

2

Anziehen von Schrauben

2-1. Verschiedene Anzugmethoden

Verschiedene Anzugmethoden — 30

2-2. Schraube und Drehmoment

Formel für das Verhältnis zwischen
Schraube und Drehmoment — 31

2-3. Drehmomentkoeffizient

- (1) Formel des Drehmomentkoeffizienten — 32
- (2) Der Drehmomentkoeffizient ist beständig — 32
- (3) Selbst bei stabilem Drehmoment kann die axiale Spannung variieren — 33

2-4. Methode zur Ermittlung des Anziehdrehmoments

- (1) Verwenden des angemessenen Anziehdrehmoments — 34
- (2) Methode zur Ermittlung des Anziehdrehmoments — 34
- (3) Standardisieren des Anziehdrehmoments — 35
- (4) Standardanziehdrehmoment — 37

2-5. Anziehdrehmomenttoleranz

Anziehdrehmomenttoleranz — 38

2-6. Anziehen zur Spannungsstabilisierung

(Anziehverfahren)

- (1) Zickzack-Anzug — 39
- (2) Festziehen in zwei Schritten — 39
- (3) Zweifaches Anziehen — 39
- (4) Stabilisiertes Anziehen — 39

Drehmoment und Spannung

Weshalb werden Schrauben angezogen?

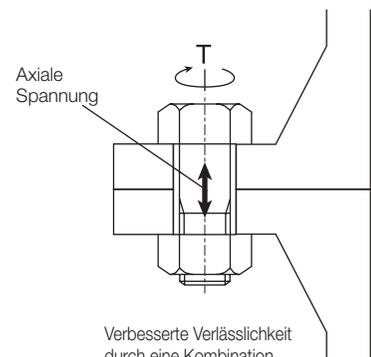
Schrauben werden angezogen, um zu verhindern, dass Objekte sich bewegen (Fixieren). Nachfolgend sind die Hauptziele des Schraubenanziehens aufgeführt.

1. Fixieren und Verbinden von Objekten
2. Übertragen von Antriebs- und Bremskraft
3. Verschließen von Ablassschrauben, Einschließen von Gas und Flüssigkeiten

Die Fixierkraft in diesem Fall ist dies sogenannte axiale Spannung (Anziehungskraft), und das Ziel des Schraubenanziehvorgangs ist es, "eine ausreichende axiale Spannung zu erzielen".

Obgleich eigentlich eine Kontrolle der axialen Spannung erforderlich wäre, wird, da axiale Spannung nur schwer messbar ist, stattdessen wegen ihrer Erstatzeigenschaften eine Drehmomentkontrolle durchgeführt, die eine Verwaltung der Anziehvorgänge und eine einfache Durchführung der Arbeiten ermöglicht.

Abbildung 2-1.



Verbesserte Verlässlichkeit durch eine Kombination aus Fixierung, Übertragung, Vermeidung von Auslaufen usw.

