

## 6. DIMENSIONIERUNG VON METRISCHEN SCHRAUBENVERBINDUNGEN

Grundlegende Hinweise zur Dimensionierung insbesondere hochfester Schraubenverbindungen im Maschinenbau gibt die VDI-Richtlinie 2230 aus dem Jahre 2003

Die Berechnung einer Schraubenverbindung geht aus von der Betriebskraft  $F_{Br}$ , die von außen auf die Verbindung wirkt. Diese Betriebskraft und die durch sie verursachten elastischen Verformungen der Bauteile bewirken an der einzelnen Verschraubungsstelle eine axiale Betriebskraft  $F_{Av}$ , eine Querkraft  $F_{Qv}$ , ein Biegemoment  $M_b$  und gegebenenfalls ein Drehmoment  $M_T$ .

Bei der rechnerischen Ermittlung der erforderlichen Schraubenabmessung muss, ausgehend von den vorab bekannten Belastungsverhältnissen, berücksichtigt werden, dass ein Vorspannkraftverlust durch Setzvorgänge und Temperaturänderungen eintreten kann.

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass in Abhängigkeit vom gewählten Montageverfahren und von den Reibungsverhältnissen die Montagevorspannkraft  $F_M$  in mehr oder weniger weiten Grenzen streuen kann.

Für eine erste Auswahl der geeigneten Schraubenabmessung reicht oft eine überschlägige Dimensionierung aus. Abhängig vom Anwendungsfall sind dann gemäß der VDI 2230 weitere Kriterien zu überprüfen.

### 6.1 Überschlägige Ermittlung der Dimension bzw. der Festigkeitsklassen von Schrauben (nach VDI 2230)

Aufgrund obengenannter Kenntnisse erfolgt im ersten Schritt eine Vordimensionierung der Schraube gem. untenstehender Tabelle

1	2	3	4
Kraft in N	Nenn Durchmesser in mm		
	Festigkeitsklasse		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1.000	M3	M3	M3
1.600	M3	M3	M3

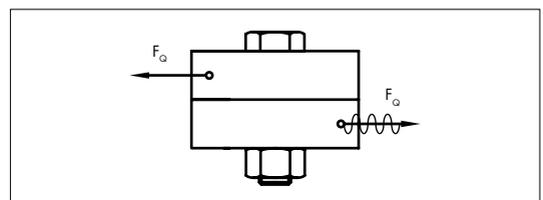
1	2	3	4
Kraft in N	Nenn Durchmesser in mm		
	Festigkeitsklasse		
	12.9	10.9	8.8
2.500	M3	M3	M4
4.000	M4	M4	M5
6.300	M4	M5	M6
10.000	M5	M6	M8
16.000	M6	M8	M10
25.000	M8	M10	M12
40.000	M10	M12	M14
63.000	M12	M14	M16
100.000	M16	M18	M20
160.000	M20	M22	M24
250.000	M24	M27	M30
400.000	M30	M33	M36
630.000	M36	M39	

Tab. 1

**A** Wähle in Spalte 1 die nächst größere Kraft zu der an der Verschraubung angreifenden Belastung. Wenn bei kombinierter Belastung (Längs- und Querkräfte  $F_{Amax} < F_{Qmax} / \mu_{Tmin}$  gilt, dann ist nur  $F_{Qmax}$  zu verwenden.

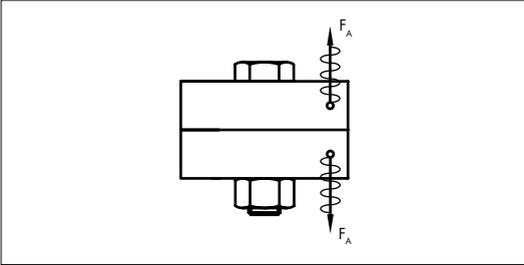
**B** Die erforderliche Mindestvorspannkraft  $F_{Mmin}$  ergibt sich, indem man von dieser Zahl um folgende Schritte weitergeht:

**B1** Wenn mit  $F_{Qmax}$  zu entwerfen ist: Vier Schritte für statische oder dynamische Querkraft



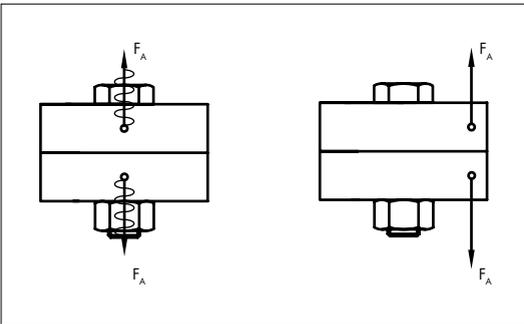
**B2** Wenn mit  $F_{Amax}$  zu entwerfen ist: Zwei Schritte für dynamische und exzentrisch angreifende Axialkraft

oder



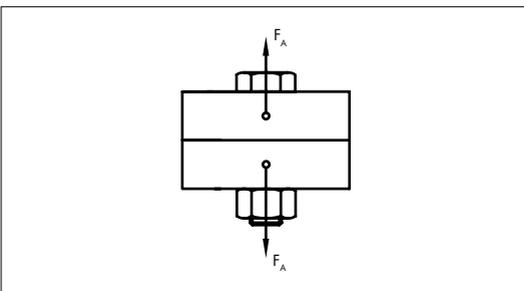
oder

Ein Schritt für dynamische und zentrisch oder statisch und exzentrisch angreifende Axialkraft



oder

Keine Schritte für statisch und zentrisch angreifende Axialkraft



**C** Die zu ertragende maximale Vorspannkraft  $F_{Mmax}$  ergibt sich, indem man von dieser Kraft  $F_{Mmin}$  weitergeht um:  
Zwei Schritte für Anziehen der Schraube mit einfachem Drehschrauber, der über Nachziehmoment eingestellt wird

oder

Ein Schritt für Anziehen mit Drehmomentschlüssel oder Präzisionsschrauber, der mittels dynamischer Drehmomentmessung oder Längungsmessung der Schraube eingestellt wird

oder

Keine Schritte für Anziehen über Winkelkontrolle in den überelastischen Bereich oder mittels Streckgrenzkontrolle durch Computersteuerung

**D** Neben der gefundenen Zahl steht in Spalte 2 bis 4 die erforderliche Schraubenabmessung in mm für die gewählte Festigkeitsklasse der Schraube.

### Beispiel:

Eine Verbindung wird dynamisch und exzentrisch durch eine axiale Kraft von 9.000 N ( $F_A$ ) beaufschlagt. Die Festigkeitsklasse wurde zuvor schon mit FKL 10.9 festgelegt.

