

1. VERBINDUNGSELEMENTE AUS STAHL FÜR DEN TEMPERATURBEREICH ZWISCHEN -50°C UND $+150^{\circ}\text{C}$

1.1 Werkstoffe für Verbindungselemente

Der eingesetzte Werkstoff ist von entscheidender Bedeutung für die Qualität der Verbindungselemente (Schrauben, Muttern und Zubehörteile). Treten Fehler im eingesetzten Werkstoff auf, so kann das daraus gefertigte Verbindungselement die an ihn gestellten Anforderungen nicht mehr erfüllen.

Diese Normen legen den einzusetzenden Werkstoff, die Kennzeichnung, die Eigenschaften der fertigen Teile sowie deren Prüfungen und Prüfmethoden fest.

Für die verschiedenen Festigkeitsklassen werden unterschiedliche Werkstoffe eingesetzt, die in nachfolgender Tabelle 1 aufgeführt sind.

Die wichtigsten Normen für Schrauben und Muttern sind:

- DIN EN ISO 898-1, Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl, Teil 1: Schrauben
- DIN EN 20898 Teil 2 (ISO 898 Teil 2), Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen, Teil 2: Muttern

Festigkeitsklasse	Werkstoff und Wärmebehandlung	Chemische Zusammensetzung (Schmelzenanalyse%) ^a				Anlassertemperatur °C	
		C		P	S		B ^b
		min.	max.	max.	max.		max.
4.6 ^d 4.8 ^d 5.6 ^e 5.8 ^d 6.8 ^d	Kohlenstoffstahl oder Kohlenstoffstahl mit Zusätzen	-	0,55	0,050	0,060	nicht festgelegt	-
		0,13	0,55	0,050	0,060		
		-	0,55	0,050	0,060		
		0,15	0,55	0,050	0,060		
8.8 ^f	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor oder Mn oder Cr), gehärtet und angelassen oder	0,15 ^g	0,40	0,025	0,025	0,003	425
	Kohlenstoffstahl, gehärtet und angelassen oder	0,25	0,55	0,025	0,025		
	Legierter Stahl, gehärtet und angelassen ^g	0,20	0,55	0,025	0,025		
9.8 ^f	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor oder Mn oder Cr), gehärtet und angelassen oder	0,15 ^g	0,40	0,025	0,025	0,003	425
	Kohlenstoffstahl, gehärtet und angelassen oder	0,25	0,55	0,025	0,025		
	Legierter Stahl, gehärtet und angelassen ^g	0,20	0,55	0,025	0,025		
10.9 ^f	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor oder Mn oder Cr), gehärtet und angelassen oder	0,20 ^g	0,55	0,025	0,025	0,003	425
	Kohlenstoffstahl, gehärtet und angelassen oder	0,25	0,55	0,025	0,025		
	Legierter Stahl, gehärtet und angelassen ^g	0,20	0,55	0,025	0,025		

Festigkeitsklasse	Werkstoff und Wärmebehandlung	Chemische Zusammensetzung (Schmelzenanalyse%) ^a					Anlass-temperatur °C
		C		P	S	B ^b	
		min.	max.	max.	max.	max.	min.
12.9 ^{f, h, i}	Legierter Stahl, gehärtet und angelassen ^g	0,30	0,50	0,025	0,025	0,003	425
12.9 ^{f, h, i}	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor oder Mn oder Cr oder Molybdän), gehärtet und angelassen	0,28	0,50	0,025	0,025	0,003	380

^a Im Schiedsfall gilt die Produktanalyse.
^b Der Bor-Gehalt darf 0,005% erreichen, vorausgesetzt, dass das nicht wirksame Bor durch Zusätze von Titan und/oder Aluminium kontrolliert wird.
^c 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.
^d Für diese Festigkeitsklassen ist Automatenstahl mit folgenden maximalen Schwefel, Phosphor- und Bleianteilen zulässig: Schwefel 0,34%; Phosphor 0,11%; Blei 0,35%.
^e Bei einfachem Kohlenstoffstahl mit Bor als Zusatz und einem Kohlenstoffgehalt unter 0,25% (Schmelzenanalyse) muss ein Mangangehalt von mindestens 0,6% für die Festigkeitsklasse 8.8 und 0,7% für die Festigkeitsklassen 9.8 und 10.9 vorhanden sein.
^f Werkstoffe dieser Festigkeitsklassen müssen ausreichend härter sein, um sicherzustellen, dass im Gefüge des Kernes im Gewindeteil ein Martensitanteil von ungefähr 90% im gehärteten Zustand vor dem Anlassen vorhanden ist.
^g Legierter Stahl muss mindestens einen der folgenden Legierungsbestandteile in der angegebenen Mindestmenge enthalten: Chrom 0,30%, Nickel 0,30%, Molybdän 0,20%, Vanadium 0,10%. 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.
^h 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.
ⁱ 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 Spannungsrissskorrosion kommen.