2-1

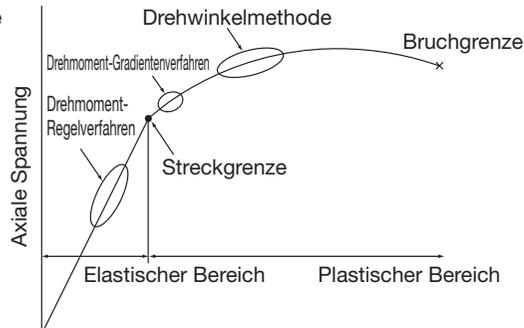
Verschiedene Anzugmethoden

Verschiedene Anzugmethoden

Tabelle 2-1. Verschiedene Anzugmethoden

Anzugmethode	Beschreibung	Vor- und Nachteile
Drehmoment-Regelverfahren	Das Anziehen von Schrauben wird durch den Drehmomentwert geregelt. Hierbei handelt es sich um die am häufigsten verwendete Methode.	Anziehkontrolle und Durchführung sind einfach. Da sich der Drehmomentwert bei unterschiedlicher Schraubenlänge nicht verändert, ist eine Standardisierung einfach. Der Verteilungsbereich der axialen Spannung ist groß und der Wirkungsgrad der Schraube ist gering.
Drehwinkelmethode	Das Anziehen von Schrauben wird durch den Winkel geregelt. Die Schraube wird vom Fügoment bis zu einem festgelegten Winkel angezogen.	Beim Anziehen von Schrauben innerhalb des plastischen Bereichs ist die Verteilung der axialen Spannung gering und die Durchführung ist einfach. Da der Anziehvorgang über die Streckgrenze hinaus erfolgt, ist die zusätzliche Belastung oder das Nachziehen der Schraubverbindung beschränkt. Es ist schwierig, den Drehwinkel zu bestimmen.
Drehmoment-Gradientenverfahren	Die Schraube wird von der Proportionalitätsgrenze bis zum Erreichen der Streckgrenze angezogen. Die Berechnung des Winkels, des Drehmoments usw. erfolgt über eine elektronische Schaltung.	Da der Verteilungsbereich der axialen Spannung gering ist, verfügt die Schraubverbindung über einen hohen Wirkungsgrad. Die Prüfung der Schraube selbst ist möglich. Der Anziehvorgang wird über die Streckgrenze hinaus durchgeführt. Die Anziehvorrichtung ist kostspielig. Im Dienstleistungsbereich ist diese Anzugmethode nicht verfügbar.
Dehnungsmessmethode	Das Anziehen von Schrauben wird durch die beim Anziehen verursachte Dehnung der Schraube geregelt. Die Dehnung wird per Ultraschall oder mithilfe eines Prüfrings in Mikrometer gemessen.	Die Schraubenverteilung ist sehr gering. Ein Anziehen innerhalb des elastischen Bereichs ist möglich. Der Wirkungsgrad der Schraubverbindung ist hoch. Eine zusätzliche Belastung sowie ein erneutes Anziehen sind möglich. Eine Endbearbeitung der Schraubenstirnfläche ist erforderlich. Die Kosten des Anziehvorgangs sind hoch.
Belastungsmethode	Während die festgelegte Zuglast auf die Schraube ausgeübt wird, wird der Anziehvorgang durch die auf die Schraube einwirkende Belastung gesteuert.	Die axiale Spannung kann direkt überwacht werden. Es tritt keine Torsionsspannung in der Schraube auf. Die Anziehvorrichtung und die Schrauben sind Spezialanfertigungen. Hohe Kosten.
Erhitzungsverfahren	Die Schraube wird erhitzt, um eine Dehnung zu erreichen. Der Anziehvorgang wird über die Temperatur geregelt.	Zum Anziehen sind weder Platz noch Kraft erforderlich. Es besteht kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Hitze und axialer Spannung. Eine Steuerung der Temperatureinstellung ist schwierig.

Abbildung 2-2. Methoden der Anzugskontrolle



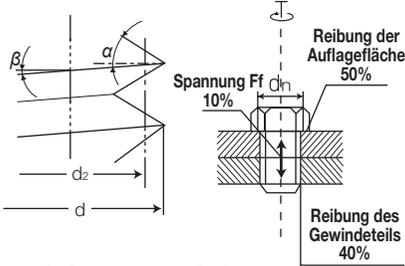
2-2

Schraube und Drehmoment

Formel für das Verhältnis zwischen Schraube und Drehmoment

Abbildung 2-3.

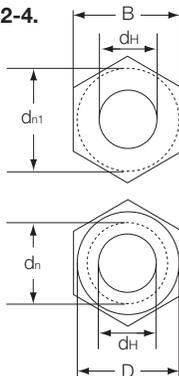
Detailzeichnung Relationszeichnung



- T: Drehmoment [N·m]
- Ff: Axiale Spannung [N]
- d₂: Flankendurchmesser [mm] (Siehe S.122 Tabelle 8-1)
- dn: Flankendurchmesser der Auflagefläche
..... [mm] (Siehe S.122 Tabelle 8-1)
- μ: Reibungskoeffizient des Gewindeteils
..... (Siehe S.32 Tabelle 2-2)
- μ_n: Reibungskoeffizient des tragenden Teils
..... (Siehe S.32 Tabelle 2-2)
- α: Halbwinkel des Schraubengewindes--ISO-Schraube 30°
- β: Steigungswinkel [tan β] (Siehe S.122 Tabelle 8-1)

Formel des Flankendurchmessers der Auflagefläche (d_{n1}, d_n)

Abbildung 2-4.



Formel der Schraube (1)

$$T = Ff \left\{ \frac{d_2}{2} \left(\frac{\mu}{\cos \alpha} + \tan \beta \right) + \mu_n \frac{dn}{2} \right\} \div 1000$$

Reibung des Gewindeteils
Spannung Ff
Reibung der Auflagefläche

Beispiel: Für eine M8-Schraube bei Ft=8000 [N] beträgt das Anziehdrehmoment

- Von S.122 Tabelle 8-1. d₂ = 7,188 [mm]
- dn₁ = 11,27 [mm] (Sechskantmutter)
- tan β = 0,0554

Von S.32 Tabelle 2-2.

$$\mu = \mu_n = 0,15 \quad \alpha = 30^\circ$$

$$T = 8000 \left\{ \frac{7,188}{2} \left(\frac{0,15}{\cos 30^\circ} + 0,0554 \right) + 0,15 \left(\frac{11,27}{2} \right) \right\} \div 1000$$

$$= 13,4 \text{ [N·m]}$$

a. Sechskantauflagefläche (Mutter, Schraube vom Typ 1)

$$d_{n1} = \frac{0,608B^3 - 0,524d_H^3}{0,866B^2 - 0,785d_H^2}$$

- B: Sechskant Schlüsselweite [mm]
- dH: Innendurchmesser der Auflagefläche [mm]

b. Runde Auflagefläche (Mutter vom Typ 2, 3)

$$d_n = \frac{2}{3} \cdot \frac{D^3 - d_H^3}{D^2 - d_H^2}$$

- D: Außendurchmesser der Auflagefläche [mm]
- dH: Innendurchmesser der Auflagefläche [mm]

