Technische Dokumentation Normteile Befestigungstechnik

Debrunner Acifer

klöckner & co multi metal distribution

Ihr Partner – immer am Ball

Rund 160 000 Artikel für Bau, Industrie und Gewerbe. Vielfältig und kompetent. Alles aus einer Hand. Überall in Ihrer Nähe und dank erstklassiger Distribution immer zur rechten Zeit bei Ihnen.

Unsere Standorte in der Schweiz

In der ganzen Schweiz bieten wir Ihnen auf Ihre Bedürfnisse abgestimmte und optimierte Lösungen an. Adressen und Telefonnummern der Standorte finden Sie online unter:

www.d-a.ch (Kontakt)

Inhaltsverzeichnis Technische Informationen

Begriffe und Definitionen zu mechanischen Eigenschaften ... 4

Zugversuch ... 4

Härteprüfung ... 4

Umwertungstabelle für Vickers-, Brinell-, Rockwellhärte und Zugfestigkeit R_m ... 5

Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl ... 6

Teil 1: Schrauben (Auszug aus DIN EN ISO 898-1) ... 6

Mechanische und physikalische Eigenschaften ... 6
Mechanische Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen nach EN ISO 898-1, Anhang A ... 6
Mindestbruchkräfte für Schrauben mit metrischem ISO-Regelgewinde (Werte gelten bei Prüfung an ganzen Schrauben) ... 7
Mindestbruchkräfte für Schrauben mit metrischem ISO-Feingewinde (Werte gelten bei Prüfung an ganzen Schrauben) ... 7

Teil 2: Muttern - Regelgewinde (Auszug aus EN ISO 898-2) ... 8

Mechanische Eigenschaften ... 8
Prüfkräfte für Muttern mit metrischem ISO-Regelgewinde ... 8
Prüfkräfte für Muttern mit metrischem ISO-Feingewinde ... 9

Teil 5: Gewindestifte und ähnliche nicht auf Zug beanspruchte Verbindungselemente (Auszug aus EN ISO 898-5) ... 9

Mechanische Eigenschaften ... 9

Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen ... 10

Teil 1: Schrauben, Teil 2: Muttern, Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben, Teil 4: Blechschrauben (Auszug aus EN ISO 3506) ... 10

Mechanische Eigenschaften von Schrauben ... 11
Mechanische Eigenschaften von Muttern ... 11
Mechanische Eigenschaften von Gewindestiften und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben ... 11
Mechanische Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen ... 11

Zulässige statische Belastbarkeit bei Beanspruchung auf Zug (Kräfte in Axialrichtung) ... 12

Zulässige statische Belastbarkeit bei Beanspruchung auf Abscherung (Kräfte quer zur Längsachse) ... 13

Schutzüberzüge ... 14

Nichtmetallische Überzüge ... 14

Metallische Überzüge ... 15

Montage von Schraubenverbindungen ... 16

Reibungszahlen ... 17

Richtwerte für Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente ... 18

für metrische Sechskant- und Zylinderschrauben mit ISO-Regelgewinde ... 18
für metrische Sechskant- und Zylinderschrauben mit ISO-Feingewinde ... 20
für metrische Sechskant- und Zylinderschrauben mit ISO-Regelgewinde in nichtrostenden Stählen ... 22
für Sechskant- und Zylinderschrauben mit US-Zollgewinden (UN) ... 23

Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente für feuerverzinkte HV-Garnituren nach EN 14399-4/6 ... 25

Richtwerte für Anziehdrehmomente für metrische Verbindungselemente mit niedrigen Köpfen in Stahl und nichtrostenden Stählen ... 26

Richtwerte für Anziehdrehmomente für Schrauben aus Polyamid 6.6 nach DIN 34810 (bei Raumtemperatur) ... 26

Verbindungen mit gewindefurchenden Schrauben ... 27

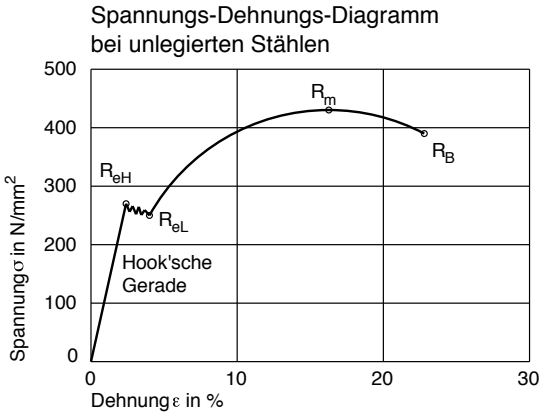
Verbindungen mit Blechschrauben ... 27

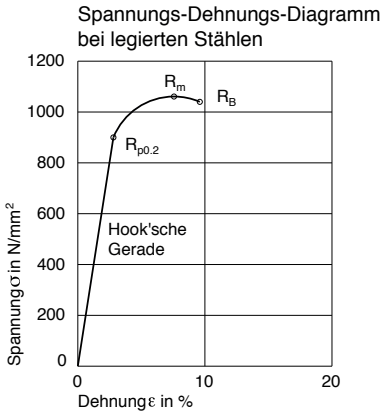
Internationales Einheitensystem ... 28

Physikalische Grössenarten und ihre Einheiten ... 29

Zugversuch

Im Zugversuch wird das Werkstoffverhalten bei einachsiger, über den Querschnitt gleichmässiger Zugbeanspruchung untersucht. Eine Schraube oder ein Probestab wird auf einer Prüfmaschine bis zum Bruch belastet.
Unter der Belastung wird die Probe erst elastisch länger. Bei Entlastung geht das Teil in die ursprüngliche Länge zurück. Bei einer grösseren Belastung dehnt sich die Probe dauerhaft, das Teil wird plastisch verformt. Wird die Belastung weiter erhöht, bricht die Schraube oder der Probestab.
Mit diesem Prüfverfahren entweder an **abgedrehten** oder **ganzen** Schrauben werden Festigkeitskennwerte **(Zugfestigkeit R_m, Streckgrenze R_{eL}** oder **Dehngrenze $R_{p\,0.2}$)** und Verformungskennwerte **(Bruchdehnung A)** eines Werkstoffes bestimmt.
Dazu werden für den Werkstoff charakteristische Kennlinien, sogenannte Spannungs-Dehnungs-Diagramme, aufgenommen:





Hook'sche Gerade	Elastischer Bereich, d.h. Dehnung proportional zur Spannung. In diesem Bereich gilt das Hook'sche Gesetz: Spannung = Elastizitätsmodul × Dehnung	**$\sigma = E \times \epsilon$**
Zugspannung σ_Z [N/mm²]	Kraft F pro Flächeneinheit A. Beim Zugversuch an ganzen Schrauben ist der Spannungsquerschnitt A_S im Gewinde, bei abgedrehten Schrauben oder Probestäben der Querschnitt im Schaft massgebend.	**$\sigma Z = F / A$**
Zugfestigkeit R_m [N/mm²]	Spannung, die im Zugversuch aus der maximal erreichten Zugkraft bezogen auf den ursprünglichen Querschnitt der Probe errechnet wird. Mit dem Erreichen der Zugfestigkeit hat die Probe die höchste Belastung aufgenommen. Danach lässt der Widerstand nach und die Probe reisst. Bei Schrauben darf der Bruch nicht unter dem Kopf eintreten, sondern im Gewinde oder im Schaft.	
Bruchfestigkeit R_B [N/mm²]	auch statische Festigkeit, ist die Spannung, die unter gleichmäßiger Steigerung der Belastung bei einer Probe zum Bruch führt. Je nach Art der Beanspruchung wird die Bruchfestigkeit unterschieden in Zugfestigkeit, Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Scherfestigkeit oder Torsionsfestigkeit.	
Streckgrenze R_e [N/mm²]	Die obere Streckgrenze R_{eH} und die untere Streckgrenze R_{eL} ist der Übergang von der elastischen in die plastische Verformung. Bei Überschreiten der Streckgrenze kehrt das Material nach Entlastung nicht mehr in die ursprüngliche Form zurück, eine plastische Dehnung bleibt erhalten.	
0.2 %-Dehngrenze $R_{p0.2}$ [N/mm²]	Bei höheren Festigkeiten ab Festigeitsklasse 8.8 wird anstelle der Streckgrenze die 0.2 %-Dehngrenze gemessen, die dem Übergang von der elastischen in die bleibende (plastische) Verformung bei 0.2 % Längenveränderung entspricht.	
Bruchdehnung A [%]	Die Bruchdehnung ist die bleibende Verlängerung in %, bezogen auf die Ausgangslänge der Probe. Die Bruchdehnung wird an abgedrehten Probestäben ermittelt. Sie charakterisiert die Verformungsfähigkeit (bzw. Duktilität) eines Werkstoffes.	

Härteprüfung

Bei der Härteprüfung wird der Widerstand gemessen, den der Werkstoff einem eingedrückten Prüfkörper entgegensetzt. Für Routineprüfungen darf die Härte auf dem Kopf, dem Schaft oder der Kuppe einer Schraube ermittelt werden.

Härteprüfung		für Werkstoffe	Prüfkörper	Messwert
HB	Brinell	weich bis mittelhart	gehärtete Kugel	Eindruckdurchmesser
HV	Vickers	weich bis hart	Diamant-Pyramide	Diagonale des Eindrucks
HR	Rockwell	hart (HRC/HRA) / weich (HRB)	Diamant-Kegel / gehärtete Kugel	bleibende Eindringtiefe

Umwertungstabelle für Vickers-, Brinell-, Rockwellhärte und Zugfestigkeit R_m

Auszug aus DIN 50150

R_m [N/mm²]	Vickers-härte	Brinell-Härte[1]	Rockwell-härte			R_m [N/mm²]	Vickers-härte	Brinell-härte	Rockwell-härte		
	HV	HB	HRB	HRC	HRA		HV	HB	HRB	HRC	HRA
255	80	76				1155	360	342		36.6	68.7
270	85	80.7	41			1190	370	352		37.7	69.2
285	90	85.5	48			1220	380	361		38.8	69.8
305	95	90.2	52			1255	390	371		39.8	70.3
320	100	95	56.2			1290	400	380		40.8	70.8
335	105	99.8				1320	410	390		41.8	71.4
350	110	105	62.3			1350	420	399		42.7	71.8
370	115	109				1385	430	409		43.6	72.3
385	120	114	66.7			1420	440	418		44.5	72.8
400	125	119				1455	450	428		45.3	73.3
415	130	124	71.2			1485	460	437		46.1	73.6
430	135	128				1520	470	447		46.9	74.1
450	140	133	75			1555	480	(456)		47.7	74.5
465	145	138				1595	490	(466)		48.4	74.9
480	150	143	78.7			1630	500	(475)		49.1	75.3
495	155	147				1665	510	(485)		49.8	75.7
510	160	152	81.7			1700	520	(494)		50.5	76.1
530	165	156				1740	530	(504)		51.1	76.4
545	170	162	85			1775	540	(513)		51.7	76.7
560	175	166				1810	550	(523)		52.3	77
575	180	171	87.1			1845	560	(532)		53	77.4
595	185	176				1880	570	(542)		53.6	77.8
610	190	181	89.5			1920	580	(551)		54.1	78
625	195	185				1955	590	(561)		54.7	78.4
640	200	190	91.5			1995	600	(570)		55.2	78.6
660	205	195	92.5			2030	610	(580)		55.7	78.9
675	210	199	93.5			2070	620	(589)		56.3	79.2
690	215	204	94			2105	630	(599)		56.8	79.5
705	220	209	95			2145	640	(608)		57.3	79.8
720	225	214	96			2180	650	(618)		57.8	80
740	230	219	96.7				660			58.3	80.3
755	235	223					670			58.8	80.6
770	240	228	98.1	20.3	60.7		680			59.2	80.8
785	245	233		21.3	61.2		690			59.7	81.1
800	250	238	99.5	22.2	61.6		700			60.1	81.3
820	255	242		23.1	62		720			61	81.8
835	260	247	(101)	24	62.4		740			61.8	82.2
850	265	252		24.8	62.7		760			62.5	82.6
865	270	257	(102)	25.6	63.1		780			63.3	83
880	275	261		26.4	63.5		800			64	83.4
900	280	266	(104)	27.1	63.8		820			64.7	83.8
915	285	271		27.8	64.2		840			65.3	84.1
930	290	276	(105)	28.5	64.5		860			65.9	84.4
950	295	280		29.2	64.8		880			66.4	84.7
965	300	285		29.8	65.2		900			67	85
995	310	295		31	65.8		920			67.5	85.3
1030	320	304		32.2	66.4		940			68	85.6
1060	330	314		33.3	67						
1095	340	323		34.4	67.6						
1125	350	333		35.5	68.1						

Die eingeklammerten Zahlen sind Härtewerte, die ausserhalb des Definitionsbereichs der genormten Härteprüfverfahren liegen, praktisch jedoch vielfach als Näherungswerte benutzt werden. Darüber hinaus gelten die eingeklammerten Brinell-Härtewerte nur dann, wenn mit einer Hartmetallkugel gemessen wurde.

[1] Errechnet aus: HB = 0.95 × HV

Teil 1: Schrauben (Auszug aus DIN EN ISO 898-1)

Mechanische und physikalische Eigenschaften

Mechanische und physikalische Eigenschaft			Festigkeitsklasse										
			3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 [1] d ≤ M16 [2]	8.8 [1] d > M16 [2]	9.8 [3]	10.9	12.9
Zugfestigkeit R_m [4] in N/mm²	**Nennwert**		300	400		500		600	800	800	900	1000	1200
	min.		330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
Vickershärte HV F ≥ 98 N	**min.**		95	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
	max.		220 [5]					250	320	335	360	380	435
Brinellhärte HB F = 30 D [2]	**min.**		90	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
	max.		209 [5]					238	304	318	342	361	414
Rockwellhärte HR	**min.**	**HRB**	52	67	71	79	82	89	-	-	-	-	-
		HRC	-	-	-	-	-	-	22	23	28	32	39
	max.	**HRB**	95 [5]					99.5	-	-	-	-	-
		HRC	-					-	32	34	37	39	44
Untere Streckgrenze R_{eL} in N/mm² [6]	**Nennwert**		180	240	320	300	400	480	-	-	-	-	-
	min.		190	240	340	300	420	480	-	-	-	-	-
0.2 %-Dehngrenze $R_{p0.2}$ in N/mm² [7]	**Nennwert**		-						640	640	720	900	1080
	min.		-						640	660	720	940	1100
Bruchdehnung A in %	**min.**		25	22	-	20	-	-	12	12	10	9	8
Kerbschlagarbeit KU in J	**min.**		-			25	-		30	30	25	20	15

1) Bei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 mit Gewindedurchmesser d ≤ 16 mm besteht ein erhöhtes Abstreifrisiko für Muttern, wenn die Schraubenverbindung über die Prüfkraft der Schraube hinaus angezogen wird. Die Norm ISO 898-2 wird zur Beachtung empfohlen.

2) Für Stahlbauschrauben liegt die Grenze bei 12 mm.

3) Die Festigkeitsklasse 9.8 gilt nur für Gewinde-Nenndurchmesser d ≤ 16 mm.

4) Die Mindest-Zugfestigkeiten gelten für Schrauben mit Nennlängen l ≤ 2.5d. Die Mindest-Härten gelten für Schrauben mit Nennlängen l < 2.5d und für solche Produkte, die nicht im Zugversuch geprüft werden können (z.B. wegen der Kopfform).

5) Ein Härtewert am Ende der Schraube darf höchstens 250 HV, 238 HB oder 99.5 HRB betragen.

6) Falls die untere Streckgrenze R_{eL} nicht bestimmt werden kann, gilt die 0.2 %-Dehngrenze $R_{p\,0.2}$. Für die Festigkeitsklassen 4.8, 5.8 und 6.8 sind die Werte für R_{eL} nur als Berechnungsgrundlage angegeben, sie werden nicht geprüft.

