

# Schrauben-Brevier





## Einleitung

„Wer die Schraube erfunden hat, wo, wann und zu welchem Zweck das geschah liegt völlig im Dunkel der Geschichte“ (s. Kellermann/Treue: Die Kulturgeschichte der Schraube; 2. Aufl. München, Bruckmann 1962). Heute halten Schrauben – etwas überspitzt gesagt – unsere Zivilisation zusammen. Milliarden von Schrauben werden alljährlich weltweit für die unterschiedlichsten Anwendungen erzeugt. Daraus könnte man etwas vorschnell schließen, daß dieses überall verwendete, allgegenwärtige Maschinenelement keinerlei Probleme für Technik und Wissenschaft mehr stellt. Das dem ganz und gar nicht so ist, zeigt die Fülle der gerade in den letzten zwei Jahrzehnten zum Thema Schrauben veröffentlichten Arbeiten.“

Dieses Zitat aus der Einleitung zum ersten Schraubenbrevier aus dem Beginn der achtziger Jahre hat auch zum heutigen Zeitpunkt nichts von seiner Aktualität verloren. Mochten die Standardthemen nun auch bis zu einem gewissen Sättigungsgrad abgearbeitet sein, stellen und stellen sich seitdem immer wieder neue Aufgabengebiete. Um den Erkenntnissen aus diesen Bereichen, wie z. B. Werkstoff und Oberflächenschutz sowie der Veränderung der Berechnungsvorschrift Rechnung zu tragen, hat KAMAX das Schraubenbrevier in der gewohnt kompakten Form komplett überarbeitet.

Wir hoffen, dass auch dieses Büchlein wie sein Vorgänger den Weg in zahlreiche Hemdtaschen findet und seinen Benutzern hilfreich ist.



# Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Schraubenwerkstoffe und Normen	6
2. Berechnung von Schraubenverbindungen	14
3. Sichern von Schraubenverbindungen	20
4. Montage von Schraubenverbindungen	23
5. Korrosionsschutz und Schmierung	34
6. Dauerfestigkeitsgerechte Gestaltung	38
7. Verschiedenes	40
8. Formelverzeichnis	55
9. Schrifttum	56

# 1. Schraubenwerkstoffe und Normen

## 1.1 Mechanische und physikalische Eigenschaften von Schrauben (bei Raumtemperatur) (Auszug aus DIN EN ISO 898-1; Stand 11/99)

Mechanische und physikalische Eigenschaften	Festigkeitsklassen										
	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8 <sup>a</sup>	9.8 <sup>b</sup>	10.9	12.9	
Nennzugfestigkeit $R_{m, Nenn}$	300	400		500		600	800	800	1000	1200	
Mindestzugfestigkeit $R_{m, min}$ <sup>d e</sup>	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
Vickershärte HV	95	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
$F \geq 98$ N			220 <sup>f</sup>			250	320	335	360	380	435
Brinellhärte HB	90	114	124	147	152	181	238	242	276	304	366
$F = 30$ (D <sup>2</sup> )			209 <sup>f</sup>			238	304	318	342	361	414
HRB min.	52	67	71	79	82	89	-	-	-	-	-
HRC min.	-	-	-	-	-	-	22	23	28	32	39
HRB max.			95,0 <sup>f</sup>			99,5	-	-	-	-	-
HRC max.			-			-	32	34	37	39	44
Oberflächenhärte HV 0,3			-						- <sup>g</sup>		
untere Streckgrenze	180	240	320	300	400	480	-	-	-	-	-
$R_{el}^h$ in N/mm <sup>2</sup>	190	240	340	300	420	480	-	-	-	-	-
0,2%-Dehngrenze			-				640	640	720	900	1080
$R_{p,0.2}^i$ in N/mm <sup>2</sup>			-				640	660	720	940	1100
Spannung unter $S_p/R_{el}$ o. $S_p/R_{p,0.2}$	0,94	0,94	0,91	0,93	0,90	0,92	0,91	0,91	0,90	0,88	0,88
Prüfkraft $S_p$	180	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
Bruchdrehmoment $M_B$			-								siehe ISO 898-7

Bruchdehnung A %	min.	25	22	-	20	-	12	12	12	10	9	8
Bruchdehnung Z	% min.		-				52			48	48	44
Festigkeit unter Schrägzugbelastung <sup>e</sup>	Die Werte unter Schrägzugbelastung für ganze Schrauben (nicht Stiftschrauben) dürfen die oben angegebenen Mindestzugfestigkeiten nicht unterschreiten											
Kerbschlagarbeit, KU	J min.	-	25	-	30	30	25	20	15			
Kopfschlagzähigkeit	kein Bruch											
Mindesthöhe der nicht entkohlten Gewindezone E							1/2 H <sub>1</sub>	2/3 H <sub>1</sub>	3/4 H <sub>1</sub>			
Max. Tiefe der Auskohlung	mm		-				0,015					
Härte nach Wiederanlassen			-				Härteabfall max. 20 HV					
Oberflächenzustand		in Übereinstimmung mit ISO 6157-1 oder ISO 6157-3, soweit zutreffend										
<sup>a</sup> Bei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 mit Gewindedurchmesser $d \leq 16$ 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. Die Festigkeitsklasse 9.8 gilt nur für Gewinde-Nenndurchmesser $d \leq 16$ mm. <sup>b</sup> Für Stahlbauschrauben liegt die Grenze bei 12 mm. <sup>c</sup> Die Mindest-Zugfestigkeiten gelten für Schrauben mit Nennlängen $l \geq 2,5 d$ . Die Mindesthärten gelten für Schrauben mit Nennlängen <sup>d</sup> $l < 2,5 d$ und für solche Produkte, die nicht im Zugversuch geprüft werden können (z. B. wegen Kopfform). <sup>e</sup> Für die Prüfung an ganzen Schrauben müssen die Bruchkräfte, die zur Berechnung von $R_m$ verwendet werden, mit den Werten in den Tabellen 6 und 8 aus DIN EN ISO 898-1 übereinstimmen. <sup>f</sup> Ein Härtewert am Ende der Schraube darf höchstens 250 HV, 283 HB oder 99,5 HRB betragen. <sup>g</sup> Die Oberflächenhärte darf am jeweiligen Produkt 30 Vickerspunkte der gemessenen Kernhärte nicht überschreiten, wenn sowohl die Oberflächenhärte als auch die Kernhärte mit HV 0,3 ermittelt werden. Für die Festigkeitsklasse 10.9 darf eine Oberflächenhärte von 390 HV nicht überschritten werden. <sup>h</sup> Falls die untere Steckgrenze $R_{eL}$ nicht bestimmt werden kann, gilt die 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ . Für die Festigkeitsklassen 4.8, 5.8 und 6.8 sind die Werte für $R_{eL}$ nur als Berechnungsgrundlage angegeben, sie werden nicht überprüft. <sup>i</sup> Das der Bezeichnung der Festigkeitsklasse entsprechende Steckgrenzenverhältnis und die Mindestspannung an der 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ gelten für spanend bearbeitete Proben. Bei Prüfung von ganzen Schrauben variieren diese Werte auf Grund von Auswirkungen des Herstellverfahrens und der Größeneinflüsse.												

1.2 Werkstoffe und Anlaßtemperaturen für unterschiedliche Festigkeitsklassen von Schrauben.  
(DIN EN ISO 898-1; Stand 11/99)

Festigkeits- klasse	Werkstoff und Wärmebehandlung	Chemische Zusammensetzung (Masseanteile in %)						Anlaß- Temperatur °C min.
		Stückanalyse						
		C	P	S	B <sup>a</sup>			
		min.	max.	max.	max.	max.		
3.6 <sup>b</sup>	Kohlenstoffstahl	-	0,20	0,05	0,06	0,003	-	
4.6 <sup>b</sup>		-	0,55	0,05	0,06	0,003	-	
4.8 <sup>b</sup>		-	0,55	0,05	0,06	0,003	-	
5.6		0,13	0,55	0,05	0,06	0,003	-	
5.8 <sup>b</sup>		-	0,55	0,05	0,06	0,003	-	
6.8 <sup>b</sup>		-	0,55	0,05	0,06	0,003	-	
8.8 <sup>c</sup>	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor, Mn oder Cr) abgeschreckt und angelassen	0,15 <sup>d</sup>	0,40	0,035	0,035	0,003	425	
9.8	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	0,15 <sup>d</sup>	0,35	0,035	0,035	0,003		
	Kohlenstoffstahl abgeschreckt und angelassen	0,25	0,55	0,035	0,035	0,003		
10.9 <sup>e,f</sup>	Kohlenstoffstahl mit Zusätzen (z. B. Bor, Mn oder Cr) abgeschreckt und angelassen	0,15 <sup>d</sup>	0,35	0,035	0,035	0,003	340	
10.9 <sup>f</sup>	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 <sup>d</sup>	0,55	0,035	0,035	0,003		
12.9 <sup>f,h,i</sup>	legierter Stahl, abgeschreckt und angelassen <sup>g</sup>	0,20	0,55	0,035	0,035	0,003	380	
	legierter Stahl, abgeschreckt und angelassen <sup>g</sup>	0,28	0,50	0,035	0,035	0,003		

- 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 Härtebarkeit sicherzustellen.
- d Bei Kohlenstoffstählen mit Bor als Zusatz und einem Kohlenstoffgehalt unter 0,25 % (Schmelzanalyse) muß ein Mangangehalt von min. 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 (DIN EN ISO 898-1). 10.9 muß alle für 10.9 festgelegten mechanischen und physikalischen Eigenschaften erreichen. Die geringere Anlaßtemperatur bei 10.9 ergibt jedoch ein unterschiedliches Spannungsrelaxationsverhalten bei höheren Temperaturen.
- f Der Werkstoff für diese Festigkeitsklassen muß ausreichend härter 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.

### 1.3 Werkstoffe für hochfeste Schrauben (DIN EN ISO 898-1)

Festigkeitsklasse	Werkstoff
8.8	19 MnB 4 / 23MnB 4 28 B 2
10.9	19 MnB 4 / 23MnB 4 28 B 2 32 CrB 4
12.9	32 CrB 4 34 CrMo 4

### 1.4 Werkstoffe für warmfeste Schrauben (DIN EN 10269)

Einsatztemperatur*	Festigkeit $R_m$	Werkstoff	Kopfkennzeichnung
$\leq 500 \text{ }^\circ\text{C}$	1040 – 1200 N/mm <sup>2</sup>	40 CrMoV 4-7	GB
$\leq 540 \text{ }^\circ\text{C}$	800 – 1000 N/mm <sup>2</sup>	21 CrMoV 5-7	GA
$\leq 580 \text{ }^\circ\text{C}$	800 – 1050 N/mm <sup>2</sup>	X 22 CrMoV 12-1	V (für $R_{p0,2}$ von 600 MPA)
$\leq 650 \text{ }^\circ\text{C}$	900 – 1150 N/mm <sup>2</sup>	X6NiCrTiMo VB25-15-2 / A 286	SD
$\leq 700 \text{ }^\circ\text{C}$	1000 – 1300 N/mm <sup>2</sup>	Nimonic 80 A	SB

\* Bauteil-Temperatur

### 1.5 Werkstoffe für rostfreie Schrauben

Festigkeit $R_m$	Stahlsorte*	Werkstoff	Werkstoff
$> 700 \text{ N/mm}^2$	A2 – 70	X 5 CrNi 18 12	1.4303
$> 800 \text{ N/mm}^2$	A2 – 80		
$> 700 \text{ N/mm}^2$	A4 – 70	X 5 CrNiMo 17 12 2	1.4401
$> 800 \text{ N/mm}^2$	A4 – 80		

\* gemäß DIN EN ISO 3506-1



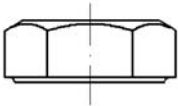
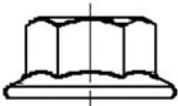
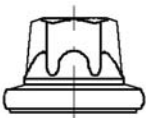
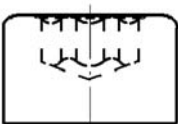
## 1.6 Werkstoffe für hochfeste Schrauben ohne vergütende Wärmebehandlung nach der Kaltumformung

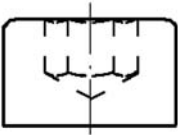
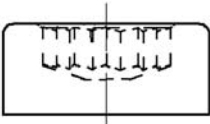
Festigkeit $R_m$	Werkstoff	Erläuterung
800 – 1000 N/mm <sup>2</sup> Festigkeitsklasse 800K	10 MnSi 7 17 MnV 7	mikrolegierte Stähle/ Dualphasenstahl
800 – 1000 N/mm <sup>2</sup>	34 Cr 4	im Ring vorvergüteter Werkstoff

## 1.7 Werkstoffe für Verbindungselemente aus Aluminiumlegierungen

Festigkeit $R_m$	Werkstoff	Erläuterung
$R_m > 320 \text{ N/mm}^2$ $R_{p0,2} > 290 \text{ N/mm}^2$ ohne Wärmebehandlung nach der Kaltumformung	EN AW 6082 AlSi1MgMn	Magnesiumverschraubungen Temperaturbelastung < 100 °C hohe Korrosionsbelastung
$R_m > 380 \text{ N/mm}^2$ $R_{p0,2} > 350 \text{ N/mm}^2$ mit Wärmebehandlung nach der Kaltumformung	EN AW 6056 AlSi6MgCuMn EN AW 6013 AlMg1Si0,8CuMn	Magnesiumverschraubungen Aluminiumverschraubungen Temperaturbelastung < 150 °C hohe Korrosionsbelastung

