



Technische Informationen



	ab Seite
Werkstoffe Schrauben und Muttern	T.002
Begriffsdefinitionen der Verschraubungstechnik	T.002
Schrauben Festigkeitsklassen 4.6 bis 12.9	T.004
Muttern Festigkeitsklassen 04 bis 12	T.009
Gewindestifte Festigkeitsklassen 14 H bis 45 H	T.012
Schrauben, Stiftschrauben, Muttern	T.013
Schrauben und Muttern aus warmfesten, hochwarmfesten und kaltzähren Stählen	T.016
Rost- und säurebeständige Verbindungselemente	T.020
Verbindungselemente aus diversen Werkstoffen	T.026

Korrosionsschutz	T.031
-------------------------	--------------

Auslegung, Konstruktion, Montage	T.034
Schraubenwahl	T.034
Dauerhaltbarkeit	T.035
Einschraubtiefe	T.036
Flächenpressung	T.037
Reibung und Reibungszahlen	T.041
Anziehverfahren, Anziehungsfaktor α_A	T.042
Vorspannkräfte und Anziehdrehmomente	T.044
Sichern von Schraubenverbindungen	T.055
Scherbelastungen für Spannstifte	T.058
Konstruktionsempfehlungen	T.059
Montagewerkzeuge	T.072

	ab Seite
Metrisches ISO-Gewinde	T.074

Toleranzen, Tabellen, Normen	T.077
-------------------------------------	--------------

Begriffsdefinitionen der Verschraubungstechnik

Zugfestigkeit R_m [N/mm^2]

Die minimale Zugfestigkeit einer Schraube ist die Zugspannung, ab der ein Bruch im Schaft oder im Gewinde stattfinden darf. Werden ganze Schrauben geprüft, kann die Streckgrenze nur ungefähr ermittelt werden. Die genaue Streckgrenze und die Bruchdehnung können nach ISO 898, Teil 1 an abgedrehten Proben bestimmt werden – Ausnahme: rost- und säurebeständige Schrauben A1 bis A4 (ISO 3506).

Zugfestigkeit bei Bruch im Gewinde:

$$R_m = \frac{\text{max. Zugkraft } F}{\text{Spannungsquerschnitt}} \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

▶ Spannungsquerschnitt A_s [mm^2] des Gewindes
Seite T.038, T.039

Zugfestigkeit bei Bruch im zylindrischen Stamm (ganze oder abgedrehte Schrauben):

$$R_m = \frac{\text{max. Zugkraft } F}{\text{zylindrischer Ausgangsquerschnitt}} \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

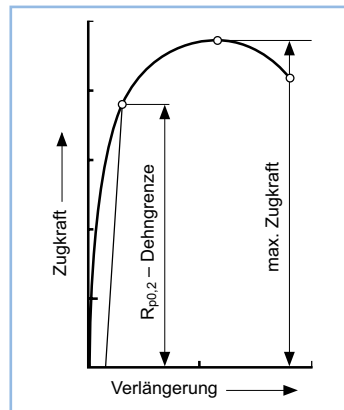
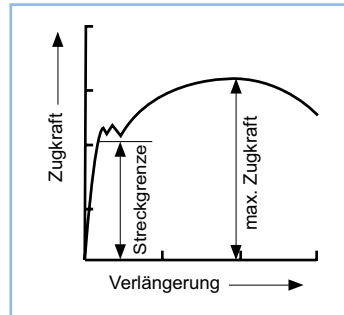
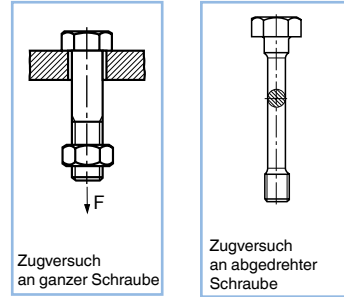
1 $N/mm^2 = 1 \text{ MPa}$

Streckgrenze R_{eL} [N/mm^2]

Die Streckgrenze ist die Zugspannung, ab der bei zunehmender Zugkraft die Dehnung überproportional zuzunehmen beginnt. Nach Entlastung bleibt eine plastische Dehnung erhalten.

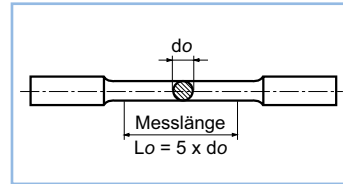
0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ [N/mm^2]

Bei höheren Festigkeiten ist die Streckgrenze schwer zu bestimmen. Man definiert als 0,2%-Dehngrenze die Zugspannung, ab der nach einer Entlastung eine plastische Dehnung von gerade 0,2% erhalten bleibt. In der Praxis dürfen Schrauben beim Anziehen und unter Betriebslast maximal bis zur Streckgrenze bzw. bis zur 0,2%-Dehngrenze beansprucht werden.

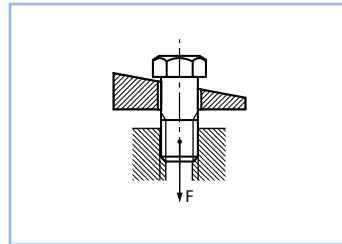


Bruchdehnung A [%]

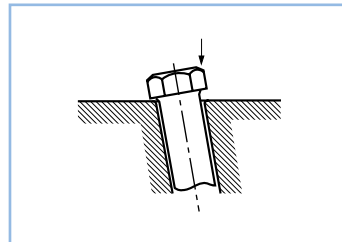
Diese entsteht bei der Belastung bis zum Schraubenbruch. Die bleibende plastische Dehnung wird an abgedrehten Schrauben in einem definierten Schaftbereich bestimmt. Ausnahme: rost- und säurebeständige Schrauben A1 bis A4, wo diese an ganzen Schrauben gemessen wird (ISO 3506).

**Zugfestigkeit unter Schrägbelastung**

Es wird die Zugfestigkeit an ganzen Schrauben ermittelt und zugleich durch eine schräge Auflage die Kopffestigkeit geprüft. Der Bruch darf nicht im Übergang Kopf/Stamm erfolgen.

**Kopfschlagzähigkeit**

Der Schraubenkopf wird durch Hammerschlag um einen bestimmten Winkel gebogen. Dabei dürfen im Übergang Kopf/Stamm keine Anrisse entstehen (ISO 898, Teil 1).

**Härte**

Härte ist allgemein der Widerstand, den der Werkstoff dem Eindringen eines Prüfkörpers unter definierter Last entgegensetzt (siehe ISO 898, Teil 1).

Vickershärte HV: ISO 6507

Pyramideneindruck
(umfasst den gesamten bei Schrauben üblichen Härtebereich)

Brinellhärte HB: ISO 6506

Kugleindruck

Rockwellhärte HRC: ISO 6508

Kegeleindruck

▶ Härtevergleichstabellen
Seite T.082

Kerbschlagarbeit [Joule] ISO 83

Kerbschlagarbeit ist die beim Kerbschlagbiegeversuch verbrauchte Schlagarbeit. Aus der Schraube wird nahe der Oberfläche eine gekerbte Probe entnommen. Diese Probe wird in einem Pendelschlagwerk mit einem einzigen Schlag durchgebrochen. Sie gibt Hinweise auf das Mikrogefüge, das Erschmelzungsverfahren, den Einschlussgehalt etc. Der Messwert kann für Berechnungen nicht herangezogen werden.

Oberflächenfehler

Oberflächenfehler sind aus dem Halbzeug stammende Schlackeneinschlüsse, Werkstoffüberlappungen und Ziehriefen. **Risse** hingegen sind kristalline Brüche ohne Einschluss von Fremdstoffen. Einzelheiten dazu siehe EN 493 und ISO 6157.

Randentkohlung

Randentkohlung ist im Allgemeinen eine Verringerung des Kohlenstoffgehaltes in der Randschicht des Gewindes vergüteter Schrauben, siehe ISO 898, Teil 1.

Mechanische und physikalische Eigenschaften von Schrauben

nach ISO 898, Teil 1

Die mechanischen Eigenschaften von Schrauben gelten in der Regel für Prüfungen bei Raumtemperatur.

Nr.	Mechanische oder physikalische Eigenschaft	Festigkeitsklasse										
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 d ≤ 16 mm ^a	8.8 d > 16 mm ^b	9.8 d ≤ 16 mm	10.9	12.9/ 12.9	
1	Zugfestigkeit, R _m , MPa, [N/mm ²]	Nennwert ^c	400	400	500	500	600	800	800	900	1000	1200
		min.	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
2	Untere Streckgrenze, R _{eL} ^d , MPa, [N/mm ²]	Nennwert ^c	240	–	300	–	–	–	–	–	–	–
		min.	240	–	300	–	–	–	–	–	–	–
3	0,2 %-Dehngrenze, R _{p0,2} ^e , MPa, [N/mm ²]	Nennwert ^c	–	–	–	–	–	640	640	720	900	1080
		min.	–	–	–	–	–	640	660	720	940	1100
4	0,0048 d Dehngrenze für ganze Schrauben R _{pf} , MPa, [N/mm ²]	Nennwert ^c	–	320	–	400	480	–	–	–	–	–
		min.	–	340 ^f	–	420 ^g	480 ^g	–	–	–	–	–
5	Spannung unter Prüfkraft, S _p ^h , MPa, [N/mm ²]	Nennwert	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
		Prüfspannungs-Verhältnis S _{p, nom} /R _{eL, min} oder S _{p, nom} /R _{p0,2, min} oder S _{p, nom} /R _{pf, min}	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88
6	Prozentuale Bruchdehnung einer abgedrehten Probe, A, %	min.	22	–	20	–	–	12	12	10	9	8
7	Prozentuale Bruchdehnung einer abgedrehten Probe, Z, %	min.	–	–	–	–	–	52	52	48	48	44
8	Bruchverlängerung einer ganzen Schraube, A ₁ (siehe auch ISO 898-1 Anhang C)	min.	–	0,24	–	0,22	0,20	–	–	–	–	–
9	Kopfschlagzähigkeit		Kein Bruch									
10	Vickershärte, HV F ≥ 98 N	min.	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
		max.	220 ^g	220 ^g	220 ^g	220 ^g	250	320	335	360	380	435
11	Brinellhärte, HBW F = 30 D ²	min.	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
		max.	209 ^g	209 ^g	209 ^g	209 ^g	238	304	318	342	361	414
12	Rockwellhärte, HRB	min.	67	71	79	82	89	–	–	–	–	–
		max.	95,0 ^g	95,0 ^g	95,0 ^g	95,0 ^g	99,5	–	–	–	–	–
	Rockwellhärte, HRC	min.	–	–	–	–	–	22	23	28	32	39
		max.	–	–	–	–	–	32	34	37	39	44
13	Oberflächenhärte, HV 0,3	max.	–	–	–	–	–	h	h	h	h,i	h,j
14	Höhe der nichtentkohlten Gewindezone, E, mm	min.	–	–	–	–	–	1/2 H ₁	1/2 H ₁	1/2 H ₁	2/3 H ₁	3/4 H ₁
		max.	–	–	–	–	–	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
15	Härteabfall nach Wiederanlassen (Härten), HV	max.	–	–	–	–	–	20	20	20	20	20
16	Bruchdrehmoment, M _B Nm	min.	–	–	–	–	–	nach ISO 898-7				
17	Kerbschlagarbeit K _V ^{k,l} , J	min.	–	–	27	–	–	27	27	27	27	m
18	Oberflächenzustand nach		ISO 6157-1 ⁿ									ISO 6157-3

^a Werte gelten nicht für Stahlbauschrauben.
^b Für Stahlbauschrauben d ≥ M12.
^c Nennwerte sind nur für das Bezeichnungssystem der Festigkeitsklassen festgelegt. Siehe Abschnitt 5.
^d Falls die untere Streckgrenze R_{eL} nicht bestimmt werden kann, ist die Ermittlung der 0,2 %-Dehngrenze R_{p0,2} zulässig.
^e Für die Festigkeitsklassen 4.8, 5.8 und 6.8 werden die Werte für R_{p, min} untersucht. Die aktuellen Werte sind nur zur Berechnung des Prüfspannungsverhältnisses angegeben. Sie sind keine Prüfwerte.
^f Prüfkraften sind in den Tabellen T.006 festgelegt.
^g Die am Ende einer Schraube bestimmte Härte darf maximal 250 HV, 238 HB oder 99,5 HRB betragen.
^h Die Oberflächenhärte darf an der jeweiligen Schraube 30 Vickerspunkte der gemessenen Kernhärte nicht überschreiten, wenn sowohl die Oberflächenhärte als auch die Kernhärte mit HV 0,3 ermittelt werden.
ⁱ Ein Anstieg der Oberflächenhärte auf über 390 HV ist nicht zulässig.
^j Ein Anstieg der Oberflächenhärte auf über 435 HV ist nicht zulässig.
^k Die Werte werden bei einer Prüftemperatur von –20 °C bestimmt.
^l Gilt für d ≥ 16 mm.
^m Werte für K_V werden untersucht.
ⁿ Anstatt ISO 6157-1 darf ISO 6157-3 nach Vereinbarung zwischen Hersteller und Kunde gelten.

Mindestbruchkräfte von Schrauben

nach ISO 898, Teil 1

Mindestbruchkräfte – Metrisches ISO-Regelgewinde

Gewinde ¹⁾ d	Nennspannungs- querschnitt $A_{s, nom}$ [mm ²]	Mindestbruchkraft $F_{m, min}$ ($A_{s, nom} \times R_{m, min}$) [N]								
		Festigkeitsklasse								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
M3	5,03	2 010	2 110	2 510	2 620	3 020	4 020	4 530	5 230	6 140
M3,5	6,78	2 710	2 850	3 390	3 530	4 070	5 420	6 100	7 050	8 270
M4	8,78	3 510	3 690	4 390	4 570	5 270	7 020	7 900	9 130	10 700
M5	14,2	5 680	5 960	7 100	7 380	8 520	11 350	12 800	14 800	17 300
M6	20,1	8 040	8 440	10 000	10 400	12 100	16 100	18 100	20 900	24 500
M7	28,9	11 600	12 100	14 400	15 000	17 300	23 100	26 000	30 100	35 300
M8	36,6	14 600 ²⁾	15 400	18 300 ²⁾	19 000	22 000	29 200 ²⁾	32 900	38 100 ²⁾	44 600
M10	58,0	23 200 ²⁾	24 400	29 000 ²⁾	30 200	34 800	46 400 ²⁾	52 200	60 300 ²⁾	70 800
M12	84,3	33 700	35 400	42 200	43 800	50 600	67 400 ³⁾	75 900	87 700	103 000
M14	115	46 000	48 300	57 500	59 800	69 000	92 000 ³⁾	104 000	120 000	140 000
M16	157	62 800	65 900	78 500	81 600	94 000	125 000 ³⁾	141 000	163 000	192 000
M18	192	76 800	80 600	96 000	99 800	115 000	159 000	–	200 000	234 000
M20	245	98 000	103 000	122 000	127 000	147 000	203 000	–	255 000	299 000
M22	303	121 000	127 000	152 000	158 000	182 000	252 000	–	315 000	370 000
M24	353	141 000	148 000	176 000	184 000	212 000	293 000	–	367 000	431 000
M27	459	184 000	193 000	230 000	239 000	275 000	381 000	–	477 000	560 000
M30	561	224 000	236 000	280 000	292 000	337 000	466 000	–	583 000	684 000
M33	694	278 000	292 000	347 000	361 000	416 000	576 000	–	722 000	847 000
M36	817	327 000	343 000	408 000	425 000	490 000	678 000	–	850 000	997 000
M39	976	390 000	410 000	488 000	508 000	586 000	810 000	–	1 020 000	1 200 000

¹⁾ Wenn in der Gewindebezeichnung keine Gewindesteigung angegeben ist, so ist Regelgewinde festgelegt.

²⁾ Für Schrauben mit der Gewindetoleranz 6az nach ISO 965-4, die feuerverzinkt werden, gelten nach ISO 10684 reduzierte Werte.

³⁾ Für Stahlbauschrauben 70 000 N (für M12), 95 500 N (für M14) und 130 000 N (für M16).

➤ Berechnung des Nennspannungsquerschnitts $A_{s, nom}$
Seite T.038

Mindestbruchkräfte – Metrisches ISO-Feingewinde

Gewinde d x P	Nennspannungs- querschnitt $A_{s, nom}$ [mm ²]	Mindestbruchkraft $F_{m, min}$ ($A_{s, nom} \times R_{m, min}$) [N]								
		Festigkeitsklasse								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
M8 x 1	39,2	15 700	16 500	19 600	20 400	23 500	31 360	35 300	40 800	47 800
M10 x 1	64,5	25 800	27 100	32 300	33 500	38 700	51 600	58 100	67 100	78 700
M10 x 1,25	61,2	24 500	25 700	30 600	31 800	36 700	49 000	55 100	63 600	74 700
M12 x 1,25	92,1	36 800	38 700	46 100	47 900	55 300	73 700	82 900	95 800	112 000
M12 x 1,5	88,1	35 200	37 000	44 100	45 800	52 900	70 500	79 300	91 600	107 000
M14 x 1,5	125	50 000	52 500	62 500	65 000	75 000	100 000	112 000	130 000	152 000
M16 x 1,5	167	66 800	70 100	83 500	86 800	100 000	134 000	150 000	174 000	204 000
M18 x 1,5	216	86 400	90 700	108 000	112 000	130 000	179 000	–	225 000	264 000
M20 x 1,5	272	109 000	114 000	136 000	141 000	163 000	226 000	–	283 000	332 000
M22 x 1,5	333	133 000	140 000	166 000	173 000	200 000	276 000	–	346 000	406 000
M24 x 2	384	154 000	161 000	192 000	200 000	230 000	319 000	–	399 000	469 000
M27 x 2	496	198 000	208 000	248 000	258 000	298 000	412 000	–	516 000	605 000
M30 x 2	621	248 000	261 000	310 000	323 000	373 000	515 000	–	646 000	758 000
M33 x 2	761	304 000	320 000	380 000	396 000	457 000	632 000	–	791 000	928 000
M36 x 3	865	346 000	363 000	432 000	450 000	519 000	718 000	–	900 000	1 055 000
M39 x 3	1 030	412 000	433 000	515 000	536 000	618 000	855 000	–	1 070 000	1 260 000

Prüfkraften von Schrauben

nach ISO 898, Teil 1

Prüfkraften – Metrisches ISO-Regelgewinde

Gewinde ¹⁾ d	Nennspannungs- querschnitt A _{s, nom} [mm ²]	Prüfkraft F _p (A _{s, nom} x S _{p, nom}) [N]								
		Festigkeitsklasse								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
M3	5,03	1 130	1 560	1 410	1 910	2 210	2 920	3 270	4 180	4 880
M3,5	6,78	1 530	2 100	1 900	2 580	2 980	3 940	4 410	5 630	6 580
M4	8,78	1 980	2 720	2 460	3 340	3 860	5 100	5 710	7 290	8 520
M5	14,2	3 200	4 400	3 980	5 400	6 250	8 230	9 230	11 800	13 800
M6	20,1	4 520	6 230	5 630	7 640	8 840	11 600	13 100	16 700	19 500
M7	28,9	6 500	8 960	8 090	11 000	12 700	16 800	18 800	24 000	28 000
M8	36,6	8 240 ²⁾	11 400	10 200 ²⁾	13 900	16 100	21 200 ²⁾	23 800	30 400 ²⁾	35 500
M10	58,0	13 000 ²⁾	18 000	16 200 ²⁾	22 000	25 500	33 700 ²⁾	37 700	48 100 ²⁾	56 300
M12	84,3	19 000	26 100	23 600	32 000	37 100	48 900 ³⁾	54 800	70 000	81 800
M14	115	25 900	35 600	32 200	43 700	50 600	66 700 ³⁾	74 800	95 500	112 000
M16	157	35 300	48 700	44 000	59 700	69 100	91 000 ³⁾	102 000	130 000	152 000
M18	192	43 200	59 500	53 800	73 000	84 500	115 000	–	159 000	186 000
M20	245	55 100	76 000	68 600	93 100	108 000	147 000	–	203 000	238 000
M22	303	68 200	93 900	84 800	115 000	133 000	182 000	–	252 000	294 000
M24	353	79 400	109 000	98 800	134 000	155 000	212 000	–	293 000	342 000
M27	459	103 000	142 000	128 000	174 000	202 000	275 000	–	381 000	445 000
M30	561	126 000	174 000	157 000	213 000	247 000	337 000	–	466 000	544 000
M33	694	156 000	215 000	194 000	264 000	305 000	416 000	–	576 000	673 000
M36	817	184 000	253 000	229 000	310 000	359 000	490 000	–	678 000	792 000
M39	976	220 000	303 000	273 000	371 000	429 000	586 000	–	810 000	947 000

¹⁾ Wenn in der Gewindebezeichnung keine Gewindesteigung angegeben ist, so ist Regelgewinde festgelegt.

²⁾ Für Schrauben mit der Gewindetoleranz 6az nach ISO 965-4, die feuerverzinkt werden, gelten nach ISO 10684 reduzierte Werte.

³⁾ Für Stahlbauschrauben 50 700 N (für M12), 68 800 N (für M14) und 94 500 N (für M16).

► Berechnung des Nennspannungsquerschnitts A_{s, nom}
Seite T.038

Prüfkraften – Metrisches ISO-Feingewinde

Gewinde d x P	Nennspannungs- querschnitt A _{s, nom} [mm ²]	Prüfkraft, F _p (A _{s, nom} x S _{p, nom}) [N]								
		Festigkeitsklasse								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/12.9
M8 x 1	39,2	8 820	12 200	11 000	14 900	17 200	22 700	25 500	32 500	38 000
M10 x 1,25	61,2	13 800	19 000	17 100	23 300	26 900	35 500	39 800	50 800	59 400
M10 x 1	64,5	14 500	20 000	18 100	24 500	28 400	37 400	41 900	53 500	62 700
M12 x 1,25	92,1	20 700	28 600	25 800	35 000	40 500	53 400	59 900	76 400	89 300
M12 x 1,5	88,1	19 800	27 300	24 700	33 500	38 800	51 100	57 300	73 100	85 500
M14 x 1,5	125	28 100	38 800	35 000	47 500	55 000	72 500	81 200	104 000	121 000
M16 x 1,5	167	37 600	51 800	46 800	63 500	73 500	96 900	109 000	139 000	162 000
M18 x 1,5	216	48 600	67 000	60 500	82 100	95 000	130 000	–	179 000	210 000
M20 x 1,5	272	61 200	84 300	76 200	103 000	120 000	163 000	–	226 000	264 000
M22 x 1,5	333	74 900	103 000	93 200	126 000	146 000	200 000	–	276 000	323 000
M24 x 2	384	86 400	119 000	108 000	146 000	169 000	230 000	–	319 000	372 000
M27 x 2	496	112 000	154 000	139 000	188 000	218 000	298 000	–	412 000	481 000
M30 x 2	621	140 000	192 000	174 000	236 000	273 000	373 000	–	515 000	602 000
M33 x 2	761	171 000	236 000	213 000	289 000	335 000	457 000	–	632 000	738 000
M36 x 3	865	195 000	268 000	242 000	329 000	381 000	519 000	–	718 000	839 000
M39 x 3	1 030	232 000	319 000	288 000	391 000	453 000	618 000	–	855 000	999 000

Werkstoffe, Wärmebehandlungen, chemische Zusammensetzungen

nach ISO 898, Teil 1

Stähle

Festigkeitsklasse	Werkstoff und Wärmebehandlung	Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse, %) ¹⁾					Anlans-temperatur °C
		C		P	S	B ²⁾	
		min.	max.	max.	max.	max.	
4.6 ^{3), 4)}	Kohlenstoffstahl oder Kohlenstoffstahl mit Zusätzen	–	0,55	0,05	0,06	nicht gefestigt	–
4.8 ⁴⁾							
5.6 ³⁾		0,13	0,55	0,05	0,06		
5.8 ⁴⁾		–	0,55	0,05	0,06		
6.8 ⁴⁾		0,15	0,55	0,05	0,06		
8.8 ⁶⁾	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor oder Mn oder Cr), gehärtet und angelassen	0,15 ⁵⁾	0,40	0,025	0,025	0,003	425
	oder Kohlenstoffstahl, gehärtet und angelassen	0,25	0,55	0,025	0,025		
	oder Legierter Stahl, gehärtet und angelassen ⁷⁾	0,20	0,55	0,025	0,025		
9.8 ⁶⁾	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor oder Mn oder Cr), gehärtet und angelassen	0,15 ⁵⁾	0,40	0,025	0,025	0,003	425
	oder Kohlenstoffstahl, gehärtet und angelassen	0,25	0,55	0,025	0,025		
	oder Legierter Stahl, gehärtet und angelassen ⁷⁾	0,20	0,55	0,025	0,025		
10.9 ⁶⁾	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor oder Mn oder Cr), gehärtet und angelassen	0,20 ⁵⁾	0,55	0,025	0,025	0,003	425
	oder Kohlenstoffstahl, gehärtet und angelassen	0,25	0,55	0,025	0,025		
	oder Legierter Stahl, gehärtet und angelassen ⁷⁾	0,20	0,55	0,025	0,025		
12.9 ^{6), 8), 9)}	Legierter Stahl, gehärtet und angelassen ⁷⁾	0,30	0,50	0,025	0,025	0,003	425
12.9 ^{6), 8), 9)}	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor oder Mn oder Cr oder Mo), gehärtet und angelassen	0,28	0,50	0,025	0,025	0,003	380

¹⁾ Im Schiedsfall gilt die Produktanalyse.

²⁾ Der Bor-Gehalt darf 0,005% erreichen, vorausgesetzt, dass das nicht wirksame Bor durch Zusätze von Titan und/oder Aluminium kontrolliert wird.

³⁾ Bei kalt umgeformten Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 und 5.6 kann eine Wärmebehandlung des für das Kaltumformen verwendeten Drahtes oder der kalt umgeformten Schraube notwendig werden, um die gewünschte Duktilität zu erreichen.

⁴⁾ Für diese Festigkeitsklassen ist Automatenstahl mit folgenden maximalen Schwefel-, Phosphor- und Bleianteilen zulässig: Schwefel 0,34%; Phosphor 0,11%; Blei 0,35%.

⁵⁾ Bei einfachem Kohlenstoffstahl mit Bor als Zusatz und einem Kohlenstoffgehalt unter 0,25% (Schmelzanalyse) muss ein Mangengehalt von mindestens 0,6% für die Festigkeitsklasse 8.8 und 0,7% für die Festigkeitsklassen 9.8 und 10.9 vorhanden sein.

⁶⁾ Werkstoffe dieser Festigkeitsklassen müssen ausreichend härter sein, um sicherzustellen, dass im Gefüge des Kernes im Gewindeanteil ein Martensitanteil von ungefähr 90% im gehärteten Zustand vor dem Anlassen vorhanden ist.

⁷⁾ Legierter Stahl muss mindestens einen der folgenden Legierungsbestandteile in der angegebenen Mindestmenge enthalten: Chrom 0,3%, Nickel 0,3%, Molybdän 0,2%, Vanadium 0,1%. Wenn zwei, drei oder vier Elemente in Kombinationen festgelegt sind und geringere Legierungsanteile haben als oben angegeben, dann ist der für die Klassifizierung anzuwendende Grenzwert 70% der Summe der oben angegebenen Einzelgrenzwerte für die zwei, drei oder vier betreffenden Elemente.

⁸⁾ Für die Festigkeitsklasse 12.9/12.9 ist eine metallographisch feststellbare, mit Phosphor angereicherte weisse Schicht nicht zulässig. Diese muss mit einem geeigneten Prüfverfahren nachgewiesen werden.

⁹⁾ Bei einem vorgesehenen Einsatz der Festigkeitsklasse 12.9/12.9 ist Vorsicht geboten. Dabei sollten die Eignung des Schraubenherstellers, die Montage und die Einsatzbedingungen berücksichtigt werden. Durch spezielle Umgebungsbedingungen kann es sowohl bei unbeschichteten als auch bei beschichteten Schrauben zu Spannungsrisskorrosion kommen.

Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen

nach ISO 898, Teil 1

Einfluss höherer Temperaturen auf die mechanischen Eigenschaften von Schrauben

Höhere Temperaturen können zu Veränderungen der mechanischen und funktionellen Eigenschaften von Schrauben führen.

Bei typischen Betriebstemperaturen bis 150 °C sind keine schädlichen Auswirkungen durch eine Veränderung mechanischer Eigenschaften von Schrauben bekannt. Bei Temperaturen über 150 °C und bis zu einer Höchsttemperatur von 300 °C sollte die Funktionsfähigkeit von Schrauben durch sorgfältiges Prüfen sichergestellt werden.

Bei steigender Temperatur kann es zu einer zunehmenden Verminderung der Streckgrenze, der 0,2%-Dehngrenze oder der 0,0048 d Dehngrenze bei fertigen Schrauben sowie zur Verringerung der Zugfestigkeit kommen. Fortlaufender Einsatz von Schrauben bei höheren Betriebstemperaturen kann zu deutlicher Spannungsrelaxation führen, die mit höheren Temperaturen zunimmt. Spannungsrelaxation geht einher mit einem Nachlassen der Klemmkraft.

Kalt verformte Schrauben (Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8) sind anfälliger für Spannungsrelaxation als gehärtete und angelassene oder spannungsarm gegläute Schrauben.

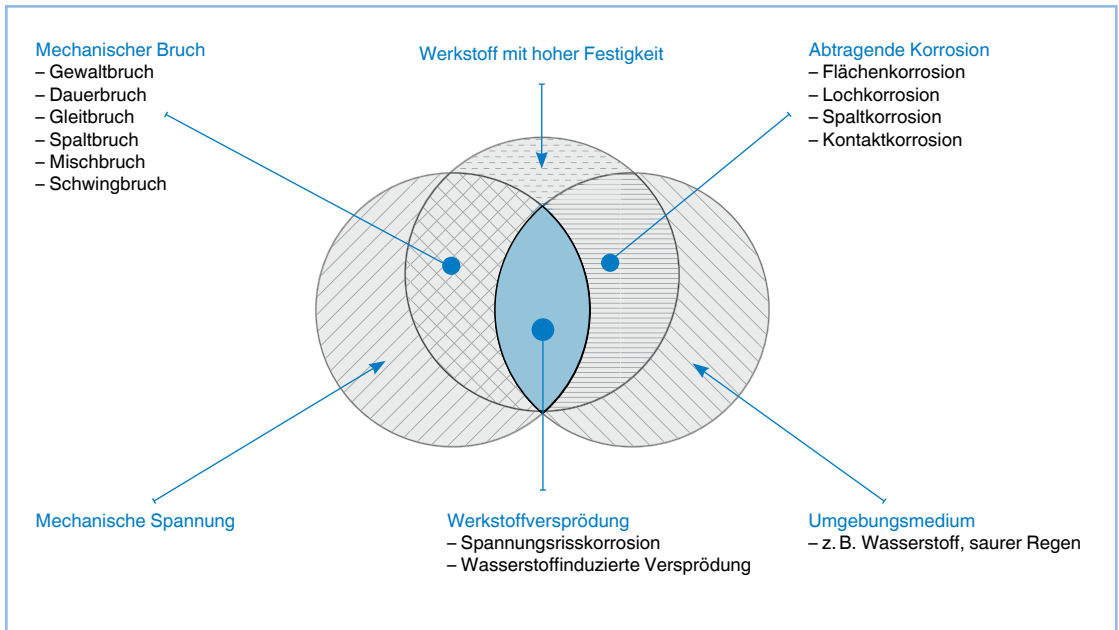
Vorsicht ist geboten, wenn bleihaltige Stähle für Schrauben bei höheren Temperaturen verwendet werden. Bei derartigen Schrauben sollte das Risiko einer Versprödung durch flüssige Metalle berücksichtigt werden, wenn die Betriebstemperatur sich im Schmelzbereich des Bleis befindet.

Angaben zu Stählen für den Einsatz bei höheren Temperaturen unter EN 10269/ASTM F2281 beachten.

Eigenschaften bei erhöhter Festigkeit (wenn > 1000 N/mm²)

Einfluss höherer Schraubenfestigkeiten unter Einbezug der mechanischen Beanspruchung und Umgebungsbedingungen.

▸ Risiko der Wasserstoffversprödung
Seite T.031



Mechanische Eigenschaften von Muttern mit Regelgewinde

nach ISO 898, Teil 2

Festigkeitsklasse		Gewinde-Nenn-Ø					
		bis M4	> M4 bis M7	> M7 bis M10	> M10 bis M16	> M16 bis M39	
04	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		380	380	380	380	380
	Vickershärte HV	min.	188	188	188	188	188
		max.	302	302	302	302	302
05	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		500	500	500	500	500
	Vickershärte HV	min.	272	272	272	272	272
		max.	353	353	353	353	353
4	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		–	–	–	–	510
	Vickershärte HV	min.	–	–	–	–	117
		max.	–	–	–	–	302
5	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		520	580	590	610	630
	Vickershärte HV	min.	130	130	130	130	146
		max.	302	302	302	302	302
6	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		600	670	680	700	720
	Vickershärte HV	min.	150	150	150	150	170
		max.	302	302	302	302	302
8 ³⁾	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		800	855	870	880	920
	Vickershärte HV	min.	180	200	200	200	233
		max.	302	302	302	302	353
9	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		900	915	940	950	920
	Vickershärte HV	min.	170	188	188	188	188
		max.	302	302	302	302	302
10	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		1040	1040	1040	1050	1060
	Vickershärte HV	min.	272	272	272	272	272
		max.	353	353	353	353	353
12 ¹⁾	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		1140	1140	1140	1170	–
	Vickershärte HV	min.	295	295	295	295	–
		max.	353	353	353	353	–
12 ²⁾	Prüfspannung, S_p [N/mm ²]		1150	1150	1160	1190	1200
	Vickershärte HV	min.	272	272	272	272	272
		max.	353	353	353	353	353

¹⁾ Muttern Typ 1 (ISO 4032) ≈ 0,9 d Mutter

²⁾ Muttern Typ 2 (ISO 4033) ≈ 1,0 d Mutter

³⁾ Klasse 8 ≤ M16 nur Typ 1 (unvergütet)
> M16 Typ 1 (vergütet) und Typ 2 (unvergütet)

Information

- Die Mindesthärten sind nur verbindlich für Muttern, bei denen ein Prüfkraftversuch nicht durchgeführt werden kann, und bei vergüteten Muttern. Für alle anderen Muttern gelten die Mindesthärten nur als Richtlinie.
- Die Mindesthärten für Muttern mit Gewinde-Nenndurchmessern über 39 bis 100 mm dienen nur der Information.

Die mechanischen Eigenschaften beziehen sich auf vergütete Muttern:

Festigkeitsklasse	Mutter	Gewinde
05 bis 8	Typ1	Regelgewinde > M16
05 bis 8	Typ1	Feingewinde
10 und 12	–	Regelgewinde Feingewinde

Abstreiffestigkeit für Muttern mit Nennhöhe $\geq 0,5 d$, jedoch $< 0,8 d$

nach ISO 898, Teil 2

Der Richtwert für die Abstreiffestigkeit bezieht sich auf die angegebene Festigkeitsklasse. Ein Abstreifen des Bolzengewindes kann erwartet werden, wenn die Mutter mit niedrigeren Schraubenklassen gepaart wird, während bei Paarung mit höheren Schraubenklassen ein Abstreifen des Gewindes der Mutter eintreten dürfte.

Festigkeitsklasse der Mutter	Prüfspannung der Mutter [N/mm ²]	Mindestspannung in der Schraube vor dem Abstreifen bei Paarung mit Schrauben der Festigkeitsklassen [N/mm ²]			
		6.8	8.8	10.9	12.9
04	380	260	300	330	350
05	500	290	370	410	480

Prüfkräfte von Muttern

nach ISO 898, Teil 2

Gewinde ¹⁾	Spannungsquerschnitt des Prüfdorns A _S [mm ²]	Prüfkraft (A _S x S _p), [N]											
		Festigkeitsklasse											
		04	05	4	5	6	8	9	10	12			
		–	–	Typ 1	Typ 1	Typ 1	Typ 1	Typ 2	Typ 2	Typ 2	Typ 2	Typ 2	Typ 2
M3	5,03	1 910	2 500	–	2 600	3 000	4 000	–	4 500	5 200	5 700	5 800	
M3,5	6,78	2 580	3 400	–	3 550	4 050	5 400	–	6 100	7 050	7 700	7 800	
M4	8,78	3 340	4 400	–	4 550	5 250	7 000	–	7 900	9 150	10 000	10 100	
M5	14,2	5 400	7 100	–	8 250	9 500	12 140	–	13 000	14 800	16 200	16 300	
M6	20,1	7 640	10 000	–	11 700	13 500	17 200	–	18 400	20 900	22 900	23 100	
M7	28,9	11 000	14 500	–	16 800	19 400	24 700	–	26 400	30 100	32 900	33 200	
M8	36,6	13 900	18 300	–	21 600	24 900	31 800	–	34 400	38 100	41 700	42 500	
M10	58,0	22 000	29 000	–	34 200	39 400	50 500	–	54 500	60 300	66 100	67 300	
M12	84,3	32 000	42 200	–	51 400	59 000	74 200	–	80 100	88 500	98 600	100 300	
M14	115	43 700	57 500	–	70 200	80 500	101 200	–	109 300	120 800	134 600	136 900	
M16	157	59 700	78 500	–	95 800	109 900	138 200	–	149 200	164 900	183 700	186 800	
M18	192	73 000	96 000	97 900	121 000	138 200	176 600	170 900	176 600	203 500	–	230 400	
M20	245	93 100	122 500	125 000	154 000	176 400	225 400	218 100	225 400	259 700	–	294 000	
M22	303	115 100	151 500	154 500	190 900	218 200	278 800	269 700	278 800	321 200	–	363 600	
M24	353	134 100	176 500	180 000	222 400	254 200	324 800	314 200	324 800	374 200	–	423 600	
M27	459	174 400	229 500	234 100	289 200	330 500	422 300	408 500	422 300	486 500	–	550 800	
M30	561	213 200	280 500	286 100	353 400	403 900	516 100	499 300	516 100	594 700	–	673 200	
M33	694	263 700	347 000	353 900	437 200	499 700	638 500	617 700	638 500	735 600	–	832 800	
M36	817	310 500	408 500	416 700	514 700	588 200	751 600	727 100	751 600	866 000	–	980 400	
M39	976	370 900	488 000	497 800	614 900	702 700	897 900	868 600	897 900	1 035 000	–	1 171 000	

¹⁾ Wenn in der Gewindebezeichnung keine Gewindesteigung angegeben ist, so gilt Regelgewinde (siehe ISO 261 und ISO 262).

Prüfkraften von Muttern 0,8 d

nach DIN 267, Teil 4

Muttern mit Prüfkraften über 350 000 N (Werte blau hinterlegt) können von einem Prüfkraftversuch ausgeschlossen werden. Für diese Muttern sind Mindesthärten zwischen Hersteller und Besteller zu vereinbaren.