7) Das der Bezeichnung der Festigkeitsklasse entsprechende Streckgrenzenverhältnis und die Mindestspannung an der 0.2 %-Dehngrenze $R_{p\,0.2}$ gelten für spanend bearbeitete Proben. Bei Prüfung von ganzen Schrauben variieren diese Werte aufgrund von Auswirkungen des Herstellverfahrens und der Grösseneinflüsse.

Mechanische Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen nach EN ISO 898-1, Anhang A

Die mechanischen Eigenschaften von Schrauben verändern sich auf unterschiedliche Weise mit wachsender Temperatur. In nachfolgender Tabelle werden, nur als Richtwerte, Angaben über die Verminderung der unteren Streckgrenze oder der 0.2 %-Dehngrenze bei einigen höheren Temperaturen gemacht. Diese Werte dürfen nicht als Prüfwerte angesehen werden.

Festigkeitsklasse	Temperatur [°C]				
	+ 20	+ 100	+ 200	+ 250	+ 300
	Untere Streckgrenze R_{eL} oder 0.2 %-Dehngrenze $R_{p\,0.2}$ in N/mm²				
5.6	300	270	230	215	195
8.8	640	590	540	510	480
10.9	940	875	790	745	705
12.9	1100	1020	925	875	825

Mindestbruchkräfte für Schrauben mit metrischem ISO-Regelgewinde (Werte gelten bei Prüfung an ganzen Schrauben)

Gewinde	Nennspannungsquerschnitt $A_{s,Nenn}$	Festigkeitsklasse									
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
		Mindestbruchkraft ($A_{s,Nenn} \times R_m$)									
	mm^2	N									
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	43800	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

Mindestbruchkräfte für Schrauben mit metrischem ISO-Feingewinde (Werte gelten bei Prüfung an ganzen Schrauben)

Gewinde	Nennspannungsquerschnitt $A_{s,Nenn}$	Festigkeitsklasse									
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
		Mindestbruchkraft ($A_{s,Nenn} \times R_m$)									
	mm^2	N									
M 8 x 1	39.2	12900	15700	16500	19600	20400	23500	31360	35300	40800	47800
M 10 x 1	64.5	21300	25800	27100	32300	33500	38700	51600	58100	67100	78700
M 12 x 1.5	88.1	29100	35200	37000	44100	45800	52900	70500	79300	91600	107500
M 14 x 1.5	125	41200	50000	52500	62500	65000	75000	100000	112000	130000	152000
M 16 x 1.5	167	55100	66800	70100	83500	86800	100000	134000	150000	174000	204000
M 18 x 1.5	216	71300	86400	90700	108000	112000	130000	179000	-	225000	264000
M 20 x 1.5	272	89800	109000	114000	136000	141000	163000	226000	-	283000	332000
M 22 x 1.5	333	110000	133000	140000	166000	173000	200000	276000	-	346000	406000
M 24 x 2	384	127000	154000	161000	192000	200000	230000	319000	-	399000	469000
M 27 x 2	496	164000	194000	208000	248000	258000	298000	412000	-	516000	605000
M 30 x 2	621	205000	248000	261000	310000	323000	373000	515000	-	646000	758000
M 33 x 2	761	251000	304000	320000	380000	396000	457000	632000	-	791000	928000
M 36 x 3	865	285000	346000	363000	432000	450000	519000	718000	-	900000	1055000
M 39 x 3	1030	340000	412000	433000	515000	536000	618000	855000	-	1070000	1260000

Teil 2: Muttern - Regelgewinde (Auszug aus EN ISO 898-2)

Mit der Paarung von Schrauben und Muttern der selben Festigkeitsklasse ist die Gewähr gegeben, dass solche Schraubenverbindungen neben der vollen Belastbarkeit auch mit den modernen Verfahren der Montagetechnik angezogen werden können, ohne dass dabei die Gefahr des Abstreifens der Gewinde gegeben ist.
Im allgemeinen können Muttern der höheren Festigkeitsklasse anstelle von Muttern der niedrigen Festigkeitsklasse verwendet werden. Dies ist ratsam für eine Schraube-Mutter-Verbindung mit Belastungen oberhalb der Streckgrenze oder oberhalb der Prüfspannung.

Mechanische Eigenschaften

Festigkeitsklasse		04			05			4					
Gewinde d		Prüfspannung S_p	Vickershärte HV		Prüfspannung S_p	Vickershärte HV		Prüfspannung S_p		Vickershärte HV			
über	bis	N/mm²	min.	max.	N/mm²	min.	max.	N/mm²		min.		max.	
-	M4	380	188	302	500	272	353	-		-		-	
M4	M7												
M7	M10												
M10	M16												
M16	M39							510		117		302	
Festigkeitsklasse		**5**			**6**			**8**					
-	M4	520	130	302	600	150	302	800	-	180	-	302	-
M4	M7	580			670			855		200			
M7	M10	590			680			870					
M10	M16	610			700			880					
M16	M39	630	146		720	170		920	890	233	180	353	302
Festigkeitsklasse		**9**			**10**			**12**					
-	M4	900	170	302	1040	272	353	1140	1150	295	272	353	353
M4	M7	915	188		1040			1140	1150				
M7	M10	940			1040			1140	1160				
M10	M16	950			1050			1170	1190				
M16	M39	920			1060			-	1200	-		-	

Muttern vom Typ 2 (DIN ISO 4033, Kopfhöhe ungefähr 10 % höher als Typ 1 (DIN ISO 4032))

Die Mindesthärten sind nur für vergütete Muttern und für Muttern, bei denen ein Prüfkraftversuch nicht durchgeführt werden kann, verbindlich. Für alle anderen Muttern sind die Mindesthärten nicht verbindlich und gelten nur als Richtwerte. Bei nicht vergüteten Muttern darf die Mindesthärte nicht Grund zur Zurückweisung sein, sofern der Prüfkraftversuch bestanden wird.

Prüfkräfte für Muttern mit metrischem ISO-Regelgewinde

Gewinde d x P	Nennspannungsquerschnitt des Prüfdorns A_s	Festigkeitsklasse										
		04	05	4	5	6	8		9	10	12	
		Prüfkraft ($A_s \times S_p$) in N										
	mm²	-	-	Typ 1	Typ 1	Typ 1	Typ 1	Typ 2	Typ 2	Typ 1	Typ 1	Typ 2
M3 x 0.5	5.03	1910	2500	-	2600	3000	4000	-	4500	5200	5700	5800
M3.5 x 0.6	6.78	2580	3400	-	3550	4050	5400	-	6100	7050	7700	7800
M4 x 0.7	8.78	3340	4400	-	4550	5250	7000	-	7900	9150	10000	10100
M5 x 0.8	14.2	5400	7100	-	8250	9500	12140	-	13000	14800	16200	16300
M6 x 1	20.1	7640	10000	-	11700	13500	17200	-	18400	20900	22900	23100
M7 x 1	28.9	11000	14500	-	16800	19400	24700	-	26400	30100	32900	33200
M8 x 1.25	36.6	13900	18300	-	21600	24900	31800	-	34400	38100	41700	42500
M10 x 1.5	58.0	22000	29000	-	34200	39400	50500	-	54500	60300	66100	67300
M12 x 1.75	84.3	32000	42200	-	51400	59000	74200	-	80100	88500	98600	100300
M14 x 2	115	43700	57500	-	70200	80500	101200	-	109300	120800	134600	136900
M16 x 2	157	59700	78500	-	95800	109900	138200	-	149200	164900	183700	186800
M18 x 2.5	192	73000	96000	97900	121000	138200	176600	170900	176600	203500	-	230400
M20 x 2.5	245	93100	122500	125000	154400	176400	225400	218100	225400	259700	-	294000
M22 x 2.5	303	115100	151500	154500	190900	218200	278800	269700	278800	321200	-	363600
M24 x 3	353	134100	176500	180000	222400	254200	324800	314200	324800	374200	-	423600
M27 x 3	459	174400	229500	234100	289200	330500	422300	408500	422300	486500	-	550800
M30 x 3.5	561	213200	280500	286100	353400	403900	516100	499300	516100	594700	-	673200
M33 x 3.5	694	263700	347000	353900	437200	499700	638500	617700	638500	735600	-	832800
M36 x 4	817	310500	408500	416700	514700	588200	751600	727100	751600	866000	-	980400
M39 x 4	976	370900	488000	497800	614900	702700	897900	868600	897900	1035000	-	1171000

Prüfkräfte für Muttern mit metrischem ISO-Feingewinde

Gewinde d x P	Nennspannungs-querschnitt des Prüfdorns A_s	Festigkeitsklasse							
		04	05	6	8		10		12
		Prüfkraft ($A_s \times S_p$) in N							
	mm²	-	-	Typ 1	Typ 1	Typ 2	Typ 1	Typ 2	Typ 2
M8 x 1	39.2	14900	19600	30200	37400	34900	43100	41400	47000
M10 x 1	64.5	24500	32200	49700	61600	57400	71000	68000	77400
M10 x 1.25	61.2	23300	30600	47100	58400	54500	67300	64600	73400
M12 x 1.25	92.1	35000	46000	71800	88000	82000	102200	97200	110500
M12 x 1.5	88.1	33500	44000	68700	84100	78400	97800	92900	105700
M14 x 1.5	125	47500	62500	97500	119400	111200	138800	131900	150000
M16 x 1.5	167	63500	83500	130300	159500	148600	185400	176200	200400
M18 x 1.5	215	81700	107500	187000	221500	-	-	232200	-
M18 x 2	204	77500	102000	177500	210100	-	-	220300	-
M20 x 1.5	272	103400	136000	236600	280200	-	-	293800	-
M20 x 2	258	98000	129000	224500	265700	-	-	278600	-
M22 x 1.5	333	126500	166500	289700	343000	-	-	359600	-
M22 x 2	318	120800	159000	276700	327500	-	-	343400	-
M24 x 2	384	145900	192000	334100	395500	-	-	414700	-
M27 x 2	496	188500	248000	431500	510900	-	-	535700	-
M30 x 2	621	236000	310500	540300	639600	-	-	670700	-
M33 x 2	761	289200	380500	662100	783800	-	-	821900	-
M36 x 3	865	328700	432500	804400	942800	-	-	934200	-
M39 x 3	1030	391400	515000	957900	1123000	-	-	1112000	-

Teil 5: Gewindestifte und ähnliche nicht auf Zug beanspruchte Verbindungselemente (Auszug aus EN ISO 898-5)

Dieser Teil von ISO 898 legt die mechanischen Eigenschaften fest, die für Gewindestifte und ähnliche nicht auf Zug beanspruchte Verbindungselemente aus Kohlenstoffstahl oder legiertem Stahl von 1.6 mm bis 39 mm gültig sind.

Mechanische Eigenschaften

Mechanische Eigenschaften			Festigkeitsklasse [1]			
			14H	22H	33H	45H
Vickershärte HV10		min.	140	220	330	450
		max.	290	300	440	560
Brinellhärte HB, F = 30 D^2		min.	133	209	314	428
		max.	276	285	418	532
Rockwellhärte	HRB	min.	75	95	-	-
		max.	105	[2]	-	-
	HRC	min.	-	[2]	33	45
		max.	-	30	44	53

[1] Die Festigkeitsklassen 14H, 22H und 33H sind nicht für Gewindestifte mit Innensechskant.
[2] Für die Festigkeitsklasse 22H ist der Mindestwert nach HRB und der Höchstwert nach HRC zu prüfen, wenn die Rockwellhärte geprüft wird.

Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus nichtrostenden Stählen

Teil 1: Schrauben, Teil 2: Muttern, Teil 3: Gewindestifte und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben, Teil 4: Blechschrauben (Auszug aus EN ISO 3506)

Stahlgruppe	**Austenitisch**					**Ferritisch**		**Martensitisch**					
Stahlsorte	**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**F1**		**C1**			**C4**		**C3**
Festigkeitsklassen für Schrauben, Stiftschrauben und Muttern [3]	50	70			80	45	60	50	70	110	50	70	80
Niedrige Muttern [1]	025	035			040	020	030	025		055		035	040
Gewindestifte [2]	12H	21H											
Blechschrauben [4]		20H 25H					25H			30H			40H
	weich	kaltverfestigt			hochfest	weich	kaltverfestigt	weich	vergütet	vergütet	weich	vergütet	vergütet

In den Stahlgruppen A2 und A4 ist die Festigkeitsklasse 70 der Regelfall

[1] 025: Prüfspannung S_P = min. 250 N/mm², 035: Prüfspannung S_P = min. 350 N/mm², 040: Prüfspannung S_P = min. 400 N/mm²

[2] 12H: 125 HV – 209 HV, 21H: min. 210 HV (HV: Vickershärte); Näherungsformel für Zugfestigkeit: Rm [N/mm²] = 3.38 × HV

[3] Sechskantschrauben und Zylinderschrauben mit Innensechskant oder Innensechsrund und Muttern müssen ab d ≥ 5 mm (Stiftschrauben d ≥ 5 mm) mit dem Kennzeichen der Stahlsorte, Festigkeitsklasse und dem Herstellerzeichen gekennzeichnet sein.

[4] Blechschrauben aus martensitischen Stählen müssen eine Oberflächenhärte von min. 300 HV (30H) bzw. min. 400 HV (40H) aufweisen. Blechschrauben aus austenitischen und ferritischen Stählen müssen eine Kernhärte von min. 200 HV (20H) bzw. 250 HV (25H) aufweisen.

Beschreibung der nichtrostenden Stahlgruppen und Stahlsorten

Austenit A	Die austenitischen Stahlsorten sind kaltzäh, sie sind deshalb gut geeignet für den Einsatz bei tiefen Temperaturen. Sie können nicht durch Wärmebehandlung gehärtet werden, sind jedoch infolge ihres höheren Dehnvermögens sehr gut kaltumformbar und durch die Kaltverfestigung (Kaltumformungsverfahren oder mechanische Verarbeitung) «härtbar». Verbindungselemente aus austenitischen Werkstoffen sind im allgemeinen nicht magnetisch, nach der Kaltumformung kann aber eine gewisse Magnetisierbarkeit, abhängig vom Umformungsgrad, vorliegen. Wenn besondere Anforderungen an die Magnetisierbarkeit gestellt werden, muss dies entsprechend vereinbart werden. **A1** Speziell für die spanende Bearbeitung bestimmt. Durch den hohen Schwefelgehalt S haben die Stähle dieser Stahlsorte eine geringere Korrosionsbeständigkeit. **A2** A2 ist die am häufigsten eingesetzte Stahlsorte. Hohe Rostbeständigkeit durch hohen Nickelgehalt Ni, jedoch nicht geeignet für die Verwendung in nichtoxidierender Säure und chloridhaltigen Medien, z.B. in Schwimmbädern und Meerwasser. **A4** Die Stähle der Sorte A4 sind säurebeständige Stähle, die Molybdän Mo-legiert sind und eine erheblich bessere Korrosionsbeständigkeit. Häufig eingesetzt in Lebensmittelindustrie und in gewissem Masse auch in chloridhaltiger Umgebung geeignet. **A3, A5** Diese Stähle sind durch die Legierungselemente Titan, Niob oder Tantal «stabilisiert» und daher beständig gegen interkristalline Korrosion. A3 sind «stabilisierte» nichtrostende Stähle mit Eigenschaften der Stähle A2. A5 sind «stabilisierte» säurebeständige Stähle mit Eigenschaften der Stähle A4.
Ferrit F	Diese Stahlgruppe ist magnetisch und kann normalerweise nicht gehärtet werden. Stähle der Stahlsorte F1 können Stähle der Sorten A2 und A3 ersetzen und bei Umgebungen mit höherem Chloridgehalt verwendet werden.
Martensit C	Diese Stahlgruppe ist magnetisch und kann durch Härten eine ausgezeichnete Festigkeit erreichen. Alle Stahlsorten sind begrenzt korrosionsbeständig. C1 und C3 werden für Turbinen, Pumpen, Armaturen, Apparate und Messer verwendet. C4 sind für die spanende Bearbeitung bestimmt.

