

3. Werkstoffe

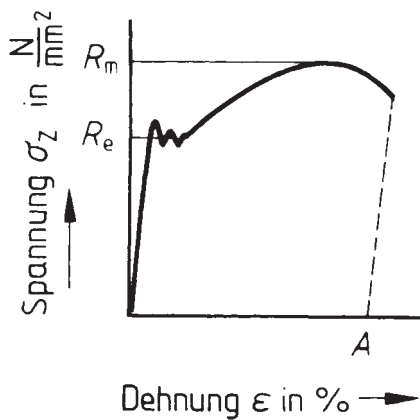
3.1. Schraubenwerkstoffe allgemein

3.1.1. Festigkeitskennwerte von Schraubenwerkstoffen

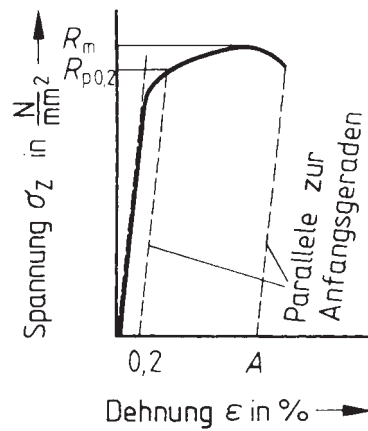
Zugfestigkeit: $\frac{F_m}{A_0} = (N/mm^2)$
 $F_m =$ maximale Zugkraft (N)
 $A_0 =$ Anfangsquerschnitt (mm^2)

Streckgrenze: $R_{el} (N/mm^2)$
 0,2 Dehnungsgrenze: $R_{p0,2} : (N/mm^2)$
 Bruchdehnung: $A (\%)$

Spannungs-Dehnungsdiagramm mit ausgeprägter Streckgrenze, z.B. bei weichem Stahl



Spannungs-Dehnungsdiagramm ohne ausgeprägte Streckgrenze, z.B. bei vergütetem Stahl



3.1.2. Bezeichnungssystem der Schrauben-Festigkeitsklassen, DIN ISO EN 898 Teil 1

Die Kennzeichen der Festigkeitsklasse besteht aus 2 Zahlen, die durch einen Punkt getrennt sind, z. B.: 3.6 - 5.8 - 8.8 - 12.9.

Die erste Zahl entspricht 1/100 der Nennzugfestigkeit R_m . Die zweite Zahl gibt das 10-fache des Verhältnisses der Nennstreckgrenze R_{el} bzw. $R_{p0,2}$ zur Nennzugfestigkeit R_m (Streckgrenzenverhältnis) an.

Beispiel:

$$\frac{1}{100} \times \text{Zugfestigkeit} \rightarrow \frac{R_m}{100} = \frac{800}{100} = 8$$

8.8

$$\rightarrow 10 \times \text{Streckenverhältnis} \frac{R_{p0,2}}{R_m} = \frac{640}{800} = 0,8 \times 10 = 8$$

3.1.3. Mechanische Eigenschaften der Schraubenfestigkeitsklassen (DIN EN ISO 898-1)

Die mechanischen Eigenschaften von Schrauben der nachfolgenden Tabelle gelten für Prüfungen bei Raumtemperatur.