Formel der Schraube (2)

$$T = K \cdot d \cdot Ff \text{ oder } Ff = \frac{T}{K \cdot d}$$

- K: Drehmomentkoeffizient (Siehe S.32 Tabelle 2-2)
- d: Nenngröße der Schraube [mm]

Beispiel: Axiale Spannung zum Anziehen einer M20-Schraube mit T = 400 [N·m]

$$d=20 \text{ [mm]} \quad K = 0,2 \text{ (Siehe S.32 Tabelle 2-2)}$$

$$Ff = \frac{400}{0,2 \times 20 \div 1000} = 100000 \text{ [N]}$$

2-3

Drehmomentkoeffizient

(1) Formel des Drehmomentkoeffizienten

$$K = \frac{1}{2d} \left[d_2 \left(\frac{\mu}{\cos\alpha} + \tan\beta \right) + \mu_n \cdot d_n \right]$$

d ist der Nenndurchmesser der Schraube [mm]

(2) Der Drehmomentkoeffizient ist beständig

Tabelle 2-2. Drehmomentkoeffizient und Reibungskoeffizient

Schmierung	Drehmomentkoeffizient Min. - Durchschn. - Max.	Reibungskoeffizient Min. - Durchschn. - Max.
Gewöhnliches Maschinenöl Spindelöl Maschinenöl Turbinenöl Zylinderöl	0,14 ~ 0,20 ~ 0,26	0,10 ~ 0,15 ~ 0,20
Leichtlauföl Doppelt-Schwefel- Molybdän Öl auf Wachsbasis	0,10 ~ 0,15 ~ 0,20	0,067 ~ 0,10 ~ 0,14
Fcon Schraubenspannungsstabilisierung (Siehe S.428)	0,16 ~ 0,18 ~ 0,20	0,12 ~ 0,135 ~ 0,15

Hinweis: Die Werte in dieser Tabelle beziehen sich auf gewöhnliche Schraubverbindungen.
Sie sind nicht auf besondere Bedingungen anwendbar.

$$K \approx 1,3\mu + 0,025$$

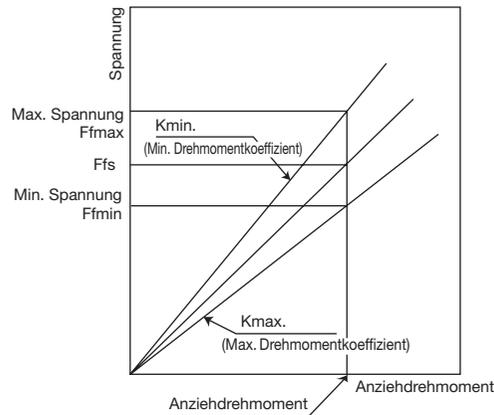
Min. und max. geben den Verteilungsbereich an ($\pm 3\sigma$). Die Schwankungsbreite ist geringer, wenn die Bedingungen eingeschränkt sind. (durch Schmieröl, Form usw.)

(3) Selbst bei stabilem Drehmoment kann die axiale Spannung variieren

■ Faktoren fehlerhafter Drehmomentkoeffizienten

- Schmierung
- Maschinenfaktoren der Schraubverbindung
- Umgebung
- Anziehggeschwindigkeit
- Wiederverwendete Schraube

Abbildung 2-5. Verhältnis zwischen Anziehdrehmoment und axialer Anziehspannung



Beispiel: Wenn das Anziehdrehmoment stabil ist, wie ändert sich die axiale Spannung bei Änderung des Drehmomentkoeffizienten?

$$F_t = T / (K \cdot d)$$

Nenndurchmesser: $d = 10 \text{ [mm]} = 0,01 \text{ [m]}$

Anziehdrehmoment: $T = 24 \text{ [N}\cdot\text{m]}$

Drehmomentkoeffizient: $K_{min.} = 0,14$, $K = 0,2$, $K_{max.} = 0,26$

$$K_{min.} = 0,14$$

$$F_{fmax} = 24 / (0,14 \times 0,01) = 17140 \text{ [N]}$$

$$K_{max.} = 0,26$$

$$F_{fmin} = 24 / (0,26 \times 0,01) = 9230 \text{ [N]}$$

$$K = 0,2$$

$$F_{fs} = 24 / (0,2 \times 0,01) = 12000 \text{ [N]}$$

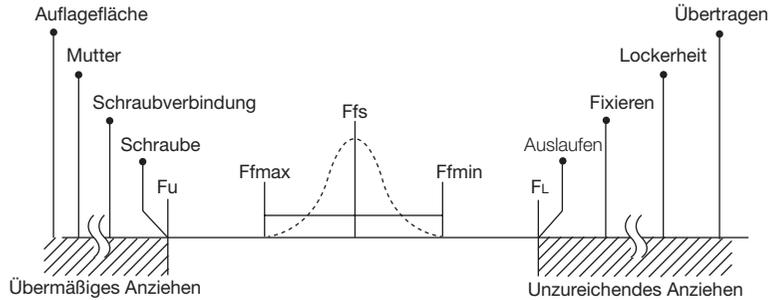
Die axiale Spannung verdoppelt sich ungefähr bei $K_{min.}$ und $K_{max.}$