Mechanische Eigenschaften von Schrauben

Stahlgruppe	Stahlsorte	Festigkeits-klasse	Durchmesser-Bereich	Zugfestigkeit [1] $R_{m\,min.}$	0.2 %-Dehngrenze [1] $R_{p\,0.2\,min.}$	Bruchdehnung [2] A_{min}	Härte HB min.	Härte HB max.	Härte HRC min.	Härte HRC max.	Härte HV min.	Härte HV max.
				[N/mm²]	[N/mm²]	[mm]						
Austenitisch	A1, A2, A3, A4, A5	50	≤ M39	500	210	0.6d						
		70	≤ M24 [3]	700	450	0.4d						
		80	≤ M24 [3]	800	600	0.3d						
Martensitisch	C1	50		500	250	0.2d	147	209	-		155	220
		70		700	410	0.2d	209	314	20	34	220	330
		110 [4]		1100	820	0.2d	-		36	45	350	440
	C3	80		800	640	0.2d	228	323	21	35	240	340
	C4	50		500	250	0.2d	147	209	-		155	220
		70		700	410	0.2d	209	314	20	34	220	330
Ferritisch	F1	45	≤ M24	450	250	0.2d	128	209	-		135	220
		60		600	410	0.2d	171	271	-		180	285

[1] Alle Werte sind berechnet und bezogen auf den Spannungsquerschnitt des Gewindes.
[2] Die Bruchdehnung wird an ganzen Schrauben mit einer Mindestlänge von 5d bestimmt.
[3] Für Durchmesser > M24 müssen die Festigkeitswerte zwischen Besteller und Hersteller besonders vereinbart werden, weil andere Werte für die 0.2 %-Dehngrenze möglich sind.
[4] Vergütet bei $T_{min.}$ = 275 °C

Mechanische Eigenschaften von Muttern

Stahlgruppe	Stahlsorte	Festigkeitsklasse Typ 1 m ≥ 0.8d	Festigkeitsklasse niedrig 0.5d≤ m <0.8d	Durchmesser-Bereich	Prüfspannung $S_{P\,min.}$ N/mm² Typ 1 m ≥ 0.8d	Prüfspannung niedrig 0.5d≤ m <0.8d	Härte HB min.	Härte HB max.	Härte HRC min.	Härte HRC max.	Härte HV min.	Härte HV max.
Austenitisch	A1, A2, A3, A4, A5	50	025	≤ M39	500	250						
		70	035	≤ M24	700	350						
		80	040	≤ M24	800	400						
Martensitisch	C1	50	025		500	250	147	209	-		155	220
		70	-		700	-	209	314	20	34	220	330
		110 [1]	055 [1]		1100	550	-		36	45	350	440
	C3	80	040		800	400	228	323	21	35	240	340
	C4	50	-		500	-	147	209	-		155	220
		70	035		700	350	209	314	20	34	220	330
Ferritisch	F1	45	020	≤ M24	450	200	128	209	-		135	220
		60	030		600	300	171	271	-		180	285

[1] Vergütet bei $T_{min.}$ = 275 °C

Mechanische Eigenschaften von Gewindestiften und ähnliche, nicht auf Zug beanspruchte Schrauben

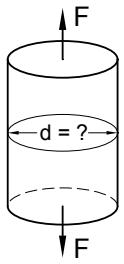
Stahlgruppe	Stahlsorte	Festigkeitsklasse		Härte HB min	Härte HB max	Härte HRB min	Härte HRB max	Härte HV min	Härte HV max
Austenitisch	A1, A2, A3, A4, A5	12H		123	213	70	95	125	209
		21H		214	-	96	-	210	-

Mechanische Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen

Stahlsorte	Festigkeitsklasse	0.2 %-Dehngrenze $R_{p\,0.2}$ in % der Werte bei Raumtemperatur bei Temperatur + 100 °C	+ 200 °C	+ 300 °C	+ 400 °C
A2, A4	70	85 %	80 %	75 %	70 %
C1	80	95 %	90 %	80 %	65 %
C3		90 %	85 %	80 %	60 %

Zulässige statische Belastbarkeit bei Beanspruchung auf Zug (Kräfte in Axialrichtung)

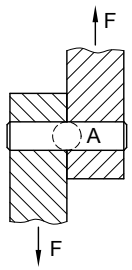
Werkstoffkennwert	Streckgrenze R_e bzw. 0.2 %-Dehngrenze $R_{p0.2}$
Sicherheitszahl S	**S = 1**, d.h. keine zusätzliche Sicherheit gegen Fliessen / plastische Verformung eingerechnet (Grenzwerte)! Im Anwendungsfall muss eine genügend grosse Sicherheit gegen eine Überbeanspruchung eingerechnet werden, sodass eine Beanspruchung nur im elastischen Bereich sichergestellt wird!
Alle Angaben (Grenzwerte!) sind unverbindliche Richtwerte!	



Gewinde	Spannungs-querschnitt	Zulässige statische Belastbarkeit [kg] bei reiner Zugbeanspruchung										
		Kohlenstoffstahl und legierter Stahl DIN EN ISO 898-1								nichtrostender Stahl DIN EN ISO 3506		
d × P	**A_S [mm²]**	**4.6**	**4.8**	**5.6**	**5.8**	**6.8**	**8.8**	**10.9**	**12.9**	**A2-50**	**A2-70**	**A2-80**
										A4-50	**A4-70**	**A4-80**
M 4	8.8	210	300	260	370	420	570	840	980	180	400	530
M 5	14.2	340	490	430	600	690	920	1’300	1’500	300	650	860
M 6	20.1	490	690	610	860	980	1’300	1’900	2’200	430	920	1’200
M 8	36.6	890	1’200	1’100	1’500	1’700	2’300	3’500	4’100	780	1’600	2’200
M 8×1	39.2	950	1’300	1’100	1’600	1’900	2’500	3’700	4’300	830	1’700	2’300
M 10	58.0	1’400	2’000	1’700	2’400	2’800	3’700	5’500	6’500	1’200	2’600	3’500
M 10×1	64.5	1’500	2’200	1’900	2’700	3’100	4’200	6’100	7’200	1’300	2’900	3’900
M 10×1.25	61.2	1’400	2’100	1’800	2’600	2’900	3’900	5’800	6’800	1’300	2’800	3’700
M 12	84.3	2’000	2’900	2’500	3’600	4’100	5’400	8’000	9’400	1’800	3’800	5’100
M 12×1.25	92.1	2’200	3’100	2’800	3’900	4’500	6’000	8’800	10’300	1’900	4’200	5’600
M 12×1.5	88.1	2’100	3’000	2’600	3’700	4’300	5’700	8’400	9’800	1’800	4’000	5’300
M 14	115.4	2’800	4’000	3’500	4’900	5’600	7’500	11’000	12’900	2’400	5’200	7’000
M 14×1.5	124.6	3’000	4’300	3’800	5’300	6’000	8’100	11’900	13’900	2’600	5’700	7’600
M 16	156.7	3’800	5’400	4’700	6’700	7’600	10’200	15’000	17’500	3’300	7’100	9’500
M 16×1.5	167.3	4’000	5’700	5’100	7’100	8’100	10’900	16’000	18’700	3’500	7’600	10’200
M 18	192.5	4’700	6’600	5’800	8’200	9’400	12’900	18’400	21’500	4’100	8’800	11’700
M 18×1.5	216.2	5’200	7’400	6’600	9’200	10’500	14’500	20’700	24’200	4’600	9’900	13’200
M 20	244.8	5’900	8’400	7’400	10’400	11’900	16’400	23’400	27’400	5’200	11’200	14’900
M 20×1.5	271.5	6’600	9’400	8’300	11’600	13’200	18’200	26’000	30’400	5’800	12’400	16’600
M 22	303.4	7’400	10’500	9’200	12’900	14’800	20’400	29’000	34’000	6’400	13’900	18’500
M 22×1.5	333.1	8’100	11’500	10’100	14’200	16’200	22’400	31’900	37’300	7’100	15’200	20’300
M 24	352.5	8’600	12’200	10’700	15’000	17’200	23’700	33’700	39’500	7’500	16’100	21’500
M 24×2	384.4	9’400	13’300	11’700	16’400	18’800	25’800	36’800	43’100	8’200	17’600	23’500
M 27	459.4	11’200	15’900	14’000	19’600	22’400	30’900	44’000	51’500	9’800	21’000	28’000
M 27×2	495.7	12’100	17’100	15’100	21’200	24’200	33’300	47’500	55’500	10’600	22’700	30’300
M 30	560.6	13’700	19’400	17’100	24’000	27’400	37’700	53’700	62’800	12’000	25’700	34’200
M 30×2	621.2	15’100	21’500	18’900	26’500	30’300	41’700	59’500	69’600	13’200	28’400	37’900
M 33	693.6	16’900	24’000	21’200	29’600	33’900	46’600	66’400	77’700	14’800	31’800	42’400
M 33×2	760.8	18’600	26’300	23’200	32’500	37’200	51’100	72’800	85’300	16’200	34’800	46’500
M 36	816.7	19’900	28’300	24’900	34’900	39’900	54’900	78’200	91’500	17’400	37’400	49’900
M 36×3	864.9	21’100	29’900	26’400	37’000	42’300	58’100	82’800	96’900	18’500	39’600	52’800

Zulässige statische Belastbarkeit bei Beanspruchung auf Abscherung (Kräfte quer zur Längsachse)

Werkstoffkennwert	Zugfestigkeit R_m
Sicherheitszahl S	**S = 1**, d.h. keine zusätzliche Sicherheit gegen Überbeanspruchung eingerechnet (Grenzwerte)! Im Anwendungsfall muss eine genügend grosse Sicherheit gegen eine Überbeanspruchung eingerechnet werden!
Alle Angaben (Grenzwerte!) sind unverbindliche Richtwerte!	



Gewinde	Spannungs-querschnitt	Zulässige Belastbarkeit [kg] bei reiner Scherbeanspruchung										
		Kohlenstoffstahl und legierter Stahl DIN EN ISO 898-1								nichtrostender Stahl DIN EN ISO 3506		
d × P	**A_S [mm²]**	**4.6**	**4.8**	**5.6**	**5.8**	**6.8**	**8.8**	**10.9**	**12.9**	**A2-50**	**A2-70**	**A2-80**
										A4-50	**A4-70**	**A4-80**
M 4	8.8	250	260	310	320	370	460	570	650	350	450	480
M 5	14.2	400	420	500	520	600	750	930	1'000	570	720	780
M 6	20.1	570	600	710	740	860	1'000	1'300	1'500	820	1'000	1'100
M 8	36.6	1'000	1'000	1'300	1'300	1'500	1'900	2'400	2'700	1'400	1'800	2'000
M 8×1	39.2	1'100	1'100	1'300	1'400	1'600	2'000	2'500	2'900	1'500	2'000	2'100
M 10	58.0	1'600	1'700	2'000	2'100	2'400	3'000	3'800	4'300	2'300	2'900	3'200
M 10×1	64.5	1'800	1'900	2'300	2'300	2'700	3'400	4'200	4'800	2'600	3'300	3'500
M 10×1.25	61.2	1'700	1'800	2'100	2'200	2'600	3'200	4'000	4'500	2'400	3'100	3'300
M 12	84.3	2'400	2'500	3'000	3'100	3'600	4'400	5'500	6'200	3'400	4'300	4'600
M 12×1.25	92.1	2'600	2'700	3'200	3'400	3'900	4'800	6'000	6'800	3'700	4'700	5'100
M 12×1.5	88.1	2'500	2'600	3'100	3'200	3'700	4'600	5'700	6'500	3'500	4'500	4'800
M 14	115.4	3'200	3'400	4'100	4'200	4'900	6'100	7'500	8'600	4'700	5'900	6'400
M 14×1.5	124.6	3'500	3'700	4'400	4'600	5'300	6'600	8'100	9'200	5'000	6'300	6'900
M 16	156.7	4'400	4'600	5'500	5'800	6'700	8'300	10'200	11'600	6'300	8'000	8'600
M 16×1.5	167.3	4'700	5'000	5'900	6'200	7'100	8'800	10'900	12'400	6'800	8'500	9'200
M 18	192.5	5'400	5'700	6'800	7'100	8'200	10'200	12'600	14'300	7'800	9'800	10'600
M 18×1.5	216.2	6'100	6'400	7'700	8'000	9'200	11'400	14'200	16'100	8'800	11'100	11'900
M 20	244.8	6'900	7'300	8'700	9'000	10'400	12'900	16'000	18'200	9'900	12'500	13'500
M 20×1.5	271.5	7'700	8'100	9'600	10'000	11'600	14'300	17'800	20'200	11'000	13'900	15'000
M 22	303.4	8'600	9'000	10'800	11'200	12'900	16'000	19'900	22'600	12'300	15'500	16'800
M 22×1.5	333.1	9'500	9'900	11'800	12'300	14'200	17'600	21'800	24'800	13'500	17'100	18'400
M 24	352.5	10'000	10'500	12'500	13'000	15'000	18'600	23'100	26'300	14'300	18'100	19'500
M 24×2	384.4	10'900	11'500	13'700	14'200	16'400	20'300	25'200	28'600	15'600	19'700	21'300
M 27	459.4	13'100	13'700	16'300	17'000	19'600	24'300	30'100	34'200	18'700	23'600	25'400
M 27×2	495.7	14'100	14'800	17'600	18'300	21'200	26'200	32'500	36'900	20'200	25'400	27'400
M 30	560.6	16'000	16'800	20'000	20'800	24'000	29'700	36'800	41'800	22'800	28'800	31'000
M 30×2	621.2	17'700	18'600	22'100	23'000	26'500	32'900	40'800	46'300	25'300	31'900	34'400
M 33	693.6	19'700	20'700	24'700	25'700	29'600	36'700	45'500	51'700	28'200	35'600	38'400
M 33×2	760.8	21'700	22'800	27'100	28'200	32'500	40'300	50'000	56'700	31'000	39'000	42'100
M 36	816.7	23'300	24'400	29'100	30'300	34'900	43'200	53'600	60'900	33'300	41'900	45'200
M 36×3	864.9	24'600	25'900	30'800	32'000	37'000	45'800	56'800	64'500	35'200	44'400	47'900

Kräfte quer zu einer Längsachse verursachen im Schraubenquerschnitt Schubspannungen. Unter der Annahme, dass diese Schubspannungen über den Querschnitt A gleichmässig verteilt sind, rechnet man mit der Scherspannung τ_a

$$\tau_a = \frac{F}{A} \leq \frac{\text{Scherfestigheitsverhältnis} \cdot R_m}{S}$$

nach VDI 2230-Blatt 1

Scherfestigkeitsverhältnis = Scherfestigkeit / Zugfestigkeit							
4.6/4.8	5.6-6.8	8.8	10.9	12.9	A2/A4 50	A2/A4 70	A2/A4 80
0.7	0.7	0.65	0.62	0.6	0.8	0.72	0.68

Schutzüberzüge

Schrauben werden in der Regel mit einem Schutzüberzug versehen, um Oxidationserscheinungen vorzubeugen oder zumindest zu verzögern. Natürlich hat der Schutzüberzug auch eine dekorative Funktion. Für Teile mit Gewinde und galvanischen Überzügen gilt DIN ISO 4042.