## 1.8 Schraubentypen und zugehörige Produktnormen

Schraubentyp	Produktnorm	
Sechskantschraube 	DIN EN ISO 4014 DIN EN ISO 4017  DIN EN ISO 8676  DIN EN ISO 8765	Sechskantschraube mit Schaft Sechskantschraube mit Gewinde bis Kopf  Sechskantschraube mit Gewinde bis Kopf und Feingewinde Sechskantschrauben mit Schaft und Feingewinde
Sechskantschraube mit Flansch 	DIN EN 1662  DIN EN 1665  ISO 4162	Sechskantschraube mit Flansch leichte Reihe Sechskantschraube mit Flansch schwere Reihe Bundschraube leichte Reihe
Sechsrundschraube mit Flansch 	KN 7210  DIN 34-800  DIN 34-801	Schlüsselsystem KARUND – Abmessungsreihe Außen Schrauben mit Außensechsrund mit kleinem Flansch Schrauben mit Außensechsrund mit großem Flansch
Innensechsrund 	KN 7230  KN 7240  DIN EN ISO 14 579  DIN EN ISO 14 580  DIN 34-802	Schlüsselsystem KARUND – Abmessungsreihe Innen Zylinderschraube für überelastische Montage mit großem KARUND (Entwurf) Zylinderschrauben mit Innensechsrund (Entwurf) Zylinderschrauben mit Innensechsrund niedriger Kopf Schrauben mit großem Innensechsrund

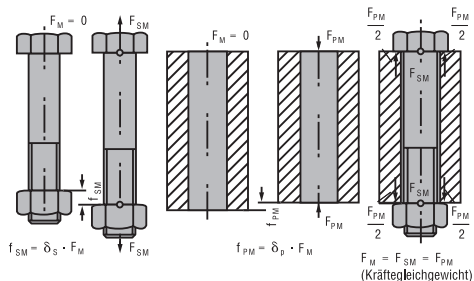
Schraubentyp	Produktnorm	
Innensechskant 	DIN EN ISO 4762 DIN 6912  DIN 7984	Zylinderschrauben mit Innensechskant Zylinderschrauben mit Innensechskant niedriger Kopf mit Schlüsselführung Zylinderschrauben mit Innensechskant niedriger Kopf
Innenvielzahn 	KN 7300 KN 7310	Schlüsselsystem Innenvielzahn Zylinderschrauben für überelastische Montage mit Innenvielzahnangriff

## 2. Berechnung von Schraubenverbindungen

Eine kraftführende Schraubenverbindung ist generell so auszulegen, daß ohne Überdimensionierung

- die bei Montage und Betrieb auftretenden Kräfte die an der Schraubenverbindung beteiligten Komponenten nicht überbeanspruchen,
- eine Mindestklemmkraft während des Betriebs aufrechterhalten wird, die geeignet ist eine geforderte Dichtkraft zu gewährleisten, bzw. ein Aufklaffen der Trennfuge zu verhindern, und
- die Dauerhaltbarkeit der Schraube durch betriebsbedingte Wechselbeanspruchungen nicht überschritten wird.

Prinzipiell werden bei der Montage die Schraube gelängt ( $f_{SM}$ ) und die verspannten Teile zusammengedrückt ( $f_{PM}$ ), die auf die Partner wirkenden Kräfte sind im Betrag gleich (actio = reactio,  $F_M = F_{SM} = F_{PM}$ ), die Längenveränderungen jedoch abhängig von der Steifigkeit und somit im Regelfall ungleich.



**Abb. 2.1** Stauchung/Längung

Komponenten einer Schraubenverbindung vor und nach Beanspruchung

Die grundlegenden Zusammenhänge von Kraft- und Längenänderungen in einer Schraubenverbindung lassen sich anschaulich in einem Verspannungsschaubild darstellen.





## 0. Schritt

Zu Beginn der Berechnung werden überschlägig der benötigte Schraubendurchmesser  $d$  und die Festigkeitsklasse sowie die Anwendbarkeit der Berechnungsvorschrift für exzentrisch verspannte bzw. beanspruchte Verbindungen anhand von Tabellen bzw. einfachen Formeln abgeschätzt.

## 1. Schritt

Es muß ein Anziehverfahren festgelegt werden. Dessen Genauigkeit wird durch den ihm zugeordneten Faktor  $\alpha_A$  wiedergegeben. Das Montageverfahren besitzt einen außerordentlich großen Einfluß auf die Streuung im Montageprozeß und damit die Dimensionierung der Verbindung.

## 2. Schritt

Es ist aus den betrieblichen Gegebenheiten eine minimale Klemmkraft der Verbindung  $F_{Kerf}$  abzuschätzen, die zu keiner Zeit in der Verbindung unterschritten werden darf. Diese kann abgeleitet werden aus Anforderungen bezüglich Dichtigkeit der Verbindung, Reibschluß zwischen den Partnern oder Verhinderung eines Klaffens bei exzentrischer Belastung.

## 3. Schritt

Das Kraftverhältnis  $\phi$  ist zu berechnen, um die Aufteilung der axialen Betriebslast  $F_A$  zwischen Schraube und verspannten Teilen zu ermitteln. Je kleiner  $\phi$  desto weniger Zusatzkraft wird durch die Schraube getragen.  $\phi$  bestimmt sich dabei aus den Nachgiebigkeiten von Schraube  $\delta_S$  und verspannten Teilen  $\delta_P$  sowie der Krafteinleitungshöhe (ausgedrückt durch den Faktor  $n$ ) und Exzentrizitäten von Verspannung und Kraftangriff. Allgemein ist  $\phi$  umso kleiner, je größer die Nachgiebigkeit der Schraube gegenüber der Nachgiebigkeit der verspannten Teile ist. Der Faktor  $n$  ist abhängig von der gegebenen Geometrie, der Krafteinleitungshöhe und dem Verbindungstyp. Er kann nach VDI2230 berechnet oder aus einer Tabelle ermittelt werden.

## 4. Schritt

Durch das Einebnen der Oberflächengeometrien verliert das verspannte System an elastischer Verformung. Dieses Setzen wirkt sich damit mindernd gegenüber der Montagevorspannkraft aus. Aus dem Setzbetrag läßt sich unter Berücksichtigung der Steifigkeiten ein Vorspannkraftverlust  $F_Z$  bestimmen, welcher in die Berechnung eingeht. Weiterhin kann es bei thermisch beanspruchten Schraubenverbindungen unter der Voraussetzung der Verwendung von Materialien mit unterschiedlichen

thermischen Ausdehnungskoeffizienten ebenfalls zu Vorspannkraftveränderungen  $F_{Vth}$  kommen.

### 5. + 6. Schritt

Unter Verwendung der Hauptdimensionierungsformel  $F_{Max} = \alpha_A \cdot [F_{Kerf} + (1 - \phi) \cdot F_A + F_Z + F_{Vth}]$  lassen sich nun die maximale Montagevorspannkraft als auch die erforderliche minimale Montagevorspannkraft  $F_{Min} = F_{Max} / \alpha_A$  der Schrauben-Verbindung errechnen.

### 7. Schritt

Das Ergebnis ist gegenüber Tabellenwerten zur Beanspruchbarkeit von Schrauben ( $F_M$ ) bei vorgegebener Ausnutzung der Streckgrenze von 90% sowie gegebenen Reibwerten abzugleichen.

Die Bedingung  $F_{Mzul} \geq F_{Mmax}$  bzw.  $F_{MTab} \geq F_{Mmax}$  muß erfüllt werden. Für besonders gestaltete Schrauben ist der Vergleichswert zu berechnen.

Sollte das Ergebnis zu einer notwendigen Veränderung der Schraubengeometrie bzw. des Klemmlängenverhältnis führen, ist die Berechnung ab Rechenschritt 2 zu wiederholen.

### 8. Schritt

Es ist zunächst zu berechnen, ob die zulässige Schraubenkraft während des Betriebs nicht durch die Gesamtschraubenkraft von  $F_{Smax} = F_{Mzul} + \phi_{en} \cdot F_{Amax} - \Delta F_{Vth}$  überschritten wird. Es muß  $\sigma_{red, B} < R_{p0,2min}$  erfüllt sein, wobei  $\sigma_{red, B}$  die auf den geringsten Querschnitt der Schraube bezogene Vergleichsspannung aus max. Zugspannung und Torsionsspannung darstellt. Für torsionsfreie Verbindungen gilt vereinfacht  $F_{Smax} \leq R_{p0,2min} \cdot A_0$ . Weiterhin kann über  $\sigma_{red, B} < R_{p0,2min} / S_F$  ein Sicherheitsfaktor berücksichtigt werden.

### 9. Schritt

Die zulässige Spannungsamplitude  $\sigma_A$  ist für Schrauben im Vergleich zu einem ungekehrten Bauteil relativ gering. Liegt eine Dauerschwingbeanspruchung vor, ist die Verbindung auf  $\sigma_a \leq \sigma_{AS}$  zu überprüfen, wobei  $\sigma_{AS}$  davon abhängt, ob eine schlußgewalzte oder eine schlußwärmebehandelte Schraube vorliegt. Die vorhandene Spannungsamplitude  $\sigma_a$  wird bezogen auf den Spannungsquerschnitt der Schraube ermittelt.



### 10. Schritt

Allgemein sollte die Flächenpressung in den Trennfugen weder bei der Montage  $p_{Mmax}$  noch im Betrieb  $p_{Bmax}$  die zulässige Flächenpressung der beteiligten Partner  $p_G$  überschreiten um einen Vorspannkraftabbau durch Kriechvorgänge zu vermeiden. Für  $p_G \geq p_{M, Bmax}$  kann ebenfalls ein Sicherheitsfaktor einbezogen werden.

### 11. Schritt

Es ist weiterhin zu prüfen, ob eine ausreichende Überdeckung der gepaarten Gewinde gegeben ist, um ein Abstreifen des bzw. der Gewinde zu vermeiden. Bezogen auf den Nenndurchmesser und die Festigkeit können die entsprechenden Minimalwerte der VDI2230 entnommen werden.

### 12. Schritt

Die in der Verbindung wirkenden Querkräfte werden im Regelfall durch Reibschluß übertragen. Unter Berücksichtigung der Trennfugenzahl und der Reibungszahlen in den Trennfugen ist ein Abgleich zwischen der minimalen Restklemmkraft  $F_{KRmin}$  und der zur Übertragung der Querkräfte notwendigen Klemmkraft  $F_{KQerf}$  vorzunehmen. Auch kann wieder ein Sicherheitsfaktor  $F_{KQerf} < F_{KRmin} / S_F$  einbezogen werden. Kommt es doch zu einer Überbeanspruchung der Verbindung sowie bei der Verwendung von Paßschrauben, soll ein Abscheren der Schraube vermieden werden. Dazu muß  $\tau_{max} = F_{Qmax} / A_\tau \leq \tau_B$  gelten.

### 13. Schritt:

Das zur Montage der berechneten Schraube benötigte Drehmoment kann abschließend für eine Ausnutzung der Schraube von 90% in den entsprechenden Tabellen abgelesen bzw. durch  $M_A = F_{Mzul} * [0,16 * P + 0,58 * d_2 * \mu_{Gmin} + D_{Km} / 2 * \mu_{Kmin}]$  berechnet werden. Werden Elemente zur Verhinderung von Lösen und Lockern eingesetzt, sind die entsprechenden Zusatzmomente einzubeziehen.

### 3. Sichern von Schraubenverbindungen

Eine konstruktiv richtig ausgelegte Schraubenverbindung, die zuverlässig montiert ist, kommt in der Mehrzahl der Fälle ohne jegliche Schraubensicherung aus. In diesen Fällen verhindern die aufgebrauchten Klemmkräfte über den gesamten Zeitraum der Lebensdauer Relativbewegungen an der Schraubverbindung.

Unter bestimmten Randbedingungen kann aber die Vorspannung in Schraubverbindungen entweder abgebaut, kurzzeitig reduziert oder aufgehoben werden.

1. Lockern von Schraubverbindungen durch Vorspannkraftverlust infolge Setzens oder anderer bleibender Längenänderungen, z. B. Kriechen.

2. Losdrehen



Unter dynamischer Beanspruchung senkrecht zur Schraubenachse kann ein selbsttätiges Losdrehen von Schrauben erfolgen.

Dies setzt bereits unter voller Vorspannkraft ein, wenn zwischen den verspannten Teilen Querschiebungen auftreten in Form von Relativbewegungen zwischen Schraube und Mutter.

Um die Relativbewegung zwischen den Partnern zu erschweren bzw. zu verhindern, stehen sowohl mechanische als auch chemische Sicherungssysteme zur Verfügung.



