

3. Werkstoffe - Stähle

Zusammensetzung, Zugfestigkeit, Anziehdrehmomente, Kennzeichnung

3.4 Mechanische Eigenschaften von Stahlschrauben

3.4.1 Anziehdrehmomente Stahlschrauben (Regelgewinde)

Vorspannkkräfte und Anziehmomente für Schraftschrauben aus Stahl mit Kopfauflagemaßen wie DIN 912, 931, 933, 934 / ISO 4762, 4014, 4017, 4032 ...*

In den Tabellenwerten für MA sind berücksichtigt:

- Reibungszahl $\mu_{ges} = 0,14^*$
- Ausnutzung der Mindest-Streckgrenze = 90 %
- Torsionsmoment beim Anziehen (* Die Reibungszahl von $\mu_{ges} = 0,14$ wird allgemein für Schrauben und Muttern in handelsüblicher Lieferausführung angenommen.)

*Zusätzliche Schmierung der Gewinde verändert die Reibungszahl erheblich und führt zu unbestimmten Anziehverhältnissen! In folgendem Beispiel wird mit einer Reibungszahl von $\mu_{ges} = 0,14$ gerechnet. Je nach Anziehmethode und Werkzeug ergeben sich unterschiedliche Reibungszahlen oder Streuungen. Alle Angaben unverbindliche Richtwerte. (vgl. Kapitel 3.4.4 Reibungszahlen bei Schmierung)

Tabelle 19: Regelgewinde

Abmessung	P**	Spannungsquerschnitt in A_s / mm^2	Vorspannkraft F_v (N)					** Regelsteigung 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	1710	4300	6300	7 400	1,02	1,37	3,3	4,8	5,6
M 5	0,8	14,2	2 100	2790	7 000	10300	12 000	2,0	2,7	6,5	9,5	11,2
M 6	1,0	20,1	2 960	3940	9 900	14500	17 000	3,5	4,6	11,3	16,5	19,3
M 8	1,25	36,6	5 420	7230	18 100	26600	31 100	8,4	11	27,3	40,1	46,9
M 10	1,5	58,0	8 640	11500	28 800	42200	49 400	17	22	54	79	93
M 12	1,75	84,3	12 600	16800	41 900	61500	72 000	29	39	93	137	160
M 14	2,0	115	17 300	23100	57 500	84400	98 800	46	62	148	218	255
M 16	2,0	157	23 800	31700	78 800	115700	135 400	71	95	230	338	395
M 18	2,5	193	28 900	38600	99 000	141000	165 000	97	130	329	469	549
M 20	2,5	245	37 200	49600	127 000	181000	212 000	138	184	464	661	773
M 22	2,5	303	46 500	62000	158 000	225000	264 000	186	250	634	904	1 057
M 24	3,0	353	53 600	71400	183 000	260000	305 000	235	315	798	1136	1 329
M 27	3,0	459	70 600	94100	240 000	342000	400 000	350	470	1176	1 674	1 959
M 30	3,5	561	85 700	114500	292 000	416000	487 000	475	635	1597	2274	2662
M 33	3,5	694	107 000	142500	363 000	517000	605 000	645	865	2161	3078	3601
M 36	4,0	817	125 500	167500	427 000	608000	711 000	1080	1440	2778	3957	4631
M 39	4,0	976	151 000	201000	512 000	729000	853 000	1330	1780	3597	5123	5994

3.4.2 Anziehdrehmomente Stahlschrauben (Feingewinde)

Tabelle 20: Feingewinde

Abmessung x P	Spannungsquerschnitt in 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



3. Werkstoffe - Stähle

Zusammensetzung, Zugfestigkeit, Anziehdrehmomente, Kennzeichnung

3.4.3 Anziehdrehmomente für HV-Verbindungen

Vorspannkraft und Anziehmomente für HV-Schraubverbindungen DIN 6914/7999/6915-10.9/10

Die Ausführung von HV-Schraubenverbindungen ist in DIN 18800-7 geregelt. (Zukünftig: EN V 1090) HV-Schrauben DIN 6914 dürfen nur mit Sechskantmutter nach DIN 6915 und mit Scheiben nach DIN 6916, 6917 oder 6918 verwendet werden.

Feuerverzinkte HV-Schraubenverbindungen müssen mit Schmiermittel versehen sein – aus deutscher Produktion erfolgt die Lieferung in der Regel einbaufertig geschmiert (Mutter sind in Schmiermittel getaucht). Zusätzliche Behandlungen verändern das Anziehverhalten – hierfür müssen passende Werte ermittelt werden!