Mechanische Eigenschaften von Schrauben

Abschnitt	Eigenschaft	Festigkeitsklasse											
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 ¹⁾ d ≤ 16 mm ²⁾ d > 16 mm ²⁾		9.8 ³⁾	10.9	12.9	
5.1 und 5.2	Zugfestigkeit R_m in N/mm ^{2,4)} , ⁵⁾	Nennwert	300	400		500		600	800	800	900	1000	1200
		min	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
5.3	Vickershärte HV $F 2 \geq 98 \text{ N}$	min	95	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
		max	250						320	335	360	380	435
5.4	Brinellhärte HB $F = 30 \text{ D}^2$	min	90	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
		max	238						304	318	342	361	414
5.5	Rockwellhärte HR	min	HRB	52	67	71	79	82	89	-	-	-	-
			HRC	-	-	-	-	-	-	22	23	28	32
		max	HRB	99,5						-	-	-	-
			HRC	-						32	34	37	39
5.6	Oberflächenhärte HV 0,3	max	-						6)				
5.7	untere Streckgrenze ⁷⁾ R_{eL} in N/mm ²	Nennwert	180	240	320	300	400	480	-	-	-	-	-
		min	190	240	340	300	420	480	-	-	-	-	-
5.8	0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ in N/mm ²	Nennwert	-						640	640	720	900	1080
		min	-						640	660	720	940	1100
5.9	Spannung unter Prüfkraft S_p	$\frac{S_p}{R_{eL}}$ oder $\frac{S_p}{R_{p0,2}}$	0,94	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88
		N/mm ²	180	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
5.10	Bruchdehnung A in %	min	25	22	14	20	10	8	12	12	10	9	8
5.11	Festigkeit unter Schrägzugbelastung ⁵⁾	Die Werte unter Schrägzugbelastung für ganze Schrauben (nicht Stiftschrauben) dürfen die in Abschnitt 5,2 angegebenen Mindestzugfestigkeiten nicht unterschreiten.											
5.12	Kerbschlagarbeit in J	min	-			25	-		30	30	25	20	15
5.13	Koptschlagzähigkeit	kein Bruch											
5.14	Mindesthöhe der nicht entkohlten Gewindezone E	-						1/2 H1			2/3 H1	3/4 H1	
	Maximale Tiefe der Auskohlung G	-						0,015					

- 1) Bei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 mit Gewindedurchmesser $d \leq 16 \text{ mm}$ besteht ein erhöhtes Abstreifrisiko für Muttern, wenn die Schraubenverbindung über die Prüfkraft der Schraube hinaus angezogen wird. Die Norm ISO 898 - 2 wird zur Beachtung empfohlen.
- 2) Für Stahlbauschrauben liegt die Grenze bei 12 mm.
- 3) Die Festigkeitsklasse 9.8 gilt nur für Gewinde-Nenn Durchmesser $d \leq 16 \text{ mm}$.
- 4) Die Mindest-Zugfestigkeiten gelten für Schrauben mit Nennlängen $l < 2,5 d$ und für solche Produkte, die nicht im Zugversuch geprüft werden können (z. B. wegen der Kopfform).
- 5) Für die Prüfung an ganzen Schrauben müssen die in den Tabellen 6 bis 9 angegebenen Kräfte verwendet werden.
- 6) Die Oberflächenhärte darf am jeweiligen Produkt 30 Vickerspunkte der gemessenen Kernhärte nicht überschreiten, wenn beide Härtewerte mit HV 0,3 ermittelt werden. Für die Festigkeitsklasse 10.9 darf eine Oberflächenhärte von 390 HV nicht überschritten werden.
- 7) Falls die untere Streckgrenze R_{eL} nicht bestimmt werden kann, gilt die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$.

3.1.4. Chemische Zusammensetzung von Schraubenwerkstoffen

Nachfolgende Tabelle enthält Stähle für die Schrauben der verschiedenen Festigkeitsklassen. Die Mindest-Anlaßtemperaturen sind für die Festigkeitsklassen 8.8 bis 12.9 in allen Fällen verbindlich. Die chemische Zusammensetzung der Werkstoffe ist nur für solche Schrauben verbindlich, die nicht im Zugversuch geprüft werden können.