## Matrix der sichernden Elemente für Schraubverbindungen Mechanische Sicherungselemente

	Funktions Schema	Einsatz- temp. °C	Sichern bei dyn. Belastung	Härte der Gegenlage	Einbau- situation	Anzahl der Wieder- wendungen	Schmierung Schraube/ Gegenlage	Oberfläche der Gegenlage	Lager- fähigkeit des Produktes
Karipp®		bis Anlaßtemp.	ja	soll kleiner sein als Schrauben- festigkeit	großer Bunddurch- messer und Platzbedarf	mehrmals	alle Schmie- rungen möglich	geringe Beschädi- gungen, nicht für Lack	unbegrenzt
Kalok®	Verzahnung	bis Anlaßtemp.	ja	muß kleiner sein als Schrauben- festigkeit; max. 40 HRC	großer Bunddurch- messer und Platzbedarf	mehrmals	alle Schmie- rungen möglich	hohe Beschädi- gungen, nicht für Lack	unbegrenzt
Kalok II®		bis Anlaßtemp.	ja	muß kleiner sein als Schrauben- festigkeit; max. 40 HRC	geringer Platzbedarf	mehrmals	alle Schmie- rungen möglich	hohe Beschädi- gungen, nicht für Lack	unbegrenzt
Plastik Patch PA11	Klemmende Kunststoffbeschichtung	-56 bis 120	bedingt	alle Härten	geringer Platzbedarf	mehrmals		keine Beschädi- gungen	4 Jahre
Gewinde- furchende Schrauben	Klemmende Wirkung des Furchbereichs im gefurchten Gegengewinde	bis Anlaßtemp.	bedingt	Festigkeit Bohrung muß kleiner sein als Schrauben- festigkeit	Sicherungs- wirkung nur in Sackloch- bohrungen	mehrmals	alle Schmie- rungen möglich	keine	unbegrenzt

## Matrix der sichernden Elemente für Schraubverbindungen Chemische Sicherungselemente

	Hersteller, Waren- zeichen	Einsatz- temp. °C	Sichern bei dyn. Belastung	Härte der Gegenlage	Einbau- situation	Anzahl der Wiederver- wendungen	Schmierung Schraube/ Gegenlage	Oberfläche der Gegenlage	Lager- fähigkeit des Produktes
MVK, rot	Omni- Technik Precote 80	bis 150	ja	alle Härten	kein zusätzlicher Platzbedarf	einfach	sichernde MVK nicht mit SM; Mutterge- winde ölfrei	keine Beschädi- gungen	2 – 4 Jahre, bei hoher Luftfeuchte weniger
MVK, blau	3M Scotch grip 2353	bis 110	ja	alle Härten	kein zusätzlicher Platzbedarf	einfach	sichernde MVK nicht mit SM; Mutterge- winde ölfrei	keine Beschädi- gungen	2 – 4 Jahre, bei hoher Luftfeuchte weniger
MVK, türkis	Omni- Technik Precote 85	bis 170	ja	alle Härten	kein zusätzlicher Platzbedarf	einfach	sichernde MVK nicht mit SM; Mutterge- winde ölfrei	keine Beschädi- gungen	2 – 4 Jahre, bei hoher Luftfeuchte weniger
Flüssig- klebstoff			ja	auch für hohe Härten geeignet	kein zusätzlicher Platzbedarf	einfach		keine Beschädi- gungen	

## 4. Montage von Schraubenverbindungen

Die heute gebräuchlichen Anziehverfahren erfassen die aufgebrachte Vorspannkraft in der Schraube nicht direkt, sondern indirekt als Funktion des Anziehdrehmomentes, der elastischen Längenänderung, des Drehwinkels oder durch die Ermittlung des Fließbeginns der Schraube. Aufgrund der Streuungen von Reibwerten und der Ungenauigkeit der Anziehmethode resultiert die Notwendigkeit einer Überdimensionierung, welche sich mit dem Anziehungsfaktor

$$\alpha_A = F_{vmax} / F_{vmin}$$

zahlenmäßig darstellen läßt.

### 4.1 Drehmomentgesteuertes Anziehen

Über Anzugsversuche an Originalbauteilen werden zunächst die Reibverhältnisse ermittelt und anschließend das erforderliche Drehmoment festgelegt. Dieses Drehmoment muß so gewählt werden, daß auch bei ungünstigsten Voraussetzungen, z. B. niedrige Reibwerte usw., die Schraubenstreckgrenze nicht überschritten wird (Bild 4.1). Für Sechskantschrauben gem. DIN EN ISO 4014 u. ä. werden Drehmomente nach Tabelle 4.1 zugrunde gelegt. Diese gelten für eine Gesamtbeanspruchung des Schaftes von 90% der genormten Mindeststreckgrenze entsprechend der VDI-Richtlinie 2230. Die Tabellenwerte stellen die maximalen Anzugswerte dar. Für abweichende Kopfgeometrien errechnet sich das Anziehdrehmoment aus

$$M_A = F_M(0,16 \cdot P + 0,58 \cdot d_2 \cdot \mu_G + (D_{Km}/2) \cdot \mu_K)$$

Für das drehmomentgesteuerte Anziehen wird bei der Schraubenauslegung ein  $\alpha_A$  von 1,8 zugrunde gelegt.

Zur Kontrolle des Montagevorganges empfiehlt sich daher zusätzlich eine Erfassung des Enddrehwinkels, welcher ab einem festgelegten Fügoment mitgezählt wird. Der Toleranzbereich des Enddrehwinkels muß in einem definierten Bereich (Fenster) liegen, welcher auch durch Versuche ermittelt und festgelegt wird. Liegt das Enddrehmoment außerhalb dieses Fensters, zeigt der Schrauber eine n.i.O.-Verschraubung an.

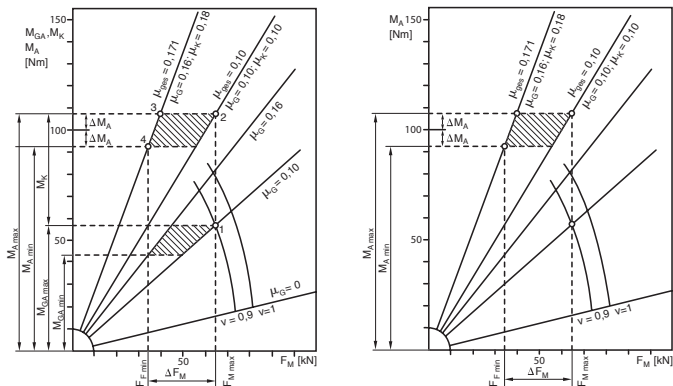
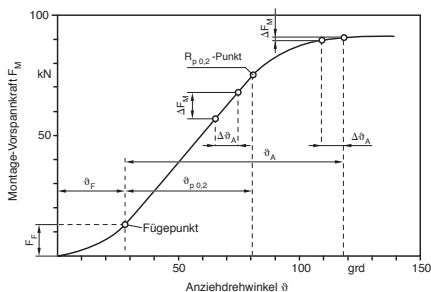


Abb. 4.1 Streuung  $\Delta F_M$  bei der drehmomentengesteuerten Montage von Schraubenverbindungen

## 4.2 Drehwinkelgesteuertes Anziehen

Zunächst wird ein Fügемoment eingeleitet, um Unebenheiten in den Trennfugen auszugleichen und die zu verspannenden Teile zur Anlage zu bringen. Anschließend wird ein definierter Weiterdrehwinkel  $\vartheta_A$  aufgebracht, mit dem die Schraube bis bzw. über den Streckgrenzpunkt angezogen wird (Bild 4.2).

Zur Kontrolle des Schraubenanzuges wird üblicherweise zusätzlich ein Drehmomentfenster festgelegt. Die Enddrehmomente am Abschaltpunkt müssen in einem vorher festgelegten Bereich (Fenster) liegen. Der große Vorteil dieses Anzugsverfahrens gegenüber dem Drehmomentanzug ist, dass über den eingestellten Winkel die Längung der Schraube im plastischen Bereich bestimmt wird. Das Abschaltmoment liegt vorzugsweise über dem Streckgrenzpunkt. Dadurch wird die Schraube hinsichtlich Ihrer Vorspannkraft voll ausgenutzt. Es wird daher ein Anziehungsfaktor  $\alpha_A = 1,0$  zugrunde gelegt.



**Abb. 4.2**  
Drehwinkelgesteuerte  
Montage von Schrauben-  
verbindungen

### 4.3 Streckgrenzgesteuertes Anziehen

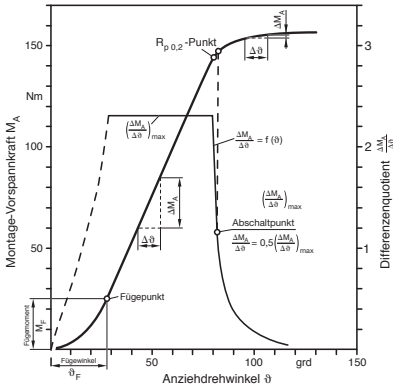
Ähnlich wie beim Drehwinkelanzug wird beim streckgrenzgesteuerten Anziehen (Bild 4.3) ein Fügемoment aufgebracht, um die Trennflächen voll aufliegen zu lassen. Von diesem Punkt wird kontinuierlich der Verdrehwinkel und das sich einstellende Drehmoment laufend gemessen und der jeweilige Differenzenquotient

$$\Delta M_a / \Delta \vartheta$$

ermittelt. Dieser Differenzenquotient ist im Proportionalbereich konstant und verringert sich bei Annäherung an die Streckgrenze der Schraube; das Drehmoment steigt nicht mehr proportional zum Drehwinkel. Sinkt dann der Wert des Differenzenquotienten unter einen im voraus fest eingestellten und gespeicherten Betrag,

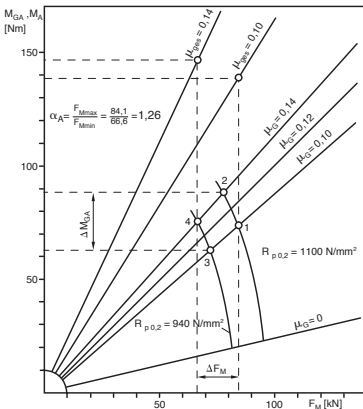
$$\text{z. B. } 0,5 * (\Delta M_a / \Delta \vartheta)$$

so schaltet der Schrauber ab und der Anziehvorgang ist beendet.



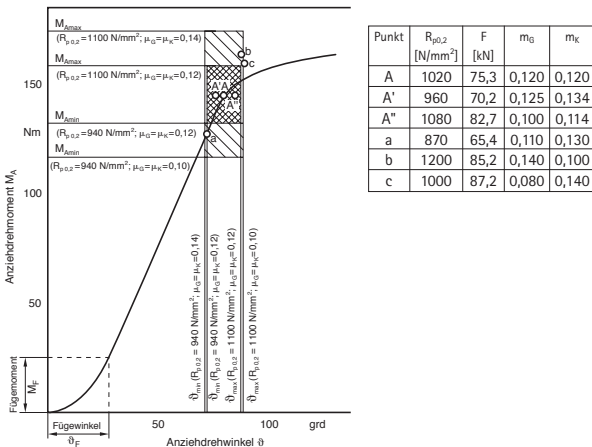
**Abb. 4.3**  
Steckgrenzgesteuertes Montage von Schraubenverbindungen

Die Lage des Abschaltpunktes im  $M_A/\theta$ -Schaubild wird im wesentlichen durch die Festigkeit der Schraube und die Reibung bestimmt. Die Montagekraft schwankt mit der Schraubenstreckgrenze und ist von der Gewindereibung abhängig (Bild 4.4).



**Abb. 4.4**  
Streuung der Montage-Vorspannkraft infolge Schwankungen der Gewindereibzahl  $\mu_G$  und der 0,2% Dehngrenze  $R_{p0,2}$  des Schraubenwerkstoffes bei der streckgrenzgesteuerten Montage von Schraubenverbindungen

Zur Kontrolle des Anzuges werden Größt- und Kleinstwerte für das Anziehdrehmoment und den Anziehdrehwinkel errechnet bzw. über Versuche ermittelt. Eingetragen in das  $M_A/\vartheta$ -Schaubild begrenzen diese Werte ein Rechteck, welches üblicherweise als grünes Fenster bezeichnet wird (Bild 4.5). Liegen die Abschalt-punkte innerhalb dieses Fensters, wird die Verschraubung als i. O. definiert.



**Abb. 4.5** „Grünes Fenster“ bei der streckgrenzgesteuerten Montage von Schraubenverbindungen

Gegenüber dem drehwinkelgesteuerten Anziehen gilt der Vorteil, dass die Schrauben eine geringere plastische Dehnung erfahren; allerdings ist das Gesamtvorspannkraftniveau etwas niedriger.

Die erforderlichen Drehmomente und die sich einstellenden Vorspannkraft lassen sich durch Multiplizieren der Werte aus Tabelle A mit folgenden Umrechnungsfaktoren abschätzen:

$$F_M \text{ bzw. } M_A = 1.1\text{-}1,3 \cdot \text{Tabellenwert}$$

4.1 Montagevorspannkraft und Anziehdrehmomente für Schafschrauben mit metrischem Gewinde nach DIN 13 und Kopfausführungen nach DIN EN ISO 4014 bei  $\nu=0,9$ "

Abmessung	Festigkeitsklasse	Montage-Vorspannkraft $F_M$ [kN] für $\mu_g$					Anziehdrehmoment $M_A$ [Nm] für $\mu_k = \mu_g$				
		0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
M6	8.8	10,7	10,4	10,2	09,6	09,0	07,7	09,0	10,1	12,3	14,1
$A_5 = 20,1 \text{ mm}^2$	10.9	15,7	15,3	14,9	14,1	13,2	11,3	13,2	14,9	18,0	20,7
	12.9	18,4	17,9	17,5	16,5	15,5	13,2	15,4	17,4	21,1	24,2
M7	8.8	15,5	15,1	14,8	14,0	13,1	12,6	14,8	16,8	20,5	23,6
$A_5 = 28,9 \text{ mm}^2$	10.9	22,7	22,5	21,7	20,5	19,3	18,5	21,7	24,7	30,1	34,7
	12.9	26,6	26,0	25,4	24,0	22,6	21,6	25,4	28,9	35,2	40,6
M8 x 1,0	8.8	21,2	20,7	20,2	19,2	18,1	19,3	22,8	26,1	32,0	37,0
$A_5 = 39,2 \text{ mm}^2$	10.9	31,1	30,4	29,7	28,1	26,5	28,4	33,5	38,3	47,0	54,3
	12.9	36,4	35,6	34,7	32,9	31,0	33,2	39,2	44,9	55,0	63,6
M8 x 1,25	8.8	19,5	19,1	18,6	17,6	16,5	18,5	21,6	24,6	29,8	34,3
$A_5 = 36,6 \text{ mm}^2$	10.9	28,7	28,0	27,3	25,8	24,3	27,2	31,8	36,1	43,8	50,3
	12.9	33,6	32,8	32,0	30,2	28,4	31,8	37,2	42,2	51,2	58,9
M9 x 1,0	8.8	27,7	27,2	26,5	25,2	23,7	28,0	33,2	38,1	46,9	54,4
$A_5 = 51,0 \text{ mm}^2$	10.9	40,7	39,9	39,0	37,0	34,9	41,1	48,8	55,9	68,8	79,8
	12.9	47,7	46,7	45,6	43,3	40,8	48,1	57,0	65,4	80,6	93,4
M10 x 1,0	8.8	35,2	34,5	33,7	32,0	30,2	39,0	46,0	53,0	66,0	76,0
$A_5 = 64,5 \text{ mm}^2$	10.9	51,7	50,6	49,5	47,0	44,4	57,0	68,0	78,0	97,0	112,0
	12.9	60,4	59,2	57,9	55,0	51,9	69,0	80,0	91,0	113,0	131,0
M10 x 1,25	8.8	33,1	32,4	31,6	29,9	28,2	38,0	44,0	51,0	62,0	72,0
$A_5 = 61,2 \text{ mm}^2$	10.9	48,6	47,5	46,4	44,0	41,4	55,0	65,0	75,0	92,0	106,0
	12.9	56,8	55,6	54,3	51,4	48,5	65,0	76,0	87,0	107,0	124,0

