

WERKSTOF STAAL

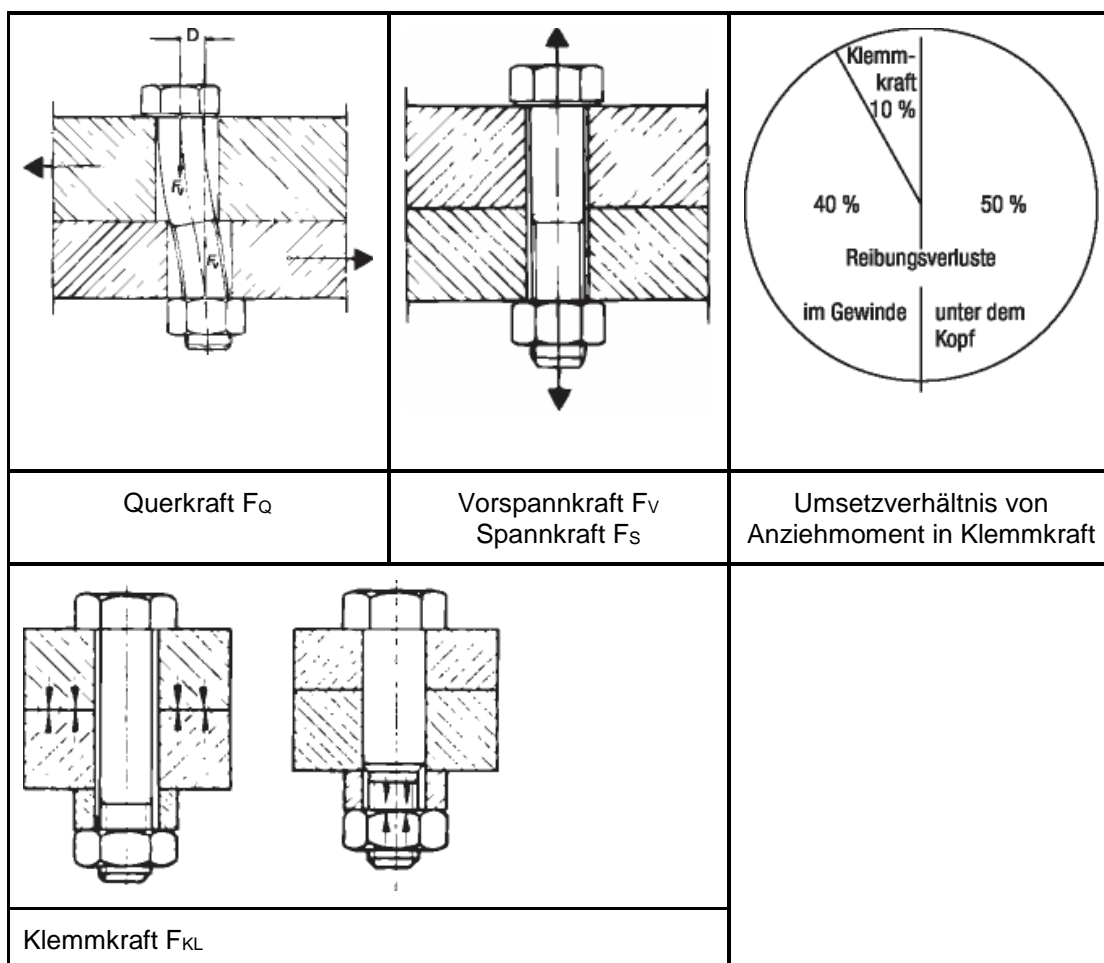
3.1 Grundsätzliche Hinweise

Funktionserfüllung und Dauerhaltbarkeit von Schraubenverbindungen werden hauptsächlich bestimmt durch die Faktoren

- mechanische Eigenschaften (Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung)
- Betriebsbedingungen (statisch/dynamisch...)
- Beanspruchungen (Temperatur, Korrosion)
- Dimensionierung (Durchmesser, Länge)
- ggf. Sicherung gegen Lockern oder Losdrehen
- Montage (Anziehverfahren, Vorspann-/ Klemmkraften, Anziehmoment...)

Es ist Aufgabe der konstruktiven Planung, in Kenntnis aller Anforderungen die geeigneten Verbindungselemente zu bestimmen, mit den genormten Bezeichnungen zu definieren und die notwendigen Montageanweisungen vorzugeben. Für die "Systematische Berechnung hoch beanspruchter Schraubenverbindungen" steht als anerkanntes Standardwerk die VDI-Richtlinie 2230 zur Verfügung.