Festigkeitsklasse	Werkstoff und Wärmebehandlung	Chemische Zusammensetzung (Masseanteil in %) Stückanalyse					Anlaßtemperatur °C
		C		P	S	B ^a	
		min.	max.	max.	max.	max.	
3.6 ^b	Kohlenstoffstahl	–	0,20	0,05	0,06	0,003	–
4.6 ^b		–	0,55	0,05	0,06	0,003	–
4.8 ^b		–	0,55	0,05	0,06	0,003	–
5.6		0,13	0,55	0,05	0,06	0,003	–
5.8 ^b		–	0,55	0,05	0,06	0,003	–
6.8 ^b		–	0,55	0,05	0,06	0,003	–
8.8 ^c	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,15 ^d	0,40	0,035	0,035	0,003	425
	Kohlenstoffstahl, abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035		
9.8	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,15 ^d	0,35	0,035	0,035	0,003	425
	Kohlenstoffstahl, abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035		
10.9 ^{e,f}	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,15 ^d	0,35	0,035	0,035	0,003	340
10.9 ^f	Kohlenstoffstahl, abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035	0,003	425
	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,20 ^d	0,55	0,035	0,035		
	legierter Stahl, abgeschreckt und angelassen ^g	0,20	0,55	0,035	0,035		
12.9 ^{h,i}	Legierter Stahl, abgeschreckt und angelassen ^g	0,28	0,50	0,035	0,035	0,003	380

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

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

^c Für Nenndurchmesser über 20 mm kann es notwendig sein, einen für die Festigkeitsklasse 10.9 vorgesehenen Werkstoff zu verwenden, um eine ausreichende Härte sicherzustellen.

^d Bei Kohlenstoffstählen mit Bor als Zusatz und einem Kohlenstoffgehalt unter 0,25 % (Schmelzanalyse) muß ein Mangengehalt von mindestens 0,60 % für Festigkeitsklasse 8.8 und 0,70 % für die Festigkeitsklassen 9.8, 10.9 und 10.9 vorhanden sein.

^e Für Produkte aus diesen Stählen muß das Kennzeichen der Festigkeitsklasse zusätzlich unterstrichen sein (siehe Abschnitt 9). 10.9 muß alle in Tabelle 3 für 10.9 festgelegten Eigenschaften erreichen. Die geringere Anlaßtemperatur bei 10.9 ergibt jedoch ein unterschiedliches Spannungsrelaxationsverhalten bei höheren Temperaturen (siehe Anhang A).

^f Der Werkstoff für diese Festigkeitsklassen muß ausreichend härtbar 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 Kombination 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 ist eine metallographisch feststellbare, mit Phosphor angereicherte weiße Schicht an Oberflächen, die auf Zug beansprucht werden, nicht zulässig.

ⁱ Die chemische Zusammensetzung und die Anlaßtemperatur werden zur Zeit untersucht.