M10 x 1,5	8.8	31,0	30,3	29,6	27,9	26,3	36,0	43,0	48,0	59,0	68,0
A <sub>S</sub> = 58,0 mm <sup>2</sup>	10.9	45,6	44,5	43,4	41,0	38,6	53,0	63,0	71,0	87,0	100,0
	12.9	53,3	52,1	50,8	48,0	45,2	62,0	73,0	83,0	101,0	116,0
M12 x 1,25	8.8	50,1	49,1	48,0	45,6	43,0	66,0	79,0	90,0	111,0	129,0
A <sub>S</sub> = 92,1 mm <sup>2</sup>	10.9	73,6	72,1	70,5	66,9	63,2	97,0	116,0	133,0	164,0	190,0
	12.9	86,2	84,4	82,5	78,3	73,9	114,0	135,0	155,0	192,0	222,0
M12 x 1,5	8.8	47,6	46,6	45,5	43,1	40,6	64,0	76,0	87,0	107,0	123,0
A <sub>S</sub> = 88,1 mm <sup>2</sup>	10.9	70,0	68,5	66,8	63,3	59,7	95,0	112,0	128,0	157,0	181,0
	12.9	81,9	80,1	78,2	74,1	69,8	111,0	131,0	150,0	183,0	212,0
M12 x 1,75	8.8	45,2	44,1	43,0	40,7	38,3	63,0	73,0	84,0	102,0	117,0
A <sub>S</sub> = 84,3 mm <sup>2</sup>	10.9	66,3	64,8	63,2	59,8	56,3	92,0	108,0	123,0	149,0	172,0
	12.9	77,6	75,9	74,0	70,0	65,8	108,0	126,0	144,0	175,0	201,0
M14 x 1,5	8.8	67,8	66,4	64,8	61,5	58,1	104,0	124,0	142,0	175,0	203,0
A <sub>S</sub> = 125 mm <sup>2</sup>	10.9	99,5	97,5	95,2	90,4	85,3	153,0	182,0	209,0	257,0	299,0
	12.9	116,5	114,1	111,4	105,8	99,8	179,0	213,0	244,0	301,0	349,0
M14 x 2,0	8.8	62,0	60,6	59,1	55,9	52,6	100,0	117,0	133,0	162,0	187,0
A <sub>S</sub> = 115 mm <sup>2</sup>	10.9	91,0	88,9	86,7	82,1	77,2	146,0	172,0	195,0	238,0	274,0
	12.9	106,5	104,1	101,5	96,0	90,4	171,0	201,0	229,0	279,0	321,0
M16 x 1,5	8.8	91,4	89,6	87,6	83,2	78,6	159,0	189,0	218,0	269,0	314,0
A <sub>S</sub> = 167 mm <sup>2</sup>	10.9	134,2	131,6	128,7	122,3	115,5	233,0	278,0	320,0	396,0	461,0
	12.9	157,1	154,0	150,6	143,1	135,1	273,0	325,0	374,0	463,0	539,0
M16 x 2,0	8.8	84,7	82,9	80,9	76,6	72,2	153,0	180,0	206,0	252,0	291,0
A <sub>S</sub> = 157 mm <sup>2</sup>	10.9	124,4	121,7	118,8	112,6	106,1	224,0	264,0	302,0	370,0	428,0
	12.9	145,5	142,4	139,0	131,7	124,1	262,0	309,0	354,0	433,0	501,0
M18 x 1,5	8.8	122,0	120,0	117,0	112,0	105,0	237,0	283,0	327,0	406,0	473,0
A <sub>S</sub> = 216 mm <sup>2</sup>	10.9	174,0	171,0	167,0	159,0	150,0	337,0	403,0	465,0	578,0	674,0
	12.9	204,0	200,0	196,0	186,0	176,0	394,0	472,0	544,0	676,0	789,0

Abmessung	Festigkeitsklasse	Montage-Vorspannkraft $F_M$ [kN] für $\mu_g$					Anziehmoment $M_A$ [Nm] für $\mu_k = \mu_g$				
		0,08	0,10	0,12	0,16	0,20	0,08	0,10	0,12	0,16	0,20
M18 x 2,0	8.8	114,0	112,0	109,0	104,0	98,0	229,0	271,0	311,0	383,0	444,0
$A_5 = 204 \text{ mm}^2$	10.9	163,0	160,0	156,0	148,0	139,0	326,0	386,0	443,0	545,0	632,0
	12.9	191,0	187,0	182,0	173,0	163,0	381,0	452,0	519,0	638,0	740,0
M18 x 2,5	8.8	107,0	104,0	102,0	96,0	91,0	220,0	259,0	295,0	360,0	415,0
$A_5 = 193 \text{ mm}^2$	10.9	152,0	149,0	145,0	137,0	129,0	314,0	369,0	421,0	513,0	592,0
	12.9	178,0	174,0	170,0	160,0	151,0	367,0	432,0	492,0	601,0	692,0
M20 x 1,5	8.8	154,0	151,0	148,0	141,0	133,0	327,0	392,0	454,0	565,0	660,0
$A_5 = 272 \text{ mm}^2$	10.9	219,0	215,0	211,0	200,0	190,0	466,0	558,0	646,0	804,0	90,0
	12.9	257,0	252,0	246,0	234,0	222,0	545,0	653,0	756,0	941,0	1100,0
M20 x 2,5	8.8	136,0	134,0	130,0	123,0	116,0	308,0	363,0	415,0	509,0	588,0
$A_5 = 245 \text{ mm}^2$	10.9	194,0	190,0	186,0	176,0	166,0	438,0	517,0	592,0	725,0	838,0
	12.9	227,0	223,0	217,0	206,0	194,0	513,0	605,0	692,0	848,0	980,0
M22 x 1,5	8.8	189,0	186,0	182,0	173,0	164,0	440,0	529,0	613,0	765,0	896,0
$A_5 = 333 \text{ mm}^2$	10.9	269,0	264,0	259,0	247,0	233,0	627,0	754,0	873,0	1090,0	1276,0
	12.9	315,0	309,0	303,0	289,0	273,0	734,0	882,0	1022,0	1275,0	1493,0
M22 x 2,5	8.8	170,0	166,0	162,0	154,0	145,0	417,0	495,0	567,0	697,0	808,0
$A_5 = 303 \text{ mm}^2$	10.9	242,0	237,0	231,0	213,0	207,0	595,0	704,0	807,0	993,0	1151,0
	12.9	283,0	277,0	271,0	257,0	242,0	696,0	824,0	945,0	1162,0	1347,0
M24 x 1,5	8.8	228,0	224,0	219,0	209,0	198,0	570,0	686,0	769,0	995,0	1166,0
$A_5 = 401 \text{ mm}^2$	10.9	325,0	319,0	312,0	298,0	282,0	811,0	977,0	1133,0	1417,0	1661,0
	12.9	380,0	373,0	366,0	347,0	330,0	949,0	1143,0	1326,0	1658,0	1943,0
M24 x 2,0	8.8	217,0	210,0	209,0	198,0	187,0	557,0	666,0	769,0	955,0	1114,0
$A_5 = 384 \text{ mm}^2$	10.9	310,0	304,0	297,0	282,0	267,0	793,0	949,0	1095,0	1360,0	1586,0
	12.9	362,0	355,0	348,0	331,0	312,0	928,0	1110,0	1282,0	1591,0	1856,0

M24 x 3,0	8.8	196,0	192,0	188,0	178,0	168,0	529,0	625,0	714,0	875,0	1011,0
A <sub>s</sub> = 353 mm <sup>2</sup>	10.9	280,0	274,0	267,0	253,0	239,0	754,0	890,0	1017,0	1246,0	1440,0
	12.9	327,0	320,0	313,0	296,0	279,0	882,0	1041,0	1190,0	1458,0	1685,0
M27 x 1,5	8.8	293,0	288,0	282,0	269,0	255,0	822,0	992,0	1153,0	1445,0	1697,0
A <sub>s</sub> = 514 mm <sup>2</sup>	10.9	418,0	410,0	402,0	383,0	363,0	1171,0	1413,0	1643,0	2059,0	2417,0
	12.9	489,0	480,0	470,0	448,0	425,0	1370,0	1654,0	1922,0	2409,0	2828,0
M27 x 2,0	8.8	281,0	276,0	270,0	257,0	243,0	806,0	967,0	1119,0	1394,0	1630,0
A <sub>s</sub> = 496mm <sup>2</sup>	10.9	400,0	393,0	384,0	366,0	346,0	1149,0	1378,0	1594,0	1986,0	2322,0
	12.9	468,0	460,0	450,0	428,0	405,0	1344,0	1612,0	1866,0	2324,0	2717,0
M27 x 3,0	8.8	257,0	252,0	246,0	234,0	220,0	772,0	915,0	1050,0	1292,0	1498,0
A <sub>s</sub> = 459 mm <sup>2</sup>	10.9	367,0	359,0	351,0	333,0	314,0	1100,0	1304,0	1496,0	1840,0	2134,0
	12.9	429,0	420,0	410,0	389,0	367,0	1287,0	1526,0	1750,0	2153,0	2497,0

## 4.5 Anziehdrehmomente für überelastische Schraubenmontage

Die Voranziehdrehmomente und Weiterdrehwinkel der folgenden Tabelle gelten für Schraubenklemmlängen von 1d bis 4d, die mit überelastischen Anziehverfahren (steckgrenz- und drehwinkelgesteuert) montiert werden. Bei kleineren und größeren Klemmlängen sind die erforderlichen Drehwinkel versuchsmäßig zu bestimmen. In solchen Fällen sind vorzugsweise bei gleichen Voranziehdrehmomenten Drehwinkel von 45° bzw. 180° vorzusehen. Die Wiederverwendbarkeit von überelastisch montierten Schraubenverbindungen ist eingeschränkt.

Gewinde	Festigkeitsklasse	Voranziehdrehmoment [Nm] + Drehwinkel 90°	Vorspannkraft [kN] (nach überelastischer Montage)		Anziehdrehmoment [Nm] (nach überelastischer Montage)	
			F <sub>Mmin</sub>	F <sub>Mmax</sub>	M <sub>Amin</sub>	M <sub>Amax</sub>
M 6	8.8	8	10,5	14,5	10,0	17
	10.9	10	15,5	20	14,5	23,5
	12.9	10	18,5	22,5	17,0	26,5
M 8	8.8	20	19,5	26	24,0	41
	10.9	20	29	36	35,5	57
	12.9	20	34	41,5	41,5	65
M 10	8.8	40	31	41,5	47,5	81
	10.9	50	45,5	57	70	110
	12.9	50	54	66	81	130
M 12 x 1,5	8.8	60	48	64	85	154
	10.9	90	71	88	125	200
	12.9	90	83	100	145	230
M 14 x 1,5	8.8	100	69	91	140	240
	10.9	150	100	125	205	335
	12.9	150	115	145	235	380
M 16 x 1,5	8.8	120	95	125	215	380
	10.9	180	135	170	310	510
	12.9	180	160	195	360	585
M 18 x 1,5	8.8	140	125	165	315	555
	10.9	210	175	220	450	745
	12.9	210	205	250	525	855

#### 4.6 Richtwerte für Anziehfaktoren

Anziehverfahren	Anziehfaktoren $\alpha_a$	Bemerkung
Streckgrenzgesteuert, motorisch oder manuell	1,18	
Drehwinkelgesteuert, motorisch oder manuell	1,18	Voranziehdrehmoment und Drehwinkel durch Versuch bestimmt
Verlängerungsmessung der kalibrierten Schraube	1,2	
Hydraulisches Anziehen	1,2 bis 1,6	Lange Schrauben: niedrigere Werte Kurze Schrauben: höhere Werte Eingestellt durch Längen- und Druckmessung
Drehmomentengesteuert, mit Drehmomentenschlüssel oder Schrauber mit Drehmomentenbegrenzung	1,4 bis 1,6	Ermittlung des Sollmomentes durch Messung von FM an der Verschraubung
	1,6 bis 1,8	Sollmoment mit für den jeweiligen Fall geschätzter Reibungszahl bestimmt
Drehmomentengesteuert, mit Drehschrauber	1,7 bis 2,5	Schrauber wird mit einem Moment eingestellt, das über ein Nachziehmoment emittelt wird
Impulsgesteuert, mit Schlagschrauber	2,5 bis 4	

#### 4.7 Empfohlene Mindest-Einschraubtiefen für Sacklochgewinde (VDI 2230)

Schraubenfestigkeitsklasse Gewindefinheit d/P	8.8	8.8	10.9	10.9
	< 9	≥ 9	< 9	≥ 9
AlCuMg1 F 40	1,1 d	1,4 d		-
GG 22	1,0 d	1,2 d		1,4 d
St 37	1,0 d	1,25 d		1,4 d
St 50	0,9 d	1,0 d		1,2 d
C 45 V	0,8 d	0,9 d		1,0 d

## 5. Korrosionsschutz und Schmierung

### 5.1 Oberflächenbeschichtungssysteme (Auswahl)

Angaben entsprechen dem Kenntnisstand zum Zeitpunkt der Drucklegung.