Die Montage erfolgt mit einem Drehmomentschlüssel. A 10.000 N ist die nächst größere Kraft in Spalte 1 für die Kraft  $F_A$

B weitere zwei Schritte aufgrund exzentrisch und dynamisch wirkender Axialkraft

Ablesung: 25.000 N ( $= F_{Mmin}$ )

C ein weiterer Schritt weiter aufgrund des Anziehverfahrens mittels Drehmomentschlüssel

Ablesung: 40.000 N ( $= F_{Mmax}$ )

D Jetzt liest man für diese Kraft in Spalte 3 für FKL. 10.9 die Schraubengröße M12 ab.

## 6.2 Wahl des Anziehverfahrens und der Verfahrensdurchführung

### Anziehfaktor $\alpha_A$ (Berücksichtigung der Anziehsicherheit)

Alle Anziehverfahren sind mehr oder weniger genau. Verursacht wird dies durch:

- den großen Streubereich der tatsächlich bei der Montage auftretenden Reibung (Reibungszahlen können für die Berechnung nur grob geschätzt werden)
- Unterschiede bei der Manipulation mit dem Drehmomentschlüssel (z.B. schnelles oder langsames Anziehen der Schraube)

Je nach dem, wie die oben erwähnten Einflüsse kontrolliert werden können, muss der Anziehungsfaktor  $\alpha_A$  gewählt werden.

Eine Ermittlung erfolgt somit unter Beachtung der Anzieh- und Einstellverfahren sowie gegebenenfalls der Reibungszahlklassen gemäß unten aufgeführter Tabelle.

### Richtwerte für den Anziehungsfaktor $\alpha_A$

Anziehungsfaktor $\alpha_A$	Streuung	Anziehverfahren	Einstellverfahren	Bemerkung	
1,05 bis 1,2	$\pm 2\%$ bis $\pm 10\%$	Längungsgesteuertes Anziehen mit Ultraschall	Schalllaufzeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kalibrierwerte erforderlich</li> <li>• bei <math>l_k/d &lt; 2</math> progressive Fehlerzunahme zu beachten.</li> <li>• kleinerer Fehler bei direkter mechanischer Ankopplung, größerer bei indirekter Ankopplung</li> </ul>	
1,1 bis 1,5	$\pm 5\%$ bis $\pm 20\%$	Mechanische Längenmessung	Einstellung über Längungsmessung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Notwendig ist die genaue Ermittlung der axialen elastischen Nachgiebigkeit der Schraube. Die Streuung ist wesentlich abhängig von der Genauigkeit des Messverfahrens.</li> <li>• bei <math>l_k/d &lt; 2</math> progressive Fehlerzunahme zu beachten</li> </ul>	
1,2 bis 1,4	$\pm 9\%$ bis $\pm 17\%$	Streckgrenzgesteuertes Anziehen, motorisch oder manuell	Vorgabe des relativen Drehmoment-Drehwinkel-Koeffizienten	Die Vorspannkraftstreuung wird wesentlich bestimmt durch die Streuung der Streckgrenze im verbauten Schraubenlos. Die Schrauben werden hier für $F_{Mmin}$ dimensioniert. Eine Auslegung der Schrauben für $F_{Mmax}$ mit dem Anziehungsfaktor $\alpha_A$ entfällt deshalb für diese Anziehungsmethoden.	
1,2 bis 1,4	$\pm 9\%$ bis $\pm 17\%$	Drehwinkelgesteuertes Anziehen motorisch oder manuell	Versuchsmäßige Bestimmung von Voranziehmoment und Drehwinkel (Stufen)	Die Vorspannkraftstreuung wird wesentlich bestimmt durch die Streuung der Streckgrenze im verbauten Schraubenlos. Die Schrauben werden hier für $F_{Mmin}$ dimensioniert. Eine Auslegung der Schrauben für $F_{Mmax}$ mit dem Anziehungsfaktor $\alpha_A$ entfällt deshalb für diese Anziehungsmethoden.	
1,2 bis 1,6	$\pm 9\%$ bis $\pm 23\%$	Hydraulisches Anziehen	Einstellung über Längen- bzw. Druckmessung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• niedrigere Werte für lange Schrauben (<math>l_k/d \geq 5</math>)</li> <li>• höhere Werte für kurze Schrauben (<math>l_k/d \leq 2</math>)</li> </ul>	
1,4 bis 1,6	$\pm 17\%$ bis $\pm 23\%$	Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Drehmomentschlüssel, Signal gebendem Schlüssel oder Drehschrauber mit dynamischer Drehmomentmessung	Versuchsmäßige Bestimmung der Sollanziehmomente am Originalverschraubungsteil, z.B. durch Längungsmessung der Schraube	Niedrigere Werte: große Zahl von Einstell- bzw. Kontrollversuchen (z.B. 20) erforderlich. Geringe Streuung des abgegebenen Momentes (z.B. $\pm 5\%$ ) nötig.	Niedrigere Werte für: Kleine Drehwinkel, d.h. relativ steife Verbindungen Relativ geringe Härte der Gegenlage Gegenlagen, die nicht zum „Fressen“ neigen, z.B. phosphatiert oder bei ausreichender Schmierung. Höhere Werte für: Große Drehwinkel, d.h. relativ nachgiebige Verbindungen sowie Feingewinde große Härte der Gegenlage, verbunden mit rauer Oberfläche.
1,6 bis 2,0 (Reibungszahl-Klasse B)	$\pm 23\%$ bis $\pm 33\%$	Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Drehmomentschlüssel, Signal gebendem Schlüssel oder Drehschrauber mit dynamischer Drehmomentmessung	Bestimmung des Sollanziehmomentes durch Schätzen der Reibungszahl (Oberflächen- und Schmierverhältnisse)	Niedrigere Werte für: messende Drehmomentschlüssel bei gleichmäßigem Anziehen und für Präzisionsdrehschrauber Höhere Werte für: Signal gebende oder ausknickende Drehmomentschlüssel	
1,7 bis 2,5 (Reibungszahl-Klasse A)	$\pm 26\%$ bis $\pm 43\%$				
2,5 bis 4	$\pm 43\%$ bis $\pm 60\%$	Anziehen mit Schlag-schrauber oder Impulsschrauber	Einstellen des Schraubers über Nachziehmoment, das aus Sollanziehmoment (für die geschätzte Reibungszahl) und einem Zuschlag gebildet wird.	Niedrigere Werte für: <ul style="list-style-type: none"> <li>• große Zahl von Einstellversuchen (Nachziehmoment)</li> <li>• auf horizontalem Ast der Schraubercharakteristik</li> <li>• spielfreie Impulsübertragung</li> </ul>	

Tab. 2

Je nach Oberflächen- und Schmierzustand der Schrauben- oder Mutternaufgabe muss eine unterschiedliche Reibungszahl „ $\mu$ “ gewählt werden. Bei der Vielzahl von Oberflächen und Schmierzuständen ist es oftmals schwierig, die korrekte Reibungszahl festzustellen. Ist die Reibungszahl nicht exakt bekannt, ist mit der kleinsten anzunehmenden Reibungszahl zu rechnen, damit die Schraube nicht überbelastet wird.