Nichtmetallische Überzüge

Verfahren	Prozessbeschreibung, Anwendung	Schichtdicken
Einölen	Vorübergehender Schutz, teilweise als Transportschutz, auch für metallische Überzüge	-
Thermisches Schwärzen	Anorganisches Verfahren, deren Schwärzung (schwarze Oxidschicht) an vergüteten Schrauben oder Muttern (ab Qualität 8) beim Anlassen (Erwärmung auf 400 – 600 °C mit bestimmter Haltedauer und Abschreckung in wässriger Ölemulsion) nach dem Härten oder beim thermischen Entspannen von kaltumgeformten Teilen entsteht. Der Rostschutz ist temporär, für Transport und Lagerung bis zur Anwendung jedoch meist genügend.	≈ 1 – 2 µm
Phosphatieren	Anorganisches Tauchverfahren nach DIN 50942. An der Metalloberfläche (phosphatierbare Werkstoffe sind neben den Stählen auch Zink Zn, Cadmium Cd, Magnesium Mg und Aluminium Al) entsteht eine graue bis grauschwarze Phosphatschicht durch wässrige Lösung von Zink- oder Mangan-Phosphat (für Verschleissfestigkeit). Die Schicht dient nicht nur als Korrosionsschutz, sondern aufgrund ihrer Porösität (phosphatierte Oberflächen können bis zu 13 mal so viel Öl aufnehmen wie unbehandelte Flächen) als guter Haftgrund für Korrosionsschutzöle (Einölen, Schwärzen, Anstriche, ua.). Nicht geeignet für Aussenanwendungen.	≈ 4 – 10 µm
Brünieren / Schwärzen	Chemisches Verfahren nach DIN 50938. Die Beschichtung ist eine dünne, eisenoxidhaltige Schicht mit leichtem Korrosionsschutz in Verbindung mit anschliessendem Einölen. Die Brünierung von dunkelbrauner bis schwarzer Farbe ist abhängig von der Qualität des Werkstoffes, deren Oberfläche und von der Art und Zustand des Brünierbades (ca. 140 °C). Meist auch für dekorativen Zweck.	≈ 1 – 2 µm
Eloxieren (Anodisches Oxidieren)	Eloxal-Verfahren = **El**ektrolytische **Ox**idation von **Al**uminium Verstärkung der natürlichen Oxidschichten in Gleichstrom-Säurebädern von Aluminium- und Magnesiumlegierungen, Erhöhung der Korrosions- und Abriebfestigkeit, Einfärben der Oxidschicht für dekorative Zwecke.	≈ 5 – 30 µm
Dünnlack-Beschichtungen (Topcoat)	Deckbeschichtung (Topcoat) aus einer organischen Verbindung, die in flüssigem Zustand aufgebracht wird. Die Verbindungselemente werden getaucht oder der Topcoat aufgespritzt und anschliessend auf 200 °C erwärmt. Dabei härtet die Lackschicht aus. Diese Schutzschicht kann in vielen Farben auf eine andere Oberflächenbeschichtung aufgetragen werden. In diese Schutzschicht können Schmierstoffe eingearbeitet werden, die für die Verschraubung günstige, konstante Reibwerte erbringen. Topcoats erhöhen zusätzlich den Korrosionsschutz. Bsp. DELTA-SEAL als Topcoat für Zinklamellenbeschichtung DELTA-TONE, DELTA-PROTEKT, etc.	≈ 5 – 10 µm
CresaCoat® (tribo-technische Beschichtung auf Basis Molybdändisulfid MoS_2)	Tribotechnische Beschichtungen (Trockenschmierstoffe) bilden reibungsmindernde und verschleisshemmende Schichten, welche Oberflächenrauheiten überdecken und so vor unmittelbarer Metall-an-Metall-Reibung auch unter hohen Belastungen schützen. Diese festhaftenden und trockenen Gleitschichten schützen vor Oberflächenschäden und verhindern Kaltverschweissung. Sie unterliegen keiner Alterung (Langzeitschmierung). - tiefe Reibwerte (µ~0.1) und geringe Reibwertstreuung (definierte Schmierverhältnisse mit hoher Montage-Sicherheit) - gesteigerter Korrosionsschutz - hohe Temperaturbeständigkeit - problemloses Lösen von Schraubenverbindungen auch nach Betriebseinsatz (keine Kaltverschweissung) - unterschiedliche Produkte je nach Anwendung und Anforderungen - Standardprodukt CresaCoat® C112 (alternativ zu Molykote 3400A)	≈ 5 – 10 µm

Metallische Überzüge

Verfahren Überzüge	Prozessbeschreibung, Anwendung	Schichtdicken
Galvanische Verfahren (ISO 4042): **Verzinken**	Die Schutzschichten werden aus einem Elektrolyten (Z.B. Zinklösung) in Trommelautomaten durch katodische Abscheidung auf elektrisch leitend oder leitend gemachten Teilen aufgebracht. Nebst erhöhtem Korrosionsschutz (abhängig von der Dicke des Überzuges) dienen diese Schutzüberzüge dekorativen Zwecken. Die **Zinkbeschichtung** wirkt gegenüber dem darunterliegenden Stahl anodisch, d.h. der Zinküberzug ist elektrochemisch unedler als der Stahl. Im Falle einer Korrosion wird der Zinküberzug bevorzugt angegriffen und schützt dadurch den darunterliegenden Stahl. **-> Gefahr der wasserstoffinduzierten Versprödung [1)]** **Nachbehandlungen galvanisch aufgebrachter Zinküberzüge sind z.B. Chromatieren (Passivieren) / Dünnschicht- und Dickschichtpassivierungen (Cr6-frei):** Chemische, stromloses Tauchverfahren in Chromsäurelösungen nach dem galvanischen Verzinken erhöht den Korrosionsschutz und verhindert das Anlaufen und Verfärben der Zinkschicht. Diverse Einfärbungen sind möglich: Blau-, Gelb-, Oliv-, Schwarz-Chromatierungen [2)].	≈ 3 – 25 µm
Verkupfern **Vernickeln** **Verchromen** **Verzinnen**	Überzüge aus Zinn verbessern die Löt- und Leitfähigkeit. Beschichtungen aus Nickel oder Chrom wirken gegenüber dem darunterliegenden Stahl katodisch (Überzug ist elektrochemisch edler als Stahl). Die Schutzwirkung ist daher sehr hoch. Aufgrund des unedleren Stahls kann es bei Poren oder Beschädigungen der Schutzschicht zu verstärkter Korrosion des Stahls führen (Unterrostung).	
Schmelztauchverfahren (ISO 10684): Feuerverzinken	Schmelzflüssiges Zinkbad bei 450 – 480 °C. Die Stahloberfläche reagiert mit dem Zink und es entsteht eine mattgraue und rauhe Legierungsschicht mit abnehmendem Eisengehalt von innen nach aussen mit sehr gutem Korrosionsschutz (besser als galvanische Zinkbeschichtung). Das Feuerverzinken ist erst ab M8 möglich, da die Toleranzlage erhöht werden muss. Bei feuerverzinkten Muttern wird das Gewinde nachgeschnitten.	≈ 40 – 100 µm
Mechanisches Verfahren (ISO 12683): Mechanisches Verzinken	Geeignet für Teile höherer Festigkeit mit $R_m \geq 1000\,N/mm^2$. Reinigung erfolgt mechanisch oder chemisch, aber ohne Säure. Die Zinkbeschichtung wird in rotierenden Trommeln mit Hilfe von Glaskügelchen geeigneter Grösse und durch Zusatz von chemischen Substanzen aufgetragen. Korrosionsschutz weniger gut als bei galvanischem Verzinken.	≈ 8 – 20 µm

1) Korrosionserscheinung «Wasserstoffinduzierte Versprödung»

Bei der Korrosion, beim Säurebeizen oder in der galvanischen Oberflächenveredlung entsteht an der Stahloberfläche immer Wasserstoff.
Ein Teil dieses Wasserstoffes diffundiert atomar in die Oberfläche des Stahls ein (Versprödung, d.h. Zähigkeitsverlust). Besonders anfällig sind Teile höherer Festigkeit mit $R_m \geq 1000\,N/mm^2$ (Schrauben ≥ 10.9) oder einer Härte > 320 HV (Tellerfedern, Spannscheiben aus gehärtetem Federstahl). Es kommt unter mechanischer Beanspruchung zur Rissbildung, die bis zum Bruch führen kann (Sprödbruch).

2) Im Rahmen der EU-Richtlinien, insbesondere 2000/53/EG (Altfahrzeuge; ELV) und 2002/95/EG (Elektro- und Elektronikgeräte; ROHS) wird die Vermeidung bzw. Einschränkung von gefährlichen Inhaltsstoffen wie Blei, Quecksilber, sechswertiges Chrom Cr(VI), Cadmium und andere gefordert.
Vor allem Befestigungselemente mit Gelb-, Schwarz- oder Oliv-Chromatierungen bei galvanischen Oberflächen und Dacromet® enthalten Chrom(VI).

Gegenmassnahmen

Kein Säurebeizen oder galvanische Veredlung von hochfesten Teilen oder dann kurze Beizbehandlung und Tempern (Möglichst lange Wärmebehandlung, bis zu 8h, direkt nach der Veredlung und vor der Chromatierung bei einer Temperatur von 180 – 230 °C).
Tempern als Gegenmassnahme senkt die Gefahr eines wasserstoffinduzierten Sprödbruches, sie kann aber auch unter sorgfältigster Prozessführung (Veredlung und Wärmebehandlung) nicht voll und ganz eliminiert werden.
Wahl von alternativen Korrosionsschutz- oder Beschichtungsverfahren wie DACROMET® oder GEOMET® oder ein Übergang auf rost- und säurebeständige Stähle.

Mögliche Alternativen zu Gelb-, Schwarz- und Oliv-Chromatierungen sind Cr(VI)-freie Dickschicht-Passivierungen bzw. GEOMET® (chromfreier dünnschichtiger Überzug aus Zink- und Aluminiumlamellen) als Ersatz für das Cr(VI)-haltige Dacromet®.
Blau-verzinkte Befestigungselemente werden heute mit Cr(III)-Passivierung angeboten.

Nähere Informationen auf Anfrage.

Verfahren Überzüge	Prozessbeschreibung, Anwendung	Schichtdicken
Zinklamellen-Überzüge (ISO 10683): DACROMET®	DACROMET® ist ein anorganischer Überzug aus Zink- und Aluminiumlamellen in einer Chromoxydmatrix. DACROMET® ist besonders bei dünnen Schichtdicken geeignet. - DACROMET® 320 (ohne integriertes Gleitmittel) - DACROMET® 500 (mit integriertem Gleitmittel) **Die Beschichtung ist CrVI-haltig und deshalb nicht konform zu den EU-Richtlinien für Altfahrzeuge, etc. [2)]**	≈ 5 – 10 m
GEOMET®	GEOMET® wird als chromfreie Alternative zum DACROMET® angeboten. GEOMET® besteht aus Zink- und Aluminiumlamellen in einer Siliziumoxid-Matrix. - GEOMET® 321 (ohne integriertes Gleitmittel) - GEOMET® 500 (mit integriertem Gleitmittel) - weitere Ausführungen möglich DACROMET® und GEOMET® - sind geeignet für Teile und Schrauben ab M4 höherer Festigkeit mit $R_m \geq 1000\,N/mm^2$. - bieten höchsten Korrosionsschutz sowie beste Schmierung. - sind beides Verfahren, bei welchem keine Wasserstoffversprödung entsteht! - Auftragung erfolgt im Kalttauchverfahren in wässrigen Lösungen oder durch Spritzen. - sind in der Variante ohne Deckschicht (Topcoat) aluminiumgrau	
DELTA®-TONE **DELTA®-PROTEKT**	- nicht elektrolytisch aufgebrachte Zinklamellenbeschichtungen für höchste Korrosionsschutzanforderungen - keine Wasserstoffversprödung - geeignet für Teile und Schrauben ab M6 höherer Festigkeit mit $R_m \geq 1000\,N/mm^2$. - mögliche Deckschicht (Topcoat): DELTA®-SEAL	≈ 5 – 15 µm

Montage von Schraubenverbindungen

Funktionserfüllung und Dauerhaltbarkeit von Schraubenverbindungen bestimmt durch

- Mechanische Eigenschaften (Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung, etc.)
- Betriebsbedingungen (statisch / dynamisch)
- Beanspruchungen (Temperatur, Korrosion)
- Dimensionierung (Durchmesser, Länge)

Hauptanforderungen einer (berechneten) / montierten Schraubenverbindungen

1. Keine Überbeanspruchung durch Montage-Vorspannung F_V (= vor Betriebsbeanspruchung) und zusätzlichen Betriebskräften
2. Aufrechterhalten einer Mindestklemmkraft während Betrieb
   - Eine ausreichend bleibende Klemmkraft unter Betriebsbelastung soll verhindern, dass Scherkräfte (F_Q) quer zur Schraubenachse wirken können!
   - Unter Berücksichtigung von Klemmkraftverlusten (Setzbeträge)
   - wenn Querkräfte > Klemmkraft, führt dies zum Lockern und schliesslich zum Versagen
3. Spannungsausschläge durch betriebsbedingte Wechselbelastungen < Dauerhaltbarkeit

Aufgaben der Konstruktion

- Bestimmen und dimensionieren geigneter Verbindungselemente in Kenntnis aller Anforderungen (erforderliche Vorspannkraft) abhängig von Eigenschaften der Schraube
- Die gewählte Schraube (Nenndurchmesser, 8.8, 10.9, etc.) muss die Montagevorspannkraft $F_{M\,max.}$ aufnehmen können.
- ggf. «Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen» nach VDI-Richtlinie 2230 (Verein Deutscher Ingenieure)
- Wahl einer geeigneten Sicherungsmethode (gegen Lockern oder losdrehen)
- Wahl eines sinnvollen Montageverfahrens mit allfällig notwendiger Montageanweisungen

Genauigkeitsgrad für das Erreichen der erforderlichen Vorspannkraft wird beeinflusst durch

- Anziehverfahren und dessen Streuung
- die Grösse der Reibungszahl, abhängig vom Werkstoff, Oberfächenrauhigkeit, Schmierzustand
- Spezielle Verschraubungskomponenten (z.B. Dichtungen, Federelemente, etc.)

Zulässiges Anziehdrehmoment aus Tabellen

- Grösster Teil des Anziehdrehmomentes für die Erzeugung der Vorspannkraft nicht nutzbar (Überwindung der Reibung im Gewinde (μ_G) und unter der Kopfauflage (μ_K).
- **Empfehlung:** Für das Anziehen mit dem Drehmomentschlüssel empfiehlt sich ein **Montage-Anziehdrehmoment von ca. 90 % der max. Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$** der Tabellenwerte unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse.
- Ein genügend grosser Anziehfaktor α_A (α_A~1.6) durch Fehler beim Abschätzen der Reibungszahlen und Ungenauigkeit des Anziehverfahrens wird dadurch berücksichtigt und verhindert eine Überbeanspruchung.

Reibungszahlen

Die folgende Tabelle nach VDI 2230 enthält eine Zuordnung von Reibungszahlklassen mit Richtwerten von Reibungszahlen (bei Raumtemperatur) für Gewinde μ_G und Auflageflächen μ_K zu verschiedenen Werkstoffen / Oberflächen und Schmierzuständen.
Der Oberflächenzustand hat einen sehr grossen Einfluss auf die Reibungszahl. Trocken, geölt oder geschmiert verändert die Reibungszahl erheblich und somit auch das notwendige Anziehdrehmoment und die daraus resultierende Vorspannkraft.