(Kurz-) Bezeichnung	Basisschicht / Basecoat	Passivierung	Deckschicht / Topcoat / Versiegelung
<b>Cr(VI)-haltige Oberflächen</b>			
Zn gelb	galv. Zink	Gelbchromatierung	-
Zn + Metex LM	galv. Zink (sauer)	Gelbchromatierung	Metex <sup>®</sup> LM
ZnFe schwarz	galv. Zink-Eisen	Schwarzchromatierung	-
ZnNi transparent	galv. Zink-Nickel	Transparentpassivierung	-
ZnNi schwarz	galv. Zink-Nickel	Schwarzchromatierung	-
DAC 320	DACROMET <sup>®</sup> 320		-
DAC 500	DACROMET <sup>®</sup> 500		-
DAC 320 + Plus L	DACROMET <sup>®</sup> 320		Plus <sup>®</sup> L
<b>Cr(VI)-freie Oberflächen</b>			
op dünn	Zinkphosphat	-	-
Zn transp. / Zn Dünn III	galv. Zink	Dünnschicht Cr(III)	-
Zn Dünn III + V	galv. Zink	Dünnschicht Cr(III)	Versiegelung
Zn Dick III	galv. Zink	Dickschicht Cr(III)	-
Zn Dick III + V	galv. Zink	Dickschicht Cr(III)	Versiegelung
ZnFe Pass III	galv. Zink-Eisen	Cr(III)-haltig	-
ZnFe Pass III + V	galv. Zink-Eisen	Cr(III)-haltig, ggf. schwarz	Versiegelung ggf. schwarz
ZnNi Pass III	galv. Zink-Nickel	Cr(III)-haltig	-
ZnNi Pass III + V	galv. Zink-Nickel	Cr(III)-haltig, ggf. schwarz	Versiegelung ggf. schwarz
DS (GZ)	-		DELTA <sup>®</sup> -Seal (GZ)
GEO 500	GEOMET <sup>®</sup> 500		-
DT/DP 100 (+ SM)	DELTA <sup>®</sup> -Tone / DELTA <sup>®</sup> -Protekt KL 100		-
GEOMET + V	GEOMET <sup>®</sup> 321		z.B. DACROLUB x
DT / DP 100 + DS GZ	DELTA <sup>®</sup> -Tone / DELTA <sup>®</sup> -Protekt KL 100		DELTA <sup>®</sup> -Seal GZ
DT / DP 100 + Klevercol	DELTA <sup>®</sup> -Tone / DELTA <sup>®</sup> -Protekt KL 100		Klevercol <sup>®</sup>
GEOBLACK	GEOMET <sup>®</sup> 500		Plus ML black
DP 100 + DP 30x	DELTA <sup>®</sup> -Protekt KL 100		DELTA <sup>®</sup> -Protekt VH 30x
GEO + Plus VL	GEOMET <sup>®</sup> 321		Plus <sup>®</sup> VL
GEOMET + Plus x	GEOMET <sup>®</sup> 321		Plus <sup>®</sup> 10 / L / ML / M
B 46 + B 18 x	MAGNI B 46		MAGNI B 18 x

<sup>1</sup> Anhaltswerte für Teile im Neuzustand (Kopf u. Gewindeende), im Einzelfall zu prüfen / durch nachfolgende Handlungoperationen können diese Werte ggf. deutlich reduziert werden

Optik	Schicht- dicke [µm]	zusätzliche Schmiermittel- behandlung	NaCl-Test DIN 50 021 RR (WR) <sup>1, 2</sup>	Chemikalien- beständigkeit <sup>1, 2</sup> (Felgenreiniger)
gelb	≥ 8	notwendig	144h (72h)	-
gelblich	≥ 15	TTF	600h (192h)	-
schwarz	≥ 8	notwendig	360h (48h)	-
silber	≥ 8	notwendig	480h (240h)	-
schwarz	≥ 8	notwendig	480h (120h)	-
silber	≥ 5 / ≥ 8	notwendig	480h / 720h	Nein
silber	≥ 5 / ≥ 8	- (möglich)	480h / 720h	Nein
silber	≥ 5	- (möglich)	720h	(Ja)
dunkel / schwarz	1 - 4	geölt	8h	Nein
silber	≥ 8	notwendig	96h (6h)	-
silber	≥ 8	ggf. notwendig	144h (48h)	-
silber (irisierend)	≥ 8	notwendig	168h (72h)	-
silber	≥ 8	ggf. notwendig	240h (96h)	-
(silber)	≥ 8	notwendig	240h (24h)	-
silber / schwarz	≥ 8	ggf. notwendig	480h (120h)	-
(silber)	≥ 8	notwendig	480h (120h)	-
silber / schwarz	≥ 8	ggf. notwendig	720h (240h)	-
silber / schwarz	≥ 10	ggf. notwendig	120h	Ja
silber	≥ 12	- (möglich)	480 / 720h	Nein
silber	≥ 8 / ≥ 12	ggf. notwendig	240h / 480h	Nein
silber	≥ 8 / ≥ 12	- (möglich)	480h	bedingt
silber / schwarz	≥ 12	- (möglich)	480h (120h)	Ja
schwarz	≥ 12	- (möglich)	480h (240h)	Ja
schwarz	≥ 12	- (möglich)	720h (120h)	(Ja)
silber	≥ 12	- (möglich)	480 / 720h	(Ja)
silbergrau	≥ 12	- (möglich)	480 / 720h	(Ja)
silbergrau	≥ 12	- (möglich)	480 / 720h	(Ja)
silbergrau	≥ 12	- (möglich)	480 / 720h	Ja

<sup>2</sup> bei Cr(VI)-freien Oberflächen ist gegenüber Cr(VI)-haltigen Oberflächen ein wesentlich stärkerer Größeneinfluß zu berücksichtigen (kein Selbstheilungseffekt)

## 5.2 Schmiermittelbehandlung

Schmierstoffe haben in erster Linie die Aufgabe definierte und konstante Reibungszahlen einzustellen. Neben dieser Aufgabe können Schmierstoffe ggf. auch weitere Funktionen (erhöhter Korrosionsschutz, Chemikalienbeständigkeit, Optik usw.) erfüllen.

### Vorgaben VDA 235-101 / DIN 946 / DIN EN ISO 16047

Für schmierstoffbehandelte Schrauben wird gemäß VDA Prüfblatt 235-101 eine Gesamtreibungszahl  $\mu_{\text{ges}}$  von 0,09 - 0,14 gefordert (Teilreibungszahlen  $\mu_{\text{Kopf}}$  und  $\mu_{\text{Gewinde}}$  zwischen 0,08 und 0,16). Die Ermittlung der Reibungszahlen erfolgt in der Regel gemäß DIN 946 bzw. DIN EN ISO 16047.

### Einflußfaktoren

(Bei der Auswahl eines geeigneten Schmierstoffes zu berücksichtigen)

Die sich in der Praxis tatsächlich ergebenden Reibungszahlen sowie deren Streuung sind neben der Schmierstoffbehandlung stark von folgenden Einflußfaktoren abhängig:

- **Beschichtungssystem** der Schraube: Art der Beschichtung, Schichtdicke, ...
- **Gegenlage:** hart (z.B. gehärteter Stahl), mittel (z.B. Karosserieblech), weich (z.B. Alu), nicht beschichtet, beschichtet (z.B. KTL)
- **Geometrie des Schraubenkopfes:** Innenträger (konvex) / Außenträger (konkav), Auflagedurchmesser, ...
- **Mutterngewinde:** blank / beschichtet (Art der Beschichtung), Quetschmutter, ...
- **Randbedingungen:** Temperatur, Feuchtigkeit, Anziehggeschwindigkeit, Mehrfachverschraubung ...

### Bemerkungen

Das im VDA Prüfblatt 235-101 definierte Reibungszahlfenster kann in der Regel immer durch geeignete Schmierstoffbehandlung erreicht werden. Die prozeßsichere Einhaltung in der Serie mit akzeptablen Streubereichen kann jedoch problematisch sein (» Einflußfaktoren). Für Mehrfachverschraubungen eignen sich integrierte Schmierstoffe grundsätzlich am besten.

Bei Bedarf sind Reibungszahlen über 0,14 durch geeignete Schmierstoffbehandlung bzw. bei einigen Beschichtungssystemen ohne zusätzliche Schmierstoffbehandlung erreichbar. Die Streuung der Reibungszahlen nimmt mit steigenden Reibungszahlen zu. Reibungszahlen unter 0,08 sind in der Regel technisch nur schwer einzustellen und aufgrund der erforderlichen Sicherheit gegen selbsttätiges Lösen einer Verbindung auch nicht erwünscht.



## Standard-Schmierstoffe mit üblichen Anwendungsbereichen (Auswahl)

Produktbezeichnung	Reibungszahlen (DIN 946)	Anwendungsbereich
<b>nachträglich aufgebraachte Schmierstoffe</b>		
Gardorol CP 8006 o.ä.	0,08 – 0,14	Phosphatierte Schrauben (Motorschrauben)
Torque 'n Tension Fluid	0,09 – 0,14	Zinklamellenbeschichtungen / galv. Oberfläche
microGLEIT DF911 / 921	0,09 – 0,14	Zinklamellenbeschichtungen / galv. Oberfläche
Gleitmo® 605	0,07 – 0,14	galvanische Oberflächen
Gleitmo® 2332 V	0,09 – 0,14	Anwendungen bei hohen Temperaturen
OKS® 1700	0,09 – 0,14	Alu-Schrauben / gewindeformende Schrauben
OKS® 1765	0,08 – 0,14	gewindeformende Schrauben
Gleitmo® 627	0,09 – 0,14	austenitische Schrauben
<b>Integrierte Schmierstoffe</b>		
Torque 'n Tension 11 / 15	0,08 – 0,14 / 0,12 – 0,18	galvanische Oberflächen
microGLEIT DCP 9000	0,09 – 0,14	Zinklamellenbeschichtungen / galv. Oberfläche
DACROLUB® 10 / 15	0,10 – 0,14 / 0,15 – 0,20	DACROMET® 320 / GEOMET® 321
Geomet® 500	0,12 – 0,18	-
Plus® VL	0,09 – 0,14	GEOMET® 321
Plus® L / ML / M	0,08 – 0,14 / 0,10 – 0,16 / 0,15 – 0,20	DACROMET® 320 / GEOMET® 321
DELTA®-Seal GZ	0,10 – 0,16	DELTA®-Tone / DELTA®-Protekt KL 100
DP VH 301 GZ / VH 302 GZ	0,09 – 0,14 / 0,10 – 0,16	DELTA®-Tone / DELTA®-Protekt KL 100
B 18 / B 18 N / B 18 T	0,12 – 0,18 / 0,15 – 0,21 / 0,18 – 0,24	MAGNI B 46

## 6. Dauerfestigkeitsgerechte Gestaltung

Die Dauerfestigkeit einer Schraubenverbindung (Tab. 6.1) wird durch die folgenden Maßnahmen erhöht:

- a) Gewinde nach der Wärmebehandlung gerollt (Tab. 6.1);  
Achtung: Bei Temperaturbelastung erfolgt der Abbau der Eigenspannungen.  
Daher Einsatztemperatur und Temperaturbelastung bei Beschichtungsarbeitsgängen beachten.
- b) Kaltumgeformte Schrauben aus vergütetem Vormaterial bzw. Festigkeit 800 K.
- c) Schraubengeometrie soll entsprechend größtmöglicher elastischer Nachgiebigkeit gestaltet werden, z. B.: Gewinde bis unter Kopf, Dünnschaft, Dehnschaft, Hohlenschaft, Wahl möglichst großer Klemmlängen;
- d) Beachtung der Wärmeausdehnung der verschraubten Teile und des Verbindungselements. Wenn möglich Werkstoffe mit ähnlichen Ausdehnungskoeffizienten wählen.
- e) Verwendung des MJ Gewindes mit vergrößertem Kernradius nach DIN ISO 5855 Teil 1-3.
- f) Gleichmäßige Lastverteilung im Gewinde:
  - 1.) Mutterwerkstoffe kleineren E-Moduls (z. B. Gußeisen, Aluminium, Titan)
  - 2.) Mutterwerkstoffe geringerer Festigkeit (Einschraubtiefe beachten!)
  - 3.) Mutter als Zugmutter ausgebildet
- g) Dauerfestgerecht gestalteter Schraubenkopf (z. B. großer Radius im Kopf-Schaft-Übergang).  
Spanende Bearbeitung, besonders unter dem Schraubenkopf vermeiden.
- h) Reduzierung von Setzbeträgen durch:
  - 1.) Reduzierung von Trennfugen
  - 2.) Vermeidung der Überbeanspruchung der Gegenlage.  
(Flächenpressung beachten!)
  - 3.) Verwendung von möglichst glatten Auflageflächen



## 6.1 Abschätzung der Dauerhaltbarkeit (Anhaltswerte)

a) Schlußvergütete Schrauben

$$\pm \delta_{ASV} = 0,75 (180/d + 52)$$

b) Schlußgewalzte Schrauben

$$\pm \delta_{ASG} = (2 - F_V / F_{0,2}) \delta_{ASV}$$

## 7. Verschiedenes

### 7.1 Umwertungstabellen Härte und Zugfestigkeit

Härteprüfung und Umwertung  
Kaltumformwerkstoffe und Stanzteile im **unvergüteten** Zustand  
HB, HV, HRc und Zugfestigkeit  
(nach DIN 50150 Tabelle A.1 – Okt. 2000) – Werte z.T. interpoliert

