

Werkstoffe - Stähle

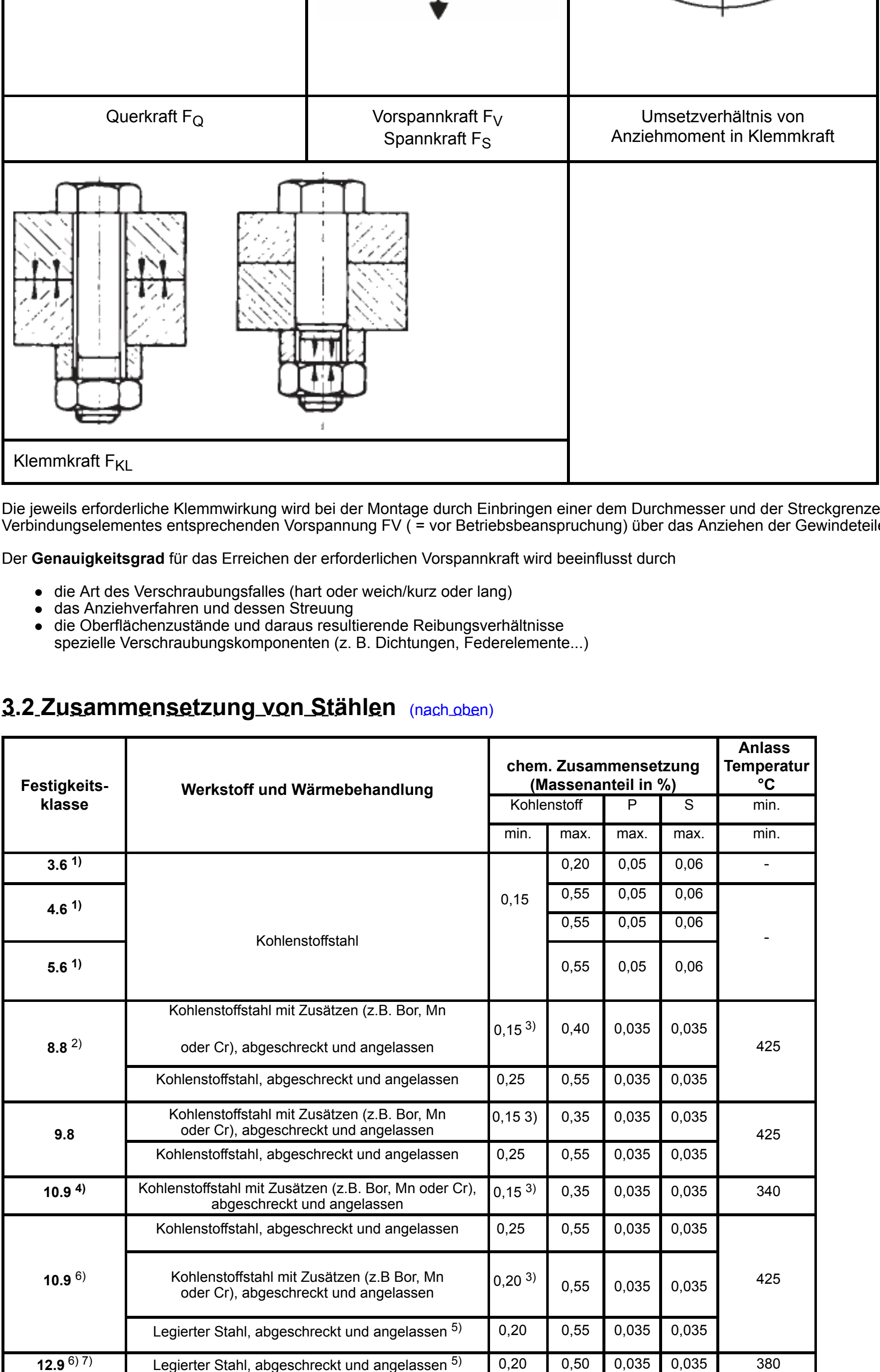
3.1 Grundsätzliche Hinweise [\(nach oben\)](#)

Funktionserfüllung und Dauerhaltbarkeit von Schraubenverbindungen werden hauptsächlich bestimmt durch die Faktoren

- mechanische Eigenschaften (Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung)
- Betriebsbedingungen (statisch/dynamisch...)
- Einsatzbedingungen (Temperatur, Korrosion)
- Dimensionierung (Durchmesser, Länge)
- ggf. Sicherung gegen Lockern oder Loadreihen
- Montage (Anziehverfahren, Vorspann-/ Klemmkraft, Anziehmoment...)

