

● Technische Information



● Einfluss der Reibung auf das Montageergebnis bei geschraubten Verbindungselementen

Diese Information gibt Hilfestellung für die richtige Montage von Dichtelementen und Verbindungselementen 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 in den eingebrachten Schraubenvorspannkraften. Mit ca. 80 bis 90% wird der größte Anteil des eingebrachten Drehmomentes für die Überwindung der Reibung an der Mutternauflage (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).

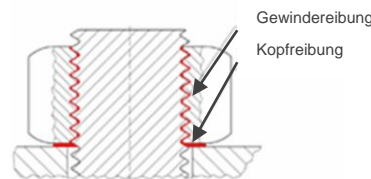


Abb.1: Darstellung der reibenden Flächen
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

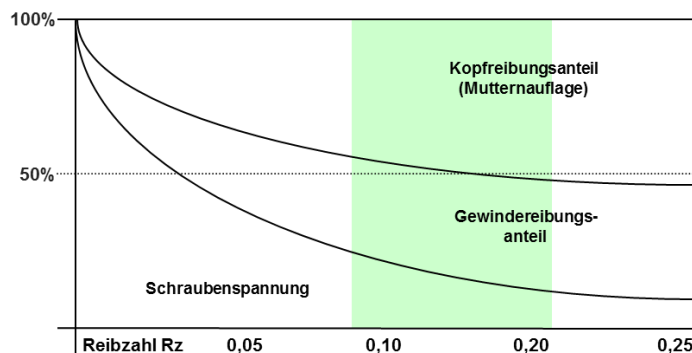


Abb.2: Darstellung der Reibungsanteile in Abhängigkeit vom Reibungskoeffizienten
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Durch Behandlung der Oberflächen mit Ölen, Schraubenpasten oder Gleitlacken kann die Reibungszahl beeinflusst werden. Im Fachbuch „Schraubenverbindungen“ 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

© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

| Reibungszahl- klasse | Reibungszahl Gewinde μ_s 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 , Graphit, PTFE, PA, PE, PI in Gleitlacken als Topcoats oder in Pasten; Wachsschmelzen; Wachsdispersionen |
| B | 0,08 bis 0,16 | metallisch blank vergütungsschwarz phosphatiert galvanische Überzüge wie Zn, Zn/Fe, Zn-Ni Zink-Lamellen-Überzüge Al- und Mg-Legierungen | Festschmierstoffe wie MoS ₂ , Graphit, PTFE, PA, PE, PI in Gleitlacken als Topcoats oder in Pasten; Wachsschmelzen; Wachsdispersionen; Fette; Öle |
| | | feuerverzinkt | MoS ₂ ; Graphit; Wachsdispersionen |
| | | organische Beschichtungen | integrierter Festschmierstoff oder Wachsdispersion |
| | | austenitischer Stahl | Festschmierstoffe oder Wachse; Pasten |
| C | 0,14 bis 0,24 | austenitischer Stahl | Wachsdispersion; Pasten |
| | | 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 |

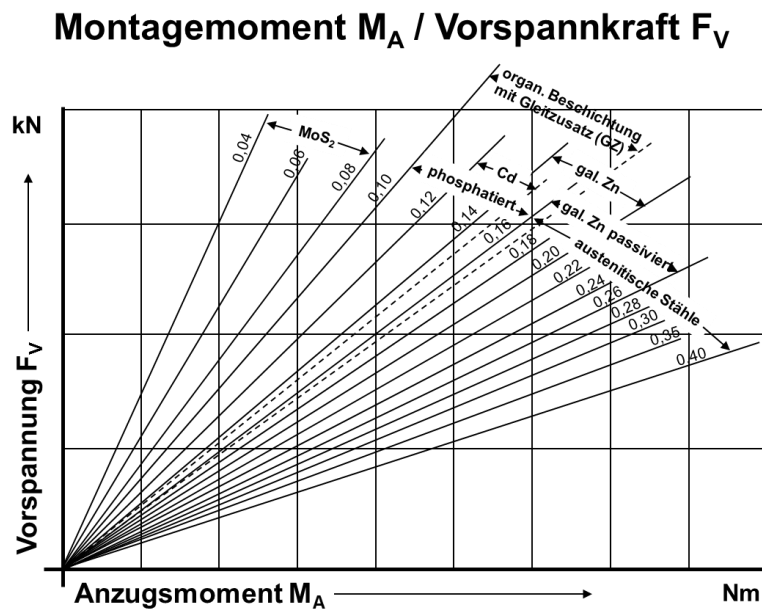
Tab.2: Einfluss von Werkstoff- und Oberflächenzustand auf Reibeigenschaften

© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

| 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 Graphit-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 | |

| Werkstoffe | | | Schmiermittel | | Nachgiebigkeit der Verbindung | Reibungszahlen | |
|--|----------|--|--|--|--|--------------------|--------------------|
| Gegenlage | 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 | 0,08 bis 0,11 |
| 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 Montage Drehmoment, erreichbarer Vorspannkraft und Reibungszahl
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Das geplante Montageergebnis ist eine Vorspannkraft, bei einem geplanten Drehmoment und geplanter Reibzahl. Durch die von der geplanten Reibzahl, abweichende tatsächliche Reibzahl ergibt sich bei gleichem Drehmoment eine stark von der Planung abweichende Vorspannkraft (Abb.4). Die Reibwerte 0,08 bis 0,26 befinden sich im üblichen Rahmen, abhängig von der Schmierung.

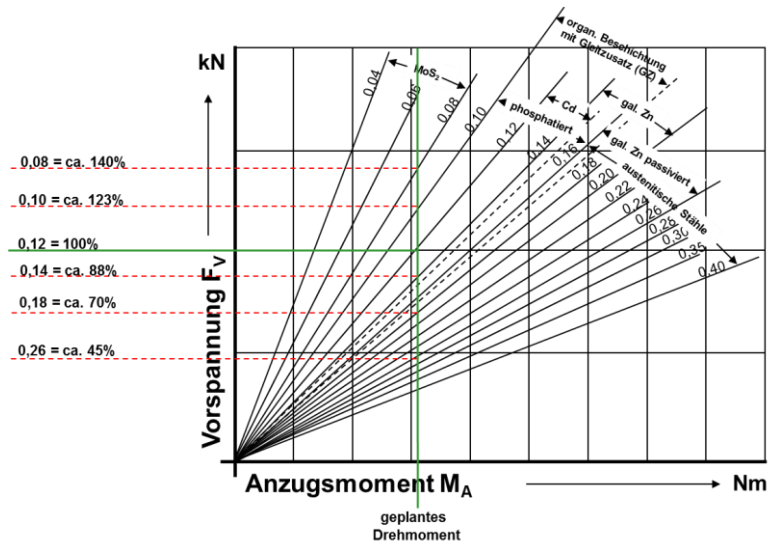


Abb.4: Darstellung der Abweichung der Vorspannkraft durch andere als geplante Reibzahlen
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Zur Erreichung der geplanten Vorspannkraft sind, je nach Reibzahl, sehr unterschiedlich hohe Drehmomente erforderlich (Abb.5)

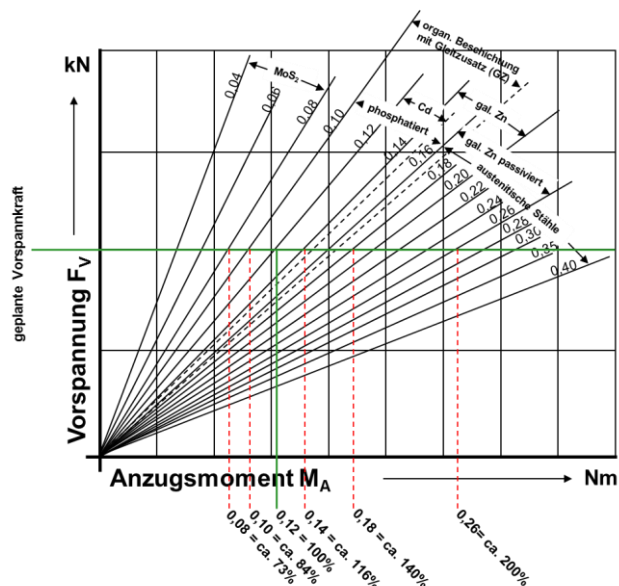


Abb.5: Darstellung der Abweichung der erforderlichen Drehmomente zur Erreichung der geplanten Vorspannkraft
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Es ist zu beachten, dass schon die Schrauben einer Charge differierende Reibwerte haben können. Die Untersuchung von Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, Dipl.-Ing. Tim Rutkowski, „Messung von erzielten Vorspannkraften unter realen Montagebedingungen“ zeigt Reibbeiwerte μ_{ges} in 2 Kampagnen bei Schrauben M36 x 205 HV 10.9 (Abb.6).