1.2 Mechanische Eigenschaften von Stahlschrauben

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick, mit welchen Methoden mechanische Eigenschaften von Schrauben festgelegt und bestimmt werden. In diesem Zusammenhang wird auf die gebräuchlichsten Kennwerte und Nenngrößen eingegangen.

1.2.1 Zugversuch

Mit Hilfe des Zugversuchs werden wichtige Kennwerte für Schrauben wie Zugfestigkeit R_m , Streckgrenze R_e , 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ und Bruchdehnung A_5 (%) bestimmt. Dabei wird unterschieden in „Zugversuch mit abgedrehten Proben“ und „Zugversuch an ganzen Schrauben“ (DIN EN ISO 898 Teil 1).

1.2.2 Zugfestigkeit R_m (MPa)

Die Zugfestigkeit R_m gibt an, ab welcher Zugspannung es zu einem Bruch der Schraube kommen kann. Sie ergibt sich aus der Höchstkraft und dem entsprechenden Querschnitt. Der Bruch darf bei Schrauben mit voller Belastbarkeit nur im Schaft oder im Gewinde eintreten und nicht im Übergang zwischen Kopf und Schaft.

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

$$R_m = \text{maximale Zugkraft/Querschnittsfläche} = F/S_0 \text{ [MPa]}$$

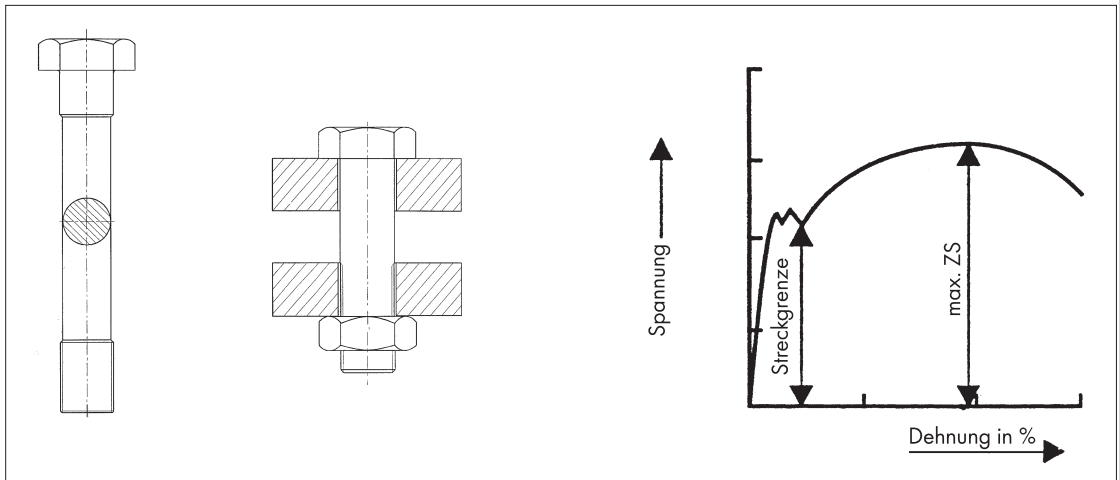
Zugfestigkeit bei Bruch im Gewinde:

$$R_m = \text{maximale Zugkraft/Spannungsquerschnitt} = F/A_s \text{ [MPa]}$$

A_s Spannungsquerschnitt

1.2.3 Streckgrenze R_e (MPa)

Nach DIN EN ISO 898 Teil 1 kann die genaue Streckgrenze nur an abgedrehten Proben ermittelt werden. Als Streckgrenze wird die Grenze bezeichnet, bis zu der ein Werkstoff, unter Zugbelastung, ohne bleibende plastische Verformung gedehnt werden kann. Sie stellt den Übergang zwischen dem elastischen in den plastischen Bereich dar. Der qualitative Verlauf einer 4.6-Schraube (duktiler Stahl) im Spannungs-Dehnungs-Diagramm ist in Abbildung C dargestellt.



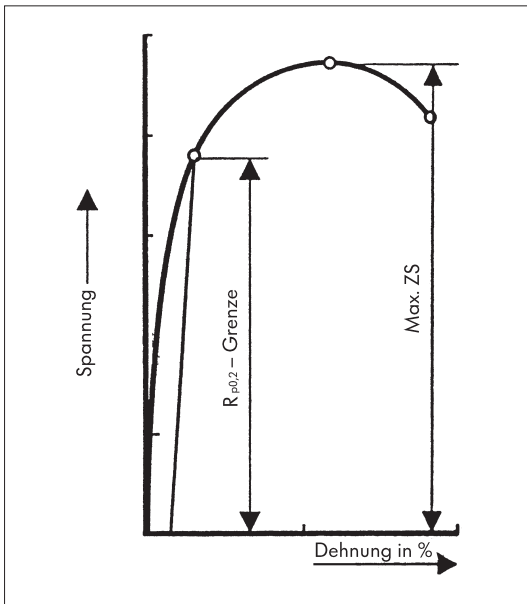
Zugversuch an
abgedrehter Schraube
Abb. A

