup>], s. unten

$D_I$  Lochdurchmesser [mm]

$D_K$  Kopfauflagendurchmesser [mm]

$D_A$  Außendurchmesser/Breite des Bauteils [mm]



Ersatzquerschnittsfläche:

$$\text{I) } D_A \leq D_K: \quad A_B = \frac{\pi}{4} \cdot (D_A^2 - D_I^2)$$

$$\text{II) } D_K < D_A < D_K + L_K: \quad A_B = \frac{\pi}{4} \cdot (D_K^2 - D_I^2) + \frac{\pi}{8} \cdot D_K \cdot (D_A - D_K) \cdot ((x+1)^2 - 1) \quad \text{mit } x = \sqrt[3]{L_K \cdot D_K / D_A^2}$$

III)  $D_A \geq D_K + L_K$ : Man rechne mit  $D_A = D_K + L_K$  und berechne  $A_B$  mit der Formel II,

$$\text{Dickenabnahme der Bauteile: } f_{BM} = F_M \cdot \delta_B \text{ [mm]}$$

$F_M$  Montagevorspannkraft [kN]

$\varphi_B$  Stauchung [mm/kN]

## 2.5 Einschraubtiefe / Mutterhöhe

Vorläufige Mindesteinschraubtiefe:

$$m_{\min} = \frac{F_{S,\max} \cdot P}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_{zul}} \text{ [mm]}$$

## 2 Schraubenverbindungen

$F_{S,max}$  maximale Axialkraft [N]:  $F_{S,max} = 0,7 \cdot A_S \cdot R_{m(B)}$

$R_{m(B)}$  Zugfestigkeit des Bolzens [N/mm<sup>2</sup>], Tab. 2.3

$p_{zul}$  zulässige Flächenpressung [N/mm<sup>2</sup>]:  $p_{zul} = 0,9 \cdot R_{e(M)}$  bzw.  $p_{zul} = 0,9 \cdot R_{p0,2(M)}$

$R_{e(M)}$  Streckgrenze der Mutter [N/mm<sup>2</sup>], Tab. 1.2 bis Tab. 1.4

$R_{p0,2(M)}$  Dehngrenze der Mutter [N/mm<sup>2</sup>], Tab. 1.2 bis Tab. 1.4

Für metrisches Gewinde gilt:

$A_S$  Spannungsquerschnitt (Bolzen) [mm<sup>2</sup>]:

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

$d_2$  Flankendurchmesser des Bolzens [mm]:

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

$d_3$  Kerndurchmesser des Bolzens [mm]:

$$d_3 = d - 1,2269 \cdot P$$

$d$  Gewindegroße [mm]

$P$  Gewindesteigung [mm]

$H_1$  Gewindetiefe des Bolzengewindes [mm]:

$$H_1 = 0,5413 \cdot P$$

(mit  $H_1 = H - \frac{H}{4} - \frac{H}{8}$  und  $H = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot P$ )

Für Whitworth-Gewinde gilt:

$A_S$  Spannungsquerschnitt (Bolzen) [mm<sup>2</sup>]:

$$A_S = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2$$

$d_1$  Kerndurchmesser [mm]:

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

$d_2$  Flankendurchmesser [mm]:

$$d_2 = d - 0,64 \cdot P$$

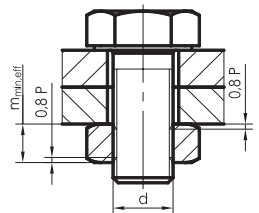
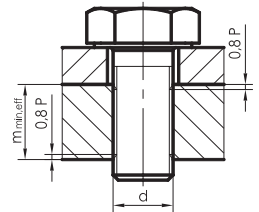
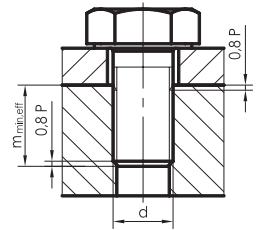
$P$  Gewindesteigung [mm]:

$$P = \frac{2,54}{Z}$$

$Z$  Gangzahl [-]

$H_1$  Gewindetiefe des Bolzens [mm]:

$$H_1 = 0,64 \cdot P$$



Effektive Mindesteinschraubtiefe:

$$m_{min,eff} = Z \cdot m_{min} + 2 \cdot 0,8 \cdot P \text{ [mm]}$$

$m_{min}$  Mindesteinschraubtiefe [mm]

$Z$  Gewindefaktor:

Regelgewinde oder wenn  $d/P < 9$ :  $Z = 1$

Feingewinde oder wenn  $d/P \geq 9$ :  $Z = 1,25$

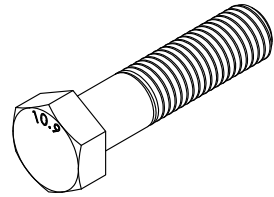
$0,8 \cdot P$  Gewindeauslauf bzw. Senkung [mm]

