

● Technische Information



● Einfluss der Reibung auf das erforderliche Montagedrehmoment bei Schraubverbindungen

Diese Information gibt Hilfestellung für die richtige Montage von Dichtungen und Schrauben in Flanschverbindungen/geschraubten Dichtverbindungen. Für die Montage der Schraubverbindung mit allen Verfahren über Drehmomente gilt es den Einfluss des Reibungskoeffizienten zu beachten. Unterschiedliche Reibungskoeffizienten führen zu einer Streuung der erforderlichen Drehmomente zur Erreichung der gewünschte Vorspannkraft. Mit ca. 80 bis 90% wird der größte Anteil des eingebrachten Drehmomentes für die Überwindung der Reibung an der Mutternaufgabe (Kopfreibung) und im Gewinde (Gewindereibung) benötigt (Abb.1 und Abb.2). Nur der verbleibende kleine Anteil von ca. 10 bis 20 % bringt die gewünschte Montagevorspannkraft (Abb.2).

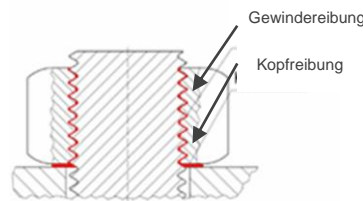


Abb.1: Darstellung der reibenden Flächen

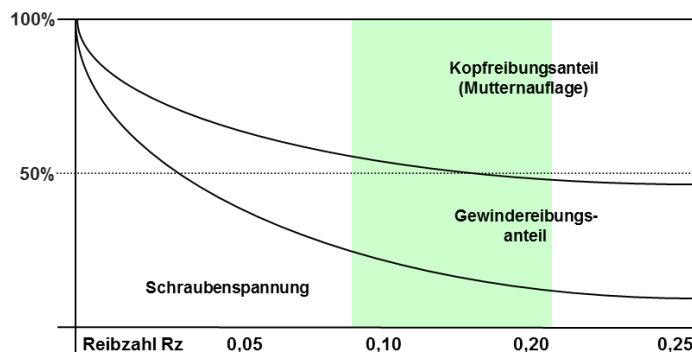


Abb.2: Darstellung der Reibungsanteile in Abhängigkeit vom Reibungskoeffizienten

Durch Behandlung der Oberflächen mit Ölen, Schraubenpasten oder Gleitlacken kann die Reibungszahl beeinflusst werden. Im Fachbuch „Schraubverbindungen“ von Wiegand, Kloos und Thomala findet man Tabellen, die die Zusammenhänge zwischen Schraubenoberfläche, Werkstoff und Art der Schraubenschmierung darstellen. (Tab.1-3).

Tab.1: Zuordnung der Reibungszahlklassen zu verschiedenen Werkstoffen, Oberflächen und Schmierzuständen nach VDI 2230