### 6.3 Zuordnung von Reibungszahlklassen mit Richtwerten zu verschiedenen Werkstoffen/ Oberflächen und Schmierzuständen bei Schraubenverbindungen (nach VDI 2230)

Reibungszahlklasse	Bereich für $\mu_e$ und $\mu_k$	Auswahl typischer Beispiele für	
		Werkstoff/Oberfläche	Schmierstoffe
A	0,04 bis 0,10	metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galv. Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zink-Lamellen-Überzüge	Festschmierstoffe wie MoS <sub>2</sub> , Graphit, PTFE, PA, PE, Plin Gleitlacken, als Top-Coats oder in Pasten; Wachsschmelzen; Wachsdispersionen
B	0,08 bis 0,16	metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galv. Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zinklamellenüberzüge Al- und Mg-Legierungen	Festschmierstoffe wie MoS <sub>2</sub> , Graphit, PTFE, PA, PE, Plin Gleitlacken, als Top-Coats oder in Pasten; Wachsschmelzen; Wachsdispersionen; Fette, Öle, Anlieferzustand
		feuerverzinkt	MoS <sub>2</sub> ; Graphit; Wachsdispersionen
		organische Beschichtung	mit integriertem Festschmierstoff oder Wachsdispersion
		austenitischer Stahl	Festschmierstoffe, Wachse, Pasten
C	0,14 bis 0,24	austenitischer Stahl	Wachsdispersionen, Pasten
		metallisch blank, phosphatiert	Anlieferungszustand (leicht geölt)
		galv. Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zinklamellenüberzüge Klebstoff	ohne
D	0,20 bis 0,35	austenitischer Stahl	Öl
		galv. Überzüge wie Zn, Zn/Fe feuerverzinkt	ohne
E	$\geq 0,30$	galv. Überzüge wie Zn/Fe, Zn/Ni austenitischer Stahl Al-, Mg-Legierungen	ohne

Tab. 3

Es sollte die Reibungszahlklasse B angestrebt werden, damit eine möglichst hohe Vorspannkraft bei gleichzeitiger geringer Streuung aufgebracht werden kann. (Die Tabelle gilt für Raumtemperatur)

**6.4 Montagevorspannkraft  $F_{M,Tab}$  und Anziehdrehmomente  $M_A$  bei 90%iger Ausnutzung der Schraubenstreckgrenze  $R_{el}$  bzw. 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2}$  für **Schaftschrauben mit metrischem Regelgewinde** nach DIN ISO 262; Kopfabmessungen von Sechskantschrauben nach DIN EN ISO 4014 bis 4018, Schrauben mit Aussensechsrund nach DIN 34800 bzw. Zylinderschrauben nach DIN EN ISO 4762 und Bohrung „mittel“ nach DIN EN 20 273 (nach VDI 2230)**

### Regelgewinde

Abm.	Fest-Klasse	Montagevorspannkkräfte $F_{M,Tab}$ in kN für $\mu_G =$								Anziehdrehmomente $M_A$ in Nm für $\mu_K = \mu_G =$							
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24		
M4	8.8	4,6	4,5	4,4	4,3	4,2	3,9	3,7	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6	4,1	4,5		
	10.9	6,8	6,7	6,5	6,3	6,1	5,7	5,4	3,3	3,9	4,6	4,8	5,3	6,0	6,6		
	12.9	8,0	7,8	7,6	7,4	7,1	6,7	6,3	3,9	4,5	5,1	5,6	6,2	7,0	7,8		
M5	8.8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,4	6,0	4,4	5,2	5,9	6,5	7,1	8,1	9,0		
	10.9	11,1	10,8	10,6	10,3	10,0	9,4	8,8	6,5	7,6	8,6	9,5	10,4	11,9	13,2		
	12.9	13,0	12,7	12,4	12,0	11,7	11,0	10,3	7,6	8,9	10,0	11,2	12,2	14,0	15,5		
M6	8.8	10,7	10,4	10,2	9,9	9,6	9,0	8,4	7,7	9,0	10,1	11,3	12,3	14,1	15,6		
	10.9	15,7	15,3	14,9	14,5	14,1	13,2	12,4	11,3	13,2	14,9	16,5	18,0	20,7	22,9		
	12.9	18,4	17,9	17,5	17,0	16,5	15,5	14,5	13,2	15,4	17,4	19,3	21,1	24,2	26,8		
M7	8.8	15,5	15,1	14,8	14,4	14,0	13,1	12,3	12,6	14,8	16,8	18,7	20,5	23,6	26,2		
	10.9	22,7	22,5	21,7	21,1	20,5	19,3	18,1	18,5	21,7	24,7	27,5	30,1	34,7	38,5		
	12.9	26,6	26,0	25,4	24,7	24,0	22,6	21,2	21,6	25,4	28,9	32,2	35,2	40,6	45,1		
M8	8.8	19,5	19,1	18,6	18,1	17,6	16,5	15,5	18,5	21,6	24,6	27,3	29,8	34,3	38,0		
	10.9	28,7	28,0	27,3	26,6	25,8	24,3	22,7	27,2	31,8	36,1	40,1	43,8	50,3	55,8		
	12.9	33,6	32,8	32,0	31,1	30,2	28,4	26,6	31,8	37,2	42,2	46,9	51,2	58,9	65,3		
M10	8.8	31,0	30,3	29,6	28,8	27,9	26,3	24,7	36	43	48	54	59	68	75		
	10.9	45,6	44,5	43,4	42,2	41,0	38,6	36,2	53	63	71	79	87	100	110		
	12.9	53,3	52,1	50,8	49,4	48,0	45,2	42,4	62	73	83	93	101	116	129		
M12	8.8	45,2	44,1	43,0	41,9	40,7	38,3	35,9	63	73	84	93	102	117	130		
	10.9	66,3	64,8	63,2	61,5	59,8	56,3	52,8	92	108	123	137	149	172	191		
	12.9	77,6	75,9	74,0	72,0	70,0	65,8	61,8	108	126	144	160	175	201	223		
M14	8.8	62,0	60,6	59,1	57,5	55,9	52,6	49,3	100	117	133	148	162	187	207		
	10.9	91,0	88,9	86,7	84,4	82,1	77,2	72,5	146	172	195	218	238	274	304		
	12.9	106,5	104,1	101,5	98,8	96,0	90,4	84,8	171	201	229	255	279	321	356		
M16	8.8	84,7	82,9	80,9	78,8	76,6	72,2	67,8	153	180	206	230	252	291	325		
	10.9	124,4	121,7	118,8	115,7	112,6	106,1	99,6	224	264	302	338	370	428	477		
	12.9	145,5	142,4	139,0	135,4	131,7	124,1	116,6	262	309	354	395	433	501	558		
M18	8.8	107	104	102	99	96	91	85	220	259	295	329	360	415	462		
	10.9	152	149	145	141	137	129	121	314	369	421	469	513	592	657		
	12.9	178	174	170	165	160	151	142	367	432	492	549	601	692	769		
M20	8.8	136	134	130	127	123	116	109	308	363	415	464	509	588	655		
	10.9	194	190	186	181	176	166	156	438	517	592	661	725	838	933		
	12.9	227	223	217	212	206	194	182	513	605	692	773	848	980	1.092		
M22	8.8	170	166	162	158	154	145	137	417	495	567	634	697	808	901		
	10.9	242	237	231	225	219	207	194	595	704	807	904	993	1.151	1.284		
	12.9	283	277	271	264	257	242	228	696	824	945	1.057	1.162	1.347	1.502		
M24	8.8	196	192	188	183	178	168	157	529	625	714	798	875	1.011	1.126		
	10.9	280	274	267	260	253	239	224	754	890	1.017	1.136	1.246	1.440	1.604		
	12.9	327	320	313	305	296	279	262	882	1.041	1.190	1.329	1.458	1.685	1.877		
M27	8.8	257	252	246	240	234	220	207	772	915	1.050	1.176	1.292	1.498	1.672		
	10.9	367	359	351	342	333	314	295	1.100	1.304	1.496	1.674	1.840	2.134	2.381		
	12.9	429	420	410	400	389	367	345	1.287	1.526	1.750	1.959	2.153	2.497	2.787		
M30	8.8	313	307	300	292	284	268	252	1.053	1.246	1.428	1.597	1.754	2.931	2.265		
	10.9	446	437	427	416	405	382	359	1.500	1.775	2.033	2.274	2.498	2.893	3.226		
	12.9	522	511	499	487	474	447	420	1.755	2.077	2.380	2.662	2.923	3.386	3.775		
M33	8.8	389	381	373	363	354	334	314	1.415	1.679	1.928	2.161	2.377	2.759	3.081		
	10.9	554	543	531	517	504	475	447	2.015	2.322	2.747	3.078	3.385	3.930	4.388		
	12.9	649	635	621	605	589	556	523	2.358	2.799	3.214	3.601	3.961	4.598	5.135		
M36	8.8	458	448	438	427	415	392	368	1.825	2.164	2.482	2.778	3.054	3.541	3.951		
	10.9	652	638	623	608	591	558	524	2.600	3.082	3.535	3.957	4.349	5.043	5.627		
	12.9	763	747	729	711	692	653	614	3.042	3.607	4.136	4.631	5.089	5.902	6.585		
M39	8.8	548	537	525	512	498	470	443	2.348	2.791	3.208	3.597	3.958	4.598	5.137		
	10.9	781	765	748	729	710	670	630	3.345	3.975	4.569	5.123	5.637	6.549	7.317		
	12.9	914	895	875	853	831	784	738	3.914	4.652	5.346	5.994	6.596	7.664	8.562		