Reibungszahlklasse	**Bereich für μ_G und μ_K**	**Auswahl typischer Beispiele für**	
		Werkstoff / Oberflächen	**Schmierstoffe**
A	0.04 – 0.10	metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galvanische Überzüge Zinklamellen-Überzüge	Trockenschmierstoffe (tribo-technische Beschichtungen) auf Basis MoS_2 (Molybdändisulfid), Graphit, PTFE, etc. in Gleitlacken, als Topcoats oder in Pasten Wachsschmelzen Wachsdispersionen
B	0.08 – 0.16	metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galvanische Überzüge Zinklamellen-Überzüge Al- und Mg-Legierungen	Trockenschmierstoffe (tribo-technische Beschichtungen) auf Basis MoS_2 (Molybdändisulfid), Graphit, PTFE, etc. in Gleitlacken, als Topcoats oder in Pasten Wachsschmelzen Wachsdispersionen Fette, Öle, Anlieferzustand
		feuerverzinkt	MoS_2 (Molybdändisulfid), Graphit Wachsdispersionen
		organische Beschichtungen	mit integriertem Festschmierstoff oder Wachsdispersionen
		austenitischer Stahl A2 / A4	Festschmierstoffe oder Wachse, Pasten
C	0.14 – 0.24	austenitischer Stahl A2 / A4	Wachsdispersionen, Pasten
		metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert	Anlieferzustand (leicht geölt)
		galvanische Überzüge Zinklamellen-Überzüge Klebstoffe (z.B. Precote 30 / 85)	ohne
D	0.20 – 0.35	austenitischer Stahl A2 / A4	Öl
		galvanische Überzüge feuerverzinkt Klebstoffe (z.B. Precote 80)	ohne
E	≥ 0.30	galvanische Überzüge austenitischer Stahl A2 / A4 Al- und Mg-Legierungen	ohne

Richtwerte für Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente
für metrische Sechskant- und Zylinderschrauben mit ISO-Regelgewinde

Gew.	Maximale Vorspannkräfte $F_{M\,max.}$ in kN verschiedener Festigkeitsklassen																				
	5.6							5.8							6.8						
μ	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**
M 3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.92	0.85	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.9	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.4
M 3.5	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.5	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.0	1.8
M 4	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.1	2.0	3.3	3.1	3.0	2.9	2.8	2.6	2.4
M 5	3.3	3.2	3.1	3.0	2.8	2.6	2.4	4.4	4.3	4.1	3.9	3.8	3.5	3.2	5.3	5.1	4.9	4.7	4.5	4.2	3.9
M 6	4.7	4.5	4.3	4.2	4.0	3.7	3.4	6.2	6.0	5.8	5.6	5.3	4.9	4.5	7.5	7.2	7.0	6.7	6.4	5.9	5.4
M 7	6.8	6.6	6.4	6.1	5.9	5.4	5.0	9.1	8.8	8.5	8.2	7.8	7.2	6.6	11.0	10.6	10.2	9.8	9.4	8.6	8.0
M 8	8.6	8.3	8.0	7.7	7.4	6.8	6.2	11.5	11.0	10.6	10.2	9.8	9.0	8.3	13.7	13.3	12.8	12.3	11.8	10.8	10.0
M 10	13.7	13.2	12.7	12.2	11.7	10.8	9.9	18.2	17.6	16.9	16.3	15.6	14.4	13.2	21.9	21.1	20.3	19.5	18.7	17.2	15.9
M 12	19.9	19.2	18.5	17.8	17.1	15.7	14.5	26.6	25.6	24.7	23.7	22.8	20.9	19.3	31.9	30.8	29.6	28.5	27.3	25.1	23.1
M 14	27.4	26.4	25.4	24.4	23.5	21.6	19.9	36.5	35.2	33.9	32.6	31.3	28.8	26.5	43.8	42.2	40.7	39.1	37.5	34.5	31.8
M 16	37.6	36.4	35.0	33.7	32.4	29.8	27.4	50.2	48.5	46.7	44.9	43.2	39.7	36.6	60.2	58.2	56.1	53.9	51.8	47.7	43.9
M 18	45.7	44.2	42.5	40.9	39.2	36.1	33.2	61.0	58.9	56.7	54.5	52.3	48.1	44.3	73.2	70.6	68.0	65.4	62.8	57.8	53.2
M 20	58.8	56.8	54.7	52.6	50.5	46.5	42.8	78.3	75.7	72.9	70.2	67.4	62.0	57.1	94.0	90.8	87.5	84.2	80.9	74.5	68.5
M 22	73.4	71.0	68.4	65.9	63.3	58.3	53.7	97.9	94.6	91.2	87.8	84.4	77.7	71.6	117	114	109	105	101	93.3	85.9
M 24	84.6	81.8	78.8	75.8	72.8	67.0	61.7	113	109	105	101	97.0	89.3	82.2	135	131	126	121	116	107	98.7
M 27	111	108	104	99.9	96.0	88.5	81.5	148	144	138	133	128	118	109	178	172	166	160	154	142	130
M 30	135	131	126	121	117	107	98.8	180	174	168	162	155	143	132	217	209	202	194	187	172	158
M 33	169	163	157	151	146	134	124	225	217	210	202	194	179	165	270	261	252	242	233	215	198
M 36	198	191	185	178	171	157	145	264	255	246	237	228	210	193	317	306	295	284	273	252	232
M 39	238	230	222	214	205	189	174	317	307	296	285	274	252	232	380	368	355	342	329	303	279

Gew.	Maximale Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$ in Nm verschiedener Festigkeitsklassen																				
	5.6							5.8							6.8						
μ	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**
M 3	0.48	0.53	0.58	0.62	0.67	0.77	0.87	0.64	0.70	0.77	0.83	0.90	1.0	1.2	0.76	0.84	0.92	1.0	1.1	1.2	1.4
M 3.5	0.74	0.81	0.88	1.0	1.0	1.2	1.3	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.9	2.1
M 4	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	2.0	1.5	1.6	1.8	1.9	2.0	2.3	2.6	1.8	1.9	2.1	2.3	2.4	2.8	3.1
M 5	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.4	3.8	2.9	3.2	3.4	3.7	4.0	4.6	5.1	3.5	3.8	4.1	4.5	4.8	5.5	6.1
M 6	3.7	4.1	4.4	4.8	5.2	5.9	6.6	5.0	5.4	5.9	6.4	6.9	7.8	8.8	6.0	6.5	7.1	7.7	8.3	9.4	10.6
M 7	6.2	6.8	7.4	8.0	8.6	9.8	11.1	8.3	9.1	9.9	10.7	11.5	13.1	14.8	9.9	10.9	11.9	12.8	13.8	15.8	17.7
M 8	9.0	9.9	10.8	11.6	12.5	14.3	16.0	12.0	13.2	14.3	15.5	16.7	19.0	21.4	14.4	15.8	17.2	18.6	20.0	22.8	25.6
M 10	17.7	19.4	21.2	22.9	24.6	28.0	31.4	23.6	25.9	28.2	30.5	32.8	37.4	41.9	28.4	31.1	33.9	36.6	39.3	44.8	50.3
M 12	30.6	33.5	36.4	39.4	42.3	48.1	53.9	40.8	44.7	48.6	52.5	56.4	64.1	71.9	49.0	53.6	58.3	63.0	67.6	77.0	86.3
M 14	48.8	53.5	58.1	62.7	67.4	76.6	85.9	65.1	71.3	77.4	83.6	89.8	102	115	78.1	85.5	92.9	100	108	123	137
M 16	75.6	82.9	90.1	97.4	105	119	134	101	110	120	130	140	159	178	121	133	144	156	167	191	214
M 18	105	115	125	135	145	165	185	140	153	166	180	193	220	246	168	184	200	216	232	264	295
M 20	148	162	176	191	205	233	262	197	216	235	254	273	311	349	237	259	282	305	328	373	419
M 22	203	222	242	262	282	322	361	270	297	323	350	376	429	482	324	356	388	419	451	515	578
M 24	255	279	304	328	353	401	450	340	372	405	437	470	535	600	408	447	486	525	564	642	720
M 27	376	413	450	487	524	597	671	502	551	600	649	698	796	895	602	661	720	779	838	956	1074
M 30	510	560	610	660	710	809	909	681	747	813	880	946	1079	1212	817	896	976	1056	1136	1295	1454
M 33	692	759	827	895	962	1098	1233	922	1012	1103	1193	1283	1463	1644	1107	1215	1323	1431	1540	1756	1973
M 36	889	976	1063	1150	1236	1410	1583	1186	1302	1417	1533	1648	1880	2111	1423	1562	1701	1839	1978	2256	2533
M 39	1151	1265	1378	1491	1604	1831	2057	1535	1686	1837	1988	2139	2441	2743	1842	2023	2204	2386	2567	2929	3291

- Alle Werte unter Ausnutzung von 90 % der Mindeststreckgrenze R_{eL} beziehungsweise $R_{p\,0.2}$
- Für das Anziehen mit dem Drehmomentschlüssel empfiehlt sich ein Montage-Anziehdrehmoment von ca. 90 % der oberen Tabellenwerte unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse.

Richtwerte für Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente
für metrische Sechskant- und Zylinderschrauben mit ISO-Regelgewinde

Gew.	Maximale Vorspannkräfte $F_{M\,max.}$ in kN verschiedener Festigkeitsklassen																				
	8.8							10.9							12.9						
μ	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.2	0.24	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.2	0.24	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.2	0.24
M 3	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	3.5	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.6	4.2	4.1	3.9	3.8	3.6	3.3	3.1
M 3.5	3.4	3.2	3.1	3.0	2.9	2.6	2.4	4.7	4.5	4.4	4.2	4.0	3.7	3.4	5.7	5.5	5.2	5.0	4.8	4.5	4.1
M 4	4.3	4.2	4.0	3.9	3.7	3.4	3.1	6.1	5.9	5.6	5.4	5.2	4.8	4.4	7.3	7.0	6.8	6.5	6.2	5.7	5.3
M 5	7.1	6.8	6.6	6.3	6.1	5.6	5.1	10.0	9.6	9.2	8.9	8.5	7.8	7.2	12.0	11.5	11.1	10.7	10.2	9.4	8.7
M 6	10.0	9.6	9.3	8.9	8.5	7.9	7.2	14.1	13.5	13.0	12.5	12.0	11.0	10.2	16.9	16.3	15.6	15.0	14.4	13.2	12.2
M 7	14.6	14.1	13.6	13.0	12.5	11.5	10.6	20.5	19.8	19.1	18.3	17.6	16.2	14.9	24.6	23.8	22.9	22.0	21.1	19.5	17.9
M 8	18.3	17.7	17.0	16.3	15.7	14.4	13.3	25.8	24.9	23.9	23.0	22.0	20.3	18.7	30.9	29.8	28.7	27.6	26.5	24.3	22.4
M 10	29.2	28.1	27.1	26.0	25.0	23.0	21.1	41.0	39.6	38.1	36.6	35.1	32.3	29.7	49.2	47.5	45.7	43.9	42.1	38.8	35.7
M 12	42.5	41.0	39.5	37.9	36.4	33.5	30.8	59.8	57.7	55.5	53.4	51.2	47.1	43.4	71.7	69.2	66.6	64.0	61.5	56.6	52.0
M 14	58.4	56.3	54.2	52.1	50.0	46.0	42.4	82.1	79.2	76.3	73.3	70.4	64.7	59.6	98.5	95.0	91.5	87.9	84.4	77.7	71.5
M 16	80.3	77.5	74.7	71.9	69.1	63.6	58.5	113	109	105	101	97.1	89.4	82.3	135	131	126	121	117	107	98.8
M 18	97.6	94.2	90.7	87.2	83.7	77.0	70.9	137	132	128	123	118	108	99.7	165	159	153	147	141	130	120
M 20	125	121	117	112	108	99.3	91.4	176	170	164	158	152	140	128	212	204	197	189	182	168	154
M 22	157	151	146	140	135	124	114	220	213	205	198	190	175	161	264	255	246	237	228	210	193
M 24	181	174	168	162	155	143	132	254	245	236	227	218	201	185	305	294	284	273	262	241	222
M 27	237	230	221	213	205	189	174	334	323	311	300	288	265	244	401	388	374	360	346	318	293
M 30	289	279	269	259	249	229	211	406	392	378	364	350	322	297	487	471	454	437	420	387	356
M 33	360	348	336	323	311	286	263	506	489	472	454	437	402	371	607	587	566	545	524	483	445
M 36	422	408	394	379	364	335	309	594	574	554	533	512	472	434	712	689	664	639	614	566	521
M 39	507	491	474	456	438	404	372	713	690	666	641	616	568	523	856	828	799	769	739	681	628

Gew.	Maximale Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$ in Nm verschiedener Festigkeitsklassen																				
	8.8							10.9							12.9						
μ	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.2	0.24	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.2	0.24	0.08	0.1	0.12	0.14	0.16	0.2	0.24
M 3	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8	1.4	1.6	1.7	1.9	2.0	2.3	2.6	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.8	3.1
M 3.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.5	2.8	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.5	3.9	2.6	2.9	3.2	3.4	3.7	4.2	4.7
M 4	2.3	2.6	2.8	3.0	3.3	3.7	4.2	3.3	3.6	3.9	4.3	4.6	5.2	5.9	3.9	4.3	4.7	5.1	5.5	6.3	7.1
M 5	4.6	5.1	5.5	5.9	6.4	7.3	8.2	6.5	7.1	7.7	8.4	9.0	10.2	11.5	7.8	8.5	9.3	10.0	10.8	12.3	13.8
M 6	7.9	8.7	9.5	10.2	11.0	12.5	14.1	11.1	12.2	13.3	14.4	15.5	17.6	19.8	13.4	14.7	16.0	17.3	18.6	21.2	23.8
M 7	13.2	14.5	15.8	17.1	18.4	21.0	23.6	18.6	20.4	22.3	24.1	25.9	29.5	33.2	22.3	24.5	26.7	28.9	31.1	35.5	39.8
M 8	19.2	21.1	23.0	24.8	26.7	30.4	34.2	27.0	29.7	32.3	34.9	37.6	42.8	48.1	32.5	35.6	38.8	41.9	45.1	51.4	57.7
M 10	37.8	41.5	45.1	48.8	52.4	59.8	67.1	53.2	58.3	63.5	68.6	73.8	84.0	94.3	63.8	70.0	76.2	82.4	88.5	101	113
M 12	65.3	71.5	77.7	83.9	90.2	103	115	91.8	101	109	118	127	144	162	110	121	131	142	152	173	194
M 14	104	114	124	134	144	163	183	146	160	174	188	202	230	258	176	192	209	226	243	276	309
M 16	161	177	192	208	223	254	285	227	249	270	292	314	358	401	272	298	324	351	377	429	481
M 18	223	245	266	287	309	351	394	314	344	374	404	434	494	554	377	413	449	485	521	593	665
M 20	315	346	376	406	437	497	558	444	486	529	572	614	700	785	532	583	635	686	737	839	942
M 22	432	475	517	559	602	686	771	608	667	727	787	846	965	1084	730	801	872	944	1015	1158	1301
M 24	544	596	648	700	752	856	960	765	838	911	984	1058	1204	1351	917	1005	1093	1181	1269	1445	1621
M 27	803	881	960	1038	1117	1274	1432	1129	1239	1350	1460	1571	1792	2013	1354	1487	1620	1752	1885	2150	2416
M 30	1089	1195	1301	1408	1514	1727	1939	1531	1681	1830	1980	2129	2428	2727	1838	2017	2196	2376	2555	2914	3272
M 33	1475	1620	1764	1908	2053	2342	2630	2075	2278	2481	2684	2887	3293	3699	2490	2733	2977	3220	3464	3951	4438
M 36	1897	2082	2267	2452	2638	3008	3378	2668	2928	3189	3449	3709	4229	4750	3202	3514	3826	4139	4451	5075	5700
M 39	2456	2698	2939	3181	3422	3905	4388	3454	3794	4133	4473	4813	5492	6171	4145	4553	4960	5368	5775	6590	7405

- Alle Werte unter Ausnutzung von 90 % der Mindeststreckgrenze R_{eL} beziehungsweise $R_{p\,0.2}$
- Für das Anziehen mit dem Drehmomentschlüssel empfiehlt sich ein Montage-Anziehdrehmoment von ca. 90 % der oberen Tabellenwerte unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse.

