



# **1. Technisches Forum für Betreiber von Prozessanlagen**

## **Drehmomentschlüssel – fachkundige Nutzung**

**Referent:  
Peter Thomsen  
[www.thomsen-bremen.de](http://www.thomsen-bremen.de)**

# Vorstellung Referent

- ich bin seit 1984 Inhaber der Peter Thomsen-Industrie-Vertretung, Vertriebs- und Ingenieurbüro
- war von 2006 bis 2021 geschäftsführender Gesellschafter der Lannwehr + Thomsen GmbH & Co. KG, Ingenieurbüro für Rohrleitungs-, Apparate- und Dichtungstechnik
- seit 2016 bin ich Gesellschafter der ISOflanges GmbH, Isolierflanschverbindungen
- habe diverser Patente zu Dichtungen, Flansch- und Schraubenverbindungen und deren Montage
- vertreibe für namhafte Hersteller Dichtungen, Schrauben, Berstscheiben, Probenehmer und Armaturen
- arbeite in Normenausschüssen im EN, DIN, ASME, ISO, VDI, DVGW, AGFW
- habe an Normen wie DIN EN 1591-1, VDI 2862-2, DIN 2626, DIN 86076, DIN 86044-2, DIN 86072-2, DIN 3535, DIN 30690-1 ... mitgearbeitet
- bin als Referent zum Thema Flanschverbindungen, Dichtungen, Schrauben, Berstscheiben und Regelwerke, sowie Qualifizierung von Montagepersonal tätig
- bin Autor der „ASME PCC-01-2010“ (lizenzierte Übersetzung aus dem amerikanischen), „10 Schritte zur optimalen, auf Dauer technisch dichten Dichtverbindung“ und „Dichtungsvademecum“ sowie Koautor im „Dichtungstechnik Jahrbuch“ (diverse Ausgaben), im „Handbuch Dichtungspraxis“ (diverse Ausgaben) und im „Tabellenbuch Rohrleitungsbau“
- schreibe seit 2016 die Kolumne „Genauer betrachtet!“ in der Fachzeitschrift DICHT!
- habe diverse Fachartikel zu Schraub- und Dichtverbindungen, deren Bauteile und Montage sowie rechtlichen Hintergründen veröffentlicht (43)
- bin Herausgeber diverser Info-Poster (24), technischer Informationen (73)
- erledige Gutachtertätigkeit bei Problemen mit Schraub- und Flanschsystemen
- habe Schulungen im Haus der Technik (HDT), beim AGFW und beim Gas-Wärme-Institut (GWI) durchgeführt
- mache Mitarbeiterschulungen für Kunden im Sinne der BetrSichV, fachkundiger Monteur
- unterstütze Kunden bei der Erstellung von Spezifikationen, Gefährdungsbeurteilungen und Standardisierungen
- bei der Überarbeitung von Rohrklassen und Werkstoffspezifikationen
- erstelle Berechnungen von Drehmomenten



**Peter Thomsen**  
geboren am 31.08.1960  
technischer Kaufmann  
[www.thomsen-bremen.de](http://www.thomsen-bremen.de)



## Drehmomentanziehverfahren

- der Monteur spannt die Verbindung durch Drehen des Drehmomentschlüssels, bei Erreichen der maximal eingestellten Kraft „knackt“ der Schlüssel und unterbricht die Verspannung
- Grenze ist die Hebelarmlänge, sinnvolle Anwendung bis ca. M24
- Problem ist die Einschätzung der Reibung, ca. 90% der Kraft wird zur Reibungsüberwindung benötigt
- Streufehler nach VDI 2230 ist +/- 26 bis +/- 43%, kann durch Messen der Schraubenlängung auf +/- 5 bis +/- 20% verbessert werden
- Verfahren setzt sich immer mehr durch

Bildquelle: Gedore

# Drehmoment ist eine Krücke!

Welches Montageergebnis kann man bei Verwendung von marktüblichen Drehmomentschlüsseln erwarten?