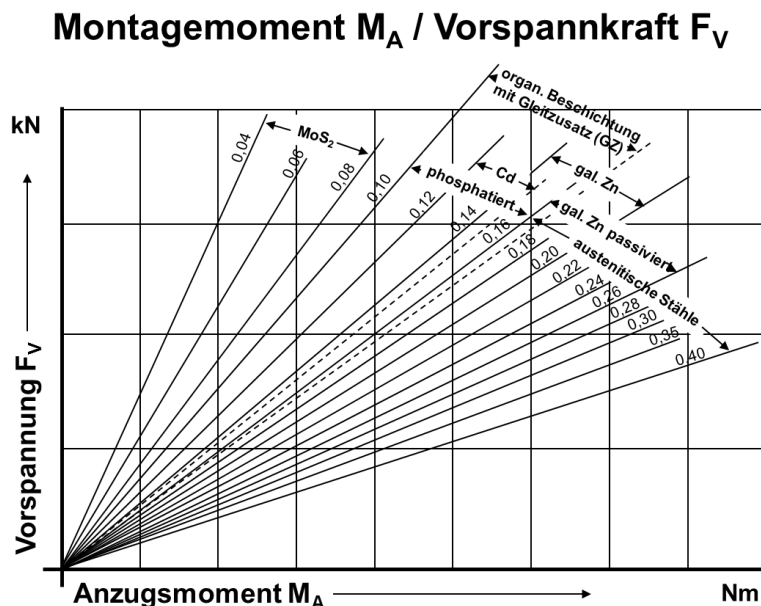
Reibungszahl- klasse	Reibungszahl Gewinde μ_G und Mutternauflage μ_K	Auswahl typischer Beispiele für	
		Werkstoff/Oberfläche	Schmierstoff
A	0,04 bis 0,10	metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galvanisch beschichtet (Zn, Zn/Fe, Zn-Ni) Zink-Lamellen-Überzüge	Festschmierstoffe wie MoS ₂ , Grafit, PTFE, PA, PE, PI in Gleitlacken als Topcoats oder in Pasten; Wachsschmelzen; Wachsdispersionen
		metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn-Ni Zink-Lamellen-Überzüge Al- und Mg-Legierungen	Festschmierstoffe wie MoS ₂ , Grafit, PTFE, PA, PE, PI in Gleitlacken als Topcoats oder in Pasten; Wachsschmelzen; Wachsdispersionen; Fette; Öle
B	0,08 bis 0,16	feuerverzinkt	MoS ₂ ; Grafit; Wachsdispersionen
		organische Beschichtungen	integrierter Festschmierstoff oder Wachsdispersion
		austenitischer Stahl	Festschmierstoffe oder Wachse; Pasten
		austenitischer Stahl	Wachsdispersion; Pasten
C	0,14 bis 0,24	metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert	Anlieferungszustand leicht geölt
		galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Zink-Lamellen-Überzüge Klebstoff	ohne
D	0,20 bis 0,35	austenitischer Stahl	Öl
		galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni feuerverzinkt	ohne
E	> 0,29	austenitischer Stahl galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn/Ni Al- und Mg-Legierungen	ohne

Tab.2: Einfluss von Werkstoff- und Oberflächenzustand auf Reibeigenschaften

Werkstoff/Oberfläche	ohne Schmierung	mit Schmierung
austenitischer Stahl	hohe Fressneigung, μ bis 0,5	Abhilfe durch Hochdruckschmiermittel. Pas- ten, Gleitlacke
Titanlegierungen	hohe μ -Werte: Kaltverschweißen	MoS ₂ - oder Grafit-Gleitlack: $\mu=0,1 - 0,2$
feuerverzinkte Oberflächen	hohe Reibungszahl	MoS ₂ -Schmierung empfohlen
galvanisch abgeschiedene weiche Metall- schichten wie Cd, Pb, Cu, Sn, Co	reduzieren die Reibung	
fein-gedrehte Oberflächen	besitzen günstigere Eigenschaften als polierte, wegen der Schmierstofftransportfunktion	

Gegenlage	Werkstoffe		Schmiermittel		Nachgiebigkeit der Verbindung	Reibungszahlen	
	Schraube	Mutter	im Gewinde	unter Kopf		im Gewinde μ_G	unter Kopf μ_K
A2	A2	A2	ohne	ohne	sehr groß (Drehwinkel $\approx 1.000^\circ$)	0,26 bis 0,50	0,35 bis 0,50
			Spezierschmiermittel (Chlorparafin-Basis)			0,12 bis 0,23	0,08 bis 0,12
			Korrosionsschutzfett			0,26 bis 0,45	0,25 bis 0,35
			ohne	ohne	klein (Drehwinkel $\approx 100^\circ$)	0,23 bis 0,35	0,12 bis 0,16
			Spezierschmiermittel (Chlorparafin-Basis)			0,10 bis 0,16	0,08 bis 0,12
			AlMgSi	ohne	Spezierschmiermittel (Chlorparafin-Basis)	sehr groß (Drehwinkel $\approx 1.000^\circ$)	0,32 bis 0,43
	Spezierschmiermittel (Chlorparafin-Basis)	0,28 bis 0,35	0,08 bis 0,12				

Die Tabellen zeigen eindrucksvoll die unterschiedlichen Reibwerte. Die folgende Abbildung, die ich bei OKS gefunden habe, zeigt die Zusammenhänge zwischen Vorspannkraft, Reibungszahl und Drehmoment (Abb.3).