Montageverfahren: Für eine planmäßige Vorspannung sind HV-Schrauben-Garnituren auf die Regel-Vorspannkraft F_V nach Tabelle 21, Spalte 2, vorzuspannen. Für das Vorspannen – im Regelfall durch Drehen der Mutter – sind folgende Verfahren anzuwenden:

- **Drehmoment-Verfahren**
Für die Erzeugung der Regel-Vorspannkraft F_V nach Tabelle 21, Spalte 2 müssen in Abhängigkeit vom Oberflächenzustand die in den Spalten 3 oder 4 der Tabelle 21 angegebenen Anziehmomente M_A aufgebracht werden. Dieses Verfahren ermöglicht ein stufenweise Vorspannen in Anschlüssen mit vielen Schrauben sowie ein Nachziehen als Kontrolle oder zum Ausgleich von Vorspannkraftverlusten nach wenigen Tagen.
- **Drehimpuls-Verfahren**
Die erforderliche Vorspannkraft wird durch Drehimpulse erzeugt. Soll auf die Regel-Vorspannkraft F_V vorgespannt werden, muss der Impuls- oder Schlagschrauber auf den um 10% höheren Vorspannkraftwert $F_{V,D1}$ nach Spalte 5 von Tabelle 21 mit geeigneten Messeinrichtungen eingestellt werden.
- **Drehwinkel-Verfahren**
Die Anwendung des Verfahrens setzt voraus, dass im Bereich der Verschraubung bereits vor dem Vorspannen eine weitgehend flächige Auflage der zu verbindenden Bauteile vorliegt. Das Vorspannen erfolgt zunächst durch ein Voranziehmoment M_{VA}, D_W und anschließend durch Weiterdrehen der Mutter um einen erforderlichen Weiterdrehwinkel. Dieser muss sicherstellen, dass mindestens die in Spalte 2 von Tabelle 21 angegebene Regel-Vorspannkraft F_V erreicht wird. Der erforderliche Weiterdrehwinkel ist durch eine Verfahrensprüfung an der jeweiligen Originalverschraubung zu ermitteln (z.B. Messung der Schraubenverlängerung).
- **Kombiniertes Vorspann-Verfahren**
Zuerst ist das erhöhte Voranziehmoment M_{VA}, K_V in Abhängigkeit des Oberflächenzustandes der Schrauben nach Spalte 7 oder 8 von Tabelle 21 aufzubringen. Ist damit eine weitgehend flächige Anlage der zu verbindenden Bauteile erreicht worden, darf das endgültige Vorspannen der Verbindung auf die Regel-Vorspannkraft F_V durch Weiterdrehen der Mutter erfolgen.

Wichtiger Hinweis:

Montagewerkzeuge (z.B. Schraub-/Stecknüsse) können beim Aufsetzen die Korrosionsschutzbeschichtung an Scheiben und Werkstücken zerstören! Dagegen schützt ein Tiefenbegrenzungseinsatz in der Stecknuss (z.B. Hartgummi- oder Kunststoffring).



3. Werkstoffe - Stähle

Zusammensetzung, Zugfestigkeit, Anziehdrehmomente, Kennzeichnung

Vorspannkraft und Anziehdrehmomente für Drehmoment-, Drehimpuls-, Drehwinkel- und kombiniertes Vorspann-Verfahren für HV-Garnituren der Festigkeitsklasse 10.9

1	2	3	4	5	6	7	8
		Drehmomentverfahren		Drehimpulsverfahren	Drehwinkelverfahren	Kombiniertes Verfahren	
Maße	Regel-Vorspannkraft F_V	Aufzubringendes Anziehdrehmoment M_A zum Erreichen der Regel-Vorspannkraft F_V		Einzustellende Vorspannkraft K_V, D_i^{**} zum Erreichen der Regel-Vorspannkraft F_V	Voranziehdrehmoment M_{VA}, D_W^*	Voranziehdrehmoment M_{VA}, K_V	
gemessen in	kN	Nm		kN	Nm	Nm	
Oberflächenzustand							
		Feuerverzinkt u. geschmiert*	wie hergestellt und leicht geölt	Wie in Spalte 3 oder 4**	Wie in Spalte 3 oder 4**	Wie in Spalte	
						3*	4
M 12	50	100	120	60	10	75	90
M 16	100	250	350	110	50	190	260
M 20	160	450	600	175	50	340	450
M 22	190	650	900	210	100	490	680
M 24	220	800	1100	240	100	600	825
M 27	290	1250	1650	320	200	940	1240
M 30	350	1650	2200	390	200	1240	1650
M 36	510	2800	3800	560	200	2100	2850
M 39	610	3500					
M 42	710	4500	Durch				
M 45	820	5500	Verfahrens-				
M 48	930	6500	prüfung				
			zu ermitteln.				