## 2.6 Bezeichnungssysteme der Schrauben und Muttern

### 2.6.1 Unlegierte und legierte Stahlschrauben

X.Y (Festigkeitsklassen: 4.8, 5.8, 6.8, 8.8, 9.8, 10.9, 12.9)

1. Zahl: Mindestzugfestigkeit  $X = R_m \text{ [N/mm}^2\text{]}/100$   
 2. Zahl: Mindeststreckgrenze  $Y = R_{p0,2}/R_m \cdot 10$



Beispiel: 12.9

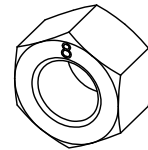
$$R_m = 12 \cdot 100 = 1200 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{p0,2} = 1200 \cdot 9/10 = 1080 \text{ N/mm}^2$$

### 2.6.2 Unlegierte und legierte Stahlmutter

X oder 0X (Festigkeitsklassen: 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 04, 05)

- a. Muttern mit Nennhöhe  $\geq 0,8 \cdot d$  ( $d$  = Nenngröße), mit voller Belastbarkeit  
 $X$  (auch:  $|X|$ ): Prüfspannung =  $X \cdot 100 \text{ [N/mm}^2\text{]}$   
 b. Niedrige Muttern (0 vor der Zahl) mit Nennhöhe  $0,5 - 0,8 \cdot d$ , mit eingeschränkter Belastbarkeit 0X: Prüfspannung =  $X \cdot 100 \text{ [N/mm}^2\text{]}$



Beispiel: 05

Niedrige Mutter: Prüfspannung =  $5 \cdot 100 = 500 \text{ N/mm}^2$

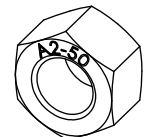
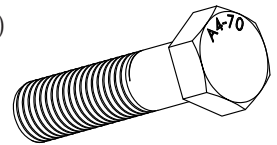
### 2.6.3 Edelstahlschrauben und -muttern

XY-Z (Festigkeitsklassen: A2-50, A2-70, A4-50, A4-70, A4-80)

- Werkstoffgruppe X A: Austenitischer Edelstahl (Cr-Ni-Stahl, Cr-Ni-Mo-Stahl)  
 C: Martensitischer Edelstahl (Cr-Stahl mit 0,2–1,0% C)  
 F: Ferritischer Edelstahl (Cr-Stahl mit < 0,2% C)

- Stahlgruppe Y 1: Automatenstahl  
 (1.4300, 1.4305)  
 2: Kaltstauchstahl (Cr-Ni), klassischer Edelstahl  
 (1.4301, 1.4303, 1.4306, AISI 306)  
 3: Kaltstauchstahl (Cr-Ni-Ti-Niob-Tantal)  
 (1.4306, 1.4550, 1.4590)  
 4: Kaltstauchstahl (Cr-Ni-Mo), hochsäurebeständig  
 (1.4401, 1.4404, 1.4306, AISI 316)  
 5: Kaltstauchstahl (Cr-Ni-Mo-Ti-Niob-Tantal), hochsäurebeständig  
 (1.4436, 1.4571, 1.4580)

Festigkeitsklasse Z: Mindestzugfestigkeit  $R_m \text{ [N/mm}^2\text{]} = Z \cdot 10$ , Tab. 2.14



Mindestzugfestigkeit  $R_m$  [N/mm<sup>2</sup>]

Festigkeits- klassen	Schrauben		Muttern Prüfspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	
	$R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$R_{p0,2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\geq 0,8 \cdot D$	$0,5 \leq D \leq 0,8$
50	500	210	500	250
70	700	450	700	350
80	800	600	800	400

Tab. 2.14 Wegertseder

Beispiel: A4-70

Cr-Ni-Mo (z. B.: 1.4404)

$$R_m = 70 \cdot 10 = 700 \text{ N/mm}^2$$



# Praxistipps: Schraubenverbindungen

## 2.7 Schrauben

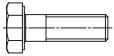



### Vorteile:

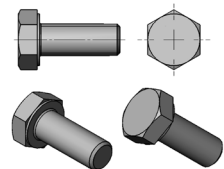
- lösbar, wiederverwendbar, hohe Temperaturbeständigkeit
- einfache Montage und Demontage
- Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe möglich
- Feingewinde besitzt höhere Kraftübertragung als Regelgewinde

### Nachteile:

- korrosionsanfällig, daher auf Materialpaarung achten
- aufwendige Vorbereitung der Verbindung (Bohren, Senken, Gewindegewinde)
- Schwächung des Bauteils durch Bohrungen
- nicht kontrolliertes Anziehen führt zu plastischen Verformungen bzw. zum Bruch
- Schrauben müssen gegen Lösen gesichert werden