Gewinde ¹⁾	Spannungsquerschnitt des Prüfdorns A_s [mm ²]	Prüfkraft ($A_s \times S_p$), [N]					
		Festigkeitsklasse (Kennzahl)					
		4	5	6	8	10	12
M3	5,03	–	2 500	3 000	4 000	5 000	6 000
M3,5	6,78	–	3 400	4 050	5 400	6 800	8 150
M4	8,78	–	4 400	5 250	7 000	8 750	10 500
M5	14,2	–	7 100	8 500	11 400	14 200	17 000
M6	20,1	–	10 000	12 000	16 000	20 000	24 000
M7	28,9	–	14 500	17 300	23 000	29 000	34 700
M8	36,6	–	18 300	22 000	29 000	36 500	43 000
M10	58,0	–	29 000	35 000	46 000	58 000	69 500
M12	84,3	–	42 100	50 500	67 000	84 000	100 000
M14	115	–	57 500	69 000	92 000	115 000	138 000
M16	157	–	78 500	94 000	126 000	157 000	188 000
M18	192	76 800	96 000	115 000	154 000	192 000	230 000
M20	245	98 000	122 000	147 000	196 000	245 000	294 000
M22	303	121 000	151 000	182 000	242 000	303 000	364 000
M24	353	141 000	176 000	212 000	282 000	353 000	423 000
M27	459	184 000	230 000	276 000	367 000	459 000	550 000
M30	561	224 000	280 000	336 000	448 000	561 000	673 000
M33	694	277 000	347 000	416 000	555 000	694 000	833 000
M36	817	327 000	408 000	490 000	653 000	817 000	980 000
M39	976	390 000	488 000	585 000	780 000	976 000	1 170 000

¹⁾ Wenn in der Gewindebezeichnung keine Gewindesteigung angegeben ist, so gilt Regelgewinde (siehe DIN 13).

Chemische Zusammensetzung von Muttern

nach ISO 898, Teil 2

Festigkeitsklasse	Chemische Zusammensetzung als Massenanteile in % (Stückanalyse)				
		C	Mn	P	S
		max.	min.	max.	max.
4 ¹⁾ , 5 ¹⁾ , 6 ¹⁾	–	0,50	–	0,060	0,150
8, 9	04 ¹⁾	0,58	0,25	0,060	0,150
10 ²⁾	05 ²⁾	0,58	0,30	0,048	0,058
12 ²⁾	–	0,58	0,45	0,048	0,058

¹⁾ Muttern dieser Festigkeitsklassen dürfen aus Automatenstahl hergestellt werden, wenn nicht zwischen Besteller und Lieferer andere Vereinbarungen getroffen sind. Beim Verwenden von Automatenstahl sind folgende maximale Schwefel-, Phosphor- und Bleianteile zulässig:

Schwefel 0,34 %
Phosphor 0,11 %
Blei 0,35 %

²⁾ Bei diesen Festigkeitsklassen müssen gegebenenfalls Legierungselemente hinzugefügt werden, um die mechanischen Eigenschaften der Muttern zu erreichen.

Hinweis

Muttern der Festigkeitsklassen 05, 8 (Typ 1 über M16 oder Typ 1 Feingewinde), 10 und 12 müssen vergütet sein.

Mechanische Eigenschaften

nach ISO 898, Teil 5

Die mechanischen Eigenschaften gelten für Gewindestifte und ähnliche **nicht zugbeanspruchte Teile** mit Gewinde in Durchmessern von 1,6 bis 39 mm, hergestellt aus unlegiertem oder legiertem Stahl.

Weitere Angaben über die mechanischen Eigenschaften von Gewindestiften siehe ISO 898, Teil 5.

Mechanische Eigenschaften		Festigkeitsklasse ¹⁾			
		14 H	22 H	33 H	45 H
Vickershärte HV	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	–	–	–
Rockwellhärte HRC	min.	–	–	33	45
	max.	–	30	44	53
Oberflächenhärte HV 0,3	min.	–	–	–	–
	max.	–	320	450	580

¹⁾ Festigkeitsklasse 14 H, 22 H und 33 H nicht für Gewindestifte mit Innensechskant

Werkstoffe, Wärmebehandlung, chemische Zusammensetzung

nach ISO 898, Teil 5

Festigkeitsklasse	Werkstoff	Wärmebehandlung	Chemische Zusammensetzung als Massenanteile in % (Stückanalyse)			
			C		P	S
			min	max.	max.	max.
14 H	Kohlenstoffstahl ^{1) 2)}	–	–	0,50	0,11	0,15
22 H	Kohlenstoffstahl ³⁾	abgeschreckt und angelassen	–	0,50	0,05	0,05
33 H	Kohlenstoffstahl ³⁾	abgeschreckt und angelassen	–	0,50	0,05	0,05
45 H	Legierter Stahl ^{3) 4) 5) 6)}	abgeschreckt und angelassen	0,19	0,50	0,05	0,05

¹⁾ Automatenstahl mit folgenden maximalen Blei-, Phosphor- und Schwefelanteilen zulässig: Pb = 0,35%, P = 0,11%, S = 0,34%.

²⁾ Für Gewindestifte mit Vierkantkopf ist Einsatzhärtung zulässig.

³⁾ Stahl mit Pb max. = 0,35% zulässig.

⁴⁾ Der Legierungsstahl muss eines oder mehrere dieser Legierungselemente enthalten: Chrom, Nickel, Molybdän, Vanadium oder Bor.

⁵⁾ Für die Festigkeitsklasse 45 H dürfen auch andere Stähle verwendet werden, wenn die Gewindestifte den Bedingungen des Prüfdrehmomentversuches nach ISO 898, Teil 5 genügen. Bei borlegierten Stählen soll der Bor-Gehalt zwischen 0,0008 und 0,005 liegen. Es ist Kohlenstoffstahl mit einem C-Gehalt von min. 0,45% zulässig, wenn dieser mindestens 50% der in ISO 898, Teil 1 angegebenen Mengen Legierungselemente enthält.

⁶⁾ Bis ≤ M16 ist borlegierter Kohlenstoffstahl mit min. 0,35% C-Gehalt zulässig.

Neue Kennzeichnung von Schrauben mit reduzierter Belastbarkeit

nach ISO 898, Teil 1

Seit April 2009 ist die überarbeitete Norm für Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen – Regelgewinde und Feingewinde – in der Anwendung.

Schrauben mit Bezug zu einer Produktnorm mit reduzierter Belastbarkeit auf Grund der Kopfgeometrie sind neu zu kennzeichnen mit der Festigkeitsklasse durch die «ergänzende Zahl 0». Im Sinne einer sicheren Handhabung kann in Zukunft an der möglichen Kopfmarkierung eine notwendige Instruktion für die richtige Montage erkannt werden. Der Anwender kann damit an der Schraube erkennen, wo zusätzliche Hinweise im Bossard-Katalog nachgeschlagen werden können. Die «Headmarkierung» ist eine bestimmende Kennzeichnung im Sinne der neuen Normorientierung.

! Beurteilung der Veränderung für den Anwender:

- Produkte, die nach alter Norm gefertigt wurden und sich am Lager oder im Umlauf vor dem Einsatz befinden, haben keine funktionellen Unterschiede zur neuen Praxis.
- Schrauben nach vorliegender Spezifikation unterliegen seit jeher wegen ihrer Kopfgeometrie einer reduzierten Belastbarkeit nach ISO 898-1, das heisst reduzierte Anziehdrehmomente berücksichtigen!

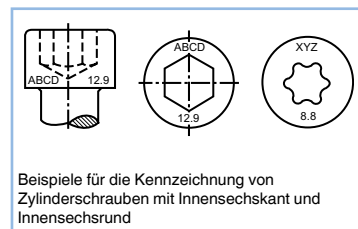
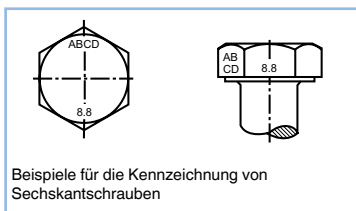
Kennzeichnung von Schrauben

nach ISO 898, Teil 1

Kennzeichnung	Festigkeitsklasse									
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	12.9
Kennzeichen für Schrauben mit voller Belastbarkeit ¹⁾	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	12.9
Kennzeichen für Schrauben mit reduzierter Belastbarkeit ¹⁾	04.6	04.8	05.6	05.8	06.8	08.8	09.8	010.9	012.9	012.9

¹⁾ Der Punkt zwischen den beiden Zahlen des Kennzeichens kann entfallen.

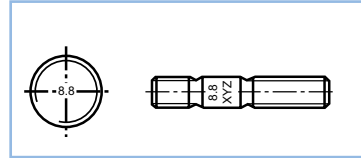
Die Kennzeichnung mit Herstellerzeichen und Festigkeitsklasse ist vorgeschrieben für Sechskantschrauben 4.6 bis 12.9 und Zylinderschrauben mit Innensechskant und Innensechsrund 8.8 bis 12.9 mit Gewindedurchmesser $d \geq 5$ mm, wo immer die Form der Schraube eine Kennzeichnung zulässt (vorzugsweise am Kopf).



Kennzeichnung von Stiftschrauben

nach ISO 898, Teil 1

Die Kennzeichnung ist obligatorisch für Festigkeitsklassen gleich oder grösser 5.6 und ist vorzugsweise auf der Kuppe des Gewindeendes vertieft anzubringen. Bei Stiftschrauben mit Festsitzgewinde am Einschraubende muss das Kennzeichen der Festigkeitsklasse auf der Kuppe des Mutterendes angebracht sein.
Die Kennzeichnung ist vorgeschrieben für Stiftschrauben mit Gewinde-Nenndurchmessern ab 5 mm.



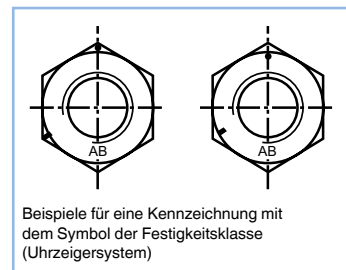
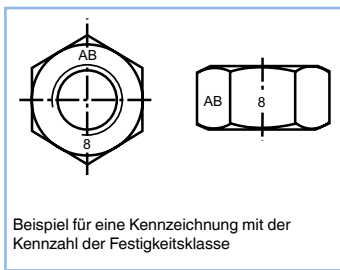
Eine wahlweise Kennzeichnung ist nach der Tabelle rechts für Stiftschrauben zugelassen.

Festigkeitsklasse	5.6	8.8	9.8	10.9	12.9
Kennzeichen	—	○	+	□	△

Kennzeichnung von Muttern

nach ISO 898, Teil 2

Die Kennzeichnung mit Herstellerzeichen und Festigkeitsklasse ist vorgeschrieben für Sechskantmutter mit Gewindedurchmesser $d \geq 5$ mm. Die Sechskantmutter müssen auf der Auflagefläche oder einer Schlüsselfläche vertieft oder auf der Fase erhöht gekennzeichnet sein. Erhöhte Kennzeichen dürfen nicht über die Auflagefläche der Mutter hinausragen.

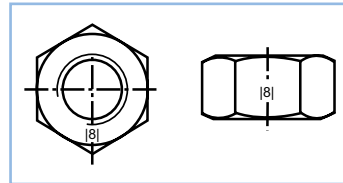


Kennzeichnung von Muttern

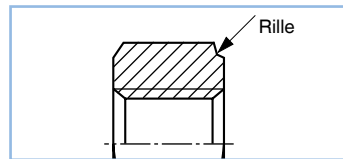
nach ISO 267, Teil 4

Kennzahl	Festigkeitsklasse					
	4	5	6	8	10	12
Kennzeichen	4	5	6	8	10	12

Sechskantmutter mit $d \geq 5$ mm Gewinde-Nenn Durchmesser müssen mit den Kennzeichen der Festigkeitsklasse auf der Auflagefläche oder einer Schlüsselfläche gekennzeichnet werden. Erhöhte Kennzeichen dürfen nicht über die Auflagefläche der Mutter hinausragen.



Bei Sechskantmuttern $d \geq 5$ mm nach DIN 934 und DIN 935 aus Automatenstahl ist als Kennzeichen zusätzlich eine Rille auf einer Fase der Mutter anzubringen (bis Festigkeitsklasse 6).



Paarung von Schrauben und Muttern $\geq 0,8 d$

nach ISO 898, Teil 2

Zuordnung möglicher Festigkeitsklassen von Schrauben und Muttern

Zugehörige Schraube		Mutter			
Festigkeitsklasse	Gewindebereich	Festigkeitsklasse	Gewindebereich		
			Typ 1	Typ 2	Typ 0,5 d
3.6 bis 12.9 reduzierte Belastbarkeit	$\leq M39$	04	–	–	–
		05	–	–	$< M39^{1)}$
3.6, 4.6, 4.8	$> M16$	4	$> M16$	–	–
3.6, 4.6, 4.8	$\leq M16$	5	$\leq M16^{1)}$	–	–
5.6, 5.8	$\leq M39$		$> M16 \leq M39$	–	–
6.8	$\leq M39$	6	$\leq M39$	–	–
08.8 reduzierte Belastbarkeit	$\leq M39$	8	$\leq M16$	$> M16 \leq M39$	–
			$> M16 \leq M39^{1)}$		
8.8	$\leq M39$	8	$\leq M16$	$> M16 \leq M39$	–
			$> M16 \leq M39^{1)}$		
9.8	$\leq M16$	9	–	$\leq M16$	–
10.9	$\leq M39$	10	$\leq M39^{1)}$	–	–
12.9	$\leq M39$	12	$\leq M16^{1)}$	$\leq M39^{1)}$	–

¹⁾ Vergüteter Werkstoff

Anmerkung

Im Allgemeinen können Muttern der höheren Festigkeitsklasse anstelle von Muttern der niedrigen Festigkeitsklasse verwendet werden. Dies ist ratsam für eine Schrauben-Mutter-Verbindung mit Belastungen oberhalb der Streckgrenze oder oberhalb der Prüfspannung.

Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur und Mindestwerte der 0,2%-Dehngrenze bei erhöhten Temperaturen

Auszug DIN EN 10269 (alt DIN 17240)

Werkstoffbezeichnung		Durchmesser d [mm]	Zugfestigkeit R _m [N/mm ²]	Bruchdehnung A _{min} [%]	Kerbschlagarbeit K _{Vmin} [J]	Mindestwerte der 0,2%-Dehngrenze R _{p0,2} [N/mm ²] bei einer Temperatur von [°C]						
Kurzname	Werkstoff-Nr.					20	100	200	300	400	500	600
Stähle vergütet												
C35E	1.1181	d ≤ 60	500 bis 650	22	55	300	270	229	192	173		
35B2	1.5511	d ≤ 60	500 bis 650	22	55	300	270	229	192	173		
25CrMo4	1.7218	d ≤ 100	600 bis 750	18	60	440	428	412	363	304	235	
42CrMo4	1.7225	d ≤ 60	860 bis 1060	14	50	730	702	640	562	475	375	
40CrMoV4-7	1.7711	d ≤ 100	850 bis 1000	14	30	700	670	631	593	554	470	293
X22CrMoV12-1	1.4923	d ≤ 160	800 bis 950	14	27	600	560	530	480	420	335	
X19CrMoNbVN11-1	1.4913	d ≤ 160	900 bis 1050	12	20	750	701	651	627	577	495	305
Austenitische Stähle kaltverfestigt												
X5CrNi18-10	1.4301	d ≤ 35	700 bis 850	20	80	350	155	127	110	98	92	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	d ≤ 35	700 bis 850	20	80	350	175	145	127	115	110	
X5NiCrTi26-5	1.4980	d ≤ 160	900 bis 1150	15	50	600	580	560	540	520	490	430

Anhaltswerte für die Dichte und den statischen Elastizitätsmodul

Auszug DIN EN 10269 (alt DIN 17240)

Werkstoffbezeichnung		Dichte ρ [kg/dm ³]	Statischer Elastizitätsmodul E [kN/mm ²] bei einer Temperatur von [°C]						
Kurzname	Werkstoff-Nr.		20	100	200	300	400	500	600
Stähle vergütet									
C35E	1.1181	7,85	211	204	196	186	177	164	127
40CrMoV4-7	1.7711								
X19CrMoNbVN11-1	1.4913	7,7	216	209	200	190	179	167	127
X22 CrMoV12-1	1.4923								
Austenitische Stähle kaltverfestigt									
X5CrNi18-10	1.4301	7,9	200	194	186	179	172	165	-
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	8,0							
X5NiCrTi26-15	1.4980	8,0	211 ¹⁾	206 ¹⁾	200 ¹⁾	192 ¹⁾	183 ¹⁾	173 ¹⁾	162 ¹⁾

¹⁾ Dynamischer Elastizitätsmodul

Anhaltswerte für den Wärmeausdehnungskoeffizient, die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität

Auszug DIN EN 10269 (alt DIN 17240)

Werkstoffbezeichnung		Wärmeausdehnungskoeffizient in 10 ⁻⁶ / K zwischen 20 °C und						Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C [w/(m · K)]	Spezifische Wärmekapazität bei 20 °C [J/(kg · K)]
Kurzname	Werkstoff-Nr.	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C		
Stähle vergütet									
C35E	1.1181	11,1	12,1	12,9	13,5	13,9	14,1	42	460
40CrMoV4-7	1.7711							33	
Austenitische Stähle kaltverfestigt									
X5CrNi18-10	1.4301	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	n. a.	15	500
X5CrNiMo17-12-2	1.4401								
X5NiCrTi26-15	1.4980	17,0	17,5	17,7	18,0	18,2	n. a.	n. a.	

n. a. = keine Werte verfügbar

Werkstoffübersicht für Anwendungstemperaturen über +300 °C

nach DIN 267, Teil 13

Werkstoffbezeichnung			Grenze der Anwendungstemperaturen im Dauerbetrieb
Kurzname	Werkstoff-Nr.	Kennzeichen	
C35E (N) ¹⁾	1.1181	Y	+350 °C
C35E (QT)	1.1181	YK	+350 °C ²⁾
35B2	1.5511	YB	+350 °C ²⁾
24CrMo5	1.7258	G	+400 °C
25CrMo4	1.7218	KG	+400 °C
42CrMo4	1.7225	GC	+500 °C
21CrMoV5-7	1.7709	GA	+540 °C
40CrMoV4-6	1.7711	GB	+520 °C
X22CrMoV12-1	1.4923	V ³⁾ , VH ⁴⁾	+580 °C
X19CrMoNbVN11-1	1.4913	VW	+580 °C
X7CrNiMoBNb16-16	1.4986	S	+650 °C
X6NiCrTiMoVB25-15-2	1.4980	SD	+650 °C
NiCr20TiAl	2.4952	SB	+700 °C

¹⁾ Nur für Muttern

²⁾ Für Muttern darf die übliche obere Grenze der Temperatur im Dauerbetrieb um 50 °C höher liegen.

³⁾ Kennzeichen V für Werkstoff mit 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2} \geq 600 \text{ N/mm}^2$

⁴⁾ VH mit 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2} \geq 700 \text{ N/mm}^2$

Werkstoffübersicht für Anwendungstemperaturen von -200 °C bis -10 °C

nach DIN 267, Teil 13

Werkstoffbezeichnung			Schrauben	Grenze der Anwendungstemperaturen im Dauerbetrieb
Kurzname	Werkstoff-Nr.	Kennzeichen		
25CrMo4	1.7218	KG		-60 °C
X12Ni5	1.5680	KB		-120 °C
X5CrNi18-10	1.4301	A2 ¹⁾		-200 °C
X4CrNi18-12	1.4303	A2 ¹⁾		-200 °C
X2CrNi18-9	1.4307	A2L ¹⁾		-200 °C
X6CrNiMoTi-17-12-2	1.4571	A5 ¹⁾	mit Kopf ²⁾ ohne Kopf ²⁾	-60 °C -200 °C
X2CrNi17-12-2	1.4404	A4L ¹⁾	mit Kopf ²⁾ ohne Kopf ²⁾	-60 °C -200 °C

¹⁾ Diesem Zeichen für austenitische Stahlsorten ist die Kennziffer für die gewünschte Festigkeitsklasse anzufügen, z. B. A2-70
Anwendungstemperaturen bis -200 °C für Schraubenfestigkeit 70/80, Mutterfestigkeit 80, kleinere Festigkeiten bis -60 °C

²⁾ Infolge des Molybdängehaltes ist unterhalb der angegebenen Temperatur nicht mehr mit einem homogenen austenitischen Mikrogefüge zu rechnen.

Hinweis

Bei den in der Tabelle angegebenen unteren Grenzen der Betriebstemperatur muss die Kerbschlagarbeit (K_V) der Werkstoffe mindestens 40 J betragen.

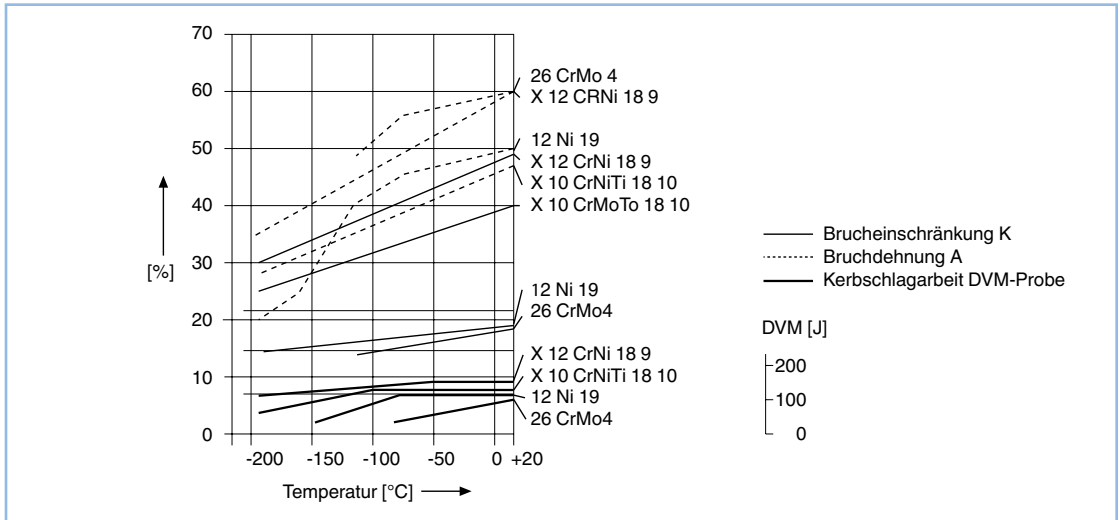
Zweckmässige Werkstoffpaarungen für Schrauben und Muttern

nach DIN 267, Teil 13

Werkstoff Schraube	Werkstoff Mutter
C35E (QT), 35B2	C35E (N), C35E (QT), 35B2
25CrMo4, 24CrMo5	C35E (QT), 35B2, 25CrMo4
21CrMoV5-7	25CrMo4, 21CrMoV5-7
40CrMoV47, 42CrMo4	21CrMoV5-7, 42CrMo4
X22CrMoV12-1	X22CrMoV12-1
X19CrMoNbVN11-1	X22CrMoV12-1
X7CrNiMoBNb16-16	X7CrNiMoBNb16-16
X6NiCrTiMoVB25-15-2	X6NiCrTiMoVB25-15-2
NiCr20TiAl	NiCr20TiAl

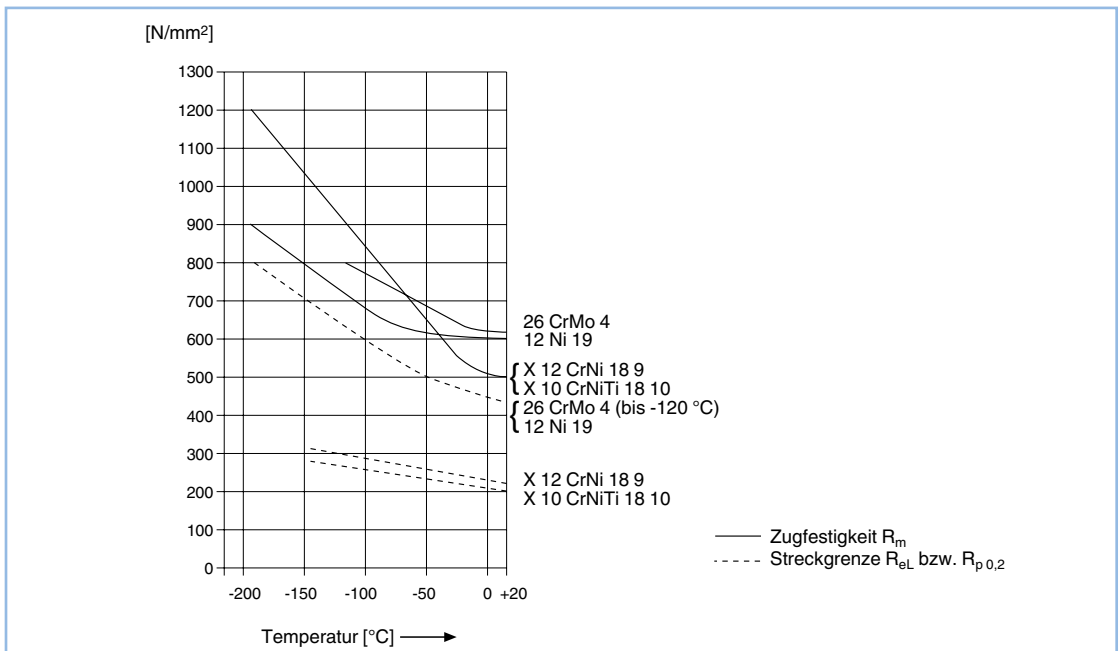
Zähigkeit kaltzäher Stähle bei tiefen Temperaturen

nach Herstellerangaben



Streckgrenze und Zugfestigkeit kaltzäher Stähle bei tiefen Temperaturen

nach Herstellerangaben



Elastische Verlängerungen von Schraubenverbindungen mit Dehnschaft

nach DIN 2510

Werkstoffübersicht
Seite T.017

Werkstoffe L [mm]	Elastische Verlängerung λ [mm] beim Vorspannen auf ca. 70% Streckgrenze unter Raumtemperatur							
	YK	G	GA	GB	V	VW	S	SB
E [10 ³ N/mm ²]	211	211	211	211	216	216	196	216
60	0,056	0,088	0,109	0,139	0,116	0,152	0,107	0,116
70	0,065	0,102	0,127	0,162	0,136	0,177	0,125	0,136
80	0,074	0,117	0,146	0,186	0,155	0,202	0,143	0,155
90	0,084	0,131	0,164	0,209	0,175	0,228	0,161	0,175
100	0,093	0,146	0,182	0,232	0,194	0,253	0,179	0,194
110	0,102	0,161	0,200	0,255	0,213	0,278	0,197	0,213
120	0,112	0,175	0,218	0,278	0,233	0,304	0,215	0,233
130	0,121	0,190	0,237	0,302	0,252	0,329	0,233	0,252
140	0,130	0,204	0,255	0,325	0,272	0,354	0,251	0,272
150	0,140	0,291	0,273	0,348	0,291	0,280	0,269	0,291
160	0,149	0,234	0,291	0,371	0,310	0,405	0,286	0,310
170	0,158	0,248	0,309	0,394	0,330	0,430	0,304	0,330
180	0,167	0,263	0,328	0,418	0,349	0,455	0,322	0,349
190	0,177	0,277	0,346	0,441	0,369	0,481	0,340	0,369
200	0,186	0,292	0,364	0,464	0,388	0,506	0,358	0,388
210	0,195	0,307	0,382	0,487	0,407	0,531	0,376	0,407
220	0,205	0,321	0,400	0,510	0,427	0,557	0,394	0,427
230	0,214	0,336	0,419	0,534	0,446	0,582	0,412	0,446
240	0,223	0,350	0,437	0,557	0,466	0,607	0,430	0,466
250	0,233	0,365	0,455	0,580	0,485	0,633	0,448	0,485
260	0,242	0,380	0,473	0,603	0,504	0,658	0,465	0,504
270	0,251	0,394	0,491	0,626	0,524	0,683	0,483	0,524
280	0,260	0,409	0,510	0,650	0,543	0,708	0,501	0,543
290	0,270	0,423	0,528	0,673	0,563	0,734	0,519	0,563
300	0,279	0,438	0,546	0,696	0,582	0,759	0,537	0,582

Berechnung

$$\lambda = \frac{F_V \cdot L}{E \cdot A} \quad [\text{mm}]$$

λ [mm] = Elastische Verlängerung
unter der Vorspannung F_V

F_V [N] = Schraubenvorspannkraft

E [N/mm²] = Elastizitätsmodul

A [mm²] = Querschnittfläche des Dehnschaftes

L [mm] = Dehnschaftlänge

darin entspricht:

$$0,7 \frac{F_V}{A} = 70\% \text{ von } R_{p,0,2}$$

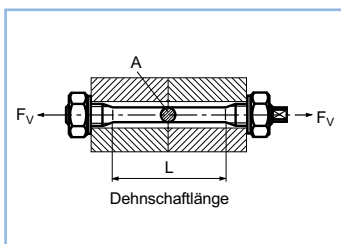
Beispiel

X8CrNiMoBNb16-16 = [S]
 $R_{p,0,2}$ = 500 N/mm²
 Dehnschaftlänge L = 220 mm

Elastische Verlängerung

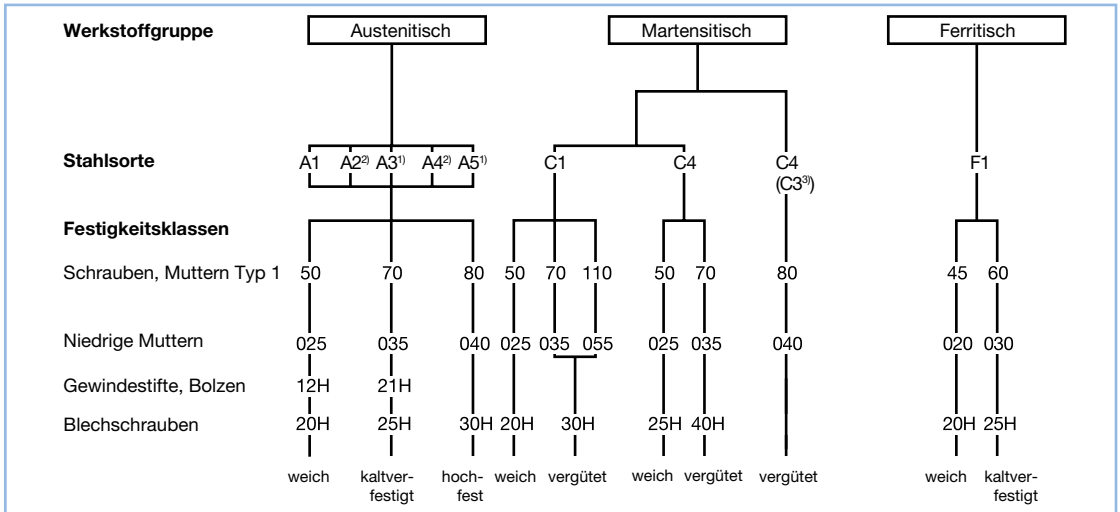
$$\lambda = 0,7 \cdot 500 \frac{220}{196000} = 0,394 \text{ mm}$$

Siehe Tabelle:
 Kolonne S bei L = 220 mm



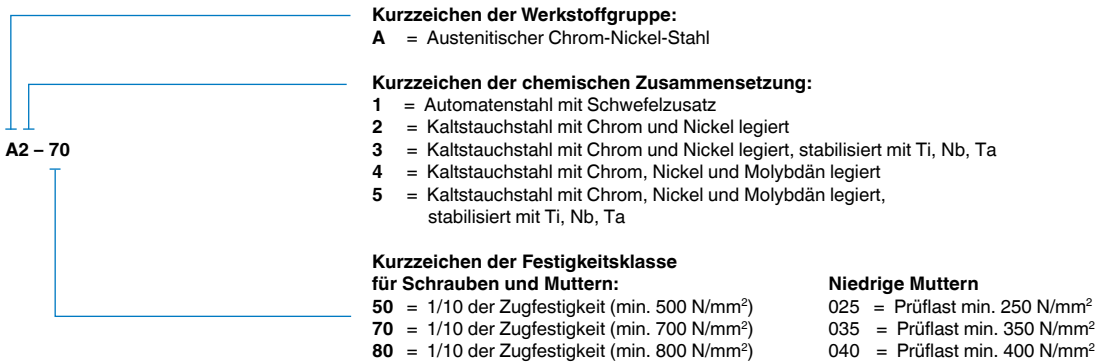
ISO-Stahlgruppen-Bezeichnung

nach ISO 3506



¹⁾ Stabilisiert gegen interkristalline Korrosion durch Zusätze von Titan oder evtl. Niob, Tantal.
²⁾ Niedriger Kohlenstoffgehalt (max. 0,03%) kann zusätzlich mit «L» gekennzeichnet werden, z.B. A4L-80.
³⁾ Für Blechschraben gilt die Stahlsorte C3.

Die Bezeichnung durch eine Buchstaben-Zahlen-Kombination bedeutet Folgendes:



Die Bezeichnung der Stahlsorte besteht aus folgenden Buchstaben:

- **A** für austenitischen Stahl Beispiel: **A2-70** Austenitischer Stahl, Stahlsorte A2, kaltverfestigt, Zugfestigkeit min. 700 N/mm²
- **C** für martensitischen Stahl **C4-70** Martensitischer Stahl, Stahlsorte C4 vergütet, Zugfestigkeit min. 700 N/mm²
- **F** für ferritischen Stahl

Die Festigkeitsklasse ist durch eine zweistellige Zahl definiert, die 1/10 der Zugfestigkeit bei Schrauben bzw. 1/10 der Prüfspannung bei Muttern angibt.

Werden Verbindungselemente über die Härteklasse klassifiziert, wird die Härteklasse mittels 2 Ziffern für 1/10 des Mindestwertes der Vickershärte angegeben. Der Buchstabe H verweist dabei auf die Härte.

Bezeichnungsbeispiel für eine Mindesthärte von 250 HV: **A4 25 H, austenitischer Stahl, kaltverfestigt**

Chemische Zusammensetzung austenitischer Stähle, INOX

nach ISO 3506

Über 97% aller Verbindungselemente aus rostbeständigen Stählen werden aus dieser Stahlgruppe gefertigt. Ausschlaggebend sind die hervorragende Korrosionsbeständigkeit und die ausgezeichneten mechanischen Eigenschaften.

Die austenitischen Stähle werden in 5 Hauptgruppen unterteilt, welche sich durch die folgende chemische Zusammensetzung unterscheiden:

Stahlgruppe	Chemische Zusammensetzung % (Höchstwerte, soweit nicht andere Angaben gemacht)									Fussnote
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	
A1	0,12	1,0	6,5	0,200	0,15-0,35	16-19	0,7	5-10	1,75-2,25	2) 3) 4)
A2	0,10	1,0	2,0	0,050	0,03	15-20	-	8-19	4	5) 6)
A3	0,08	1,0	2,0	0,045	0,03	17-19	-	9-12	1	1) 7)
A4	0,08	1,0	2,0	0,045	0,03	16-18,5	2-3	10-15	4	6) 8)
A5	0,08	1,0	2,0	0,045	0,03	16-18,5	2-3	10,5-14	1	1) 7) 8)

1) Stabilisiert gegen interkristalline Korrosion durch Zusätze von Titan oder evtl. Niob, Tantal.

2) Schwefel darf durch Selen ersetzt werden.

3) Falls der Massenanteil an Nickel unter 8% liegt, muss der Massenanteil an Mangan mindestens 5% betragen.

4) Für den Massenanteil an Kupfer gibt es keine Mindestgrenze, sofern der Massenanteil an Nickel mehr als 8% beträgt.

5) Falls der Massenanteil an Chrom unter 17% liegt, sollte der Massenanteil an Nickel mindestens 12% betragen.

6) Bei austenitischen nichtrostenden Stählen mit einem Massenanteil an Kohlenstoff von maximal 0,03% darf Stickstoff bis maximal 0,22% enthalten sein.

7) Muss zur Stabilisierung Titan $\geq 5 \times C$ bis maximal 0,8% enthalten und nach dieser Tabelle gekennzeichnet sein oder muss zur Stabilisierung Niob und/oder Tantal $\geq 10 \times C$ bis maximal 1% enthalten und nach dieser Tabelle gekennzeichnet sein.

8) Der Kohlenstoffgehalt darf nach Wahl des Herstellers höher liegen, soweit dies bei grösseren Durchmessern zum Erreichen der festgelegten mechanischen Eigenschaften erforderlich ist, jedoch bei austenitischen Stählen nicht über 0,12%.

Chemische Zusammensetzung rostbeständiger Stähle, INOX

Werkstoff-Nr.	Chemische Zusammensetzung, als Massenanteile in %								
	C	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Mo	Ni	Andere
Martensitische Stähle									
1.4006	0,08 bis 0,15	1,0	1,5	0,04	0,030	11,0 bis 13,5		max. 0,75	
1.4034	0,43 bis 0,50	1,0	1,0	0,04	0,030	12,5 bis 14,5			
1.4105	max. 0,08	1,0	1,5	0,04	0,035	16,0 bis 18,0	0,20 bis 0,60		
1.4110	0,48 bis 0,60	1,0	1,0	0,04	0,015	13,0 bis 15,0	0,50 bis 0,80		V max. 0,15
1.4116	0,45 bis 0,55	1,0	1,0	0,04	0,030	14,0 bis 15,0	0,50 bis 0,80		V 0,10 bis 0,20
1.4122	0,33 bis 0,45	1,0	1,5	0,04	0,030	15,5 bis 17,5	0,80 bis 1,30	max. 1,0	
Austenitische Stähle									
1.4301	max. 0,07	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0 bis 19,5		8,0 bis 10,5	N max. 0,11
1.4305	max. 0,10	1,0	2,0	0,045	0,15 bis 0,35	17,0 bis 19,0		8,0 bis 10,0	Cu max. 1,00 / N max. 0,11
1.4310	0,05 bis 0,15	2,0	2,0	0,045	0,015	16,0 bis 19,0	max. 0,80	6,0 bis 9,5	N max. 0,11
1.4401	max. 0,07	1,0	2,0	0,045	0,030	16,5 bis 18,5	2,00 bis 2,50	10,0 bis 13,0	
1.4435	max. 0,03	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0 bis 19,0	2,50 bis 3,00	12,5 bis 15,0	N max. 0,11
1.4439 ¹⁾	max. 0,03	1,0	2,0	0,045	0,025	16,5 bis 18,5	4,00 bis 5,00	12,5 bis 14,5	N 0,12 bis 0,22
1.4529 ¹⁾	max. 0,02	0,5	1,0	0,030	0,010	19,0 bis 21,0	6,00 bis 7,00	24,0 bis 26,0	N 0,15 bis 0,25 / Cu 0,5 bis 1,5
1.4539 ¹⁾	max. 0,02	0,7	2,0	0,030	0,010	19,0 bis 21,0	4,00 bis 5,00	24,0 bis 26,0	N max. 0,15 / Cu 1,2 bis 2,0
1.4462 ¹⁾	max. 0,03	1,0	2,0	0,035	0,015	21,0 bis 23,0	2,50 bis 3,50	4,5 bis 6,5	N 0,10 bis 0,22
1.4568	max. 0,09	0,7	1,0	0,040	0,015	16,0 bis 18,0		6,5 bis 7,8	Al 0,70 bis 1,50
1.4571	max. 0,08	1,0	2,0	0,045	0,030	16,5 bis 18,5	2,00 bis 2,50	10,5 bis 13,5	Ti 5xC ≤ 0,70

¹⁾ Austenitische nichtrostende Stähle mit besonderer Beständigkeit gegen chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion.

Die Gefahr eines Versagens der Schrauben durch chloridinduzierte Spannungsrisskorrosion (z. B. in Hallen-Schwimmbädern) kann durch Verwendung der in der Tabelle markierten Werkstoffe verringert werden.

Unterscheidungsmerkmale rostbeständiger Stähle, INOX

Werkstoffbezeichnung	A1	A2	A3	A4	A5
Werkstoff-Nr.	1.4300	1.4301	1.4541	1.4401	1.4436
	1.4305	1.4303	1.4590	1.4435	1.4571
		1.4306	1.4550	1.4439	1.4580
Eigenschaften	für die spanende Bearbeitung – bedingt rostbeständig – bedingt säurebeständig – bedingt schweisbar	Standardqualität – rostbeständig – säurebeständig – bedingt schweisbar		höchste Korrosionsbeständigkeit – rostbeständig – hoch säurebeständig – gut schweisbar	
	A3, A5 wie A2, A4 jedoch stabilisiert gegen interkristalline Korrosion nach dem Schweißen, nach einer Glühung oder beim Einsatz in hohen Temperaturen.				

