

## Näherungswerte für Haftreibungszahlen $\mu_T$ in der Trennfuge

nach VDI 2230, Ausgabe 2015

Stoffpaarung (Regelfall: Zustand nach der Bearbeitung)	Haftreibungszahl $\mu_T$ im Zustand	
	trocken	geschmiert
Stahl – Stahl/ Stahlguss (allgemein)	0,1 bis 0,3	0,07 bis 0,12
Stahl – Stahl; gereinigt	0,15 bis 0,40	–
Stahl – Stahl; einsatzgehärtet	0,04 bis 0,15	–
Stahl – GJL	0,11 bis 0,24	0,06 bis 0,1
Stahl – GJL; gereinigt	0,26 bis 0,31	–
Stahl – GJS	0,1 bis 0,23	–
Stahl – GJS; gereinigt	0,2 bis 0,26	–
GJL – GJL	0,15 bis 0,3	0,06 bis 0,2
GJL – GJL; gereinigt/entfettet	0,09 bis 0,36	–
GJS – GJS	0,25 bis 0,52	0,08 bis 0,12
GJS – GJS; gereinigt/entfettet	0,08 bis 0,25	–
GJL – GJS	0,13 bis 0,26	–
Stahl – Bronze	0,12 bis 0,28	0,18
GJL – Bronze	0,28	0,15 bis 0,2
Stahl – Kupferlegierung	0,07 bis 0,25	–
Stahl – Aluminiumlegierung	0,07 bis 0,28	0,05 bis 0,18
Aluminium – Aluminium	0,19 bis 0,41	0,07 bis 0,12
Aluminium – Aluminium; gereinigt/entfettet	0,10 bis 0,32	–

Anmerkung: Wegen der Vielzahl von Einflussgrößen auf die Reibungszahl können nur typische Bereiche angegeben werden. Im konkreten Fall muss die minimale Reibungszahl nicht der Untergrenze des jeweiligen Bereichs entsprechen und sind gegebenenfalls experimentelle Untersuchungen vorzunehmen. Diese sind auch bei Massnahmen zur Vergrößerung der Reibungszahl zu empfehlen.

## Richtwerte für den Anziehungsfaktor $\alpha_A$ und die resultierenden Montagevorspannkraft

nach VDI 2230, Ausgabe 2015

Der Anziehungsfaktor  $\alpha_A$  (Montageunsicherheit) berücksichtigt die Fehler beim Abschätzen der Reibungszahlen, Streuungen der Reibungszahlen, das Anziehverfahren, die Gerätetoleranzen sowie die Bedienungsfehler und Ablesungenauigkeiten.

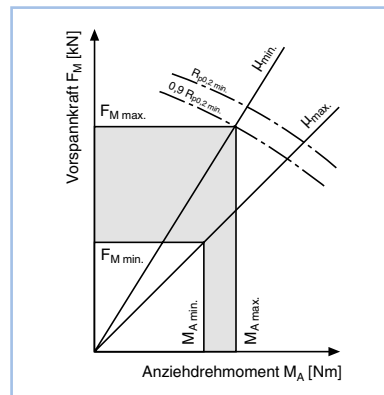
$\alpha_A$  berücksichtigt somit die Streuung der erzielbaren Montagevorspannkraft zwischen  $F_{M \max}$  und  $F_{M \min}$ . Die Auslegung der Schraube wird auf das max. Anziehdrehmoment  $M_{A \max}$  ausgerichtet, damit die Schraube bei der Montage nicht überbeansprucht wird. Der Anziehungsfaktor  $\alpha_A$  ist somit definiert als:

$$\alpha_A = \frac{\text{max. mögliche Montagevorspannkraft } F_{M \max}}{\text{min. nötige Montagevorspannkraft } F_{M \min}}$$

Selbst einfache moderne Drehmomentschrauber liefern heute Anziehdrehmomente in sehr engen Toleranzen. Maximale Drehmomentstreuungen im Bereich von  $\pm 2\%$  sind übliche Angaben der Hersteller.

Trotzdem streuen die resultierenden Montagevorspannkraft in Abhängigkeit vom Anziehungsfaktor von  $\pm 9\%$  bis hinauf zu  $\pm 60\%$ .