Zugversuch an
ganzer Schraube
Abb. B

Spannungs-Dehnungs-Diagramm einer Schraube
mit der Festigkeitsklasse 4.6 (qualitativ)
Abb. C

1.2.4 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ (MPa)

Die Dehngrenze $R_{p0,2}$ wird als sogenannte Ersatzstreckgrenze ermittelt, da die meisten vergüteten Stähle keinen ausgeprägten Übergang vom elastischen in den plastischen Bereich aufweisen. Die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ stellt diejenige Spannung dar, bei der eine bleibende Dehnung von 0,2% erreicht wird. Der qualitative Spannungsverlauf im Spannungs-Dehnungs-Diagramm für eine 10.9 Schraube ist in Abbildung D dargestellt.



Spannungs-Dehnungs-Diagramm einer Schraube mit der Festigkeitsklasse 10.9 (qualitativ)

Abb. D

1.2.5 Zugversuch an ganzen Schrauben

Neben dem Zugversuch an abgedrehten Proben, ist auch ein weniger aufwändiger Versuch an ganzen Schrauben möglich. Bei diesem Versuch wird die ganze Schraube am Kopf und am Gewinde in die Prüfvorrichtung eingespannt. Da in diesem Fall, abweichend zum Versuch mit Proportionalstab, das Verhältnis von Länge und Durchmesser der Probe nicht immer gleich ist, können damit nur die Zugfestigkeit R_m , die Bruchverlängerung A_f und die 0,004 8 d Dehngrenze R_{pf} bestimmt werden.

0,004 8 d Dehngrenze R_{pf} (MPa) gemäß Kapitel 9.3 der ISO 898-1 2009-08.

1.2.6 Festigkeitsklassen

Schrauben werden mit Festigkeitsklassen gekennzeichnet, so dass es sehr einfach möglich ist die Zugfestigkeit R_m und die Streckgrenze R_e (bzw. die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$) zu ermitteln.

Beispiel:

Schraube 8.8

- Bestimmung von R_m : Die erste Zahl mit 100 multiplizieren. $\rightarrow R_m = 8 \times 100 = 800$ MPa
Die erste Zahl gibt 1/100 der Mindestzugfestigkeit in MPa an.
- Bestimmung von R_e bzw. $R_{p0,2}$:

Die erste Zahl mit der zweiten Zahl multipliziert und das Ergebnis mit 10 multipliziert ergibt die Streckgrenze R_e bzw. 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$. $\rightarrow R_e = (8 \times 8) \times 10 = 640$ MPa.

1.2.7 Bruchdehnung A5 (%)

Die Bruchdehnung ist ein wichtiger Kennwert für die Beurteilung der Verformbarkeit eines Werkstoffes und entsteht bei der Belastung bis zum Schraubenbruch. Diese wird an abgedrehten Schrauben mit definiertem Schaftbereich (Proportionalstab) bestimmt (Ausnahme: rost- und säurebeständige Schrauben, Stahlgruppe A1-A5). Die bleibende plastische Dehnung wird in Prozent angegeben und nach folgender Formel berechnet:

$$A5 = \frac{(L_u - L_o)}{L_o} \times 100\%$$

L_o definierte Länge vor dem Zugversuch $L_o = 5 \times d_o$

L_u Länge nach dem Bruch

d_o Schaftdurchmesser vor dem Zugversuch

Beispiel eines Proportionalstabes

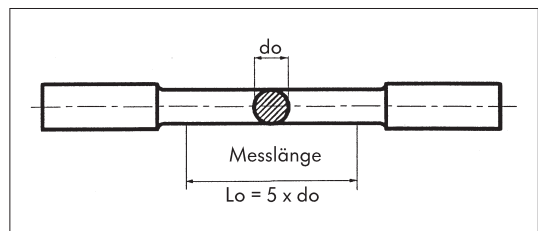


Abb. E

1.2.8 Härte und Härteprüfverfahren

Definition:

Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen, härteren Körpers entgegensetzt.

Die wichtigsten Härteprüfverfahren in der Praxis sind:

Prüfverfahren	Härte Vickers HV DIN EN ISO 6507	Härte Brinell HB DIN EN ISO 6506	Härte Rockwell HRC DIN EN ISO 6508
Prüfkörper	Pyramide	Kugel	Kegel

Die Prüfung nach dem Vickersverfahren umfasst den gesamten Härtebereich für Schrauben.