Tabelle 21: Vorspannkraft und Anziehdrehmomente nach Verfahren

* Muttern mit Molybdädisulfid oder gleichwertigem Schmierstoff behandelt

** Unabhängig von der Schmierung des Gewindes und der Auflagefläche von Mutter und Schraube

3.4.4 Reibungszahlen für Stahlschrauben/ -muttern

Durch Schmierung kann sich die Reibungszahl, und damit die wichtigste Variable für das Anzugsdrehmoment sehr stark verändern. Grundsätzlich gilt, dass die Reibungszahl μ sinkt, wenn ein Schmiermittel verwendet wird. Daher kann bei Schmierung leichter ein „Abreißen“ der Stahlschrauben eintreten, wenn mit gleicher Kraft wie bei einer ungeschmierten Verbindung angezogen wird.

Es gilt:

Schmiermitteleinsatz >> Reibungszahl μ sinkt >> weniger Anzugsdrehmoment („weniger Kraft“) ist nötig

Oberflächenzustand		Reibungszahl μ_{ges} bei Zustand			
bei Schrauben	bei Muttern	ungeschmiert	geölt	MoS ₂ -Paste	
ohne Nachbehandlung (schwarz)	ohne Nachbehandlung (schwarz)	0,12 - 0,18	0,10 - 0,17	0,06 - 0,12	
Mn-phosphatiert		0,14 - 0,18	0,14 - 0,15	0,06 - 0,11	
Zn-phosphatiert		0,14 - 0,21	0,14 - 0,17	0,06 - 0,12	
galvanisch verzinkt 5 – 8 μ m			0,12 - 0,20	0,10 - 0,18	
galvanisch verkadmet 5 – 8 μ m			0,08 - 0,14	0,08 - 0,11	
galvanisch verzinkt 5 – 8 μ m	galvanisch verzinkt 3 – 5 μ m	0,12 - 0,20	0,10 - 0,18		
galvanisch verkadmet 5 – 8 μ m	galvanisch verkadmet 3 – 5 μ m	0,12 - 0,16	0,12 - 0,14		

Tabelle 22:
Reibungszahlen bei Schmierung (Stahlschrauben)



3. Werkstoffe - Stähle

Zusammensetzung, Zugfestigkeit, Anziehdrehmomente, Kennzeichnung

3.4.5 Mindestbruchkräfte in (N)

Tabelle 23: Mindestbruchkräfte für metrisches ISO-Regelgewinde

Gewinde	Nenn-Spannungsquerschnitt A _s [mm]	Festigkeitsklassen									
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
M 3	5,03	1660	2010	2110	2510	2620	3020	4020	4530	5230	6140
M 3,5	6,78	2240	2710	2850	3390	3530	4070	5420	6100	7050	8270
M 4	8,78	2900	3510	3690	4390	4570	5270	7020	7900	9130	10700
M 5	14,2	4690	5680	5960	7100	7380	8520	11350	12800	14800	17300
M 6	20,1	6630	8040	8440	10000	10400	12100	16100	18100	20900	24500
M 7	28,9	9540	11600	12100	14400	15000	17300	23100	26000	30100	35300
M 8	36,6	12100	14600	15400	18300	19000	22000	29200	32900	38100	44600
M 10	58,0	19100	23200	24400	29000	30200	34800	46400	52200	60300	70800
M 12	84,3	27800	33700	35400	42200	42800	50600	67400 ¹	75900	87700	103000
M 14	115	38000	46000	48300	57500	59800	69000	92000 ¹	104000	120000	140000
M 16	157	51800	62800	65900	78500	81600	94000	125000 ¹	141000	163000	192000
M 18	192	63400	76800	80600	96000	99800	115000	159000	-	200000	234000
M 20	245	80800	98000	103000	122000	127000	147000	203000	-	255000	299000
M 22	303	100000	121000	127000	152000	158000	182000	252000	-	315000	370000
M 24	353	116000	141000	148000	176000	184000	212000	293000	-	367000	431000
M 27	459	152000	184000	193000	230000	239000	275000	381000	-	477000	560000
M 30	561	185000	224000	236000	280000	292000	337000	466000	-	583000	684000
M 33	694	229000	278000	292000	347000	361000	416000	576000	-	722000	847000
M 36	817	270000	327000	343000	408000	425000	490000	678000	-	850000	997000
M 39	976	322000	390000	410000	488000	508000	586000	810000	-	1020000	1200000

¹Für Stahlbauschrauben gilt 70000, 95500 bzw. 130000 N.