- Anziehverfahren mit Verlängerungsmessung: Hydraulisches Anziehen ist praktisch unabhängig von der Reibung. Ihre  $\alpha_A$ -Faktoren sind niedrig
- Drehmomentgesteuerte Anziehverfahren reagieren auf Reibungseinflüsse. Die  $\alpha_A$ -Faktoren sind generell höher: Kleinere Streuungen und damit niedrigere  $\alpha_A$ -Faktoren ergeben sich bei Reibungskoeffizienten, die in praktischen Vorversuchen ermittelt wurden. Das Gleiche gilt für harte Schraubfälle mit kurzen Klemmlängen und für zügige Anziehverfahren. Höhere  $\alpha_A$ -Faktoren entstehen bei geschätzten Reibungskoeffizienten, bei weichen Schraubfällen sowie bei Anziehverfahren, die nicht zügig verlaufen, wie z. B. bei Schlagschraubern, Impulsschraubern und Handmontagen.



Anziehfaktor $\alpha_A$	Streuung $\frac{\Delta F_M}{2 \cdot F_{Mm}} = \frac{\alpha_A - 1}{\alpha_A + 1}$	Anziehverfahren	Einstellverfahren	Bemerkungen	
1,1 bis 1,2	$\pm 5\%$ bis $\pm 9\%$	Anziehen mit Längungssteuerung bzw. -kontrolle per Ultraschall	Schalllaufzeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kalibrierwerte erforderlich</li> <li>- bei <math>l_k/d &lt; 2</math> progressive Fehlerzunahme zu beachten</li> <li>- kleinerer Fehler bei direkter mechanischer Ankopplung, grösserer bei indirekter Ankopplung</li> </ul>	
1,1 bis 1,3	$\pm 5\%$ bis $\pm 13\%$	Mechanisches Längen durch in der Mutter oder dem Schraubenkopf angeordnete Druckschrauben	Vorgabe Längung der Schraube, Einstellung über Abdrückdrehmoment der Druckschrauben	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gehärtete Unterlegscheibe zur Abstützung der Druckschrauben</li> <li>- ab ca. M24</li> </ul>	
1,2 bis 1,5	$\pm 9\%$ bis $\pm 20\%$	Mechanisches Längen durch mehrteilige Mutter mit Gewindebuchse	Drehmoment des Anziehwerkzeugs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- weitgehend torsionsfreies Verschrauben</li> <li>- ab ca. M30</li> </ul>	
1,1 bis 1,5	$\pm 5\%$ bis $\pm 20\%$	Anziehen mit mechanischer Längungsmessung bzw. -kontrolle	Direktes Verfahren: Einstellung über Längungsmessung Indirektes Verfahren: Axialspiel zum Kontrollstift aufgezehrt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- notwendig: genaue Ermittlung der anteiligen axialen elastischen Nachgiebigkeiten der Schraube</li> <li>- Streuung wesentlich abhängig von der Genauigkeit des Messverfahrens</li> <li>- für niedrige Werte Kalibrierung erforderlich</li> <li>- bei <math>l_k/d &lt; 2</math> progressive Fehlerzunahme beachten</li> </ul>	
1,1 bis 1,4	$\pm 5\%$ bis $\pm 17\%$	Hydraulisches reibungs- und torsionsfreies Anziehen	Einstellung über Druck- bzw. Längenmessung oder Weiterdrehwinkel der Mutter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bei <math>l_k/d \geq 5</math> kleinere Werte erreichbar, bei mechanisch bearbeiteten Schrauben und Platten <math>\alpha_A = 1,05</math> möglich</li> <li>- bei Normschrauben und -muttern <math>\alpha_A \geq 1,2</math></li> <li>- geringere Klemmlängenverhältnisse führen zu grösseren <math>\alpha_A</math>-Werten</li> <li>- es treten Rückfederungsverluste auf, die im Anziehfaktor keine Beachtung finden</li> <li>- Anwendung ab M20</li> </ul>	
1,2 bis 2,0	$\pm 9\%$ bis $\pm 33\%$	Impulsschrauber mit hydraulischer Pulszelle, drehmoment und/oder drehwinkelgesteuert	Einstellung über Drehwinkel oder Weiterdrehmoment	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kleine Werte nur bei Voreinstellung auf den Schraubfall über Drehwinkel, Druckluftservoventil und Pulszählung</li> <li>- im Sonderfall auch überelastische Montage möglich</li> </ul>	