Richtwerte für Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente
für metrische Sechskant- und Zylinderschrauben mit ISO-Feingewinde

Gew.	Maximale Vorspannkräfte $F_{M\,max.}$ in kN verschiedener Festigkeitsklassen																			
	5.6							5.8							6.8					
μ	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**
8x1	9.4	9.1	8.8	8.4	8.1	7.5	6.9	12.5	12.1	11.7	11.2	10.8	9.9	9.2	15.1	14.5	14.0	13.5	13.0	11.9	11.0
10x1	15.7	15.2	14.7	14.2	13.6	12.6	11.6	21.0	20.3	19.6	18.9	18.2	16.8	15.4	25.2	24.4	23.5	22.7	21.8	20.1	18.5
10x1.25	14.7	14.2	13.7	13.2	12.6	11.6	10.7	19.6	18.9	18.2	17.6	16.9	15.5	14.3	23.5	22.7	21.9	21.1	20.2	18.6	17.2
12x1.25	22.4	21.7	20.9	20.2	19.4	17.9	16.5	29.9	28.9	27.9	26.9	25.8	23.8	21.9	35.9	34.7	33.5	32.3	31.0	28.6	26.3
12x1.5	21.2	20.4	19.7	19.0	18.2	16.8	15.4	28.2	27.3	26.3	25.3	24.3	22.4	20.6	33.9	32.7	31.5	30.3	29.1	26.8	24.7
14x1.5	30.3	29.3	28.2	27.2	26.1	24.1	22.2	40.4	39.0	37.7	36.3	34.9	32.1	29.6	48.4	46.9	45.2	43.5	41.8	38.5	35.5
16x1.5	41.0	39.7	38.3	36.9	35.5	32.7	30.2	54.7	52.9	51.1	49.2	47.3	43.7	40.2	65.6	63.5	61.3	59.1	56.8	52.4	48.3
18x1.5	53.3	51.7	49.9	48.1	46.3	42.7	39.4	71.1	68.9	66.6	64.2	61.7	56.9	52.5	85.3	82.7	79.9	77.0	74.1	68.3	63.0
18x2	49.5	47.9	46.2	44.4	42.7	39.3	36.2	66.0	63.8	61.5	59.2	56.9	52.4	48.3	79.2	76.6	73.9	71.1	68.3	62.9	57.9
20x1.5	67.3	65.2	63.1	60.8	58.5	54.0	49.8	89.7	87.0	84.1	81.1	78.0	72.0	66.4	108	104	101	97.3	93.6	86.4	79.6
20x2	63.0	61.0	58.8	56.6	54.5	50.2	46.2	84.0	81.3	78.4	75.5	72.6	66.9	61.6	101	97.5	94.1	90.6	87.1	80.3	74.0
22x1.5	82.9	80.4	77.7	75.0	72.2	66.6	61.4	110	107	104	99.9	96.2	88.8	81.9	133	129	124	120	115	107	98.3
22x2	78.1	75.6	73.0	70.3	67.6	62.4	57.5	104	101	97.4	93.8	90.2	83.2	76.6	125	121	117	113	108	99.8	92.0
24x2	94.8	91.9	88.7	85.5	82.3	75.9	69.9	126	122	118	114	110	101	93.3	152	147	142	137	132	121	112
27x2	123	119	115	111	107	98.7	90.9	164	159	154	148	143	132	121	197	191	184	178	171	158	146
30x2	155	150	145	140	135	124	115	206	200	193	187	180	166	153	247	240	232	224	216	199	183
33x2	190	184	178	172	166	153	141	253	246	238	230	221	204	188	304	295	286	275	265	245	226
36x3	213	207	200	192	185	171	157	284	276	266	257	247	228	210	341	331	319	308	296	273	252
39x3	255	247	238	230	221	204	188	339	329	318	306	295	272	251	407	395	382	368	354	327	301

Gew.	Maximale Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$ in Nm verschiedener Festigkeitsklassen																			
	5.6							5.8							6.8					
μ	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**
8x1	9.7	10.6	11.6	12.6	13.5	15.4	17.4	12.9	14.2	15.5	16.7	18.0	20.6	23.2	15.5	17.0	18.5	20.1	21.6	24.7	27.8
10x1	19.7	21.7	23.7	25.7	27.7	31.7	35.6	26.3	29.0	31.6	34.3	36.9	42.2	47.5	31.6	34.8	37.9	41.1	44.3	50.6	57.0
10x1.25	18.7	20.6	22.4	24.3	26.1	29.8	33.5	25.0	27.5	29.9	32.4	34.8	39.8	44.7	30.0	32.9	35.9	38.9	41.8	47.7	53.6
12x1.25	33.4	36.7	40.0	43.3	46.6	53.2	59.8	44.6	49.0	53.4	57.8	62.2	71.0	79.8	53.5	58.8	64.1	69.3	74.6	85.2	95.7
12x1.5	32.0	35.1	38.2	41.3	44.5	50.7	56.9	42.7	46.9	51.0	55.1	59.3	67.5	75.8	51.3	56.2	61.2	66.2	71.1	81.1	91.0
14x1.5	52.7	57.8	63.0	68.1	73.3	83.6	93.9	70.2	77.1	84.0	90.8	97.7	111	125	84.3	92.5	101	109	117	134	150
16x1.5	80.6	88.5	96.5	104	112	128	144	107	118	129	139	150	171	192	129	142	154	167	180	205	231
18x1.5	117	129	141	153	164	188	211	157	172	188	203	219	250	282	188	207	225	244	263	300	338
18x2	111	122	133	144	155	176	198	148	163	177	192	206	235	264	178	195	213	230	247	282	317
20x1.5	163	180	196	213	229	262	295	218	240	262	283	305	349	393	261	288	314	340	366	419	471
20x2	156	171	186	202	217	247	278	208	228	248	269	289	330	371	249	274	298	322	347	396	445
22x1.5	221	244	267	289	312	357	402	295	325	355	385	415	476	536	354	390	426	462	499	571	643
22x2	212	233	254	276	297	339	381	283	311	339	367	396	452	509	339	373	407	441	475	543	610
24x2	277	305	332	360	387	442	497	370	406	443	480	516	590	663	443	487	531	576	620	708	796
27x2	404	445	486	527	568	650	732	539	594	648	703	757	866	976	647	713	778	843	909	1040	1171
30x2	563	620	677	735	792	907	1021	750	827	903	980	1056	1209	1362	901	992	1084	1176	1267	1451	1634
33x2	754	831	908	984	1061	1215	1368	1006	1108	1210	1313	1415	1620	1824	1207	1330	1452	1575	1698	1943	2189
36x3	940	1034	1127	1221	1315	1503	1690	1253	1378	1503	1628	1753	2004	2254	1504	1654	1804	1954	2104	2404	2705
39x3	1210	1332	1453	1575	1697	1940	2183	1614	1776	1938	2100	2262	2586	2911	1936	2131	2325	2520	2715	3104	3493

- Alle Werte unter Ausnutzung von 90 % der Mindeststreckgrenze R_{eL} beziehungsweise $R_{p\,0.2}$
- Für das Anziehen mit dem Drehmomentschlüssel empfiehlt sich ein Montage-Anziehdrehmoment von ca. 90 % der oberen Tabellenwerte unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse.

Richtwerte für Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente
für metrische Sechskant- und Zylinderschrauben mit ISO-Feingewinde

Gew.	Maximale Vorspannkräfte $F_{M\,max.}$ in kN verschiedener Festigkeitsklassen																				
	8.8							10.9							12.9						
μ	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**
8x1	20.1	19.4	18.7	18.0	17.3	15.9	14.7	28.2	27.3	26.3	25.3	24.3	22.4	20.6	33.9	32.7	31.5	30.3	29.2	26.8	24.7
10x1	33.6	32.5	31.4	30.2	29.1	26.8	24.7	47.2	45.7	44.1	42.5	40.9	37.7	34.7	56.7	54.9	53.0	51.0	49.0	45.2	41.7
10x1.25	31.3	30.3	29.2	28.1	27.0	24.8	22.9	44.1	42.6	41.1	39.5	37.9	34.9	32.2	52.9	51.1	49.3	47.4	45.5	41.9	38.6
12x1.25	47.8	46.3	44.7	43.0	41.3	38.1	35.1	67.3	65.1	62.8	60.5	58.1	53.6	49.4	80.7	78.1	75.4	72.6	69.8	64.3	59.2
12x1.5	45.1	43.6	42.0	40.4	38.8	35.8	32.9	63.5	61.3	59.1	56.9	54.6	50.3	46.3	76.2	73.6	70.9	68.2	65.5	60.4	55.6
14x1.5	64.6	62.5	60.3	58.0	55.8	51.4	47.3	90.8	87.8	84.7	81.6	78.4	72.3	66.6	109	105	102	97.9	94.1	86.7	79.9
16x1.5	87.4	84.7	81.8	78.8	75.7	69.8	64.3	123	119	115	111	106	98.2	90.5	148	143	138	133	128	118	109
18x1.5	114	110	107	103	98.8	91.1	84.0	160	155	150	144	139	128	118	192	186	180	173	167	154	142
18x2	106	102	98.5	94.8	91.1	83.9	77.3	148	144	138	133	128	118	109	178	172	166	160	154	142	130
20x1.5	144	139	135	130	125	115	106	202	196	189	182	176	162	149	242	235	227	219	211	194	179
20x2	134	130	125	121	116	107	98.6	189	183	176	170	163	151	139	227	219	212	204	196	181	166
22x1.5	177	171	166	160	154	142	131	249	241	233	225	216	200	184	298	289	280	270	260	240	221
22x2	167	161	156	150	144	133	123	234	227	219	211	203	187	172	281	272	263	253	244	225	207
24x2	202	196	189	182	176	162	149	284	276	266	257	247	228	210	341	331	319	308	296	273	252
27x2	262	254	246	237	228	211	194	369	358	346	333	321	296	273	443	429	415	400	385	355	327
30x2	330	320	310	299	287	265	245	464	450	435	420	404	373	344	557	540	522	504	485	448	413
33x2	405	394	381	367	354	327	301	570	553	535	516	497	459	424	684	664	642	620	597	551	508
36x3	455	441	426	410	395	364	336	640	620	599	577	555	512	472	768	744	719	693	666	615	566
39x3	543	526	509	490	472	435	401	764	740	715	690	664	612	564	916	888	858	828	796	735	677

Gew.	Maximale Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$ in Nm verschiedener Festigkeitsklassen																				
	8.8							10.9							12.9						
μ	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**	**0.08**	**0.1**	**0.12**	**0.14**	**0.16**	**0.2**	**0.24**
8x1	20.6	22.7	24.7	26.8	28.8	33.0	37.1	29.0	31.9	34.8	37.7	40.6	46.3	52.1	34.8	38.3	41.7	45.2	48.7	55.6	62.5
10x1	42.1	46.3	50.6	54.8	59.1	67.5	76.0	59.2	65.2	71.1	77.1	83.0	95.0	107	71.1	78.2	85.4	92.5	100	114	128
10x1.25	40.0	43.9	47.9	51.8	55.8	63.6	71.5	56.2	61.8	67.3	72.9	78.4	89.5	101	67.5	74.1	80.8	87.4	94.1	107	121
12x1.25	71.4	78.4	85.4	92.5	99.5	114	128	100	110	120	130	140	160	179	120	132	144	156	168	192	215
12x1.5	68.3	75.0	81.6	88.2	94.8	108	121	96.1	105	115	124	133	152	171	115	127	138	149	160	182	205
14x1.5	112	123	134	145	156	178	200	158	173	189	204	220	251	282	190	208	227	245	264	301	338
16x1.5	172	189	206	223	240	274	308	242	266	289	313	337	385	433	290	319	347	376	405	462	519
18x1.5	250	275	301	326	351	401	451	352	387	423	458	493	563	634	423	465	507	549	592	676	761
18x2	237	260	283	306	330	376	422	333	366	398	431	464	529	594	400	439	478	517	556	634	712
20x1.5	348	383	418	453	488	558	628	490	539	588	638	687	785	884	588	647	706	765	824	942	1060
20x2	332	365	397	430	463	528	593	467	513	559	605	650	742	834	560	615	670	726	781	891	1001
22x1.5	472	520	569	617	665	761	857	664	732	800	867	935	1070	1205	797	878	959	1041	1122	1284	1446
22x2	452	498	543	588	633	724	814	636	700	763	827	890	1017	1144	764	840	916	992	1068	1221	1373
24x2	591	650	709	767	826	943	1061	831	914	997	1079	1162	1327	1492	998	1097	1196	1295	1394	1592	1790
27x2	863	950	1037	1125	1212	1386	1561	1213	1336	1459	1581	1704	1950	2195	1456	1603	1751	1898	2045	2339	2634
30x2	1201	1323	1445	1568	1690	1934	2179	1689	1860	2032	2204	2376	2720	3064	2026	2233	2439	2645	2852	3264	3677
33x2	1609	1773	1936	2100	2264	2591	2919	2263	2493	2723	2953	3184	3644	4104	2715	2992	3268	3544	3820	4373	4925
36x3	2005	2205	2405	2605	2805	3206	3606	2819	3101	3382	3664	3945	4508	5071	3383	3721	4058	4396	4734	5410	6085
39x3	2582	2841	3101	3360	3619	4138	4657	3630	3995	4360	4725	5090	5820	6549	4357	4794	5232	5670	6108	6983	7859

- Alle Werte unter Ausnutzung von 90 % der Mindeststreckgrenze R_{eL} beziehungsweise $R_{p\,0.2}$
- Für das Anziehen mit dem Drehmomentschlüssel empfiehlt sich ein Montage-Anziehdrehmoment von ca. 90 % der oberen Tabellenwerte unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse.

Richtwerte für Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente
für metrische Sechskant- und Zylinderschrauben mit ISO-Regelgewinde in nichtrostenden Stählen

Gew.	Maximale Vorspannkräfte $F_{M\,max.}$ in kN verschiedener Festigkeitsklassen											
	A1, A2, A4											
	50				70				80			
μ	0.08	0.12	0.24	0.32	0.08	0.12	0.24	0.32	0.08	0.12	0.24	0.32
M 3	0.82	0.76	0.59	0.51	1.8	1.6	1.3	1.1	2.3	2.2	1.7	1.5
M 3.5	1.1	1.0	0.80	0.68	2.4	2.2	1.7	1.5	3.1	2.9	2.3	1.9
M 4	1.4	1.3	1.0	0.88	3.0	2.8	2.2	1.9	4.1	3.8	2.9	2.5
M 5	2.3	2.2	1.7	1.4	5.0	4.6	3.6	3.1	6.6	6.2	4.8	4.1
M 6	3.3	3.0	2.4	2.0	7.0	6.5	5.1	4.3	9.4	8.7	6.8	5.8
M 7	4.8	4.5	3.5	3.0	10.3	9.5	7.5	6.4	13.7	12.7	9.9	8.5
M 8	6.0	5.6	4.4	3.7	12.9	12.0	9.3	8.0	17.2	15.9	12.4	10.6
M 10	9.6	8.9	6.9	5.9	20.5	19.0	14.9	12.7	27.3	25.4	19.8	16.9
M 12	13.9	13.0	10.1	8.6	29.9	27.8	21.7	18.5	39.9	37.0	28.9	24.7
M 14	19.1	17.8	13.9	11.9	41.0	38.1	29.8	25.4	54.7	50.8	39.7	33.9
M 16	26.3	24.5	19.2	16.4	56.4	52.5	41.2	35.1	75.2	70.1	54.9	46.8
M 18	32.0	29.8	23.3	19.8	68.6	63.8	49.8	42.5	91.5	85.0	66.4	56.6
M 20	41.1	38.3	30.0	25.6	88.1	82.1	64.2	54.8	118	109	85.7	73.0
M 22	51.4	47.9	37.6	32.0	110	103	80.5	68.6	147	137	107	91.5
M 24	59.2	55.1	43.2	36.8	127	118	92.5	78.8	169	158	123	105
M 27	77.9	72.7	57.0	48.6	167	156	122	104	223	208	163	139
M 30	94.7	88.3	69.2	59.0	203	189	148	126	271	252	198	168
M 33	118	110	86.5	73.7	253	236	185	158	337	315	247	211
M 36	139	129	101	86.3	297	277	217	185	396	369	289	247
M 39	166	155	122	104	357	333	261	223	475	444	349	297