Schraubenverbindungen sollen so berechnet und montiert sein, dass aufgrund ausreichend bleibender Klemmkraft unter Betriebsbelastungen keine Scherkräfte (F_Q) quer zur Schraubenachse zur Wirkung kommen können. Hierbei sind auch Klemmkraftverluste infolge von Setzbeträgen zu berücksichtigen. Sind die Querkräfte größer als die Klemmkraft führt dies zum Lockern - und schließlich zum Versagen - der Verbindung.



Die jeweils erforderliche Klemmwirkung wird bei der Montage durch Einbringen einer dem Durchmesser und der Streckgrenze des Verbindungselementes entsprechenden Vorspannung F_V (= vor Betriebsbeanspruchung) über das Anziehen der Gewindeteile erreicht.

Der **Genauigkeitsgrad** für das Erreichen der erforderlichen Vorspannkraft wird beeinflusst durch

- die Art des Verschraubungsfalles (hart oder weich/kurz oder lang)
- das Anziehverfahren und dessen Streuung
- die Oberflächenzustände und daraus resultierende Reibungsverhältnisse
spezielle Verschraubungskomponenten (z. B. Dichtungen, Federelemente...)

3.2 Zusammensetzung von Stählen

Festigkeits- klasse	Werkstoff und Wärmebehandlung	chem. Zusammensetzung (Massenanteil in %)				Anlass Temperatur °C
		Kohlenstoff		P	S	
		min.	max.	max.	max.	min.
3.6 ¹⁾	Kohlenstoffstahl	0,15	0,20	0,05	0,06	-
4.6 ¹⁾			0,55	0,05	0,06	-
			0,55	0,05	0,06	
5.6 ¹⁾			0,55	0,05	0,06	-
8.8 ²⁾	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,15 ³⁾	0,40	0,035	0,035	425
	Kohlenstoffstahl, abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035	
9.8	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,15 ³⁾	0,35	0,035	0,035	425
	Kohlenstoffstahl, abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035	
10.9 ⁴⁾	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,15 ³⁾	0,35	0,035	0,035	340
10.9 ⁶⁾	Kohlenstoffstahl, abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035	425
	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,20 ³⁾	0,55	0,035	0,035	
	Legierter Stahl, abgeschreckt und angelassen ⁵⁾	0,20	0,55	0,035	0,035	
12.9 ^{6) 7)}	Legierter Stahl, abgeschreckt und angelassen ⁵⁾	0,20	0,50	0,035	0,035	380

Tabelle 17: Zusammensetzung von Stählen

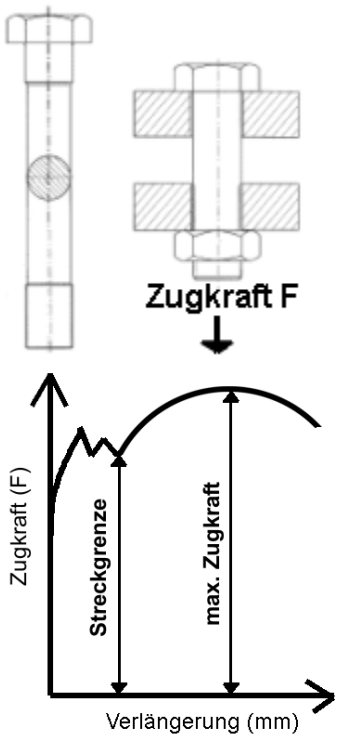
- 1) zulässiger Automatenstahl mit folgenden maximalen Phosphor-, Schwefel- und Bleianteilen:
Schwefel 0,34%, Phosphor 0,11%, Blei 0,35%
- 2) Für Nenndurchmesser über 20 mm kann es notwendig sein, einen für die Festigkeitsklassen 10.9 vorgesehenen Werkstoff zu verwenden, um eine ausreichende Härtebarkeit sicherzustellen.
- 3) Bei Kohlenstoffstählen mit dem Zusatz von Bor und einem Kohlenstoffgehalt unter 0,25% muss ein Mangengehalt von min. 0,6% für Festigkeitsklasse 8.8 und 0,7% für Festigkeitsklasse 9.8 und 10.9 vorhanden sein.

