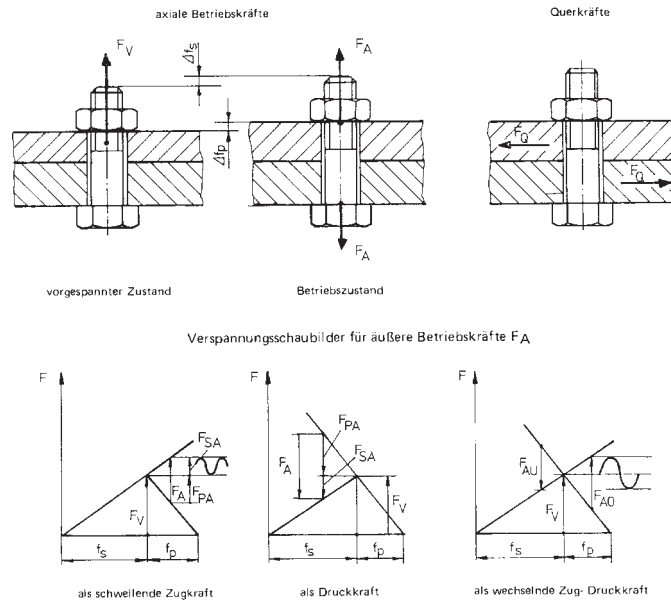


6. Montage von Schraubenverbindungen

6.1. Vorspannkraft und Anziehdrehmomente

6.1.1. Kräfte und Verformungen bei einer Schraubenverbindung (Schema)



6.1.2. Berechnungsgrundlagen

Für die Berechnung hochfester Schraubenverbindungen wurde die VDI-Richtlinie 2230 entworfen. In dieser Richtlinie werden Geltungsbereich, Berechnung, Herleitung der Berechnungsgrundlagen, Einflussgrößen und Tabellen dargestellt.

Die folgenden Gleichungen sind vereinfachte Berechnungsformeln (n. BSK).

Vorspannkraft

Näherungsformel für die Gesamtbeanspruchung durch Vorspannkraft und Torsion bei 90 % der Mindeststreckgrenze ist:

$$F_V = 0,7 \cdot R_{p0,2} \cdot A_S$$

A_S = Spannungsquerschnitt

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

Anziehdrehmoment

$$M_A = F_V \left[0,16 P + \mu_{\text{ges}} \left(0,58 \cdot d_2 + \frac{D_m}{2} \right) \right] \text{ Nm}$$

P = Steigung (mm)

μ_{ges} = Gesamtreibungskoeffizient

d_2 = Flanken-Ø

$D_m = \frac{d_a + d_w}{2}$ = mittlerer Reibungsdurchmesser der Kopf- oder Mutternaufgabe

d_a = Durchmesser der Durchgangsbohrung

d_w = Außendurchmesser der Kopf- bzw. Mutternaufgabe

6.1.3. Die richtigen Schraubenverbindungen

Überschlägig erhält man aus Tabelle 1 folgende Dimensionen:

- Festigkeitsklasse 8.8: M20
- Festigkeitsklasse 10.9: M16
- Festigkeitsklasse 12.9: M16

Unter Berücksichtigung aller Randbedingungen, wie Anzahl und Rauigkeit der Trennfugen, Klemmlänge, Kräfteinteilung und Anzugsbedingungen, ergibt der exakte, nach der VDI-Richtlinie 2230 durchgeführte Rechnungsgang folgende Dimensionen:

- Festigkeitsklasse 8.8: M16
- Festigkeitsklasse 10.9: M14
- Festigkeitsklasse 12.9: M12

Damit liegt man mit der überschlägigen Dimensionierung nach Tab. 1 auf der sicheren Seite.

Tabelle 1 Betriebskraft pro Schraube
Steigung, Spannungsquerschnitt und Kernquerschnitt

Statisch in Ausrichtung	dynamisch in Ausrichtung	statisch und/oder dynamisch senkrecht zur Ausrichtung	Vorspannkraft ¹⁾	Nenn Durchmesser ¹⁾ [mm] Festigkeitsklasse		
				8.8	10.9	12.9
F _A [N]	F _A [N]	F _Q [N]	F _V [N]			
1600	1000	320	2500	4	---	---
2500	1600	500	4000	5	4	4
4000	2500	800	6300	6	5	5
6300	4000	1250	10000	7 ²⁾	6	5
10000	6300	2000	16000	8	7 ²⁾	7 ²⁾
16000	10000	3150	25000	10	9 ²⁾	8
25000	16000	5000	40000	14	12	10
40000	25000	8000	63000	16	14	12
63000	40000	12500	100000	20	16	16
100000	63000	20000	160000	24	20	20
160000	100000	31500	250000	30	27	24
250000	160000	50000	400000	---	30	30

¹⁾ Die angegebenen Vorspannkraften gelten für Schaftschrauben; bei Dehnschrauben ist wegen des verringerten Tailenquerschnittes diejenige Abmessung zu wählen, die der nächsthöheren Laststufe entspricht.