Quelle: OKS-Schmierstoffe

Abb.3: Darstellung der Zusammenhänge zwischen Montagedrehmoment, erreichbarer Vorspannkraft und Reibungszahl

Die erforderlichen Drehmomente werden Anhand der folgenden Formel (127) aus der VDI 2230-1:2015-11 errechnet:

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

M_A	=	Montageanziehdrehmoment in Nm
F_M	=	Montage-Vorspannkraft in N
P	=	Gewindesteigung
d_2	=	Gewinde-Flanken-Ø in m
μ_G	=	Reibungszahl für die Gewindeflanken
μ_K	=	Reibungszahl für die Kopf-(Muttern)-Auflage
D_{Km}	=	Kreisringauflage der Schraube = $(d_w + D_{Ki})/2$
d_w	=	Außen-Ø der Kopf-(Muttern)-Auflagefläche in m
D_{Ki}	=	Ø des Schraubendurchgangsloches in m

Für einen Gewindebolzen M20 nach DIN 976-1, Form B mit Muttern nach DIN EN ISO 4032 aus 21CrMoV5-7 (1.7709) ergibt sich eine Montagevorspannkraft bei 70% $R_{p0,2}$ von 92,2 kN. Die folgende Tabelle (Tab.4) zeigt die von der Reibzahl abhängigen Drehmomente zur Erreichung dieser Vorspannkraft.

	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,24	0,30
μ_G	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,24	0,30
μ_K	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,24	0,30
M_A in Nm	119	160	201	242	282	323	405	528	650

Es ist unschwer zu erkennen welchen erheblichen Einfluss die Reibung auf das gewünschte Montageergebnis hat und wie wichtig die richtige Einstellung der Schmierung auf die Erreichung der gewünschten Vorspannkraft ist. Gleichzeitig erklären diese Ergebnisse auch, warum eine Drehmomentangabe ohne einen Zusammenhang mit einer Reibzahl nicht zulässig ist.

Die folgende Tabelle (Tab.5) zeigt die mögliche Auswirkung auf die erforderlichen Drehmomente wenn nur das Gewinde, nicht aber die Schraubenkopf- oder Mutternauflagefläche über die vorgespannt, das Drehmoment aufgebracht wird, geschmiert ist.

	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,24	0,30
μ_G	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,18	0,24	0,30
μ_K	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
M_A in Nm	431	447	464	481	498	515	549	599	650

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Abweichung des Montageergebnisses vom Plan erheblich ist.

Das Montageergebnis hat einen erheblichen Einfluss auf die sichere Funktion einer Schraubverbindung. Noch dramatischer wirken sich die erheblichen Streuungen bei Dichtverbindungen aus, weil die Montagevorspannkraft, über die durch sie erzeugte Flächenpressung, einen erheblichen Einfluss auf die Leckagerate und damit auf eventuelle negative Umwelteinflüsse der Verbindung hat.

Die richtige Schmierung ist damit einer der wichtigsten Faktoren bei der Schraubmontage. Weitere Informationen zum „Einfluss der Reibung auf das Montageergebnis bei Schrauben“, zur „Auswahl der richtigen Schraubenpaste“ und zur „Kontrolle verschraubter Verbindungen“ bekommen Sie auf meiner Homepage www.thomsen-bremen.de über „Technische Informationen“ unter „Downloads“.

Weitere interessante Informationen zu verschiedenen Themen finden Sie auf der Homepage www.thomsen-bremen.de.

Zur technischen Beratung stehe ich Ihnen selbstverständlich gerne auch kurzfristig persönlich zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen aus Bremen
Peter Thomsen

Haftungsausschluss:

Die Inhalte der Regeln sind zum Teil zitiert, zum Teil in den Worten der Regeln wiedergegeben, die Anmerkungen und Auslegungen beruhen auf langjähriger Erfahrung, dienen der Entscheidungshilfe und begründen keinen Anspruch auf Gewährleistung.

© Peter Thomsen
Stand 02.03.2021