3.1.5. Übersicht von allgemein üblichen Schraubenwerkstoffen

Geeignete, übliche Werkstoffe für Schrauben nach Festigkeitsklassen

Festigkeitsklasse	Ausgangswerkstoffe. Herstellung durch			Schraubendurchmesser ¹	Wärmebehandlung nach		
	Kaltverformen	Warmverformen	Zerspanen		Kaltverformen	Warmverformen	Zerspanen
3.6 4.6	QSt 36-2 Δ 1.0203 UQSt 36-2 Δ 1.0204 USt 38-2 Δ 1.0217 UQSt 38-2 Δ 1.0224	USt 37-1 Δ 1.0110 RSt 44-2 Δ 1.0419	9 S 20 Δ 1.0711	bis M 39	geglüht		keine
4.8	QSt 36-2 Δ 1.0203 QSt 38-2 Δ 1.0204	+	9 S 20 Δ 1.0711	üblich bis M 16	keine	+	keine
5.6	Cq 22 Δ 1.1152	St 50-2 Δ 1.0533	+	bis M 39	geglüht		+
5.8	Cq 22 Δ 1.1152 Cq 35 Δ 1.1172	+	9 SMn 28 Δ 1.0715 10 S 20 Δ 1.0721	bis 39 M	keine	+	keine oder vergütet
6.8	Cq 35 Δ 1.1172 35 B 2 Δ 1.5511 Cq 45 Δ 1.1192	C 45 Δ 1.0503 46 Cr 2 Δ 1.7006	10 S 20 Δ 1.0721	bis M 39	keine oder vergütet	vergütet	keine oder vergütet
8.8	22 B 2 Δ 1.5508 28 B 2 Δ 1.5510		nicht üblich	bis M 12	vergütet		
8.8	35 B 2 Δ 1.5511 Cq 35 Δ 1.1172 Cq 45 Δ 1.1192	C 45 Δ 1.0503 46 Cr 1 Δ 1.7002		bis M 22			
	34 Cr 4 Δ 1.7033 37 Cr 4 Δ 1.7034	46 Cr 2 Δ 1.7006		von M 24 bis M 39			
10.9	35 B 2 Δ 1.5511 Cq 35 Δ 1.1172		wenig bzw. nicht üblich	bis M 6			
	34 Cr 4 Δ 1.7033	41 Cr 4 Δ 1.7035		ab M 8 bis M 18			
	41 Cr 4 Δ 1.7035 34 CrMo 4 Δ 1.7220 42 CrMo 4 Δ 1.7225			bis M 39			
12.9	34 CrMo 4 Δ 1.7220 37 Cr 4 Δ 1.7034 41 Cr 4 Δ 1.7035			bis M 18			
	42 CrMo 4 Δ 1.7225			bis M 24			
	34 CrNiMo 6 Δ 1.6582			bis M 39			

3.1.6. Untere Streckgrenze oder 0,2%-Dehngrenze bei höherer Temperatur

Festigkeitsklasse	Temperatur °C				
	+ 20	+ 100	+ 200	+ 250	+ 300
	Untere Streckgrenze R_{eL} oder 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ N/mm ²				
5.6	300	270	230	215	195
8.8	640	590	540	510	480
10.9	940	875	790	745	705
10.9	940	-	-	-	-
12.9	1 100	1 020	925	875	825

Fortgesetzter Einsatz bei höheren Temperaturen kann zu deutlicher Spannungsrelaxation führen. Als ein typisches Ergebnis führen 100 Stunden bei 300°C zu einem bleibenden Abfall der Klemmkraft der Schraube von 25% aufgrund der Reduzierung der Streckgrenze.

3.1.7. Schraubenwerkstoffe für den Einsatz über 300° C (DIN 267 T 13)

Werkstoffe

Kurzname	Werkstoff			Anhalt für die übliche obere Grenze der Anwendungstemperaturen im Dauerbetrieb
	Werkstoffnummer	nach	Kennzeichen	
C 35 N ¹⁾ oder C 35 V ¹⁾	1.0501	DIN 17 240	Y	+ 350 °C
Ck 35	1.1181		YK	+ 350 °C ²⁾
35 B 2 ⁵⁾	1.5511	DIN 1654 Teil 4 VdTÜV WB 490	YB	+ 350 °C ²⁾
24 CrMo 5	1.7258	DIN 17 240	G	+ 400 °C
21 CrMoV 5 7	1.7709		GA	+ 540 °C
40 CrMoV 4 7	1.7711		GB	+ 500 °C ⁶⁾
X 22 CrMoV 12 1	1.4923		V ³⁾ VH ⁴⁾	+ 580 °C
X 19 CrMoVNbN 11 1	1.4913		VW	+ 580 °C
X 8 CrNiMoBNb 16 16	1.4986		S	+ 650 °C
X 5 NiCrTi 26 15	1.4980		VdTÜVWB 435/3	SD
NiCr20TiAl	2.4952	DIN 17 240	SB	+ 700 °C