²⁾ Abmessung M7 und M9 nur in Sonderfällen verwenden.

Tabelle 2 Kraft an der Mindest-Streckgrenze
Steigung, Spannungsquerschnitt und Kernquerschnitt

Schaftschrauben mit metrischem Regelgewinde nach DIN 13, Teil 13

Abmessung (mit Steigung P)	Spannungs- Querschnitt A _s [mm ²]	Kern- Querschnitt A _s [mm ²]	Kraft an der Mindest-Streckgrenze F _s ^{0,2} ermittelt mit dem Spannungsquerschnitt		
			8.8 [N]	10.9 [N]	12.9 [N]
M 4 x 0,7	8,78	7,75	5600	8250	9650
M 5 x 0,8	14,2	12,7	9100	13300	15600
M 6 x 1	20,1	17,9	12900	18900	22100
M 8 x 1,25	36,6	32,8	23400	34400	40300
M10 x 1,5	58,0	52,3	37100	54500	64000
M12 x 1,75	84,3	76,2	54000	79000	92500
M14 x 2	115	105	73500	108000	127000
M16 x 2	157	144	100000	148000	173000
M18 x 2,5	192	175	127000	180000	211000
M20 x 2,5	245	225	162000	230000	270000
M22 x 2,5	303	282	200000	285000	333000
M24 x 3	353	324	233000	332000	388000
M27 x 3	459	427	303000	431000	505000
M30 x 3,5	561	519	370000	527000	617000

Tabelle 3 Schaftschrauben mit metrischem Feingewinde nach DIN 13, Teil 13

M 8 x 1	39,2	36,0	25100	36800	43100
M10 x 1,25	61,2	56,3	39200	57500	67500
M12 x 1,25	92,1	86,0	59000	86500	101000
M12 x 1,5	88,1	81,1	56500	83000	97000
M14 x 1,5	125	116	80000	118000	138000
M16 x 1,5	167	157	107000	157000	184000
M18 x 1,5	216	205	143000	203000	238000
M20 x 1,5	272	259	180000	256000	299000
M22 x 1,5	333	319	220000	313000	366000
M24 x 2	384	365	253000	361000	422000
M27 x 2	496	473	327000	466000	546000
M30 x 2	621	596	410000	584000	683000

6.1.4. Wahl der richtigen Reibungszahlen

Zur genauen Bestimmung der Vorspannkraft und des Anziehdrehmomentes ist die Kenntnis der Reibungszahlen wesentliche Voraussetzung. Unterschiedliche Oberflächen- und Schmierbedingungen lassen ein großes Spektrum an Reibungszahlen zu (Tab. 4). Um die Bedingungen einer definierten Montage weitestgehend zu unterstützen, werden moderne Verbindungselemente durch zusätzliche Schmierungen beim Hersteller in ein Fenster der Reibungszahlen von 0,08 bis 0,14 (gemessen nach DIN 946) gelegt, das für die Berechnung der Vorspannkraft herangezogen werden sollte. Für andere Reibungszustände wird auf die Angaben der VDI 2230 verwiesen. Sicherungsschrauben mit Verriegelungszähnen oder Sicherungsrippen an der Kopfauflagefläche haben eine erhöhte Reibungszahl μ_{ges} .

Tabelle 4

Schraube	Oberfläche		Mittlere Reibungszahl μ_{ges} für Schmierzustand		
	Mutter	Gegenlagen	ungeschmiert	geölt	MoS ₂ -Paste
schwarzvergütet	schwarzvergütet	gemäß DIN 946	0,14-0,18	0,14-0,18	
phosphatiert	phosphatiert		0,14-0,18	0,10-0,15	
dünnschicht-phosphatiert	metallisch blank			0,08-0,12	
galvanisch verzinkt	metallisch blank		0,12-0,17	0,14-0,19	0,08-0,14
Dacromet 320	metallisch blank		0,12-0,20		0,08-0,14
Dacromet 500	metallisch blank	0,10-0,16		0,08-0,14	