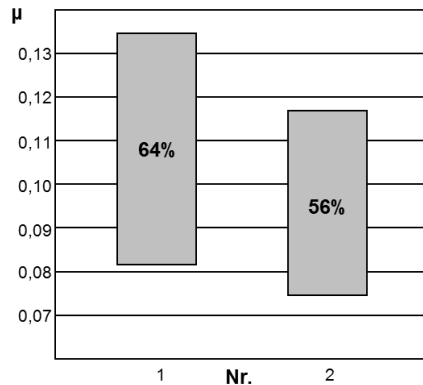


Abb.6: Reibbeiwerte gleicher Schrauben in zwei verschiedenen Montagekampagnen
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Es ist zu erahnen, welche erhebliche Streuung in den erreichten Montagevorspannkraften sich einstellt. Eine Untersuchung der erreichten Vorspannkraft, an 4 Schrauben M36 x 175, HV, 10.9 nach planmäßiger Vorspannung, zeigt erhebliche Unterschiede, eine Streuung von 6 % bis zu 33% über den gewünschten/geplanten Vorspannkraften, in den tatsächlich erreichten Vorspannkraften (Abb.7).

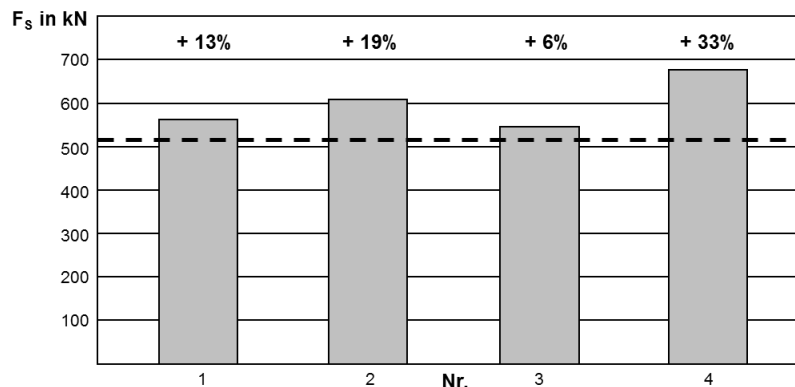


Abb.7: Ergebnis der Untersuchung der erreichten Vorspannkraft zur geplanten Vorspannkraft (gestrichelte Linie)
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Allgemein werden MoS₂-Pasten angewendet und Reibwerte von 0,10 bis 0,12 eingesetzt (Grohmann, „Wissenswertes über Edelstahlschrauben“). Es sollte beachtet werden, dass diese nicht bei Temperaturen über 300 °C verwendet werden sollen (VGB-Richtlinie R505 M).

Bei Edelstahlschrauben sollte unbedingt auf die Verwendung schwefelhaltiger Schmiermittel verzichtet werden. Schwefel reagiert mit den Nickelbestandteilen der Schraube, Mutter und Auflagefläche zu Nickelsulfid, was einem Kaltverschweißen gleichkommt.

Beim Nachziehen unter Temperatur ist zu beachten, dass die Reibwerte stark ansteigen können, bei sehr hohen Temperaturen kann von einer Vervielfachung ausgegangen werden (Tab.4).

Leider war bei der Recherche keine andere Untersuchung zu diesem Thema zu finden. Die Veränderung des Reibungskoeffizienten wird deutlich aufgezeigt.

| Tab.4: Werte von Haftreibungskoeffizienten, Quelle Firma POSSE-MARRE | | | | |
|--|-------|--------|--------|--------|
| © Peter Thomsen, D-28211 Bremen | | | | |
| Temperatur | 20 °C | 200 °C | 400 °C | 600 °C |
| Haftreibungskoeffizient | 0,40 | 0,62 | 0,77 | 0,89 |