### 2.7.1 Sechskantschrauben

Gültige Norm DIN EN ISO	4014	4017	8765	8676
Alte Norm DIN EN	24014	24017	28765	28676
Alte Norm DIN	931	933	960	961
Eigenschaft	Regelgewinde, mit Schaft	Regelgewinde bis zum Kopf	Feingewinde, mit Schaft	Feingewinde bis zum Kopf
Darstellung				



### Vorteile:

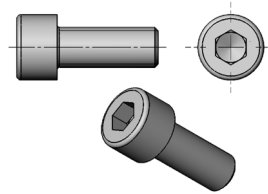
- sehr kostengünstig
- in fast allen Qualitäten und Oberflächen lieferbar
- sehr stabile Verbindung (massiver Schraubenkopf)
- bis zu Größe M48 als Standard erhältlich
- kann mit großem Drehmoment angezogen werden (stabiles Werkzeug)
- gut für automatisierte Schraubvorgängen an großen Gewinden geeignet (Hydraulikschrauber für hohe Drehmomente, siehe: [www.hytorc.de/verschraubungstechnologie](http://www.hytorc.de/verschraubungstechnologie))
- schnell verfügbar
- gleiches Werkzeug für Mutter und Schraube

**Nachteile:**

- Werkzeug sehr sperrig ⇒ hoher Platzbedarf um die Verbindung herum
- Versenken nur bedingt möglich (sehr große Senkung - Sonderwerkzeuge, oder zirkular fräsen ⇒ sehr teuer)

**2.7.2 Zylinderschrauben (normaler Kopf)**

Gültige Norm DIN EN ISO	4762	21269
Alte Norm DIN	912	
Eigenschaft	Regelgewinde, mit Schaft	Feingewinde, mit Schaft
Darstellung		



**Vorteile:**

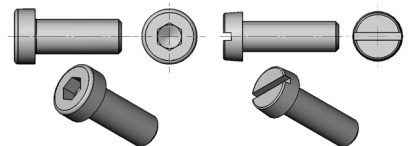
- in allen Qualitäten lieferbar
- sehr kostengünstig
- es werden kleine Werkzeuge benötigt (ein Loch zur Durchführung des Schlüssels genügt)
- schnell verfügbar
- gängigste Schraube im allgemeinen Maschinenbau

**Nachteile:**

- Anschraubteile müssen eine bestimmte Materialstärke haben (beim Versenken des Schraubenkopfes)
- kann nicht mit so hohem Moment angezogen werden wie Außensechskant (werkzeugbedingt)

**2.7.3 Zylinderschrauben (niedriger Kopf)**

Gültige Norm DIN EN ISO			1207
Gültige Norm DIN EN	6912	7984	
Alte Norm DIN			84
Eigenschaft	Regelgewinde, niedriger Kopf, Schlüsselführung	Regelgewinde, niedriger Kopf	Regelgewinde mit Schlitz, niedriger Kopf
Darstellung			



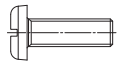

**Vorteile:**

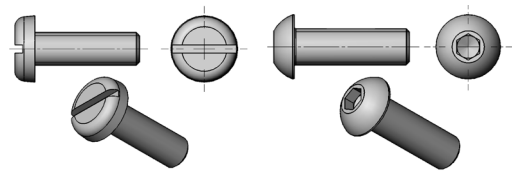
- niedrige Kopfhöhe  $\Rightarrow$  weniger Materialstärke als bei DIN 912 notwendig
- kostengünstig
- es werden kleine Werkzeuge benötigt (ein Loch zur Durchführung des Schlüssels genügt)
- schnell verfügbar
- in vielen Qualitäten verfügbar

**Nachteile:**

- wenig Material zwischen Schaft und Innensechskant  $\Rightarrow$  bei Belastung kann Schraubenkopf abbrechen
- geringfügig teurer als DIN 912
- nicht in allen Qualitäten lieferbar
- wegen eingeschränkter Tiefe des Innensechskantes noch geringeres Anzugsmoment als bei DIN 912 (höherer Verschleiß am Werkzeug)
- meist nicht in 9.8, 10.9 und 12.9 lieferbar

**2.7.4 Flachkopfschrauben**

Gültige Norm DIN EN ISO	1580	7380
Alte Norm DIN	85	
Eigenschaft	Mit Schlitz	Mit Innensechskant
Darstellung		



Flachkopfschrauben finden im Maschinenbau eher wenig Verwendung.

**Vorteile:**

- geringe Bauhöhe  $\Rightarrow$  Senkung oftmals nicht nötig
- große Auflagefläche ohne zusätzliche Scheibe
- optisch sehr ansprechend
- auch als Torx verfügbar (Automatisierung)

**Nachteile:**

- relativ teuer
- nur in sehr begrenztem Umfang verfügbar (bis M10 und wenige Längen)
- aufgrund der geringen Sechskanttiefe nur schwer und nur mit geringem Drehmoment zu verschrauben
- nur für untergeordnete Schraubfälle geeignet (Abdeckungen, Deckel, Blechverkleidungen usw.)