

Berechnung einer Schraubenverbindung

Der Konstrukteur muss für die Planung einer Schraubenverbindung Kenntnis darüber haben, welche Kräfte die Schraubenverbindung aufnehmen muss und welches die begleitenden Einflüsse im späteren Praxiseinsatz sind.

Für die Dimensionierung der Schraubenverbindung werden Daten über die mechanischen Eigenschaften von Schrauben, Muttern und anderen Elementen benötigt, die wir für genormte Artikel – etwa nach DIN ISO – in den bekannten Publikationen wie beispielsweise dem Wippermann-Katalog „Befestigungstechnik“ finden. Die Tabelle auf Seite 3 zeigt einen Auszug für metrische Schrauben.

Alle Daten beziehen sich auf das Ausgangsmaterial, aus dem die Schraube gefertigt wird: auf den sog. Draht. Die fertige Schraube zeigt die Angabe über die Zugfestigkeit des Drahtes meist als Kopfstempelung und als Angabe auf der Verpackung. Wenn wir beispielsweise von einer „Acht-achter-Schraube“ sprechen, dann ist damit gemeint: Diese Schraube ist aus einem Draht der Festigkeitsklasse oder „Güte“ 8.8 gefertigt.

Daraus ist nicht automatisch abzuleiten, dass auch die Schraube selbst, und noch weniger die Schraubenverbindung als System aus Schraube, Mutter und ggfs. weiteren Elementen diese „acht-acht“-Eigenschaft hat! Beispiele: Schraube nach DIN 6912, 7984 und 7991 mit Innensechskant haben ihren „Schwachpunkt“ beim Übergang von Gewinde zum Kopf, weil dort der sog. Spannungsquerschnitt durch den Innensechskant-Antrieb reduziert ist. Die Kette ist immer so schwach wie das schwächste Glied: Diese Schraube wird man konstruktionsbedingt niemals bis an die Grenze belasten können, die die Festigkeitsklasse verspricht.

Erfährt die Schraube oder Mutter Nachbearbeitungen, etwa durch Zerspanung, Schlussrollen und auch durch Oberflächenbehandlungen, die das Materialgefüge beeinflussen, so sind die Angaben über den Ausgangswerkstoff hinfällig!

Weiterhin gelten alle Angaben zur Zugfestigkeit, Streckgrenze usw. für sog. ruhende Lasten bei 20°C Temperatur. Wechselnde Betriebskräfte, Vibrationen und Temperaturschwankungen u.ä. erfordern gesonderte Berücksichtigung bei der Konstruktion und Dimensionierung.

Wird die Schraube innerhalb einer Dübelverbindung eingesetzt, so muss dieses System Schraube-Dübel als Ganzes berechnet werden; die Schraube wird dabei in den wenigsten Fällen den schwächeren Part ausmachen.

Nicht zuletzt entscheiden über die Eigenschaften einer Schraubenverbindung das Anziehverfahren und dessen Ausführung bei der Erzeugung der Vorspannung.

Vor dem Hintergrund der genannten und ggfs. weiterer Einschränkungen können die Tabellendaten wie folgt verwendet werden:

Für die Schraube mit einer gegebenen Festigkeitsklasse wird die Streckgrenze oder bei höherfesten Schrauben die 0,2%-Dehngrenze abgelesen, die sich auch aus dem



Mechanische Eigenschaften: Schrauben aus Stahl

Bezeichnungssystem der Festigkeitsklassen

Die wichtigsten mechanischen Eigenschaften werden bei Schrauben aus Stahl durch eine zweistellige Zahlenkombination benannt – hier ein Beispiel:

Die erste Zahl gibt 1/100 der **Mindestzugfestigkeit** in N/mm² Spannungsquerschnitt an.
Zugfestigkeit 8 x 100 = 800 N/mm².

Die zweite Zahl gibt das 10fache des Verhältnisses der unteren Streckgrenze (R_{el} bzw. $R_{p0,2}$) zur Nennzugfestigkeit R_m (Streckgrenzenverhältnis) an.

Multiplikation beider Zahlen ergibt 1/10 der Mindeststreckgrenze in N/mm². Streckgrenze 8 x 8 x 10 = 640 N/mm².