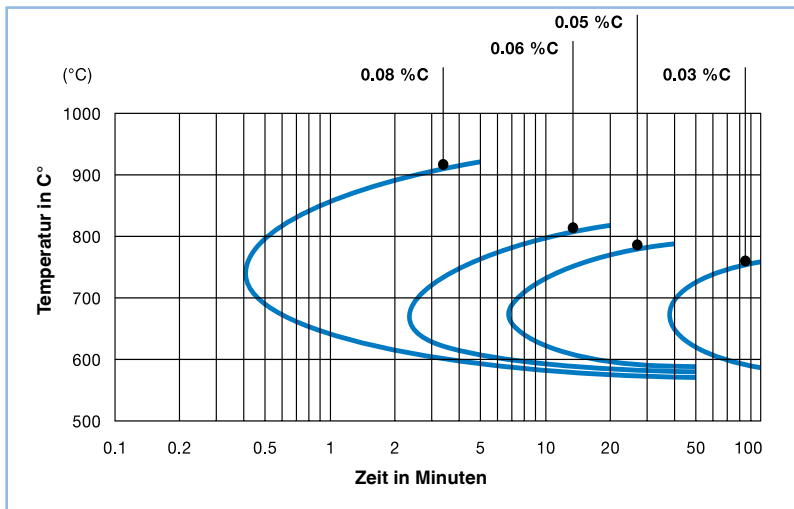
➤ Weitere Angaben über die chemische Beständigkeit der rost- und säurebeständigen Stähle
Seite T.023

Zeit-Temperatur-Schaubild der interkristallinen Korrosion in austenitischen nichtrostenden Stählen

Die Grafik gibt für austenitische nichtrostende Stähle, Sorte A2 (18/8-Stähle), mit unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten im Temperaturbereich zwischen 550 °C und 925 °C die ungefähre Zeit an, nach der die Gefahr einer interkristallinen Korrosion auftritt.

i Information

Mit einem niedrigeren Kohlenstoffgehalt wird die Beständigkeit gegen interkristalline Korrosion verbessert.



Chemische Beständigkeit

nach Herstellerangaben

Austenitische Stähle A1, A2, A4 erhalten ihre Korrosionsbeständigkeit durch eine oberflächenschützende Oxidschicht. Wird diese beschädigt, so bildet sie sich durch den Luftsauerstoff wieder neu. Wird der Zutritt des Sauerstoffs durch eine ungünstige Konstruktion oder eine Verschmutzung verhindert, werden auch diese Stähle korrodieren!

Faustregeln: A2 über Wasser, Binnenklima
A4 unter Wasser, Küstenklima
A1 Dieser Stahl enthält für eine gute Zerspanbarkeit kleine Anteile Schwefel. Seine Korrosionsbeständigkeit ist niedriger als bei A2.

Vermeiden Sie: Spalte, Trennfugen, Wassersäcke, schlechte Belüftung, Schmutzablagerung

Durch eine Beschichtung (kein Luftzutritt), eine chemische Schwärzung oder eine Aufräumung der Oberfläche kann die Korrosionsbeständigkeit vermindert werden.

Chlorhaltige Medien können unter bestimmten Bedingungen zu einer gefährlichen, von aussen oft schlecht sichtbaren interkristallinen Korrosion führen, deren Folge ein plötzliches Versagen des Stahlteiles sein kann.

Die Norm ISO 3506 definiert die rost- und säurebeständigen Stähle, enthält Angaben über die mechanischen Eigenschaften, die chemische Zusammensetzung und Hinweise zur Selektion des richtigen Stahles in Anwendungsbereichen von tiefen und höheren Temperaturen.

i Anhaltspunkte zur Korrosionsbeständigkeit

werden vorzugsweise aus Labor- und Praxisuntersuchungen ermittelt! Fragen Sie nach unserer Dienstleistung «**Bossard Analytik**».

! Achtung

- Martensitische Chrom-Stähle (z. B. 1.4110, 1.4116, 1.4122) werden üblicherweise für rostbeständige Sicherungsringe und Scheiben verwendet. Die Korrosionsbeständigkeit dieser Stähle ist niedriger als diejenige austenitischer Chrom-Nickel-Stähle.
- Neueste Erfahrungen zeigen, dass Spannungsrisikkorrosion möglich ist. Um dieses Risiko zu vermindern, kann die Tiefe der Nuten so gewählt werden, dass die montierten Ringe spannungsfrei sind. Ihre Tragfähigkeit kann dadurch vermindert werden.

Technische Argumente für den Einsatz von Verbindungselementen aus rostbeständigem austenitischem Chrom-Nickel-Stahl A1, A2, A4

Vorteile	Vermeidung möglicher Probleme
Blanke Oberfläche, gutes Aussehen	Rostige Schrauben vermitteln einen schlechten Eindruck. Der Kunde verliert das Vertrauen in das Produkt.
Sicherheit	Korrosion vermindert die Festigkeit und die Funktionstüchtigkeit der Verbindungselemente. Sie werden zu Schwachstellen.
Keine Rostfahnen	Weisse Kunststoffteile oder Textilien können durch abfärbenden Rotrost unbrauchbar werden.
Keine Gesundheitsrisiko	Verletzt man sich an rostigen Teilen, kann eine Blutvergiftung entstehen.
Lebensmitteltauglich	Verzinkte Stahlteile dürfen mit Lebensmitteln nicht in Berührung kommen.
Lutschfest	Kleinkinder dürfen nicht an verzinkten oder cadmierten Teilen lutschen.
Leicht zu reinigen, hygienisch	An blanken oder verzinkten Verbindungselementen bilden sich Korrosionsprodukte oder Ausblühungen, die schwer zu entfernen sind.
Austenitischer Chrom-Nickel-Stahl ist kaum magnetisch	Im Apparatebau oder in Messgeräten können magnetische Verbindungselemente zu Störungen führen. Magnetische Teile ziehen Eisenstaub an. Es entstehen zusätzliche Korrosionsprobleme.
Gute Temperaturbeständigkeit	Bei verzinkten, chromatierten Verbindungselementen wird oberhalb von 80 °C die Chromatierung zerstört. Die Korrosionsbeständigkeit nimmt drastisch ab.
Die Schrauben und Muttern sind blank und daher immer gängig	Wird bei galvanisch veredelten Schrauben die zulässige Schichtdicke überschritten, klemmen die Teile bei der Montage.
Keine Probleme bei Unterhaltsarbeiten	Rostige Schrauben oder Muttern lassen sich vielfach nicht mehr losdrehen. Zum Demontieren müssen die Verbindungselemente gewaltsam und mit viel Aufwand zerstört werden. Dabei werden oft auch die Bauteile beschädigt.
Umweltorientierter Einsatz von austenitischen Schraubenelementen in Holz	Bei verzinkten Schrauben führen Umwelteinflüsse mit der im Holz existierenden Gerbsäure zu einer chemischen Reaktion. Es entsteht eine grau-schwarze Färbung, die ins Holz eindringt und nicht mehr eliminiert werden kann. Auf Grund des zeitlich begrenzten Korrosionsschutzes und möglicher Spannungsrisikkorrosion wird vor dem Gebrauch von hochfesten martensitischen Verbindungselementen in Holz abgeraten. In allen korrosionsrelevanten Holzanwendungen empfiehlt sich der Einsatz von austenitischen Stählen.

Mechanische Eigenschaften für Verbindungselemente aus austenitischen Stahlsorten

nach ISO 3506

Schrauben

Stahlgruppe	Stahlsorte	Festigkeitsklasse	Durchmesserbereich	Zugfestigkeit	0,2 %-Dehngrenze	Bruchdehnung
				$R_{m \min}^{1)}$ [N/mm ²]	$R_{p0,2 \min}^{1)}$ [N/mm ²]	
Austenitisch	A1, A2	50	≤ M39	500	210	0,6 d
	A3, A4	70	≤ M24³⁾	700	450	0,4 d
	A5	80	≤ M24 ³⁾	800	600	0,3 d

¹⁾ Alle Werte sind berechnet und bezogen auf den Spannungsquerschnitt des Gewindes.

²⁾ Die Bruchdehnung ist an der ganzen Schraube zu bestimmen und nicht an abgedrehten Proben.

³⁾ Für Durchmesser über M24 müssen die Festigkeitswerte zwischen Besteller und Hersteller besonders vereinbart werden.

Muttern

Stahlgruppe	Stahlsorte	Festigkeitsklasse		Durchmesserbereich d [mm]	Prüfspannung $S_{P \min}$ [N/mm ²]	
		Muttern Typ 1 m ≥ 0,8 d	Niedrige Muttern 0,5 d ≤ m < 0,8 d		Muttern Typ 1 m ≥ 0,8 d	Niedrige Muttern 0,5 d ≤ m < 0,8 d
Austenitisch	A1, A2	50	025	≤ 39	500	250
	A3, A4	70	035	≤ 24³⁾	700	350
	A5	80	040	≤ 24 ³⁾	800	400

m = Mutterhöhe

d = Gewindedurchmesser

Die handelsübliche Qualität der Stahlsorten A2 und A4 liegt in der Festigkeitsklasse 70 (Zugfestigkeit 700 N/mm²) in den Durchmesserbereichen von M5 bis M24 und bei Längen bis 8 x Gewinde-Ø (8 x d).

Ein breites Lagersortiment steht Ihnen zur Verfügung.

Ein wirtschaftlicher Einsatz von Schrauben der Festigkeitsklasse 80 ist nur sinnvoll, wenn die Bauteile aus rostfreiem Stahl (hohe Festigkeit) gefertigt sind.

Mindestbruchdrehmomente $M_{B \min}$ für Schrauben aus austenitischem Stahl mit Gewinde M1,6 bis M16 Regalgewinde

nach ISO 3506

Gewinde	Mindest-Bruchdrehmoment $M_{B \min}$ [Nm]		
	Festigkeitsklasse		
	50	70	80
M1,6	0,15	0,2	0,24
M2	0,3	0,4	0,48
M2,5	0,6	0,9	0,96
M3	1,1	1,6	1,8
M4	2,7	3,8	4,3
M5	5,5	7,8	8,8
M6	9,3	13	15
M8	23	32	37
M10	46	65	74
M12	80	110	130
M16	210	290	330

Richtwerte der 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ bei höheren Temperaturen in %, ausgehend von den Raumtemperaturwerten

nach ISO 3506

Stahlsorte ¹⁾	0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$			
	+100 °C	+200 °C	+300 °C	+400 °C
A2, A4	85 %	80 %	75 %	70 %

¹⁾ Festigkeitsklassen 70 und 80

▶ Anwendbarkeit bei tiefen Temperaturen
Seite T.017

Kennzeichnung von Schrauben und Muttern

nach ISO 3506

Kennzeichnungspflicht

Schrauben und Muttern aus rostbeständigen, austenitischen Stählen müssen gekennzeichnet werden.

Vorsicht

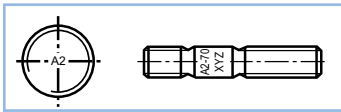
Nur nach Norm richtig gekennzeichnete Verbindungselemente erfüllen die gewünschten Anforderungen. Entgegen der Norm nicht gekennzeichnete Produkte entsprechen sehr oft nur den Festigkeitsklassen A2-50 oder A4-50.

Schrauben

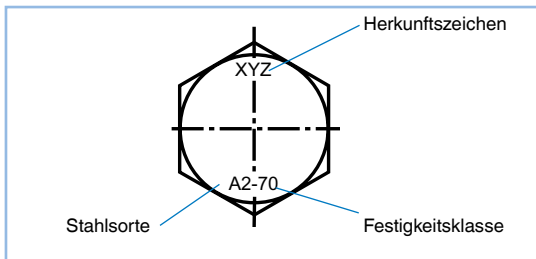
Sechskant-, Innensechskant- und Innensechsrundschrauben müssen ab Gewinde M5 gekennzeichnet sein. Die Kennzeichnung muss die Stahlgruppe, die Festigkeitsklasse sowie das Herkunftszeichen enthalten.

Stiftschrauben

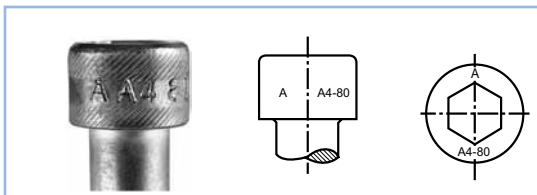
Stiftschrauben müssen ab Gewinde M6 am gewindefreien Teil mit der Stahlsorte, der Festigkeitsklasse und dem Herkunftszeichen gekennzeichnet sein. Falls eine Kennzeichnung am gewindefreien Teil nicht möglich ist, ist die Angabe der Stahlsorte allein auf der Kuppe des Mutterendes zulässig.



Sechskantschrauben

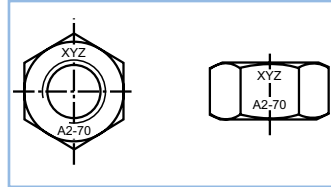


Zylinderschraube mit Innensechskant



Muttern

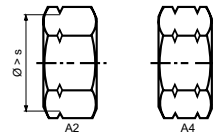
Muttern müssen ab Gewinde M5 mit der Stahlgruppe, der Festigkeitsklasse und dem Herkunftszeichen gekennzeichnet sein.



Sind die Muttern mit Rillen gekennzeichnet und ist die Festigkeitsklasse nicht angegeben, dann gilt die Festigkeitsklasse 50 bzw. 025.

Bestimmte Muttern erfüllen möglicherweise nicht die Anforderungen an die Prüfkräfte wegen des Feingewindes oder der Muttergeometrie. Solche Muttern dürfen mit der Stahlsorte gekennzeichnet werden, jedoch **nicht mit der Festigkeitsklasse**.

Alternative Rillenkennzeichnung (nur für die Stahlsorten A2 und A4)



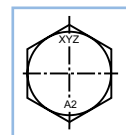
Weitere Kennzeichnungen

Andere Arten von Schrauben können, wo dies möglich ist, in gleicher Weise – jedoch nur auf dem Kopf – gekennzeichnet werden. Zusätzliche Kennzeichen dürfen angebracht werden, sofern dies nicht zu Verwechslungen führt.

Schrauben, die aufgrund ihrer Geometrie die Anforderungen an die Zug- oder Torsionsfestigkeit nicht erfüllen, dürfen mit der Stahlsorte gekennzeichnet werden, **ohne Festigkeitsklasse**.

Hinweis

Zukünftige Kennzeichnungen können analog der ISO 898 durch die „ergänzende Zahl 0“ umgesetzt sein (z. B. A2-070).



Nichteisenmetalle

Eigenschaften von Schrauben und Muttern aus Aluminiumlegierungen

Auswahl nach Herstellerangaben

Tabellenwerte für: Dichte = 2,8 kg/dm³, Wärmeausdehnungskoeffizient = 23,6 · 10⁻⁶ · K⁻¹, E-Modul = 70 000 N/mm²

Werkstoff-Bezeichnung EN AW-	Werkstoff-Nr. EN AW-	Alte DIN-Bezeichnung		Fertigungszustand der Schrauben/Muttern		R _{p0,2} [N/mm ²]	R _m [N/mm ²]	A ₅ %	Eignung für
		Werkstoff-Nr.	nach EN 28839						
Al Mg5	5019	3.3555	AL 2	weich kaltverfestigt	< M14 M14/M20	205 200	310 280	6 6	sehr gute Korrosionsbeständigkeit, geringe Festigkeit
Al Si1 Mg Mn	6082	3.2315	AL 3	ausgehärtet T6	< M6 M6/M20	260 250	320 310	7 10	sehr gute Korrosionsbeständigkeit, geringe Festigkeit
Al Mg1 Si 0,8 Cu Mn	6013	-	-	ausgehärtet T8	< M20	370	400	10	noch gute Korrosionsbeständigkeit, hohe Festigkeit
Al Cu4 Mg Si	2017 A	3.1325	AL 4	ausgehärtet T6 (F 42)	< M20	290	420	6	hochfeste Befestigungen, aber geringste Korrosionsbeständigkeit ¹⁾
Al Zn6 Cu Mg Zr	7050	3.4144	-	ausgehärtet T73 (F 50)	< M30	400	500	6	hochfeste Befestigungen, aber geringste Korrosionsbeständigkeit
Al Zn5,5 Mg Cu	7075	3.4365	AL 6	ausgehärtet T73 (F 51)	< M30	440	510	6	

¹⁾ Spannungsrisskorrosionsempfindlichkeit aufgrund des hohen Cu-Gehaltes

Eigenschaften von Schrauben und Muttern aus Kupferlegierungen

Auswahl nach Herstellerangaben

Werkstoff-Bezeichnung	Werkstoff-Nr.	Bez. nach EN 28839	Gefügezustand	Dichte ρ	Elektrische Leitfähigkeit m	Wärmeausdehnungskoeffizient a 30/100 °C	Mechanische Eigenschaften bei 20 °C				Einsatz für
							F = R _m /10	[kg/dm ³]	[Ω · mm ²]	[mm/mm·K]	
E-Cu 58 OF-Cu	2.0065	Cu 1	F20 weich	8,94	58,0	17,0 · 10 ⁻⁶	< 150	200/270	40	110 000	Teile mit hoher elektrischer Leitfähigkeit
	2.0040		F20 ¹⁾		56,0		< 320	> 350	7		
CuZn 37 (Messing)	2.0321 · 10	Cu 2	F29 weich	8,44	15,5	20,2 · 10 ⁻⁶	< 250	> 290	45	110 000	übliche Befestigungen
	2.0321 · 26		F37 ¹⁾				> 250	> 370	27		
CuNi12 Zn24 (Neusilber)	2.0730 · 10	-	F34 weich	8,67	4,4	18,0 · 10 ⁻⁶	< 290	330/440	40	125 000	sehr gute Korrosionsbeständigkeit, silberfarben
	2.0730 · 30		F54 weich				> 440	540/640	8		
CuNi1,5Si CuNi3Si	2.0853 · 73	Cu 5	ausgehärtet	8,8	> 18,0	16,0 · 10 ⁻⁶	> 540	> 540	12	140 000	hochfeste, elektrisch gut leitende Befestigungen
	2.0857 · 73		ausgehärtet		> 15,0		> 780	> 830	10		
CuBe2	2.124 · 75	-	ausgehärtet	8,3	~10	16,7 · 10 ⁻⁶	1050/ 1400	1200/ 1500	2	125 000	hochfeste Befestigung, Korrosionsbeständigkeit, gute elektrische Leitfähigkeit

¹⁾ kaltverfestigt

Mindestbruchdrehmomente für Schrauben bis M5

nach ISO 8839

Gewinde Nenn-Ø	Mindest-Bruchdrehmomente ¹⁾ [Nm] für Werkstoffe										
	CU1	CU2	CU3	CU4	CU5	AL1	AL2	AL3	AL4	AL5	AL6
M1,6	0,06	0,10	0,10	0,11	0,14	0,06	0,07	0,08	0,1	0,11	0,12
M2	0,12	0,21	0,21	0,23	0,28	0,13	0,15	0,16	0,2	0,22	0,25
M2,5	0,24	0,45	0,45	0,5	0,6	0,27	0,3	0,3	0,43	0,47	0,5
M3	0,4	0,8	0,8	0,9	1,1	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9
M3,5	0,7	1,3	1,3	1,4	1,7	0,8	0,9	0,9	1,2	1,3	1,5
M4	1	1,9	1,9	2	2,5	1,1	1,3	1,4	1,8	1,9	2,2
M5	2,1	3,8	3,8	4,1	5,1	2,4	2,7	2,8	3,7	4	4,5

¹⁾ der Torsionsversuch ist nach ISO 898-7 durchzuführen

Sonderwerkstoffe

Werkstoffbezeichnung Werkstoff-Nr.	Beschreibung und Anwendungsbereich nach Herstellerangaben
Hastelloy® B B-2 2.4617 B-3 2.4600	Hochkorrosionsbeständige Nickel-Molybdän-Legierung mit ausgezeichneter Beständigkeit gegen reduzierende Medien, besonders gegen Salzsäure aller Konzentrationen bis zum Siedepunkt, feuchtes Chlorwassergas, Schwefel- und Phosphorsäure, alkalische Lösungen. Ausreichend beständig bei oxidierenden und reduzierenden Gasen bis 800 °C. Nicht empfohlen für stark oxidierende Agenzien, Eisen- und Kupfersalze (siehe Hastelloy C). Anwendung: Bauteile, die starker chemische Beanspruchung ausgesetzt sind, Turbolader.
Hastelloy® C C-4 2.4610 C-22 2.4602 C-276 2.4819 C-2000 2.4675	Hochkorrosionsbeständige Nickel-Chrom-Molybdän-Legierung mit besonders hoher Beständigkeit gegen aggressive, oxidierende und reduzierende Medien, beispielsweise Bleichlösungen, die freies Chlor enthalten, Chloriten, Hypochloriten, Schwefel- und Phosphorsäure, organische Säuren wie Essig- und Ameisensäure, Lösungen von Nitraten, Sulfaten und Sulfiten, Chloriden und Chloraten, Chromaten sowie Cyanverbindungen. Anwendung: Bauteile, die starker chemischer Beanspruchung ausgesetzt sind, in chemischen Verfahren und Anlagen, Abgasreinigungssysteme, bei der Faser- und Papierherstellung, Müllentsorgung etc.
Hastelloy® G G-3 2.4619 G-30 2.4603	Nickel-Chrom-Eisen-Legierung mit ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit in oxidierenden Medien. Anwendung: In der chemischen Verfahrenstechnik, besonders geeignet für die Herstellung von Phosphor- und Salpetersäure.
Inconel® 600 2.4816 601 2.4851 625 2.4856 718 2.4688	Nickel-Chrom-Legierung mit guten technologischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen bis über 1000 °C und ausgezeichneter Oxidationsbeständigkeit. Widersteht auch der Korrosion durch ätzende Stoffe. Anwendung: Wärmebehandlungsanlagen, Kernenergie-technik, Gasturbinen, Auskleidungen, Ventilatoren und Gebläse, chemische Industrie etc.
Monel® 400 2.4360 K-500 2.4375	Nickel-Kupfer-Legierung mit hoher Festigkeit und Zähigkeit über grosse Temperaturbereiche. Ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit gegenüber Salzwasser und einer Vielzahl von Säuren und alkalischen Lösungen. Auch für Press- und Schmiedeteile geeignet. Anwendung: Ventile, Pumpen, Befestigungselemente, mechanisch beanspruchte Bauteile mit Meerwasser-Beaufschlagung etc.
Nimonic® 75 2.4951 80A 2.4952 90 2.4969 105 2.4634	Die Nickelbasis-Chrom-Werkstoffe sind Legierungen mit besonders hoher Zeitstandfestigkeit und Oxidationsbeständigkeit. Für hohe mechanische Beanspruchung bei Temperaturen bis 1000 °C. Aufgrund verschiedenster Ausscheidungswärmebehandlungen lassen sich Relaxations- und Kriechverhalten steuern. Anwendung: Rotierende Bauteile bei hohen Temperaturen, Federn, Befestigungselemente, Brennkammer-Bauteile
Titan Gr. 1 3.7025 Gr. 2 3.7035 Gr. 3 3.7055 Gr. 4 3.7065	Reaktiver Werkstoff mit hoher Festigkeit bezogen auf die geringe Dichte. Hervorragende Korrosionsbeständigkeit in chloridhaltigen, oxidierenden Medien. Anwendung: Bauteile für gewichtsparende Konstruktion mit hoher Festigkeit, stark oxidierende Beanspruchung, besonders in Gegenwart von Chloriden. Chemische Industrie, Meerwasserentsalzung, Kraftwerktechnik, Medizintechnik etc.
Titan Gr.5 3.7164/ 3.7165	Titanlegierung mit einer hohen spezifischen Festigkeit. Anwendung: Bauteile für die Luft- und Raumfahrt, chemische Prozesstechnik, rotierende Bauteile, Befestigungselemente, Fahrzeugtechnik etc.
Titan Gr. 7 3.7235 Gr. 11 3.7225	Reintitan mit Palladium legiert. Erhöhte Korrosionsbeständigkeit vor allem gegenüber feuchten chloridhaltigen Medien. Grade 11 verfügt über erhöhte Verformungseigenschaften. Anwendung: Chemische und petrochemische Anlagen, Gehäuse etc.

Thermoplaste

Richtwerte physikalischer Eigenschaften nach Herstellerangaben

Mechanische Eigenschaften

Werkstoff-Kurzzeichen DIN 7728	Dichte [g/cm ³] DIN 53479	Zugfestigkeit [N/mm ²] DIN 53455	Reissdehnung % DIN 53455	Zug E-Modul [N/mm ²] DIN 53457	Kugeldruckhärte 10-sec Wert [N/mm ²] DIN 53456	Schlagzähigkeit [kJ/m ²] DIN 53453	Kerbschlagzähigkeit [kJ/m ²] DIN 53453
PE-HD	0,94/0,96	18/35	100/1 000	700/1 400	40/65	ohne Bruch	ohne Bruch
PE-LD	0,914/0,928	8/23	300/1 000	200/500	13/20	ohne Bruch	ohne Bruch
PP	0,90/0,907	21/37	20/800	1 100/1 300	36/70	ohne Bruch	3/17
POM	1,41/1,42	62/70	25/70	2 800/3200	150/170	100	8
PA 6	1,13	70/85	200/300	1 400	75	ohne Bruch	ohne Bruch
PA 66	1,14	77/84	150/300	2 000	100	ohne Bruch	15/20

Elektrische Eigenschaften

Werkstoff-Kurzzeichen DIN 7728	spez. Durchgangswiderstand [Ω cm] DIN 53482	Oberflächenwiderstand [Ω] DIN 53482	Dielektrizitätszahl DIN 53483		dielekt. Verlustfaktor tan δ DIN 53483		Durchschlagfestigkeit		Kriechstromfestigkeit DIN 53480 Stufe	
			50 Hz	10 ⁶ Hz	50 Hz	10 ⁶ Hz	[kV/25 μm] ASTM D 149	[kV/cm] DIN 53481	KA	KB/KC
PE-HD	> 10 ¹⁷	10 ¹⁴	2,35	2,34	2,4 · 10 ⁻⁴	2,0 · 10 ⁻⁴	> 700	–	3 c	> 600
PE-LD	> 10 ¹⁷	10 ¹⁴	2,29	2,28	1,5 · 10 ⁻⁴	0,8 · 10 ⁻⁴	> 700	–	3 b	> 600
PP	> 10 ¹⁷	10 ¹⁵	2,27	2,25	< 4 · 10 ⁻⁴	< 5 · 10 ⁻⁴	800	500/650	3 c	> 600
POM	> 10 ¹⁵	10 ¹⁵	3,7	3,7	0,005	0,005	700	380/500	3 b	> 600
PA 6	10 ¹²	10 ¹⁰	3,8	3,4	0,01	0,03	350	400	3 b	> 600
PA 66	10 ¹²	10 ¹⁰	8,0	4,0	0,14	0,08	400	600	3 b	> 600

Thermische Eigenschaften

Werkstoff-Kurzzeichen DIN 7728	Gebrauchstemperatur °C			Formbeständigkeit °C		linearer Ausdehnungskoeffizient K ⁻¹ · 10 ⁻⁶	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	spezifische Wärme [kJ/kg K]
	max. kurzzeitig	max. dauernd	min. dauernd	VSP (Vicat 5 kg) DIN 53460	ASTM D 648 1,86/0,45 [N/mm ²]			
PE-HD	90/120	70/80	–50	60/70	50	200	0,38/0,51	2,1/2,7
PE-LD	80/90	60/75	–50	–	35	250	0,32/0,40	2,1/2,5
PP	140	100	0/–30	85/100	45/120	150	0,17/0,22	2,0
POM	110/140	90/110	–60	160/173	110/170	90/110	0,25/0,30	1,46
PA 6	140/180	80/100	–30	180	80/190	80	0,29	1,7
PA 66	170/200	80/120	–30	200	105/200	80	0,23	1,7

Kurzzeichen Bedeutung

PE-HD	Polyethylen hoher Dichte
PE-LD	Polyethylen niedriger Dichte
PP	Polypropylen
POM	Polymethylen, Polyacetal
PA 6	Polyamid 6
PA 66	Polyamid 6.6

! Hinweise für Schrauben aus thermoplastischen Kunststoffen

- Mechanische und physikalische Eigenschaften, insbesondere Zugfestigkeit und Vorspannkraft sowie Farbgebung, Toleranzen der Gewindedepartie und Kopfgeometrie unterliegen klimatischen Bedingungen. Richtwerte für Toleranzen, Hinweise und Montagemomente sind DIN 34810, ISO 4759-1 zu entnehmen.
- Vorspannkraften können durch Spannungsrelaxation abfallen. Hinweise für Konstruktion und Auslegung sind in Anlehnung an VDI 2544 zu verfolgen.

Beständigkeit gegen den Angriff durch Chemikalien

Werkstoff-Kurzzeichen	Chemikalien																				Wasser- aufnahme, % ASTM D 570				
	Wasser, kalt	Wasser, heiss	Säuren, schwach	Säuren, stark	oxidierende Säuren	Flusssäure	Laugen, schwach	Laugen, stark	Lösungen anorg. Salze	Halogene, trocken	aliphatische KW	chlorierte KW	Alkohole	Ester	Ketone	Ether	Aldehyde	Amine	organische Säuren	aromatische KW		Kraftstoffe	Mineralöl	Fette, Öle	ungesättigte, chlorfreie KW
PE-HD	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	< 0,01
PE-LD	●	○	●	●	○	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	< 0,01
PP	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	0,01 bis 0,03
POM	●	●	○	○	○	○	●	●	●	○	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	0,22 bis 0,25
PA 6	●	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	1,3 bis 1,9

● beständig ● bedingt beständig ○ unbeständig

Kurzzeichen Bedeutung

PE-HD Polyethylen hoher Dichte
 PE-LD Polyethylen niedriger Dichte
 PP Polypropylen
 POM Polymethylen, Polyacetal
 PA 6 Polyamid 6

Elastomere

Brennbarkeit

Materialkurzzeichen nach ISO 1629	CR	FPM	NBR	EPDM	TPE	
Name	Chloropren-Kautschuk	Fluor-Kautschuk	Nitril-Butadien-Kautschuk	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk	Thermoplastisches Elastomer	
Brennbarkeit nach	UL 94 - V2	UL 94 - V2	UL 94 HB	UL 94 HB	UL 94 HB	
Einsatztemperatur ¹⁾	min.	-30 °C	-20 °C	-30 °C	-30 °C	
	max.	dauernd	+100 °C	+200 °C	+120 °C	+130 °C
		kurzzeitig	+120 °C	+280 °C	+150 °C	+170 °C

¹⁾ Die Minuswerte beim Temperatureinsatzbereich gelten nur für Teile im Ruhezustand ohne Schlagbeanspruchung.

Chemische Beständigkeit²⁾

Materialkurzzeichen nach ISO 1629	CR	FPM	NBR	EPDM	TPE
Name	Chloropren-Kautschuk	Fluor-Kautschuk	Nitril-Butadien-Kautschuk	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk	Thermoplastisches Elastomer
Alkohol	A	A	A	A	A
Benzin	C	A	A	C	B
Diesel	C	A	A	C	B
Mineralöl	B	A	A	B	B
Tierische und pflanzliche Fette	B	A	A	B	A
schwache Laugen	A	B	B	A	A
starke Laugen	B	C	C	A	B
schwache Säuren	B	A	B	A	A
starke Säuren	C	A	C	A	A
Wasser	C	A	C	A	A
Ozon	C	A	C	A	A

²⁾ Alle Werte beziehen sich auf Angaben der Rohstoffhersteller, eine Gewähr unsererseits kann deshalb nicht übernommen werden. Diese Angaben sind als Richtwerte anzusehen. Eine konkrete Aussage kann nur anhand des jeweils vorliegenden Anwendungsfalls gemacht werden. So kann z. B. ein Präzisionsteil schon aufgrund geringfügiger Volumenänderung versagen. Andererseits können aggressive Medien bei kurzzeitigem Kontakt als Reinigungsmittel durchaus verwendet werden.

- A Sehr gute chemische Beständigkeit, ständige Einwirkung des Mediums verursacht innerhalb von 30 Tagen keine Schädigung des Materials. Das Material kann über Jahre resistent bleiben.
- B Gute bis bedingte chemische Beständigkeit, ständige Einwirkung des Mediums verursacht innerhalb des 7. bis 30. Tages geringfügige Schädigungen, die zum Teil reversibel sind (Quellen, Erweichen, Nachlassen der mechanischen Festigkeit, Verfärben).
- C Geringe chemische Beständigkeit, nicht für ständige Einwirkung des Mediums geeignet. Schädigungen können sofort eintreten (Nachlassen der mechanischen Festigkeit, Deformation, Verfärbung, Risse, Auflösung).

Chemische Inhaltsstoffe

Materialkurzzeichen nach ISO 1629	CR	FPM	NBR	EPDM	TPE
Name	Chloropren-Kautschuk	Fluor-Kautschuk	Nitril-Butadien-Kautschuk	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk	Thermoplastisches Elastomer
halogenfrei	-	-	ja	ja	ja
phosphatfrei	ja	ja	ja	ja	ja
silikonfrei	ja	ja	ja	ja	ja

Galvanische Verfahren

Verbindungselemente mit galvanischen Überzügen

nach ISO 4042

Verzinken – Passivieren. Das Verzinken mit anschließendem Chromatieren hat sich bei Verbindungselementen bezüglich Korrosionsbeständigkeit wie auch im Aussehen sehr gut bewährt. Wir können Ihnen ein umfangreiches und gut assortiertes Lager-sortiment anbieten.

Passivieren (Chromatieren) erfolgt unmittelbar nach dem Verzinken durch kurzes Eintauchen in Chromsäurelösungen. Der Chromatierungsprozess erhöht den Korrosionsschutz und verhindert Anlaufen und Verfärben der Zinkschicht. Die Schutzwirkung der Chromatschicht ist je nach Verfahrensgruppe unterschiedlich (siehe Tabelle!).

Neue Prozessentwicklungen mit Chrom(VI)-freien Überzügen gleicher oder ähnlicher Schutzwirkung wurden auf Grund der EU-Richtlinien 2000/53/EG (ELV) und 2002/95/EG (RoHS) durch Umweltauflagen vorangetrieben. Für den Korrosionsschutz von Verbindungselementen waren bisher galvanische Zinküberzüge (ISO 4042) mit einer Chromatierung auf Basis von Chrom (VI) üblich. Die neuen Oberflächenbehandlungen mit Chrom(VI)-freien Systemen (Passivieren) erfordern in der Regel eine aufwändigere Prozessführung und – wo notwendig – zusätzliche Deckschichten, da der «Selbsteheilungseffekt» fehlt. Langzeiterfahrungen unter Betriebsbedingungen fehlen weitgehend und werden durch spezifische Randbedingungen wie Handling, Transport sowie Zuführeinrichtungen zusätzlich beeinflusst. Somit ist durch Umstellung auf die unterschiedlichen Betriebsbedingungen in der Praxis eine Überprüfung zu empfehlen.

Verfahrensgruppen beim Chromatieren von galvanischen Zinküberzügen

Schutzwirkung von Zinküberzügen mit Chromatierung unter den Bedingungen der Salzsprühnebelprüfung nach ISO 9227 (DIN 50021 SS)

Verfahrensgruppe	Bezeichnung der Chromatierung	Chromatschicht Eigenfarbe	Nennschichtdicke µm	Zeit bis zum ersten Erscheinen von	
				Weissrost h	Rotrost h
Farblos-Passivierung	A	transparent	3	2	12
			5	6	24
			8	6	48
Blau-Passivierung	B	transparent mit blauer Tönung (Standard)	3	6	12
			5	12	36
			8	24	72
Gelb-Chromatierung	C	gelblich schimmernd bis gelbbraun irisierend	3	24	24
			5	48	72
			8	72	120
Oliv-Chromatierung	D	olivgrün bis olivbraun (selten)	3	24	24
			5	72	96
			8	96	144
Schwarz-Chromatierung ¹⁾	BK	braunschwarz bis schwarz (dekorativ)	3	–	–
			5	12	–
			8	24	72

¹⁾ An den Kanten, Kreuzschlitzrändern etc. ist wegen des Trommelverfahrens praktisch immer mit einem Abrieb der schwarzen Chromatschicht und einer örtlichen Sichtbarkeit der darunterliegenden hellen Zinkschicht zu rechnen.

I Verminderung der Gefahr von Wasserstoffversprödung (ISO 4042)

Bei galvanisch veredelten Verbindungselementen aus Stählen mit Zugfestigkeiten $R_m \geq 1\,000\text{ N/mm}^2$, entsprechend $\geq 320\text{ HV}$, die unter Zugspannung stehen, besteht die Gefahr des Versagens durch Wasserstoffversprödung.

Eine Wärmebehandlung (Tempern) der Teile, z. B. nach dem Säurebeizen oder nach der Metallbeschichtung, senkt die Bruchgefahr. Eine vollständige Beseitigung der Wasserstoffversprödungsgefahr kann nicht garantiert werden. Wenn das Risiko einer Wasserstoffversprödung verringert werden muss, sollten andere Beschichtungsverfahren in Erwägung gezogen werden.

Für sicherheitsbestimmende Teile sollten daher alternative Korrosionsschutz- oder Beschichtungsverfahren gewählt werden, z. B. anorganische Zinkbeschichtung, mechanische Verzinkung oder ein Übergang auf rost- und säurebeständige Stähle.

Verbindungselemente in Festigkeitsklassen ≥ 10.9 ($\geq 320\text{ HV}$) werden, wo fabrikationstechnisch möglich, mit einer anorganischen Zinkbeschichtung oder mechanisch verzinkt ausgeführt. Der Anwender der Verbindungselemente kennt den Einsatzzweck und die Anforderungen und muss die entsprechende Oberflächenbehandlung spezifizieren!

Obergrenze der Schichtdicken für metrische ISO-Gewinde

nach ISO 4042

Gewindesteigung P	Gewinde-nenn-durchmesser ¹⁾ d1	Innengewinde		Aussengewinde					Toleranzlage f					Toleranzlage e			
		Toleranzlage G		Toleranzlage g		Toleranzlage f			Toleranzlage e		Toleranzlage f		Toleranzlage e				
		Grund-abmass	Schicht-dicke	Grund-abmass	Nennschichtdicke			Grund-abmass	Nennschichtdicke			Grund-abmass	Nennschichtdicke				
					max. ²⁾	max. ³⁾			max. ²⁾	max. ³⁾			max. ²⁾	max. ³⁾			
[mm]	[mm]	[µm]	max. [µm]	[µm]	Alle Nenn-längen	Nennlänge l kleiner gleich		[µm]	Alle Nenn-längen	Nennlänge l kleiner gleich		[µm]	Alle Nenn-längen	Nennlänge l kleiner gleich			
					5d	10d	15d		5d	10d	15d		5d	10d	15d		
0,2	-	+17	3	-17	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,25	1, 1,2	+18	3	-18	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,3	1,4	+18	3	-18	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,35	1,6 (1,8)	+19	3	-19	3	3	3	3	-34	8	8	5	5	-	-	-	
0,4	2	+19	3	-19	3	3	3	3	-34	8	8	5	5	-	-	-	
0,45	2,5 (2,2)	+20	5	-20	5	5	3	3	-35	8	8	5	5	-	-	-	
0,5	3	+20	5	-20	5	5	3	3	-36	8	8	5	5	-50	12	12	
0,6	3,5	+21	5	-21	5	5	3	3	-36	8	8	5	5	-53	12	12	
0,7	4	+22	5	-22	5	5	3	3	-38	8	8	5	5	-56	12	12	
0,75	4,5	+22	5	-22	5	5	3	3	-38	8	8	5	5	-56	12	12	
0,8	5	+24	5	-24	5	5	3	3	-38	8	8	5	5	-60	15	15	
1	6 (7)	+26	5	-26	5	5	3	3	-40	10	10	8	5	-60	15	15	
1,25	8	+28	5	-28	5	5	3	3	-42	10	10	8	5	-63	15	15	
1,5	10	+32	8	-32	8	8	5	5	-45	10	10	8	5	-67	15	15	
1,75	12	+34	8	-34	8	8	5	5	-48	12	12	8	8	-71	15	15	
2	16 (14)	+38	8	-38	8	8	5	5	-52	12	12	10	8	-71	15	15	
2,5	20 (18; 22)	+42	10	-42	10	10	8	8	-58	12	12	10	8	-80	20	20	
3	24 (27)	+48	12	-48	12	12	8	8	-63	15	15	12	10	-85	20	20	
3,5	30 (33)	+53	12	-53	12	12	10	8	-70	15	15	12	10	-90	20	20	
4	36 (39)	+60	15	-60	15	15	12	10	-75	15	15	15	12	-95	20	20	
4,5	42 (45)	+63	15	-63	15	15	12	10	-80	20	20	15	12	-100	25	25	
5	48 (52)	+71	15	-71	15	15	12	10	-85	20	20	15	12	-106	25	25	
5,5	56 (60)	+75	15	-75	15	15	15	12	-90	20	20	15	15	-112	25	25	
6	64	+80	20	-80	20	20	15	12	-95	20	20	15	15	-118	25	25	

¹⁾ Die Angabe der Regelgewindedurchmesser ist nur zur Information. Die entscheidende Grösse ist die Gewindesteigung.