Methode zur Ermittlung des Anziehdrehmoments

(1) Verwenden des angemessenen Anziehdrehmoments



Abbildung 2-6. Verwenden des angemessenen Anziehdrehmoments

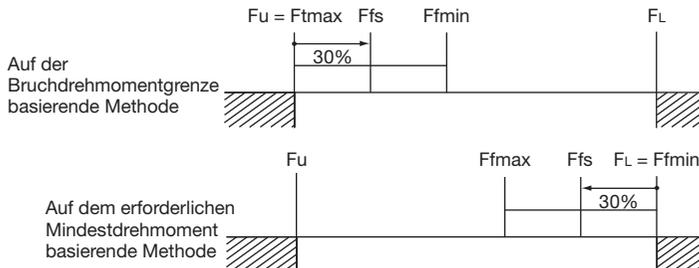


(2) Methode zur Ermittlung des Anziehdrehmoments

Tabelle 2-3. Methode zur Ermittlung des Anziehdrehmoments

1. Standardisierung	Etablieren einer unternehmensweiten Standardisierung des Anziehdrehmoments. (Siehe S.35 Abbildung 2-8)
2. Bestätigung des derzeitigen Anziehdrehmoments	Etablieren und Bestätigen des derzeitigen Anziehdrehmoments.
3. Auf dem Bruchdrehmoment basierende Methode (Festlegung der Obergrenze)	Festlegung von 70% des Bruchdrehmoments als Anziehdrehmoment für Schraubverbindungen. ($F_{fmax} = F_u$)
4. Auf der axialen Spannung basierende Methode (Festlegung der Untergrenze)	Festlegung von 130% des erforderlichen Mindestanziehdrehmoments, dem Niveau, das ein Lösen verhindert, als Anziehdrehmoment. ($F_{fmin} = F_L$)
5. Auf axialer Spannungsmessung basierende Methode	Festlegung des Anziehdrehmoments als optimale axiale Spannung durch Messung mit einem axialen Spannungsmesser.

Abbildung 2-7. Verschiedene defekte Verbindungen



(3) Standardisieren des Anziehdrehmoments

Abbildung, die die Beziehung zwischen Schraube und Drehmoment wiedergibt

Berechnungsformel

$$T = K \cdot d \cdot F_f$$

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

$$d^3 = d_1 - \frac{H}{6}$$

$$H = 0,866025P$$

$$\sigma = \frac{F_f}{A_s}$$

T : Anziehdrehmoment [N·m]

K: Drehmomentkoeffizient 0,2 ($\mu \approx 0,15$)

d: Nenndurchmesser der Schraube [mm]

F_f: Axiale Spannung [N]

A_s: Beanspruchungsbereich der Schraube [mm²] (JIS B 1082)

d₂: Wirkdurchmesser der Schraube [mm] (JIS B 0205)

d₃: Wert von 1/6 der Höhe des Grunddreiecks, abgezogen vom Kerndurchmesser der Schraube (d₁) [mm]