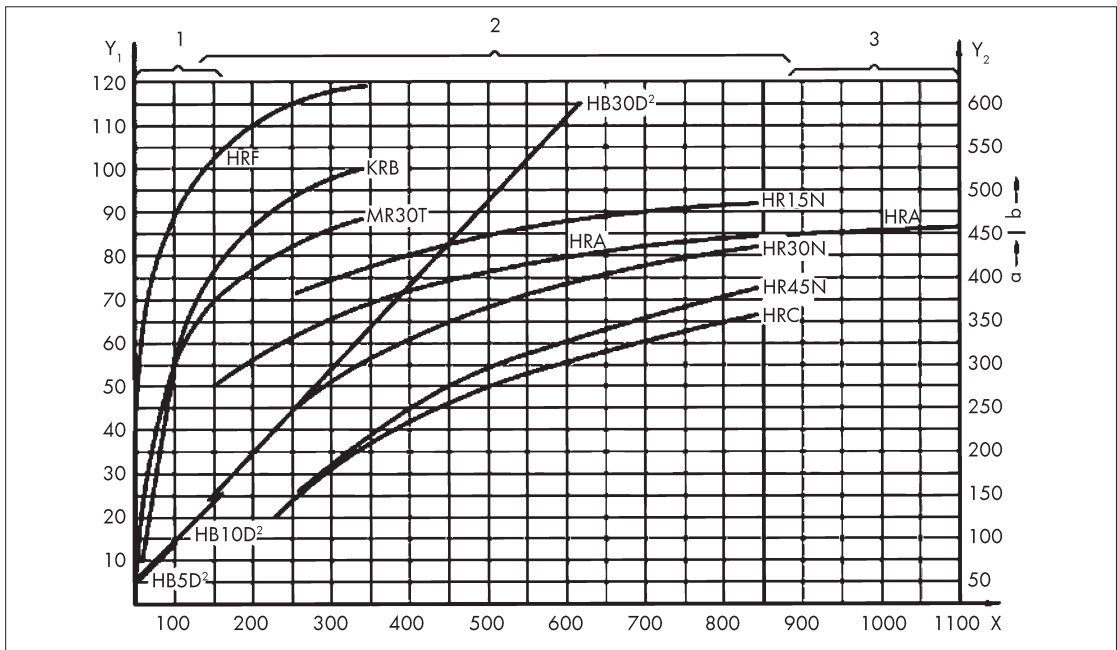
Vergleich von Härteangaben

Die folgende Grafik F gilt für Stähle und entspricht den Härtevergleichstabellen in DIN EN ISO 18265. Diese sollen als Anhaltspunkt dienen, denn ein exakter Vergleich von Ergebnissen ist nur mit dem gleichen Verfahren und unter den gleichen Bedingungen möglich.

1.3 Festigkeitsklassen von Schrauben

Mit Hilfe der Festigkeitsklassen werden die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Schrauben und Muttern beschrieben. Dies erfolgt für Schrauben in untenstehender Tabelle 2 anhand von 9 Festigkeitsklassen, bei denen jeweils die Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Härte, Streckgrenze, Bruchdehnung usw. aufgeführt sind.

Darstellung verschiedener Härteskalen zur Vickerskala



Legende:

X Vickershärte HV 30
Y₁ Rockwellhärte
Y₂ Brinellhärte

- 1 Härtebereich für Nichteisenmetalle
- 2 Härtebereich für Stähle
- 3 Härtebereich für Hartmetalle
- a Brinellhärte, mit Stahlkugelbestimmt (HBS)
- b Brinellhärte, mit Hartmetallkegelbestimmt (HBW)

Abb. F: Auszug aus DIN EN ISO 18265

Mechanische und physikalische Eigenschaften von Schrauben

Nr.	Mechanische oder physikalische Eigenschaft		Festigkeitsklasse										
			4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8	10.9	12.9/ 12.9	
									d ≤ 16 mm ^a	d > 16 mm ^b	d ≤ 16 mm		
1	Zugfestigkeit, R _m , MPa	nom. ^c	400		500		600		800		900	1.000	1.200
		min.	400	420	500	520	600	800	830	900	1.040	1.220	
2	Untere Streckgrenze, R _{el} ^d , MPa	nom. ^c	240	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-
		min.	240	-	300	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0,2 %-Dehngrenze, R _{p0,2} ^e , MPa	nom. ^c	-	-	-	-	-	640	640	720	900	1.080	
		min.	-	-	-	-	-	640	660	720	940	1.100	
4	0,004 d Dehngrenze für ganze Schrauben, R _{pf} ^f , MPa	nom. ^c	-	320	-	400	480	-	-	-	-	-	-
		min.	-	340 ^g	-	420 ^g	480 ^g	-	-	-	-	-	-
5	Spannung unter Prüfkraft, S _p ^f , MPa	nom.	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970	
		Prüffestigkeits-Verhältnis S _{p, nom} /R _{el min} ^h oder S _{p, nom} /R _{p0,2 min} ⁱ oder S _{p, nom} /R _{pf min} ^j		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 Brucheinschnürung einer abgedrehten Probe, Z, %	min.	-					52		48	48	44	
8	Bruchverlängerung einer ganzen Schraube, A ₁ (siehe auch 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					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					238	304	318	342	361	414
12	Rockwellhärte, HRB	min.	67	71	79	82	89	-					
		max.	95,0 ^g					-					
	Rockwellhärte, HRC	min.	-					22	23	28	32	39	
		max.	-					32	34	37	39	44	
13	Oberflächenhärte, HV 0,3	max.	-					h			h _i	h _j	
14	Höhe der nichtentkohlten Gewindezone, E, mm	min.	-					1/2H ₁			2/3H ₁	3/4H ₁	
	Tiefe der Auskohlung im Gewinde, G, mm	max.	-					0,015					
15	Härteabfall nach Wiederanlassen (Härten), HV	max.	-					20					
16	Bruchdrehmoment, M _{Br} , Nm	min.	-					nach ISO 898-7					
17	Kerbschlagarbeit, K _V ^k , 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_{pf min} untersucht. Die aktuellen Werte sind nur zur Berechnung des Prüfspannungsverhältnisses angegeben.