Tab. 5

Montagevorspannkkräfte  $F_{M,Tab}$  und Anziehdrehmomente  $M_A$  bei 90%iger Ausnutzung der Schraubenstreckgrenze  $R_{el}$  bzw. 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2}$  für **Schaftschrauben** mit **metrischem Feingewinde** nach DIN ISO 262; Kopfabmessungen von Sechskantschrauben nach DIN EN ISO 4014 bis 4018, Schrauben mit Aussensechsrund nach DIN 34800 bzw. Zylinderschrauben nach DIN EN ISO 4762 und Bohrung „mittel“ nach DIN EN 20 273 (nach VDI 2230)

## Feingewinde

Abm.	Fest.-Klasse	Montagevorspannkkräfte $F_{M,Tab}$ in kN für $\mu_g =$							Anziehdrehmomente $M_A$ in Nm für $\mu_k = \mu_g =$						
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M8 x 1	8.8	21,2	20,7	20,2	19,7	19,2	18,1	17,0	19,3	22,8	26,1	29,2	32,0	37,0	41,2
	10.9	31,1	30,4	29,7	28,9	28,1	26,5	24,9	28,4	33,5	38,3	42,8	47,0	54,3	60,5
	12.9	36,4	35,6	34,7	33,9	32,9	31,0	29,1	33,2	39,2	44,9	50,1	55,0	63,6	70,8
M9 x 1	8.8	27,7	27,2	26,5	25,9	25,2	23,7	22,3	28,0	33,2	38,1	42,6	46,9	54,4	60,7
	10.9	40,7	39,9	39,0	38,0	37,0	34,9	32,8	41,1	48,8	55,9	62,6	68,8	79,8	89,1
	12.9	47,7	46,7	45,6	44,4	43,3	40,8	38,4	48,1	57,0	65,4	73,3	80,6	93,4	104,3
M10 x 1	8.8	35,2	34,5	33,7	32,9	32,0	30,2	28,4	39	46	53	60	66	76	85
	10.9	51,7	50,6	49,5	48,3	47,0	44,4	41,7	57	68	78	88	97	112	125
	12.9	60,4	59,2	57,9	56,5	55,0	51,9	48,8	67	80	91	103	113	131	147
M10 x 1,25	8.8	33,1	32,4	31,6	30,8	29,9	28,2	26,5	38	44	51	57	62	72	80
	10.9	48,6	47,5	46,4	45,2	44,0	41,4	38,9	55	65	75	85	92	106	118
	12.9	56,8	55,6	54,3	52,9	51,4	48,5	45,5	65	76	87	98	107	124	138
M12 x 1,25	8.8	50,1	49,1	48,0	46,8	45,6	43,0	40,4	66	79	90	101	111	129	145
	10.9	73,6	72,1	70,5	68,7	66,9	63,2	59,4	97	116	133	149	164	190	212
	12.9	86,2	84,4	82,5	80,4	78,3	73,9	69,5	114	135	155	174	192	222	249
M12 x 1,5	8.8	47,6	46,6	45,5	44,3	43,1	40,6	38,2	64	76	87	97	107	123	137
	10.9	70,0	68,5	66,8	65,1	63,3	59,7	56,0	95	112	128	143	157	181	202
	12.9	81,9	80,1	78,2	76,2	74,1	69,8	65,6	111	131	150	167	183	212	236
M14 x 1,5	8.8	67,8	66,4	64,8	63,2	61,5	58,1	45,6	104	124	142	159	175	203	227
	10.9	99,5	97,5	95,2	92,9	90,4	85,3	80,2	153	182	209	234	257	299	333
	12.9	116,5	114,1	111,4	108,7	105,8	99,8	93,9	179	213	244	274	301	349	390
M16 x 1,5	8.8	91,4	89,6	87,6	85,5	83,2	78,6	74,0	159	189	218	244	269	314	351
	10.9	134,2	131,6	128,7	125,5	122,3	115,5	108,7	233	278	320	359	396	461	515
	12.9	157,1	154,0	150,6	146,9	143,1	135,1	127,2	273	325	374	420	463	539	603
M18 x 1,5	8.8	122	120	117	115	112	105	99	237	283	327	368	406	473	530
	10.9	174	171	167	163	159	150	141	337	403	465	523	578	674	755
	12.9	204	200	196	191	186	176	166	394	472	544	613	676	789	884
M18 x 2	8.8	114	112	109	107	104	98	92	229	271	311	348	383	444	495
	10.9	163	160	156	152	148	139	131	326	386	443	496	545	632	706
	12.9	191	187	182	178	173	163	153	381	452	519	581	638	740	826
M20 x 1,5	8.8	154	151	148	144	141	133	125	327	392	454	511	565	660	741
	10.9	219	215	211	206	200	190	179	466	558	646	728	804	940	1.055
	12.9	257	252	246	241	234	222	209	545	653	756	852	941	1.100	1.234
M22 x 1,5	8.8	189	186	182	178	173	164	154	440	529	613	692	765	896	1.006
	10.9	269	264	259	253	247	233	220	627	754	873	985	1.090	1.276	1.433
	12.9	315	309	303	296	289	273	257	734	882	1.022	1.153	1.275	1.493	1.677
M24 x 1,5	8.8	228	224	219	214	209	198	187	570	686	796	899	995	1.166	1.311
	10.9	325	319	312	305	298	282	266	811	977	1.133	1.280	1.417	1.661	1.867
	12.9	380	373	366	357	347	330	311	949	1.143	1.326	1.498	1.658	1.943	2.185
M24 x 2	8.8	217	213	209	204	198	187	177	557	666	769	865	955	1.114	1.248
	10.9	310	304	297	290	282	267	251	793	949	1.095	1.232	1.360	1.586	1.777
	12.9	362	355	348	339	331	312	294	928	1.110	1.282	1.442	1.591	1.856	2.080
M27 x 1,5	8.8	293	288	282	276	269	255	240	822	992	1.153	1.304	1.445	1.697	1.910
	10.9	418	410	402	393	383	363	342	1.171	1.413	1.643	1.858	2.059	2.417	2.720
	12.9	489	480	470	460	448	425	401	1.370	1.654	1.922	2.174	2.409	2.828	3.183