¹⁾ Nur für Muttern
²⁾ Für Muttern kann die übliche obere Grenze der Temperatur im Dauerbetrieb um 50 °C höher sein.
³⁾ Kennzeichen V für Werkstoff X 22 CrMoV 12 1 nach DIN 17 240 mit der 0,2% Dehngrenze $R_{p0,2} \geq 600 \text{ N/mm}^2$.
⁴⁾ Kennzeichen VH für Werkstoff X 22 CrMoV 12 1 nach DIN 17 240 mit der 0,2% Dehngrenze $R_{p0,2} \geq 700 \text{ N/mm}^2$.
⁵⁾ Eigenschaften bei hohen Temperaturen siehe VdTÜV Werkstoffblatt 490. In DIN 1654 Teil 4 sind für diesen Werkstoff z. Z. nur mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur festgelegt.
⁶⁾ Temperatur gegenüber DIN 17 240 geändert, da die Zeitstandfestigkeit bei hohen Temperaturen in DIN 17 240 zu hoch angesetzt ist.

3.1.8. Zweckmäßige Werkstoff-Paarungen für Schraube und Mutter

Schraube	Werkstoff	
	Schraube	Mutter
Ck 35 35 B 2	C 35 N, C 35 V, Ck 35, 35 B 2	
24 CrMo 5	Ck 35, 35 B 2, 24 CrMo 5	
21 CrMoV 5 7	24 CrMo 5 21 CrMoV 5 7	
40 CrMoV 4 7	21 CrMoV 5 7	
X 22 CrMoV 12 1 X 19 CrMoVNbN 11 1	X 22 CrMoV 12 1	
X 8 CrNiMoBNb 16 16	X 8 CrNiMoBNb 16 16	
X 5 NiCrTi 26 15	X 5 NiCrTi 26 15	
NiCr20TiAl	NiCr20TiAl	

3.1.9. Werkstoffe für Anwendungstemperaturen von -200°C bis unter -10°C (DIN 267 T13)

Werkstoffe

Kurzname	Werkstoff			Anhalt für die übliche untere Grenze der Anwendungstemperaturen im Dauerbetrieb ¹⁾
	Werkstoffnummer	nach	Kennzeichen	
26 CrMo 4	1.7219	DIN 17 280	KA	- 60°C
12 Ni 19	1.5680		KB	- 120°C
X 5 CrNi 18 10	1.4301	DIN 17 440 DIN ISO 3506 bzw. AD-W 10	A2 ²⁾	- 200°C
X 5 CrNi 18 12	1.4303		A2 ²⁾	- 200°C
X 6 CrNiTi 18 10	1.4541		A2 ²⁾	- 200°C
X 5 CrNiMo 17 12 2	1.4401		A4 ²⁾	³⁾ - 60°C
				⁴⁾ - 200°C
X 6 CrNiMoTi 17 12 2	1.4571		A4 ²⁾	³⁾ - 60°C
			⁴⁾ - 200°C	

¹⁾ Siehe hierzu auch AD-Merkblatt W 10
²⁾ Den Kennzeichen A2 und A4 ist die Kennziffer für die gewünschte Festigkeitsklasse anzufügen, z. B. A2-70 (siehe DIN ISO 3506), sofern dies aus Platzgründen möglich ist. Wird ein bestimmter Werkstoff gewünscht, so ist anstelle der Stahlgruppe nach DIN ISO 3506 der Kurzname des Werkstoffes oder die Werkstoffnummer anzugeben. Dies gilt auch für Teile mit Gewinde über M 39.
³⁾ Schrauben mit Kopf
⁴⁾ Schrauben ohne Kopf

Festigkeitsklassen für Anwendungstemperaturen von -10°C bis unter +300°C

Festigkeitsklassen (Werkstoffe)

Festigkeitsklasse		Kennzeichen	
Schrauben nach DIN EN 20 898 Teil 1	Muttern nach DIN ISO 898 Teil 2	Schrauben nach DIN EN 20 898 Teil 1	Muttern nach DIN ISO 898 Teil 2
5.6	5-2 ¹⁾	5.6	5-2 ¹⁾
8.8	8	8.8	8

¹⁾ Durch den Zusatz „-2“ zum Kennzeichnen der Festigkeitsklasse werden Thomasstahl und Automatenstahl ausgeschlossen.