²⁾ Grösstwerte der Nennschichtdicke, wenn die Messung der örtlichen Schichtdicke vereinbart wurde.

³⁾ Grösstwerte der Nennschichtdicke, wenn die Messung der mittleren Schichtdicke des Loses vereinbart wurde.

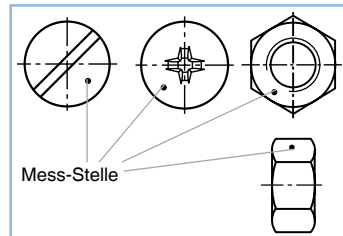
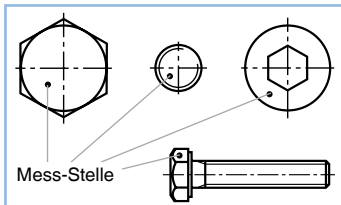
Wird vom Besteller keine Schichtdicke vorgeschrieben, so gilt die kleinste. Diese ist zugleich die handelsübliche Schichtdicke.

Bei sehr langen oder dünnen Gewindeteilen (≤ M4) können durch die galvanisch bedingte, ungleichmässige Schichtdickenverteilung Probleme mit der Gewindegängigkeit entstehen.
Lösungsmöglichkeit: chemische Vernickelung oder Teile aus rost- und säurebeständigem Stahl der austenistischen Gruppe A2/A4!

1 Schraubengewinde werden grundsätzlich in Toleranzlage 6g gefertigt.

Toleranzlagen e und f sind unüblich und verlangen eine veränderte Schraubenfabrikation. Mindestmengen, Lieferfristen und höhere Preise können die Wirtschaftlichkeit in Frage stellen!
Alternative: Teile aus rost- und säurebeständigem Stahl A2. Muttergewinde haben aus galvanotechnischen Gründen wesentlich dünnere Schichten. Dies ist jedoch für die Praxis bedeutungslos (Innenseite besser geschützt, Fernschutzwirkung des verzinkten Schraubengewindes).

Mess-Stellen für die Schichtdicke



Weitere galvanische Beschichtungsverfahren

Verfahren	Erläuterungen
Vernickeln	Dient sowohl dekorativen Zwecken als auch dem Korrosionsschutz. Wegen der harten Schicht Anwendung im Elektroapparatebau sowie in der Telefonindustrie. Speziell bei Schrauben kein Abrieb des Überzuges. Vernickelte Eisenteile sind in Aussenatmosphären nicht zu empfehlen. Verbesserung des Korrosionsschutzes durch Imprägnierung – siehe folgende Tabelle.
Verzinnen	Spezielles Hartvernickeln.
Verchromen	Meistens nach dem Vernickeln, Schichtdicke ca. 0,4 µm. Chrom wirkt dekorativ, erhöht die Anlaufbeständigkeit vernickelter Werkstücke und verbessert den Korrosionsschutz. Glanzverchromt: hoher Glanz. Mattverchromt: matter Glanz (Seidenglanz). Trommelverchromung nicht möglich.
Vermessingen	Messingaufräge werden hauptsächlich für dekorative Zwecke angewendet. Ausserdem werden Stahlteile vermessen, um die Haftfestigkeit von Gummi auf Stahl zu verbessern.
Verkupfern	Wenn notwendig als Zwischenschicht vor dem Vernickeln, Verchromen und Versilbern. Als Deckschicht für dekorative Zwecke.
Versilbern	Silberaufräge werden zu dekorativen und technischen Zwecken verwendet.
Verzinnen	Die Verzinnung wird hauptsächlich zum Erzielen bzw. Verbessern der Lötbarkeit (Weichlot) angewendet. Dient gleichzeitig als Korrosionsschutz. Thermische Nachbehandlung nicht möglich.
Eloxieren	Durch anodische Oxidation wird bei Aluminium eine Schutzschicht erzeugt, die als Korrosionsschutz wirkt und das Verflecken verhindert. Für dekorative Zwecke können praktisch alle Farbtöne erzielt werden.

Weitere Oberflächenbehandlungen

Verfahren	Erläuterungen
Feuerverzinken	Tauchen in Zinkbad, dessen Temperatur bei ca. 440 bis 470 °C liegt. Schichtdicken min. 40 µm. Oberfläche matt und rau, Verfleckungen nach relativ kurzer Zeit möglich. Sehr guter Korrosionsschutz. Anwendbar für Gewindeteile ab M8. Gewindegängigkeit durch geeignete Massnahmen (spanabhebende Vor- oder Nachbearbeitung) gewährleistet.
Anorganische Zinklamellen-überzüge Geomet® Delta-Tone®/Delta-Protekt®	Hervorragende hoch zinkhaltige Beschichtung (silbergraue Farbe) für Teile mit Zugfestigkeit $R_m \geq 1\,000\text{ N/mm}^2$ (Festigkeitsklassen ≥ 10.9 , Härte $\geq 320\text{ HV}$). Bei diesem Beschichtungsverfahren wird eine wasserstoffinduzierte Versprödung verfahrenstechnisch ausgeschlossen. Temperaturbeständig bis ca. 300 °C. Anwendbar für Gewinde $\geq M4$.
Mechanisch verzinken (Mechanical Plating)	Chemo-mechanischer Beschichtungsprozess. Entfettete Teile werden zusammen mit einer speziellen Glaskugelmischung und Zinkpulver in eine Platingtrommel gegeben. Die Glaskugeln wirken als Träger der Zinkpulverkörner und bringen diese an die Werkstückoberfläche, wo sie durch Kaltverschweissung haften bleiben.
Schwärzen INOX	Chemisches Verfahren. Für dekorative Zwecke.
Brünieren (Schwärzen)	Chemisches Verfahren, Badtemperatur ca. 140 °C mit anschliessendem Einölen. Für dekorative Zwecke nur leichter Korrosionsschutz.
Phosphatieren (Bondem, Bonderisieren, Antoxieren, Parkerisieren, Atramentieren)	Nur leichter Korrosionsschutz. Guter Haftgrund für Farben. Aussehen grau bis grauschwarz. Durch nachträgliches Einölen besserer Korrosionsschutz.
Imprägnieren	Vor allem bei vernickelten Teilen können durch eine Nachbehandlung in dewatering fluid mit Wachszusatz die Mikroporen mit Wachs versiegelt werden. Wesentliche Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit. Der Wachsfilm ist trocken unsichtbar.
Tempern	Bei galvanisch veredelten Verbindungselementen aus Stählen mit Zugfestigkeiten $R_m \geq 1\,000\text{ N/mm}^2$, entsprechend 320 HV, die unter Zugspannung stehen, besteht die Gefahr des Versagens durch Wasserstoffversprödung. Durch Tempern bei ca. 180 bis 230 °C (unterhalb der Anlasstemperatur) kann der Wasserstoff zum Teil beseitigt werden. Nach dem heutigen Stand der Technik bietet dieses Verfahren keine 100%-ige Gewähr. Tempern während >4 h muss unmittelbar nach einem Beizen und nach der galvanischen Behandlung erfolgen.
Tribotechnische Beschichtung ¹⁾	Auftragung bildet reibungsmindernde und verschleisschemmende Schichten. Schutz gegen hohe Reibung oder Kaltverschweissung (Festfressen).
Bewachsen	Gleitschicht, um das Eindrehmoment bei gewindefurchenden Schrauben zu mindern. Nur bedingter Korrosionsschutz resp. Abriebfestigkeit.

¹⁾ Bossard ecosyn®-lubric

Die tribologische Trockenbeschichtung **Bossard ecosyn®-lubric** ist ein nicht elektrolytisch aufgebracht, dünnschichtiger Überzug mit integrierten Schmiereigenschaften und zusätzlichem Korrosionsschutz. Die Beschichtung besteht aus einer Komposition mit Fluoropolymeren und organischen submikroskopischen Festschmierstoffteilchen, die in sorgfältig ausgewählten Kunstharzverschnitten und Lösungsmitteln dispergiert sind. Die AFC-Beschichtung (Anti-Friction-Coating) bildet einen glatten Film, der alle Unebenheiten der Oberfläche ausgleicht und dadurch die Reibung selbst bei extremen Belastungen und Arbeitsbedingungen optimiert. Das Kunstharz wiederum gewährt einen verbesserten Korrosionsschutz.

Abschätzen des Durchmesserbereichs von Schrauben

nach VDI-Richtlinie 2230¹⁾

Das folgende Verfahren ermöglicht eine grobe Abschätzung der nötigen Schraubendimensionen bei einer Einschraubverbindung und Temperatur um 20 °C, entsprechend den Angaben von VDI 2230. Das Ergebnis ist in jedem Falle rechnerisch zu überprüfen.

Vorgehen:

- A** Wählen Sie in Spalte 1 die nächst grössere Kraft zu der an der Verschraubung angreifenden Betriebskraft $F_{A,Q}$
- B** Die erforderliche Mindestvorspannkraft $F_{M,min}$ ergibt sich, indem man von dieser Zahl weitergeht um:

entweder 4 Schritte für statische oder dynamische Querkraft	oder 2 Schritte für dynamische und exzentrisch angreifende Axialkraft
oder 1 Schritt für dynamisch und zentrisch oder statisch und exzentrisch angreifende Axialkraft	oder 0 Schritte für statisch und zentrisch angreifende Axialkraft

- C** Die erforderliche maximale Vorspannkraft $F_{M,max}$ ergibt sich, indem man von dieser Kraft $F_{M,min}$ weitergeht um:

entweder 2 Schritte für Anziehen der Schraube mit einfachem Drehschrauber, der über Nachziehmoment eingestellt wird	
oder 1 Schritt für Anziehen mit Drehmomentschlüssel oder Präzisionsschrauber, der mittels dynamischer Drehmomentmessung oder Längungsmessung der Schraube eingestellt und kontrolliert wird	oder 0 Schritte für Anziehen über Winkelkontrolle in den überelastischen Bereich oder mittels Streckgrenzenkontrolle durch Computersteuerung

- D** Neben der gefundenen Zahl steht in Spalte 2 bis 4 die erforderliche Schraubenabmessung in mm für die gewählte Festigkeitsklasse der Schraube.

Beispiel:

Eine Verbindung wird dynamisch und exzentrisch durch die Axialkraft $F_A = 8500$ N belastet. Die Schraube mit der Festigkeitsklasse 12.9 soll mit Drehmomentschlüssel montiert werden.

- A** 10000 N ist die nächst grössere Kraft zu F_A in Spalte 1
- B** 2 Schritte für «exzentrische und dynamische Axialkraft» führen zu $F_{M,min} = 25000$ N
- C** 1 Schritt für «Anziehen mit Drehmomentschlüssel» führt zu $F_{M,max} = 40000$ N
- D** Für $F_{M,max} = 40000$ N findet man in Spalte 2 (Festigkeitsklasse 12.9) einen Nenndurchmesser von **M10**

	1	2	3	4
Kraft [N]	Nenndurchmesser [mm]			
	Festigkeitsklasse			
		12.9	10.9	8.8
250	-	-	-	-
400	-	-	-	-
630	-	-	-	-
1000	M3	M3	M3	M3
1600	M3	M3	M3	M3
2500	M3	M3	M4	M4
4000	M4	M4	M5	M5
6300	M4	M5	M6	M6
10000	M5	M6	M8	M8
16000	M6	M8	M10	M10
25000	M8	M10	M12	M12
40000	M10	M12	M14	M14
63000	M12	M14	M16	M16
100000	M16	M18	M20	M20
160000	M20	M22	M24	M24
250000	M24	M27	M30	M30
400000	M30	M33	M36	M36
630000	M36	M39	-	-

¹⁾ VDI = Verein Deutscher Ingenieure

Festigkeit bei dynamischer Belastung

nach VDI 2230

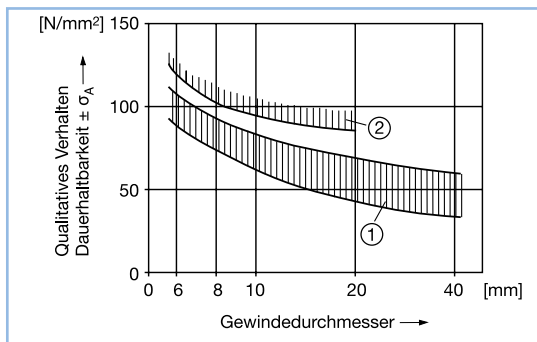
Schrauben sind durch das Gewinde gekerbte Bauteile. Unter wechselnden Belastungen können an den Schrauben Dauerbrüche auftreten, wobei der Bruch in 90 % der Fälle im ersten tragenden Gewindegang, am Eintritt in das Muttergewinde liegt. Bei der Auslegung muss in solchen Fällen auch die Dauerhaltbarkeit $\pm \sigma_A$ der Schrauben berücksichtigt werden, die **unabhängig** von der statischen Beanspruchung einen Bruchteil der Zugfestigkeit beträgt!

Die Dauerhaltbarkeit von Feingewinden nimmt mit zunehmender Festigkeit und Gewindefinheit ab. Die Dauerfestigkeit kann daher bei Schraubenverbindungen mit einer Festigkeitsklasse 12.9 um bis zu 30 % niedriger sein als bei metrischen Regelgewinden.

Bei feuerverzinkten Schrauben ist die Dauerhaltbarkeit ca. 20 % geringer als bei schlussvergüteten Schrauben.

Weitere konstruktive Massnahmen zur Erhöhung der Dauerhaltbarkeit:

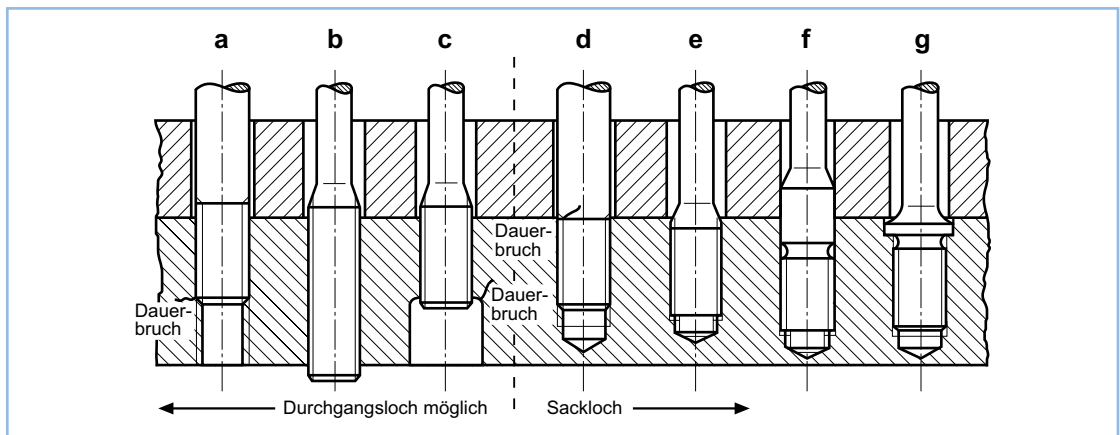
Grundsätzlich sind alle Massnahmen, welche die wirksamen Spannungsspitzen reduzieren oder kombinierte (mehrachsig) Beanspruchungen verhindern, geeignet, die Dauerhaltbarkeit der Schraubenverbindungen zu erhöhen. Lange statt kurze Schrauben, Dehnschrauben statt Starschrauben, Stifte oder Pass-Schulter-schrauben zur Aufnahme von Querkräften, genügende und vor allem kontrollierte Vorspannung der Schrauben.



Grafik: VDI 2230, Ausgabe 1986

① vergütet: Gewinde gerollt, dann vergütet (Normalausführung)

② verfestigt: vergütet, dann Gewinde gerollt



- a Dauerbruchgefahr auch im Muttergewinde
- b Verminderung der Dauerbruchgefahr
 - im Muttergewinde durch übergreifendes Bolzengewinde
 - im ersten tragenden Gewindegang durch biegeweiche Dehnschaftausführung
- c Verminderung der Dauerbruchgefahr im Muttergewinde durch gerundete Auslenkung und übergreifendes Bolzengewinde
- d Dauerbruchgefahr im verklemmten Gewindeauslauf des Schraubengewindes
- e Verminderung der Dauerbruchgefahr gegenüber (d) durch biegeweiche Ausführung, übergreifendes Muttergewinde und Verspannen der Schraube mit der Ansatzkuppe
- f wie e, jedoch mit Zentrierbund zur Verminderung von Biegeanspannungen im Schraubengewinde
- g Verminderung der Dauerbruchgefahr durch Verspannen des Bundes gegen die Auflagenfläche des Muttergewindes zur weitgehenden Entlastung des Schraubengewindes von Biegebeanspruchungen

Empfohlene Mindesteinschraubtiefe in geschnittene Bauteilmuttergewinde

nach Herstellerangaben, aufgrund von Versuchswerten M6 bis M16

Sollen Schrauben in geschnittene Innengewinde eingeschraubt werden und wird volle Tragfähigkeit erwartet, sind entsprechend der Festigkeit des Bauteilwerkstoffes minimale Eindrehiefen festzulegen.

Die im Vergleich zur Normmutter meist geringere Nachgiebigkeit führt dazu, dass beim Anziehen keine Aufweitungen zu befürchten sind, die die Gewindgänge ausser Eingriff bringen könnten.

Anderserseits haben die Bauteil-Innengewinde in vielen Fällen eine kleinere Festigkeit als genormte Muttern der gleichen Festigkeitsklasse entsprechend der eingesetzten Schrauben.

Das hat zur Folge, dass besonders auf die notwendigen Mindesteinschraubtiefen geachtet werden muss, um eine ausreichende Haltbarkeit der Schraubenverbindung sicherzustellen. Die folgenden Empfehlungen wurden in praktischen Versuchen ermittelt.

Bauteilwerkstoff mit eingeschnittenem Muttergewinde Toleranz 6g/6H		Empfohlene Mindest-Einschraubtiefe ohne Ansenkungen für die Schraubenfestigkeitsklassen					
		8.8		10.9		12.9	
	R _m in [N/mm ²]	Regelgewinde	Feingewinde	Regelgewinde	Feingewinde	Regelgewinde	
S235 (St37-2) 2C15 N (C15)	> 360 (Ferrit/Perlit-Gefüge)	1,0 · d [1,5 · d] ¹⁾	1,25 · d	1,25 · d [1,8 · d] ¹⁾	1,4 · d	1,4 · d [2,1 · d] ¹⁾	
E 285 (St50-2) S 355 (St52-3) 2C35 N (C35 N)	> 500 (Ferrit/Perlit-Gefüge)	0,9 · d [1,3 · d] ¹⁾	1,0 · d	1,0 · d [1,6 · d] ¹⁾	1,2 · d	1,2 · d [1,8 · d] ¹⁾	
C45 V 35Cr4 V 34CrMo4 V 42CrMo4 V	> 800 (Vergütungsgefüge)	0,8 · d [0,9 · d] ¹⁾	0,8 · d	0,9 · d [1,1 · d] ¹⁾	0,9 · d	1,0 · d [1,2 · d] ¹⁾	
GJL 250 (GG-25)	> 220	1,0 · d [1,3 · d] ¹⁾	1,25 · d	1,25 · d [1,6 · d] ¹⁾	1,4 · d	1,4 · d [1,8 · d] ¹⁾	
Al 99,5	> 180	–	–	2,0 · d	2,5 · d	–	
AlMg3 F18	> 180	2 · d [3 · d] ¹⁾	2 · d [3 · d] ¹⁾	–	–	–	
AlMgSi1 F32	> 330	1,4 · d	1,4 · d	1,6 · d	2,0 · d	–	
AlMg4,5Mn F28	> 330	1,4 · d	1,4 · d	1,6 · d	2,0 · d	–	
AluMg1 F40 1	> 550	1,1 · d	–	–	–	–	
AlZn MgCu 0,5 F50	> 550	1,0 · d	–	–	–	–	
GMgAl9 Zn1	> 230	1,4 · d	1,4 · d	1,6 · d	2,0 · d	–	

¹⁾ Werte in Klammern nach Rechenformel der VDI 2230 [theoretische Werte]

Tabellen-Richtwerte setzen voraus, dass die Gewindepaarung 6g/6H und genügend Wandstärke beim Muttergewinde vorhanden sind. Werden genauere Vorgaben benötigt, sind diese für den Einzelfall nach VDI 2230 zu ermitteln.

Die Mindesteinschraubtiefe versteht sich als effektive Länge der Gewindeüberdeckung, also ohne Ansenkung am Bauteil und ohne Gewindeauslauf am Schraubenende.

! Bei Eindrehiefen über 1,5 d können extreme Toleranzlagen der Aussen- und Innengewinde zum Klemmen einer Schraube führen.

ISO 965-1 definiert die Toleranzqualitäten für Aussen- und Innengewinde, deren Einhaltung eine problemlose Schraubmontage ermöglicht.

Richtwerte für Grenzflächenpressung bei verschiedenen Werkstoffen

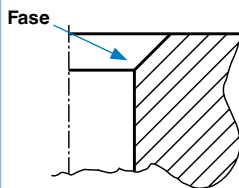
Die Grenzflächenpressung darf beim Anziehen der Schraube oder der Mutter in der Auflagefläche nicht überschritten werden, da sich die Schraubenverbindung sonst durch Setzerscheinungen lockern kann.

Nach VDI 2230, Ausgabe 1986 mit bewährten Grenzwerten

Die angegebenen Werte gelten für Bohrungen ohne Fasen und hinreichend grosse Aussendurchmesser der verspannten Teile bei Raumtemperatur.

Werkstoff der Klemmteile	Zugfestigkeit	Grenzflächenpressung ⁴⁾
	R_m [N/mm ²]	P_G [N/mm ²]
St 37	370	260
St 50	500	420
C 45	800	700
42 CrMo 4	1 000	850
30 CrNiMo 8	1 200	750
X 5 CrNiMo 18 10	500 bis 700	210
X 10 CrNiMo 18 9	500 bis 750	220
Titan, unlegiert	390 bis 540	300
GG 15	150	600
GG 25	250	800
GG 35	350	900
GG 40	400	1 100
GGG 35,5	350	480
DG MgAl 9	300	220
GK MgAl 9	200	140
AlZnMg Cu 0,5	450	370

⁴⁾ Beeinflussende Randbedingungen für die Grenzflächenpressung



Durch eine Fase an der Bohrung (Kontaktfläche zum Verbindungselement) können bei Stählen bis zu 25 % höhere zulässige Flächenpressung (Stützwirkung) erreicht werden.

Schrauber



Beim motorischen Anziehen kann die zulässige Grenzflächenpressung bis zu 25 % kleiner ausfallen!

Nach VDI 2230, Ausgabe 2003 mit experimentell ermittelten Anhaltswerten

Werkstoff-Kurzname EN-Bezeichnung	Werkstoff-Nr.	Zugfestigkeit $R_{m, min}$ [N/mm ²]	Grenzflächenpressung ^{1,4)} P_G [N/mm ²]
USt 37-2 (S235 JRG1)	1.0036	340	490
St 50-2 (E295)	1.0050	470	710
St 52-3U (S355 JO)	1.0553	510	760
Cq 45	1.1192	700	630 ²⁾
34 CrMo 4	1.7720	1 000	870 ²⁾
34 CrNiMo 6	1.6582	1 200	1 080 ²⁾
38 MnSi-VS 5-BY	1.5231	900	810 ²⁾
16 MnCr 5	1.7131	1 000	900 ²⁾
X5 CrNi 18 12	1.4303	500	630
X5 CrNiMo 17 12 2	1.4401	510	460 ²⁾
X5 NiCrTi 26 15	1.4980	960	860 ²⁾
NiCr20TiAl	2.4952	1 000	700
GG-25 (GJL-250)	0.6020	250	850 ^{2) 3)}
GGG-40 (GJS-400)	0.7040	400	600 ^{2) 3)}
GGG-50 (GJS-500)	0.7050	500	750 ^{2) 3)}
GGG-60 (GJS-600)	0.7060	600	900 ^{2) 3)}
AlMgSi 1 F31 (AW-6082)	3.2315.62	290	260 ²⁾
AlMgSi 1 F28	3.2315.61	260	230 ²⁾
AlMg4.5Mn F27 (AW-5083)	3.3547.08	260	230 ²⁾
AlZnMgCu 1.5 (AW-7075)	3.4365.71	540	410 ²⁾
GK-AlSi9Cu3	3.2163.02	180	220 ²⁾
GD-AlSi9Cu3	3.2163.05	240	290 ²⁾
GK-AlSi7Mg wa	3.2371.62	250	380 ²⁾
AZ 91	(3.5812)	310	280 ²⁾
TiAl6V4	3.7165.10	890	890 ²⁾

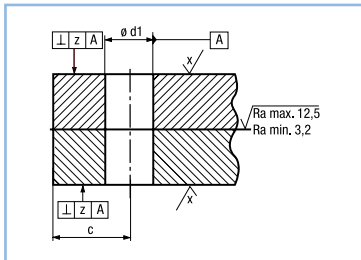
¹⁾ Infolge Verfestigungsvorgängen, Stützwirkungen oder anisotropem Werkstoffverhalten kann oftmals ein deutlich höherer Pressungswert zugelassen werden als die Druckflussgrenze des jeweiligen Werkstoffs. Die deutlich höheren Grenzflächenpressungen stützen sich auf Praxiserfahrungen und sind für den jeweiligen Anwendungsfall spezifisch zu überprüfen.

²⁾ Die Zahlenwerte sind noch nicht nach den neuen Ergebnissen aus Forschung & Praxis (TU Darmstadt) überprüft.

³⁾ Ermittlung der Grenzflächenpressung unter einaxialer kontinuierlicher Beanspruchung bei Raumtemperatur.

Richtwerte für Oberflächenzustand im Bereich der Kontaktflächen
 Rauheit, Form- und Lagetoleranz

Gewinde	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
empf. minimaler Randabstand c [mm]	6	7,5	9	12	15	18	24	30
maximale Abweichung von der Rechtwinkeligkeit z [mm]	0,04	0,08	0,08	0,09	0,11	0,13	0,17	0,21
maximale Rauheit Ra x [µm]	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	6,3



Vergleichstabelle der möglichen Oberflächenrauheits-Symbole, Klassen und Werte Rz
 nach DIN 4768

(ISO 4288, geometrische Produktspezifikation: Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit)

Bezeichnung	Messbereich					Einheit
max. Rz-Wert ($\approx R_z$)	40	25	25	16	10	µm
max. Ra-Wert	6,3	3,2	2	1,6	1,6	µm
Rauheitsklassen	N9	N8	N8	N7	N7	-
alte Symbole	▽▽	▽▽	▽▽	▽▽	▽▽	-

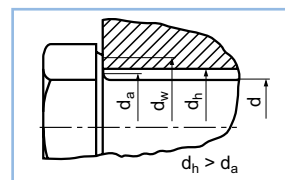
Flächenpressung unter dem Kopf einer Sechskantschraube

nach DIN 931/933 (ISO 4014/4017) mit Regelgewinde

Gewinde-Nenn-Ø d	Schlüsselweite S_{max} [mm]	Ø des Telleransatzes $d_{w, min}$ [mm]	Durchgangsbohrung (ISO 273) mittel H13 d_h [mm]	Auflagefläche A_p [mm²]	Spannungsquerschnitt $A_{s, nom}$ [mm²]	Flächenpressung unter Kopf ¹⁾ [N/mm²]		
						8.8	10.9	12.9
M4	7	5,9	4,5	11,4	8,78	385	568	665
M5	8	6,9	5,5	13,6	14,2	528	777	909
M6	10	8,9	6,6	28	20,1	364	532	625
M8	13	11,6	9	42,1	36,6	442	649	761
M10	16	14,63	11	73,1	58	405	594	695
M10	17	15,6	11	96,1	58	308	452	529
M12	18	16,63	13,5	74,1	84,3	580	853	999
M12	19	17,4	13,5	94,6	84,3	454	668	782
M14	21	19,64	15,5	114,3	115	517	759	888
M14	22	20,5	15,5	141,4	115	418	613	718
M16	24	22,5	17,5	157,1	157	515	756	885
M18	27	25,3	20	188,6	192	541	769	901
M20	30	28,2	22	244,4	245	532	761	888
M22	34	31,71	24	337,3	303	480	685	803
M22	32	30	24	254,5	303	637	908	1065
M24	36	33,6	26	355,8	353	528	750	880
M27	41	38	30	427,3	459	576	821	960
M30	46	42,7	33	576,7	561	520	740	865

¹⁾ Die in den Tabellen angegebenen Werte für die Flächenpressung ergeben sich bei einer 90%-igen Ausnutzung der Schraubendehngrenze $R_{p,0,2}$ und $\mu_s = 0,12$ (Referenz: VDI 2230: 2003)

$A_{s, nom} = \pi/4 \cdot ((d_2 + d_3)/2)^2$
 d_2 = Flankendurchmesser des Schraubengewindes nach ISO 724
 d_3 = Kerndurchmesser des Schraubengewindes

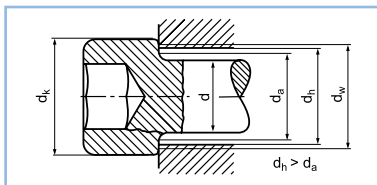


Flächenpressung unter dem Kopf einer Zylinderschraube mit Innensechskant/ Innensechsrund

nach DIN 912 (ISO 4762/14579) mit Regelgewinde

Gewinde- Nenn-Ø	Kopf-Ø	Ø der Auflagefläche	Durchgangsbohrung (ISO 273) mittel H13	Auflagefläche	Spannungsquerschnitt	Flächenpressung unter Kopf ¹⁾ [N/mm ²]		
						8.8	10.9	12.9
d	d _k [mm]	d _{w min} [mm]	d _h [mm]	A _p [mm ²]	A _{s nom} [mm ²]	Festigkeitsklassen		
M4	7	6,53	4,5	17,6	8,78	250	370	432
M5	8,5	8,03	5,5	26,9	14,2	268	394	461
M6	10	9,38	6,6	34,9	20,1	292	427	502
M8	13	12,33	9	55,8	36,6	333	489	574
M10	16	15,33	11	89,5	58	331	485	567
M12	18	17,23	13,5	90	84,3	478	702	822
M14	21	20,17	15,5	130,8	115	452	663	776
M16	24	23,17	17,5	181,1	157	447	656	767
M18	27	25,87	20	211,5	192	482	686	804
M20	30	28,87	22	274,5	245	474	678	791
M22	33	31,81	24	342,3	303	473	675	792
M24	36	34,81	26	420,8	353	447	635	744
M27	40	38,61	30	464	459	530	756	884
M30	45	43,61	33	638,4	561	470	669	782

¹⁾ Die in den Tabellen angegebenen Werte für die Flächenpressung ergeben sich bei einer 90%-igen Ausnutzung der Schraubendehngrenze $R_{p 0,2}$ und $\mu_G = 0,12$ (Referenz: VDI 2230: 2003)



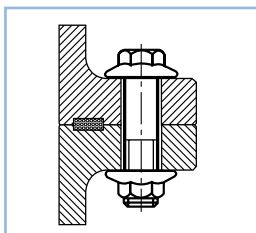
Flächenpressung unter dem Schraubenkopf

Für einen gegebenen Bauteilwerkstoff lässt sich die zulässige Flächenpressung nicht genau definieren. Einflüsse aus dem Herstellverfahren, dem Faserverlauf des Werkstoffes, der Oberflächenveredelung sowie Temperaturveränderungen spielen eine ausschlaggebende Rolle.

Durch folgende Massnahmen kann die Flächenpressung reduziert werden:

- Verwendung von Flanschschrauben und Flanschmuttern.
- Angefasste Bohrungen. Praktische Untersuchungen zeigten bis 20%-ige Erhöhungen der zulässigen Flächenpressung.
- Durchgangsloch nach ISO 273 – fein wählen.

Anwendungsbeispiel



Vorteile von Flanschschrauben und Flanschmuttern:

- Kleinere Setzbeträge.
- Montage-Klemmkraft bleibt in der Verbindung eher erhalten.
- Flanschprodukte sind rationeller als grosse Scheiben unter normalen Schrauben und Muttern (weniger Verbindungselemente und schnellere Montage).
- Flanschschrauben und Muttern ermöglichen grössere, wirtschaftlichere Lochtoleranzen.
- Flanschschrauben haben eine bessere Rüttelsicherheit als normale Schrauben und Muttern.

Anleitung für die Anwendung von flachen Scheiben bei Schrauben und Muttern

nach ISO 887

Im Folgenden finden Sie eine Übersicht über geeignete Kombinationen von flachen Scheiben bei Schrauben und Muttern unter Berücksichtigung der Festigkeitsklassen (Härteklassen).

Die Randbedingungen wie Bauteilfestigkeit Oberflächenstruktur, Herstellverfahren, Faserverlauf und Betriebstemperaturen sind bei der Auswahl entsprechend zu berücksichtigen.

Schrauben Festigkeitsklasse	Muttern Festigkeitsklasse	Scheibenverwendung zulässig		
		Scheiben – Härteklasse und zugeordnete Zugfestigkeit [N/mm ²] nach ISO 18265		
		100 HV 320	200 HV 640	300 HV 965
		Flächenpressung, zulässige Richtwerte [N/mm ²]		
		200–300	300–500	500–800
Einsatzgehärtete, gewindefurchende Schrauben		ja	ja	ja
Schrauben und Muttern aus nichtrostendem Stahl		–	ja	–
≤6.8	≤6	ja	ja	ja
8.8	8	nein	ja	ja
9.8	9	nein	nein	ja
10.9	10	nein	nein	ja
12.9	12	nein	nein	nein

Zuordnung von Reibungszahlklassen mit Richtwerten zu verschiedenen Werkstoffen, Oberflächen und Schmierzuständen bei Schraubenverbindungen

nach VDI 2230

Die Reibungswerte μ_G , μ_K weisen Streuungen auf, da sie von vielen Faktoren abhängig sind, wie z. B. von den Werkstoffpaarungen, der Oberflächengüte (Rautiefen), der Oberflächenbehandlung (u. a. blank, geschwärzt, galvanisch verzinkt, Zink-Lamellen-Überzüge).

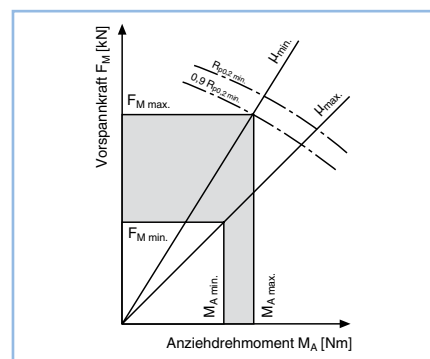
Weiterhin sind die Reibungswerte abhängig von der Art der Schmierung (ohne/mit Öl, Molybdändisulfid, Molykote-Paste, Gleitbeschichtung etc.!) Die folgenden Tabellen enthalten Reibungszahlen für Gewinde und Auflageflächen.

Die Tabelle gilt für Raumtemperatur.

Reibungszahlklasse	Bereich für μ_G und μ_K	Auswahl typischer Beispiele für: Werkstoff/Oberflächen	Schmierstoffe
A	0,04–0,10	metallisch blank vergütungs-schwarz phosphatiert galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zink-Lamellen-Überzüge	Festschmierstoffe wie MoS ₂ , Graphit, PTFE, PA, PE, PI in Gleitlacken, als Top-Coats oder in Pasten, Wachsschmelzen, Wachsdispersionen
B	0,08–0,16	metallisch blank vergütungs-schwarz phosphatiert galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zink-Lamellen-Überzüge Al- und Mg-Legierungen	Festschmierstoffe wie MoS ₂ , Graphit, PTFE, PA, PE, PI in Gleitlacken, als Top-Coats oder in Pasten, Wachsschmelzen, Wachsdispersionen, Fette, Öle, Anlieferzustand
		feuerverzinkt	MoS ₂ , Graphit, Wachsdispersionen
		organische Beschichtungen	integrierter Festschmierstoff oder Wachsdispersionen
		austenitischer Stahl	Festschmierstoffe oder Wachse, Pasten
C	0,14–0,24	austenitischer Stahl	Wachsdispersionen, Pasten
		metallisch blank phosphatiert galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zink-Lamellen-Überzüge Klebstoff	Anlieferungszustand (leicht geölt)
			ohne
D	0,20–0,35	austenitischer Stahl	Öl
		galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe feuerverzinkt	ohne
			ohne
E	≥ 0,30	galvanische Überzüge wie Zn/Fe, Zn/Ni austenitischer Stahl Al-, Mg-Legierungen	ohne

Für eine sichere Montage ist es wichtig, die Reibungsbedingungen genau zu definieren und deren Streuung so eng wie möglich zu halten.

Bei grosser Streuung wird die erzielte Vorspannkraft sehr stark schwanken. Die übliche Toleranz des Anziehdrehmomentes hat dagegen nur einen kleinen Einfluss.



Näherungswerte für Haftreibungszahlen μ_T in der Trennfuge

nach VDI 2230

Stoffpaarung	Haftreibungszahl im Zustand	
	trocken	geschmiert
Stahl – Stahl / Stahlguss	0,1 bis 0,23	0,07 bis 0,12
Stahl – GG	0,12 bis 0,24	0,06 bis 0,1
GG – GG	0,15 bis 0,3	0,2
Bronze – Stahl	0,12 bis 0,28	0,18
GG – Bronze	0,28	0,15 bis 0,2
Stahl – Kupferlegierung	0,07	–
Stahl – Aluminiumlegierung	0,1 bis 0,28	0,05 bis 0,18
Aluminium – Aluminium	0,21	–

Richtwerte für den Anziehungsfaktor α_A und die resultierenden Montagevorspannkraft

nach VDI 2230:2003

Der Anziehungsfaktor α_A (Montageunsicherheit) berücksichtigt die Fehler beim Abschätzen der Reibungszahlen, das Anziehverfahren, die Gerätetoleranzen sowie die Bedienungsfehler und Ablesungenauigkeiten.