Abm.	Fest.-Klasse	Montagevorspannkkräfte $F_{M,Tab}$ in kN für $\mu_c =$							Anziehdrehmomente $M_A$ in Nm für $\mu_k = \mu_c =$						
		0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,20	0,24
M27 x 2	8.8	281	276	270	264	257	243	229	806	967	1.119	1.262	1.394	1.630	1.829
	10.9	400	393	384	375	366	346	326	1.149	1.378	1.594	1.797	1.986	2.322	2.605
	12.9	468	460	450	439	428	405	382	1.344	1.612	1.866	2.103	2.324	2.717	3.049
M30 x 2	8.8	353	347	339	331	323	306	288	1.116	1.343	1.556	1.756	1.943	2.276	2.557
	10.9	503	494	483	472	460	436	411	1.590	1.912	2.216	2.502	2.767	3.241	3.641
	12.9	588	578	565	552	539	510	481	1.861	2.238	2.594	2.927	3.238	3.793	4.261
M33 x 2	8.8	433	425	416	407	397	376	354	1.489	1.794	2.082	2.352	2.605	3.054	3.435
	10.9	617	606	593	580	565	535	505	2.120	2.555	2.965	3.350	3.710	4.350	4.892
	12.9	722	709	694	678	662	626	591	2.481	2.989	3.470	3.921	4.341	5.090	5.725
M36 x 2	8.8	521	512	502	490	478	453	427	1.943	2.345	2.725	3.082	3.415	4.010	4.513
	10.9	742	729	714	698	681	645	609	2.767	3.340	3.882	4.390	4.864	5.711	6.428
	12.9	869	853	836	817	797	755	712	3.238	3.908	4.542	5.137	5.692	6.683	7.522
M39 x 2	8.8	618	607	595	581	567	537	507	2.483	3.002	3.493	3.953	4.383	5.151	5.801
	10.9	880	864	847	828	808	765	722	3.537	4.276	4.974	5.631	6.243	7.336	8.263
	12.9	1.030	1.011	991	969	945	896	845	4.139	5.003	5.821	6.589	7.306	8.585	9.669

Tab. 6

## 6.5 Anziehdrehmoment und Vorspannkraft von

- Sicherungsschrauben mit Muttern
- Flanschschrauben mit Muttern

Bei einer 90%iger Ausnutzung der Schraubenstreckgrenze  $R_{el}$  bzw. 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2}$  (nach Herstellerangaben)

	Gegenwerkstoff	Vorspannkkräfte $F_{V,max}$ (N)							Anziehdrehmoment $M_A$ (Nm)						
		M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16
Rippschrauben-Festigkeitsklasse 100 und Muttern Festigkeitsklasse 10	Stahl $R_m < 800$ MPa	9.000	12.600	23.200	37.000	54.000	74.000	102.000	11	19	42	85	130	230	330
	Stahl $R_m = 800 - 1.100$ MPa	9.000	12.600	23.200	37.000	54.000	74.000	102.000	10	18	37	80	120	215	310
	Grauguss	9.000	12.600	23.200	37.000	54.000	74.000	102.000	9	16	35	75	115	200	300

Richtwerte

## 6.6 Anhaltswerte für Anziehdrehmomente für austenitische Schrauben nach DIN EN ISO 3506

Das für den einzelnen Verschraubungsfall benötigte Anziehdrehmoment in Abhängigkeit vom Nenndurchmesser, Reibungszahl und der Festigkeitsklasse (FK) ist aus untenstehenden Tabellen als Anhaltswert zu entnehmen.