Brinell			Umwertung			
∅ 2,5 [mm]	∅ 5 [mm]	∅ 10 [mm]	HB	HV	HRc	Rm
1,839 [kN]	7,355 [kN]	29,42 [kN]				[N/mm <sup>2</sup> ]
0,750	1,50	3,00	415	436	44,0	1407
0,760	1,52	3,04	404	424	43,1	1367
0,770	1,54	3,08	393	413	42,1	1331
0,780	1,56	3,12	383	402	41,0	1295
0,790	1,58	3,16	373	392	40,0	1262
0,800	1,60	3,20	363	381	38,9	1225
0,810	1,62	3,24	354	372	37,9	1195
0,820	1,64	3,28	345	362	36,8	1163
0,830	1,66	3,32	337	354	35,9	1137
0,840	1,68	3,36	329	346	34,9	1111
0,850	1,70	3,40	321	337	34,2	1082
0,860	1,72	3,44	313	329	33,3	1056
0,870	1,74	3,48	306	321	32,4	1031
0,880	1,76	3,52	298	313	31,5	1005
0,890	1,78	3,56	292	307	30,6	986
0,900	1,80	3,60	285	299	29,8	960
0,910	1,82	3,64	278	292	28,9	937
0,920	1,84	3,68	272	286	27,9	918
0,930	1,86	3,72	266	279	27,1	895
0,940	1,88	3,76	260	273	26,2	876
0,950	1,90	3,80	255	268	25,2	860
0,960	1,92	3,84	249	261	24,5	837
0,970	1,94	3,88	244	256	23,4	821

Brinell			HB	Umwertung		
∅ 2,5 [mm] 1,839 [kN]	∅ 5 [mm] 7,355 [kN]	∅ 10 [mm] 29,42 [kN]		HV	HRc	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]
0,980	1,96	3,92	239	251	-	805
0,990	1,98	3,96	234	246	-	789
1,000	2,00	4,00	229	240	-	770
1,010	2,02	4,04	224	235	-	754
1,020	2,04	4,08	219	230	-	738
1,030	2,06	4,12	215	226	-	725
1,040	2,08	4,16	211	222	-	712
1,050	2,10	4,20	207	217	-	696
1,060	2,12	4,24	202	212	-	680
1,070	2,14	4,28	198	208	-	667
1,080	2,16	4,32	195	205	-	657
1,090	2,18	4,36	191	201	-	644
1,100	2,20	4,40	187	196	-	631
1,110	2,22	4,44	184	193	-	621
1,120	2,24	4,48	180	189	-	607
1,130	2,26	4,52	177	186	-	597
1,140	2,28	4,56	174	183	-	587
1,150	2,30	4,60	170	179	-	573
1,160	2,32	4,64	167	175	-	563
1,170	2,34	4,68	164	172	-	553
1,180	2,36	4,72	161	169	-	543
1,190	2,38	4,76	158	166	-	533
1,200	2,40	4,80	156	164	-	526
1,210	2,42	4,84	153	161	-	516
1,220	2,44	4,88	150	158	-	506

Härteprüfung und Umwertung  
 Kaltumformwerkstoffe und Stanzteile im **vergüteten** Zustand  
 HB, HV, HRc und Zugfestigkeit  
 (nach DIN 50150 Tabelle B.2 – Okt. 2000) – Werte z.T. interpoliert

Brinell			HBW	Umwertung		
Ø 2,5 [mm] 1,839 [kN]	Ø 5 [mm] 7,355 [kN]	Ø 10 [mm] 29,42 [kN]		HV	HRc	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]
0,720	1,44	2,88	451	458	46,2	1424
0,725	1,45	2,90	444	450	45,7	1401
0,730	1,46	2,92	438	444	45,4	1390
0,735	1,47	2,94	432	438	44,7	1365
0,740	1,48	2,96	426	432	44,3	1347
0,745	1,49	2,98	420	426	43,7	1328
0,750	1,50	3,00	415	421	43,3	1317
0,755	1,51	3,02	409	414	43,0	1294
0,760	1,52	3,04	404	409	42,4	1281
0,765	1,53	3,06	398	403	41,8	1260
0,770	1,54	3,08	393	398	41,3	1244
0,775	1,55	3,10	388	393	40,8	1238
0,780	1,56	3,12	383	388	40,4	1214
0,785	1,57	3,14	378	383	39,9	1198
0,790	1,58	3,16	373	378	39,4	1185
0,795	1,59	3,18	368	373	38,9	1168
0,800	1,60	3,20	363	368	38,4	1152
0,805	1,61	3,22	359	364	38,0	1140
0,810	1,62	3,24	354	359	37,5	1125
0,815	1,63	3,26	350	355	37,1	1113
0,820	1,64	3,28	345	350	36,5	1097
0,825	1,65	3,30	341	346	36,0	1085
0,830	1,66	3,32	337	341	35,5	1073
0,835	1,67	3,34	333	337	35,1	1060
0,840	1,68	3,36	329	333	34,6	1046
0,845	1,69	3,38	325	329	34,2	1033



Brinell			HB	Umwertung		
∅ 2,5 [mm] 1,839 [kN]	∅ 5 [mm] 7,355 [kN]	∅ 10 [mm] 29,42 [kN]		HV	HRc	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]
0,850	1,70	3,40	321	325	33,7	1020
0,855	1,71	3,42	317	321	33,2	1006
0,860	1,72	3,44	313	317	32,7	994
0,865	1,73	3,46	309	313	32,2	981
0,870	1,74	3,48	306	310	31,8	972
0,875	1,75	3,50	302	306	31,3	959
0,880	1,76	3,52	298	302	30,8	946
0,885	1,77	3,54	295	299	30,4	937
0,890	1,78	3,56	292	296	29,9	925
0,895	1,79	3,58	288	292	29,3	915
0,900	1,80	3,60	285	289	28,9	906
0,905	1,81	3,62	282	286	28,5	896
0,910	1,82	3,64	278	282	28,0	883
0,915	1,83	3,66	275	279	27,6	874
0,920	1,84	3,68	272	276	27,1	864
0,925	1,85	3,70	269	273	26,7	852
0,930	1,86	3,72	266	270	26,2	845
0,935	1,87	3,74	263	268	26,0	842
0,940	1,88	3,76	260	266	25,6	832
0,945	1,89	3,78	257	262	24,9	819
0,950	1,90	3,80	255	260	24,6	813
0,955	1,91	3,82	252	257	24,1	803

## 7.2 Grenzmaße Regel- und Feingewinde

Metrisches ISO-Gewinde, Grenzmaße für Regelgewinde, DIN 13 Teil 20, Oktober 1983

Bezeichnung	max. 4h - 6h	min. 4h	min. 6h	max. 4g-6g	min. 4g	min. 6g	max. 4e-6e	min. 4e	min. 6e
M 3 x 0,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	3,000 2,675 2,387	2,933 2,627 2,320	2,894 2,600 2,293	2,980 2,655 2,367	2,913 2,607 2,299	2,874 2,580 2,273	2,950 2,625 2,337	2,883 2,577 2,270	2,844 2,550 2,243
M 4 x 0,7 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	4,000 3,545 3,141	3,910 3,489 3,058	3,860 3,455 3,024	3,978 3,523 3,119	3,888 3,467 3,036	3,838 3,433 3,002	3,944 3,489 3,085	3,854 3,433 3,002	3,804 3,399 2,968
M 5 x 0,8 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	5,000 4,480 4,019	4,905 4,420 3,928	4,850 4,385 3,893	4,976 4,456 3,995	4,881 4,396 3,903	4,826 4,361 3,869	4,940 4,420 3,959	4,845 4,360 3,868	4,790 4,325 3,833
M 6 x 1,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	6,000 5,350 4,773	5,888 5,279 4,663	5,820 5,238 4,622	5,974 5,324 4,747	5,862 5,253 4,637	5,794 5,212 4,596	5,940 5,290 4,713	5,828 5,219 4,603	5,760 5,178 4,562
M 7 x 1,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	7,000 6,350 5,773	6,888 6,279 5,663	6,820 6,238 5,622	6,974 6,324 5,747	6,862 6,253 5,637	6,794 6,212 5,596	6,940 6,290 5,713	6,828 6,219 5,603	6,760 6,178 5,562
M 8 x 1,25 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	8,000 7,188 6,466	7,868 7,113 6,343	7,788 7,070 6,300	7,972 7,160 6,438	7,840 7,085 6,315	7,760 7,042 6,272	7,937 7,125 6,403	7,805 7,050 6,280	7,725 7,007 6,237
M 9 x 1,25 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	9,000 8,188 7,466	8,868 8,113 7,343	8,788 8,070 7,300	8,972 8,160 7,438	8,840 8,085 7,315	8,760 8,042 7,272	8,937 8,125 7,403	8,805 8,050 7,280	8,725 8,007 7,237
M 10 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	10,000 9,026 8,160	9,850 8,941 8,017	9,764 8,894 7,970	9,968 8,994 8,128	9,818 8,909 7,985	9,732 8,862 7,938	9,933 8,959 8,093	9,783 8,874 7,950	9,697 8,827 7,903
M 11 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	11,000 10,026 9,160	10,850 9,941 9,017	10,764 9,894 8,970	10,968 9,994 9,128	10,818 9,909 8,985	10,732 9,862 8,938	10,933 9,959 9,093	10,783 9,874 8,950	10,697 9,827 8,903

## Metrisches ISO-Gewinde, Grenzmaße für Regelgewinde, DIN 13 Teil 20, Oktober 1983

Bezeichnung	max. 4h - 6h	min. 4h	min. 6h	max. 4g-6g	min. 4g	min. 6g	max. 4e-6e	min. 4e	min. 6e
M 12 x 1,75	AußenØ=d	11,830	11,735	11,966	11,796	11,701	11,929	11,759	11,664
	FlankenØ=d2	10,768	10,713	10,829	10,734	10,679	10,792	10,697	10,642
	KernØ=d3	9,691	9,635	9,819	9,656	9,602	9,782	9,619	9,565
M 14 x 2,0	AußenØ=d	13,820	13,720	13,962	13,782	13,682	13,929	13,749	13,649
	FlankenØ=d2	12,601	12,541	12,663	12,563	12,503	12,630	12,530	12,470
	KernØ=d3	11,369	11,309	11,508	11,331	11,271	11,475	11,298	11,238
M 16 x 2,0	AußenØ=d	15,820	15,720	15,962	15,782	15,682	15,929	15,749	15,649
	FlankenØ=d2	14,601	14,541	14,663	14,563	14,503	14,630	14,530	14,470
	KernØ=d3	13,369	13,309	13,508	13,331	13,271	13,475	13,298	13,238
M 18 x 2,5	AußenØ=d	17,788	17,665	17,958	17,746	17,623	17,920	17,708	17,585
	FlankenØ=d2	16,270	16,206	16,334	16,228	16,164	16,296	16,190	16,126
	KernØ=d3	14,731	14,666	14,891	14,688	14,625	14,853	14,650	14,587
M 20 x 2,5	AußenØ=d	19,788	19,665	19,958	19,746	19,623	19,920	19,708	19,585
	FlankenØ=d2	18,270	18,206	18,334	18,228	18,164	18,296	18,190	18,126
	KernØ=d3	16,731	16,666	16,891	16,688	16,625	16,853	16,650	16,587
M 22 x 2,5	AußenØ=d	21,788	21,665	21,958	21,746	21,623	21,920	21,708	21,585
	FlankenØ=d2	20,270	20,206	20,334	20,228	20,164	20,296	20,190	20,126
	KernØ=d3	18,731	18,666	18,891	18,688	18,625	18,853	18,650	18,587
M 24 x 3,0	AußenØ=d	23,764	23,625	23,952	23,716	23,577	23,915	23,679	23,540
	FlankenØ=d2	21,926	21,851	22,003	21,878	21,803	21,966	21,841	21,766
	KernØ=d3	20,078	20,003	20,271	20,030	19,955	20,234	19,993	19,918
M 27 x 3,0	AußenØ=d	26,764	26,625	26,952	26,716	26,577	26,915	26,679	26,540
	FlankenØ=d2	24,926	24,851	25,003	24,878	24,803	24,966	24,841	24,766
	KernØ=d3	23,078	23,003	23,271	23,030	22,955	23,234	22,993	22,918
M 30 x 3,5	AußenØ=d	29,735	29,575	29,947	29,682	29,522	29,910	29,645	29,485
	FlankenØ=d2	27,727	27,515	27,674	27,542	27,462	27,637	27,505	27,425
	KernØ=d3	25,706	25,359	25,653	25,386	25,306	25,616	25,349	25,269