Es ist Aufgabe der konstruktiven Planung, in Kenntnis aller Anforderungen die geeigneten Verbindungselemente zu bestimmen, mit den genormten Bezeichnungen zu definieren und die notwendigen Montageanweisungen vorzugeben. Für die "Systematische Berechnung hoch beanspruchter Schraubenverbindungen" steht als anerkanntes Standardwerk die VDI-Richtlinie 2230 zur Verfügung.

Schraubenverbindungen sollen so berechnet und montiert sein, dass aufgrund ausreichend bleibender Klemmkraft unter Betriebsbelastungen keine Scherkräfte (F_Q) quer zur Schraubenachse zur Wirkung kommen können. Hierbei sind auch Klemmkraftverluste infolge von Setzbrägen zu berücksichtigen. Sind die Querkräfte größer als die Klemmkraft führt dies zum Lockern - und schließlich zum Versagen - der Verbindung.



Die jeweils erforderliche Klemmwirkung wird bei der Montage durch Einbringen einer dem Durchmesser und der Streckgrenze des Verbindungselementes entsprechenden Vorspannung F_V (= vor Betriebsbeanspruchung) über das Anziehen der Gewindeteile erreicht.

Der **Genauigkeitsgrad** durch das Erreichen der erforderlichen Vorspannkraft wird beeinflusst durch

- die Art des Verschraubungsfalles (hart oder weich/kurz oder lang)
- das Anziehverfahren und dessen Streuung
- die Oberflächenzustände und daraus resultierende Reibungsverhältnisse
- spezielle Verschraubungskomponenten (z. B. Dichtungen, Federelemente...)

3.2 Zusammensetzung von Stählen [\(nach oben\)](#)

Festigkeitsklasse	Werkstoff und Wärmebehandlung	chem. Zusammensetzung (Massenanteil in %)				Anlass Temperatur °C
		Kohlenstoff		P	S	
		min.	max.	max.	max.	
3.6 ¹⁾			0,20	0,05	0,06	-
4.6 ¹⁾	Kohlenstoffstahl	0,15	0,55	0,05	0,06	-
			0,55	0,05	0,06	
5.6 ¹⁾			0,55	0,05	0,06	-
8.8 ²⁾	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,15 ³⁾	0,40	0,035	0,035	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 ³⁾	0,35	0,035	0,035	425
	Kohlenstoffstahl, abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035	
10.9 ⁴⁾	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,15 ³⁾	0,35	0,035	0,035	340
10.9 ⁶⁾	Kohlenstoffstahl, abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035	425
	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z.B. Bor, Mn oder Cr), abgeschreckt und angelassen	0,20 ³⁾	0,55	0,035	0,035	
12.9 ^{6) 7)}	Legierter Stahl, abgeschreckt und angelassen ⁵⁾	0,20	0,55	0,035	0,035	380
	Legierter Stahl, abgeschreckt und angelassen ⁵⁾	0,20	0,50	0,035	0,035	