### Reibungszahl $\mu_{\text{ges}}$ 0,10

	Vorspannkkräfte $F_{\text{Vmax}}$ [KN]			Anziehdrehmoment $M_A$ [Nm]		
	FK 50	FK 70	FK 80	FK 50	FK 70	FK80
M3	0,90	1,00	1,20	0,85	1,00	1,30
M4	1,08	2,97	3,96	0,80	1,70	2,30
M5	2,26	4,85	6,47	1,60	3,40	4,60
M6	3,2	6,85	9,13	2,80	5,90	8,00
M8	5,86	12,6	16,7	6,80	14,5	19,3
M10	9,32	20,0	26,6	13,7	30,0	39,4
M12	13,6	29,1	38,8	23,6	50,0	67,0
M14	18,7	40,0	53,3	37,1	79,0	106,0
M16	25,7	55,0	73,3	56,0	121,0	161,0
M18	32,2	69,0	92,0	81,0	174,0	232,0
M20	41,3	88,6	118,1	114,0	224,0	325,0
M22	50,0	107,0	143,0	148,0	318,0	424,0
M24	58,0	142,0	165,0	187,0	400,0	534,0
M27	75,0			275,0		
M30	91,0			374,0		
M33	114,0			506,0		
M36	135,0			651,0		
M39	162,0			842,0		

### Reibungszahl $\mu_{\text{ges}}$ 0,20

	Vorspannkkräfte $F_{\text{Vmax}}$ [KN]			Anziehdrehmoment $M_A$ [Nm]		
	FK 50	FK 70	FK 80	FK 50	FK 70	FK 80
M3	0,60	0,65	0,95	1,00	1,10	1,60
M4	1,12	2,40	3,20	1,30	2,60	3,50
M5	1,83	3,93	5,24	2,40	5,10	6,90
M6	2,59	5,54	7,39	4,10	8,80	11,8
M8	4,75	10,2	13,6	10,1	21,4	28,7
M10	7,58	16,2	21,7	20,3	44,0	58,0
M12	11,1	23,7	31,6	34,8	74,0	100,0
M14	15,2	32,6	43,4	56,0	119,0	159,0
M16	20,9	44,9	59,8	86,0	183,0	245,0
M18	26,2	56,2	74,9	122,0	260,0	346,0
M20	33,8	72,4	96,5	173,0	370,0	494,0
M22	41,0	88,0	118,0	227,0	488,0	650,0
M24	47,0	101,0	135,0	284,0	608,0	810,0
M27	61,0			421,0		
M30	75,0			571,0		
M33	94,0			779,0		
M36	110,0			998,0		
M39	133,0			1.300		

### Reibungszahl $\mu_{\text{ges}}$ 0,30

	Vorspannkkräfte $F_{\text{Vmax}}$ [KN]			Anziehdrehmoment $M_A$ [Nm]		
	FK 50	FK 70	FK 80	FK 50	FK 70	FK80
M3	0,40	0,45	0,70	1,25	1,35	1,85
M4	0,90	1,94	2,59	1,50	3,00	4,10
M5	1,49	3,19	4,25	2,80	6,10	8,00
M6	2,09	4,49	5,98	4,80	10,4	13,9
M8	3,85	8,85	11,0	11,9	25,5	33,9
M10	6,14	13,1	17,5	24,0	51,0	69,0
M12	9,00	19,2	25,6	41,0	88,0	117,0
M14	12,3	26,4	35,2	66,0	141,0	188,0
M16	17,0	36,4	48,6	102,0	218,0	291,0
M18	21,1	45,5	60,7	144,0	308,0	411,0
M20	27,4	58,7	78,3	205,0	439,0	586,0
M22	34,0	72,0	96,0	272,0	582,0	776,0
M24	39,0	83,0	110,0	338,0	724,0	966,0
M27	50,0			503,0		
M30	61,0			680,0		
M33	76,0			929,0		
M36	89,0			1.189		
M39	108,0			1.553		

Tab. 8

## 6.7 Ein Beispiel für den Umgang mit den Tabellen der Vorspannkkräfte und Anziehdrehmomente!

Folgende Vorgehensweise:

### A) Festlegung der Gesamtreibungszahl $\mu_{\text{ges.}}$ :

Je nach Oberflächen- und Schmierzustand der Schrauben bzw. Muttern, muss mit unterschiedlichen Reibungszahlen „ $\mu$ “ gerechnet werden. Die Auswahl erfolgt nach Tabelle 3 Kapitel 6.

#### Beispiel:

Wahl für die Schraube und Mutter mit Oberflächenzustand galvanisch verzinkt transparent passiviert, ohne Schmiermittel:

$$\mu_{\text{ges.}} = 0,14$$

(Hinweis: für die Dimensionierung der Schraube ist mit dem kleinsten zu erwartenden Reibwert zu rechnen, damit keine Überbelastung der Schraube entstehen kann)

### B) Anziehmoment $M_A$ max.

Das maximale Anziehmoment liegt bei einer 90%-igen Ausnutzung der 0,2%-Dehngrenze ( $R_{p0,2}$ ) bzw. der Streckgrenze ( $R_{e1}$ ).

#### Beispiel:

Sechskantschraube DIN 933, M12 x 50, Festigkeitsklasse 8.8, verzinkt, blau passiviert:

Suchen Sie in Tabelle 5 Kapitel 6 in der Spalte für  $\mu_G = 0,14$  die Zeile für M12 mit der Festigkeitsklasse 8.8 Entnehmen Sie aus dem Bereich „Anziehdrehmoment  $M_A$  [Nm]“ den gewünschten Wert.

$$M_{A \text{ max}} = 93 \text{ Nm}$$

### C) Anziehungsfaktor $\alpha_A$

#### (Berücksichtigung der Anziehsicherheit)

Alle Anziehverfahren sind mehr oder weniger genau, verursacht wird dies durch:

- den großen Streubereich der tatsächlich bei der Montage auftretenden Reibung  
(Wenn Reibungszahlen für die Berechnung nur geschätzt werden können)

- Unterschiede bei der Manipulation mit dem Drehmomentschlüssel  
(z.B. schnelles oder langsames Anziehen der Schraube)
- die Streuung des Drehmomentschlüssels selbst.

Je nach dem, wie die oben erwähnten Einflüsse kontrolliert werden können, muss der Anziehungsfaktor  $\alpha_A$  gewählt werden.

#### Beispiel:

Wird mit einem handelsüblichen Drehmomentschlüssel mit elektronischer Anzeige angezogen, muss mit einem Anziehungsfaktor

$$\alpha_A = 1,4 - 1,6 \text{ gerechnet werden.}$$

Gewählt wird:

$$\alpha_A = 1,4 \text{ (Siehe Tabelle 2 Kapitel 6 „Richtwerte für den Anziehungsfaktor ...“)}$$

### D) Vorspannkraft $F_{V \text{ min}}$

#### Beispiel:

Entnehmen Sie aus Tabelle 5 Kapitel 6 in Spalte  $\mu_G = 0,14$  und der Zeile M12 und Festigkeitsklasse 8.8 im Bereich „Montagevorspannkkräfte“ den Wert für die maximale Vorspannkraft

$$F_{V \text{ max}} = 41,9 \text{ KN}$$

Die Mindestvorspannkraft  $F_{V \text{ min}}$  erhält man, indem man  $F_{V \text{ max}}$  durch den Anziehungsfaktor  $\alpha_A$  dividiert.

$$\text{Vorspannkraft } F_{V \text{ min}} = \frac{41,9 \text{ KN}}{1,4}$$

$$F_{V \text{ min}} = 29,92 \text{ KN}$$

### E) Ergebnis-Kontrolle

Folgende Fragen sollten Sie sich stellen!