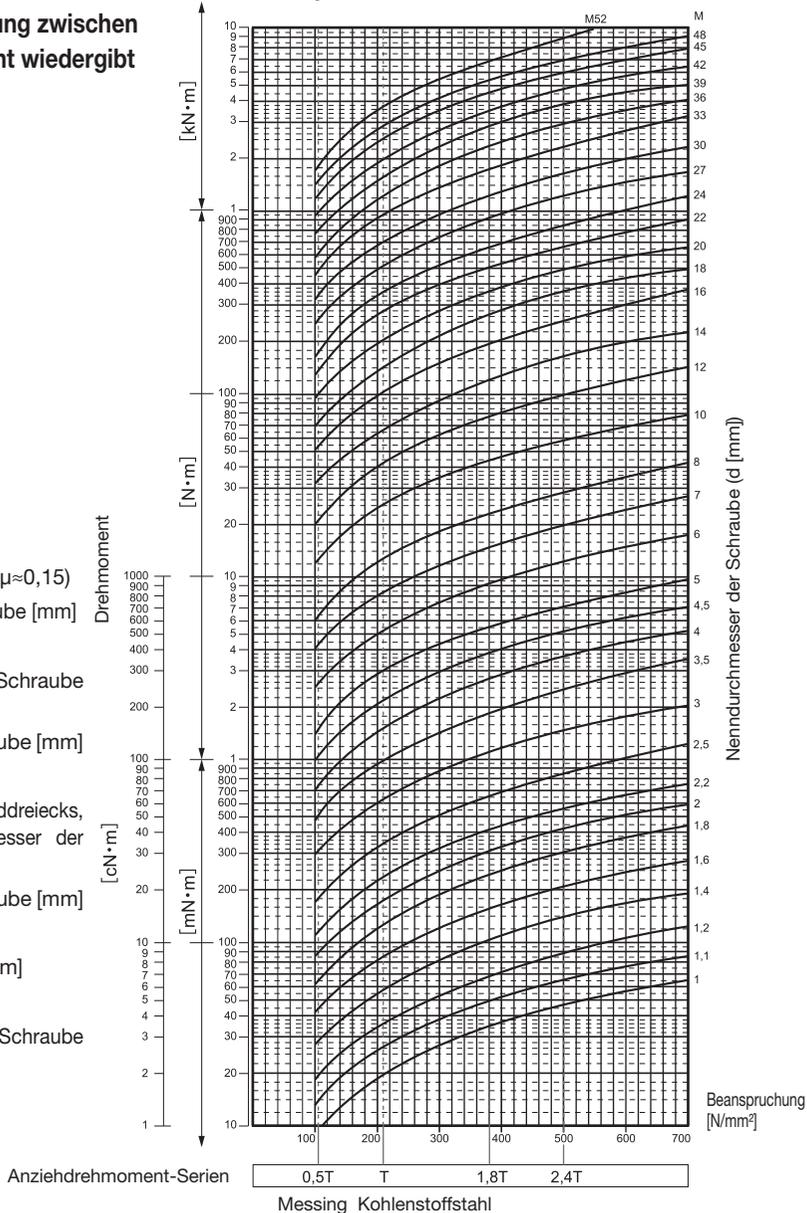
d₁: Kerndurchmesser der Schraube [mm] (JIS B 0205)

H: Höhe des Grunddreiecks [mm]

P: Steigung [mm]

σ: Dehnungsbeanspruchung der Schraube [N/mm²]

Abbildung 2-8. Verhältnis zwischen Schraube und Drehmoment



Methode zur Ermittlung des Anziehdrehmoments

Standardanziehdrehmoment

Tabelle 2-4. Standardanziehdrehmoment [N·m] (Bezugswert)

Nenndurchmesser	T [N·m]	0,5T-Serie [N·m]	1,8T-Serie [N·m]	2,4T-Serie [N·m]
M1	0,0195	0,0098	0,035	0,047
(M1,1)	0,027	0,0135	0,049	0,065
M1,2	0,037	0,0185	0,066	0,088
(M1,4)	0,058	0,029	0,104	0,140
M1,6	0,086	0,043	0,156	0,206
(M1,8)	0,128	0,064	0,23	0,305
M2	0,176	0,088	0,315	0,42
(M2,2)	0,23	0,116	0,41	0,55
M2,5	0,36	0,18	0,65	0,86
M3	0,63	0,315	1,14	1,50
(M3,5)	1	0,5	1,8	2,40
M4	1,5	0,75	2,7	3,6
(M4,5)	2,15	1,08	3,9	5,2
M5	3	1,5	5,4	7,2
M6	5,2	2,6	9,2	12,2
(M7)	8,4	4,2	15	20,0
M8	12,5	6,2	22	29,5
M10	24,5	12,5	44	59
M12	42	21	76	100
(M14)	68	34	122	166
M16	106	53	190	255
M18	146	73	270	350
M20	204	102	370	490
(M22)	282	140	500	670
M24	360	180	650	860
(M27)	520	260	940	1240
M30	700	350	1260	1700
(M33)	960	480	1750	2300
M36	1240	620	2250	3000
(M39)	1600	800	2900	3800
M42	2000	1000	3600	4800
(M45)	2500	1260	4500	6000
M48	2950	1500	5300	7000
(M52)	3800	1900	6800	9200
M56	4800	2400	8600	11600
(M60)	5900	2950	10600	14000
M64	7200	3600	13000	17500
(M68)	8800	4400	16000	21000

Normale Schraubenbelastung: 210 [N/mm²] Beanspruchungsbereich der Schraube

Tabelle 2-5. Standardanziehdrehmoment [kgf·cm] (Bezugswert)