Sie sind keine Prüfwerte.

f Prüfkraften sind in den Tabellen 5 und 7 festgelegt.

g Die am Ende einer Schraube bestimmte Härte darf maximal 250 HV, 238 HB bzw. 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 Eine Anstieg der Oberflächenhärte auf über 390 HV ist nicht zulässig.

j Eine Anstieg der Oberflächenhärte auf über 435 HV ist nicht zulässig.

k Die Werte werden bei einer Prüftemperatur von -20 °C bestimmt, siehe 9.14.

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 Kunden gelten.

Tab. 2: Auszug aus DIN EN ISO 898-1, mechanische und physikalische Eigenschaften von Schrauben

1.3.1 Prüfkräfte

Die Prüfkraft nach den Tabellen 3 und 4 wird im Zugversuch axial auf die Schraube aufgebracht und 15 s gehalten. Der Versuch gilt als bestanden, wenn die Schraubenlänge nach Messung mit der Länge vor dem Versuch übereinstimmt. Hierbei gilt eine Toleranz von $\pm 12,5 \mu\text{m}$. Für den Anwender stellen die folgenden Tabellen ein wichtiges Hilfsmittel bei der Auswahl von geeigneten Schrauben dar.

Metrisches ISO-Regelgewinde

Gewinde ^{a,d}	Nennspannungsquerschnitt f $A_{s, \text{nom}}^b \text{ mm}^2$	Festigkeitsklasse								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/ 12.9
		Prüfkraft, $F_p (A_{s, \text{nom}} \times S_p), \text{N}$								
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 ^c	11.400	10.200 ^c	13.900	16.100	21.200 ^c	23.800	30.400 ^c	35.500
M10	58	13.000 ^c	18.000	16.200 ^c	22.000	25.500	33.700 ^c	37.700	48.100 ^c	56.300
M12	84,3	19.000	26.100	23.600	32.000	37.100	48.900 ^d	54.800	70.000	81.800
M14	115	25.900	35.600	32.200	43.700	50.600	66.700 ^d	74.800	95.500	112.000
M16	157	35.300	48.700	44.000	59.700	69.100	91.000 ^d	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

a Wenn in der Gewindebezeichnung keine Gewindesteigung angegeben ist, so ist Regelgewinde festgelegt.
b Für die Berechnung von $A_{s, \text{nom}}$ siehe 9.1.6.1.
c Für Schrauben mit der Gewindetoleranz 6az nach ISO 965-4, die feuerverzinkt werden, gelten nach ISO 10684:2004, Anhang A, reduzierte Werte.
d Für Stahlbauschrauben 50700 N (für M12), 68800 N (für M14) und 94500 N (für M16).

Tab. 3: Auszug aus DIN EN ISO 898-1, Prüfkräfte für metrisches ISO-Regelgewinde

Metrisches ISO-Feingewinde

Gewinde d x P	Nenn- spannungs- querschnitt † $A_{s, \text{nom}}$ mm ²	Festigkeitsklasse								
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9/ 12.9
		Prüfkraft, $F_p (A_{s, \text{nom}} \times S_p), \text{N}$								
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 1,5	88,1	19.800	27.300	24.700	33.500	38.800	51.100	57.300	73.100	85.500
M12 x 1,25	92,1	20.700	28.600	25.800	35.000	40.500	53.400	59.900	76.400	89.300
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

† Für die Berechnung von $A_{s, \text{nom}}$ siehe 9.1.6.1.

Tab. 4: Auszug aus DIN EN ISO 898-1, Prüfkraft für metrisches ISO-Feingewinde

1.3.2 Eigenschaften von Schrauben bei erhöhten Temperaturen

Die angegebenen Werte gelten nur als Anhalt für die Minderung der Streckgrenzen bei Schrauben, die unter erhöhten Temperaturen geprüft werden. Sie sind nicht für die Annahmeprüfung von Schrauben bestimmt.