6.1.5. Mindesteinschraubtiefen

		Empfohlene Mindest-Einschraubtiefe ohne Ansenkungen für die Schraubenfestigkeitsklassen				
		8,8		10,9		12,9
		Gewindedefinition $\frac{d}{P}$				
Bauteilwerkstoff mit eingeschnittenem Muttergewinde	R _m in N/mm ²	6 bis 9	10 bis 13	6 bis 9	10 bis 13	6 bis 9
		Regelgewinde	Feingewinde	Regelgewinde	Feingewinde	Feingewinde
S 235 (St37-2) 2C15 N (C15)	> 360 (Ferrit/Perlit-Gefüge)	1,0 x d [1,5 x d ²⁾	1,25 x d	1,25 x d [1,8 x d ²⁾	1,4 x d	1,4 x d [2,1 x d ²⁾
E 285 (St50-2) S 355 (St52-3) 2C35 N (C35 N)	>500 (Ferrit/Perlit-Gefüge)	0,9 x d [1,3 x d ²⁾	1,0 x d [1,6 x d ²⁾	1,0 x d	1,2 x d	1,2 x d [1,8 x d ²⁾
C45 V 35Cr4 V 34CrMo 4 V 42CrMo 4 V und andere	> 800 (Vergütungsgefüge)	0,8 x d [0,9 x d ²⁾	0,8 x d	0,9 x d [1,1 x d ²⁾	0,9 x d	1,0 x d [1,2 x d ²⁾
GJL 250 (GG-25)	> 220	1,0 x d [1,3 x d ²⁾	1,25 x d	1,25 x d [1,6 x d ²⁾	1,4 x d	1,4 x d [1,8 x d ²⁾
Al 99,5 ¹⁾ AlMg3 F18 ¹⁾ AlMgSi1 F32 ¹⁾ AlMg4,5Mn F28 ¹⁾ AlCuMg1 F40 1 AlCuMgCu 0,5 F50 ¹⁾	> 180 > 180 > 330 > 330 > 550 > 550	2,0/2,5 x d [3 x d] ²⁾ 2,0 x d 2,0 x d 1,1 x d 1,0 x d	1,4 x d	1,4 x d	1,6 x d	
GMgAl9 Zn1	> 230	1,5/2,0 x d	1,4 x d	1,4 x d	1,6 x d	

**6.1.6. Vorspannkraft und Anziehdrehmomente für ISO Schrauben mit metrischem Gewinde
Reibungszahl = 0,08**

Schaftschrauben, metrisches **Regelgewinde** DIN 13, Teil 13

Abmessung	Vorspannkraft F_v (N)			Anziehdrehmoment M_A (Nm)		
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 4	4400	6450	7550	2,1	3,1	3,6
M 5	7150	10500	12300	4,2	6,1	7,2
M 6	10100	14900	17400	7,3	11	12
M 8	18600	27300	31900	17	26	30
M 10	29500	43400	50500	34	51	59
M 12	43000	63000	74000	59	87	100
M 14	59000	86500	101000	95	140	165
M 16	81000	119000	139000	145	215	250
M 18	102000	145000	170000	210	300	350
M 20	131000	186000	218000	295	420	490
M 22	163000	232000	272000	395	560	660
M 24	188000	268000	313000	510	720	840
M 27	247000	352000	412000	740	1050	1250
M 30	300000	428000	501000	1000	1450	1700

Schaftschrauben, metrisches **Feingewinde** DIN 13, Teil 13

Abmessung	Vorspannkraft F_v (N)			Anziehdrehmoment M_A (Nm)		
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 8x1	20300	29700	34800	18	27	32
M 10x1,25	31600	46200	54500	36	53	62
M 12x1,25	48200	71000	83000	64	93	110
M 12x1,5	45600	67000	78500	62	90	105
M 14x1,5	65000	95500	112000	100	150	175
M 16x1,5	88000	129000	151000	155	225	260
M 18x1,5	118000	168000	197000	230	325	380
M 20x1,5	149000	212000	248000	315	450	530
M 22x1,5	183000	261000	305000	420	600	700
M 24x2	210000	299000	350000	540	760	900
M 27x2	272000	387000	453000	780	1100	1300
M 30x2	342000	487000	570000	1100	1550	1800

Reibungszahl = 0,10

Schaftschrauben, metrisches **Regelgewinde** DIN 13, Teil 13

Abmessung	Vorspannkraft F_v (N)			Anziehdrehmoment M_A (Nm)		
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 4	4250	6200	7250	2,4	3,6	4,2
M 5	6900	10200	11900	4,8	7,1	8,3
M 6	8750	14300	16800	8,3	12	14
M 8	17900	26300	30700	20	30	35
M 10	28500	41800	48900	40	59	69
M 12	41500	61000	71500	49	100	120
M 14	57000	83500	98000	110	160	190
M 16	78000	115000	135000	170	250	290
M 18	98000	140000	164000	245	345	405
M 20	126000	180000	210000	340	490	570
M 22	158000	224000	263000	460	660	770
M 24	182000	259000	303000	590	840	980
M 27	239000	340000	398000	870	1250	1450
M 30	291000	414000	484000	1200	1700	1950