- Reicht die Restklemmkraft aus?
- Reicht die minimal zu erwartende Vorspannkraft  $F_{V \text{ min}}$  für die in der Praxis auftretenden Maximalkräfte aus?

## 6.8 Paarung verschiedener Elemente/Kontaktkorrosion

Zur Vermeidung von Kontaktkorrosion gilt die Regel:

Verbindungselemente müssen im jeweiligen Anwendungsfall mindestens die gleiche Korrosionsbeständigkeit aufweisen wie die zu verbindenden Teile. Falls keine gleichwertigen Verbindungselemente gewählt werden können, müssen sie höherwertiger sein als die zu verbindenden Teile.

## Paarung verschiedener Verbindungselemente-/Bauteilewerkstoffe hinsichtlich Kontaktkorrosion

Werkstoff/Oberfläche der Bauteile*	Edelstahl A2/A4	Aluminium	Kupfer	Messing	Stahl, vz., schwarz pass.	Stahl, vz., gelb chrom.	Stahl, vz., blau pass.	Stahl, blank
Werkstoff/Oberfläche des Verbindungselements								
Edelstahl A2/A4	+++	+++	++	++	++	++	++	++
Aluminium	++	+++	++	++	+	+	+	+
Kupfer	+	+	+++	++	+	+	+	+
Messing	+	+	++	+++	+	+	+	+
Stahl, vz., schwarz passiviert	-	-	-	-	+++	++	++	+
Stahl, vz., gelb chromatiert	--	--	--	--	+	+++	++	+
Stahl, vz., blau passiviert	--	--	--	--	+	+	+++	+
Stahl, blank	---	---	---	---	--	--	--	+++

+++ Paarung sehr empfehlenswert  
 ++ Paarung empfehlenswert  
 + Paarung mäßig empfehlenswert  
 - Paarung wenig empfehlenswert  
 -- Paarung nicht empfehlenswert  
 --- Paarung unter keinen Umständen empfehlenswert  
 \* Diese Annahme gilt bei einem Flächenverhältnis (Bauteilverhältnis von Verbindungselement zu verbindendem Teil zwischen 1:10 und 1:40

Tabelle 9

## 6.9 Statische Scherkräfte für Spannstiftverbindungen

Spannstifte (Spannhülsen) schwere Ausführung nach ISO 8752 (DIN 1481)

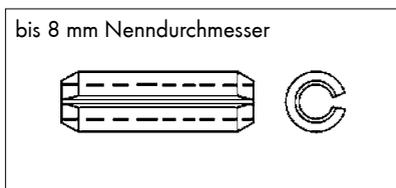


Abb. AU

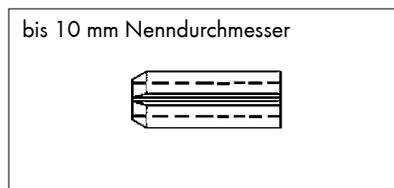


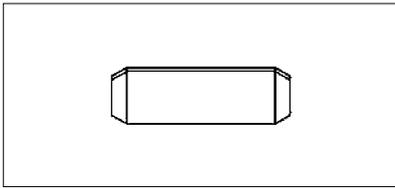
Abb. AV

Werkstoff:  
Federstahl vergütet  
auf 420 bis 560 HV

Nenndurchmesser [mm]		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	8	10	12	13	14	16	18	20
	Abscherkraft min. [kN]	einschnittig	0,35	0,79	1,41	2,19	3,16	4,53	5,62	7,68	8,77	13	21,3	35	52	57,5	72,3	85,5	111,2
	zweischneittig	0,7	1,58	2,82	4,38	6,32	9,06	11,2	15,4	17,5	26	42,7	70,1	104,1	115,1	144,1	171	222,5	280,6

Tab. 10

### Spiral-Spannstifte, Regelausführung nach ISO 8750 (DIN 7343)



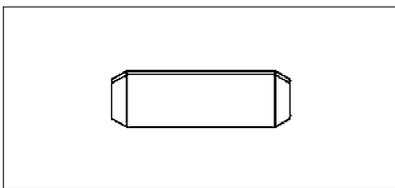
Werkstoff:  
Federstahl vergütet  
auf 420 bis 520 HV

Abb. AW

Nenndurchmesser [mm]		0,8	1	1,2	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	12	14	16
Abscherkraft min. [kN]	einschnittig	0,21	0,3	0,45	0,73	1,29	1,94	2,76	3,77	4,93	7,64	11,05	19,6	31,12	44,85	61,62	76,02
	zweischneittig	0,40	0,6	0,90	1,46	2,58	3,88	5,52	7,54	9,86	15,28	22,1	39,2	62,24	89,7	123,2	152

Tab. 11

### Spiral-Spannstifte, schwere Ausführung nach ISO 8748 (DIN 7344)



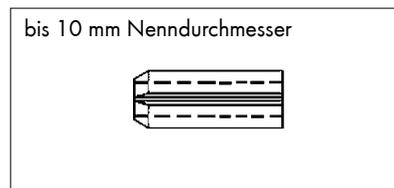
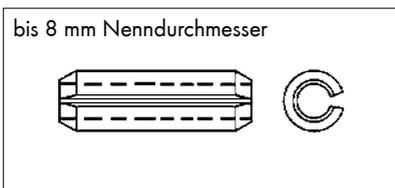
Werkstoff:  
Federstahl vergütet  
auf 420 bis 520 HV

Abb. AX

Nenndurchmesser [mm]		1,5	2	2,5	3	4	5	6
Abscherkraft min. [kN]	einschnittig	0,91	1,57	2,37	3,43	6,14	9,46	13,5
	zweischneittig	1,82	3,14	4,74	6,86	12,2	18,9	27

Tab. 12

### Spannstifte (Spannhülsen) leichte Ausführung nach ISO 13337 (DIN 7346)



Werkstoff:  
Federstahl vergütet  
auf 420 bis 560 HV

Abb. AY

Abb. AZ

Nenndurchmesser [mm]		2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	10	11	12	13	14	16	18	20
Abscherkraft min. [kN]	einschnittig	0,75	1,2	1,75	2,3	4	4,4	5,2	9	10,5	12	20	22	24	33	42	49	63	79
	zweischneittig	1,5	2,4	3,5	4,6	8	8,8	10,4	18	21	24	40	44	48	66	84	98	126	158