Tabelle 17: Zusammensetzung von Stählen

- 1) zulässiger Automatenstahl mit folgenden maximalen Phosphor-, Schwefel- und Bleianteilen: Schwefel 0,34%, Phosphor 0,11%, Blei 0,35%
- 2) Für Nenndurchmesser über 20 mm kann es notwendig sein, einen für die Festigkeitsklassen 10.9 vorgesehenen Werkstoff zu verwenden, um eine ausreichende Härtebildsicherheit zu stellen.
- 3) Bei Kohlenstoffstählen mit dem Zusatz von Bor und einem Kohlenstoffgehalt unter 0,25% muss ein Mangangehalt von min. 0,6% für Festigkeitsklasse 8.8 und 0,7% für Festigkeitsklasse 9.8 und 10.9 vorhanden sein.
- 4) Für Produkte aus diesen Stählen muss das Kennzeichen der Festigkeitsklasse unterstrichen sein.
- 5) Legierter Stahl muss mindestens einen der Legierungsbestandteile Chrom, Nickel, Molybdän oder Vanadium enthalten.
- 6) Der Werkstoff für diese Festigkeitsklassen muss ausreichend hartbar sein um sicherzustellen, dass im Kernbereich des Gewindeteils nach dem Härten vor dem Anlassen ein Martensitanteil von ungefähr 90% vorhanden ist.
- 7) Für die Festigkeitsklasse 12.9 ist eine metallurgische Festlegere, mit Phosphor angereicherte weiße Schicht an Oberflächen, die auf Zug beansprucht werden, nicht zulässig.

3.3 Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung, Bruchdehnung [\(nach oben\)](#)

Die Zugfestigkeit von Schrauben oder Verbindungselementen ist ein Bestandteil der Festlegungsangabe der Schraube. Beispielsweise steht die Festlegungsangabe 8.8 für eine Schraube, welche im Zug mit 800 N/mm² belastet werden kann, eine Schraube mit 10.9 hingegen kann mit 1000 N/mm² im Zug belastet werden. Im Folgenden werden kurz die wichtigsten Begriffe zum Thema Zugfestigkeit definiert und beispielhaft ausgeführt.

3.3.1 Definitionen und Begriffe [\(nach oben\)](#)

1) Zugfestigkeit	R _m	N/mm ²	Die Zugfestigkeit R _m definiert, ab welcher Zugspannung eine Schraube brechen darf. Der Bruch darf nur im Schaft oder Gewinde und nicht bei deren Übergang auftreten.
Zugfestigkeit bei Gewindebruch			
$R_m = \frac{\text{max. Zugkraft } F}{\text{Spannungsquerschnitt } A_s} \quad \text{Einheit: } \frac{N}{mm^2}$			
Zugfestigkeit bei Schaftbruch (im zylindrischen Schaft)			
$R_m = \frac{\text{max. Zugkraft } F}{\text{Querschnittsfläche } S_0} \quad \text{Einheit: } \frac{N}{mm^2}$			

Zugversuch bei abgedrehter (a) und kompletter (b) Schraube

Abbildung 1 - Zugfestigkeit

Zugversuch bei abgedrehter (a) und kompletter (b) Schraube

Abbildung 2 - Streckgrenze

Abbildung 2 - Streckgrenze

Abbildung 3 - 0,2% Dehnungsgrenze

Abbildung 3 - 0,2% Dehnungsgrenze

Abbildung 4 - Bruchdehnung

Abbildung 4 - Bruchdehnung

Tabelle 18: Zugfestigkeit, Streckgrenze, Dehnung, Bruchdehnung

3.4 Mechanische Eigenschaften von Stahlschrauben [\(nach oben\)](#)

3.4.1 Anziehdrehmomente Stahlschrauben (Regelgewinde) [\(nach oben\)](#)

Vorspannkraft und Anziehmomente für Stahlschrauben aus Stahl mit Kopfauflagern gemäß DIN 9132, 9313, 9334, ISO 4172, 4014, 4017, 4032 ...

In den Tabellenwerten für MA sind berücksichtigt:

- a) Reibungszahl $\mu_{ges} = 0,14^*$
- b) Ausnutzung der Mindest-Streckgrenze = 90 %
- c) Torsionsmoment beim Anziehen (* Die Reibungszahl von $\mu_{ges} = 0,14$ wird allgemein für Schrauben und Muttern in handelsüblicher Lieferausführung angenommen)