- 4) Für Produkte aus diesen Stählen muss das Kennzeichen der Festigkeitsklasse unterstrichen sein.
- 5) Legierter Stahl muss mindestens einen der Legierungsbestandteile Chrom, Nickel, Molybdän oder Vanadium enthalten.
- 6) Der Werkstoff für diese Festigkeitsklassen muss ausreichend härtbar sein um sicherzustellen, dass im Kernbereich des Gewindeteils nach dem Härten vor dem Anlassen ein Martensitanteil von ungefähr 90% vorhanden ist.
- 7) Für die Festigkeitsklasse 12.9 ist eine metallographisch feststellbare, mit Phosphor angereicherte weiße Schicht an Oberflächen, die auf Zug beansprucht werden, nicht zulässig.

3.3 Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehngrenze, Bruchdehnung

Die Zugfestigkeit von Schrauben oder Verbindungselementen ist ein Bestandteil der Festigkeitsangabe der Schraube. Beispielsweise steht die Festigkeitsangabe 8.8 für eine Schraube, welche im Zug mit 800 N belastet werden kann, eine Schraube mit 10.9 hingegen kann mit 1000 N im Zug belastet werden. Im Folgenden werden kurz die wichtigsten Begriffe zum Thema Zugfestigkeit definiert und beispielhaft ausgeführt.

3.3.1 Definitionen und Begriffe

1) Zugfestigkeit	R_m	N/mm ²	<p>Die Zugfestigkeit R_m definiert, ab welcher Zugspannung eine Schraube brechen darf. Der Bruch darf nur im Schaft oder Gewinde und nicht bei deren Übergang auftreten.</p> <p>Zugfestigkeit bei Gewindebruch</p> $R_m = \frac{\text{max. Zugkraft } F}{\text{Spannungsquerschnitt } A_s} \quad \text{Einheit: } \frac{N}{\text{mm}^2}$ <p>Zugfestigkeit bei Schaftbruch (im zylindrischen Schaft)</p> $R_m = \frac{\text{max. Zugkraft } F}{\text{Querschnittsfläche } S_0} \quad \text{Einheit: } \frac{N}{\text{mm}^2}$
 <p>(a) (b) Abbildung 1 - Zugfestigkeit</p> <p>Zugversuch bei abgedrehter (a) und kompletter (b) Schraube</p>			

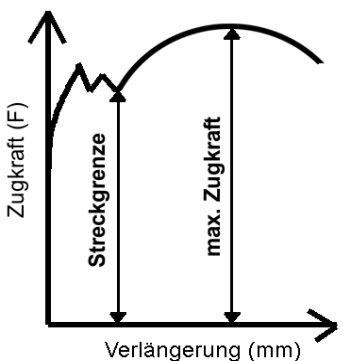
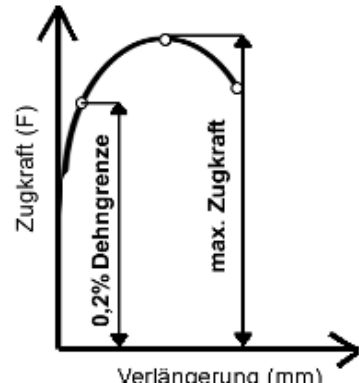
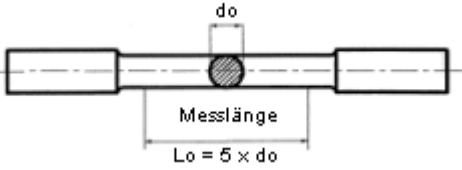
2) Streckgrenze	R_e	N/mm^2	<p>Die Streckgrenze gibt an, ab welcher Spannung trotz steigender Verlängerung der Schraube die Zugkraft das erste Mal konstant ist oder sinkt. Die genaue Streckgrenze kann nur bei abgedrehten Schrauben ermittelt werden (Ausnahme: rost- und säurebeständige Schrauben, Stahlgruppe A1-A5). vgl. DIN EN ISO 898 Teil 1.</p>
 <p>Abbildung 2 - Streckgrenze</p>			
3) 0,2% Dehngrenze	$R_{P=0,2}$	N/mm^2	<p>Die 0,2% Dehngrenze gibt an, welche Spannung notwendig ist, um eine dauerhafte Dehnung von 0,2 % der Schraube zu erreichen. Der Spannungsverlauf wird in folgender Abbildung 3 skizziert. Der Wert wird für hochfeste Schrauben (z.B. 10.9 oder 12.9) benutzt.</p>
 <p>Abbildung 3 - 0,2% Dehngrenze</p>			
4) Bruchdehnung	A_5	$1/100$ (%)	<p>Die Bruchdehnung ist ein Indikator für die Verformbarkeit eines Werkstoffes. Sie wird an abgedrehten Schrauben mit festgelegtem Schaft bestimmt. (außer bei rost- und säurebeständigen Schrauben, Stahlgruppe A1-A5).</p>
 <p>Abbildung 4 - Bruchdehnung</p>			

Tabelle 18: Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehngrenze, Bruchdehnung

3.4 Mechanische Eigenschappen von Stahlschrauben

3.4.1 Anziehdrehmomente Stahlschrauben (Regelgewinde)

Vorspannkraften und Anziehmomente für Schachtschrauben aus Stahl mit Kopfauflagemaßen wie DIN 912, 931, 933, 934 / ISO 4762, 4014, 4017, 4032 ...*
In den Tabellenwerten für MA 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.)