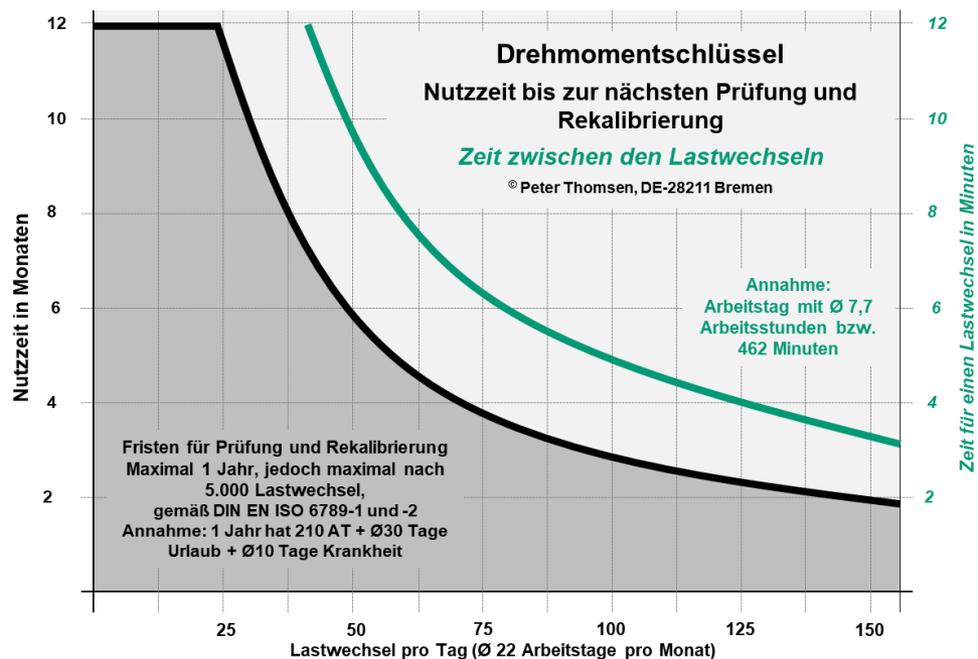
Ursache	Verantwortlich	Art des Fehlers	Streuung
Werkzeug	Herstellerqualität	Toleranzen	+/- 2 bis 4 %
	Wiederholgenauigkeit		+/- 15 %
Bauteile	Reibung	Einschätzung	+/- 35 %
Monteur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unwissenheit</li> <li>• nicht geschult</li> <li>• unsachgemäße Handhabung</li> </ul> <p>siehe: DIN EN ISO 6789-1, Prüfverfahren, Abschnitt 5.3 und DIN EN ISO 6789-2, Kalibrierung, Abschnitt 4.1</p>	<b>falsche Benutzung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nicht nur am Griff angefasst</li> <li>- nicht mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gezogen</li> <li>- Anwendungsebene nicht 90° zur Schraubachse</li> <li>- ruckartig betätigt</li> <li>- Hebelarm unzulässig verlängert</li> </ul>	+/- 100 %
		<b>Prüfung/Kalibrierung aufgehoben</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- abgelaufen mehr als               <ol style="list-style-type: none"> <li>12 Monate</li> <li>5.000 Lastwechsel</li> <li>mehr als 125 % maximales Nennmoment aufgebracht</li> </ol> </li> <li>- vorgespannt gelagert</li> <li>- heruntergefallen</li> <li>- angeschlagen</li> <li>- zum Lösen verwendet</li> </ul>	

© Peter Thomsen, DE-28211 Bremen

# Unterstützung zur Ermittlung der Nutzungsgrenze von 5.000 Lastwechseln

## Lastwechseln

Um eine Vorstellung für die Nutzungsdauer bei der Grenze von 5.000 Lastwechsel zu bekommen, habe ich einmal in der folgenden Grafik die Nutzungszeit in Abhängigkeit der durchschnittlich täglich vorgenommenen Lastwechsel ermittelt.



Zusätzlich wurde die Zeit für den Abstand zweier Lastwechsel angezeigt, um einen ungefähren Eindruck über die übliche tägliche Nutzung zu bekommen. Während man mit 24 Lastwechseln noch mit der Frist von einem Jahr zu Recht kommt, sinkt die Frist bei ca. 50 Lastwechsel auf knapp 6 Monate und bei 75 auf 3 1/2 Monate.