Nenndurchmesser	T [kgf·cm]	0,5T-Serie [kgf·cm]	1,8T-Serie [kgf·cm]	2,4T-Serie [kgf·cm]
M1	0,199	0,100	0,357	0,479
(M1,1)	0,275	0,138	0,500	0,663
M1,2	0,377	0,189	0,673	0,897
(M1,4)	0,591	0,296	1,06	1,43
M1,6	0,877	0,438	1,59	2,10
(M1,8)	1,31	0,653	2,35	3,11
M2	1,79	0,897	3,21	4,28
(M2,2)	2,35	1,17	4,18	5,61
M2,5	3,67	1,84	6,63	8,77
M3	6,42	3,21	11,6	15,3
(M3,5)	10,2	5,1	18,4	24,5
M4	15,3	7,6	27,5	36,7
(M4,5)	21,9	11,0	39,8	53,0
M5	29,4	14,7	53,0	70,6
M6	53,0	26,5	93,8	124
(M7)	85,7	42,8	153	204
M8	127	63,2	224	301
M10	250	127	449	602
M12	428	214	775	1020
(M14)	693	347	1240	1690
M16	1080	540	1940	2600
M18	1490	744	2750	3570
M20	2080	1040	3770	5000
(M22)	2880	1430	5100	6830
M24	3670	1840	6630	8770
(M27)	5300	2650	9590	12600
M30	7140	3570	12800	17300
(M33)	9790	4890	17800	23500
M36	12600	6320	22900	30600
(M39)	16300	8160	29600	38700
M42	20400	10200	36700	48900
(M45)	25500	12800	45900	61200
M48	30100	15300	54000	71400
(M52)	38700	19400	69300	93800
M56	48900	24500	87700	118000
(M60)	60200	30100	108000	143000
M64	73400	36700	133000	178000
(M68)	89700	44900	163000	214000

Hinweis: Umrechnungswerte werden auf 3 signifikante Kommastellen gerundet.

Schrauben und entsprechende T-Serie

Tabelle 2-6. Schrauben und entsprechende T-Serie

	Standard-T-Serie	0,5T-Serie	1,8T-Serie	2,4T-Serie
Verwendbare Schrauben (Festigkeit) (Material)	4,6 ~ 6,8 SS, SC, SUS	- Messing, Kupfer, Aluminium	8,8 ~ 12,9 SCr, SNC, SCM	10,9 ~ 12,9 SCr, SNC, SCM, SNCM
Standardwert der axialen Spannung [N/mm ²] Min - Max	210 160 ~ 300	105 80 ~ 150	380 290 ~ 540	500 380 ~ 710
Anwendung	Anwendbar bei herkömmlichen Schrauben, sofern nicht anders angegeben	Schrauben und Muttern mit Kupfer, Aluminium oder Kunststoff für Kunststoffdruckgussprodukte	Dauerhafte Verschraubungen aus Edelstahl einschließlich solche, die zusätzlichen dynamischen Belastungen ausgesetzt sind (reibschlüssige Verbindungen)	
Verwendbare Produkte	Herkömmliche Produkte	Elektronikprodukte	Fahrzeuge, Motoren	Bauprodukte

* Die Axialspannung vom Maximal- bis zum Minimalwert wird als Drehmomentverteilungskoeffizient bezeichnet.

Beispiel: $\sigma_{\max} = 210 \times (0,2 \div 0,14) = 300$ [N/mm²]

Drehmomentkoeffizient: 0,14 (Minimum) - 0,2 (Durchschnitt) ~ 0,26 (Maximum)