Festigkeitsklasse	Temperatur				
	+ 20 °C	+ 100 °C	+ 200 °C	+ 250 °C	+ 300 °C
	Untere Streckgrenze R_{el} oder 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ MPa				
5.6	300	250	210	190	160
8.8	640	590	540	510	480
10.9	940	875	790	745	705
12.9	1.100	1.020	925	875	825

Tab. 5: Auszug aus DIN EN ISO 898-1 1999-11, Warmstreckgrenze

1.4 Festigkeitsklassen für Muttern

Bei Muttern wird in der Praxis die Prüfspannung und die daraus errechnete Prüfkraft als Kennzahl (04 bis 12) angegeben, da auf die Angabe der Streckgrenze verzichtet werden kann. Bis zu den jeweils aufgeführten Prüfkraften in Tabelle 6 ist eine bedenkenlose Beanspruchung einer Schraube (Paarung 1.5 beachten) auf Zug möglich. Die Festigkeitsklasse einer Mutter wird durch die auf einen

gehärteten Prüfdorn bezogene Prüfspannung beschrieben und durch 100 dividiert.

Beispiel:

M6, Prüfspannung 600 MPa
 $600/100 = 6$ Festigkeitsklasse 6

Prüfkraften für Metrisches ISO-Regelgewinde (Muttern)

Gewinde	Gewinde- steigerung	Nenn- spannungs- querschnitt des Prüfdoms A_s	Festigkeitsklasse										
			04	05	4	5	6	8	9	10	12		
			Prüfkraft ($A_s \times S_p$), N										
mm	mm ²	-	-	Typ 1	Typ 1	Typ 1	Typ 1	Typ 2	Typ 2	Typ 1	Typ 1	Typ 2	
M3	0,5	5,03	1.910	2.500	-	2.600	3.000	4.000	-	4.500	5.200	5.700	5.800
M3,5	0,6	6,78	2.580	3.400	-	3.550	4.050	5.400	-	6.100	7.050	7.700	7.800
M4	0,7	8,78	3.340	4.400	-	4.550	5.250	7.000	-	7.900	9.150	10.000	10.100
M5	0,8	14,2	5.400	7.100	-	8.250	9.500	12.140	-	13.000	14.800	16.200	16.300
M6	1	20,1	7.640	10.000	-	11.700	13.500	17.200	-	18.400	20.900	22.900	23.100
M7	1	28,9	11.000	14.500	-	16.800	19.400	24.700	-	26.400	30.100	32.900	33.200
M8	1,25	36,6	13.900	18.300	-	21.600	24.900	31.800	-	34.400	38.100	41.700	42.500
M10	1,5	58,0	22.000	29.000	-	34.200	39.400	50.500	-	54.500	60.300	66.100	67.300
M12	1,75	84,3	32.000	42.200	-	51.400	59.000	74.200	-	80.100	88.500	98.600	100.300
M14	2	115	43.700	57.500	-	70.200	80.500	101.200	-	109.300	120.800	134.600	136.900
M16	2	157	59.700	78.500	-	95.800	109.900	138.200	-	149.200	164.900	183.700	186.800
M18	2,5	192	73.000	96.000	97.900	121.000	138.200	176.600	170.900	176.600	203.500	-	230.400
M20	2,5	245	93.100	122.500	125.000	154.400	176.400	225.400	218.100	225.400	259.700	-	294.000
M22	2,5	303	115.100	151.500	154.500	190.900	218.200	278.800	269.700	278.800	321.200	-	363.600
M24	3	353	134.100	176.500	180.000	222.400	254.200	324.800	314.200	324.800	374.200	-	423.600
M27	3	459	174.400	229.500	234.100	289.200	330.550	422.300	408.500	422.300	486.500	-	550.800
M30	3,5	561	213.200	280.500	286.100	353.400	403.900	516.100	499.300	516.100	594.700	-	673.200
M33	3,5	694	263.700	347.000	353.900	437.200	499.700	638.500	617.700	638.500	735.600	-	832.800
M36	4	817	310.500	408.500	416.700	514.700	588.200	751.600	727.100	751.600	866.000	-	980.400
M39	4	976	370.900	488.000	497.800	614.900	702.700	897.900	868.600	897.900	1.035.000	-	1.171.000

Tab. 6: Auszug aus DIN EN 20898-2, Prüfkraften für metrisches ISO-Regelgewinde (Muttern)

Die Prüfkraft F_p wird mit Hilfe der Prüfspannung S_p (DIN EN 20898 Teil 2) und dem Nennspannungsquerschnitt A_s wie folgt berechnet: $F_p = A_s \times S_p$

Der Nenn-Spannungsquerschnitt wird wie folgt berechnet:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2$$

Hierin bedeuten:

d_2 Flankendurchmesser des Außengewindes (Nennmaß)
 d_3 Kerndurchmesser des Fertigungsprofils des Außengewindes (Nennmaß)

$$d_3 = d_1 - \frac{H}{6}$$

mit

d_1 Kerndurchmesser des Grundprofils des Außengewindes
 H = Höhe des Profildreiecks des Gewindes

vermeiden, müssen Schrauben und Muttern entsprechend obiger Regelung gepaart werden. Darüber hinaus ist eine solche Schraubenverbindung voll belastbar.