Spannungsquerschnitte
→ Seite 49

Achtung: Bei Schrauben mit Senkköpfen gelten reduzierte Werte (siehe Hinweise in Produktnormen)!

Mechanische Eigenschaften von Schrauben

Eigenschaften	Festigkeitsklassen		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		10.9	12.9
									≤ M 16*	> M 16*		
Zugfestigkeit ** R _m in N/mm ²	Nennwert		300	400		500		600	800		1000	1200
	min.		330	400	420	500	520	600	800	830	1040	1220
Streckgrenze/Yield stress ** R _{el} in N/mm ²	Nennwert		180	240	320	300	400	480	-	-	-	-
	min.		190	240	340	300	420	480	-	-	-	-
0,2 % Dehngrenze ** R _{p0,2} in N/mm ²	Nennwert								640	640	900	1080
	min.								640	660	940	1100
Untere Streckgrenze R_{el} / 0,2 - Dehngrenze R_{p0,2} bei erhöhten Temperaturen in N/mm ² (ISO 898-1, Tab. A1)	+ 100° C	Dauereinsatz bei erhöhten Temperaturen kann zu deutlicher Spannungsrelaxation führen!	-	-	-	270	-	-	590		875	1020
	+ 200° C		-	-	-	230	-	-	540		790	925
	+ 250° C		-	-	-	215	-	-	510		745	875
	+ 300° C		-	-	-	195	-	-	480		705	825
Bruchdehnung A in % **	min		25	22	-	20	-	-	12		9	8
Härte Vickers (F ≤ 98 N) **	HV min-max ***		95-220 250	120-220 250	130-220 250	155-220 250	160-220 250	190-250	250-320	255-335	320-380	385-435
Härte Brinell (F = 30 D2) **	HB min-max ***		90-209 238	114-209 238	124-209 238	147-209 238	152-209 238	181-238	238-304	242-318	304-361	366-414
Härte Rockwell **	HRB min-max ***		52-95 99,5	67-95 99,5	71-95 99,5	79-95 99,5	82-95 99,5	89-99,5	-	-	-	-
	HRC min-max		-	-	-	-	-	-	22-32	23-34	32-39	39-44

* Stahlbauschrauben ≤ M 12 / > M 12

** Werte gelten bei Raumtemperatur ca. + 20° C.

*** Max.-Wert am Schraubenende

Kennzeichnung zur Identifizierung

Nach Norm sind Schrauben ab Gewindedurchmesser M 5 mit einem Herkunfts-Kennzeichen und mit dem Festigkeitsklassen-Kennzeichen wie folgt zu versehen*:

Sechskantschrauben und Schrauben mit Außensechsrund in allen Festigkeitsklassen möglichst auf dem Kopf, erhöht oder eingeschlagen

Zylinderschrauben mit Innensechskant und mit Innensechsrund sowie Flachrundschrauben DIN 603 ab Festigkeitsklasse 8.8 möglichst auf dem Kopf, erhöht oder eingeschlagen

Stiftschrauben 5.6 und ab Festigkeitsklasse 8.8 auf dem Schaft oder auf der Kuppe des Mutterendes eingeschlagen. Bei Platzmangel können Symbole eingeschlagen werden, und zwar für 5.6 = -, 8.8 = ○, für 10.9 = □ und für 12.9 = △



→ ① ②

→ ③ ④

⑤

→ ⑥ ⑦

①



②



③



④



⑤



⑥



⑦



* Bei Platzmangel darf eine Kennzeichnung im Uhrzeigersystem angewendet werden (→ ISO 898-1/11.99, Tabelle 15)



Montage von Schraubenverbindungen

Vorspannkraft und Anziehmomente für Schachtschrauben aus Stahl mit Kopfaufgemaßen wie DIN 912, 931, 933, 934 / ISO 4762, 4014, 4017, 4032 ...*

In den Tabellenwerten für M_A sind berücksichtigt:

- a) Reibungszahl $\mu_{ges} = 0,14^*$
- b) Ausnutzung der Mindest-Streckgrenze = 90 %
- c) Torsionsmoment beim Anziehen

(* Die Reibungszahl von $\mu_{ges} = 0,14$ wird allgemein für Schrauben und Muttern in handelsüblicher Lieferausführung angenommen. [→ Tabelle 2])

Zusätzliche Schmierung der Gewinde verändert die Reibungszahl erheblich und führt zu unbestimmten Anziehverhältnissen!