# **Achtung! Hinweis zur Arbeitssicherheit!**



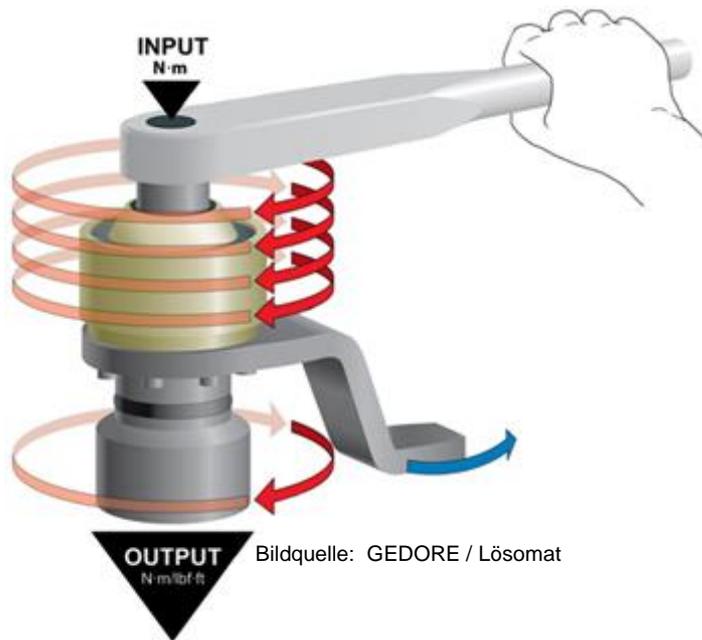
**Drehmomentschlüssel dürfen nur bis 400 Nm angewendet werden!  
Hinweis auf maximale schwere Arbeit laut BGR  
(Berufsgenossenschaftliche Regeln zur Unfallverhütung).  
Siehe auch ASME PCC-1-2010 10.1 Tightening Methods Absatz (b)  
Punkt (2), hier sind maximal 700 Nm zugelassen.**



**Masse machts!**

Bildquelle: Hytorc Seis, Dörth

# Anziehen großer Schrauben mit Drehmomentschlüssel und Kraftverstärker



Bildquelle: GEDORE / Lösomat

800	200
900	225
1000	250
1100	275
1250	312
1320	330
1500	375
1650	412
1760	440
2000	500
2100	525

INPUT		OUTPUT	
N·m	lbf·ft	N·m	lbf·ft
35.8	8.0	500	40
46.3	15.7	650	70
57.2	30.5	800	150
64.8	43.3	900	200
74.7	60.3	1000	300
81.0	63.6	1100	350
91.9	65.4	1250	400
96.5	75.9	1320	550
107.3	79.2	1500	600
117.3	143.6	1650	700
125.0	162.6	1760	750
139.8	171.1	2000	800
145.7	180.4	2100	850
150.2	190.4	2200	900
166.9	200.1	2500	920
205.8	210.6	3000	950
259.8	200.1	3500	920
295.0	210.6	4000	950

Mit Kraftverstärkern können die Anzugsmomente erhöht und gleichzeitig die Forderungen der BGR eingehalten werden. Kraftverstärker haben den Nachteil erhebliche Toleranzen und Streuung zu bringen.



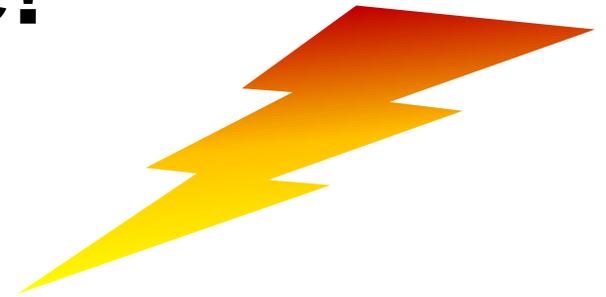
**([www.gedore-torque-solutions.com](http://www.gedore-torque-solutions.com))**

- **Drehmomentvervielfältiger mit Werksprüfzertifikat und Messunsicherheit von  $\pm 4\%$  im Bereich von 10-90% des Drehmomentbereichs**
- **optimale Einstellung**
- **Überlastsicherung**
- **Rücklaufsicherung**
- **verschiedene Ausführungen für Reaktionsarme**