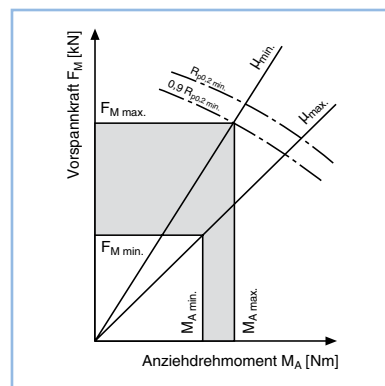
α_A berücksichtigt somit die Streuung der erzielbaren Montagevorspannkraft zwischen $F_{M \max}$ und $F_{M \min}$. Die Auslegung der Schraube wird auf das max. Anziehdrehmoment $M_{A \max}$ ausgerichtet, damit die Schraube bei der Montage nicht überbeansprucht wird. Der Anziehungsfaktor α_A ist somit definiert als:

$$\alpha_A = \frac{\text{max. mögliche Montagevorspannkraft } F_{M \max}}{\text{min. nötige Montagevorspannkraft } F_{M \min}}$$

Selbst einfache moderne Drehmomentschrauber liefern heute Anziehdrehmomente in sehr engen Toleranzen. Maximale Drehmomentstreuungen im Bereich von $\pm 2\%$ sind übliche Angaben der Hersteller.

Trotzdem streuen die resultierenden Montagevorspannkraft in Abhängigkeit vom Anziehungsfaktor von $\pm 9\%$ bis hinauf zu $\pm 60\%$.

- Anziehverfahren mit Verlängerungsmessung: Hydraulisches Anziehen ist praktisch unabhängig von der Reibung. Ihre α_A -Faktoren sind niedrig
- Drehmomentgesteuerte Anziehverfahren reagieren auf Reibungseinflüsse. Die α_A -Faktoren sind generell höher: Kleinere Streuungen und damit niedrigere α_A -Faktoren ergeben sich bei Reibungskoeffizienten, die in praktischen Vorversuchen ermittelt wurden. Das Gleiche gilt für harte Schraubfälle mit kurzen Klemmlängen und für zügige Anziehverfahren. Höhere α_A -Faktoren entstehen bei geschätzten Reibungskoeffizienten, bei weichen Schraubfällen sowie bei Anziehverfahren, die nicht zügig verlaufen, wie z. B. bei Schlagschraubern, Impulsschraubern und Handmontagen.



Anziehungsfaktor α_A	Streuung $\Delta F_M/2 \cdot F_{M \text{ mittel}}$	Anziehverfahren	Einstellverfahren	Bemerkungen	
1,2 bis 1,4	$\pm 9\%$ bis $\pm 17\%$	Streckgrenzgesteuertes Anziehen, motorisch oder manuell	Vorgabe des relativen Drehmoment-Drehwinkel-Koeffizienten	Die Vorspannkraftstreuung wird wesentlich bestimmt durch die Streuung der Streckgrenze im verbauten Schraubenlos.	
1,2 bis 1,4	$\pm 9\%$ bis $\pm 17\%$	Drehwinkelgesteuertes Anziehen, motorisch oder manuell	Versuchsmässige Bestimmung von Voranziehmoment und Drehwinkel (Stufen)	Die Schrauben werden hierfür $F_{M \text{ min}}$ dimensioniert; eine Auslegung der Schrauben für $F_{M \text{ max}}$ mit dem Anziehungsfaktor α_A entfällt deshalb für diese Anziehmethoden.	
1,2 bis 1,6	$\pm 9\%$ bis $\pm 23\%$	Hydraulisches Anziehen	Einstellung über Längen- bzw. Druckmessung	Niedrigere Werte für lange Schrauben ($l_w/d \geq 5$) Höhere Werte für kurze Schrauben ($l_w/d \leq 2$)	
1,4 bis 1,6	$\pm 17\%$ bis $\pm 23\%$	Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Drehmomentschlüssel, Signal gebendem Schlüssel oder Dreh-schrauber mit dynamischer Drehmomentmessung	Versuchsmässige Bestimmung der Sollanziehmomente am Original-Verschraubungsteil, z. B. durch Längungsmessung der Schraube	Niedrigere Werte für grosse Zahl von Einstellungen bzw. Kontrollversuchen (z. B. 20) erforderlich; geringe Streuung des abgegebenen Momentes (z. B. $\pm 5\%$) nötig.	Niedrige Werte – für kleine Drehwinkel, d. h. relativ steife Verbindungen – für relativ geringe Härte der Gegenlage ¹⁾ – für Gegenlagen, die nicht zum Fressen neigen z. B. durch Phosphatierung oder bei ausreichender Schmierung
1,6 bis 2,0 (Reibungszahlklasse B)	$\pm 23\%$ bis $\pm 33\%$	Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Drehmomentschlüssel, Signal gebendem Schlüssel oder Dreh-schrauber mit dynamischer Drehmomentmessung	Bestimmung des Sollanziehdrehmomentes durch Schätzen der Reibungszahl (Oberflächen- und Schmierverhältnisse)	Niedrige Werte für messende Drehmomentschlüssel – gleichmässiges Anziehen – Präzisionsdrehschrauber	Höhere Werte – für grosse Drehwinkel, d. h. relativ nachgiebige Verbindungen sowie Feingewinde. – bei grosser Härte der Gegenlage, verbunden mit rauer Oberfläche
1,7 bis 2,5 (Reibungszahlklasse A)	$\pm 26\%$ bis $\pm 43\%$			Höhere Werte signalgebende oder ausknickende Drehmomentschlüssel	
2,5 bis 4	$\pm 43\%$ bis $\pm 60\%$	Anziehen mit Schlag-schrauber oder Impuls-schrauber	Einstellen des Schraubers über Nachziehdrehmoment, das aus Sollanziehmoment (für die geschätzte Reibungszahl) und einem Zuschlag gebildet wird	Niedrige Werte – für grosse Zahl von Einstellversuchen (Nachziehdrehmoment) – auf horizontaler Achse der Schraubercharakteristik – für spielfreie Impulsübertragung	

¹⁾ Gegenlage: Verspanntes Teil, dessen Oberfläche mit dem Anziehelement der Verbindung (Schraubenkopf oder Mutter) im Kontakt steht.

Umgang mit den Richtwerten

Vorspannkraften und Anziehdrehmomente aus den Tabellen T.046

Dieses Vorgehen kann die Berechnung nach VDI 2230 nicht ersetzen und entspricht nicht dem Stand der Technik. Es kann aber zumindest einen Schraubenbruch bei der Montage nicht berechneter Schrauben verhindern. Hauptursache für solche Brüche sind niedrigere Reibungszahlen als angenommen.

Schritt 1: Reibungszahl $\mu_K = \mu_G$

Bei Unsicherheit über den genauen **Oberflächen- und Schmierzustand von Gewinde und Auflagefläche** muss die **kleinste** in der Praxis (z. B. Erstmontage, Wartung, Reparatur) auftretende Reibungszahl $\mu_K = \mu_G$ aus Tabelle T.041 gewählt werden.

Beispiel:

Wahl für Schraube und Mutter mit Oberflächenzustand galvanisch verzinkt

Reibungszahl $\mu_K = \mu_G = 0,14 - 0,24$, kleinster Wert $\mu_K = \mu_G = 0,14$

Schritt 2: Montage-Anziehdrehmoment $M_{A,max}$

Dieses maximal zulässige Anziehdrehmoment bei einer 90 %-igen Ausnutzung der Streckgrenze (R_{eL}) resp. der 0,2 %-Dehngrenze ($R_{p0,2}$) finden Sie in den Tabellen ab Seite T.045. Dies ist das maximale Montage-Anziehdrehmoment bei Verwendung moderner Schrauber mit Drehmomentsteuerung von max. 5 %.

Beispiel:

Sechskantschraube ISO 4017, M12 x 40, Festigkeitsklasse 8.8, verzinkt. Suchen Sie auf Seite T.046 bei «Gewinde» M12 die Zeile $\mu_K = \mu_G = 0,14$. Finden Sie in dieser Zeile in der rechten Tabellenhälfte «Maximale Anziehdrehmomente» in Spalte «Festigkeitsklasse 8.8»

das max. Montage-Anziehdrehmoment $M_{A,max} = 93 \text{ Nm}$

Schritt 3: Maximale Montage-Vorspannkraft $F_{M,max}$

Mit dem Anziehdrehmoment $M_{A,max}$ können Sie in derselben Tabelle auch die resultierende maximale Montage-Vorspannkraft $F_{M,max}$ ablesen.

Beispiel:

Sie finden in der linken Tabellenhälfte in Spalte «Festigkeitsklasse 8.8» und auf der Zeile «M12/0,14» die resultierende maximale Montage-Vorspannkraft $F_{M,max} = 41,9 \text{ kN}$

Schritt 4: Minimale Montage-Vorspannkraft $F_{M,min}$

Die minimale Vorspannkraft erhalten Sie aus der maximalen Montage-Vorspannkraft mit Hilfe des Anziehungsfaktors α_A – siehe T.043.

Beispiel:

Wird mit einem handelsüblichen modernen Drehmomentschlüssel gleichmässig angezogen und die Reibungszahl geschätzt, muss mit einem Anziehungsfaktor $\alpha_A = 1,6$ bis $2,0$ gerechnet werden – siehe Tabelle auf Seite T.043. Ist der Schlüssel, – wie im Beispiel angenommen – signalgebend, gilt der höhere Wert $2,0$.

Da die kurze Schraube M12 x 40 sich jedoch mit einem kleinen Drehwinkel anziehen lässt und eine relativ steife Verbindung ergibt, kann dieser Wert etwas niedriger gewählt werden.

Deshalb angenommen $\alpha_A = 1,8$

Minimale zu erwartende Montage-Vorspannkraft:

$$F_{M,min} = F_{M,max} / \alpha_A = 41,9 \text{ kN} / 1,8$$

$$F_{M,min} = 23,3 \text{ kN}$$

Schritt 5: Kontrolle

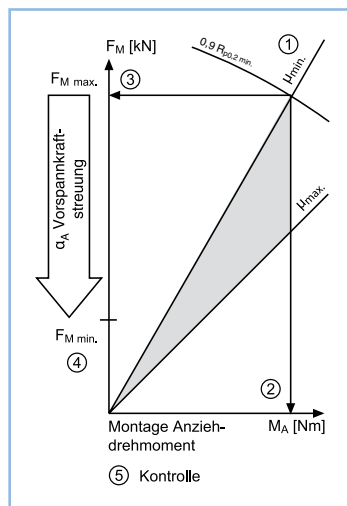
Kontrolle mit Berechnungen nach VDI 2230 ist Stand der Technik und wird für eine sichere Auslegung empfohlen

- Genügt die minimale Montage-Vorspannkraft $F_{M,min}$ für die in der Praxis auftretenden Maximalkräfte?
- Sind die Flächenpressungen in den Auflageflächen nicht zu hoch?
- Wie gross ist die Restklemmkraft unter Betriebsbedingungen?
- Wird die Dauerfestigkeit der Schraube im Betriebseinsatz nicht überschritten?

Wird das Anziehdrehmoment M_A aus irgendwelchen Gründen tiefer angenommen als der Tabellenwert, werden sich auch die Montage-Vorspannkraft F_M und die daraus abgeleitete minimale Vorspannkraft $F_{M,min}$ um diesen Prozentsatz vermindern! Ob die Verbindungseigenschaften dann noch genügen, muss der Anwender prüfen.

Mögliche Gründe für ein solches Vorgehen:

- unvorhersehbare tiefere Reibungszahlen als angenommen und damit Risiko für einen Schraubenbruch bei der Montage
- eventuelle Verwendung ungenauere Drehmomentschlüssel als vorgegeben und damit ähnliches Risiko für ein Versagen
- Klemmteile, die sich unvorhergesehen deformieren könnten oder Ähnliches.
- ungenügende Fachkenntnisse des Montagepersonals



Richtwerte für metrisches Regelgewinde

Angaben in Anlehnung an VDI 2230, Ausgabe 2003: Maximale zulässige Anziehdrehmomente und resultierende maximale Vorspannkkräfte für Sechskantschrauben ISO 4014 – 4018, Innensechskantschrauben ISO 4762 und für Schrauben mit analogen Kopffestigkeiten und Kopfaufgeläflächen der Festigkeitsklassen 3.6 bis 12.9 bei einer **90 %-igen Ausnutzung der Streckgrenze $R_{eL}/0,2\%$ -Dehngrenze $R_{p0,2}$** . Bohrungen nach ISO 273-mittel.

Die Tabelle zeigt zulässige Maximalwerte und enthält keine weiteren Sicherheitsfaktoren. Sie setzt die Kenntnis der einschlägigen Richtlinien und Auslegungskriterien voraus.

R Richtwerte Tabellen T.045 und T.046

Die Richtwerte sind etwas höher als in der früheren Version VDI 2230:1986, da unter Beachtung bislang nicht genutzter Reserven die Schraubenfestigkeit durch eine höhere Montage-Vorspannkraft besser ausgenutzt wird.
Nachweisrechnung notwendig! VDI 2230:2003

i Anziehdrehmoment Tabellen T.045 und T.046

Mit $M_A = F_M \cdot X$ kann das Anziehdrehmoment zu jeder anderen Vorspannkraft errechnet werden.

Gewinde	Reibungs- zahl $\mu_K = \mu_G$	Maximale Vorspannkraft $F_{M,max}$ [N]							Maximales Anziehdrehmoment $M_{A,max}$ [Ncm]							Umdrehungs- faktor X
		Festigkeitsklassen nach ISO 898/1							Festigkeitsklassen nach ISO 898/1							
		3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	
M1,6	0,10	176	235	294	470	627	882	1058	4,2	5,7	7,1	11,3	15,1	21,2	25,5	0,024
	0,12	171	228	285	455	607	854	1025	4,7	6,3	7,9	12,6	16,9	23,7	28,5	0,028
	0,14	165	220	275	441	588	826	992	5,2	6,9	8,7	13,9	18,5	26	31,2	0,032
M2	0,10	292	390	487	779	1039	1461	1754	9	11,9	14,9	23,8	31,7	44,5	53,5	0,031
	0,12	283	378	472	756	1008	1417	1701	10	13,3	16,7	26,7	35,6	50	60	0,035
	0,14	274	366	457	732	976	1373	1647	11	14,7	18,4	29,4	39,2	55	66	0,040
M2,5	0,10	485	647	809	1294	1725	2426	2911	18	24	30	49	65	91	109	0,037
	0,12	471	628	785	1257	1676	2356	2828	21	27	34	55	73	103	123	0,044
	0,14	457	609	762	1219	1625	2285	2742	23	30	38	60	81	113	136	0,050
M3	0,10	726	968	1210	1936	2582	3631	4357	32	42	53	84	112	158	190	0,044
	0,12	706	941	1177	1883	2510	3530	4236	36	48	60	95	127	179	214	0,051
	0,14	685	914	1142	1827	2436	3426	4111	40	53	66	105	141	198	237	0,058

Vorspannkkräfte und Anziehdrehmomente

Gewinde	Rei- bungs- zahl $\mu_K = \mu_G$	Maximale Vorspannkraft $F_{M \max}$ [kN]								Maximales Anziehdrehmoment $M_{A \max}$ [Nm]								Umrech- nungsfaktor X
		Festigkeitsklassen nach ISO 898/1								Festigkeitsklassen nach ISO 898/1								
		3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9	3.6	4.6	5.6/4.8	6.8	8.8	10.9	12.9			
M4	0,10	1,26	1,68	2,10	3,36	4,5	6,7	7,8	0,73	0,97	1,21	1,94	2,6	3,9	4,5	0,58		
	0,12	1,22	1,63	2,04	3,26	4,4	6,5	7,6	0,82	1,09	1,37	2,19	3,0	4,6	5,1	0,67		
	0,14	1,19	1,58	1,98	3,17	4,3	6,3	7,4	0,91	1,21	1,51	2,42	3,3	4,8	5,6	0,76		
M5	0,10	2,06	2,74	3,43	5,48	7,4	10,8	12,7	1,4	1,9	2,4	3,8	5,2	7,6	8,9	0,70		
	0,12	2,00	2,67	3,33	5,33	7,2	10,6	12,4	1,6	2,2	2,7	4,3	5,9	8,6	10,0	0,81		
	0,14	1,94	2,59	3,23	5,18	7,0	10,3	12,0	1,8	2,4	3,0	4,8	6,5	9,5	11,2	0,93		
M6	0,10	2,90	3,87	4,84	7,74	10,4	15,3	17,9	2,5	3,3	4,1	6,6	9,0	13,2	15,4	0,86		
	0,12	2,82	3,76	4,71	7,53	10,2	14,9	17,5	2,8	3,7	4,7	7,5	10,1	14,9	17,4	0,99		
	0,14	2,74	3,65	4,57	7,31	9,9	14,5	17,0	3,1	4,1	5,2	8,3	11,3	16,5	19,3	1,14		
M8	0,10	5,3	7,1	8,8	14,2	19,1	28,0	32,8	6,0	8,0	10,0	16,1	21,6	31,8	37,2	1,13		
	0,12	5,15	6,9	8,6	13,8	18,6	27,3	32,0	6,8	9,1	11,3	18,2	24,6	36,1	42,2	1,32		
	0,14	5,0	6,7	8,3	13,4	18,1	26,6	31,1	7,5	10,1	12,6	20,1	27,3	40,1	46,9	1,51		
M10	0,10	8,4	11,3	14,1	22,5	30,3	44,5	52,1	12	16,1	20,1	32,3	43	63	73	1,42		
	0,12	8,2	11,0	13,7	21,9	29,6	43,4	50,8	13,7	18,3	22,9	36,5	48	71	83	1,65		
	0,14	8,0	10,7	13,3	21,3	28,8	42,2	49,4	15,2	20,3	25,3	40,6	54	79	93	1,89		
M12	0,10	12,3	16,4	20,5	32,8	44,1	64,8	75,9	20	27	34	55	73	108	126	1,65		
	0,12	12,0	16,0	20,0	32,0	43,0	63,2	74,0	23	31	39	62	84	123	144	1,94		
	0,14	11,6	15,5	19,4	31,1	41,9	61,5	72,0	26	34	43	69	93	137	160	2,22		
M14	0,10	16,9	22,5	28,2	45,1	60,6	88,9	104,1	33	44	55	88	117	172	201	1,94		
	0,12	16,5	21,9	27,4	43,9	59,1	86,7	101,5	37	50	62	100	133	195	229	2,26		
	0,14	16,0	21,3	26,7	42,7	57,5	84,4	98,9	41	55	69	111	148	218	255	2,58		
M16	0,10	23,2	30,9	38,6	61,8	82,9	121,7	142,4	50	67	84	134	180	264	309	2,17		
	0,12	22,6	30,1	37,6	60,2	80,9	118,8	139,0	57	76	96	153	206	302	354	2,54		
	0,14	22,0	29,3	36,6	58,6	78,8	115,7	135,4	64	85	107	171	230	338	395	2,92		
M18	0,10	28,2	37,7	47,1	75,3	104	149	174	70	93	117	187	259	369	432	2,48		
	0,12	27,5	36,7	45,8	73,4	102	145	170	80	106	133	212	295	421	492	2,90		
	0,14	26,7	35,7	44,6	71,3	99	141	165	89	118	148	236	329	469	549	3,32		
M20	0,10	36,2	48,3	60,3	96,5	134	190	223	98	131	164	262	363	517	605	2,71		
	0,12	35,3	47,0	58,8	94,1	130	186	217	112	150	187	300	415	592	692	3,18		
	0,14	34,3	45,8	57,2	91,6	127	181	212	125	167	209	334	464	661	773	3,65		
M22	0,10	45,1	60,1	75,2	120,3	166	237	277	132	176	220	353	495	704	824	2,95		
	0,12	44,0	58,7	73,4	117,4	162	231	271	151	202	252	403	567	807	945	3,46		
	0,14	42,9	57,1	71,4	114,3	158	225	264	169	225	282	451	634	904	1057	3,97		
M24	0,10	52,1	69,5	86,9	139,0	192	274	320	169	226	282	451	625	890	1041	3,25		
	0,12	50,8	67,7	84,7	135,5	188	267	313	193	257	322	515	714	1017	1190	3,80		
	0,14	49,4	65,9	82,4	131,8	183	260	305	215	287	359	574	798	1136	1329	4,36		
M27	0,10	68,4	91,2	114,0	182,4	252	359	420	248	331	414	662	915	1304	1526	3,63		
	0,12	66,7	89,0	111,2	178,0	246	351	410	284	379	474	759	1050	1496	1750	4,26		
	0,14	65,0	86,7	108,3	173,3	240	342	400	318	424	530	848	1176	1674	1959	4,89		
M30	0,10	83,2	111,0	138,7	222,0	307	437	511	338	450	563	901	1246	1775	2077	4,06		
	0,12	81,2	108,3	135,3	216,5	300	427	499	386	515	644	1031	1420	2033	2380	4,76		
	0,14	79,0	105,3	131,7	210,8	292	416	487	431	575	719	1151	1597	2274	2662	5,46		
M33	0,10	103,5	138,0	172,5	276,0	381	543	635	456	608	760	1216	1679	2392	2799	4,41		
	0,12	101,0	134,7	168,4	269,4	373	531	621	523	697	871	1395	1928	2747	3214	5,17		
	0,14	98,4	131,2	164,0	262,5	363	517	605	585	780	975	1560	2161	3078	3601	5,95		
M36	0,10	121,6	162,1	202,7	324,3	448	638	747	587	783	979	1566	2164	3082	3607	4,83		
	0,12	118,7	158,2	197,8	316,4	438	623	729	672	897	1121	1793	2482	3535	4136	5,67		
	0,14	115,6	154,1	192,6	308,1	427	608	711	752	1002	1253	2005	2778	3957	4631	6,51		
M39	0,10	145,9	194,5	243,1	389,0	537	765	895	758	1011	1264	2022	2791	3975	4652	5,20		
	0,12	142,4	189,9	237,4	379,8	525	748	875	870	1160	1450	2321	3208	4569	5346	6,11		
	0,14	138,8	185,0	231,3	370,0	512	729	853	974	1299	1624	2598	3597	5123	5994	7,02		

Richtwerte für metrisches Feingewinde

Angaben in Anlehnung an VDI 2230, Ausgabe 2003: Vorspannkkräfte/Anziehdrehmomente für Schafschrauben der Festigkeitsklasse 8.8 bis 12.9 bei einer 90%-igen Ausnutzung der Dehngrenze $R_{p0,2}$

Die Tabelle berücksichtigt keine Sicherheiten und setzt die Kenntnis der Auslegungskriterien voraus.

Gewinde	Reibungszahl $\mu_k = \mu_G$	Vorspannkraft $F_{M,max}$ [kN]			Anziehdrehmoment $M_{A,max}$ [Nm]		
		Festigkeitsklasse nach ISO 898/1			Festigkeitsklasse nach ISO 898/1		
		8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M8x1	0,10	20,7	30,4	35,6	22,8	33,5	39,2
	0,12	20,2	29,7	34,7	26,1	38,3	44,9
	0,14	19,7	28,9	33,9	29,2	42,8	50,1
M10x1,25	0,10	32,4	47,5	55,6	44	65	76
	0,12	31,6	46,4	54,3	51	75	87
	0,14	30,8	45,2	52,9	57	83	98
M12x1,25	0,10	49,1	72,1	84,4	79	116	135
	0,12	48,0	70,5	82,5	90	133	155
	0,14	46,8	68,7	80,4	101	149	174
M14x1,5	0,10	66,4	97,5	114,1	124	182	213
	0,12	64,8	95,2	111,4	142	209	244
	0,14	63,2	92,9	108,7	159	234	274
M16x1,5	0,10	89,6	131,6	154,0	189	278	325
	0,12	87,6	128,7	150,6	218	320	374
	0,14	85,5	125,5	146,9	244	359	420
M18x1,5	0,10	120	171	200	283	403	472
	0,12	117	167	196	327	465	544
	0,14	115	163	191	368	523	613
M20x1,5	0,10	151	215	252	392	558	653
	0,12	148	211	246	454	646	756
	0,14	144	206	241	511	728	852
M22x1,5	0,10	186	264	309	529	754	882
	0,12	182	259	303	613	873	1022
	0,14	178	253	296	692	985	1153
M24x2	0,10	213	304	355	666	949	1110
	0,12	209	297	348	769	1095	1282
	0,14	204	290	339	865	1232	1442

► Erläuterungen zur Reibungszahl μ
Seite T.041

Richtwerte für Schraubenbolzen mit Dehnschaft

Schraubenbolzen aus Stahl 21 CrMo V 5 7 (DIN 2510 L Blatt 3)

Richtwerte für Montage-Vorspannkkräfte und Anziehdrehmomente bei 70 % der Mindest-Dehngrenze $R_{p0,2}$

Regelgewinde	M12		M16		M20		M24	
Schaft-Ø	8,5	8,5	12	12	15	15	18	18
$\mu_k = \mu_G$	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10	0,12	0,10	0,12
F_M [N]	21 600	21 600	43 500	43 500	67 800	67 800	97 800	97 800
M_A [Nm]	38	44	98	115	190	220	320	370

Anziehdrehmomente für Schrauben aus Polyamid 6.6

Richtwerte für zweckmässige Anziehdrehmomente für Schrauben aus Polyamid 6.6 bei 20 °C nach Lagerung in Normalklima (relative Luftfeuchte nach DIN 50014) bis zur Einstellung des

Feuchtigkeitsgleichgewichts. Die Vorspannkraft kann wegen Relaxationsvorgängen nachlassen.

Gewinde	Maximales Anziehdrehmoment $M_A \text{ max}$ [Nm]								
	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
Schrauben	0,1	0,2	0,5	1	2	3	4	6	7,5
Muttern	0,1	0,25	0,6	1	2	3,5	5	7,5	9

Schrauben aus austenitischen Werkstoffen A1 / A2 / A4

Vorspannkraften/Anziehdrehmomente (metrisches Regelgewinde) für Schraubschrauben der Festigkeitsklassen 50/70/80 bei einer **90 %-igen Ausnutzung der Dehngrenze $R_{p0,2}$** .

Die Tabelle berücksichtigt keine Sicherheiten und setzt die Kenntnis der Auslegungskriterien voraus.

Gewinde	$\mu_k = \mu_G$	Vorspannkraft F_M [kN]			Anziehdrehmoment M_A [Nm]		
		Festigkeitsklasse			Festigkeitsklasse		
		50	70	80	50	70	80
M1,6	0,1	0,21	0,45	0,6	0,05	0,11	0,15
	0,2	0,18	0,39	0,5	0,08	0,17	0,22
	0,3	0,15	0,33	0,44	0,09	0,2	0,27
M2	0,1	0,35	0,74	1	0,11	0,23	0,30
	0,2	0,3	0,64	0,85	0,16	0,35	0,46
	0,3	0,25	0,55	0,7	0,2	0,43	0,57
M2,5	0,1	0,58	1,23	1,64	0,22	0,46	0,62
	0,2	0,5	1,06	1,42	0,34	0,72	0,97
	0,3	0,42	0,9	1,21	0,42	0,89	1,19
M3	0,1	0,86	1,84	2,5	0,37	0,8	1,1
	0,2	0,75	1,6	2,12	0,59	1,26	1,7
	0,3	0,64	1,36	1,81	0,73	1,56	2,1
M4	0,1	1,5	3,2	4,2	0,86	1,85	2,4
	0,2	1,3	2,76	3,6	1,35	2,9	3,8
	0,3	1,1	2,35	3,1	1,66	3,6	4,7
M5	0,1	2,4	5,2	6,9	1,6	3,6	4,8
	0,2	2,1	4,51	6	2,6	5,7	7,6
	0,3	1,8	3,85	5,1	3,3	7	9,4
M6	0,1	3,4	7,3	9,7	2,9	6,3	8,4
	0,2	3	6,4	8,4	4,6	10	13,2
	0,3	2,5	5,5	7,2	5,7	12,2	16,3
M8	0,1	6,2	13,4	17,9	7,1	15,2	20,3
	0,2	5,4	11,6	15,5	11,2	24,1	32,1
	0,3	4,6	9,9	13,3	13,9	30	40
M10	0,1	9,9	21,3	28,4	14	30	39
	0,2	8,6	18,5	24,7	22,2	47,7	63
	0,3	7,4	15,8	21,1	27,6	59,3	79
M12	0,1	14,4	31	41,4	24	51	68
	0,2	12,6	27	36	38	82	109
	0,3	10,7	23	30,8	47	102	136
M14	0,1	19,8	42,6	56,8	38	82	109
	0,2	17,3	37	49,5	61	131	175
	0,3	14,8	31,7	42,3	76	163	217
M16	0,1	27,2	58	77,7	58	126	168
	0,2	23,7	51	67,9	95	204	272
	0,3	20,3	43,5	58,2	119	255	340

Gewinde	$\mu_k = \mu_G$	Vorspannkraft F_M [kN]			Anziehdrehmoment M_A [Nm]		
		Festigkeitsklasse			Festigkeitsklasse		
		50	70	80	50	70	80
M18	0,1	33,2	71	94	82	176	235
	0,2	28,9	62	82	131	282	376
	0,3	24,7	53	70	164	352	469
M20	0,1	42,5	91	121	115	247	330
	0,2	37,1	79,6	106	187	401	534
	0,3	31,8	68	90	234	501	669
M22	0,1	52,9	113	151	157	337	450
	0,2	46,3	99,3	132	257	551	735
	0,3	39,7	85,2	114	323	692	923
M24	0,1	61,2	131	175	198	426	568
	0,2	53,5	115	153	322	690	920
	0,3	45,8	98	131	403	863	1151
M27	0,1	80,2	-	-	292	-	-
	0,2	70,3	-	-	478	-	-
	0,3	60,3	-	-	601	-	-
M30	0,1	97,6	-	-	397	-	-
	0,2	85,5	-	-	648	-	-
	0,3	73,3	-	-	831	-	-
M33	0,1	121	-	-	536	-	-
	0,2	106	-	-	880	-	-
	0,3	91	-	-	1108	-	-
M36	0,1	143	-	-	690	-	-
	0,2	125	-	-	1130	-	-
	0,3	107	-	-	1420	-	-
M39	0,1	171	-	-	890	-	-
	0,2	150	-	-	1467	-	-
	0,3	129	-	-	1848	-	-

Verbindungselemente aus diesen austenitischen Stählen neigen bei der Montage zum Festfressen. Diese Gefahr wird vermindert durch glatte, saubere Gewindeflächen (gerollte Gewinde), Schmiermittel, Molykotecleitlackbeschichtung (schwarz), niedrige Tourenzahl des Schraubers, zügiges Anziehen ohne Unterbrechung (Schlagschrauber daher ungünstig).

► Erläuterungen zur Reibungszahl μ
Seite T.041

Sicherheit in der Verbindungstechnik bedingt die richtige Spezifikation des Schmierzustandes

Die Reibungszahl wird vor allem durch die Werkstoffpaarung, die Auflageflächen und deren Schmierzustand beeinflusst. Die Kenntnis der Reibungszahl ist für die Sicherheit in der Montage mit der Beziehung «Moment-Vorspannkraft» eine Voraussetzung.

Korrosionsangriffe im Gewinde oder den Auflageflächen beeinträchtigen das Löseverhalten nach einer bestimmten Betriebsdauer. Unterschiedliche Materialpaarungen, hohe Betriebstemperaturen und Feuchtigkeit verstärken das Festfressen und erschweren die Montage resp. Demontage.

Für eine prozesssichere Montage ist das Schmieren mit tribologischen Trockenbeschichtungen zu empfehlen

Die tribologische Trockenbeschichtung ist eine Systemlösung für mechanisch belastete Befestigungselemente und Bauteile (Schrauben, Muttern, Scheiben). Die Beschichtung ist ein nicht elektrolytisch aufgetragener, dünnschichtiger Überzug mit integrierten Schmiereigenschaften und einem zusätzlichen Korrosionsschutz.

Die Anti-Friction-Coatings sind grifffeste Gleitlacke, die hinsichtlich ihrer Formulierung herkömmlichen Industrielacken gleichen. **Bossard ecosyn®-lubric** als eine wirtschaftliche Lösung gewährt gleichbleibende Reibungszahlen und ergibt eine zusätzliche Vereinfachung der Montageprozesse.

Verbindungselemente mit Innenantrieben und niedrigen Kopfformen

Richtwerte für reduzierte Anziehdrehmomente $M_{A,max}$ [Nm]									
Normbezug	ISO 7379	DIN 6912	DIN 7984	Bossard	Bossard	ISO 14580	ISO 14583	ISO 7380	~ISO 7380
Schraubentyp									
Stahl	012.9 BN 1359	08.8 BN 15	08.8 BN 16 BN 17 BN 20172	~010.9 BN 1206	~08.8 BN 9524	08.8 BN 4850	08.8 BN 20005	010.9 BN 19 BN 13255 BN 30102	08.8 BN 6404
M2	–	–	–	0,18	0,16	0,25	0,25	0,25	0,25
M2,5	–	–	–	0,4	0,35	0,5	0,5	0,5	0,5
M3	–	1	0,9	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9
M3,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M4	–	2,3	2,1	1,6	1,4	2	2	2	2
M5	5,2	4,6	4	3	2,8	4	4	4	4
M6	9	8,1	7,2	6	4,8	7,2	7,2	7,2	7,2
M8	21,6	19,4	17,3	13	11	12	12	12	12
M10	43	38,7	34,4	25	23	23	23	23	23
M12	73	65	58	–	–	–	–	58	58
M14	–	105	–	–	–	–	–	–	–
M16	180	162	144	–	–	–	–	–	–
M20	363	330	290	–	–	–	–	–	–
M22	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M24	–	560	500	–	–	–	–	–	–
INOX		A2-70/A4-70 BN 1350	A2-70/A4-70 BN 2844		A2 BN 20146	A2-70 BN 15857	A2-70 BN 20038	A2-70/A4-70 BN1593 BN 8699	
M2	–	–	–	–	0,12	0,19	0,19	0,19	–
M2,5	–	–	–	–	0,25	0,37	0,37	0,37	–
M3	–	–	0,6	–	0,4	0,64	0,64	0,64	–
M3,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M4	–	1,4	1,3	–	1	1,5	1,5	1,5	–
M5	–	2,8	2,6	–	2	3	3	3	–
M6	–	4,8	4,5	–	3,5	5	5	5	–
M8	–	12	10	–	8,2	12	12	12	–
M10	–	24	21	–	16	24	24	24	–
M12	–	40	36	–	–	–	–	40	–
M14	–	65	–	–	–	–	–	–	–
M16	–	100	90	–	–	–	–	–	–
M20	–	200	180	–	–	–	–	–	–
M22	–	–	–	–	–	–	–	–	–
M24	–	330	310	–	–	–	–	–	–

➤ Reduzierte Belastbarkeit
Seite T.050

! Randbedingungen prüfen

Die Schrauben sind nicht für die Übertragung hoher Betriebskräfte geeignet. Die Innen- und Aussenantriebe dieser Schrauben erlauben nur reduzierte Anziehdrehmomente.

! Reduzierte Belastbarkeit

Schrauben nach vorliegender Spezifikation unterliegen wegen ihrer Kopfgeometrie und/oder Antriebsform einer reduzierten Belastbarkeit nach ISO 898-1, das heisst reduzierte Anziehdrehmomente sind zu berücksichtigten.

Die angegebenen maximalen Anziehdrehmomente können bedingt durch die Wahl des Innenantriebs nicht immer prozesssicher aufgebracht werden – speziell konische Bits können hilfreich sein.

Richtwerte für reduzierte Anziehdrehmomente $M_{A,max}$ [Nm]										
Norm	Bossard	Bossard	ecosyn®-fix	ecosyn®-fix	SN 213307	SHEETTracs®	DIN 7991	ISO 14581	ecosyn®-fix	DIN/ISO
Schraubentyp										

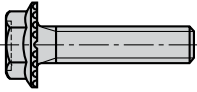
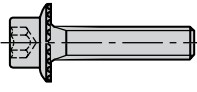
	08.8	~010.9	4.8	4.8	4.8		010.9	08.8	4.8	45 H ¹⁾
	BN 20367	BN 11252	BN 5128	BN 4825	BN 380 BN 381	BN 20191	BN 20 BN 21 BN 1422	BN 4851	BN 5950	Diverse
M2,5	–	–	0,3	0,3	0,3	–	0,5	0,32	–	–
M3	1	1	0,5	0,5	0,5	1,3	0,8	0,6	0,5	0,5
M4	2,5	2,5	1,2	1,2	1,2	3	2	1,3	1,2	1,5
M5	5	5	2,4	2,4	2,4	6,5	3,8	2,6	2,4	3
M6	8	8	4	4	4	11	6,6	4,5	4,1	5
M8	20	20	–	–	–	–	16	11	10	12
M10	40	40	–	–	–	–	31	21	20	24
M12	65	65	–	–	–	–	54	36	34	40
M14	–	–	–	–	–	–	86	58	–	60
M16	–	–	–	–	–	–	132	90	–	100
M18	–	–	–	–	–	–	184	130	–	120
M20	–	–	–	–	–	–	260	180	–	180
M22	–	–	–	–	–	–	350	250	–	210
M24	–	–	–	–	–	–	440	310	–	310

INOX	A2									A2/A4
	BN10649	BN 5952	BN 2845			BN 16 BN 4719	BN 3803	BN 5951	Diverse	
M2,5	–	–	0,5	0,4	0,4	–	0,23	0,23	–	–
M3	–	–	0,8	0,8	0,8	–	0,4	0,4	0,8	0,2
M4	–	–	1,8	1,6	1,6	–	0,9	0,9	1,8	0,7
M5	–	–	3,6	3,2	3,2	–	1,8	1,8	3,6	1,5
M6	–	–	6,3	6	6	–	3,1	3,1	6,3	2,5
M8	–	–	–	–	–	–	7,6	7,6	15,2	6
M10	–	–	–	–	–	–	15	15	30	12
M12	–	–	–	–	–	–	25	25	51	20
M14	–	–	–	–	–	–	40	40	–	30
M16	–	–	–	–	–	–	63	63	–	50
M18	–	–	–	–	–	–	85	85	–	90
M20	–	–	–	–	–	–	120	120	–	105
M22	–	–	–	–	–	–	160	160	–	150
M24	–	–	–	–	–	–	200	200	–	–

¹⁾ Festigkeitsklasse und mechanische Eigenschaften nach ISO 898, Teil 5 gelten für nicht zugbeanspruchte Gewindestifte.

Flanschschrauben und Muttern mit Flansch

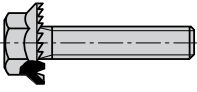
Anziehdrehmomente M_A [Nm] und erzielbare Vorspannkkräfte F_M [kN] für VERBUS RIPP®-Schrauben/Muttern und INBUS RIPP®-Schrauben bei einer 90%-igen Ausnutzung der Dehngrenze $R_{p0,2}$

Klasse	Gegenwerkstoff	Reibungszahl $\mu_k = \mu_G$	Richtwerte Anziehdrehmomente $M_{A,max}$ [Nm]						
			M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
Schrauben – Festigkeitsklasse 100 Muttern – Festigkeitsklasse 10 VERBUS RIPP® BN 2797, BN 9727 	Stahl $R_m \geq 800 \text{ N/mm}^2$	0,13 bis 0,16	10	18	37	80	120	215	310
	Stahl $R_m < 800 \text{ N/mm}^2$	0,12 bis 0,18	11	19	42	85	130	230	330
	Grauguss GG $R_m \sim 150 \text{ bis } 450 \text{ N/mm}^2$	0,125 bis 0,16	9	16	35	75	115	200	300
	Aluminium-Legierung weich, nicht ausgehärtet	0,14 bis 0,2	16	28	65	120	190	320	450
	Aluminium-Legierung hart, ausgehärtet	0,13 bis 0,18	14	25	55	100	160	275	400
			Richtwerte Vorspannkkräfte F_M [kN]						
			9	12,6	23,2	37	54	74	102
Klasse	Gegenwerkstoff	Reibungszahl $\mu_k = \mu_G$	M5	M6	M8	M10	M12		
Schrauben – Festigkeitsklasse 100 Muttern – Festigkeitsklasse 10 INBUS RIPP® BN 3873 	Stahl $R_m \geq 800 \text{ N/mm}^2$	0,13 bis 0,16	11	20	42	85	140		
	Stahl $R_m < 800 \text{ N/mm}^2$	0,12 bis 0,18	13	24	45	90	150		
	Grauguss GG $R_m \sim 150 \text{ bis } 450 \text{ N/mm}^2$	0,125 bis 0,16	10	19	39	80	120		
			Richtwerte Vorspannkkräfte F_M [kN]						
			9	12,6	23,2	37	54		

Montage

Richtwerte für erreichbare Vorspannkkräfte sind in der Praxis zu überprüfen.