Anmerkung:

Im allgemeinen können Muttern der höheren Festigkeitsklasse anstelle von Muttern der niedrigeren Festigkeitsklasse verwendet werden. Dies ist ratsam für eine Schrauben-Mutter-Verbindung mit Belastungen oberhalb der Streckgrenze oder oberhalb der Prüfspannung (Dehnschrauben).

1.5 Paarung von Schrauben und Muttern

Regel:

Bei einer Schraube mit der Festigkeitsklasse 8.8 ist auch die Mutter mit einer Festigkeitsklasse von 8 zu wählen.

Um die Gefahr des Abstreifens von Gewinden beim Anziehen mit modernen Verfahren der Montagetechnik zu

Paarung von Schrauben und Muttern (Nennhöhen $\geq 0,8 D$)

Festigkeitsklasse der Mutter	Zugehörige Schraube			Mutter	
				Typ 1	Typ 2
	Festigkeitsklasse	Gewindebereich	Gewindebereich		
4	3.6 4.6 4.8	> M16	> M16	-	
5	3.6 4.6 4.8	\leq M16	\leq M39	-	
	5.6 5.8	\leq M39			
6	6.8	\leq M39	\leq M39	-	
8	8.8	\leq M39	\leq M39	> M16 \leq M39	
9	9.8	\leq M16	-	\leq M16	
10	10.9	\leq M39	\leq M39	-	
12	12.9	\leq M39	\leq M16	\leq M39	

Tab. 7: Auszug aus DIN EN 20898 Teil 2

1.5.1 Hinweise für Muttern aus Stahl

Eine Schraube mit der Festigkeitsklasse 8.8 wird mit einer Mutter der Festigkeitsklasse 8 oder höher gepaart. Durch diese Verbindung kann die Schraube bis zur Streckgrenze belastet werden.

Bei der Verwendung von Muttern mit einer eingeschränkten Belastbarkeit – zum Beispiel mit der Festigkeitsklasse 04, 05; Muttern mit Härteangaben 14H, 22H – ist dies nicht der Fall. Für diese Muttern liegen aufgrund der DIN EN 20898-2 Prüfkraft vor.

1.5.2 Abstreiffestigkeit für Muttern mit einer Nennhöhe $\geq 0,5 d$ und $< 0,8 d$ (nach DIN EN 20898, Teil 2)

Bei der Paarung der Muttern mit Schrauben einer höheren Festigkeitsklasse ist ein Abstreifen des Gewindes der Mutter zu erwarten.

Der hier aufgeführte Richtwert für die Abstreiffestigkeit bezieht sich auf die angegebene Festigkeitsklasse.

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

Tab. 8: Auszug aus DIN EN 20898 Teil 2

Eine eingeschränkte Belastbarkeit liegt auch für Muttern nach DIN 934 mit der Kennzeichnung I8I, sowie I4I, I5I, I6I, I9I, I10I, I12I vor. Bei der Verwendung einer Schraube mit der Festigkeitsklasse 8.8 und einer Mutter nach DIN 934 (Nennhöhe ca. $0,8 x d$) ist diese Verbindung nicht mit Sicherheit bis zur Streckgrenze der Schraube zu belasten. Zur Kennzeichnung und Unterscheidung werden diese Muttern anstelle der Kennzeichnung 8 mit einem Balken vor und hinter der 8 gekennzeichnet (I8I).

1.6 Mechanische Eigenschaften von Gewindestiften (nach DIN EN ISO 898, Teil 5)

Die mechanischen Eigenschaften gelten für Gewindestifte und ähnliche, **nicht zugbeanspruchte Teile** mit Gewinde, die aus legiertem und unlegiertem Stahl hergestellt werden.

Mechanische Eigenschaft		Festigkeitsklasse ¹⁾			
		14H	22 H	33 H	45H
Vickershärte HV	min. max.	140 290	220 300	330 440	450 560
Brinellhärte HB, F = 30 D ²	min. max.	133 276	209 285	314 418	428 532
Rockwellhärte HRB	min. max.	75 105	95		
Rockwellhärte HRC	min. max.		30	33 44	45 53
Oberflächenhärte HV 0,3			320	450	580

¹⁾ Die Festigkeitsklassen 14H, 22H und 33H gelten nicht für Gewindestifte mit Innensechskant

Tab. 9: Auszug DIN EN ISO 898-5

1.7 Kennzeichnung von Schrauben und Muttern

Kennzeichnung von Schrauben mit voller Belastbarkeit

Sechskantschrauben:

Die Kennzeichnung von Sechskantschrauben mit Herstellerzeichen und Festigkeitsklassen ist vorgeschrieben für alle Festigkeitsklassen und einem Gewinde- Nenndurchmesser von $d \geq 5$ mm.