Bildquelle: GEDORE

**Drehmoment ist tatsächlich  
eine Krücke!**



**Hauptproblem ist der  
Einfluss der Reibung!**

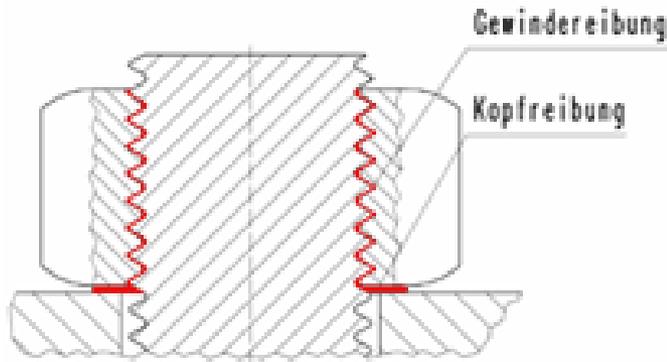
# Zusammenhang Drehmoment und Reibung

Die erforderlichen Drehmomente werden Anhand der folgenden Formel aus der VDI 2230 errechnet:

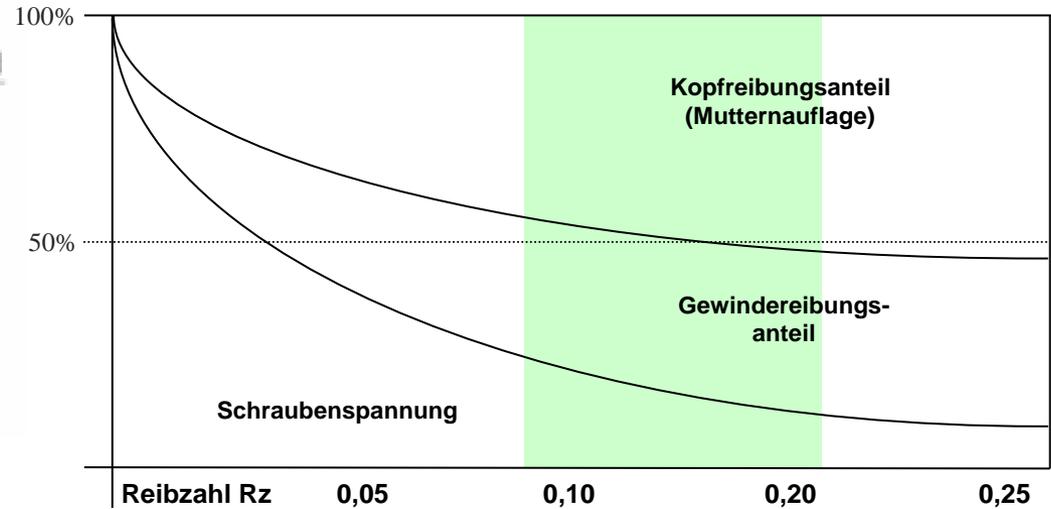
$$M_A = F_M \left[ d_2/2 (\tan\beta + \mu') + \mu k \cdot 0,25 (D + d_L) \right]$$

$M_A$	=	Montageanziehdrehmoment in Nm
$F_M$	=	Montage-Vorspannkraft in N
$d_2$	=	Gewinde-Flanken-Ø in m
$\tan\beta$	=	Tangenz vom Steigungswinkel des Gewindes
$\mu'$	=	<b>Reibungszahl für die Gewindeflanken</b>
$\mu k$	=	<b>Reibungszahl für die Kopf-(Mutter)-Auflage</b>
$D$	=	Ø der Kopf-(Mutter)-Auflagefläche in m
$d_L$	=	Ø des Schraubendurchgangsloches in m