Tab. 13

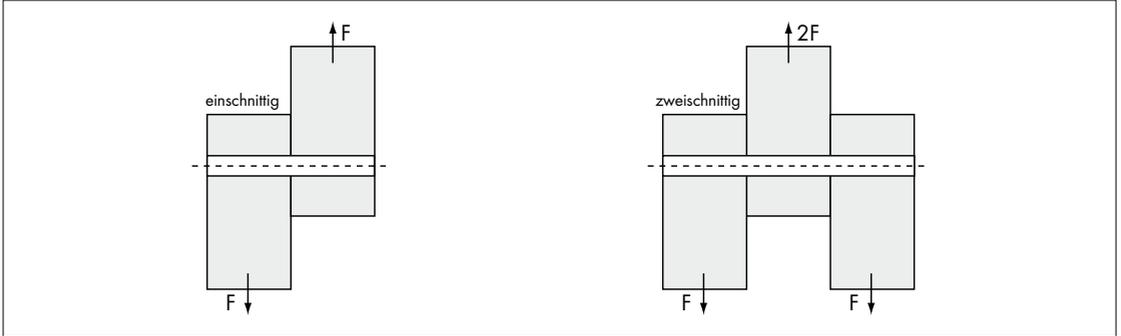


Abb. BA

## 6.10 Konstruktionsempfehlungen

### Innenantriebe für Schrauben

Der technische Fortschritt und wirtschaftliche Überlegungen bewirken weltweit eine fast völlige Ablösung der Geradschlitzschrauben durch Innenantriebe.

#### AW-Antrieb

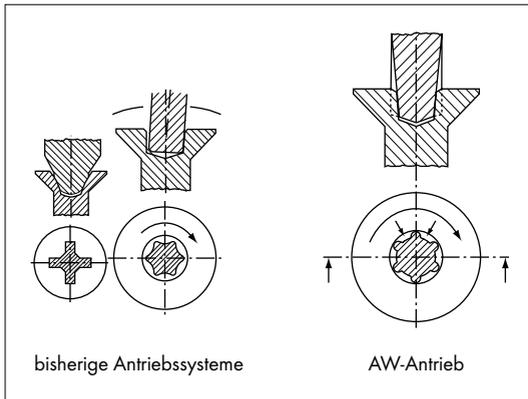


Abb. AR

#### AW-Antriebssystem

**Vorteile** gegenüber den bisherigen Antriebssystemen:

- Bessere Kraftübertragung durch den konischen Vielzahn.
- Höhere Standzeit durch optimale Passung.
- Optimale Zentrierung durch den konischen Verlauf des Bits.
- Größtmögliche Anlagefläche des Bit im Schraubenantrieb → Auswurfkräfte.
- Auswurfkräfte (Comeout) gleich Null. Die gleichmäßige Kraftverteilung vermeidet Beschädigungen der Oberfläche.

schutzschicht und gewährleistet somit eine höhere Korrosionsbeständigkeit.

#### Innensechskant

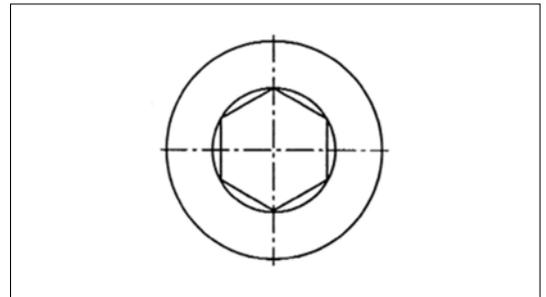


Abb. AS

Gute Kraftübertragung durch mehrere Kraftangriffspunkte. Innensechskant-Schrauben haben kleinere Schlüsselweiten als Außensechskant-Schrauben, das heißt auch wirtschaftlichere Konstruktionen durch kleinere Abmessungen.

#### Kreuzschlitz Z (Poqidriv) nach ISO 4757

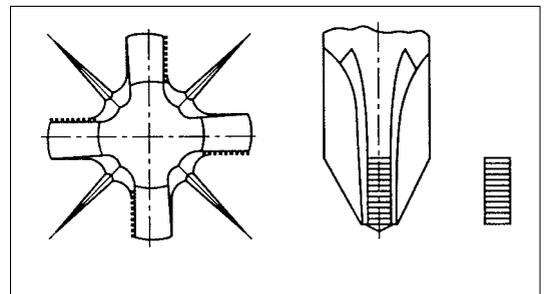


Abb. AT

Die vier „Anzugsände“ im Kreuzschlitz, an denen der Schraubendreher beim Eindrehen der Schraube anliegt, sind senkrecht. Die restlichen Wände und Rippen sind schräg. Dies kann bei optimal gefertigten Kreuzschlitzen die Montierbarkeit etwas verbessern. Der Pozidriv-Schraubendreher hat rechteckige Flügelenden.

### Kreuzschlitz H (Phillips) nach ISO 4757

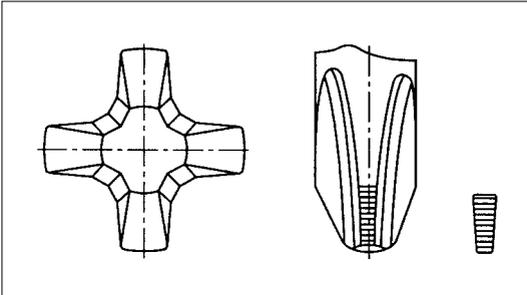


Abb. AU

Normaler Kreuzschlitz, bei dem alle Wände und Rippen schräg geneigt sind, wobei der Schraubendreher trapezförmige Flügelenden aufweist.

## 6.11 Montage

### Drehmomentverfahren

Die erforderliche Vorspannkraft wird durch ein messbares Drehmoment  $M_v$  erzeugt. Die verwendeten Anziehgeräte (z.B. Drehmomentschlüssel) müssen eine Unsicherheit von weniger als 5% aufweisen.

### Drehimpulsverfahren

Die Verbindungen werden mit Hilfe eines Impuls- oder Schlagschraubers mit einer Unsicherheit von weniger als 5% angezogen. Die Anziehgeräte sind dabei in geeigneter Weise (z.B. Nachziehmethode oder Längenmessmethode) möglichst an der Originalverschraubung einzustellen.

Nachziehmethode: Die Verbindung wird zunächst mit dem Schrauber angezogen und danach mit einem Präzisionsdrehmomentschlüssel nachgezogen/geprüft. Längenmessmethode: Es wird die verursachte Verlängerung der Schraube geprüft (Messbügel), wobei die Verlängerung der Schraube vorher auf einem Schraubenprüfstand kalibriert worden sein muss.

### Drehwinkelverfahren

Voraussetzung ist eine weitgehend flächige Anlage der zu verbindenden Teile.

Das Aufbringen des Voranziehmomentes erfolgt mit einem der beiden vorher beschriebenen Verfahren. Kennzeichnung der Lage der Mutter relativ zu Schraubenschaft und Bauteil eindeutig und dauerhaft, so dass der anschließend aufgebrauchte Weiterdrehwinkel der Mutter leicht ermittelt werden kann. Der erforderliche Weiterdrehwinkel muss durch eine Verfahrensprüfung an den jeweiligen Originalverschraubungen ermittelt werden (z.B. mittels Schraubenverlängerung).



Abb. W