(4) Standardanziehdrehmoment

Tabelle 2-7. Standardanziehdrehmoment und axiale Spannung von Schrauben

Nenn Durchmesser	Beanspruchungsbereich der Schraube				T-Serie				0,5T-Serie				1,8T-Serie				2,4T-Serie			
					Standardanziehdrehmoment	Normale axiale Spannung	Maximale axiale Spannung	Minimale axiale Spannung	Standardanziehdrehmoment	Normale axiale Spannung	Maximale axiale Spannung	Minimale axiale Spannung	Standardanziehdrehmoment	Normale axiale Spannung	Maximale axiale Spannung	Minimale axiale Spannung	Standardanziehdrehmoment	Normale axiale Spannung	Maximale axiale Spannung	Minimale axiale Spannung
	[mm ²]	[N-m]	Ffs [N]	Ffmax [N]	Ffmin [N]	[N-m]	Ffs [N]	Ffmax [N]	Ffmin [N]	[N-m]	Ffs [N]	Ffmax [N]	Ffmin [N]	[N-m]	Ffs [N]	Ffmax [N]	Ffmin [N]	[N-m]	Ffs [N]	Ffmax [N]
M1	0,46	0,0195	97,5	139,5	75,1	0,0098	48,8	69,8	37,6	0,035	175,5	251	135,2	0,047	234	334,7	180,2			
(M1,1)	0,588	0,027	122,8	175,5	94,5	0,0135	61,4	87,8	47,3	0,049	221	315,9	170,1	0,065	294,6	421,2	226,8			
(M1,2)	0,732	0,037	154,2	220,5	118,8	0,0185	77,1	110,3	59,4	0,066	277,5	396,9	213,7	0,088	370	529,1	284,9			
(M1,4)	0,983	0,058	207,2	296,3	159,5	0,029	103,6	148,2	79,8	0,104	372,9	533,2	287,1	0,14	497,2	711	382,8			
M1,6	1,27	0,086	268,8	384,4	207	0,043	134,4	192,2	103,5	0,156	483,8	691,8	372,5	0,206	645	922,4	496,7			
(M1,8)	1,7	0,128	356	509	273,8	0,064	178	255	136,9	0,23	640	916	492,8	0,305	854	1221	657,1			
M2	2,07	0,176	440	630	339	0,088	220	315	170	0,315	792	1133	610	0,42	1056	1511	814			
(M2,2)	2,48	0,23	523	748	403	0,115	262	374	202	0,41	941	1346	725	0,55	1255	1794	966			
M2,5	3,39	0,36	720	1030	555	0,18	360	515	278	0,65	1296	1854	998	0,86	1728	2472	1331			
M3	5,03	0,63	1050	1502	809	0,315	525	751	405	1,14	1890	2703	1456	1,5	2520	3604	1941			
(M3,5)	6,78	1	1429	2043	1100	0,5	715	1022	550	1,8	2572	3678	1980	2,4	3429	4903	2640			
M4	8,78	1,5	1880	2680	1440	0,75	940	1340	720	2,7	3380	4830	2600	3,6	4500	6440	3470			
(M4,5)	11,3	2,15	2390	3420	1840	1,08	1190	1710	920	3,9	4300	6150	3310	5,2	5730	8200	4410			
M5	14,2	3	3000	4290	2310	1,5	1500	2150	1160	5,4	5400	7720	4160	7,2	7200	10300	5540			
M6	20,1	5,2	4330	6200	3340	2,6	2170	3100	1670	9,2	7800	11150	6010	12,2	10400	14870	8010			
(M7)	28,9	8,4	6000	8580	4620	4,2	3000	4290	2310	15	10800	15440	8320	20	14400	20590	11090			
M8	36,6	12,5	7810	11170	6020	6,2	3910	5590	3010	22	14060	20110	10830	29,5	18750	26810	14440			
M10	58	24,5	12250	17520	9430	12,5	6130	8760	4720	44	22050	31530	16980	59	29400	42040	22640			
M12	84,3	42	17500	25000	13480	21	8750	12500	6740	76	31500	45000	24260	100	42000	60100	32340			
(M14)	115	68	24300	34700	18700	34	12100	17400	9350	122	43700	62500	33660	166	58300	83300	44880			
M16	157	106	33100	47400	25500	53	16600	23700	12800	190	59600	85300	45900	255	79500	113700	61200			
(M18)	192	146	40600	58000	31200	73	20300	29000	15600	270	73000	104400	56200	350	97300	139200	74900			
M20	245	204	51000	72900	39300	102	25500	36500	19600	370	91800	131300	70700	490	122400	175000	94200			
(M22)	303	282	64100	91700	49400	140	32000	45800	24700	500	115400	165000	88800	670	153800	220000	118400			
M24	353	360	75000	107300	57800	180	37500	53600	28900	650	135000	193100	104000	860	180000	257400	138600			
(M27)	459	520	96300	137700	74100	260	48100	68900	37100	940	173300	247900	133500	1240	231000	330000	178000			
M30	561	700	116700	166800	89800	350	58300	83400	44900	1260	210000	300300	161700	1700	280000	400000	216000			
(M33)	694	960	145500	208000	112000	480	72700	104000	56000	1750	261800	374400	201600	2300	349000	499000	269000			
M36	817	1240	172000	246000	133000	620	86000	123000	66300	2250	310000	443300	238700	3000	413000	591000	318000			
(M39)	976	1600	205000	293000	158000	800	103000	147000	79000	2900	369200	528000	284300	3800	492000	704000	379000			
M42	1120	2000	238000	340000	183000	1000	119000	170000	91700	3600	429000	613000	330000	4800	571000	817000	440000			
(M45)	1310	2500	278000	397000	214000	1250	139000	199000	107000	4500	500000	715000	385000	6000	667000	953000	513000			
M48	1470	2950	307000	439000	237000	1500	154000	220000	118000	5300	553000	791000	426000	7000	738000	1055000	568000			
(M52)	1760	3800	365000	523000	281000	1900	183000	261000	141000	6800	658000	941000	506000	9200	877000	1254000	675000			
M56	2030	4800	429000	613000	330000	2400	214000	306000	165000	8600	771000	1103000	594000	11600	1029000	1471000	792000			
(M60)	2360	5900	492000	703000	379000	2950	246000	352000	189000	10600	885000	1266000	681000	14000	1180000	1687000	909000			
M64	2680	7200	563000	804000	433000	3600	281000	402000	217000	13000	1013000	1448000	780000	17500	1350000	1931000	1040000			
(M68)	3060	8800	647000	925000	498000	4400	324000	463000	249000	16000	1165000	1666000	897000	21000	1553000	2221000	1196000			

2-5

Anziehdrehmomenttoleranz

Anziehdrehmomenttoleranz

Bei Verschraubungen ist bisweilen eine genaue Anzugskontrolle notwendig, manchmal reicht jedoch eine relativ grobe Kontrolle aus, die lediglich sicherstellt, dass sich die Verbindungen nicht lösen. Die axiale Spannung wird durch den Drehmomentverteilungskoeffizienten und die Anziehdrehmomenttoleranz beeinflusst. Um die Verteilung der axialen Spannung zu begrenzen, reicht es nicht aus, lediglich die Anziehdrehmomenttoleranz zu begrenzen, auch die Verteilung des Drehmomentkoeffizienten muss begrenzt werden.