**Die Reibungszahl hat einen erheblichen Einfluss auf das Montagedrehmoment!**



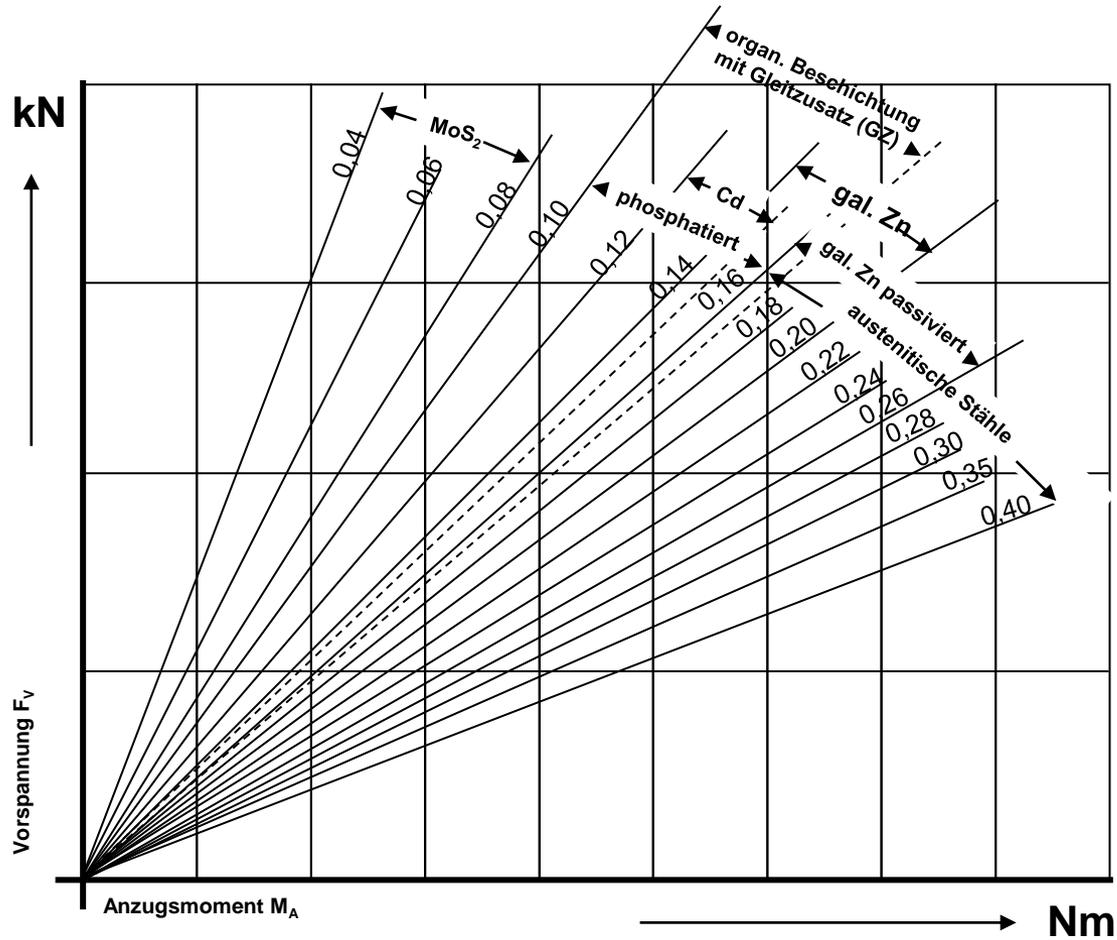
### Anteile des Drehmomentes zur Reibungsüberwindung



**Bei Kräfteintrag über Drehmomente wird ca. 80 - 90% der Kraft zur Überwindung der Reibung benötigt**

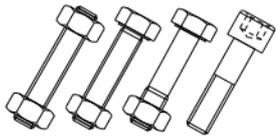
Bildquelle: Technisches Handbuch des FDS