Schaftschrauben, metrisches **Feingewinde** DIN 13, Blatt 13

Abmessung	Vorspannkraft F_v (N)			Anziehdrehmoment M_A (Nm)		
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 8x1	19600	28700	33600	22	32	37
M 10x1,25	30600	44900	52500	42	62	72
M 12x1,25	40600	68500	80000	75	110	130
M 12x1,5	44000	64500	75500	72	105	125
M 14x1,5	63000	92500	108000	120	175	200
M 16x1,5	85500	125000	147000	180	265	310
M 18x1,5	114000	163000	191000	270	385	450
M 20x1,5	144000	206000	241000	375	530	620
M 22x1,5	178000	253000	296000	500	710	830
M 24x2	203000	290000	339000	630	900	1050
M 27x2	264000	375000	439000	920	1300	1550
M 30x2	332000	472000	553000	1300	1850	2150

Reibungszahl = 0,14

 Schaftschrauben, **metrisches Regelgewinde** DIN 13, Teil 13

Abmessung	Vorspannkraft F_v (N)			Anziehdrehmoment M_A (Nm)		
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 4	3900	5750	6700	3,0	4,4	5,1
M 5	6400	9400	11000	5,9	8,7	10
M 6	9000	13200	15500	10	15	18
M 8	16500	24300	28400	25	36	43
M 10	26300	38700	45200	49	72	84
M 12	38400	56500	66000	85	125	145
M 14	52500	77500	90500	135	200	235
M 16	72500	107000	125000	210	310	365
M 18	91000	129000	152000	300	430	500
M 20	117000	166000	195000	425	610	710
M 22	146000	208000	244000	580	820	960
M 24	168000	240000	281000	730	1050	1220
M 27	222000	316000	369000	1100	1550	1800
M 30	269000	384000	449000	1450	2100	2450

 Schaftschrauben, metrisches **Feingewinde** DIN 13, Teil 13

Abmessung	Vorspannkraft F_v (N)			Anziehdrehmoment M_A (Nm)		
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 8x1	18100	26600	31200	27	39	46
M 10x1,25	28300	41600	48700	52	76	90
M 12x1,25	43300	63500	74500	93	135	160
M 12x1,5	40800	60000	70000	89	130	155
M 14x1,5	58500	86000	100000	145	215	255
M 16x1,5	79500	116000	136000	225	330	390
M 18x1,5	106000	152000	177000	340	485	570
M 20x1,5	134000	191000	224000	475	680	790
M 22x1,5	166000	236000	276000	630	900	1050
M 24x2	189000	270000	315000	800	1150	1350
M 27x2	246000	350000	409000	1150	1650	1950
M 30x2	309000	440000	515000	1650	2350	2750

Reibungszahl = 0,20

 Schaftschrauben, metrisches **Regelgewinde** DIN 13, Teil 13

Abmessung	Vorspannkraft F_v (N)			Anziehdrehmoment M_A (Nm)		
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 4	3450	5050	5900	3,6	5,3	6,1
M 5	5650	8250	9650	7,1	10	12
M 6	7950	11700	13600	12	18	21
M 8	14600	21400	25100	30	44	52
M 10	23200	34100	39900	60	87	100
M 12	33900	49800	58000	105	151	177
M 14	46500	68500	80000	165	240	285
M 16	64000	94000	110000	260	380	445
M 18	80500	114000	134000	365	520	610
M 20	103000	147000	172000	520	740	870
M 22	129000	184000	216000	710	1000	1200
M 24	149000	212000	248000	890	1250	1500
M 27	196000	279000	327000	1350	1900	2200
M 30	238000	339000	397000	1800	2250	3000

 Schaftschrauben, metrisches **Feingewinde** DIN 13, Teil 13

Abmessung	Vorspannkraft F_v (N)			Anziehdrehmoment M_A (Nm)		
	8.8	10.9	12.9	8.8	10.9	12.9
M 8x1	1600	23500	27600	33	48	56
M 10x1,25	25100	36800	43100	64	93	110
M 12x1,25	38400	56500	66000	115	170	200
M 12x1,5	36100	53000	62000	110	160	185
M 14x1,5	52000	76000	89000	180	265	310
M 16x1,5	70500	103000	121000	280	410	480
M 18x1,5	94500	135000	157000	420	600	700
M 20x1,5	119000	170000	199000	590	840	980
M 22x1,5	147000	210000	245000	790	1150	1300
M 24x2	168000	239000	280000	990	1400	1650
M 27x2	218000	311000	364000	1450	2100	2450
M 30x2	275000	391000	458000	2050	2900	3400