Anziehdrehmomente M_A [Nm] und erzielbare Vorspannkkräfte F_M [kN] für VERBUS TENSILOCK®-Schrauben/Muttern bei einer 90%-igen Ausnutzung der Dehngrenze $R_{p0,2}$

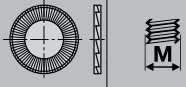
Klasse	Gegenwerkstoff	Reibungszahl $\mu_k = \mu_G$	Richtwerte Anziehdrehmomente $M_{A,max}$ [Nm]						
			M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
Schrauben – Festigkeitsklasse 90 Muttern – Festigkeitsklasse 8/9 BN 73 	Stahl $R_m \sim 500 \text{ bis } 800 \text{ N/mm}^2$	0,16 bis 0,22	9	16	34	58	97	155	215
	Grauguss GG $R_m \sim 150 \text{ bis } 450 \text{ N/mm}^2$	0,16 bis 0,22	7	13	28	49	83	130	195
			Richtwerte Vorspannkkräfte F_M [kN]						
			6,35	9	16,5	26,6	38,3	52,5	73

Drehmoment-Richtwerte für NORD-LOCK®-Keilsicherungscheibenpaar

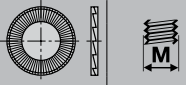
! Die empfohlenen Anzugsmomentewerte basieren auf Labor-Tests und sind für die jeweilige Anwendung zu prüfen.

η = Vorspannungsgrad (prozentuale Ausnutzung der Dehngrenze des Schraubenwerkstoffes)
 μ_g = Gewindereibungskoeffizient
 μ_s = Reibungskoeffizient Sicherungscheibe

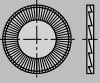

NORD-LOCK®-Scheiben mit Zinklamellenbeschichtung, gepaart mit Schraube 8.8, verzinkt, blau passiviert

	Gewinde- steigung	[mm]	geölter Zustand		Graphit-Paste		trocken	
			η 0,75 μ_g 0,10 μ_s 0,16 Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]	η 0,75 μ_g 0,08 μ_s 0,15 Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]	η 0,62 μ_g 0,15 μ_s 0,18 Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]
NL3	M3	0,5	1,3	2,4	1,2	2,4	1,3	2
NL4	M4	0,7	3,1	4,2	2,8	4,2	3,1	3,5
NL5	M5	0,8	6	6,8	5,4	6,8	6	5,6
NL6	M6	1	10,5	9,7	9,5	9,7	10,2	8
NL8	M8	1,25	25	18	23	18	25	15
NL10	M10	1,5	49	28	45	28	50	23
NL12	M12	1,75	85	40	77	40	85	33
NL14	M14	2	135	55	122	55	136	46
NL16	M16	2	205	75	185	75	208	62
NL18	M18	2,5	288	92	260	92	291	76
NL20	M20	2,5	402	118	363	118	408	97
NL22	M22	2,5	548	146	494	146	557	120
NL24	M24	3	693	169	625	169	703	140
NL27	M27	3	1010	221	910	221	1028	182
NL30	M30	3,5	1379	269	1243	269	1401	222
NL33	M33	3,5	1855	333	1669	333	1889	275
NL36	M36	4	2394	392	2156	392	2436	324
NL39	M39	4	3087	468	2777	468	3145	387
NL42	M42	4,5	3820	538	3439	538	3890	445

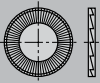

NORD-LOCK®-Scheiben mit Zinklamellenbeschichtung, gepaart mit Schraube 10.9, unbeschichtet

	Gewinde- steigung	[mm]	geölter Zustand		Graphit-Paste	
			η 0,71 μ_g 0,13 μ_s 0,14 Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]	η 0,75 μ_g 0,08 μ_s 0,13 Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]
NL3	M3	0,5	1,8	3,2	1,6	3,4
NL4	M4	0,7	4,1	5,6	3,6	5,9
NL5	M5	0,8	8,1	9,1	7	9,6
NL6	M6	1	14,1	12,9	12,3	13,6
NL8	M8	1,25	34	23	30	25
NL10	M10	1,5	67	37	58	39
NL12	M12	1,75	115	54	99	57
NL14	M14	2	183	74	158	78
NL16	M16	2	279	100	240	106
NL18	M18	2,5	391	123	337	130
NL20	M20	2,5	547	157	470	165
NL22	M22	2,5	745	194	639	205
NL24	M24	3	942	225	809	238
NL27	M27	3	1375	294	1176	310
NL30	M30	3,5	1875	358	1608	378
NL33	M33	3,5	2526	443	2157	468
NL36	M36	4	3259	522	2788	551
NL39	M39	4	4203	624	3588	659
NL42	M42	4,5	5202	716	4445	757

NORD-LOCK®-Scheiben mit Zinklamellenbeschichtung, gepaart mit Schraube 12.9, unbeschichtet

		Gewinde- steigung [mm]	geölter Zustand		Graphit-Paste	
			Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]	Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]
NL3	M3	0,5	2	3,9	1,7	4,1
NL4	M4	0,7	4,6	6,7	4	7,1
NL5	M5	0,8	9,1	10,9	7,7	11,5
NL6	M6	1	15,8	15,4	13,5	16,3
NL8	M8	1,25	38	28	32	30
NL10	M10	1,5	75	44	64	47
NL12	M12	1,75	128	65	109	68
NL14	M14	2	204	89	174	94
NL16	M16	2	311	120	263	127
NL18	M18	2,5	437	148	370	156
NL20	M20	2,5	610	188	515	198
NL22	M22	2,5	831	233	699	246
NL24	M24	3	1052	270	887	286
NL27	M27	3	1533	352	1288	372
NL30	M30	3,5	2091	430	1761	454
NL33	M33	3,5	2815	532	2362	562
NL36	M36	4	3633	626	3053	662
NL39	M39	4	4683	748	3925	790
NL42	M42	4,5	5799	860	4866	908

NORD-LOCK®-Scheiben in Edelstahl mit INOX-Schraube, geschmiert mit Graphit-Paste

		Gewinde- steigung [mm]	A4-70, Graphit-Paste		A4-80, Graphit-Paste	
			Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]	Drehmoment [Nm]	Vorspannkraft [kN]
NL3ss	M3	0,5	0,9	1,5	1,2	2
NL4ss	M4	0,7	2	2,6	2,7	3,4
NL5ss	M5	0,8	3,9	4,1	5,3	5,5
NL6ss	M6	1	6,9	5,9	9,2	7,8
NL8ss	M8	1,25	17	11	22	14
NL10ss	M10	1,5	33	17	43	23
NL12ss	M12	1,75	56	25	75	33
NL14ss	M14	2	89	34	119	45
NL16ss	M16	2	136	46	181	61
NL18ss	M18	2,5	191	56	254	75
NL20ss	M20	2,5	267	72	356	95
NL22ss	M22	2,5	364	89	485	118
NL24ss	M24	3	460	103	613	137
NL27ss	M27	3	671	134	895	179
NL30ss	M30	3,5	915	164	1220	219
NL36ss	M36	4	1591	239	2121	319

Hochfeste Schrauben für den Stahlbau

nach EN 14399 (HV-Garnituren)

Die Bemessung, Konstruktion und Herstellung von Verbindungen mit hochfesten Schrauben im Stahlbau sind geregelt in EN 1090, Teil 2.

Die Festigkeit hochfester Verbindungen entspricht den in ISO 898 geforderten Werten:

- für Schrauben EN 14399, Teil 4: ISO 898, Teil 1
- für Muttern EN 14399, Teil 4: ISO 898, Teil 2
- Scheiben EN 14399, Teil 5 bis 6 sind aus Stahl vergütet auf 300 bis 370 HV 10 (~ 29–36 HRC)

Folgende Möglichkeiten für das Vorspannen der Schrauben sind vorgesehen:

- mit Drehmomentschlüssel per Hand (Drehmomentverfahren)
- mit Schlagschrauber, der auf ein bestimmtes Drehmoment eingestellt wird (Drehimpulsverfahren)
- durch das Drehwinkelverfahren, bei dem nach Aufbringen eines bestimmten Voranziehmomentes, die Mutter oder die Schraube um einen **vorgegebenen** Drehwinkel weiter angezogen werden muss

Vorspannkraften und Anziehdrehmomente für Drehmoment-, Drehimpuls-, Drehwinkel- und kombiniertes Vorspannverfahren für Garnituren der Festigkeitsklasse 10.9, Oberflächenzustand: feuerverzinkt und geschmiert¹⁾

Gewinde	Regel-Vorspannkraft F_V	Drehmomentverfahren	Drehimpulsverfahren	Drehwinkelverfahren	Kombiniertes Verfahren
		Aufzubringendes Anziehdrehmoment M_A zum Erreichen der Regelvorspannkraft F_V	Einzustellende Vorspannkraft $F_{V,DI}$ zum Erreichen der Regelvorspannkraft F_V	Voranziehmoment $M_{VA, DW}$	Voranziehmoment $M_{VA, KW}$
	[kN]	[Nm]	[kN]	[Nm]	[Nm]
M12	50	100	60	10	75
M16	100	250	110	50	190
M20	160	450	175	50	340
M22	190	650	210	100	490
M24	220	800	240	100	600
M27	290	1 250	320	200	940
M30	350	1 650	390	200	1 240
M36	510	2 800	560	200	2 100

¹⁾ Muttern mit Molybdändisulfid oder gleichwertigem Schmierstoff behandelt

Erforderlicher Weiterdrehwinkel ϑ bzw. Weiterumdrehungsmasse V für das kombinierte Vorspannverfahren an Garnituren der Festigkeitsklasse 10.9 nach obiger Tabelle

Gesamte Nenndicke Σt der zu verbindenden Teile (einschliesslich aller Futterbleche und Unterlegscheiben)	Weiterdrehwinkel ϑ	Weiterumdrehungsmasse V
$\Sigma t < 2 d$	45°	1/8
$2 d \leq \Sigma t < 6 d$	60°	1/6
$6 d \leq \Sigma t < 10 d$	90°	1/4
$10 d < \Sigma t$	keine Empfehlung	keine Empfehlung

Überprüfen der Vorspannung bei Regelvorspannkraften

Weiterdrehwinkel ϑ	Bewertung	Massnahmen
< 30°	Vorspannung war ausreichend	Keine
30° bis 60°	Vorspannung war bedingt ausreichend	Garnitur belassen und zwei benachbarte Verbindungen im gleichen Anschluss prüfen
> 60°	Vorspannung war nicht ausreichend	Garnitur auswechseln ¹⁾ und zwei benachbarte Verbindungen im gleichen Anschluss prüfen

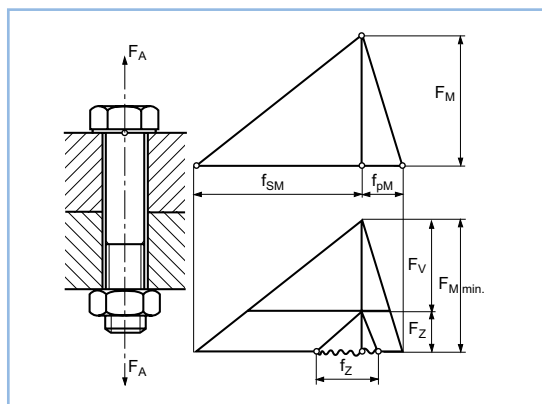
¹⁾ Lediglich bei vorwiegend ruhend beanspruchten SLV- oder SLVP-Verbindungen ohne zusätzliche Zugbeanspruchung dürfen diese überprüften Verbindungsmittel in der Konstruktion belassen werden.

Zusammenstellung der konstruktiven Massnahmen zum Sichern von Schraubenverbindungen

Beim Sichern von Schraubenverbindungen unterscheidet man grundsätzlich zwei Arten: Lockern und Losdrehen.

Lockern

Bei axial belasteten Schraubenverbindungen, die richtig vorgespannt sind, tritt ein Lockern dann ein, wenn infolge von Setzerscheinungen oder durch eine plastische Dehnung bei zu hohen Betriebskräften F_A die Vorspannkraft bleibend vermindert wird.



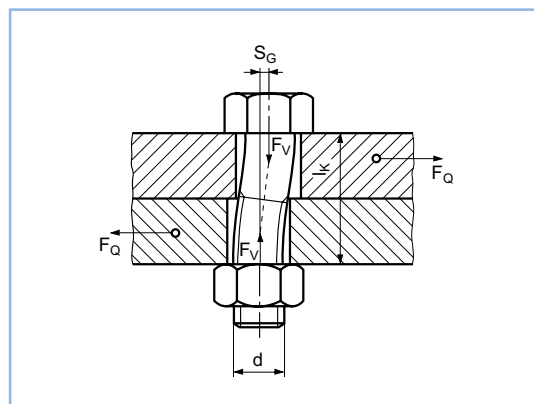
- F_M = Montagevorspannkraft
- f_{SM} = Verlängerung der Schraube durch F_M
- f_{PM} = Verkürzung der verspannten Teile durch F_M
- F_V = erforderliche Vorspannkraft
- F_Z = Anteil der Montagevorspannkraft, die durch Setzen verloren geht
- f_z = Setzbetrag, der beim Setzen durch plastische Verformung entsteht
- F_A = Axiale Betriebskraft
- $F_{Mmin} = F_V + F_Z$

Folgende Sicherungsmöglichkeiten gegen Lockern bieten sich an:

Massnahmen	Wirkung
Saubere, glatte Trennfläche Wenig Trennfugen Keine weichen plastischen verformbaren Klemmelemente	Reduktion der Setzmöglichkeiten
Lange Schrauben ($l_k > 4 \cdot d$) Dehnschrauben Dehnhülsen	Hohe Elastizität Minimale Vorspannkraftverluste durch Setzen Höhere Dauerhaltbarkeit
Verbindungselemente mit Flansch	Grössere Auflagefläche verhindert das Überschreiten der zulässigen Grenzflächenpressung Grössere Toleranz für Bohrloch-Ø
Spezialscheiben mit Härte 200 HV	Gleiche Vorteile wie oben Einsatz bis Festigkeitsklasse 8.8

Losdrehen

Schrauben, die unter dynamischer Beanspruchung durch Querkräfte F_Q senkrecht zur Schraubenachse stehen, drehen sich selbsttätig los, wenn eine ungenügende Vorspannkraft (zu schwache Dimensionierung, Montagefehler, Lockern) Gleitbewegungen zulässt. Dadurch geht der Reibschluss in der Kopfbzw. Mutternauflage sowie im Gewinde verloren.



- F_V = Vorspannkraft
- F_Q = Querkraft
- l_k = Klemmlänge
- S_G = Verschiebung der Klemmteile
- d = Nenndurchmesser

Folgende Sicherungsmöglichkeiten gegen Losdrehen bieten sich an:

Massnahmen	Wirkung
Grösserer Schrauben-Ø Höhere Festigkeitsklassen	Höhere Vorspannkraft, dadurch erschwerte Relativbewegungen (Reibschluss)
Pass-Schulter-schrauben Zylinder- oder Spann-stifte	Verhinderung der Relativbewegungen zwischen den verspannten Teilen (Formschluss)
Lange Schrauben ($l_k > 4 \cdot d$) Dehnschrauben Dehnhülsen	Elastische Verbindungen mit Kompensationsvermögen
Rippen-Schrauben oder Rippen-Scheiben	Rollierender Effekt führt zur Verdichtung der Oberfläche mit Einbetten der Rippen

Zusammenstellung zusätzlicher Sicherungsmöglichkeiten gegen das Lockern oder Losdrehen von Schraubenverbindungen und Verliersicherungen

! Hinweis

Die in der folgenden Tabelle aufgeführte Sicherungswirkung bezüglich Lockern, Losdrehen und/oder Verlust basiert ausschliesslich auf Erfahrungen aus der Praxis. Es ist in der Verantwortung des Anwenders, die verschiedenen Elemente und Methoden in genauer Kenntnis des spezifischen Einsatzfalles zu überprüfen.

Elementbezeichnungen / Normen	Sicherheit gegen									Bemerkungen
	Lockern bis				Losdrehen bis				Verlust	
	div.	5.6	8.8	10.9	div.	5.6	8.8	10.9		
Schrauben und Muttern mit geripptem Flansch (VERBUS RIPP®)				○				●		Erhöhtes Losdrehmoment durch gerippten Flansch bei ungehärteten Bauteilen
Schrauben und Muttern mit Sperrzähnen (VERBUS TENSILOCK®)							●			Gezahnte Flanschlfläche verhindert Losdrehen bei ungehärteten Bauteilen
Schrauben mit konkavem Telleransatz (ecosyn®-fix)		●				●				Erhöhtes Losdrehmoment durch grossen konkaven Teller
Precote® Typ 30/80/85, Scotch-Grip® 2353, Loctite®, DELO®, Three Bond®					●	●	●	●	●	Chemische Sicherungsmittel heben das Gewindenspiel auf und dichten ab
Schrauben mit Polyamid-Beschichtung Tuflok®									●	Verliersicherung durch klemmendes Gewinde, max. 120 °C
Gewindefurchende Schrauben für Metalle DIN 7500	●				●				●	Gesamtsicherheit durch gefurchten, spielfreien Gewindegewinde
Gewindefurchende Schrauben für Thermoplaste ecosyn®-plast, PT® und DELTA PT®	●				●				●	Gesamtsicherheit durch gefurchten, spielfreien Gewindegewinde
Muttern mit Klemmteil DIN 982/985 etc.									●	Verliersicherung durch Polyamid-Klemmteil, max. 120 °C
Muttern mit Klemmteil DIN 980/ISO 7042 etc.									●	Verliersicherung durch metallisches Klemmteil
Dichtmuttern mit Klemmteil (Seal-Lok®) etc.									●	Verliersicherung und Abdichtung durch Polyamid-Klemmteil, max. 120 °C
Elastische Muttern (Serpress®) etc.		●				○				Sicherungswirkung durch Elastizität (nicht klemmend)
Kronenmuttern DIN 935 etc.					●	●	●		●	Splint verhindert Verlust, beschränktes Losdrehen ist möglich
Sechskantmuttern mit Federscheibe			●							Integrierte federnde Scheibe kompensiert Einsetzen
Sechskantmuttern mit Zahnscheibe (BN 1364)							○			Erhöhtes Losdrehmoment durch integrierte, drehbare Zahnscheibe
Flanschmuttern / Flanschschrauben			○				○			reduzierte Flächenpressung mit grösserer Reibfläche
Federringe DIN 127/128/7980 etc.		●					○			Federnd, leichte Erhöhung des Losdrehmomentes
Fächer- und Zahnscheiben DIN 6798/6797 etc.						●				Hohes Losdrehmoment auf weicher Auflagefläche
Rip-Lock® Profilierte Spannscheiben			●	○			●	○		Federnde, profilierte Universalscheibe, erhöhtes Losdrehmoment bei ungehärteten Bauteilen
Rippenscheiben (beidseitig Rippen)			○				●	●		Federnde beidseitig porfiliierte Scheibe mit erhöhtem Losdrehmoment bei ungehärteten Bauteilen
Spannscheiben DIN 6796 etc.			●	●						Hohe Anpresskräfte mit entsprechenden Federeigenschaften
NORD-LOCK® Schraubensicherungssystem			●	●			●	●		Das NORD-LOCK®-Schraubensicherungssystem nutzt die unterschiedlichen Winkelverhältnisse zwischen den Keiflächen und dem Schraubengewinde für das wirksame Sichern von Schraubenverbindungen in kritischen Applikationen, verhindert das Losdrehen bei Schwingungsbeanspruchung und dynamischer Belastung.

Sicherungswirkung: ● sehr gut ○ gut ○ mässig

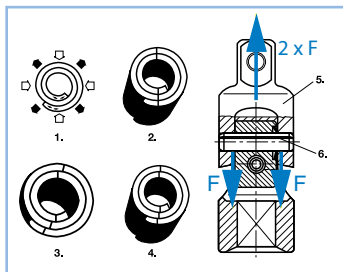
Praxiserfahrung mit Schrauben, die gesichert werden sollten

Klemmlänge L_k Gewinde-Ø d	Beanspruchung			
	statisch		dynamisch	
	in Achsrichtung	quer zur Achse	in Achsrichtung	quer zur Achse
Kurz $L_k < 2 d$	keine Sicherung	Sicherung abklären	Sicherung abklären	Sicherung erforderlich
Mittel $5 d > L_k \geq 2 d$	keine Sicherung	keine Sicherung	je nach Randbedingung Sicherung abklären	Sicherung erforderlich
Lang $L_k \geq 5 d$	keine Sicherung	keine Sicherung	keine Sicherung	je nach Randbedingung Sicherung abklären

Statische Scherkräfte für zweischnittige Spannstiftverbindungen

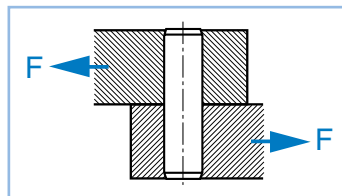
Nenn-Ø [mm]	Abscherkraft F min. [kN]			
	Spiralspannstifte		Spannstifte (Spannhülsen)	
	Regelausführung nach ISO 8750	Schwere Ausführung nach ISO 8748	Schwere Ausführung ISO 8752	Leichte Ausführung ISO 13337
			bis 8 mm Nenn-Ø ab 10 mm Nenn-Ø	bis 8 mm Nenn-Ø ab 10 mm Nenn-Ø
	Federstahl vergütet auf 420 bis 545 HV		Federstahl vergütet auf 420 bis 560 HV	
0,8	0,2	–	–	–
1	0,3	–	0,35	–
1,2	0,45	–	–	–
1,5	0,72	0,95	0,79	–
2	1,25	1,75	1,41	0,75
2,5	1,95	2,75	2,19	1,2
3	2,25	3,8	3,16	1,75
3,5	3,75	–	4,53	2,3
4	4,8	6,75	5,62	4
4,5	–	–	7,68	4,4
5	7,5	10	8,77	5,2
6	11	15	13	9
8	19,5	26,5	21,38	12
10	31	42	35,08	20
12	44,5	60	52,07	24
13	–	–	57,55	33
14	60	82,5	72,36	42
16	77,5	105	85,51	49
18	–	–	111,27	63
20	125	170	140,32	79

Spiral-Spannstift

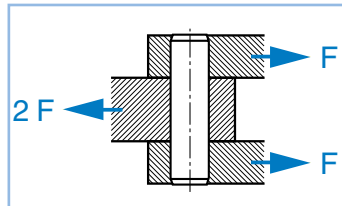


1. Radiale Elastizität in schematischer Darstellung
2. Stift vor dem Einsetzen
3. Eingesetzter Stift
4. Herausgeschlagener Stift mit zurückgefedernden Windungen
5. Kardangeln für Steckschlüssel
6. Spiral-Spannstift

Einschnittige Verbindung



Zweischnittige Verbindung



Positionierung der geschlitzten Spannhülse

Für eine steife Verbindung
Stärkere Belastbarkeit

Für eine weiche Verbindung
Kleinere Belastbarkeit, kleine Federwege in Richtung der Kraft F sind möglich.

Direktverschraubung in Metalle mit gewindefurchenden Schrauben

nach DIN 7500

Was ist bei der Auslegung und Konstruktion zu beachten?

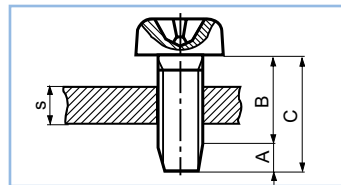
- Schrauben nach DIN 7500 (trilobular) furchen spanlos ein lehrenhaltiges, metrisches Muttergewinde.
- Die Schrauben sind auf eine Zugfestigkeit von ca. 800 N/mm² einsetzvergütet.
- Gewindefurchen ist in duktile Metalle wie Stahl, Bunt- und Leichtmetalle bis ca. 140 bis 160 HV möglich.
- Für spröde Metalle wie Grauguss ist das Gewindefurchen nicht geeignet.
- Schrauben aus INOX A2 können prozesssicher nur in Leichtmetalle eingedreht werden. **Dabei sind die Vorlöcher 5 % grösser als die Tabellenwerte zu wählen.**
- Es sind keine zusätzlichen Sicherungselemente wie Sicherungsringe notwendig. Vibrationssicherheit wird durch die Gewindereibung gewährleistet.
- 10 bis 20 Wiederholmontagen sind möglich.
- Die mechanischen Eigenschaften der Verbindung können bei dünnen Blechen mit Stanzdurchzügen verbessert werden.

Hinweis

Voraussetzung für eine sichere Schraubverbindung ist die funktionsgerechte Gestaltung der Bauteile und die Wahl des richtigen Verbindungselementes.

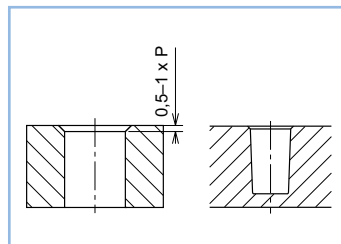
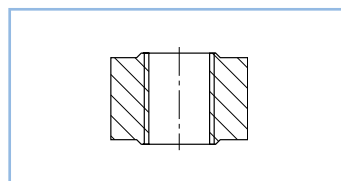
- A = Konisches Schraubenende von max. 4 P
- B = Nutzbare Gewindelänge
- C = Gesamtlänge, Toleranz js 16
- s = Materialstärke

Bei Bestimmung der Schraubenlänge ist die Länge des nicht voll tragenden, konischen Schraubenendes zu berücksichtigen.

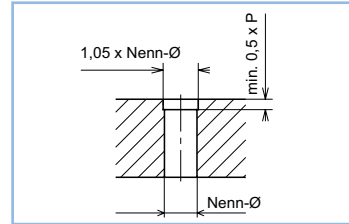


Gestaltung der Vorlöcher

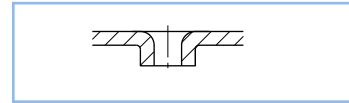
Durch die Materialverdrängung beim Furchen des Gewindes entsteht an der Kernlochkante ein kleiner Wulst. Dieser kann beim Zusammenbau von glatten Teilen stören. Es empfiehlt sich daher eine Ansenkung der Kernlochkanten von 90° auf eine Tiefe von 0,5 bis 1 x der Gewindesteigung P oder eine zylindrische Ansenkung.



Die zylindrische Ansenkung hat den Vorteil, dass durch das Anpassen der Ansenktiefe die Einschraubtiefe bei verschiedenen dicken Befestigungsteilen konstant gehalten werden kann. Das bedeutet bei gleichen Materialien und Schraubendimensionen gleiche Montagemomente. Empfehlung auch für Druckguss.



In dünnen Blechen erhöht ein Durchzug die Tragfähigkeit der Verbindung.



» **Detaillierte Informationen** fragen Sie bitte bei Bossard Engineering an.

Richtwerte für Kernlochgeometrie in Stahl

Technische Angaben	Gewinde Nenndurchmesser							
	M2	M2,5	M3	M3,5	M4	M5	M6	M8
Gewindesteigung P [mm]	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,25
max. Anziehdrehmoment [Nm]	ca. 80% des Bruchdrehmomentes							
min. Bruchdrehmoment ¹⁾ [Nm]	0,4	1	1,8	2,8	4,1	8,7	15	37
min. Zugkraft ¹⁾ [kN]	1,65	2,7	4	5,4	7	11,4	16	29
Materialstärke s [mm]	Kernlochdurchmesser d – H11 für Stahl, HB max. 135, gebohrt oder gestanzt							
2 und kleiner	1,8	2,25	2,7	3,2	3,6	4,5	5,4	–
4	1,85	2,3	2,75	3,2	3,65	4,55	5,5	7,3
6	–	2,35	2,75	3,2	3,7	4,6	5,5	7,4
8	–	–	–	–	3,7	4,65	5,55	7,4
10 und grösser	–	–	–	–	–	4,65	5,6	7,5

¹⁾ **Torsionsprüfung an der Schraube nach ISO 898, Teil 7:**

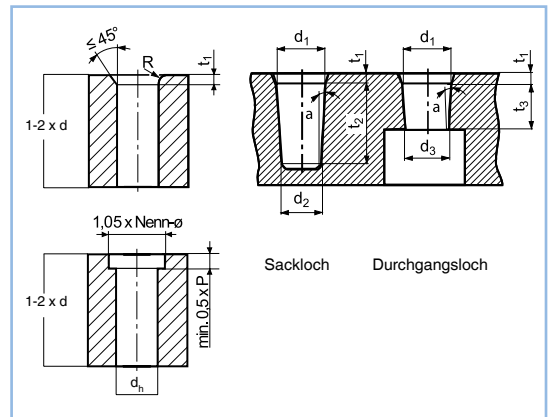
Die zu prüfende Schraube muss in einer geeigneten Vorrichtung entsprechend ISO 898, Teil 7 fest eingespannt werden. Die Prüfung der Mindestbruchdrehmomente nach ISO 898, Teil 7 bezieht sich ausschliesslich auf die Torsionsbelastung unter den definierten Einspannbedingungen.

Kernlöcher für Druckguss

Alle Empfehlungen sind immer durch praxisnahe Montageversuche zu überprüfen.

Generell gilt für Kernlöcher in Druckguss

- t₁ [mm]: Oberer Lochbereich, mit verstärkter Konizität für giesstechnisch vorteilhafte Ausrundungen, Verstärkung des Dornes, Schraubenzentrierung, Verhinderung von Materialstauchung und Anpassung an kostengünstige Schraubennormlängen.
- t₂ [mm]: Kernlochbereich, Anzugswinkel α maximal 1°
- t₃ [mm]: Tragender Kernlochbereich, Anzugswinkel α maximal 1°



Richtwerte für Kernlochgeometrie in Aluminium-/Zinkdruckguss

Masse mm	Gewinde								
	M2	M2,5	M3	M3,5	M4	M5	M6	M8	
d_h H11	1,81	2,3	2,75	3,25	3,65	4,65	5,5	7,5	
d_1	min.	1,85	2,33	2,84	3,31	3,74	4,72	5,66	7,61
	max.	1,91	2,39	2,90	3,39	3,82	4,80	5,74	7,69
d_2	min.	1,75	2,22	2,70	3,13	3,56	4,50	5,40	7,27
	max.	1,81	2,28	2,76	3,21	3,64	4,58	5,48	7,35
d_3	min.	1,80	2,28	2,75	3,22	3,65	4,61	5,5	7,44
	max.	1,86	2,34	2,83	3,30	3,73	4,69	5,61	7,52
t_1	variabel, mindestens 1 x Gewindesteigung P								
t_2	4	5	6	7	8	10	12	16	
t_3	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	

Was ist bei der Montage zu beachten?

- Sichere und wirtschaftliche Verbindungen können nur mit drehmoment- und/oder drehwinkelgesteuerten Schraubern hergestellt werden.
- **Die Drehzahlen sollten zwischen 300 und 1000 U/min liegen.** Es können sowohl elektrisch wie auch pneumatisch betriebene Schrauber eingesetzt werden.
- An Bauteilversuchen sollte die Wiederholgenauigkeit des Schraubprozesses überprüft werden, um evtl. noch nicht erfasste Einflüsse berücksichtigen zu können.

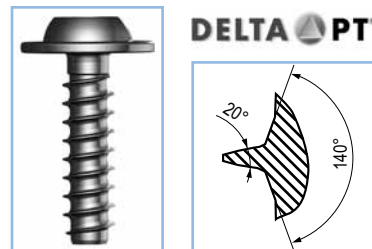
- Wenn Sie mit Schraubautomaten montieren wollen, kontaktieren Sie uns so früh wie möglich, damit wir Ihre Schrauben in der **notwendigen Automatenqualität** definieren und herstellen lassen können (Lieferzeiten berücksichtigen). Die automatisierte Montage von «Lagerschrauben» ohne Tests ist in der Regel nicht zu empfehlen und deckt die Ansprüche einer wirtschaftlichen Lösung meist nicht ab!

► Ermittlung der Drehmomente
Seite T.063

Direktverschraubung in Thermoplaste mit Delta PT®-Schrauben

Die Delta PT® hat alle bekannten Eigenschaften der PT®-Schraube. Darüber hinaus bietet die Delta PT®-Schraube folgende Vorteile:

- Gewindeflankengeometrie mit dem Hauptflankenwinkel 20° begünstigt die Umformung des Kunststoffes
- Bei gleichem Nenn-Ø d, bis zu 50% höhere Zug- und Torsionsfestigkeit durch vergrößerten Kernquerschnitt
- Erhöhte Vibrationssicherheit durch kleinere Gewindesteigung
- Gesteigerte Dauerschwingfestigkeit
- Kleinere Ø-Toleranzen
- Robustes Verbindungselement, das mehr Vorspannkraft übertragen kann
- Das DELTA PT®-Prognoseprogramm DELTACALC® ermöglicht ein vorspannkraftorientiertes Konstruieren in Thermoplasten (vgl. VDI 2230)



Kostengünstigere Verbindungen

Aus dem folgenden Beispiel wird deutlich, dass bei gleicher Flankenüberdeckung A_{FL} , bedingt durch die kleinere Steigung P eine kleinere Einschraubtiefe t_b möglich ist. Aus der gegebenen Flankenüberdeckung A_{FL} der PT®-Schraube lässt sich die benötigte Einschraubtiefe t_b der Delta PT®-Schraube berechnen.

Der Vergleich zwischen DELTA PT® und der PT®-Schraube ergibt: **Beim Einsatz der DELTA PT® kann eine kleinere oder kürzere und somit eine günstigere Schraube verwendet werden.**

	A_{FL} [mm ²]	P [mm]	d [mm]	t_b [mm]
PT® K 50	35	2,24	4	13,24
Delta PT® 50	35	1,8	4	10,42
Delta PT® 40	35	1,46	3,2	11,75

$$A_{FL} = (d_1^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{t_b}{P}$$

Konstruktionsempfehlungen

- Für einfache Befestigungen genügen die hier publizierten Empfehlungen.
- Für Verbindungen mit Betriebskräften helfen wir Ihnen gerne bei der Auslegung, unter anderem auch mit Unterstützung von DELTACALC®.
- Wahl grosser Kopfdurchmesser (BN 20040) beim Verbinden von Klemnteilen aus Kunststoff. Die Kopfreibung vergrössert die Prozesssicherheit in der Montage; geringere Flächenpressung ergibt eine geringere Relaxation und somit grössere Restklemmkräfte.
- Vermeidung von Senkschrauben in Klemnteilen aus Kunststoff. Der 90°-Winkel ergibt nicht nur axiale, sondern auch radiale Relaxation, was bei zu geringem Randabstand grosse Vorspannkraftverluste zur Folge hat und bis zum Versagen des Klemnteiles führen kann.
- Vermeidung von Schlitzlöchern in Klemnteilen aus Kunststoff. Mangels Kopfauflage kann das Formmoment grösser sein als das Kopfreibungsmoment, was eine prozesssichere Montage unmöglich macht.
- Querkräfte sollten durch Formschluss der Bauteile übernommen werden.
- Entlastungsbohrung d_e vorsehen (Vermeidung von Spannungsrissen).

Tubegestaltung für Delta PT®-Schrauben

Die maximal erreichbare Vorspannkraft beim Überdrehen ist das Kriterium für den optimalen **Loch-Ø d**. Er ist weniger vom Tubusmaterial und der Einschraubtiefe t_e , sondern von der Gewindesteigung P und dem Gewindenenn-Ø d_1 der Schraube abhängig. Für die Auslegung gilt für alle gängigen Kunststoffe bis zum E-Modul $E = 15\,000\text{ N/mm}^2$ (Loch-Ø d für Spezialkunststoffe auf Anfrage):

$$d = 0,8 \cdot d_1$$

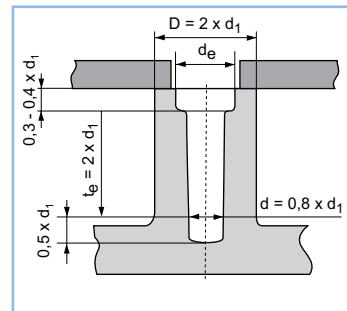
$$d_e = d_1 + 0,2\text{ mm}$$

Die **Entlastungsbohrung d_e** ist besonders wichtig, da sie eine günstige Randspannungsverteilung ergibt und damit ein Aufplatzen des Tubus insbesondere bei spannungsrissempfindlichen Kunststoffen wie z. B. Polycarbonat verhindert. Sie gewährleistet auch die ebene Auflage des Klemnteiles (Aufstauen des Kunststoffes beim Formen des ersten Gewindeganges).

Bei Optimierung der Verbindung sollte **der Loch-Ø $d = 0,88 \cdot d_1$ nicht überschritten werden**.

In der Praxis können sich aus folgenden Gründen Abweichungen zu diesen Empfehlungen ergeben:

- Verarbeitungsbedingungen des Kunststoffmaterials
- Gestaltung des Spritzgiesswerkzeuges
- Position des Anspritzpunktes
- Bildung von Fliessnähten
- Örtliche Texturen, z. B. durch Zusatz- und Füllstoffe wie Farbpigmente und Fasern
- Die Kunststoffe können je nach Hersteller unterschiedlich modifiziert sein



- D Aussen-Ø
- d Vorloch-Ø
- t_e Einschraubtiefe
- d_e Randentlastung
- d_1 Nenn-Ø der Schraube

! Hinweis

Wir empfehlen mit den ersten werkzeugfallenden Teilen **Kontrollverschraubungen** durchzuführen.

» **Detaillierte Informationen** fragen Sie bitte bei Bossard Engineering an.

Berechenbar mehr Leistung

Die Vorauslegung der Schraubverbindung in Thermoplaste kann mit dem Berechnungsprogramm DELTACALC® simuliert werden. In Anlehnung an VDI 2230 ist ein vorspannkraftorientiertes Konstruieren möglich. Die Aussagen reichen von Dimensionierungen über die Belastbarkeit bis hin zur Lebensdauer der Verbindung.

Wenn die **Betriebskräfte der belasteten Verbindungen** bekannt sind, kann Ihnen die Checkliste für einen möglichen Engineering Support dienlich sein.

Für Anfragen über DELTACALC®-Berechnungen wenden Sie sich an Ihren Bossard-Ansprechpartner (bossard@bossard.com).

DELTA CALC®

Zugbruchlast

Ausführung PT 10 (Stahl, vergütet, Festigkeit analog 10.9)

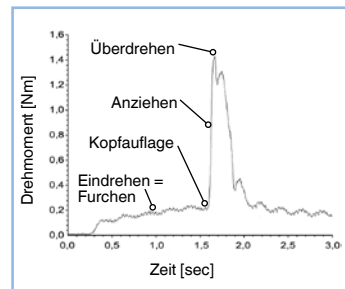
Nenngrösse Delta PT®	Nenn-Ø (d _i) [mm]	Min. Zugbruchlast [kN]
20	2	1,6
22	2,2	1,9
25	2,5	2,7
30	3	3,8
35	3,5	5,2
40	4	6,8
45	4,5	8,6
50	5	10
60	6	15
70	7	21
80	8	28
100	10	44

Was ist bei der Montage zu beachten?