Gew.	Maximale Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$ in Nm verschiedener Festigkeitsklassen											
	A1, A2, A4											
	50				70				80			
μ	0.08	0.12	0.24	0.32	0.08	0.12	0.24	0.32	0.08	0.12	0.24	0.32
M 3	0.37	0.42	0.58	0.69	0.79	0.90	1.2	1.5	1.1	1.2	1.7	2.0
M 3.5	0.57	0.65	0.89	1.0	1.2	1.4	1.9	2.2	1.6	1.9	2.5	3.0
M 4	0.85	1.0	1.3	1.6	1.8	2.1	2.8	3.3	2.4	2.8	3.8	4.4
M 5	1.7	1.9	2.6	3.1	3.6	4.1	5.6	6.6	4.8	5.5	7.4	8.7
M 6	2.9	3.3	4.5	5.3	6.2	7.0	9.6	11.3	8.3	9.4	12.8	15.0
M 7	4.9	5.6	7.6	8.9	10.5	11.9	16.2	19.1	14.0	15.9	21.6	25.4
M 8	7.1	8.0	10.9	12.8	15.1	17.2	23.3	27.5	20.2	22.9	31.1	36.6
M 10	14.0	15.9	21.5	25.2	30.0	34.0	46.0	54.0	40.0	45.3	61.4	72.1
M 12	24.3	27.5	37.0	43.4	52.0	58.9	79.3	93.0	69.4	78.5	106	124
M 14	38.8	43.9	59.1	69.3	83.2	94.0	127	148	111	125	169	198
M 16	60.8	68.8	92.7	109	130	147	199	233	174	197	265	310
M 18	83.5	94.4	127	149	179	202	273	319	239	270	363	426
M 20	119	135	181	212	255	288	388	455	340	384	518	607
M 22	164	186	251	295	351	398	538	631	468	531	717	842
M 24	205	232	312	366	440	497	669	784	586	663	892	1045
M 27	305	345	467	548	653	740	1000	1174	871	987	1334	1565
M 30	412	467	631	740	883	1000	1352	1586	1178	1334	1802	2115
M 33	563	638	861	1009	1207	1366	1844	2163	1609	1821	2459	2884
M 36	722	817	1103	1293	1546	1750	2363	2771	2062	2334	3150	3694
M 39	939	1064	1437	1686	2013	2280	3080	3613	2684	3039	4106	4817

- Alle Werte unter Ausnutzung von 90 % der Mindeststreckgrenze R_{eL} beziehungsweise $R_{p\,0.2}$
- Für das Anziehen mit dem Drehmomentschlüssel empfiehlt sich ein Montage-Anziehdrehmoment von ca. 90 % der oberen Tabellenwerte unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse.
- Austenitische Stähle neigen bereits bei der Montage zum «Anfressen» (Kaltverschweissung). Geeignete Schmiermittel verhindern diese Gefahr und erlauben eine nachträglich gut lösbare Verbindung.

Richtwerte für Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente
für Sechskant- und Zylinderschrauben mit US-Zollgewinden (UN)

Gew.	Gänge n pro Inch			Maximale Vorspannkräfte $F_{M\,max.}$ in kN der Festigkeitsklasse SAE J429-Grade 5 (≈ 8.8)														
				UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF
µ	**UNC**	**UNF**	**UNEF**	**0.1**			**0.12**			**0.14**			**0.16**			**0.2**		
1/4	20	28	32	9.6	11.5	12.1	9.2	11.0	11.6	8.8	10.6	11.2	8.4	10.2	10.7	7.7	9.3	9.9
5/16	18	24	32	16.1	18.4	20.3	15.4	17.7	19.6	14.8	17.0	18.8	14.2	16.4	18.1	13.0	15.0	16.7
3/8	16	24	32	24.0	28.3	30.6	23.0	27.3	29.5	22.1	26.2	28.4	21.2	25.2	27.3	19.5	23.2	25.2
7/16	14	20	28	33.0	38.2	41.8	31.7	36.8	40.4	30.4	35.4	38.9	29.2	34.0	37.4	26.8	31.3	34.5
1/2	13	20	28	44.3	51.9	56.1	42.6	50.1	54.2	40.9	48.2	52.3	39.3	46.3	50.3	36.1	42.7	46.4
9/16	12	18	24	57.1	65.9	70.5	54.9	63.6	68.1	52.7	61.2	65.6	50.6	58.8	63.2	46.5	54.2	58.3
5/8	11	18	24	71.1	83.6	88.7	68.4	80.7	85.8	65.7	77.7	82.7	63.0	74.7	79.6	57.9	68.9	73.5
3/4	10	16	20	106	122	128	102	118	124	98.2	114	119	94.2	109	115	86.7	101	106
7/8	9	14	20	147	167	178	142	161	173	136	156	166	131	150	160	120	138	148
1	8	12	20	193	217	237	186	210	230	179	202	222	172	194	213	158	179	197
1 1/8	7	12	18	243	282	301	234	272	291	225	263	281	216	253	271	199	233	250
1 1/4	7	12	18	311	355	376	300	343	364	289	331	351	277	318	339	255	294	313
1 3/8	6	12	18	369	436	460	356	422	445	342	407	430	329	392	414	303	362	383
1 1/2	6	12	18	453	526	552	436	509	534	420	491	516	403	473	497	371	437	460
1 5/8			18			652			632			610			588			544
1 3/4	5			610			588			566			544			501		
2	4.5			805			776			746			717			660		

Gew.	Gänge n pro Inch			Maximale Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$ in Nm der Festigkeitsklasse SAE J429-Grade 5 (≈ 8.8)														
				UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF
µ	**UNC**	**UNF**	**UNEF**	**0.1**			**0.12**			**0.14**			**0.16**			**0.2**		
1/4	20	28	32	9.6	11.0	11.5	10.4	12.0	12.5	11.2	13.0	13.6	12.1	14.0	14.7	13.8	16.1	16.8
5/16	18	24	32	19.3	21.5	23.1	21.0	23.4	25.2	22.7	25.3	27.3	24.3	27.2	29.4	27.7	31.1	33.7
3/8	16	24	32	33.8	38.3	40.6	36.7	41.8	44.3	39.5	45.2	48.0	42.4	48.6	51.7	48.2	55.4	59.0
7/16	14	20	28	53.5	59.7	63.9	57.9	65.0	69.6	62.4	70.2	75.3	66.9	75.4	81.1	75.9	85.8	92.5
1/2	13	20	28	82.6	93.0	98.5	89.7	101	108	96.8	110	117	104	118	126	118	135	144
9/16	12	18	24	118	132	138	128	143	151	138	155	163	148	167	176	168	190	201
5/8	11	18	24	164	186	194	179	203	212	193	219	230	207	236	248	236	270	284
3/4	10	16	20	292	325	335	318	354	366	343	384	397	369	413	428	420	472	490
7/8	9	14	20	471	517	542	512	565	593	553	612	643	595	659	693	677	753	794
1	8	12	20	706	770	820	768	840	897	830	910	973	892	980	1050	1016	1120	1203
1 1/8	7	12	18	1000	1116	1169	1088	1218	1278	1176	1321	1387	1264	1423	1497	1439	1627	1715
1 1/4	7	12	18	1410	1553	1618	1536	1696	1770	1661	1839	1922	1786	1982	2073	2036	2268	2377
1 3/8	6	12	18	1849	2091	2169	2012	2284	2373	2176	2478	2577	2339	2671	2781	2665	3058	3190
1 1/2	6	12	18	2454	2740	2833	2672	2995	3100	2890	3249	3368	3108	3504	3635	3545	4013	4169
1 5/8			18			3620			3962			4305			4647			5332
1 3/4	5			3870			4214			4557			4900			5587		
2	4.5			5816			6334			6851			7368			8402		

- Alle Werte unter Ausnutzung von 90 % der Mindeststreckgrenze R_{eL} beziehungsweise $R_{p\,0.2}$
- Für das Anziehen mit dem Drehmomentschlüssel empfiehlt sich ein Montage-Anziehdrehmoment von ca. 90 % der oberen Tabellenwerte unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse.

Richtwerte für Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente für Sechskant- und Zylinderschrauben mit US-Zollgewinden (UN)

Gew.	Gänge n pro Inch			Maximale Vorspannkräfte $F_{M\,max.}$ in kN der Festigkeitsklasse SAE J429-Grade 8 (≈ 10.9)														
				UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF
µ	**UNC**	**UNF**	**UNEF**	**0.1**			**0.12**			**0.14**			**0.16**			**0.2**		
1/4	20	28	32	13.5	16.2	17.1	13.0	15.6	16.4	12.4	15.0	15.8	11.9	14.4	15.2	10.9	13.2	14.0
5/16	18	24	32	22.7	26.0	28.6	21.8	25.1	27.6	20.9	24.1	26.6	20.1	23.1	25.6	18.4	21.3	23.6
3/8	16	24	32	33.9	40.0	43.2	32.6	38.5	41.7	31.2	37.1	40.2	30.0	35.6	38.6	27.5	32.8	35.6
7/16	14	20	28	46.6	53.9	59.0	44.8	52.0	57.0	43.0	50.0	54.9	41.2	48.0	52.8	37.9	44.2	48.7
1/2	13	20	28	62.7	73.3	79.3	60.3	70.7	76.6	57.9	68.1	73.8	55.5	65.4	71.1	51.0	60.3	65.6
9/16	12	18	24	80.7	93.1	99.6	77.6	89.8	96.3	74.5	86.5	92.8	71.5	83.1	89.3	65.7	76.6	82.4
5/8	11	18	24	100	118	125	96.6	114	121	92.8	110	117	89.0	106	113	81.9	97.4	104
3/4	10	16	20	150	173	181	144	167	175	139	161	168	133	155	162	122	143	150
7/8	9	14	20	208	236	252	200	228	244	193	220	235	185	211	226	170	195	209
1	8	12	20	273	307	335	263	297	325	253	286	313	243	275	302	223	253	279
1 1/8	7	12	18	344	398	425	331	385	411	318	371	397	306	357	382	281	329	353
1 1/4	7	12	18	440	502	531	424	485	514	408	468	497	392	450	478	361	415	442
1 3/8	6	12	18	522	617	650	503	596	629	484	575	607	465	554	585	428	511	541
1 1/2	6	12	18	640	744	780	617	719	755	593	694	729	570	668	703	525	617	650
1 5/8			18			922			893			862			831			769
1 3/4	5			863			832			800			768			707		
2	4.5			1137			1096			1055			1013			933		

Gew.	Gänge n pro Inch			Maximale Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$ in Nm der Festigkeitsklasse SAE J429-Grade 8 (≈ 10.9)														
				UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF	UNC	UNF	UNEF
µ	**UNC**	**UNF**	**UNEF**	**0.1**			**0.12**			**0.14**			**0.16**			**0.2**		
1/4	20	28	32	13.5	15.6	16.2	14.7	17.0	17.7	15.9	18.4	19.2	17.1	19.9	20.7	19.4	22.7	23.7
5/16	18	24	32	27.3	30.4	32.6	29.7	33.1	35.6	32.0	35.8	38.6	34.4	38.5	41.6	39.1	43.9	47.6
3/8	16	24	32	47.7	54.2	57.4	51.8	59.0	62.6	55.9	63.8	67.8	59.9	68.6	73.0	68.1	78.3	83.4
7/16	14	20	28	75.5	84.4	90.3	81.9	91.8	98.4	88.3	99.2	106	94.6	107	115	107	121	131
1/2	13	20	28	117	131	139	127	143	152	137	155	165	147	167	177	167	190	203
9/16	12	18	24	167	186	195	181	202	213	195	219	231	210	235	248	238	268	284
5/8	11	18	24	232	263	274	253	286	300	273	310	325	293	334	350	333	381	401
3/4	10	16	20	413	459	474	449	501	518	485	542	561	521	584	605	593	667	692
7/8	9	14	20	665	731	766	723	798	838	782	864	909	840	931	980	957	1064	1122
1	8	12	20	997	1088	1159	1085	1187	1267	1172	1286	1376	1260	1385	1484	1436	1582	1700
1 1/8	7	12	18	1413	1577	1652	1538	1722	1807	1662	1866	1961	1786	2011	2115	2034	2299	2424
1 1/4	7	12	18	1993	2195	2287	2170	2397	2501	2347	2599	2716	2524	2801	2930	2877	3205	3359
1 3/8	6	12	18	2614	2955	3066	2844	3228	3354	3075	3502	3643	3305	3775	3931	3767	4322	4508
1 1/2	6	12	18	3468	3872	4004	3776	4232	4382	4085	4592	4759	4393	4952	5137	5010	5671	5892
1 5/8			18			5116			5600			6084			6567			7535
1 3/4	5			5470			5955			6440			6925			7895		
2	4.5			8220			8951			9682			10413			11875		

- Alle Werte unter Ausnutzung von 90 % der Mindeststreckgrenze R_{eL} beziehungsweise $R_{p\,0.2}$
- Für das Anziehen mit dem Drehmomentschlüssel empfiehlt sich ein Montage-Anziehdrehmoment von ca. 90 % der oberen Tabellenwerte unter Berücksichtigung der Reibungsverhältnisse.

Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente für feuerverzinkte HV-Garnituren nach EN 14399-4/6

Die Verwendung von hochfesten vorgespannten Schrauben hat heute im Stahlbau einen hohen Stellenwert in den Einsatzgebieten Stahlhochbau, Hallen- und Brückenbau, Windkraftanlagen und Maste für Seilbahnen.

Alle Komponenten einer HV-Garnitur sind zwingend mit dem Produkt-Kennzeichen **HV**, der Festigkeitsklasse **10.9** sowie dem Herstellerkennzeichen zu kennzeichnen.
Um eine lückenlose Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten, weisen HV-Schrauben auf dem Schraubenkopf ausserdem eine eindeutige Identifikationsnummer auf (z.B. A1).
Diese erlaubt, auch im Einbauzustand ohne Zuordnung zur Verpackung oder zum Lieferschein auf alle wesentlichen Daten der Fertigung zurückzugreifen.

Dank langjähriger Erfahrung im Bereich feuerverzinkter Schraubengarnituren bietet unser deutscher Partner FUCHS SCHRAUBENWERK GmbH ein Maximum an Sicherheit an.
Das Debrunner Acifer AG Lagerprogramm umfasst den Durchmesserbereich von M12 bis M30, dies entspricht der Europäischen Norm EN 14399-4 sowie der EN 14399-6 (M36 auf Anfrage).

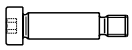
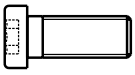
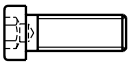
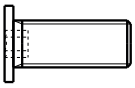
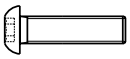
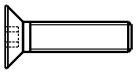
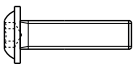
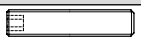
Gewinde der Garnitur	Vorspannkraft F_V in der Schraube	Drehmomentverfahren Aufzubringendes Anziehdrehmoment M_A zum Erreichen der erforderlichen Vorspannkraft F_V
		feuerverzinkt und einbaufertig geschmiert [1]
Ø	KN	Nm
M12	50	100
M16	100	250
M20	160	450
M22	190	650
M24	220	800
M27	290	1250
M30	350	1650
M36	510	2800

[1] Muttern mit Molybdänsulfid MoS_2 oder gleichwertigem Schmierstoff behandelt.

Bemerkungen:
Informationen zur Montage finden Sie unter
www.fuchs-schrauben.de –> Technik –> Montage von HV-Schrauben (TI 150).

Richtwerte für Anziehdrehmomente für metrische Verbindungselemente mit niedrigen Köpfen in Stahl und nichtrostenden Stählen

Schrauben mit Innenantrieb und reduzierter Kopfhöhe («Schwachkopfschrauben») haben infolge der Kopfgeometrie eine reduzierte Belastbarkeit. Ursache ist dabei ein reduziertes Materialvolumen zwischen Übergang Schaft / Kopf im Vergleich zu einer voll belastbaren Zylinderschraube nach DIN 912 / SO 4762.
Es wird daher empfohlen, diese Schrauben nicht zur Übertragung hoher Axialkräfte mit entsprechender Vorspannung zu verwenden.
Die Festigkeitsklasse 10.9 / 12.9 dient nur zur Verminderung des Verschleisses beim Innensechskant.