Anziehmethode und -werkzeuge weisen unterschiedliche Streuungen auf (→ Tabelle 1 / VDI 2230-1, Tab. A8)

Alle Angaben sind unverbindliche Richtwerte.

Tabelle 4: Regelgewinde, Reibungszahl $\mu_{ges} = 0,14$

Abmessung	P	Spannungsquerschnitt A_s / mm ²	Vorspannkraft F_V (N)					Anziehmoment M_A (Nm)				
			4.6	5.6	8.8	10.9	12.9	4.6	5.6	8.8	10.9	12.9
M 4	0,7	8,78	1 280	1 710	4 300	6 300	7 400	1,02	1,37	3,3	4,8	5,6
M 5	0,8	14,2	2 100	2 790	7 000	10 300	12 000	2,0	2,7	6,5	9,5	11,2
M 6	1,0	20,1	2 960	3 940	9 900	14 500	17 000	3,5	4,6	11,3	16,5	19,3
M 8	1,25	36,6	5 420	7 230	18 100	26 600	31 100	8,4	11	27,3	40,1	46,9
M 10	1,5	58,0	8 640	11 500	28 800	42 200	49 400	17	22	54	79	93
M 12	1,75	84,3	12 600	16 800	41 900	61 500	72 000	29	39	93	137	160
M 14	2,0	115	17 300	23 100	57 500	84 400	98 800	46	62	148	218	255
M 16	2,0	157	23 800	31 700	78 800	115 700	135 400	71	95	230	338	395
M 18	2,5	193	28 900	38 600	99 000	141 000	165 000	97	130	329	469	549
M 20	2,5	245	37 200	49 600	127 000	181 000	212 000	138	184	464	661	773
M 22	2,5	303	46 500	62 000	158 000	225 000	264 000	186	250	634	904	1 057
M 24	3,0	353	53 600	71 400	183 000	260 000	305 000	235	315	798	1 136	1 329
M 27	3,0	459	70 600	94 100	240 000	342 000	400 000	350	470	1 176	1 674	1 959
M 30	3,5	561	85 700	114 500	292 000	416 000	487 000	475	635	1 597	2 274	2 662
M 33	3,5	694	107 000	142 500	363 000	517 000	605 000	645	865	2 161	3 078	3 601
M 36	4,0	817	125 500	167 500	427 000	608 000	711 000	1 080	1 440	2 778	3 957	4 631
M 39	4,0	976	151 000	201 000	512 000	729 000	853 000	1 330	1 780	3 597	5 123	5 994

(M_A für Montage mit TECKENTRUP-Sperrkantscheiben und SCHNORR-Scheiben / M_A für RIPP-/TENSILOCK-Schrauben/-Muttern → Seite T/18)
 (M_A für Montage von Schrauben / Muttern aus nichtrostenden Stählen A 2 / A 4 → Seite T/32)

Tabelle 5: Feingewinde, Reibungszahl $\mu_{ges} = 0,14$

Abmessung	Spannungsquerschnitt A_s / mm ²	Vorspannkraft F_V (N)			Anziehmoment M_A (Nm)		
		8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 8 x 1	39,2	19 700	28 900	33 900	29,2	42,8	50,1
M 10 x 1,25	61,2	30 800	45 200	52 900	57	83	98
M 12 x 1,25	92,1	46 800	68 700	80 400	101	149	174
M 12 x 1,5	88,1	44 300	65 100	76 200	97	143	167
M 14 x 1,5	125	63 200	92 900	108 700	159	234	274
M 16 x 1,5	167	85 500	125 500	146 900	244	359	420
M 18 x 1,5	216	115 000	163 000	191 000	368	523	613
M 20 x 1,5	272	144 000	206 000	241 000	511	728	852
M 22 x 1,5	333	178 000	253 000	296 000	692	985	1 153
M 24 x 2	384	204 000	290 000	339 000	865	1 232	1 442
M 27 x 2	496	264 000	375 000	439 000	1 262	1 797	2 103
M 30 x 2	621	331 000	472 000	552 000	1 756	2 502	2 927

* Auszug aus VDI 2230-1: 2003-02