- Sichere und wirtschaftliche Verbindungen können nur mit drehmoment- und/oder drehwinkelgesteuerten Schraubern hergestellt werden. Die für das spannungsarme Formen des Gewindes im Kunststoff benötigte Wärme wird durch Reibung beim Einschrauben erzeugt.
- **Die Drehzahlen sollten zwischen 300 bis 800 U/min liegen.**
- Es können sowohl elektrisch wie auch pneumatisch betriebene Schrauber eingesetzt werden.
- An Bauteilversuchen sollten die errechneten Werte und die Wiederholgenauigkeit des Schraubprozesses überprüft werden, um evtl. noch nicht erfasste Einflüsse zu berücksichtigen.
- Wenn Sie mit Schraubautomaten montieren wollen, kontaktieren Sie uns so früh wie möglich, damit wir ihre Schrauben in der **notwendigen Automatenqualität** definieren und herstellen lassen können (Lieferzeiten beachten). Die automatisierte Montage von «Lagerschrauben» ohne Tests ist in der Regel nicht zu empfehlen und deckt die Ansprüche einer wirtschaftlichen Lösung meist nicht ab!

Ermittlung der Drehmomente

Um eine optimale Prozesssicherheit zu erreichen, muss die Differenz zwischen Eindreh- (Me) und Überdrehmoment (Mü) möglichst gross sein. Die realen Verschraubungsparameter können mit den Originalbauteilen im «Anwendungstechnischen Labor» bei Bossard ermittelt werden. Das optimale, am Schrauber einzustellende Montage-Anziehdrehmoment M_A wird anhand der kundenspezifischen Anforderungen bestimmt. Die Versuche werden in Form eines «Technischen Berichtes» dokumentiert.



Checkliste für eine Vorauslegung der Schraubenverbindung

i Anmerkung

Die Resultate aus der Berechnung von Bossard müssen durch Praxisversuche an Serienbauteilen bestätigt werden.

Angaben zur Schraube

Schraube
 Werknorm
 Kopfform-Beschreibung
 Kopf-Ø [mm]
 Nenn-Ø [mm]
 Länge [mm]

Angaben zum Klemmteil

Materialbeschreibung
 Handelsname
 Dicke des Klemmteils [mm]
 Durchgangsloch-Ø [mm]

Angaben zum Tubus

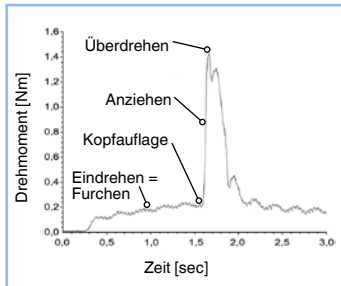
Materialbeschreibung
 Handelsname
 Tubuskern-Ø [mm]
 Tubusaussen-Ø [mm]
 Einschraubtiefe [mm]
 Entlastungs-Ø [mm]
 Höhe der Entlastung [mm]

Angaben zur Belastung

gefordertes Anziehdrehmoment [Nm]
 geforderte Vorspannkraft [kN]
 Betriebskraft (axial) [N]
 Tubusbelastung dynamisch [ja/nein]
 Tubusbelastung statisch [ja/nein]
 Temperatur, Dauerbelastung [°C]
 Höhe der Entlastung [mm]
 Zeitraum [h]

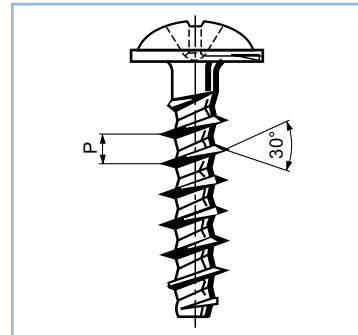
▶ Hinweise zur Tubusgestaltung
 Seite T.062

Direktverschraubung in Thermoplaste mit PT®-Schrauben / ecosyn®-plast



Vorteile der PT®-Schraube / ecosyn®-plast

- Niedriges Eindrehmoment, hohes Überdrehmoment
- Grosse Montage- und Verbindungssicherheit
- Ausgezeichnete Rüttelsicherheit
- Geringe Gefahr von Spannungsrissen
- Kein Setzen der Verbindung durch übermässige Relaxation des Kunststoffes
- Wirtschaftliches Verbindungselement für die Direktverschraubung in Thermoplaste



Die PT®-Schraube / ecosyn®-plast hat alle Eigenschaften, die ihre Montage in Thermoplasten sehr sicher macht und den Verbindungen die hohe Festigkeit gibt.

Konstruktionsempfehlung

- Wahl grosser Kopfdurchmesser (BN 13578) beim Verbinden von Klemnteilen aus Kunststoff. Die Kopfreibung vergrössert die Prozesssicherheit in der Montage; geringere Flächenpressung ergibt eine geringere Relaxation und somit grössere Restklemmkräfte.
- Vermeidung von Senkschrauben in Klemnteilen aus Kunststoff. Der 90°-Winkel ergibt nicht nur axiale, sondern auch noch radiale Relaxation, was bei zu geringem Randabstand grosse Vorspannkraftverluste zur Folge hat und bis zum Bruch führen kann.
- Vermeidung von Schlitzlöchern in Klemnteilen aus Kunststoff. Mangels Kopfauflage kann das Formmoment grösser sein als das Kopfreibungsmoment, was eine sichere Montage unmöglich macht.
- Querkräfte sollten durch Formschluss der Bauteile übernommen werden.
- Entlastungsbohrung d_e vorsehen (Vermeidung von Spannungsrissen).

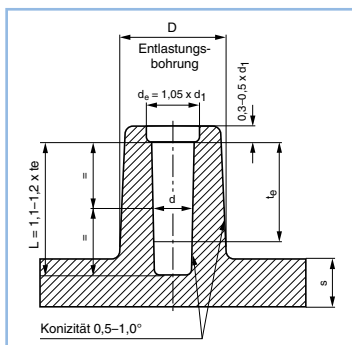
Tubeformgestaltung für PT®-Schrauben / ecosyn®-plast

Um eine optimale, sich auch in der Praxis bewährende Konstruktion zu gestalten, ist es unbedingt erforderlich, die Tubegeometrie den unterschiedlichen Werkstoffen anzupassen. Die untenstehenden Angaben basieren auf Laborversuchen mit Modellkörpern. In der Praxis können Änderungen erforderlich sein. Wir empfehlen, Kontrollverschraubungen mit Erstmustern durchzuführen.

Werkstoff	Loch-Ø d	Aussen-Ø D	Einschraubtiefe t _b
ABS / PC blend	0,80 x d ₁	2,00 x d ₁	2,00 x d ₁
ASA	0,78 x d ₁	2,00 x d ₁	2,00 x d ₁
PA 4.6	0,73 x d ₁	1,85 x d ₁	1,80 x d ₁
PA 4.6 - GF 30	0,78 x d ₁	1,85 x d ₁	1,80 x d ₁
PA 6	0,75 x d ₁	1,85 x d ₁	1,70 x d ₁
PA 6 - GF 30	0,80 x d ₁	2,00 x d ₁	1,90 x d ₁
PA 6.6	0,75 x d ₁	1,85 x d ₁	1,70 x d ₁
PA 6.6 - GF 30	0,82 x d ₁	2,00 x d ₁	1,80 x d ₁
PBT	0,75 x d ₁	1,85 x d ₁	1,70 x d ₁
PBT - GF 30	0,80 x d ₁	1,80 x d ₁	1,70 x d ₁
PC	0,85 x d ₁	2,50 x d ₁	2,20 x d ₁ ¹⁾
PC - GF 30	0,85 x d ₁	2,20 x d ₁	2,00 x d ₁ ¹⁾
PE (weich)	0,70 x d ₁	2,00 x d ₁	2,00 x d ₁
PE (hart)	0,75 x d ₁	1,80 x d ₁	1,80 x d ₁
PET	0,75 x d ₁	1,85 x d ₁	1,70 x d ₁
PET - GF 30	0,80 x d ₁	1,80 x d ₁	1,70 x d ₁
PMMA	0,85 x d ₁	2,00 x d ₁	2,00 x d ₁
POM	0,75 x d ₁	1,95 x d ₁	2,00 x d ₁
PP	0,70 x d ₁	2,00 x d ₁	2,00 x d ₁
PP - TV 20	0,72 x d ₁	2,00 x d ₁	2,00 x d ₁
PPO	0,85 x d ₁	2,50 x d ₁	2,20 x d ₁ ¹⁾
PS	0,80 x d ₁	2,00 x d ₁	2,00 x d ₁
PVC (hart)	0,80 x d ₁	2,00 x d ₁	2,00 x d ₁
SAN	0,77 x d ₁	2,00 x d ₁	1,90 x d ₁

d₁ = Gewinde-Nenn-Ø

¹⁾ Da es sich hier um spannungsrissempfindliche Werkstoffe handelt, sollten die vom Werkstoffhersteller empfohlenen Tests durchgeführt werden. Die Entlastungsbohrung d_e ist hier besonders wichtig, da sie eine günstige Randspannungsverteilung gewährleistet.

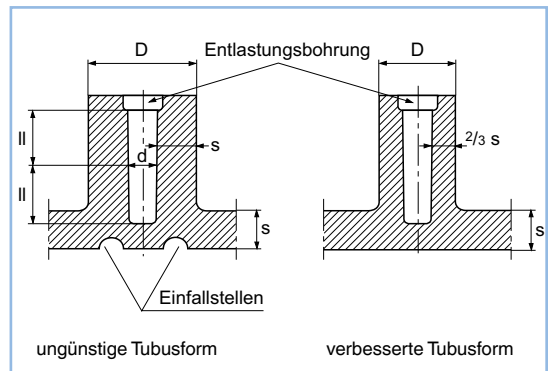


Formveränderungen

Ergeben sich bei der angegebenen Tubenform Lunker, Einfallstellen oder verlängerte Spritzzyklen, kann die Form folgendermassen geändert werden:

- Tubusaussendurchmesser D verkleinern
- Lochdurchmesser d vergrössern
- Kernlochtiefe und damit Einschraubtiefe der Schraube vergrössern, um die Einbusse an Ausreisswiderstand wieder auszugleichen.

Genügend tiefe Kernlöcher wählen, damit die montierten Schrauben auf keinen Fall im Lochgrund anstehen.



Zugbruchlast der PT®-Schrauben

Stahl, vergütet, Festigkeit analog 10.9

Nenngrösse PT®	Nenn-Ø d ₁ [mm]	Min. Zugbruchlast [kN]
K18	1,8	1,1
K20	2	1,3
K22	2,2	1,6
K25	2,5	2
K30	3	2,7
K35	3,5	3,6
K40	4	4,6
K50	5	7
K60	6	9,8
K70	7	13
K80	8	16
K100	10	25

➤ Was ist bei der Montage zu beachten?
Seite T.063

➤ Ermittlung der Drehmomente
Seite T.063

Verschraubungsarten von Blechen

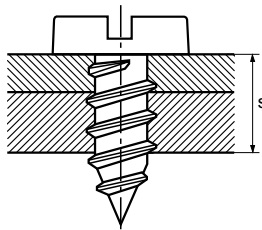
Anwendung nach DIN 7975

Nachfolgend sind einige Richtlinien für die Anwendung von Blechschrauben angegeben. Die dargestellten Verschraubungsarten gelten als Beispiele.

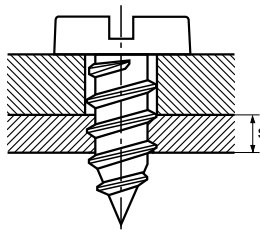
Blechschrauben Form C mit Spitze (auch Suchspitze genannt) werden überwiegend verwendet. Dies gilt besonders beim Verschrauben mehrerer Bleche, bei denen mit Lochversatz gerechnet werden muss.

! Mindestwert der Einschraubtiefe (Blechdicke s)

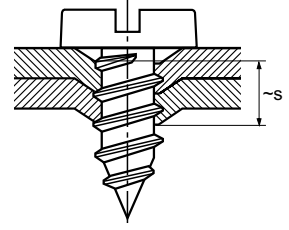
Die Einschraub-Blechdicke muss grösser sein, als die Steigung des Gewindes der gewählten Schraube, da sonst eine prozesssichere Montage nicht gewährleistet ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so können Blechschraubenverbindungen entsprechend den Bildern 3 bis 6 angewendet werden.



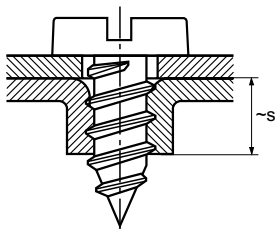
1. Einfache Verschraubung
(zwei Kernlöcher)



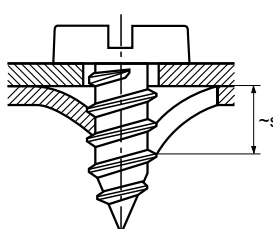
2. Einfache Verschraubung
(mit Durchgangsloch)



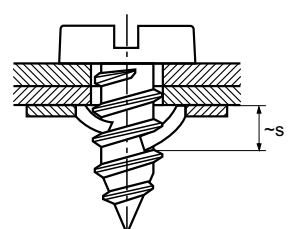
3. Kernloch aufgedornt
(dünne Bleche)



4. Kernloch durchgezogen
(dünne Bleche)



5. Presslochverschraubung



6. Verschraubung mit Klemm-Mutter

! Hinweise

- Blechschrauben sind nicht zum Übertragen hoher Kräfte ausgelegt. Es gibt keine Richtwerte für Vorspannkräfte.
- Bei dünnen Blechen (und besonders bei Massenfertigung) kann auch die Presslochverschraubung verwendet werden. Das Pressloch ist gestanzt, geschlitzt und spiralförmig entsprechend der Gewindesteigung geformt.
- Klemmmuttern ermöglichen den Einsatz von Blechschrauben unabhängig von der Blechdicke oder dem Blechmaterial.
- Für die Verschraubung von austenitischen Rostfrei-Blechen sind die Anziehmomente zu überprüfen.
- Rostfreie Blechschrauben können prozesssicher nur in Leichtmetall verschraubt werden. Beim Einsatz in Stahl oder rostfreiem Stahl sind die Anwendungsbedingungen experimentell zu ermitteln.

Blebschraubenverbindungen/Blehdicken/ Kernlochdurchmesser

Die folgenden Richtwerte gelten nur für einsatzvergütete Blebschrauben in Verbindungen entsprechend Bild 2 auf Seite T.066. Die Einschraubdrehmomente erreichen max. 50% der Mindestbruchdrehmomente.

Bei anderen Schrauben- oder Blechwerkstoffen sollten Vorversuche durchgeführt werden. Gestanzte Löcher müssen eventuell 0,1 bis 0,3 mm grösser gewählt werden. Es sollte nur in Stanzrichtung verschraubt werden.

Gewindegrösse	Gewinde-Steigung P [mm]	Werkstoff-festigkeit R _m [N/mm ²]	Kernlochdurchmesser d _k für Gewindegrösse ST 2,2 bis ST 6,3 bei Blehdicke s [mm]																					
			0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	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	0,8	ab 100	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
		bei ca. 300	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
		bis 500	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
ST 2,9	1,1	ab 100	-	-	-	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
		bei ca. 300	-	-	-	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
		bis 500	-	-	-	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
ST 3,5	1,3	ab 100	-	-	-	-	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
		bei ca. 300	-	-	-	-	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
		bis 500	-	-	-	-	2,7	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
ST 3,9	1,4	ab 100	-	-	-	-	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
		bei ca. 300	-	-	-	-	2,9	2,9	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
		bis 500	-	-	-	-	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
ST 4,2	1,4	ab 100	-	-	-	-	-	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
		bei ca. 300	-	-	-	-	-	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
		bis 500	-	-	-	-	-	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
ST 4,8	1,6	ab 100	-	-	-	-	-	-	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
		bei ca. 300	-	-	-	-	-	-	-	3,6	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
		bis 500	-	-	-	-	-	-	-	3,9	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
ST 5,5	1,8	ab 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		bei ca. 300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		bis 500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ST 6,3	1,8	ab 100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		bei ca. 300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		bis 500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Mindestbruchdrehmomente für Blebschrauben aus Stahl

ISO 2702 (alt DIN 267, Teil 12)

Nenn-Ø [mm]	ST 2,2	ST 2,6	ST 2,9	ST 3,3	ST 3,5	ST 3,9	ST 4,2	ST 4,8	ST 5,5	ST 6,3	ST 8	ST 9,5
Mindestbruchdrehmoment ¹⁾ [Nm]	0,45	0,9	1,5	2	2,7	3,4	4,4	6,3	10	13,6	30,5	68

¹⁾ Torsionsfestigkeit mit Klemmvorrichtung nach ISO 2702 ermittelt.

Anziehdrehmomente für Blebschrauben

Anhaltswerte sind aus ISO 2702 (alt DIN 267, Teil 12) abzuleiten.

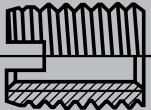
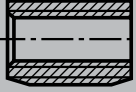

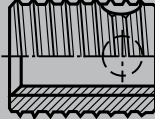

Richtwerte für Anziehdrehmomente:

M_A = ca. 80% der Mindestbruchmomente resp. dem Überdrehmoment mit Ausfallstelle in Schraube oder Bauteil.

Das maximale Einschraubmoment sollte nicht höher als 50% des Überdrehmomentes (Bruchdrehmoment der Schraube) sein.

Auswahlkriterien für selbstschneidende Gewindeeinsätze Ensat®

Gruppierung der Werkstoffe, Werknormenreihe und Ausführung

				
Ensats® Typ 302	Ensats® Typ 305	Ensats® Typ 307/308	Ensats® Typ 337/338	Ensats® Typ 309

Werkstoffgruppe	Werkstoff des Werkstückes	Empfohlene Werknormen	Empfohlene Ensats®-Ausführung
I	Vergütete Leichtmetalllegierungen über 350 N/mm ² Festigkeit	302/337 307/338 308	Stahl einsatzgehärtet verzinkt
	Gusseisen höherer Härte, Messing Bronze und andere NE-Metalle	302	Stahl einsatzgehärtet verzinkt
II	Leichtmetalllegierungen bis 350 N/mm ² Festigkeit	302/337 307/338 308	Stahl einsatzgehärtet verzinkt
	Gusseisen	302	Stahl einsatzgehärtet verzinkt
	Harte, spröde Kondensationsharzkunststoffe und Edelkunstharze	302/337 307/338 308	Stahl einsatzgehärtet verzinkt oder Messing
III	Leichtmetalllegierungen bis 300 N/mm ² Festigkeit	302/337 307/338 308	Stahl einsatzgehärtet verzinkt
	Weiches Gusseisen	302	Stahl einsatzgehärtet, verzinkt
	Kondensationsharzkunststoffe mittlerer Härte	302/337 307/338 308	Stahl einsatzgehärtet verzinkt
		302	Messing
IV	Leichtmetalllegierungen bis 250 N/mm ² Festigkeit	302	Stahl einsatzgehärtet verzinkt
	Weichmetalle und Leichtmetalllegierungen bis 180 N/mm ² Festigkeit	302	Stahl einsatzgehärtet verzinkt oder INOX A1
	Weiche Kondensationsharzkunststoffe Schichtstoffe mit Kunstharzbindung	302	Stahl einsatzgehärtet, verzinkt oder Messing oder INOX A1
	Weiche Polymerisations-, Polykondensations- und Polyadditionskunststoffe Harthölzer	302	Stahl einsatzgehärtet, verzinkt oder Messing oder INOX A1
V	Harthölzer	309	Messing
VI	Weichhölzer und Sperrhölzer Holzfaserstoffe	309	Messing
VII	Weiche Polymerisations-, Polykondensations- und Polyadditionskunststoffe	305	Messing

Empfohlene Kernlochdurchmesser und Materialdicke/Sacklochtiefe für selbstschneidende Gewindeeinsätze Ensat®

Der Kernlochdurchmesser ist von dem Ensat®-Aussengewinde, von der Festigkeit und den physikalischen Eigenschaften des Werkstückmaterials abhängig.

Harte und spröde Werkstoffe erfordern ein grösseres Kernloch als weiche und elastische Werkstoffe. Der optimale Kernlochdurchmesser ist gegebenenfalls durch Versuche zu ermitteln.

Ensat® Typ 302

Gewinde	Kernloch-Ø D [mm]				Materialdicke A _{min}	Sacklochtiefe B _{min}
	Für Werkstoffgruppe					
	I	II	III	IV		
Erreichbare Flankenüberdeckung						
	30%–40%	40%–50%	50%–60%	60%–70%		
M2,5	4,3–4,2	4,2–4,1	4,1	4,1–4	6	8
M2,6	4,3–4,2	4,2	4,1	4,1–4	6	8
M3	4,8–4,7	4,7	4,6	4,6–4,5	6	8
M3,5	5,7–5,6	5,6–5,5	5,5–5,4	5,4–5,3	8	10
M4	6,2–6,1	6,1–6	6–5,9	5,9–5,8	8	10
M5	7,6–7,5	7,5–7,3	7,3–7,2	7,2–7,1	10	13
M6a	8,6–8,5	8,5–8,3	8,3–8,2	8,2–8,1	12	15
M6	9,4–9,2	9,2–9	9–8,8	8,8–8,6	14	17
M8	11,4–11,2	11,2–11	11–10,8	10,8–10,6	15	18
M10	13,4–13,2	13,2–13	13–12,8	12,8–12,6	18	22
M12	15,4–15,2	15,2–15	15–14,8	14,8–14,6	22	26
M14	17,4–17,2	17,2–17	17–16,8	16,8–16,6	24	28
M16	19,4–19,2	19,2–19	19–18,8	18,8–18,6	22	27
M20	25,4–25,2	25,2–25	25–24,8	24,8–24,6	27	32
M24	29,4–29,2	29,2–29	29–28,8	28,8–28,6	30	36

Ensat® Typ 307/308/337/338

Gewinde	Kernloch-Ø D [mm]			Materialdicke A _{min}	Sacklochtiefe B _{min}
	Für Werkstoffgruppe				
	I	II	III		
Erreichbare Flankenüberdeckung					
	50%–60%	60%–70%	70%–80%		
M3,5	5,7–5,6	5,6	5,6–5,5	5/8	7/10
M4	6,2–6,1	6,1	6,1–6	6/8	8/10
M5	7,7–7,6	7,6–7,5	7,5–7,4	7/10	9/13
M6	9,6–9,5	9,5–9,4	9,4–9,3	8/12	10/15
M8	11,5–11,3	11,3–11,2	11,2–11,1	9/14	11/17
M10	13,5–13,3	13,3–13,2	13,2–13,1	10/18	13/22
M12	15,4–15,2	15,2–15,1	15,1–15	12/22	15/26
M14	17,4–17,2	17,2–17,1	17,1–17	14/24	17/28

Ensat® Typ 309

Gewinde	Kernloch-Ø D [mm]		Materialdicke A _{min}	Sacklochtiefe B _{min}
	Für Werkstoffgruppe			
	V	VI		
Erreichbare Flankenüberdeckung				
	85%–90%	90%–95%		
M2,5	3,8–3,6	3,6–3,5	6	8
M3	4,3–4,2	4,2–4,1	6	8
M4	5,3–5,2	5,2–5,1	10	13
M5	6,9–6,7	6,7–6,6	12	15
M6	7,9–7,7	7,7–7,6	14	17
M8	10,3–10,1	10,1–9,9	20	23
M10	12,8–12,6	12,6–12,4	23	26
M12	15,8–15,6	15,6–15,4	26	30

Ensat® Typ 305

Gewinde	Empfohlener Kernloch-Ø D [mm]	Für Werkstoffgruppe	Materialdicke A _{min}	Sacklochtiefe B _{min}
M3	4,6–4,7		6	7
M4	6–6,1		8	9
M5	7,3–7,4		10	11
M6	9–9,2		14	15

Aufnahmebohrung im Werkstück

Die Aufnahmebohrung kann entweder gebohrt oder bereits beim Formguss vorgesehen werden. Ansenken der Bohrung ist in der Regel nicht erforderlich, wird jedoch für einen sauberen, oberflächenbündigen Sitz des Ensat® empfohlen.

Materialdicke:

Länge des Ensat® = kleinste zulässige Materialdicke (A)

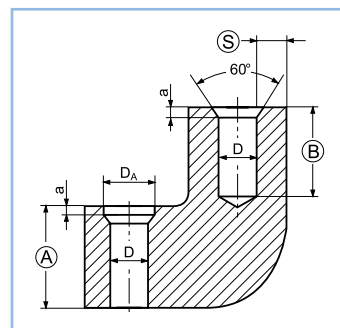
Sacklochtiefe: Mindesttiefe (B)

Kantenabstand: Der kleinste noch zulässige Kantenabstand hängt von der vorgesehenen Belastung und von der Elastizität des Werkstoffs ab, in den der Ensat® eingedreht wird.

Richtwerte für Leichtmetall: $\text{S} \geq 0,2$ bis $\geq 0,6 d_2$

Richtwerte für Gusseisen: $\text{S} \geq 0,3$ bis $\geq 0,5 d_2$

d_2 = Aussendurchmesser [mm] des Ensat®



$D_A = +0,2$ bis $0,4$ mm

$a = 1$ bis $1,5 \times$ Steigung des Aussengewindes

Innenantriebe für Schrauben

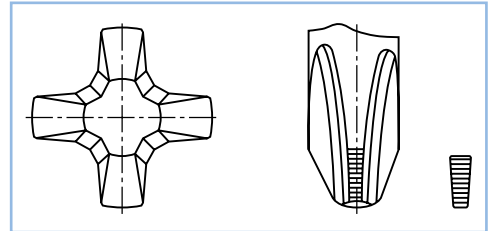
Der technische Fortschritt und wirtschaftliche Überlegungen bewirken weltweit einen zunehmenden Übergang von Geradschlitzschrauben zu Schrauben mit Innenantrieben.

Bei der Fülle angebotener Möglichkeiten ist es für die Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Beschaffung und Montage heute unerlässlich, die wichtigsten Innenantriebe zu kennen.

Kreuzschlitz H (Phillips)

nach ISO 4757

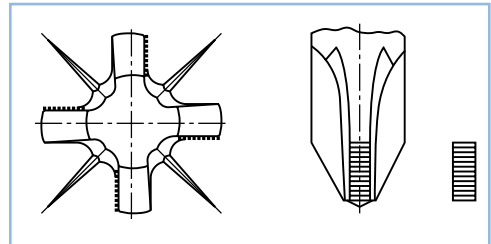
- Der Phillips-Kreuzschlitz ist weltweit am meisten verbreitet.
- Normaler Kreuzschlitz, bei dem alle Wände und Rippen schräg geneigt sind, wobei der Schraubenzieher trapezförmige Flügelen den aufweist.
- Die wichtigsten Identifikationsmasse finden Sie in den Produktbeschreibungen der jeweiligen Kataloggruppe.



Kreuzschlitz Z (Pozidriv)

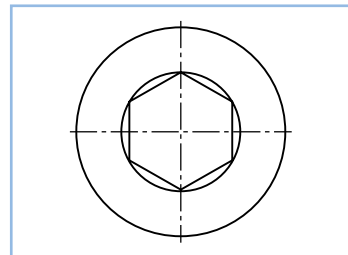
nach ISO 4757

- Der Pozidriv Kreuzschlitz hat vorwiegend in Europa eine gewisse Bedeutung erlangt.
- Die vier «Anzugswände» im Kreuzschlitz an denen der Schraubenzieher beim Eindrehen der Schrauben anliegt sind senkrecht. Die restlichen Wände und Rippen sind schräg. Dies verbessert bei optimal gefertigten Kreuzschlitz die Montierbarkeit. Der Pozidriv-Schraubenzieher hat rechteckige Flügelen den.
- Die wichtigsten Identifikationsmasse finden Sie in den Produktbeschreibungen der jeweiligen Kataloggruppe.



Innensechskant

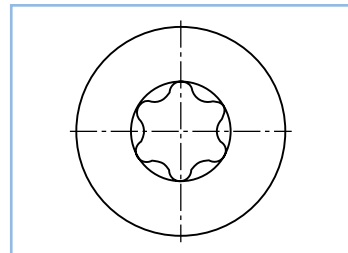
- Innensechskant-Schrauben bewähren sich seit Jahren im allgemeinen Maschinen- und Apparatebau.
- Innensechskant-Schrauben haben kleinere Schlüsselweiten als Aussensechskant-Schrauben, das heisst auch wirtschaftlichere Konstruktionen durch kleinere Abmessungen.
- Die wichtigsten Identifikationsmasse finden Sie in den Produktbeschreibungen der jeweiligen Kataloggruppe.



Innensechsrund

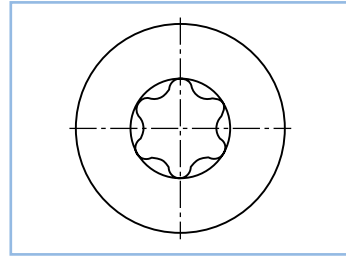
nach ISO 10664

- Die Entwicklung des Innensechsrund-Antriebes war ein Meilenstein in der Entstehung anwendungsgerechter Kraftangriffe für Hand- und automatische Montage und er findet immer mehr Anwendung auf der ganzen Welt.
- Im Vergleich zu herkömmlichen Kreuzschlitz- und Innensechskantantrieben zeichnet sich dieses Antriebssystem durch geringe Abnutzung und niedrige Anpresskräfte aus. Das typische Herausspringen «cam out» der Werkzeuge konnte eliminiert und die Kraftübertragung verbessert werden.
- Die wichtigsten Identifikationsmasse finden Sie in den Produktbeschreibungen der jeweiligen Kataloggruppe.

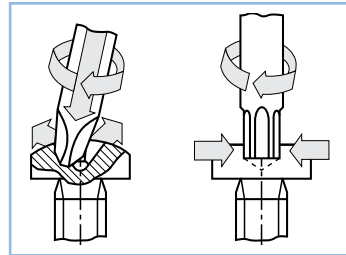


Torx plus®

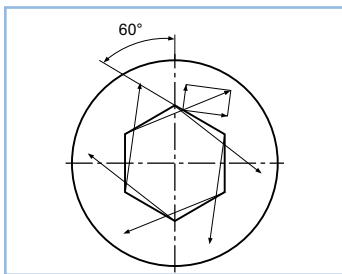
- Der Torx plus®-Antrieb wird gegenüber dem Innensechsrund-Antrieb (Torx®), welcher durch eine Folge von Radien definiert wird, über Ellipsen definiert und verbessert das ursprüngliche Innensechsrund-Design.
- Das Torx plus®-System ist mit den vorhandenen Werkzeugen des Innensechsrund (Torx®)-Systems kompatibel!
- Die speziellen Vorteile der Torx plus®-Geometrie erschliessen sich dem Anwender jedoch nur bei Verwendung von Torx plus®-Schrauberrits (Werkzeug) und bei Verwendung in Schraubautomaten.
- Die wichtigsten Identifikationsmasse finden Sie in den Produktbeschreibungen der jeweiligen Kataloggruppe.

**Technische Vorteile der Innensechsrund- und Torx plus®-Antriebe und ihr wirtschaftlicher Nutzen**

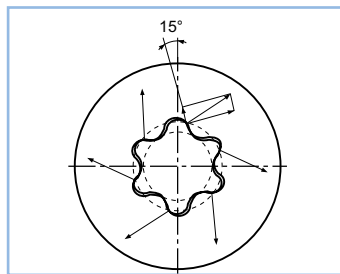
- Kein axialer Anpressdruck, wie bei der Montage von Kreuzschlitzschrauben.
- Einwandfreie Eignung für die Anziehdrehmomente aller genormten Festigkeitsklassen.
- Keine Beschädigung des Innenantriebes, damit immer einwandfrei lösbar. Extrem niedriger Werkzeugverschleiss.
- Grosses Rationalisierungs-Potential in der Verbindungs-Technik, da sicherer Antrieb für alle Schrauben.
- Kreisrunder, kleiner, material- und platzsparender Kopf, entsprechend Zylinderschrauben DIN 84, DIN 7984, aber trotzdem voll belastbar und allen Anforderungen bezüglich einer maximal zulässigen Flächenpressung entsprechend.
- Keine Probleme bei der Montage von Linsenschrauben ISO 7380 und Senkschrauben DIN 7991. Die hohe Festigkeit 010.9 dieser Schrauben, die nur einer Verbesserung der Innensechskantfestigkeit dient, kann für Schrauben mit Innensechsrund zugunsten einer besseren Zähigkeit auf 08.8 zurückgenommen werden.

**Vorteile des Innensechsrund- und Torx plus®-Schraubensystems**

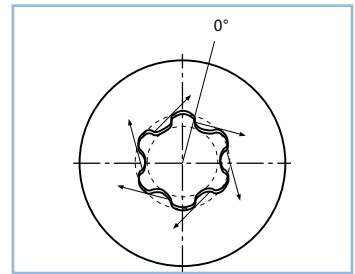
Das Innensechsrund- und Torx plus®-Schraubensystem bietet Vorteile aufgrund seiner besonderen Konstruktionsmerkmale.



60° Kraftangriffswinkel
beim Innensechskant-Antrieb



15° Kraftangriffswinkel
beim Innensechsrund-Antrieb



0° Kraftangriffswinkel
beim Torx plus®-Antrieb

- Der tatsächliche Angriffswinkel beträgt bei Innensechsrund 15° und bei Torx plus® 0°. Damit wird die eingesetzte Kraft auch wirklich zum Antrieb der Schraube verwendet. Die Innensechsrund- und die Torx plus®-Geometrie verlängert somit die Lebenszeit der Schrauberrits um bis zu 100%.

- Der Querschnitt des Torx plus®-Antriebes ist im Vergleich zum Innensechsrund noch zusätzlich verstärkt. Dadurch wird die Torsionsfestigkeit der Antriebswerkzeuge noch erhöht.
- Die geringe Abschrägung des Kraftangriffs ermöglicht einen besseren Sitz der Antriebswerkzeuge selbst bei geringen Eindringtiefen.

Schraubenantriebe und zugeordnete Werkzeuggrößen

Innensechskant-Schlüsselweiten



Gewinde	Normbezug					
	DIN 912 ISO 4762 DIN 6912	DIN 7984	DIN 7991	DIN 913/914 DIN 915/916 ISO 4026/4027 ISO 4028/4029	ISO 7379	ISO 7380
M1,4	1,3	–	–	0,7	–	–
M1,6	1,5	–	–	0,7	–	–
M2	1,5	–	–	0,9	–	–
M2,5	2	–	1,5	1,3	–	–
M3	2,5	2	2	1,5	–	2
M4	3	2,5	2,5	2	–	2,5
M5	4	3	3	2,5	–	3
M6	5	4	4	3	3	4
M8	6	5	5	4	4	5
M10	8	7	6	5	5	6
M12	10	8	8	6	6	8
M14	12	10	10	6	–	–
M16	14	12	10	8	8	10
M18	14	12	12	10	–	–
M20	17	14	12	10	10	–
M22	17	14	14	12	–	–
M24	19	17	14	12	12	–
M27	19	–	–	–	–	–
M30	22	–	–	–	–	–
M33	24	–	–	–	–	–
M36	27	–	–	–	–	–
M42	32	–	–	–	–	–
M48	36	–	–	–	–	–

Innensechsrund-Größen¹⁾

metrische Schrauben			Holzschrauben			Bleischrauben		
Gewinde	Antrieb		Nenn-Ø	Antrieb		Gewinde	Antrieb	
M2	T6	X6	3	T10	X10	ST 2,2	–	X6
M2,5	T8	X8	3,5	T15	X15	ST 2,9	–	X10
M3	T10	X10	4	T15	X15	ST 3,5	–	X15
M4	T20	X20	4,5	T25	X25	ST 3,9	–	X15
M5	T25	X25	5	T25	X25	ST 4,2	–	X20
M6	T30	X30	6	T25	X25	ST 4,8	–	X25
M8	T40	X40	7	T30	X30	ST 5,5	–	X25
M10	T50	X50	–	–	–	ST 6,3	–	X30

Antriebstyp:

- T = Torx®
- X = Innensechsrund nach ISO 10664

¹⁾ Richtwerte basieren auf Produktnormen. Spezielle Werksnormen oder Brand-Produkte können davon abweichen.

Sechskantschlüsselweiten

Gewinde	Normbezug							
	Sechskant-Produkte					Sechskant-Flanschprodukte		
	DIN	ISO	DIN	ISO	DIN	DIN	DIN/ISO/EN	
	558 601 931 933 934 960 961 7990 7968 (571) ¹⁾	4018 4016 4014 4017 4032 8765 8676	6914 6915 7999	7412 7414	561	schwer ≤ M10 leicht > M10 6921	leicht ISO 4162 EN 1662	schwer EN 1665 Muttern ISO 4161 EN 1661 EN 1663 EN 1664 DIN 6923 DIN 6926 DIN 6927
M1,6	3,2	-	-	-	-	-	-	-
M2	4	-	-	-	-	-	-	-
M2,5	5	-	-	-	-	-	-	-
M3	5,5	-	-	-	-	-	-	-
M3,5	6	-	-	-	-	-	-	-
M4	7	-	-	-	-	-	-	-
M5	8	-	-	-	-	8	7	8
M6	10	-	-	-	8	10	8	10
M7	11 (12) ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-
M8	13	-	-	-	10	13	10	13
M10	17	16	-	-	13	15	13	15 (EN16)
M12	19	18	22	21	17	16	15 (EN16)	18
M14	22	21	-	-	-	18	18	21
M16	24	-	27	-	19	21	21	24
M18	27	-	-	-	-	-	-	-
M20	30	-	32	34	24	27	27	30
M22	32	34	36	-	-	-	-	-
M24	36	-	41	-	30	-	-	-
M27	41	-	46	-	-	-	-	-
M30	46	-	50	-	36	-	-	-
M33	50	-	-	-	-	-	-	-
M36	55	-	60	-	46	-	-	-
M39	60	-	-	-	-	-	-	-
M42	65	-	-	-	55	-	-	-
M45	70	-	-	-	-	-	-	-
M48	75	-	-	-	65	-	-	-

¹⁾ für Holzschrauben

Allgemeines

Von den Gewindemassen und der Profiltreue hängt es ab:

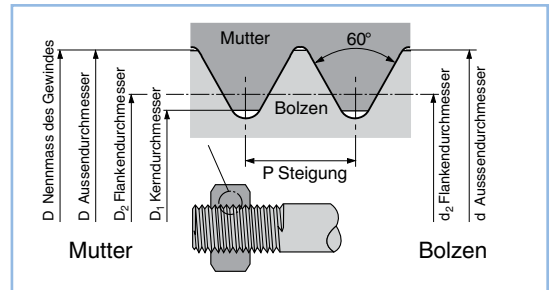
- ob auf die Gewindeflanken noch eine Schutzschicht aufgebracht werden kann
- ob die zu fügenden Teile bei Montage ohne Schwierigkeiten und ohne Nacharbeit verschraubt werden können
- ob das Gewinde die Kräfte übertragen kann, für die die Bauteile dimensioniert wurden.

Der massive Spielraum, mit dem die Gewindeherstellung auskommt, ist ausserordentlich klein. Begriffe und Passungssysteme sind schwer vorstellbar. Als Hilfe werden in den folgenden Bildern Masse und Toleranzen erklärt.

Grundbegriffe und Nennmasse

nach ISO 724

Das Masssystem für Gewinde baut auf den Nennmassen für Gewinde, Flanken- und Kerndurchmesser auf.



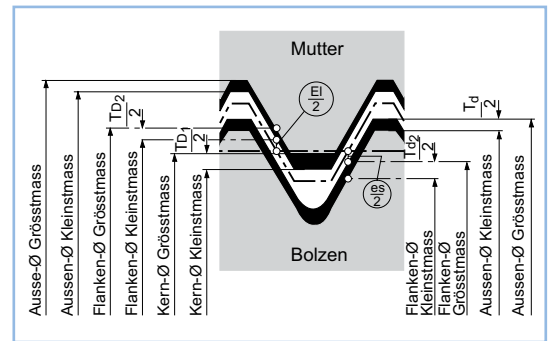
Spielpassung am metrischen ISO-Gewinde

nach ISO 965

Schrauben- und Muttergewinde haben unterschiedliche Toleranzlagen, wobei die Schraubengewindeabmessungen sich am Nennmass und darunter bewegen, die Muttergewindeabmessungen am Nennmass und darüber.