Gewinde	**Richtwerte für max. Anziehdrehmomente $M_{A\,max.}$ in Nm**							
Typ Schraube	 ISO 7379	 DIN 7984	 DIN 6912		 ISO 7380	 DIN 7991	 ISO ~7380 Flansch	 DIN 913 DIN 914 DIN 915 DIN 916
Stahl	**12.9**	**8.8**	**8.8**	**10.9**	**10.9**	**10.9**	**10.9**	**45H**
M 3		1			0.9	1	1	0.6
M 4		2.3	2.3	1.8	1.7	2	2.5	1.5
M 5	4.6	4	5	3	3.7	5	5	3.5
M 6	9.5	7.5	9	6	8	8	9	6
M 8	22	13.5	19	13	13	16	23	14
M 10	45	34	36	22	30	37	44	26
M 12	100	52	60		60	65	76	50
M 14		80	90			100		55
M 16	200	110	155		105	110		110
M 20		210	280			165		210
M 24		350	440			400		350
rostfrei	**-**	**A2 / A4**	**A2 / A4**	**-**	**A2 / A4**	**A2 / A4**	**-**	**A2 / A4**
M 3		0.6			0.5	0.5		0.2
M 4		1.4	1.7		0.8	1.3		0.5
M 5		2.5	3.5		1.8	2.8		1.5
M 6		5.5	6.4		4	4.2		2.5
M 8		10	14		7	8.5		5
M 10		24	26		15	20		10
M 12		39	44		33	34		20
M 14		60	68			52		22
M 16		85	115		60	58		50
M 20		160	210			88		80
M 24		250	330			210		130

Richtwerte für Anziehdrehmomente für Schrauben aus Polyamid 6.6 nach DIN 34810 (bei Raumtemperatur)

Gewinde	**M 3**	**M 4**	**M 5**	**M 6**	**M8**	**M 10**
M_A in Nm	0.1	0.25	0.5	0.8	1.8	3.5

Verbindungen mit gewindefurchenden Schrauben

Richtwerte für Lochdurchmesser in Anlehnung an DIN 7500 Teil 2

Gewinde d	M 2.5	M 3	M 3.5	M 4	M 5	M 6	M 8		M 10		
Werkstoffdicke oder Einschraublänge [mm]	Lochdurchmesser d_h (Toleranzfeld H11)										
	St, Al, Cu						St	Al, Cu	St	Al	Cu
bis 2	2.25	2.70	3.20	3.60	4.50	5.40					
>2 bis 3	2.30	2.75	3.20	3.65	4.50	5.45	7.25	7.25	9.20	9.15	9.15
>3 bis 4	2.30	2.75	3.20	3.65	4.55	5.50	7.30	7.30	9.30	9.15	9.15
>4 bis 5	2.30	2.75	3.25	3.70	4.60	5.50	7.40	7.30	9.30	9.20	9.25
>5 bis 6		2.75		3.70	4.60	5.50	7.40	7.30	9.30	9.20	9.25
>6 bis 7				3.70	4.65	5.55	7.50	7.40	9.30	9.20	9.30
>7 bis 8					4.65	5.55	7.50	7.40	9.40	9.30	9.30
>8 bis 10					4.65	5.55	7.50	7.40	9.40	9.30	9.30
>10 bis 12							7.50	7.50	9.50	9.40	9.40
>12 bis 15							7.50	7.50	9.50	9.40	9.40
>15 bis 20											9.50

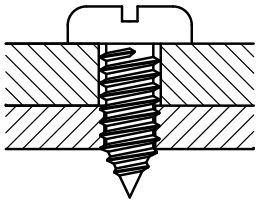
St = St 12 und St 37-2 / Al = Al99, 5F13 und AlMnF10 / Cu = E-Cu57F30, E-Cu58F30 und CuZnF38
Verfahren, die bei der Lochherstellung zu einer Verfestigung der Lochwand führen (z.B. Stanzen) können grössere Lochdurchmesser erfordern, als die aufgeführten Richtwerte. Dies kann auch für gegossene Löcher gelten (Gusshaut).

Verbindungen mit Blechschrauben

Richtwerte für Kernlochdurchmesser in Anlehnung an DIN 7975 für Blechschrauben mit Gewinde nach DIN 7970.

Gewindegrösse	Werkstofffestigkeit R_m [N/mm²]	Kernlochdurchmesser d_b für Gewindegrösse ST 2.2 bis ST 8 bei Blechdicke s in mm																				
		0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
ST 2.2	200 bis 300	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8										
	>300 bis 500	1.7	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9										
ST 2.9	200 bis 300				2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4							
	>300 bis 500				2.2	2.2	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5							
ST 3.5	200 bis 300						2.6	2.7	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0					
	>300 bis 500						2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.1					
ST 3.9	200 bis 300						2.9	2.9	3.0	3.0	3.1	3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4				
	>300 bis 500						3.0	3.1	3.1	3.1	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	3.4				
ST 4.2	200 bis 300							3.1	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.6			
	>300 bis 500							3.2	3.2	3.3	3.3	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.7			
ST 4.8	200 bis 300									3.6	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.1	4.2	4.2		
	>300 bis 500									3.8	3.9	3.9	3.9	4.0	4.0	4.1	4.2	4.2	4.2	4.3		
ST 5.5	200 bis 300											4.3	4.4	4.4	4.5	4.7	4.7	4.8	4.8	4.9	4.9	
	>300 bis 500											4.5	4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	5.0	
ST 6.3	200 bis 300											5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8
	>300 bis 500											5.3	5.3	5.4	5.5	5.6	5.6	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8

1. Die angegebenen Richtwerte der Kernlochdurchmesser basieren auf folgenden Voraussetzungen:
   a einfache Verschraubung mit Durchgangsloch
   b Kernloch gebohrt
   c Blechschraube einsatzvergütet (Oberflächenhärte min. 450 HV 0.3) und unbeschichtet und
   d Einschraubdrehmoment ≤ 0.5 × Mindestbruchmoment nach DIN 267 Teil 12.
2. s = Dicke des Bleches, in das geschraubt werden soll.
3. Durch Oberflächenbehandlungen von Blechschrauben können sich die Reibwerte beim Einschrauben verändern. Eine Verringerung oder Vergrösserung des Kernlochdurchmessers könnte erforderlich sein.
4. Wegen der geringen Oberflächenhärte von Blechschrauben aus rostfreiem Stahl muss beim Einschrauben in Stahl oder rostfreiem Stahl mit Kernlochdurchmessern nach dieser Norm mit Verformung des Gewindes gerechnet werden.



Einfache Verschraubung mit Durchgangsloch

Internationales Einheitensystem

Das Messen ist eine der wichtigsten Aufgaben in der Technik. Neben den erforderlichen Messgeräten werden dafür vor allem genormte Einheiten benötigt, die in einem System zusammengefasst sind. Heute wird ausschliesslich das 1960 international vereinbarte **«Système International d'Unités»** verwendet. Dieses **«Internationale Einheitensystem»** wird in allen Sprachen der Welt mit SI abgekürzt, seine Einheiten werden als **SI-Einheiten** bezeichnet.
das SI baut auf folgenden 7 Basiseinheiten (Grundeinheiten) auf:

Einheit der	SI-Einheit	Symbol	Einheit der	SI-Einheit	Symbol
Länge	Meter	m	Temperatur	Kelvin	K
Zeit	Sekunde	s	Stoffmenge	Mol	mol
Masse	Kilogramm	kg	Lichtstärke	Candela	cd
elektr. Stromstärke	Ampere	A			

Die weiteren SI-Einheiten werden aus den Basiseinheiten kohärent, d.h. ohne Verwendung von Zahlenfaktoren, abgeleitet. Z.B. 1 N = 1 kg × m/s^2. Alle anderen mit Zahlenfaktoren abgeleitete Einheiten (z.B. 1 kN = 10^3 kg × m/s^2) sind keine SI-Einheiten mehr.

Umrechnungstabellen wichtiger Einheiten

Basiseinheiten der Mechanik

Längeneinheiten

10^{-3} km = 1 m = 10 dm = 10^2 cm = 10^3 mm = 10^6 µm (Mikrometer) = 10^9 nm (Nanometer) = 10^{12} pm (Pikometer)

1 Seemeile (sm) = 1852 m = 1.852 km
1 mile (mi) = 1760 yd = 1609.344 m = 1.609344 km
1 yard (yd) = 3 ft = 0.9144 m = 91.44 cm

1 foot (ft) = 12 in = 0.3048 m = 30.48 cm
1 inch (in) = 1 Zoll (") = 0.0254 m = 25.4 mm

Zeiteinheiten

1h = 60 min = 3600s
1 Tag (d) = 24 Stunden (h) = 1440 Minuten (min) = 86400 Sekunden (s)
1 Jahr (a) = 365 d = 8760 h = 5.256×10^5 min = 31.536×10^6 s = 31.536 Ms (Megasekunden)

Flächeneinheiten

10^{-6} km^2 = 1 m^2 = 10^2 dm^2 = 10^4 cm^2 = 10^6 mm^2

1 square mile (mi^2) = 3.0976×10^6 yd^2 = 2.589988 km^2
1 square yard (yd^2) = 9 ft^2 = 1296 in^2 = 0.8361 m^2
1 square foot (ft^2) = 144 in^2 = 0.0929 m^2 = 9.29d m^2

1 Hektar (ha) = 100 a = 10^4 m^2

1 square inch (in^2) = 0.6452×10-3 m^2 = 6.452 cm^2
1 circular foot (circ ft) = 7.297×10-2 m^2 = 729.7 cm^2
1 circular inch (circ in) = 5.067×10-4 m^2 = 5.067 cm^2

1 Ar (a) = 100 m^2

Volumeneinheiten

1 m^3 = 10^3 dm^3 = 10^6 cm^3 = 10^9 mm^3

1 cubic yard (yd^3) = 27 ft^3 = 46656 in^3 = 0.7646 m^3
1 cubic foot (ft^3) = 1728 in^3 = 28.32 dm^3
1 cubic inch (in^3) = 16.39 cm^3
1 register ton (reg. ton) = 100 ft^3 = 2.832 m^3

1 Milliliter (ml) = 1 cm^3

1 bushel (brit.) = 8 gal (brit.) = 36.37 dm^3
1 bushel (bu, US) = 35.239 dm^3
1 gallon (gal, brit.) = 4.546 dm^3
1 gallon (gal, US) = 3.785 dm^3

1 Liter (l) = 1 dm^3

Winkel

Radiant (j, rad) = m/m = 1

1Grad (°) = 60 Minuten (') = 3600 Sekunden (")

360 ° = 2p rad = 6.283 rad
180 ° = p rad = 3.142 rad
90 ° = p/2 rad = 1.571 rad

1 ° = 17.45 mrad
1' = 290.9 mrad
1" = 4.848 mrad

1 rad = 57.3 °
1 mrad = 3.438'
1 mrad = 0.2063"

Masseinheiten

1 kg = 10^3 g = 10^6 mg (Milligramm) = 10^9 mg (Mikrogramm)
1 t (Tonne) = 1 Mg (Megagramm) = 10^3 kg

1 long ton (l tn) = 2240 lb = 1016.05 kg = 1.01605 t
1 short ton (sh tn) = 2000 lb = 907.2 kg = 0.9072 t
1 slug = 32.174 lb = 14.594 kg

1 pound (lb) = 16 oz = 0.4536 kg = 453.6 g
1 ounce (oz) = 0.02835 kg = 28.35 g

Physikalische Grössenarten und ihre Einheiten

Arbeit W, Drehmoment, Kraftmoment M	
Joule, J = Nm (Newtonmeter) Joule, J = Ws (Wattsekunde) = kgm^2/s^2 Kilowattstunde, kWh = 3.6×10^6 J = 3.6 MJ Kilopondmeter, kpm = 9.80665 J = 9.80665 Nm PS h = 0.73549875 kWh = 2.6477955×10^6 J	inch-pound-force, in lbf = 0.11298 J foot-pound-force, ft lbf = 1.3558 J yard-pound-force, yd lbf = 4.06745 J foot-ton-force, ft tonf = 3.037 kJ
Dichte s	
Kilogramm/Kubikmeter, kg/m^3 Kilogramm/Kubikdezimeter, kg/dm^3 = t/m^3 = 10^3 kg/m^3 Gramm/Kubikzentimeter, g/cm^3 = kg/ dm^3 = t/m^3 = 103 kg/m^3 pound per cubic foot, lb/ft^3 = 16.02 kg/m^3	pound per cubic inch, lb/in^3 = 27.68 t/m^3 pound per cubic yard, lb/yd^3 = 0.593 kg/m^3 ounce per gallon (brit.), oz/gal = 6.236 kg/m^3 ounce per gallon (US), oz/gal = 7.49 kg/m^3
Druck p	
Pascal, Pa = N/m^2 = kg/(s^2 m) Bar, bar = 105 Pa = 0.1×106 Pa = 0.1 Mpa = 0.1 N/mm^2 1 MPa = 1 N/mm^2 = 10 bar ≈ 10 kp/cm^2 Mechanische Spannung, kp/mm^2 = 9.80665 MPa	Mechanische Spannung, kp/cm^2 = 9.80665×10^4 N/m^2 Technische Atmosphäre, at = 1 kp/cm^2 = 9.80665×10^4 Pa Millimeter-Quecksilbersäule, mmHg = 133.3224 Pa pound-force per square inch, lbf/in^2 = psi = 6.89476k Pa
Kraft F (Gewichtskraft siehe Beschleunigung)	
Newton, N=kg m/s^2 Kilopond, kp = 9.80665 N ≈ 10 N poundal, pdl = 0.138255 N	pound-force, lbf = 4.44822 N long ton-force, l tonf = 9964.02 N = 9.96402kN short ton-force, sh tonf = 8896 N = 8.896kN
Leistung	
Watt, W = J/s = Nm/s = kg m^2/s^3 kpm/s = 9.80665 W	Pferdestärke, PS = 735.49875 W = 75 kpm/s horse-power, hp = 745.7 W
Temperatur	
Absolute Temperatur T, Grad Kelvin, °K = K Celsius-Temperatur t, Grad Celsius, °C; t = T-T_0; T_0 = 273.15K	degree Rankine, °R = 5/9 K degree Fahrenheit, °F; n°F = 5/9(n-32) °C (n°F: Anzahl °F)
Beschleunigung	
a, Meter/Sekundenquadrat, m/s^2 g, Erdbeschleunigung (Fall- oder Schwerebeschleunigung), Meter/Sekundenquadrat, m/s^2 Gewichtskraft G, F_G, die auf den Körper der Masse m = 1 kg wirkt, beträgt FG = m g = 1 kg×9.81 m/s^2 = 9.81 N	

Drehmoment-Umrechnungsfaktoren

Masseinheit gegeben	**Masseinheit gewünscht**								
	mN m	**cN m**	**N m**	**ozf in**	**lbf in**	**lbf ft**	**gf cm**	**kgf cm**	**kgf m**
ozf in	7.062	0.706	0.007	1	0.0625	0.005	72	0.072	0.0007
lbf in	113	11.3	0.113	16	1	0.083	1152.1	1.152	0.0115
lbf ft	1356	135.6	1.356	192	12	1	13826	13.83	0.138
gf cm	0.098	0.01	0.0001	0.014	0.0009	0.00007	1	0.001	0.00001
kgf cm	98.07	9.807	0.098	13.89	0.868	0.072	1000	1	0.01
kgf m	9807	980.7	9.807	1389	86.8	7.233	100000	100	1
mN m	1	0.1	0.001	0.142	0.009	0.0007	10.2	0.01	0.0001
cN m	10	1	0.01	1.416	0.088	0.007	102	0.102	0.001
N m	1000	100	1	141.6	8.851	0.738	10197	10.2	0.102

Notizen

Notizen

06/2016 © Copyright Debrunner Acifer
Ein Unternehmen der Debrunner Koenig Gruppe