1,2 bis 1,4	$\pm 9\%$ bis $\pm 17\%$	Streckgrenzengesteuertes Anziehen, motorisch oder manuell	Vorgabe des relativen Drehmoment-Drehwinkel-Koeffizienten	Die Vorspannkraftstreuung wird wesentlich bestimmt durch die Streuung der Streckgrenze im verbauten Schraubenlos. Die Schrauben werden hier für $F_{M \min}$ dimensioniert; eine Auslegung der Schrauben für $F_{M \max}$ mit dem Anziehfaktor $\alpha_A$ entfällt deshalb für diese Anziehmethoden.	
1,2 bis 1,4	$\pm 9\%$ bis $\pm 17\%$	Drehwinkelgesteuertes Anziehen, motorisch oder manuell	Versuchsmässige Bestimmung von Voranziehmoment und Drehwinkel (Stufen)		
1,4 bis 1,6	$\pm 17\%$ bis $\pm 23\%$	Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Hydraulikwerkzeug	Einstellung über Druckmessung	- ab ca. M30	
1,4 bis 1,6	$\pm 17\%$ bis $\pm 23\%$	Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Drehmoment-schlüssel, signalgebendem Schlüssel oder motorischem Drehschrauber mit dynamischer Drehmomentmessung	Versuchsmässige Bestimmung der Sollanziehmomente am Originalverschraubungsteil, z.B. durch Längungsmessung der Schraube	Niedrige Werte: grosse Zahl von Einstell- bzw. Kontrollversuchen (z. B. 20) erforderlich; geringe Streuung des abgegebenen Moments (z. B. $\pm 5\%$ ) nötig	Niedrige Werte für: <ul style="list-style-type: none"> <li>- kleine Drehwinkel, das heisst relativ steife Verbindungen</li> <li>- relativ geringe Härte der Gegenlage<sup>a)</sup></li> <li>- Gegenlagen, die nicht zum «Fressen», neigen, z. B. phosphatiert oder bei ausreichender Schmierung</li> </ul>
1,6 bis 2,0 (Reibungszahlklasse B)	$\pm 23\%$ bis $\pm 33\%$	Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Drehmoment-schlüssel, signalgebendem Schlüssel oder motorischem Drehschrauber mit dynamischer Drehmomentmessung	Bestimmung des Sollanziehdrehmomentes durch Schätzen der Reibungszahl (Oberflächen- und Schmierverhältnisse von grossem Einfluss)	Niedrige Werte für: messende Drehmoment-schlüssel bei gleichmässigen Anziehen und für Präzisions-drehschrauber	Grosse Werte für: <ul style="list-style-type: none"> <li>- grosse Drehwinkel, das heisst relativ nachgiebige Verbindungen sowie Feingewinde</li> <li>- grosse Härte der Gegenlage, verbunden mit rauer Oberfläche</li> </ul>
1,7 bis 2,5 (Reibungszahlklasse A)	$\pm 26\%$ bis $\pm 43\%$			Grosse Werte für: signalgebende oder ausknickende Drehmoment-schlüssel	
2,5 bis 4	$\pm 43\%$ bis $\pm 60\%$	Anziehen mit Schlagschrauber, «Abwürgschrauber» oder Impulsschrauber; Anziehen von Hand	Einstellen des Schraubers über Nachziehdrehmoment, das aus Sollanziehmoment (für die geschätzte Reibungszahl) und einem Zuschlag gebildet wird; Handanzug nach subjektivem Ermessen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niedrige Werte für: <ul style="list-style-type: none"> <li>- grosse Zahl von Einstellversuchen (Nachziehdrehmoment)</li> <li>- auf horizontalem Ast der Schraubercharakteristik</li> <li>- spielfreie Impulsübertragung</li> </ul> </li> <li>Verfahren nur zum Voranziehen geeignet, bei Anziehen von Hand Gefahr der Überdehnung bei M10 und kleiner</li> </ul>	

<sup>a)</sup> Gegenlage: verspanntes Teil, dessen Oberfläche mit dem Anziehelement der Verbindung (Schraubenkopf oder Mutter) im Kontakt steht.

Anmerkung: Kleinere Anziehfaktoren sind im konkreten Fall möglich. Sie erfordern einen grösseren Aufwand bezüglich des Einstellverfahrens, der Qualität des Werkzeugs und/oder der Qualität der Verbindungsmittel und Bauteile.