Anziehdrehmomenttoleranz Tabelle 2-8.

Klasse	Anziehdrehmoment		Drehmomentkoeffizient		Axiale Spannung	
	Drehmomentwert	Toleranz	Koeffizient	Toleranz	Verteilung	Oberer/unterer Grenzwert (Verhältnis)
Spezial	} Messwert	±5%	} Messwert	±15%	±15% 115 ~ 85%	0,75
1. Klasse		±10%		±20%	±20% 120 ~ 80%	0,65
2. Klasse	Standarddrehmoment (Messwert)	±20%	0,14 ~ 0,26 (0,10 ~ 0,20)	±30%	±35% 135 ~ 65%	0,50
3. Klasse	Standarddrehmoment	±30%	0,12 ~ 0,28 (0,09 ~ 0,20)	±40%	±50% 150 ~ 50%	0,35

() Werte in Klammern gelten bei Verwendung von Molybdändisulfid oder Wachs als Schmiermittel.

Verhältnisformel der Standardabweichung

Wenn eine präzise Schraubenkontrolle erforderlich ist, drücken die folgenden Formeln das Verhältnis der Standardabweichung (%) der Verteilung, des Anziehdrehmoments und des Drehmomentkoeffizienten.

Verhältnis von Verteilung der axialen Spannung (σ_n), Drehmomentkoeffizient (σ_k) und Anziehdrehmoment (σ_t)

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_k^2 + \sigma_t^2}$$

Um σ_n zu verkleinern, müssen sowohl σ_k als auch σ_t verkleinert werden. Da es einfach ist, das Anziehdrehmoment zu kontrollieren, gilt $\sigma_k \approx \sigma_t$, wenn annähernd $\sigma_k = 1/3 \sigma_t$ kontrolliert wird.

Beispiel:

$$K = 0,2 \pm 0,06 \text{ (3 } \sigma)$$

$$\sigma_k = \frac{0,06}{3 \times 0,2} = \times 100 \text{ (}\% \text{)} = 10 \text{ (}\% \text{)}$$

$$\sigma_t = 3\%$$

$$\sigma_n = \sqrt{10^2 + 3^2} = 10,4\%$$

$$(3\sigma_n = 31,2\%)$$

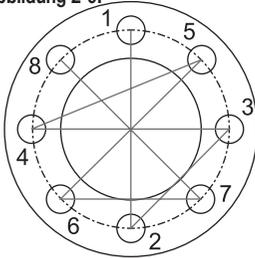
2-6

Anziehen zur Spannungstabilisierung (Anziehverfahren)

Zur Stabilisierung der axialen Vorspannung wurden verschiedenen Anziehmethoden entwickelt.

(1) Zickzack-Anzug

Abbildung 2-9.



Es wird empfohlen, Muttern wie in der Abbildung gezeigt in diagonaler Reihenfolge anzuziehen.

Erstes Mal.....Nacheinander bis auf 50% des angegebenen Drehmoments anziehen.

Zweites MalNacheinander bis auf 75% des angegebenen Drehmoments anziehen.

Drittes MalNacheinander bis auf 100% des angegebenen Drehmoments anziehen.

Es wird empfohlen, alle Schrauben gleich anzuziehen und das Ausüben eines Drehmoments auf eine oder mehrere Schrauben einer Seite zu vermeiden.

(2) Festziehen in zwei Schritten

Die in dieser Abbildung dargestellte Anziehreihenfolge gilt nicht für das Anziehen von Schrauben mithilfe mehrerer automatischer Schrauber. Im ersten Schritt sollten die Muttern provisorisch angezogen werden. (50% des Anziehdrehmoments) Danach sollte das endgültige Anziehen mit 100% des Drehmoments durchgeführt werden. Die Methode besteht aus dem Anziehen in zwei Schritten.

(3) Zweifaches Anziehen

In Fällen, in denen die Übertragung der axialen Spannung verzögert ist und eine angemessene axiale Vorspannung nicht erreicht werden kann, beispielsweise aufgrund einer vorhandenen weichen Komponente wie einer Dichtung oder einem Gummi in der angezogenen Klappe, ist dies eine Methode, um eine axiale Vorspannung durch Anziehen der Muttern mit 100% des Drehmoments sicherzustellen, gefolgt von nochmaligem Anziehen mit 100% des Drehmoments.

(4) Stabilisiertes Anziehen

Wenn die Auflagerung durch den Anziehvorgang verformt wird (einschließlich Grate und Oberflächenrauheit), ist dies eine Methode, um einen axialen Vorspannungsverlust zu vermeiden, indem die Muttern mit 100% des Drehmoments angezogen, dann wieder gelöst und erneut mit 100% des Drehmoments angezogen werden.