Daraus ergibt sich das notwendige Spiel und ein definierter Bereich für zulässige galvanische Schichtdicken: Ein beschichtetes Schraubengewinde darf nie die Nennmasse überschreiten, ein beschichtetes Muttergewinde darf diese nie unterschreiten.

➤ Obergrenze der Schichtdicken für metrische ISO-Gewinde Seite T.032



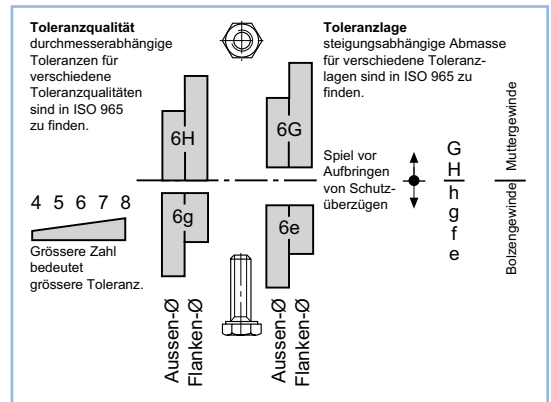
Toleranzfelder für handelsübliche Schrauben und Muttern

nach ISO 965

Die Gewindenorm ISO 965 empfiehlt Toleranzfelder, die zu dem gewünschten Spiel führen. Für Gewinde $\geq M1,4$ sind folgende Toleranzfelder üblich:

Mutter	Bolzen	Oberflächenzustand
6H	6g	blank, phosphatiert oder für normale galvanische Schutzschichten (Standard)
6G	6e	blank (mit grossem Spiel) oder für sehr dicke galvanische Schutzschichten

Blanke Schraubengewinde werden mit 6g-Ringlehren auf Gängigkeit geprüft, verzinkt mit 6h-Ringlehren.



Grenzmasse für Regelgewinde

nach ISO 965

Schrauben, Toleranz 6g (*6h)

Gewinde	Einschraub- länge normal		Aussen-Ø		Flanken-Ø		Kern- radius [mm]
			d [mm]		d ₂ [mm]		
	von	bis	max.	min.	max.	min.	
M1*	0,6	1,7	1,000	0,933	0,838	0,785	0,031
M1,2*	0,6	1,7	1,200	1,133	1,038	0,985	0,031
M1,4*	0,7	2	1,400	1,325	1,205	1,149	0,038
M1,6	0,8	2,6	1,581	1,496	1,354	1,291	0,044
M1,8	0,8	2,6	1,781	1,696	1,554	1,491	0,044
M2	1	3	1,981	1,886	1,721	1,654	0,050
M2,5	1,3	3,8	2,480	2,380	2,188	2,117	0,056
M3	1,5	4,5	2,980	2,874	2,655	2,580	0,063
M3,5	1,7	5	3,479	3,354	3,089	3,004	0,075
M4	2	6	3,978	3,838	3,523	3,433	0,088
M5	2,5	7,5	4,976	4,826	4,456	4,361	0,100
M6	3	9	5,974	5,794	5,324	5,212	0,125
M7	3	9	6,974	6,794	6,324	6,212	0,125
M8	4	12	7,972	7,760	7,160	7,042	0,156
M10	5	15	9,968	9,732	8,994	8,862	0,188
M12	6	18	11,966	11,701	10,829	10,679	0,219
M14	8	24	13,962	13,682	12,663	12,503	0,250
M16	8	24	15,962	15,682	14,663	14,503	0,250
M18	10	30	17,958	17,623	16,334	16,164	0,313
M20	10	30	19,958	19,623	18,334	18,164	0,313
M22	10	30	21,958	21,623	20,334	20,164	0,313
M24	12	36	23,952	23,577	22,003	21,803	0,375
M27	12	36	26,952	26,577	25,003	24,803	0,375
M30	15	45	29,947	29,522	27,674	27,462	0,438
M33	15	45	32,947	32,522	30,674	30,462	0,438
M36	18	53	35,940	35,465	33,342	33,118	0,500
M39	18	53	38,940	38,465	36,342	36,118	0,500

Muttern, Toleranz 6H (*5H)

Gewinde	Einschraublänge normal		Flanken-Ø		Kern-Ø	
			D ₂ [mm]		D ₁ [mm]	
	von	bis	max.	min.	max.	min.
M1*	0,6	1,7	0,894	0,838	0,785	0,729
M1,2*	0,6	1,7	1,094	1,038	0,985	0,929
M1,4*	0,7	2	1,265	1,205	1,142	1,075
M1,6	0,8	2,6	1,458	1,373	1,321	1,221
M1,8	0,8	2,6	1,658	1,573	1,521	1,421
M2	1	3	1,830	1,740	1,679	1,567
M2,5	1,3	3,8	2,303	2,208	2,138	2,013
M3	1,5	4,5	2,775	2,675	2,599	2,459
M3,5	1,7	5	3,222	3,110	3,010	2,850
M4	2	6	3,663	3,545	3,422	3,242
M5	2,5	7,5	4,605	4,480	4,334	4,134
M6	3	9	5,500	5,350	5,153	4,917
M7	3	9	6,500	6,350	6,153	5,917
M8	4	12	7,348	7,188	6,912	6,647
M10	5	15	9,206	9,026	8,676	8,376
M12	6	18	11,063	10,863	10,441	10,106
M14	8	24	12,913	12,701	12,210	11,835
M16	8	24	14,913	14,701	14,210	13,835
M18	10	30	16,600	16,376	15,744	15,294
M20	10	30	18,600	18,376	17,744	17,294
M22	10	30	20,600	20,376	19,744	19,294
M24	12	36	22,316	22,051	21,252	20,752
M27	12	36	25,316	25,051	24,252	23,752
M30	15	45	28,007	27,727	26,771	26,211
M33	15	45	31,007	30,727	29,771	29,211
M36	18	53	33,702	33,402	32,270	31,670
M39	18	53	36,702	36,402	35,270	34,670

Auswahlreihen für Regelgewinde

nach ISO 262

Reihe 1

Gewinde-Nenn-Ø	M1,2	M1,6	M2	M2,5	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42 ¹⁾	M48 ¹⁾
Steigung P [mm]	0,25	0,35	0,4	0,45	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Reihe 2

Gewinde-Nenn-Ø	M1,4	M1,8	M3,5	M7	M14	M18	M22	M27	M33	M39	M45 ¹⁾
Steigung P [mm]	0,3	0,35	0,6	1	2	2,5	2,5	3	3,5	4	4,5

¹⁾ Nicht in ISO 262:1973 enthalten

Grenzmasse für Feingewinde

nach ISO 965

Schrauben mit Feingewinde, Toleranz 6g

Gewinde	Einschraub- länge normal		Aussen-Ø d [mm]		Flanken-Ø d ₂ [mm]		Kern- radius [mm]
	von	bis	max.	min.	max.	min.	
M8x1	3	9	7,974	7,794	7,324	7,212	0,125
M10x1	3	9	9,974	9,794	9,324	9,212	0,156
M10x1,25	4	12	9,972	9,760	9,160	9,042	0,156
M12x1,25	4,5	13	11,972	11,760	11,160	11,028	0,156
M12x1,5	5,6	16	11,968	11,732	10,994	10,854	0,156
M14x1,5	5,6	16	13,968	13,732	12,994	12,854	0,188
M16x1,5	5,6	16	15,968	15,732	14,994	14,854	0,188
M18x1,5	5,6	16	17,968	17,762	16,994	16,854	0,188
M18x2	8	24	17,952	17,682	16,663	16,503	0,188
M20x1,5	5,6	16	19,968	19,732	18,994	18,854	0,188
M20x2	8	24	19,962	19,682	18,663	18,503	0,188
M22x1,5	5,6	16	21,968	21,732	20,994	20,854	0,188
M22x2	8	24	21,962	21,682	20,663	20,503	0,188
M24x2	8,5	25	23,962	23,682	22,663	22,493	0,250
M27x2	8,5	25	26,962	26,682	25,663	25,483	0,250
M30x2	8,5	25	29,962	29,682	28,663	28,493	0,250
M33x2	8,5	25	32,962	32,682	31,663	31,493	0,250
M36x3	12	36	35,952	35,577	34,003	33,803	0,375
M39x3	12	36	38,952	38,577	37,003	36,803	0,375

Muttern mit Feingewinde, Toleranz 6H

Gewinde	Einschraub- länge normal		Flanken-Ø D ₂ [mm]		Kern-Ø D ₁ [mm]	
	von	bis	max.	min.	max.	min.
M8x1	3	9	7,500	7,350	7,153	6,917
M10x1	3	9	9,500	9,350	9,153	8,917
M10x1,25	4	12	9,348	9,188	8,912	8,647
M12x1,25	4,5	13	11,368	11,188	10,912	10,647
M12x1,5	5,6	16	11,216	11,026	10,676	10,376
M14x1,5	5,6	16	13,216	13,026	12,676	12,376
M16x1,5	5,6	16	15,216	15,026	14,676	14,376
M18x1,5	5,6	16	17,216	17,026	16,676	16,376
M18x2	8	24	16,913	16,701	16,210	15,835
M20x1,5	5,6	16	19,216	19,026	18,676	18,376
M20x2	8	24	18,913	18,701	18,210	17,835
M22x1,5	5,6	16	21,216	21,026	20,676	20,376
M22x2	8	24	20,913	20,701	20,210	19,835
M24x2	8,5	25	22,925	22,701	22,210	21,835
M27x2	8,5	25	25,925	25,701	25,210	24,834
M30x2	8,5	25	28,925	28,701	28,210	27,835
M33x2	8,5	25	31,925	31,701	31,210	30,835
M36x3	12	36	34,316	34,051	33,252	32,752
M39x3	12	36	37,316	37,051	36,252	35,752

Auswahlreihen für Feingewinde

nach ISO 262

Reihe 1

Gewinde-Nenn-Ø	M8	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
Steigung P [mm]	1	1,25	1,25	1,5	1,5	2	2	3
	–	1 ¹⁾	1,5 ¹⁾	–	2 ¹⁾	–	–	–

Reihe 2

Gewinde-Nenn-Ø	M14	M18	M22	M27	M33	M39
Steigung P [mm]	1,5	1,5	1,5	2	2	3
	–	2 ¹⁾	2 ¹⁾	–	–	–

¹⁾ Nicht in ISO 262:1973 enthalten

Erreichbare Toleranzen für Verbindungselemente aus Kunststoff

Mass	bei Bolzengewinden	bei Muttergewinden
Aussen-Ø	e8	2 x G7
Kern-Ø	2 x g8	H7
Flanken-Ø	2 x g8	2 x g8
Steigung	±5 %	±5 %

- Kopfmass, Bolzenlänge und Gewinde ähnlich DIN (Abweichungen nach VDI 2544).
- Eingehaltene Toleranzen, 24 Stunden nach Fertigung gemessen. Für alle anderen Toleranzen gilt ISO 4759, Teil 1, jedoch mit Faktor 2 multipliziert.
- Die technischen Angaben sind nur allgemein gehalten. Im Übrigen verweisen wir auf VDI 2544.

Grundtoleranzen und Toleranzfelder

Auszug aus ISO 286-2

Nennmassbereich	Grundtoleranzen [mm]							Toleranzfelder für Innenmasse [mm]											
	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17	D12	F8	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
bis 3	0,06	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1,0	+0,12 +0,02	+0,02 +0,006	+0,006 0	+0,01 0	+0,014 0	+0,025 0	+0,04 0	+0,06 0	+0,1 0	+0,14 0	+0,25 0	+0,4 0
über 3 bis 6	0,075	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	+0,15 +0,03	+0,028 +0,01	+0,008 0	+0,012 0	+0,018 0	+0,03 0	+0,048 0	+0,075 0	+0,12 0	+0,18 0	+0,3 0	+0,48 0
über 6 bis 10	0,09	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	+0,19 +0,04	+0,035 +0,013	+0,009 0	+0,015 0	+0,022 0	+0,036 0	+0,058 0	+0,09 0	+0,15 0	+0,22 0	+0,36 0	+0,58 0
über 10 bis 18	0,11	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	+0,23 +0,05	+0,043 +0,016	+0,011 0	+0,018 0	+0,027 0	+0,043 0	+0,07 0	+0,11 0	+0,18 0	+0,27 0	+0,43 0	+0,7 0
über 18 bis 30	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	+0,275 +0,065	+0,053 +0,02	+0,013 0	+0,021 0	+0,033 0	+0,052 0	+0,084 0	+0,13 0	+0,21 0	+0,33 0	+0,52 0	+0,84 0
über 30 bis 50	0,16	0,25	0,39	0,62	1,0	1,6	2,5	+0,33 +0,08	+0,004 +0,025	+0,016 0	+0,025 0	+0,039 0	+0,062 0	+0,1 0	+0,16 0	+0,25 0	+0,39 0	+0,62 0	+1,0 0
über 50 bis 80	0,19	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3,0	+0,4 +0,1	+0,076 +0,03	+0,019 0	+0,03 0	+0,046 0	+0,074 0	+0,12 0	+0,19 0	+0,3 0	+0,46 0	+0,74 0	+1,2 0
über 80 bis 120	0,22	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	+0,47 +0,12	+0,09 +0,036	+0,022 0	+0,035 0	+0,054 0	+0,087 0	+0,14 0	+0,22 0	+0,35 0	+0,54 0	+0,87 0	+1,4 0
über 120 bis 180	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0	+0,545 +0,145	+0,106 +0,043	+0,025 0	+0,04 0	+0,063 0	+0,1 0	+0,16 0	+0,25 0	+0,4 0	+0,63 0	+1,0 0	+1,6 0
über 180 bis 250	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	+0,63 +0,17	+0,122 +0,05	+0,029 0	+0,046 0	+0,072 0	+0,115 0	+0,185 0	+0,29 0	+0,46 0	+0,72 0	+1,15 0	+1,85 0
über 250 bis 315	0,32	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	+0,71 +0,19	+0,137 +0,056	+0,032 0	+0,052 0	+0,081 0	+0,13 0	+0,21 0	+0,32 0	+0,52 0	+0,81 0	+1,3 0	+2,1 0
über 315 bis 400	0,36	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	+0,78 +0,21	+0,151 +0,062	+0,036 0	+0,057 0	+0,089 0	+0,14 0	+0,23 0	+0,36 0	+0,57 0	+0,89 0	+1,4 0	+2,3 0
über 400 bis 500	0,4	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0	6,3	+0,86 +0,23	+0,165 +0,068	+0,04 0	+0,063 0	+0,097 0	+0,155 0	+0,25 0	+0,4 0	+0,63 0	+0,97 0	+1,55 0	+2,5 0

Nennmassbereich	Toleranzfelder für Aussenmasse [mm]																		
	d12	f9	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15	h16	h17	js14	js15	js16	js17	m6
bis 3	-0,02 -0,12	-0,006 -0,031	0 -0,006	0 -0,01	0 -0,014	0 -0,025	0 -0,04	0 -0,06	0 -0,1	0 -0,14	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,6	0 -1,0	±0,125	±0,2	±0,3	±0,5	+0,008 +0,002
über 3 bis 6	-0,03 -0,15	-0,01 -0,04	0 -0,008	0 -0,012	0 -0,018	0 -0,03	0 -0,048	0 -0,075	0 -0,12	0 -0,18	0 -0,3	0 -0,48	0 -0,75	0 -1,2	±0,15	±0,24	±0,375	±0,6	+0,012 +0,004
über 6 bis 10	-0,04 -0,19	-0,013 -0,049	0 -0,009	0 -0,015	0 -0,022	0 -0,036	0 -0,058	0 -0,09	0 -0,15	0 -0,22	0 -0,36	0 -0,58	0 -0,9	0 -1,5	±0,18	±0,29	±0,45	±0,75	+0,015 +0,006
über 10 bis 18	-0,05 -0,23	-0,016 -0,059	0 -0,011	0 -0,018	0 -0,027	0 -0,043	0 -0,07	0 -0,11	0 -0,18	0 -0,27	0 -0,43	0 -0,7	0 -1,1	0 -1,8	±0,215	±0,35	±0,55	±0,9	+0,018 +0,007
über 18 bis 30	-0,065 -0,275	-0,02 -0,070	0 -0,013	0 -0,021	0 -0,033	0 -0,052	0 -0,084	0 -0,13	0 -0,21	0 -0,33	0 -0,52	0 -0,84	0 -1,3	0 -2,1	±0,26	±0,42	±0,65	±1,05	+0,021 +0,008
über 30 bis 50	-0,08 -0,33	-0,025 -0,087	0 -0,016	0 -0,025	0 -0,039	0 -0,062	0 -0,1	0 -0,16	0 -0,25	0 -0,39	0 -0,62	0 -1,0	0 -1,6	0 -2,5	±0,31	±0,5	±0,8	±1,25	+0,025 +0,009
über 50 bis 80	-0,1 -0,47	-0,03 -0,104	0 -0,019	0 -0,03	0 -0,046	0 -0,074	0 -0,12	0 -0,19	0 -0,3	0 -0,46	0 -0,74	0 -1,2	0 -1,9	0 -3,0	±0,37	±0,6	±0,95	±1,5	+0,03 +0,011
über 80 bis 120	-0,12 -0,47	-0,036 -0,123	0 -0,022	0 -0,035	0 -0,054	0 -0,087	0 -0,14	0 -0,22	0 -0,35	0 -0,54	0 -0,87	0 -1,4	0 -2,2	0 -3,5	±0,435	±0,7	±1,1	±1,75	+0,035 +0,013
über 120 bis 180	-0,145 -0,545	-0,043 -0,143	0 -0,025	0 -0,04	0 -0,063	0 -0,1	0 -0,16	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,63	0 -1,0	0 -1,6	0 -2,5	0 -4,0	±0,5	±0,8	±1,25	±2,0	+0,04 +0,015
über 180 bis 250	-0,17 -0,63	-0,05 -0,165	0 -0,029	0 -0,046	0 -0,072	0 -0,115	0 -0,185	0 -0,29	0 -0,46	0 -0,72	0 -1,15	0 -1,85	0 -2,9	0 -4,6	±0,575	±0,925	±1,45	±2,3	+0,046 +0,017
über 250 bis 315	-0,19 -0,71	-0,056 -0,185	0 -0,032	0 -0,052	0 -0,081	0 -0,13	0 -0,21	0 -0,32	0 -0,52	0 -0,81	0 -1,3	0 -2,1	0 -3,2	0 -5,2	±0,65	±1,05	±1,6	±2,6	+0,052 +0,02
über 315 bis 400	-0,21 -0,78	-0,062 -0,202	0 -0,036	0 -0,057	0 -0,089	0 -0,14	0 -0,23	0 -0,36	0 -0,57	0 -0,89	0 -1,4	0 -2,3	0 -3,6	0 -5,7	±0,7	±1,15	±1,8	±2,85	+0,057 +0,021
über 400 bis 500	-0,23 -0,86	-0,068 -0,223	0 -0,04	0 -0,063	0 -0,097	0 -0,155	0 -0,25	0 -0,4	0 -0,63	0 -0,97	0 -1,55	0 -2,5	0 -4,0	0 -6,3	±0,775	±1,25	±2,0	±3,15	+0,063 +0,023

Internationales Einheitensystem SI

Das seit 1960 gültige «International Einheitensystem SI» (Système International) wurde in der Schweiz am 1. Januar 1978 gesetzlich eingeführt. Mit den nachfolgenden Tabellen wollen wir Ihnen einen Überblick geben und die 7 Grundeinheiten, nebst

einer Anzahl abgeleiteter Einheiten, mit den verschiedenen Umrechnungen aufzeigen. Die in den Umrechnungstabellen angegebenen Zahlen sind auf 3 bzw. 4 Ziffern gerundet.

Basiseinheit des SI-Systems

Grösse	Name	Einheit
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	Ampère	A
Thermodynamische Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge	Mol	mol

Basiseinheit des SI-Systems

Grösse	Name	Einheit	Beziehung
Frequenz	Hertz	Hz	1 Hz = $1 \text{ s}^{-1} = 1/\text{s}$
Kraft	Newton	N	1 N = $1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
Druck und mechanische Spannung	Pascal	Pa	1 Pa = $1 \text{ N}/\text{m}^2$
Energie, Arbeit, Wärmemenge	Joule	J	1 J = $1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ W} \cdot \text{s}$
Leistung, Energiestrom, Wärmestrom	Watt	W	1 W = $1 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{s} = \text{J}/\text{s}$
Elektrische Ladung	Coulomb	C	1 C = $1 \text{ A} \cdot \text{s}$
Elektrische Spannung, elektrische Potentialdifferenz	Volt	V	1 V = $1 \text{ W}/\text{A}$
Elektrische Kapazität	Farad	F	1 F = $1 \text{ A} \cdot \text{s}/\text{V}$
Elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	1 Ω = $1 \text{ V}/\text{A}$
Elektrische Leitfähigkeit (Leitwert)	Siemens	S	1 S = $1 \Omega^{-1} = 1 \text{ A}/\text{V}$
Magnetischer Fluss	Weber	Wb	1 WB = $1 \text{ V} \cdot \text{s}$
Magnetische Flussdichte (Induktion)	Tesla	T	1 T = $1 \text{ Wb}/\text{m}^2$
Induktivität, magnetischer Leitwert	Henry	H	1 H = $1 \text{ Wb}/\text{A} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}/\text{A}$
Lichtstrom	Lumen	lm	1 lm = $1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$
Beleuchtungsstärke	lux	lx	1 lx = $1 \text{ lm}/\text{m}^2$
Ebener Winkel	Radian	rad	1 rad = $1 \text{ m}/\text{m} = 1 = 180^\circ/\pi$
Räumlicher Winkel	Steradian	sr	1 sr = $1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$

Umrechnungstabellen

Umrechnungstabelle der Krafteinheit

	N	p	kp	dyn
1 Newton = 1 N	1	102	0,102	10^5
1 pond = 1 p	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	10^{-3}	981
1 Kilopond = kp	9,81	1000	1	$9,81 \cdot 10^5$
1 dyn	10^{-5}	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	1

Umrechnungstabelle für Einheiten der mechanischen Spannung

	Pa	N/mm ²	kp/cm ²	kp/mm ²
1 Pa = 1 N/m ² = 10 N/cm ²	1	10^{-6}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-7}$
1 N/mm ² = 1 MPa	10^6	1	10,2	0,102
1 kp/cm ² = 1 at	$9,81 \cdot 10^4$	$9,81 \cdot 10^{-2}$	1	10^{-2}
1 kp/mm ²	$9,81 \cdot 10^6$	9,81	100	1

Umrechnungstabelle für Einheiten der Arbeit, Energie und Wärmemenge

	J	kJ	kWh	kcal	kpm
1 J = 1 N · m = 1 W · s	1	10 ⁻³	2,78 · 10 ⁻⁷	2,39 · 10 ⁻⁴	0,102
1 kJ	1000	1	2,78 · 10 ⁻⁴	0,239	102
1 kWh	3,6 · 10 ⁶	3,6 · 10 ³	1	860	3,67 · 10 ⁵
1 kcal	4,19 · 10 ³	4,19	1,16 · 10 ⁻³	1	427
1 kpm	9,81	9,81 · 10 ⁻³	2,72 · 10 ⁻⁶	2,34 · 10 ⁻³	1

Umrechnungstabelle für Einheiten der Leistung und des Wärmestromes

	W	kW	kcal/s	kcal/h	kpm/s
1 W = 1 N · m/s = 1 J/s	1	10 ⁻³	2,39 · 10 ⁻⁴	0,860	0,102
1 kW	1000	1	0,239	860	102
1 kcal/s	4,9 · 10 ³	4,19	1	3,6 · 10 ³	427
1 kcal/h	1,16	1,6 · 10 ⁻³	2,78 · 10 ⁻⁴	1	0,119
1 kpm/s	9,81	9,81 · 10 ⁻³	2,34 · 10 ⁻³	8,34	1





Umrechnungstabelle für Druckeinheiten von Gasen, Dämpfen, Flüssigkeiten

	Pa	bar	kp/m ²	at	Torr
1 Pa = 1 N/m ²	1	10 ⁻⁵	0,102	1,02 · 10 ⁻⁵	7,5 · 10 ⁻³
1 bar = 0,1 MPa = 0,1 N/mm ²	10 ⁵	1	1,02 · 10 ⁴	1,02	750
1 kp/m ²	9,81	9,81 · 10 ⁻⁵	1	10 ⁻⁴	7,36 · 10 ⁻²
1 at = 1 kp/cm ²	9,81 · 10 ⁴	0,981	10 ⁴	1	736
1 Torr = 1/760 atm	133	1,33 · 10 ⁻³	13,6	1,36 · 10 ⁻³	1

Umrechnungen weiterer bisheriger Einheiten in SI-Einheiten

Grösse	Bisherige Einheit	Zeichen	Neue Einheit	Zeichen	Beziehung
Länge	Ängström	Å	Meter	m	1 Å = 10 ⁻¹⁰ m
Druck	mm Quecksilbersäule	mm Hg	Pascal	Pa	1 mm Hg = 133,3 Pa
Energie	Erg	erg	Joule	J	1 erg = 10 ⁻⁷ J
Leistung	Pferdestärke	PS	Watt	W	1 PS = 735,5 W
Dynamische Viskosität	Poise	P	Pascal Sekunde	Pa · s	1 P = 0,1 Pa · s / 1c P = 1 m Pa · s
Kinematische Viskosität	Stokes	St	cm ² /s	–	1 St = 1 cm ² /s = 10 ⁻⁴ m ² /s
Kerbschlagzähigkeit	kpm/cm ²	–	J/cm ²	–	1 kpm/cm ² = 9,087 J/cm ²
Wärmekapazität	kcal/°C	–	J/K	–	1 kcal/°C = 4,187 · 10 ³ J/K
Wärmeleitfähigkeit	kcal/m · h · °C	–	W/K · m	–	1 kcal/m · h · °C = 1,163 W/K · m
Spezifische Wärme	kcal/kg · °C	–	J/kg · K	–	1 kcal/kg · °C = 4,187 · 10 ³ J/kg · K
Magnetische Feldstärke	Oersted	Oe	Ampère/Meter	A / m	1 Oe = 79,6 A/m
Magnetische Flussdichte	Gauss	G	Tesla	T	1 G = 10 ⁻⁴ T
Magnetischer Fluss	Maxwell	M	Weber	Wb	1 M = 10 ⁻⁸ Wb
Lichtstärke	internationale Kerze	IK	candela	cd	1 IK = 1,019 cd
Leuchtdichte	Stilb	sb	cd/m ²	–	1 sb = 10 ⁴ cd/m ²
Energiedosis	Rem	rem	J/kg	–	1 rem = 0,01 J/kg
Ionendosis	Röntgen	R	C/kg	–	1 R = 2,58 · 10 ⁻⁴ C/kg

Umrechnungen von Teilmengen
Beispiel: Ein Zuckerwürfel aufgelöst in

1 ppm (part per million) ist 1 Teil von 1 Million Teile	1 Milligramm pro Kilogramm	0,001 g/kg (10 ⁻⁶)	 2 700 Liter
1 ppb (part per billion) ist 1 Teil von 1 Milliarde Teile (b = billion, amerik. für Milliarde)	1 Mikrogramm pro Kilogramm	0,000 001 g/kg (10 ⁻⁹)	 2,7 Millionen Liter
1 ppt (part per trillion) ist 1 Teil von 1 Billion Teile (t = trillion amerik. für Billion)	1 Nanogramm pro Kilogramm	0,000 000 001 g/kg (10 ⁻¹²)	 2,7 Milliarden Liter
1 ppq (part per quadrillion) ist ein Teil von 1 Billiarde Teile (q = Quadrillion amerik. für Billiarde)	1 Picogramm pro Kilogramm	0,000 000 000 001 g/kg (10 ⁻¹⁵)	 2,7 Billionen Liter

Umrechnungstabellen metrisch – USA, USA – metrisch

Längenmasse

metrisch		USA		
1 Millimeter	mm	0,039337	inches	in.
1 Centimeter	cm	0,39370	inches	in.
1 Meter	m	39,3700	inches	in.
		3,2808	feet	ft.
		1,0936	yards	yd.
1 Kilometer	km	0,62137	miles	m.

USA		metrisch	
1 inch	25,400	mm	
	2,540	cm	
1 foot	304,800	mm	
	30,480	cm	
	0,3048	m	
1 yard	91,4400	cm	
	0,9144	m	
1 mile	1 609,35	m	
	1,609	km	

Flächenmasse

metrisch		USA		
1 mm ²		0,00155	sq.inches	sq.in.
1 cm ²		0,1550	sq.inches	sq.in.
1 m ²		10,7640	sq.feet	sq.ft.
		1,196	sq.yard	sq.yd.
1 km ²		0,38614	sq.miles	sq.m.

USA		metrisch	
1 sq.inch	645,16	mm ²	
	6,4516	cm ²	
1 sq.foot	929,00	cm ²	
	0,0929	m ²	
1 sq.yard	0,836	m ²	
1 sq.mile	2,5889	km ²	

Hohlmasse

metrisch		USA		
1 Milliliter	ml	0,27	fluid drachms	dr.fl.
1 Centiliter	cl	0,338	fluid ounces	oz.fl.
1 Deziliter	dl	0,0528	pints	pt.
1 Liter	l	1,0567	quarts	qt.
		0,26	gallons	gal.
1 Hektoliter	hl	26,417	gallons	gal.

USA		metrisch	
1 fluid ounce	2,957	cl	
1 pint	4,732	dl	
	0,4732	l	
1 quart	0,9463	l	
1 gallon	3,7853	l	
1 barrel (bl)	119,237	l	
	1,192	hl	

Gewichte

metrisch		USA		
1 Gramm	gr.	15,432	grains	gr.
1 Kilogramm	kg	2,2046	pounds	lb.
1 Doppelzentner	dz.	220,46	pounds	lb.
1 Tonne	t	2204,6	pounds	lb.
		1,102	shorttons	tn.sh.

USA		metrisch	
1 grain		64,7989	mg
1 ounce		28,35	g
1 pound		0,4536	kg
1 short		907,200	kg
		9,072	dz.
		0,9072	t

Diverse

metrisch		USA		
1 N/mm ² = 1 MPa = 10 bar		145,14		psi
1 Nm		8,85		in lb
		0,74		ft lb

USA		metrisch	
1 psi		0,00689	N/mm ²
1 in lb		0,113	Nm
1 ft lb		1,35	Nm

Temperatur

Umrechnung Celsius in Fahrenheit:

Multiplikation mit 1,8; zum Ergebnis 32 hinzuzählen

°F	°C	°F	°C
212	100	100	37,8
200	93,3	90	32,2
194	90	86	30
190	87,8	80	26,7
180	82,8	70	21,1
176	80	68	20
170	76,7	60	15
160	71,1	50	10
158	70	40	4,4
150	65,6	–	–
140	60	32	0
130	54,4	30	–1,1
122	50	20	–6,7
120	48,9	14	–10
110	43,3	10	–12,2
104	40	0	–17,8

Umrechnung Fahrenheit in Celsius:

32 abziehen; Ergebnis durch 1,8 teilen

°C	°F	°C	°F
100	212	35	95
95	203	30	86
90	194	25	77
85	182	20	68
80	176	15	59
75	167	10	50
70	158	5	41
65	149	–	–
60	140	0	32
55	131	–5	23
50	122	–10	14
45	113	–15	5
40	104	–17,8	0

IP-Schutzarten von elektrischen Maschinen und Geräten

Berührungs-, Fremdkörper- und Wasserschutz nach IEC/EN 60529

IP = International Protection

1. Ziffer	Schutzumfang	
	gegen Berührung	gegen Fremdkörper
0	ohne	ohne
1	grossflächig, Hand	Fremdkörper bis 50 mm Ø
2	Finger	Fremdkörper bis 12 mm Ø
3	mit Werkzeug und Draht	Fremdkörper bis 2,5 mm Ø
4	mit Werkzeug und Draht	Fremdkörper bis 1 mm Ø
5	vollständig	Staub
6	vollständig	staubdicht

2. Ziffer	Schutzumfang gegen Wasser	
	0	ohne
1	Tropfwasser, senkrecht	
2	Tropfwasser, senkrecht, Neigung bis 15°	
3	Sprühwasser, Neigung bis 60°	
4	Spritzwasser aus allen Richtungen	
5	Strahlwasser aus allen Richtungen	
6	Wasserstrahl und Überflutung	
7	eintauchen	
8	untertauchen	

Beispiel

IP 21 = Schutz gegen Berührung mit den Fingern und Fremdkörpern bis Ø12 mm sowie gegen Tropfwasser senkrecht

Härtevergleichstabelle

nach ISO 18265

Die Umwertungstabelle für Härte in Härte sowie Härte in Zugfestigkeit für unlegierte und niedriglegierte Stähle und Stahlguss nach ISO 18265.

Zugfestigkeit [N/mm ²]	Vickers- härte HV [F ≥ 98 N]	Brinell härte ¹⁾ HB	Rockwellhärte		
			HRB	HRC	HRA
255	80	76	–	–	–
270	85	80,7	41	–	–
285	90	85,5	48	–	–
305	95	90,2	52	–	–
320	100	95	56,2	–	–
335	105	99,8	–	–	–
350	110	105	62,3	–	–
370	115	109	–	–	–
385	120	114	66,7	–	–
400	125	119	–	–	–
415	130	124	71,2	–	–
430	135	128	–	–	–
450	140	133	75	–	–
465	145	138	–	–	–
480	150	143	78,7	–	–
495	155	147	–	–	–
510	160	152	81,7	–	–
530	165	156	–	–	–
545	170	162	85	–	–
560	175	166	–	–	–
575	180	171	87,1	–	–
595	185	176	–	–	–
610	190	181	89,5	–	–
625	195	185	–	–	–
640	200	190	91,5	–	–
660	205	195	92,5	–	–
675	210	199	93,5	–	–
690	215	204	94	–	–
705	220	209	95	–	–
720	225	214	96	–	–
740	230	219	96,7	–	–
755	235	223	–	–	–
770	240	228	98,1	20,3	60,7
785	245	233	–	21,3	61,2
800	250	238	99,5	22,2	61,6
820	255	242	(101)	23,1	62
835	260	247	–	24	62,4
850	265	252	(102)	24,8	62,7
865	270	257	–	25,6	63,1
880	275	261	(104)	26,4	63,5
900	280	266	–	27,1	63,8
915	285	271	(105)	27,8	64,2
930	290	276	–	28,5	64,5
950	295	280	–	29,2	64,8
965	300	285	–	29,8	65,2
995	310	295	–	31	65,8
1030	320	304	–	32,2	66,4
1060	330	314	–	33,3	67
1095	340	323	–	34,3	67,6
1125	350	333	–	35,5	68,1

Bei hochlegierten und/oder kaltverfestigten Stählen (z. B. 6.8, A2–A4) sind erhebliche Abweichungen zu erwarten.

Zugfestigkeit [N/mm ²]	Vickers- härte HV [F ≥ 98 N]	Brinell härte ¹⁾ HB	Rockwellhärte		
			HRB	HRC	HRA
1155	360	342	–	36,6	68,7
1190	370	352	–	37,7	69,2
1220	380	361	–	38,8	69,8
1255	390	371	–	39,8	70,3
1290	400	380	–	40,8	70,8
1320	410	390	–	41,8	71,4
1350	420	399	–	42,7	71,8
1385	430	409	–	43,6	72,3
1420	440	418	–	44,5	72,8
1455	450	428	–	45,3	73,3
1485	460	437	–	46,1	73,6
1520	470	447	–	46,9	74,1
1555	480	(465)	–	47,7	74,5
1595	490	(466)	–	48,4	74,9
1630	500	(475)	–	49,1	75,3
1665	510	(485)	–	49,8	75,7
1700	520	(494)	–	50,5	76,1
1740	530	(504)	–	51,1	76,4
1775	540	(513)	–	51,7	76,7
1810	550	(523)	–	52,3	77
1845	560	(532)	–	53	77,4
1880	570	(542)	–	53,6	77,8
1920	580	(551)	–	54,1	78
1955	590	(561)	–	54,7	78,4
1995	600	(570)	–	55,2	78,6
2030	610	(580)	–	55,7	78,9
2070	620	(589)	–	56,3	79,2
2105	630	(599)	–	56,8	79,5
2145	640	(608)	–	57,3	79,8
2180	650	(618)	–	57,8	80
–	660	–	–	58,3	80,3
–	670	–	–	58,8	80,6
–	680	–	–	59,2	80,8
–	690	–	–	58,7	81,1
–	700	–	–	60,1	81,3
–	720	–	–	61	81,8
–	740	–	–	61,8	82,2
–	760	–	–	62,5	82,6
–	780	–	–	63,3	83
–	800	–	–	64	83,4
–	820	–	–	64,7	83,8
–	840	–	–	65,3	84,1
–	860	–	–	65,9	84,4
–	880	–	–	66,4	84,7
–	900	–	–	67	85
–	920	–	–	67,5	85,3
–	940	–	–	68	85,6

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

¹⁾ Errechnet aus: HB = 0,95 · HV

Das Verfahren nach Vickers HV ist über einen grossen Härtebereich anwendbar. In DIN ISO 898, Teil 1 ist es als Schiedsverfahren für die Härtemessung bestimmt.

Das Verfahren nach Rockwell C ist für gehärtete Stähle geeignet, nach Rockwell A für Hartmetalle, nach Rockwell B für weiche Stähle, Kupfer-Zinklegierungen, Bronze usw.

Das Verfahren nach Brinell überstreicht ebenfalls einen grossen Härtebereich.

Bezeichnung der Normen verschiedener Länder

nach ISO

Länder	Kurzname Normen
Algeria	IANOR
Argentina	IRAM
Australia	SAI
Austria	ON
Bangladesh	BSTI
Belgium	IBN
Brazil	ABNT
Bulgaria	BDS
Canada	SCC
Chile	INN
China	CSBTS
Colombia	ICONTEC
Cuba	NC
Cyprus	CYS
Czech Republic	CSNI
Denmark	DS
Egypt	EOS
Ethiopia	QSAE
Europa	EN
Finland	SFS
France	AFNOR
Germany	DIN
Ghana	GSB
Greece	ELOT
Hungary	MSZT
India/Inde	BIS
Indonesia	BSN
International	ISO
Iran	ISIRI
Ireland	NSAI
Israel	SII
Italy	UNI
Jamaica	JBS
Japan	JISC

Länder	Kurzname Normen
Kenya	KEBS
Korea, Dem.P.Rep.of	CSK
Korea, Rep. of	KATS
Libian Arab Jamhiriya	LNCSM
Malaysia	DSM
Mexico	DGN
Mongolia	MNCSM
Marocco	SNIMA
Netherlands	NEN
New Zealand	SNZ
Nigeria	SON
Norway	NSF
Pakistan	PSI
Philippines	BPS
Poland	PKN
Portugal	IPQ
Romania	ASRO
Russia/Russie	GOST
Saudi Arabia	SASO
Singapore	PSB
South Africa, Rep. of	SABS
Spain	AENOR
Sri Lanka	SLSI
Sweden	SIS
Switzerland	SNV
Syria	SASMO
Tanzania	TBS
Thailand	TISI
Trinidad and Tobago	TTBS
Turkey	TSE
United Kingdom	BSI
USA	ANSI
Uzbekistan	UZGOST
Venezuela	FONDONORMA
Vietnam	TCVN

Copyright

Diese Dokumentation ist urheber- und lauterkeitsrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten, einschliesslich der Vervielfältigung, Übersetzung sowie Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© Bossard AG, CH-6301 Zug, 2012.06