# Montagemoment $M_A$ / Vorspannkraft $F_V$



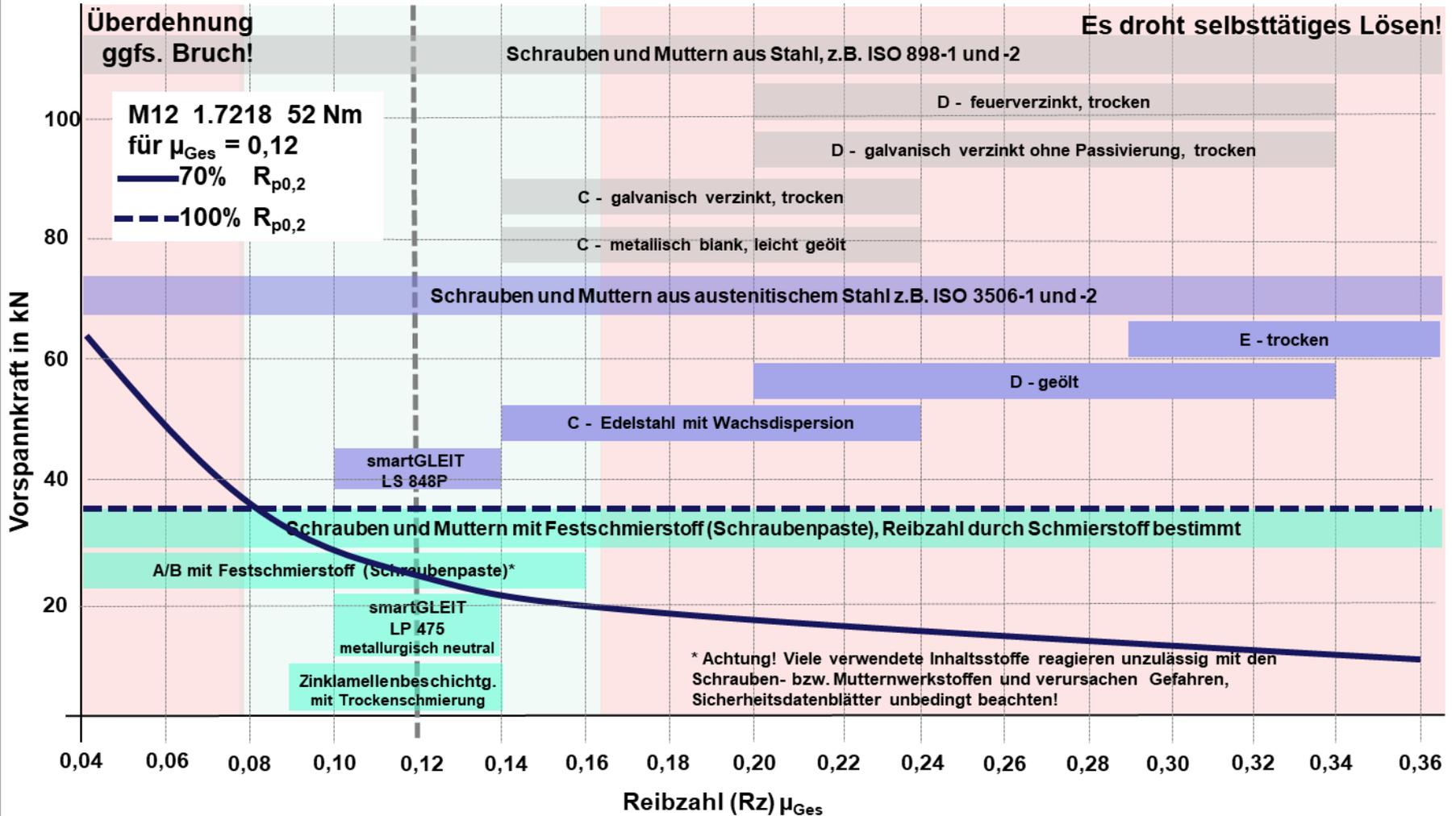
Quelle : OKS-Schmierstoffe

# Verbindungselemente - reibzahlabhängige Vorspannkraft - Reibzahlfenster verschiedener Oberflächenzustände

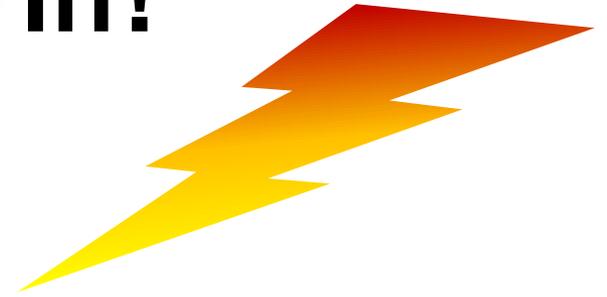


Quelle der Reibzahlfenster: VDI 2230 Blatt 1, Tabelle A5  
 optimaler Reibzahlmittelwert  $\mu_{Ges} = 0,12$

© Peter Thomsen · www.thomsen-bremen.de



**Wenn man glaubt man  
hat alles im Griff!**



**Dann kommt noch ein Blick  
auf die Berechnung  
der Drehmomente!**

## Streuwert der Montagevorspannkraft

Richtwerte  $\epsilon_{1-}$  und  $\epsilon_{1+}$  nach DIN EN 1591-1:2014-04, Anhang B, Tabelle B.1 und Ergänzungen nach VDI 2230 Blatt 1