Die Kennzeichnung der Schraube ist dort anzubringen, wo es die Form der Schraube zulässt.

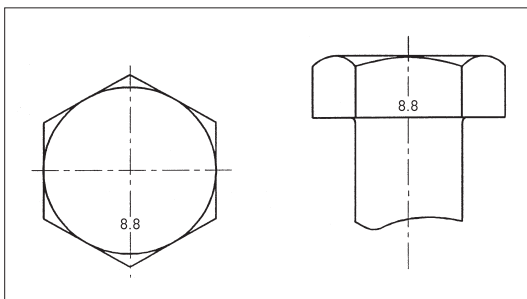


Abb. G: Beispiel für die Kennzeichnung von Sechskantschrauben

Zylinderschrauben mit Innensechskant:

Die Kennzeichnung von Zylinderschrauben mit Innensechskant mit Herstellerzeichen und Festigkeitsklassen ist vorgeschrieben für Festigkeitsklassen ≥ 8.8 und einem Gewindedurchmesser von $d \geq 5$ mm.

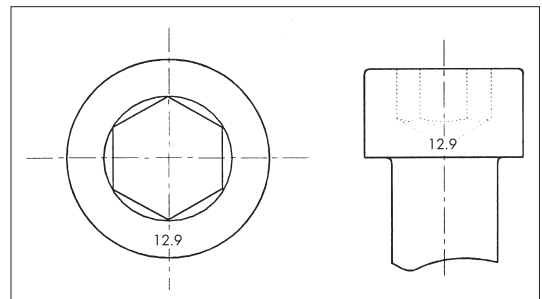


Abb. H: Beispiel für die Kennzeichnung von Zylinderschrauben mit Innensechskant

Kennzeichnung von Muttern

Festigkeitsklasse	04	05	4	5	6	8	9	10	12
Kennzeichen	04	05	4	5	6	8	9	10	12

Tab. 10: Auszug DIN EN 20898-2

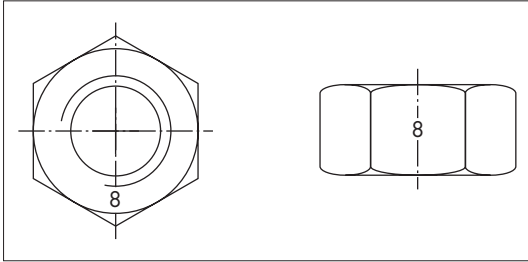


Abb. 1: Beispiel für die Kennzeichnung mit der Kennzahl der Festigkeitsklasse

Kennzeichnung von Schrauben mit reduzierter Belastbarkeit

Bei Schrauben mit reduzierter Belastbarkeit, wird vor das bekannte Festigkeitsklassenkennzeichen, zum Beispiel 8.8 eine „0“ vorangestellt. Der Punkt zwischen den Ziffern darf eingespart werden, hierdurch sind die Varianten „08.8“ und „088“ möglich. Diese Kennzeichnung ist für alle Festigkeitsklassen möglich.

Die Kennzeichnung von Sechskantmuttern mit Herstellerzeichen und Festigkeitsklassen ist vorgeschrieben für alle Festigkeitsklassen und mit einem Gewinde von $\geq M5$. Die Sechskantmuttern müssen auf der Auflagefläche oder einer Schlüsselfläche vertieft oder auf der Fase erhöht gekennzeichnet werden. Erhöhte Kennzeichen dürfen nicht über die Auflagefläche der Mutter hinausragen. Alternativ zur Kennzeichnung durch die Kennzahl der Festigkeitsklasse kann eine Kennzeichnung auch mit Hilfe des Uhrzeigersystems erfolgen (weitere Informationen siehe DIN EN 20898 Teil 2).

1.8 Zollgewinde Umrechnungstabelle Zoll/mm

Zoll	1/4"	5/16"	3/8"	7/16"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1.1/4"
mm	6,3	7,9	9,5	11,1	12,7	15,9	19,1	22,2	25,4	31,8

Zoll	1.1/2"	1.3/4"	2"	2.1/4"	2.1/2"	2.3/4"	3"	3.1/2"	4"	
mm	38,1	44,5	50,8	57,1	63,5	69,9	76,2	88,9	102,0	

Anzahl der Gewindegänge auf 1" UNC/UNF

O-Zoll	1/4"	5/16"	3/8"	7/16"	1/2"	5/8"	3/4"	
Gewindegänge UNC	20	18	16	14	13	11	10	
Gewindegänge UNF	28	24	24	20	20	18	16	

Tab. 11: Gewindesteigung UNC/UNF