* Zusätzliche Schmierung der Gewinde verändert die Reibungszahl erheblich und führt zu unbestimmten Anziehverhältnissen! In folgendem Beispiel wird mit einer Reibungszahl von $\mu_{ges} = 0,14$ gerechnet. Je nach Anziehmethode und Werkzeug ergeben sich unterschiedliche Reibungszahlen oder Streuungen. Alle Angaben unverbindliche Richtwerte. (vgl. Kapitel 3.4.4 Reibungszahlen bei Schmierung)

M 4	0,7	8,78	1 280	1710	4300	6300	7 400	1,02	1,37	3,3	4,8	5,6
M 5	0,8	14,2	2 100	2790	7 000	10300	12 000	2,0	2,7	6,5	9,5	11,2
M 6	1,0	20,1	2 960	3940	9 800	14500	17 000	3,5	4,6	11,3	16,5	19,3
M 8	1,25	36,6	5 420	7230	18 100	26600	31 100	8,4	11	27,3	40,1	46,9
M 10	1,5	58,0	8 640	11500	28 800	42200	49 400	17	22	54	79	93
M 12	1,75	84,3	12 600	16800	41 900	61500	72 000	29	39	93	137	160
M 14	2,0	115	17 300	23100	57 500	84400	98 800	46	62	148	218	255

3.4.2 Anziehdrehmomente Stahlschrauben (Feingewinde) [\(nach oben\)](#)

Tabelle 20: Feingewinde (Anziehdrehmomente für Stahlschrauben)

Abmessung x P	Spannungsquerschnitt in A _s / mm ²	Vorspannkraft F _V (N)				Anziehmoment M _A (Nm)			
		8.8	10.9	12.9		8.8	10.9	12.9	
M 8 x 1	39,2	19 700	28 900	33 900		29,2	42,8	50,1	
M 10 x 1,25	61,2	30 800	45 200	52 900		57	83	98	
M 12 x 1,25	92,1	46 800	68 700	80 400		101	149	174	
M 12 x 1,5	88,1	44 300	65 100	76 200		97	143	167	
M 14 x 1,5	125	63 200	92 900	108 700		159	234	274	
M 16 x 1,5	167	85 500	125 500	149 900		244	359	420	
M 18 x 1,5	216	115 000	163 000	191 000		368	523	613	
M 20 x 1,5	272	144 000	206 000	241 000		511	728	852	
M 22 x 1,5	333	178 000	253 000	296 000		692	985	1 153	
M 24 x 2	384	204 000	290 000	339 000		865	1 232	1 442	
M 27 x 2	496	264 000	375 000	439 000		1 262	1 797	2 103	
M 30 x 2	621	331 000	472 000	552 000		1 756	2 502	2 927	

3.4.3 Anziehdrehmomente für HV-Verbindungen [\(nach oben\)](#)

Vorspannkraft und Anziehmomente für HV-Schraubenverbindungen DIN 6914/7999/6915-10/910

Die Ausführung von HV-Schraubenverbindungen ist in DIN 18800-7 geregelt. (Zukunft: EN V 1090) HV-Schrauben DIN 6914 dürfen nur mit Sechskantmuttern nach DIN 6915 und mit Scheiben nach DIN 6916, 6917 oder 6918 verwendet werden.

Feuerverzinkte HV-Schraubenverbindungen müssen mit Schmiermittel versehen sein - aus ökonomischer Produktion erfolgt die Verzinkung in der Regel einbeidseitig geschmiert (Muttern sind in Schmiermittel getaucht). Zusätzliche Behandlung verändern das Anziehverhalten - hierfür müssen passende Antriebsverfahren ermittelt werden!

Montageverfahren: Für eine planmäßige Vorspannung sind HV-Schrauben-Garnituren auf die Regel-Vorspannkraft F_V nach Tabelle 21, Spalte 2, vorzuspannen. Für das Vorspannen - im Regelfall durch Drehen der Mutter - sind folgende Verfahren anzuwenden:

- **Drehmoment-Verfahren**
Für die Erzeugung der Regel-Vorspannkraft F_V nach Tabelle 21, Spalte 2 müssen in Abhängigkeit vom Oberflächenzustand die in den Spalten 3 oder 4 der Tabelle 21 angegebenen Anziehmomente M_A aufgebracht werden. Dieses Verfahren ermöglicht ein stufenweises Vorspannen in Anschlägen mit vielen Schrauben sowie ein Nachziehen als Kontrolle oder zum Ausgleich von Klemmkraftverlusten nach wenigen Tagen.
- **Drehimpuls-Verfahren**
Die erforderliche Vorspannkraft wird durch Drehimpulse erzeugt. Soll auf die Regel-Vorspannkraft F_V vorgespannt werden, muss der Impuls- oder Schlageschrauber auf den um 10% höheren Vorspannkraftwert F_{V,D} nach Spalte 5 von Tabelle 21 mit geeigneten Messeinrichtungen eingestellt werden.
- **Drehwinkel-Verfahren**
Die Anwendung des Verfahrens setzt voraus, dass im Bereich der Verschraubung bereits vor dem Vorspannen eine weitgehend flächige Auflage der zu verbindenden Bauteile vorliegt. Das Vorspannen erfolgt zunächst durch ein Voranziehmoment M_{VA}, DW und anschließend durch Weiterdrehen der Mutter um einen erforderlichen Weiterdrehwinkel. Dieser muss sicherstellen, dass mindestens die in Spalte 2 von Tabelle 21 angegebene Regel-Vorspannkraft F_V erreicht wird. Der erforderliche Weiterdrehwinkel ist durch eine Verfahrensprüfung an der jeweiligen Originalverschraubung zu ermitteln (z.B. Messung der Schraubenverlängerung).
- **Kombiniertes Vorspann-Verfahren**
Zuerst ist das erhöhte Voranziehmoment M_{VA}, KV in Abhängigkeit des Oberflächenzustandes der Schrauben nach Spalte 7 oder 8 von Tabelle 21 aufzubringen. Ist damit eine weitgehend flächige Anlage der zu verbindenden Bauteile erreicht worden, darf das endgültige Vorspannen der Verbindung auf die Regel-Vorspannkraft F_V durch Weiterdrehen der Mutter erfolgen.

Wichtige Hinweise:

Montagewerkzeuge (z.B. Schraub-/Stecknüsse) können beim Aufsetzen die Korrosionsschutzbeschichtung an Scheiben und Werkstücken zerstören. Dagegen schützt ein Tiefenbeschichtungseinsatz in der Stecknuss (z.B. Hartgummi- oder Kunststoffstift).

Vorspannkraft und Anziehmomente für Drehmoment-, Drehimpuls-, Drehwinkel- und kombiniertes Vorspann-Verfahren für HV-Garnituren der Festigkeitsklasse 10.9:

1	2	3	4	5	6	7	8
Maße	Regel-Vorspannkraft F _V	Drehmomentverfahren Aufzubringendes Anziehmoment M _A zum Erreichen der Regel-Vorspannkraft F _V	Drehimpulsverfahren Einzelstellende Vorspannkraft K _{V,D} * zum Erreichen der Regel-Vorspannkraft F _V	Drehwinkelverfahren Voranziehmoment M _{VA} , D _V *	Kombiniertes Verfahren Voranziehmoment M _{VA} , K _V		
gemessen in	mm	Nm	kN	Nm	Nm		
M 12	50	100	120		75	90	
M 16	100	250	350	60	50	190	260
M 20	160	450	600	110	50	340	450
M 22	190	650	900	175	100	600	820
M 24	220	800	1100	210	100	690	885
M 27	290	1250	1650	240	200	940	1240
M 30	350	1650	2200	320	200	1240	1650
M 36	510	2800	3800	390	200	2100	2850
M 39	610	3500		560			
M 42	710	4500					
M 45	820	5500					
M 48	930	6500					

Tabelle 21: Vorspannkraft und Anziehmomente nach Verfahren

* Muttern mit Molybdänsulfid oder gleichwertigem Schmierstoff behandelt

** Unabhängig von der Schmierung des Gewindes und der Auffälligkeit von Mutter und Schraube

3.4.4 Reibungszahlen für Stahlschrauben/-muttern [\(nach oben\)](#)

Durch Schmierung kann sich die Reibungszahl, und damit die wichtigste Variable für das Anzugsdrehmoment sehr stark verändern. Grundsätzlich gilt, dass die Reibungszahl μ sinkt, wenn ein Schmiermittel verwendet wird. Daher kann bei Schmierung leichter ein "Abreißen" der Stahlschrauben eintreten, wenn mit gleicher Kraft >> bei einer ungeschmierten Verbindung angezogen wird.