*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 (Anziehdrehmomente für Stahlschrauben) ** Regelsteigung

Abmessung	P**	Spannungsquerschnitt in 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	180	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

3.4.2 Anziedrehmomente Stahlschrauben (Feingewinde)

Tabelle 20: Feingewinde (Anziedrehmomente für Stahlschrauben)

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	1153
M 24 x 2	384	204	000	290	000	339	000	865	1232	1442
M 27 x 2	496	264	000	375	000	439	000	262	797	1032
M 30 x 2	621	331	000	472	000	552	000	756	2502	2927

3.4.3 Anziedrehmomente für HV-Verbindungen

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

Die Ausführung von HV-Schraubverbindungen 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-Schraubverbindungen 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, DI 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} , DW 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} , KV 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).

Vorspannkraft und Anziehmomente 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 Anziehmoment M_A zum Erreichen der Regel-Vorspannkraft F_V		Einzustellende Vorspann-Kraft K_V, D_r^{**} zum Erreichen der Regel-Vorspannkraft F_V	Voranziehmoment M_{VA}, D_{W}^*	Voranziehmoment 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	Durch Verfahrensprüfung zu ermitteln.				
M 42	710	4500					
M 45	820	5500					

M 48	930	6500					
------	-----	------	--	--	--	--	--

Tabelle 21: Vorspannkraften und Anziehungsmomenten nach Verfahren

* Muttern mit Molybdändisulfid 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 μm		0,12 - 0,20	0,10 - 0,18	-
galvanisch verkadmet 5 - 8 μm		0,08 - 0,14	0,08 - 0,11	
galvanisch verzinkt 5 - 8 μm		galvanisch verzinkt 3 - 5 μm	0,12 - 0,20	
galvanisch verkadmet 5 - 8 μm		galvanisch verkadmet 3 - 5 μm	0,12 - 0,16	0,12 - 0,14

Tabelle 22: Reibungszahlen bei Schmierung (Stahlschrauben)

3.4.5 Mindestbruchkräfte in (N)

Tabelle 23: Mindestbruchkräfte für metrisches ISO-Regelgewinde

Gewinde	Nenn-Spannungsquerschnitt A _s [mm ²]	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	

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

Tabelle 24: Mindestbruchkräfte für metrisches ISO-Feingewinde

Gewinde	Nenn-Spannungsquerschnitt A _s [mm ²]	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 x2	384	127 000	154 000	161 000	192 000	200 000	230 000	319 000	-	399 000	469 000		
M 27 x2	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 x3	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		

3.4.6 Zusammenfassung (mech. Eigenschaften Schraubenschrauben)

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 = 800 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


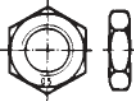
Eigenschaften Festigkeitsklassen		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		10.9	12.9
								≤ M 16*	> M 16*		
Zugfestigkeit ** in N/mm ²	Nennwert	300	400		500		600	800		1000	1200
	min.	330	400	420	500	520	600	800	830	1040	1220
Streckgrenze in N/mm ²	Nennwert	180	240	320	300	400	480	-	-	-	-
	min.	190	240	340	300	420	480	-	-	-	-
0,2 % Dehngrenze **	Nennwert	-						640	640	900	1080
	min.	-						640	660	940	1100
Untere Streckgrenze Rel 0,2 - Dehngrenze RP=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

3.5 Mechanische Eigenschappen von Stahlmuttern

Die DIN-Produkt- und Funktionsnormen für Muttern werden auf ISO-Normen umgestellt. In der Übergangszeit werden demzufolge Normen für bisherige DIN- und für neue ISO-Mutterausführungen nebeneinander im Markt sein. Informationen über Veränderungen, die die Umstellung auf internationale Normen mit sich bringt, siehe unter: "Normenumstellung DIN ' ISO" (Kapitel 1.4).