## Metrisches ISO-Gewinde, Grenzmaße für Feingewinde, DIN 13 Teil 21, Oktober 1983

Bezeichnung	max. 4h - 6h	min. 4h	min. 6h	max. 4g-6g	min. 4g	min. 6g	max. 4e-6e	min. 4e	min. 6e
M 8 x 0,75 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	8,000	7,910	7,860	7,978	7,888	7,838	7,944	7,854	7,804
	7,513	7,450	7,413	7,491	7,428	7,391	7,457	7,394	7,357
	7,080	6,988	6,951	7,058	6,968	6,929	7,024	6,932	6,895
M 8 x 1,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	8,000	7,888	7,820	7,974	7,862	7,794	7,940	7,828	7,760
	7,350	7,279	7,238	7,324	7,253	7,212	7,290	7,219	7,178
	6,773	6,663	6,622	6,747	6,637	6,596	6,713	6,603	6,562
M 9 x 1,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	9,000	8,888	8,820	8,974	8,862	8,794	8,940	8,828	8,760
	8,350	8,279	8,238	8,324	8,253	8,212	8,290	8,219	8,178
	7,773	7,663	7,622	7,747	7,637	7,596	7,713	7,603	7,562
M 10 x 1,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	10,000	9,888	9,820	9,974	9,862	9,794	9,940	9,828	9,760
	9,350	9,279	9,238	9,324	9,253	9,212	9,290	9,219	9,178
	8,773	8,663	8,622	8,747	8,637	8,596	8,713	8,603	8,562
M 10 x 1,25 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	10,000	9,868	9,788	9,982	9,840	9,760	9,937	9,805	9,725
	9,188	9,113	9,070	9,160	9,085	9,042	9,125	9,050	9,007
	8,466	8,343	8,300	8,438	8,315	8,272	8,403	8,280	8,237
M 12 x 1,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	12,000	11,888	11,820	11,974	11,862	11,794	11,940	11,828	11,760
	11,350	11,275	11,232	11,324	11,250	11,206	11,290	11,215	11,172
	10,773	10,659	10,616	10,747	10,633	10,590	10,713	10,599	10,556
M 12 x 1,25 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	12,000	11,868	11,788	11,972	11,840	11,760	11,937	11,805	11,725
	11,188	11,103	11,056	11,160	11,075	11,028	11,125	11,040	10,993
	10,466	10,333	10,286	10,438	10,305	10,258	10,403	10,270	10,223
M 12 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	12,000	11,850	11,764	11,968	11,818	11,732	11,933	11,783	11,697
	11,026	10,936	10,886	10,994	10,904	10,854	10,959	10,869	10,819
	10,160	10,012	9,962	10,128	9,980	9,930	10,093	9,945	9,895
M 14 x 1,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	14,000	13,888	13,820	13,974	13,862	13,794	13,940	13,828	13,760
	13,350	13,275	13,232	13,324	13,249	13,206	13,290	13,215	13,172
	12,773	12,659	12,616	12,747	12,633	12,590	12,713	12,599	12,556
M 14 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	14,000	13,850	13,764	13,968	13,818	13,732	13,933	13,783	13,697
	13,026	12,936	12,886	12,994	12,904	12,854	12,959	12,869	12,819
	12,160	12,012	11,962	12,128	11,980	11,930	12,093	11,945	11,895

## Metrisches ISO-Gewinde, Grenzmaße für Feingewinde, DIN 13 Teil 21, Oktober 1983

Bezeichnung	max. 4h - 6h	min. 4h	min. 6h	max. 4g-6g	min. 4g	min. 6g	max. 4e-6e	min. 4e	min. 6e
M 16 x 1,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	16,000	15,888	15,820	15,974	15,862	15,794	15,940	15,828	15,760
	15,350	15,275	15,232	15,324	15,249	15,206	15,290	15,215	15,172
	14,773	14,659	14,616	14,747	14,633	14,590	14,713	14,599	14,556
M 16 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	16,000	15,850	15,764	15,968	15,818	15,732	15,933	15,793	15,697
	15,026	14,936	14,866	14,994	14,904	14,854	14,959	14,869	14,819
	14,160	14,012	13,962	14,128	13,980	13,930	14,093	13,945	13,895
M 18 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	18,000	17,850	17,764	17,968	17,818	17,732	17,933	17,783	17,697
	17,026	16,936	16,886	16,994	16,904	16,854	16,959	16,869	16,819
	16,160	16,012	15,962	16,128	15,980	15,930	16,093	15,945	15,895
M 18 x 2,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	18,000	17,820	17,720	17,962	17,782	17,682	17,929	17,749	17,649
	16,701	16,601	16,541	16,663	16,563	16,503	16,630	16,530	16,470
	15,546	15,369	15,309	15,508	15,331	15,271	15,475	15,298	15,238
M 20 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	20,000	19,850	19,764	19,968	19,818	19,732	19,933	19,783	19,697
	19,026	18,936	18,886	18,994	18,904	18,854	18,959	18,869	18,819
	18,160	18,012	17,962	18,128	17,980	17,930	18,093	17,945	17,895
M 20 x 2,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	20,000	19,820	19,720	19,962	19,782	19,682	19,929	19,749	19,649
	18,701	18,601	18,541	18,663	18,563	18,503	18,630	18,530	18,470
	17,546	17,369	17,309	17,508	17,331	17,271	17,475	17,298	17,238
M 22 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	22,000	21,850	21,764	21,968	21,818	21,732	21,933	21,783	21,697
	21,026	20,936	20,886	20,994	20,904	20,854	20,959	20,869	20,819
	20,160	20,012	19,962	20,128	19,980	19,930	20,093	19,945	19,895
M 22 x 2,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	22,000	21,820	21,720	21,962	21,782	21,682	21,929	21,749	21,649
	20,701	20,601	20,541	20,663	20,563	20,503	20,630	20,530	20,470
	19,546	19,369	19,309	19,508	19,331	19,271	19,475	19,298	19,238
M 24 x 1,5 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	24,000	23,850	23,764	23,968	23,818	23,732	23,933	23,783	23,697
	23,026	22,931	22,876	22,994	22,899	22,844	22,959	22,864	22,809
	22,160	22,007	21,952	22,128	21,975	21,920	22,093	21,940	21,885
M 24 x 2,0 AußenØ=d FlankenØ=d2 KernØ=d3	24,000	23,820	23,720	23,962	23,782	23,682	23,929	23,749	23,649
	22,701	22,595	22,531	22,663	22,557	22,493	22,630	22,524	22,460
	21,546	21,363	21,299	21,508	21,325	21,261	21,475	21,292	21,228


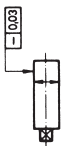


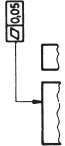






### 7.3 Maße Gewinde-Gutlehrring nach DIN/ISO 1502 Ausgabe 01/12.96

Gewinde	min. Aussen-Ø	Flanken-Ø (Toleranz in µm)	Abnutzungsgrenze Flanken-Ø	Aufschraubmoment Nm max.	Prüfmaße für die Abnutzungsgrenze			Kern-Ø (Toleranz in µm)
					Messkugel	Prüfmaß M (Tol. in µm)	Prüfmaß M abgenutzt	
M6	-6h	5,348 ± 7	5,364	0,22	0,620	5,592 ± 7	5,608	4,917 ± 7
M8	-6h	7,186 ± 7	7,202	0,51	0,725	7,5416 ± 7	7,5576	6,647 ± 7
M8 x 1,0	-6h	7,364	7,364	0,51	0,620	7,593 ± 7	7,609	6,917 ± 7
M10	-6h	9,018 ± 9	9,039	1,0	0,837	9,478 ± 9	9,499	8,376 ± 9
M10 x 1,0	-6h	9,364	9,364	1,0	0,620	9,5934 ± 7	9,6094	8,917 ± 7
M10 x 1,25	-6h	10,099	9,202	1,0	0,725	9,5424 ± 7	9,5584	8,647 ± 7
M12	-6h	12,1375	10,876	1,73	1,10	11,268 ± 9	11,289	10,106 ± 9
M12 x 1,0	-6h	12,081	11,364	1,73	0,620	11,5936 ± 7	11,6096	10,917 ± 7
M12 x 1,25	-6h	12,101	11,201	1,73	0,725	11,5368 ± 9	11,5578	10,647 ± 9
M12 x 1,5	-6h	12,1195	11,039	1,73	0,837	11,4787 ± 9	11,4987	10,376 ± 9
M14	-6h	14,1555	12,714	2,7	1,112	13,3107 ± 9	13,3317	11,835 ± 9
M14 x 1,0	-6h	14,081	13,364	2,7	0,620	13,5937 ± 7	13,6097	12,917 ± 7
M14 x 1,5	-6h	14,1195	13,039	2,7	0,837	12,4791 ± 9	13,5001	12,376 ± 9
M16	-6h	16,1555	14,693 ± 9	4,1	1,112	15,3113 ± 9	15,3323	13,835 ± 9
M16 x 1,0	-6h	16,081	15,364	4,1	0,620	15,5938 ± 7	15,6098	14,917 ± 7
M16 x 1,5	-6h	16,1195	15,039	4,1	0,837	15,4794 ± 9	15,5004	14,376 ± 9
M18	-6h	18,1915	16,389	5,8	1,350	17,1804 ± 9	17,2014	15,294 ± 9
M18 x 1,5	-6h	18,1195	17,039	5,8	0,837	17,4795 ± 9	17,5005	16,376 ± 9
M18 x 2,0	-6h	18,1555	16,693 ± 9	5,8	1,112	17,3117 ± 9	17,3327	15,835 ± 9
M20	-6h	20,1915	18,389	8	1,35	19,181 ± 9	19,202	17,294 ± 9
M20 x 1,5	-6h	20,1195	19,039	8	0,837	19,4796 ± 9	19,5006	18,376 ± 9
M20 x 2,0	-6h	20,1555	18,714	8	1,112	19,312 ± 9	19,333	17,835 ± 9
M22	-6h	22,1915	20,389	10,6	1,35	21,1814 ± 9	21,2024	19,294 ± 9
M22 x 1,5	-6h	22,1195	21,039	10,6	0,837	21,4797 ± 9	21,5007	20,376 ± 9
M22 x 2,0	-6h	22,1555	20,693 ± 9	10,6	1,112	21,3122 ± 9	21,3332	19,835 ± 9
M24	-6h	24,2275	22,064	13,8	1,773	22,8653 ± 9	22,8863	20,752 ± 9
M24 x 1,5	-6h	24,1195	23,039	13,8	0,837	23,4798 ± 9	23,5008	22,376 ± 9
M24 x 2,0	-6h	24,1555	22,693 ± 9	13,8	1,112	23,3123 ± 9	23,3333	21,835 ± 9



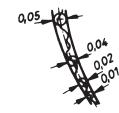


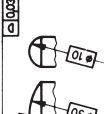
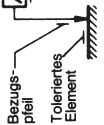

Gewinde	min. Aussen-Ø	Flanken-Ø (Toleranz in µm)	Abnutzungsgrenze Flanken-Ø	Aufschraubmoment Nm max.	Prüfmaße für die Abnutzungsgrenze			Kern-Ø (Toleranz in µm)
					Messkugel	Prüfmaß M (Tol. in µm)	Prüfmaß M abgenutzt	
M6	-6g	5,322 ± 7	5,338	0,22	0,620	5,566 ± 7	5,582	4,891 ± 7
M8	-6g	7,158 ± 7	7,174	0,51	0,725	7,5136 ± 7	7,5296	6,619 ± 7
M8 x 1,0	-6g	8,055	7,338	0,51	0,620	7,567 ± 7	7,583	6,891 ± 7
M10	-6g	10,0875	9,007	1,0	0,837	9,446 ± 9	9,467	8,344 ± 9
M10 x 1,0	-6g	10,055	9,338	1,0	0,620	9,5674 ± 7	9,5834	8,891 ± 7
M10 x 1,25	-6g	10,071	9,174	1,0	0,725	9,5144 ± 7	9,5304	8,619 ± 7
M12	-6g	12,1035	10,842	1,73	1,10	11,2339 ± 9	11,2549	10,072 ± 9
M12 x 1,0	-6g	12,055	11,338	1,73	0,620	11,5676 ± 7	11,5836	10,891 ± 7
M12 x 1,25	-6g	12,073	11,173	1,73	0,725	11,5088 ± 9	11,5298	10,619 ± 9
M12 x 1,5	-6g	12,0875	11,007	1,73	0,837	11,4467 ± 9	11,4677	10,344 ± 9
M14	-6g	14,1175	12,676	2,7	1,112	13,2727 ± 9	13,2937	11,797 ± 9
M14 x 1,0	-6g	14,055	13,322 ± 7	2,7	0,620	13,5677 ± 7	13,5837	12,871 ± 7
M14 x 1,5	-6g	14,0875	12,986 ± 9	2,7	0,837	13,4471 ± 9	13,4681	14,344 ± 9
M16	-6g	16,1175	14,655 ± 9	4,1	1,112	15,2733 ± 9	15,2943	13,797 ± 9
M16 x 1,0	-6g	16,055	15,322 ± 7	4,1	0,620	15,5678 ± 7	15,5838	14,891 ± 7
M16 x 1,5	-6g	16,0875	14,986 ± 9	4,1	0,837	15,4471 ± 9	15,4681	12,344 ± 9
M18	-6g	18,1495	16,326 ± 9	5,8	1,350	17,1384 ± 9	17,1594	15,252 ± 9
M18 x 1,5	-6g	18,0875	16,986 ± 9	5,8	0,837	17,4475 ± 9	17,4685	16,344 ± 9
M18 x 2,0	-6g	18,1175	16,655 ± 9	5,8	1,112	17,2737 ± 9	17,2947	15,797 ± 9
M20	-6g	20,1495	18,347	8	1,35	19,139 ± 9	19,160	17,252 ± 9
M20 x 1,5	-6g	20,0875	18,986 ± 9	8	0,837	19,4476 ± 9	19,4686	18,344 ± 9
M20 x 2,0	-6g	20,1175	18,655 ± 9	8	1,112	19,274 ± 9	19,295	17,797 ± 9
M22	-6g	22,1495	20,347	10,6	1,35	21,1394 ± 9	21,1604	19,252 ± 9
M22 x 1,5	-6g	22,0875	20,986 ± 9	10,6	0,837	21,447 ± 9	21,4687	20,344 ± 9
M22 x 2,0	-6g	22,1175	20,655 ± 9	10,6	1,112	21,2742 ± 9	21,2952	19,797 ± 9
M24	-6g	24,1795	22,016	13,8	1,776	22,8172 ± 9	22,8382	20,704 ± 9
M24 x 1,5	-6g	24,0875	22,986 ± 9	13,8	0,837	23,4478 ± 9	23,4688	22,344 ± 9
M24 x 2,0	-6g	24,1175	22,655 ± 9	13,8	1,112	23,2743 ± 9	23,2953	21,797 ± 9


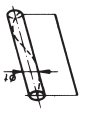
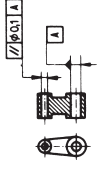

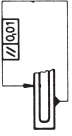


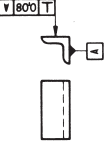


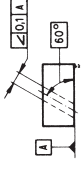
## 7.4 Toleranzsymbole und tolerierte Eigenschaften

Form- und Lagetoleranzen (Kurzfassung der DIN ISO 1101)



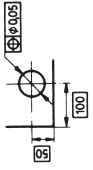

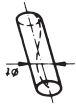
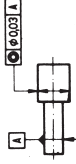


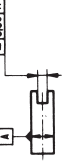
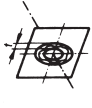
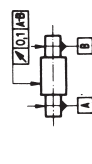

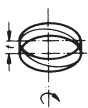
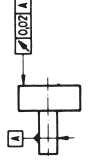
Toleranz-Symbol und tolerierte Eigenschaft		Anwendungs-Beispiel		Erklärung
Form	Toleranz-Zone	Zeichnungsangabe		
—			Jede Mantellinie muß zwischen zwei parallelen Ebenen vom Abstand $t = 0,03$ mm liegen.	
			Die tolerierte Fläche muß zwischen zwei parallelen Ebenen vom Abstand $t = 0,05$ mm liegen.	
			Die tolerierte Umfangslinie jedes achsenkrechten Querschnittes muß zwischen zwei konzentrischen Kreisen vom radialen Abstand $t = 0,02$ mm liegen.	
			Die tolerierte Zylindermantelfläche muß zwischen zwei koaxialen Zylindern liegen, die einen radialen Abstand von $t = 0,05$ mm haben.	