Es gilt: Schmiermittelsatz >> Reibungszahl μ sinkt >> weniger Anzugsdrehmoment ("weniger Kraft") ist nötig

Oberflächenzustand		Reibungszahl μ_{ges} bei Zustand		
bei Schrauben	bei Muttern	ungeschmiert	geölt	MoS ₂ -Paste
ohne Nachbehandlung (schwarz)	ohne Nachbehandlung (schwarz)	0,12 - 0,18	0,10 - 0,17	0,06 - 0,12
Mn-phosphatiert		0,14 - 0,18	0,14 - 0,15	0,06 - 0,11
Zn-phosphatiert		0,14 - 0,21	0,14 - 0,17	0,06 - 0,12
galvanisch verzinkt 5 - 8 µm		0,12 - 0,20	0,10 - 0,18	-
galvanisch verchromt 5 - 8 µm		0,08 - 0,14	0,08 - 0,11	-
galvanisch verzinkt 5 - 8 µm	galvanisch verzinkt 3 - 5 µm	0,12 - 0,20	0,10 - 0,18	-
galvanisch verchromt 5 - 8 µm	galvanisch verchromt 3 - 5 µm	0,12 - 0,16	0,12 - 0,14	-

Tabelle 22: Reibungszahlen bei Schmierung (Stahlschrauben)

3.4.5 Mindestbruchkräfte in (N) [\(nach oben\)](#)

Tabelle 23: Mindestbruchkräfte für metrisches ISO-Feingewinde

M 24	353	116000	141000	148000	176000	184000	212000	293000	-	367000	431000
M 27	459	152000	184000	193000	230000	239000	275000	381000	-	477000	560000
M 30	561	185000	224000	236000	280000	292000	337000	466000	-	583000	684000
M 33	694	229000	278000	292000	347000	361000	416000	576000	-	722000	847000
M 36	817	270000	327000	343000	408000	425000	490000	678000	-	850000	997000
M 39	976	322000	390000	410000	488000	508000	586000	810000	-	1020000	1200000

1: Für Stahlbauschrauben gilt 70000, 95500 bzw. 130000 N.

Tabelle 24: Mindestbruchkräfte für metrisches ISO-Festigkeitswinde

Gewinde	Nenn-Spannungsquerschnitt A _N [mm²]	Festigkeitsklassen									
		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
M 8 x 1	39,2	12 900	15 700	16 500	19 600	20 400	23 600	31 360	35 300	40 800	47 800
M 10 x 1	64,5	21 300	25 800	27 100	32 300	33 500	38 700	51 600	58 100	67 100	78 700
M 10 x 1,25	61,2	20 200	24 500	25 700	30 600	31 800	36 700	49 000	55 100	63 600	74 700
M 12 x 1,25	92,1	30 400	36 800	38 700	46 100	47 800	55 300	73 700	82 900	95 800	112 400
M 12 x 1,5	88,1	29 100	35 300	37 200	44 100	45 800	52 900	70 800	79 300	91 600	107 500
M 14 x 1,5	125	41 200	50 000	52 500	62 500	65 000	75 000	100 000	112 000	130 000	152 000
M 16 x 1,5	167	55 100	66 800	70 100	83 500	86 100	100 000	134 000	150 000	174 000	204 000
M 18 x 1,5	216	71 300	86 800	90 700	108 000	112 000	130 000	179 000	-	225 000	264 000
M 20 x 1,5	272	89 800	109 000	114 000	136 000	141 000	163 000	226 000	-	283 000	332 000
M 22 x 1,5	329	108 000	130 000	136 000	162 000	168 000	194 000	265 000	-	330 000	390 000