Tabelle 24: Mindestbruchkräfte für metrisches ISO-Feingewinde

Gewinde	Nenn-Spannungsquerschnitt A _s [mm]	Festigkeitsklassen									
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
M 8 x 1	39,2	12 900	15 700	16 500	19 600	20 400	23 500	31 360	35 300	40 800	47 800
M 10 x 1	64,5	21 300	25 800	27 100	32 300	33 500	38 700	51 600	58 100	67 100	78 700
M 10 x 1,25	61,2	20 200	24 500	25 700	30 600	31 800	36 700	49 000	55 100	63 600	74 700
M 12 x 1,25	92,1	30 400	36 800	38 700	46 100	47 800	55 300	73 700	82 900	95 800	112 400
M 12 x 1,5	88,1	29 100	35 200	37 000	44 100	45 800	52 900	70 800	79 300	91 600	107 500
M 14 x 1,5	125	41 200	50 000	52 500	62 500	65 000	75 000	100 000	112 000	130 000	152 000
M 16 x 1,5	167	55 100	66 800	70 100	83 500	86 800	100 000	134 000	150 000	174 000	204 000
M 18 x 1,5	216	71 300	86 400	90 700	108 000	112 000	130 000	179 000	-	225 000	264 000
M 20 x 1,5	272	89 800	109 000	114 000	136 000	141 000	163 000	226 000	-	283 000	332 000
M 22 x 1,5	333	110 000	133 000	140 000	166 000	173 000	200 000	276 000	-	346 000	406 000
M 24 x 2	384	127 000	154 000	161 000	192 000	200 000	230 000	319 000	-	399 000	469 000
M 27 x 2	496	164 000	194 000	208 000	248 000	258 000	298 000	412 000	-	516 000	605 000
M 30 x 2	621	205 000	248 000	261 000	310 000	323 000	373 000	515 000	-	646 000	758 000
M 33 x 2	761	251 000	304 000	320 000	380 000	396 000	457 000	632 000	-	791 000	928 000
M 36 x 3	865	285 000	346 000	363 000	432 000	450 000	519 000	718 000	-	900 000	1055 000
M 39 x 3	1030	340 000	412 000	433 000	515 000	536 000	618 000	855 000	-	1070 000	1260 000



3. Werkstoffe - Stähle

Zusammensetzung, Zugfestigkeit, Anziehdrehmomente, Kennzeichnung

3.4.6 Zusammenfassung (mech. Eigenschaften Stahlschrauben)

Bezeichnungssystem der Festigkeitsklassen

Die wichtigsten mechanischen Eigenschaften werden bei Schrauben aus Stahl durch eine zweistellige Zahlenkombination benannt. Die erste Zahl gibt 1/100 der Mindestzugfestigkeit in N/mm ² Spannungsquerschnitt an.		Die zweite Zahl gibt das 10fache des Verhältnisses der unteren Streckgrenze (R_{el} bzw. $R_{p=0,2}$) zur Nennzugfestigkeit R_m (Streckgrenzenverhältnis) an. Multiplikation beider Zahlen ergibt 1/10 der Mindeststreckgrenze in N/mm ² .
Zugfestigkeit 8 x 100 = 1000 N/mm ²	8.8	Streckgrenze 8 x 8 x 10 = 640 N/mm ²
Zugfestigkeit 10 x 100 = 1000 N/mm ²	10.9	Streckgrenze 10 x 9 x 10 = 900 N/mm ²
Zugfestigkeit 12 x 100 = 1200 N/mm ²	12.9	Streckgrenze 12 x 9 x 10 = 1080 N/mm ²

Achtung: Bei Schrauben mit Senkköpfen gelten reduzierte Werte!

Tabelle 25: 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 ** in N/mm ²	Nennwert	300	400		500		600	800		1000	1200
	min.	330	400	420	500	520	600	800	830	1040	1220
Streckgrenze in N/mm ²	Nennwert	180	240	320	300	400	480	–	–	–	–
	min.	190	240	340	300	420	480	–	–	–	–
0,2 % Dehngrenze **	Nennwert	–						640	640	900	1080
	min.	–						640	660	940	1100
Untere Streckgrenze R_{el} / 0,2 – Dehngrenze $R_{p 0,2}$ bei erhöhten Temperaturen in N/mm² (ISO 898-1, Tab. A1)	+ 100 °C	–	–	–	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. (Definitionen der Begriffe: Kap. 3.3.1)
 *** Max.-Wert am Schraubenende

Lesen Sie auch: Kapitel 3.3.1 - Definition von Zugfestigkeit, Streckgrenze, 0,2% Dehngrenze