Haftreibungskoeffizienten von Stahl (Erläuterung seitens der Firma POSSE-MARRE): „Die Ermittlung des Haftreibungskoeffizienten war für uns wichtig, weil Glühroste in Stoßöfen diskontinuierlich weitertransportiert werden und diese Roste der Schubbeanspruchung widerstehen müssen. Die in der nebenstehenden Richtwert-Tabelle angegebenen Haftreibungskoeffizienten wurden unter Berücksichtigung der gängigen austenitischen hitzebeständigen Stähle ermittelt und sind allgemein unabhängig vom Bearbeitungszustand der aufeinander gleitenden Flächen.“

Die Festigkeit des Werkstoffes sinkt. Ein solches Montieren verlangt ein hohes Maß an Erfahrung und soll nur nach einer Gefährdungsanalyse, die zu dokumentieren ist und spezieller Unterweisung durchgeführt werden. Solche Montagen sollten vermieden werden.

Es wird deutlich, wie wichtig die richtige Schraubenschmierung ist, um die gewünschte Vorspannkraft auch zu erreichen. Bei Montageverfahren wie hydraulischem Längen/Ziehen (Bolt-Tensioning) gibt es keinen Einfluss durch die Reibung, sie bieten somit deutliche Vorteile. Die Tabellen mit den breit streuenden Werten zeigen deutlich den Vorteil des Ausschlusses von Reibung.

Selbstverständlich müssen die Drehmomenttabellen den veränderten Reibwerten der Schrauben angepasst werden. Die Schäden an den Schrauben (Abb.8) hätten durch Anpassung der Reibzahl vermieden werden können.



Abb.8: Folge nicht angepasster Drehmomente bei Veränderung der Oberflächenbeschichtung

Quelle: Kundenfoto

Die Abb.8 zeigt Schrauben, die mit einem Drehmoment für 70% $R_{p0,2}$ bei Reibungszahl 0,12 vorgespannt werden sollten. Durch die niedrigere Reibzahl 0,02 bis 0,05 nach der Oberflächenbehandlung, ist es bei der Montage mit dem Anzugsmoment nach oben genannten Voraussetzungen zu Überdehnung oder Bruch gekommen. Die tatsächlich erreichte Vorspannkraft war mehr als doppelt so hoch wie geplant (Abb.9).

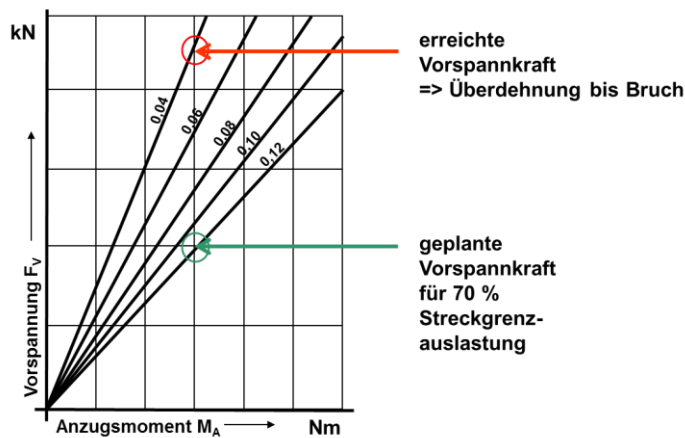


Abb.9: Das Bild zeigt die gewünschte und die durch den niedrigeren Reibungskoeffizienten tatsächlich erreichte Vorspannkraft
© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Das Drehmoment für die tatsächliche Reibzahl wäre weniger als halb so groß gewesen. Um der Problematik der Einschätzung des Reibungskoeffizienten aus dem Weg zu gehen, sollte entweder der tatsächliche Reibungskoeffizient ermittelt oder ein reibungsfreies Verfahren wie Bolt-Tensioning (Hydraulisches Längen) gewählt werden.

Angaben von Drehmomenten ohne zugehörigen Reibwert sind unzulässig und sollten auf keinen Fall angewendet werden. Entsprechende Drehmomenttabellen und Poster sind zu entfernen.

Die richtige Festlegung/Ermittlung der Reibwerte vermeidet damit eine, aus der Reibwertstreuung, erforderliche Überdimensionierung der Schrauben und Nachspannen, wegen Verlustes von Vorspannkraft durch Setzen/Relaxation und hilft Inspektionsintervalle zu verlängern.

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, D-28211 Bremen

Stand 03.01.2022