Muttern werden nach drei Belastungsgruppen unterschieden - jeder Belastungsgruppe ist ein gesondertes Bezeichnungssystem für die Festigkeitsklasse zugeordnet, das die Belastungsgruppe klar erkennbar macht. Hinweis: D steht für den Durchmesser, z.B. Mutter Durchmesser 10 mm, falls Mutterhöhe = $(0,8 * D) = 8$ mm liegt eine Normalhöhe nach Ziffer 1 vor.

1. Muttern mit Nennhöhe 0,8 D (D = Nennmaß)	(mit v o l l e r Belastbarkeit)
 8 8	1. Muttern mit Nennhöhe ~ 0,8 D z. B. Muttern DIN 555, 934... Prüfkräfte DIN 267-4 2. Muttern mit Nennhöhe 0,8 D z. B. Muttern ISO 4032, 8673... Prüfkräfte ISO 898-2 Kennzeichnung/Erkennung: eine Zahl, z. B. (8 = 1/100 der Prüfspannung in N/mm ² - x = Markierung für DIN-Muttern) Diese Muttern müssen in einer Verbindung mit Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 die volle Ausnutzung der Vorspannung an der Streckgrenze aushalten.
2. Muttern mit Nennhöhe ≥ 0,5 D und < 0,8 D	(mit e i n g e s c h r ä n k t e r Belastbarkeit)
 05	Mindestmutterhöhe = 0,5D - bis 0,8D Hierzu gehören z.B. Muttern ISO 4035, 8675, DIN 439-2. Festgelegte Prüfkräfte ISO 898-2 Kennzeichnung/Erkennung: Kennzahl für 1/100 der Prüfspannung mit vorgesetzter 0, z. B. Die vorgesetzte 0 zeigt an, dass Muttern dieser Gruppe die Kraft einer Schraube wegen geringer Bauhöhe nicht oder nur eingeschränkt aushalten können.
3. Muttern mit Nennhöhe < 0,5 D	(o h n e f e s t g e l e g t e Belastbarkeit)

 <p>17H</p>	<p>Mindestmutterhöhe = unter 0,5D</p> <p>In diese Gruppe fallen Muttern für leichte Verbindungen oder Befestigungen ohne festgelegte Belastungswerte (z.B. DIN 562)</p> <p>Aussage der Bezeichnung, z.B. 17H: 1/10 der Mindesthärte nach Vickers</p>
---	--

Kennzeichnung zur Identifizierung

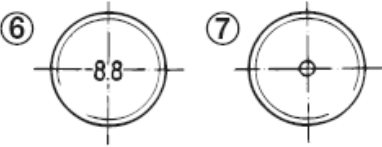
Sechskantmuttern der Belastungsgruppen 1 und 2 ab Gewindedurchmesser M 5 sind außer dem Herkunftszeichen mit einem Festigkeitsklassen-Kennzeichen zu versehen - entweder mit Zahlen entsprechend obigen Beispiel oder mit Strichsymbolen im Uhrzeigersystem. (=> ISO 898-2 / Tab. 8) Eine Kennzeichnung von Muttern der Belastungsgruppe 3 ist nicht vorgesehen.

3.6 Kennzeichnung von Stahlschrauben

Nach Norm sind Schrauben ab Gewindedurchmesser M 5 mit einem Herkunfts-Kennzeichen und mit dem Festigkeitsklassen-Kennzeichen wie folgt zu versehen. Aus Platzgründen darf eine Kennzeichnung im Uhrzeigersinn angewandt werden (=> ISO 898-1/11.99, Tabelle 15):

z.B. 8.8 = Festigkeit | XYZ = Produzent

	<p>Sechskantschrauben und Schrauben mit Außensechskant in allen Festigkeitsklassen möglichst auf dem Kopf, erhöht (1) oder eingeschlagen (2)</p>
	<p>Zylinderschrauben mit Innensechskant und mit Innensechsrund sowie Flachrundschrauben DIN 603 ab Festigkeitsklasse 8.8 möglichst auf dem Kopf (3, 4) erhöht oder eingeschlagen (5)</p>

	<p>Stiftschrauben 5.6 und ab Festigkeitsklasse 8.8 auf dem Schaft (6) oder auf der Kuppe des Mutterendes (7) eingeschlagen. Bei Platzmangel können Symbole eingeschlagen werden, und zwar für</p> <p>5.6 = ■, 8.8 = ●, für 10.9 = ■ und für 12.9 = ▲</p>
---	---

3.7 Kennzeichnung von Stahlmuttern

Festigkeit	04	05	4	5	6	8	9	10	12
Einprägungen der Festigkeitsklasse	04	05	4	5	6	8	9	10	12
oder Prägung im Uhrzeigersinn	