KAMAX-WERKE Rudolf Kellermann GmbH & Co. KG

Toleranz-Symbol und tolerierte Eigenschaft		Anwendungs-Beispiel		Erklärung		
	Toleranz-Zone	Zeichnungsangabe				
Form		<b>Linienform</b> einer beliebigen Linie (Profil)		Das tolerierte Profil muß in jeder Schnittebene parallel zur Zeichenebene – in der das Profil toleriert ist – zwischen zwei Hülllinien liegen, deren Abstand durch Kreise vom Durchmesser $t = 0,08$ mm begrenzt wird. Die Mittelpunkte dieser Kreise liegen auf der geometrisch-idealen Linie.		
		<b>Flächenform</b> einer beliebigen Fläche			Das tolerierte Profil muß in jeder Schnittebene parallel zur Zeichenebene – in der das Profil toleriert ist – zwischen zwei Hülllinien liegen, deren Abstand durch Kreise vom Durchmesser $t = 0,01$ bis $0,05$ mm begrenzt wird. Die Mittelpunkte dieser Kreise liegen auf der geometrisch-idealen Linie.	
		<b>Flächenform</b> einer beliebigen Fläche		Die tolerierte Fläche muß zwischen zwei Hüllflächen liegen, deren Abstand durch Kugeln vom Durchmesser $t = 0,03$ mm begrenzt wird. Die Mittelpunkte dieser Kugeln liegen auf der geometrisch-idealen Fläche.		
Bezugs- pfeil Toleriertes Element		Bezugsbuchstabe (wenn notwendig) Toleranzwert (t) Toleranzsymbol	Bezugsbuchstabe Bezugsdreieck Bezugsselement	Symbol für Maximum-Material-Bedingung theoretisch genaues Maß	Bezug auf Achse bzw. Mittelebene Bezug auf Linie	

Toleranz-Symbol und tolerierte Eigenschaft		Anwendungs-Beispiel		Erklärung
	Toleranz-Zone	Zeichnungsangabe		
	<b>Parallelität</b> einer Linie (Achse) zu einer Bezugslinie (-Achse)			Die tolerierte Achse der oberen Bohrung muß innerhalb eines zur Bezugsachse A parallel liegenden Zylinders vom Durchmesser $t = 0,1$ mm liegen.
	einer Fläche zu einer Bezugsfläche			Die tolerierte Fläche muß zwischen zwei zur Bezugsfläche parallelen Ebenen vom Abstand $t = 0,01$ mm liegen.
<b>Rechtwinkligkeit</b> einer Fläche zu einer Bezugsfläche (einer Linie ... entsprechend dem Beispiel bei Neigung)				Die tolerierte Fläche muß zwischen zwei parallelen und zur Bezugsfläche A senkrechten Ebenen vom Abstand $t = 0,08$ mm liegen.
<b>Neigung</b> (Winkligkeit) einer Linie (Achse) zu einer Bezugsfläche (einer Fläche ... entsprechend dem Beispiel bei Rechtwinkligkeit)				Die tolerierte Bohrungssachse muß zwischen zwei zur Bezugsfläche A im geometrisch idealen Winkel von $60^\circ$ geneigten und zueinander parallelen Ebenen vom Abstand $t = 0,1$ mm liegen.

Lege  
Richtung

Toleranz-Symbol und tolerierte Eigenschaft		Anwendungs-Beispiel		Erklärung
		Toleranz-Zone	Zeichnungsangabe	
	<b>Position</b> von Linien (Achsen) untereinander oder zu einem oder mehreren Bezugselementen			Die tolerierte Achse des Loches muß innerhalb eines Zylinders vom Durchmesser $t = 0,05$ mm liegen, dessen Achse sich am geometrisch idealen Ort (mit eingerahmten Maßen) befindet.
	<b>Koaxialität</b> (Konzentrität) einer Achse zu einer Bezugsgachse			Die tolerierte Achse des rechten Zylinders der Welle muß innerhalb eines zur Bezugsgachse A koaxialen Zylinders vom Durchmesser $t = 0,03$ mm liegen.
	<b>Symmetrie</b> einer Mittelebene zu einer Bezugsmittellebene			Die tolerierte Mittelebene der Nut muß zwischen zwei parallelen Ebenen liegen, die einen Abstand $t = 0,08$ mm haben und symmetrisch zur Bezugsmittellebene A der beiden äußeren Flächen angeordnet sind.
	<b>Rundlauf</b> einer Zylindermantelfläche zu einer (Bezugs-) Drehachse			Bei Drehung um die Bezugsgachse A-B muß die tolerierte Umfangslinie jedes achsenrechten Querschnittes des mittleren Zylinders der Welle zwischen zwei konzentrischen Kreisen vom radialen Abstand $t = 0,1$ mm liegen.
	<b>Planlauf</b> einer Fläche zu einer (Bezugs-) Drehachse			Bei Drehung um die Bezugsgachse A darf die Planlaufabweichung den Wert $t = 0,02$ nicht überschreiten, gemessen parallel und in einem beliebigen Abstand zur Bezugsgachse A.

## 7.5 Umwandlung deutscher und englischer Maße

<b>Längen</b>	
1 mm = 0,03937014 inches (Zoll)	1 inch = 25,399956 mm
1 m = 3,280851 feet (Fuß)	1 foot = 12 inch = 304,799472 mm
1 m = 1,093616 yards	1 yard = 3 feet = 0,914398 m
1 km = 0,621372 engl. Meile	1 mile = 1760 yards = 1,609341 km
1 km = 0,539614 Seemeile	1 nautc. mile = 1,853178 km
<b>Flächen</b>	
1 mm <sup>2</sup> = 0,00155001 sq. in. (Zoll)	1 sq. inch = 6,451578 cm <sup>2</sup>
1 m <sup>2</sup> = 19,76398328 sq. feet	1 sq. foot = 144 sq. inch = 929,0272 cm <sup>2</sup>
1 m <sup>2</sup> = 1,19599596 sq. yards	1 sq. yard = 9 sq. feet = 8361,2448 cm <sup>2</sup>
1 a = 100 m_ = 0,024711 arces	1 arces = 4840 sq. yards = 40,4684 a
1 ha = 100 a = 2,471063 arces	
1 km <sup>2</sup> = 100 ha = 0,3861 sq. miles	1 sq mile = 640 arces = 2,59 km <sup>2</sup>
<b>Volumen</b>	
1 cm <sup>3</sup> = 0,061024 cubic inch	1 cubic inch = 16,386979 cm <sup>3</sup>
1 dm <sup>3</sup> = 0,035315 cubic feet	1 cubic foot = 28,3167 dm <sup>3</sup>
1 m <sup>3</sup> = 1,307957 cubic yard	1 cubic yard = 0,764551 m <sup>3</sup>
1 m <sup>3</sup> = 0,353148 Register tons	1 register ton = 100 cubic feet = 2,83167 m <sup>3</sup>
1 l = 0,220097 gallons (UK)	1 gallon (US) = 0,83268 gal (UK)
1 l = 0,264323 gallons (US)	1 gallon (US) = 3,78324 l
1 hl = 100 l	
<b>Kräfte Masse</b>	
1 kg = 2,20462 lbs (pounds)	1 lb = 0,453592 kg
1 kp = 9,80665 N	1 lbf = 4,44822 N
1 N = 0,224809 lbf	1 fi lb = 1,35582 J
1 J = 0,737561 ft lb	1 btu = 1,05506 kJ
<b>weitere Größen</b>	
1 Nm = 1 Joule = 0,737456 ft-lbs	1 ft-lb = 1,35582 Nm
1 Nm = 8,8495 lbs-in	1 lb-in = 0,113 Nm
1 N/mm <sup>2</sup> = 1 MPa = 0,0069 psi	
1 atm = 1,01325 bar	
1 l/100 km = 235,1 miles/gallon (US)	100 miles/gallon (US) = 0,4254 l/100 km

## 8. Formelverzeichnis

$A_t$	Scherfläche bei Querbelastung
$A_0$	zutreffende kleinste Querschnittsfläche der Schraube
$d$	Schraubendurchmesser
$d_2$	Flankendurchmesser des Schraubengewindes
$d_S$	elastische Nachgiebigkeit der Schraube
$F_A$	Axialkraft
$F_{Kerf}$	Klemmkraft, die zur Funktionserfüllung erforderlich ist
$F_{KR}$	Restklemmkraft in der Trennfuge im Betrieb
$F_M$	Montagevorspannkraft
$F_{Mmin}$	erforderliche Mindestmontagevorspannkraft
$F_{Mmax}$	max. Montagevorspannkraft
$F_{MTab}$	Tabellenwert der Montagevorspannkraft
$F_{Mzul}$	zulässige Montagevorspannkraft
$F_{PA}$	Anteil der Axialkraft, der die Belastung der verspannten Teile verändert
$f_{PA}$	elastische Längenänderung der verspannten Teile durch FPA
$f_{PM}$	elastische Längenänderung der verspannten Teile durch FM
$F_{PM}$	Montagevorspannkraft in den verspannten Teilen
$F_Q$	Querkraft
$F_S$	Schraubenkraft
$F_{SA}$	axiale Schraubenzusatzkraft
$f_{SA}$	Verlängerung der Schraube durch FSA
$f_{SM}$	Verlängerung der Schraube durch FM
$F_{SM}$	Montagevorspannkraft in der Schraube
$F_{Vth}$	Änderung der Vorspannkraft infolge der Temperatur
$F_Z$	Vorspannkraftverlust infolge Setzens im Betrieb
HB	Brinellhärte
HRc	Rockwellhärte
HV	Vickershärte
$M_A$	Anziehdrehmoment bei der Montage zum Vorspannen auf FM
$M_G$	Im Gewinde wirksamer Teil des Anziehdrehmoments
$M_K$	Reibungsmoment in der Kopf- bzw. Mutternaufgabe
$n$	Krafteinleitungsfaktor
P	Steigung
$p_B$	Flächenpressung im Betriebszustand
$p_G$	Grenzflächenpressung
$p_M$	Flächenpressung im Montagezustand
$R_m$	Zugfestigkeit der Schraube

$R_{P0,2min}$	0,2%-Dehngrenze der Schraube
$S_F$	Sicherheitsfaktor
$S_{red,B}$	Vergleichsspannung im Betriebszustand
$\delta_P$	elastische Nachgiebigkeit der verspannten Teile
$\nu$	Ausnutzungsgrad der Streckgrenzspannung
$\sigma_a$	Dauerschwingbeanspruchung der Schraube
$\sigma_A$	Anziehfaktor
$\sigma_{AS}$	Spannungsimpultude der Dauerhaltbarkeit bezogen auf AS
$\tau$	Torsionsspannung
$\tau_B$	Scherfestigkeit
$\mu_G$	Reibungszahl im Gewinde
$\mu_K$	Reibungszahl in der Kopfauflage
$\Phi$	Kraftverhältnis
$\Phi_{en}$	Kraftverhältnis bei zentrischer Verspannung und exzentrischer Krafteinleitung
$\vartheta$	Drehwinkel

## 9. Schrifttum

Systematisch Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen, VDI-Richtlinie 2230, (Oktober 2001)

Kübler, K.H. und Mages, W.: Handbuch der hochfesten Schrauben. 1. Auflage, Giradet Buchverlag 1986

Westphal, Knut, „Keine Patentlösung in Sicht – Neue Cr(VI) – freie Zinklamellen-systeme für Verbindungselemente der Automobilindustrie, MO – Metalloberfläche 5/2002, S. 20 – 23

Wiegand, Kloos, Thomala: Schraubenverbindungen, Springer Verlag, 4. Auflage 1988

Kayser, Klaus: Hochfeste Schraubenverbindungen, Verlag Moderne Industrie, 1991

DIN EN ISO 898-1; Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl, (November 1999)

DIN 50150, Umwerten von Härtewerten, (Oktober 2000)









KAMAX-Werke  
Rudolf Kellermann GmbH & Co. KG  
Dr. Rudolf-Kellermann-Straße 2  
D-35315 Homberg/Ohm  
Telefon +49 (0) 66 33/79-4 11  
Fax +49 (0) 66 33/79-4 13

KAMAX-Werke  
Rudolf Kellermann GmbH & Co. KG  
Petershütter Allee 29  
D-37520 Osterode am Harz  
Telefon +49 (0) 55 22/3 15-0  
Fax +49 (0) 55 22/64 42  
[www.kamax.de](http://www.kamax.de)