©Peter Thomsen · www.thomsen-bremen.de

Montageverfahren		Einflussgrößen für die Streuung		Streuwert <sup>a b c d</sup>				$\epsilon_{1-}$ und $\epsilon_{1+}$ nach Reibungskoeffizient $\mu$ aus Formel gerechnet												
DIN EN 1591-1 Anhang B Tabelle B.1	übliche Bezeichnung angewandeter Werkzeuge	DIN EN 1591-1 Anhang B Tabelle B.1	zusätzliche tatsächliche Einflussgrößen	DIN EN 1591-1 Anhang B Tabelle B.1		VDI 2230 Bl. 1: 2003-02/2015-11, Tab. A8		Reibungskoeffizient $\mu$												
				$\epsilon_{1-}$	$\epsilon_{1+}$	Streuung in %	Anziehungsfaktor $\alpha_A$	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30
Schraubenschlüssel: nach Gefühl des Mechanikers oder unkontrolliert	Ring- oder Maulschlüssel	Reibung Steifigkeit Qualifikation des Monteurs		<b>0,3 + (0,5 x <math>\mu</math>)</b>		-	-	<b>0,33</b>	<b>0,34</b>	<b>0,35</b>	<b>0,36</b>	<b>0,37</b>	<b>0,38</b>	<b>0,39</b>	<b>0,40</b>	<b>0,41</b>	<b>0,42</b>	<b>0,43</b>	<b>0,44</b>	<b>0,45</b>
Schlagschraubenschlüssel	Schlagschlüssel Schlagschrauber	Reibung Steifigkeit Kalibrierung	Kalibrierung nur für Schrauber Qualifizierung des Montagepersonals Schmierung	<b>0,2 + (0,5 x <math>\mu</math>)</b>		± 43% bis ± 60%	2,5 - 4,0	<b>0,23</b>	<b>0,24</b>	<b>0,25</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>	<b>0,28</b>	<b>0,29</b>	<b>0,30</b>	<b>0,31</b>	<b>0,32</b>	<b>0,33</b>	<b>0,34</b>	<b>0,35</b>
Drehmomentschlüssel = Schraubenschlüssel mit (ausschließlich) Drehmomentmessung	Drehmoment-schlüssel	Reibung Kalibrierung Schmierung	Qualifizierung des Montagepersonals	<b>0,1 + (0,5 x <math>\mu</math>)</b>		± 26% bis ± 43%	1,7 - 2,5	<b>0,13</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>0,19</b>	<b>0,20</b>	<b>0,21</b>	<b>0,22</b>	<b>0,23</b>	<b>0,24</b>	<b>0,25</b>
Hydraulische Spannvorrichtung; Messung des Hydraulikdrucks	Hydraulische Spannzylinder zur Längendehnung (Bolt-Tensioning)	Steifigkeit Schraubenlänge Kalibrierung	Kopplungsfehler bei Ultraschallmessung Planlauftoleranz der Mutter Qualifizierung des Montagepersonals	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	± 5% bis ± 9%	1,1 - 1,2													
Schraubenschlüssel oder hydraulische Spannvorrichtung; Messung der Schraubenlänge	Schraubenschlüssel Drehmomentschlüssel elektrischer, pneumatischer, hydraulischer Schrauber	Steifigkeit Schraubenlänge Kalibrierung	Kopplungsfehler bei Ultraschallmessung Qualifizierung des Montagepersonals Schmierung	<b>0,15</b>		± 5% bis ± 20%	1,1 - 1,5													
Schraubenschlüssel, Messung des Drehwinkels der Mutter (nahezu bis zur Streckgrenze der Schraube)	streckgrenz-gesteuerter Schrauber	Steifigkeit Reibung Kalibrierung	Reibung hat keinen Einfluß auf dieses Montageverfahren Qualifizierung des Montagepersonals Schmierung	<b>0,10</b>		± 9% bis ± 17%	1,2 - 1,4													
Schraubenschlüssel Messung des Drehmoments und des Drehwinkels der Mutter (nahezu bis zur Streckgrenze der Schraube)	streckgrenz- und drehwinkelgesteuerter Schrauber	Kalibrierung	Qualifizierung des Montagepersonals Schmierung	<b>0,07</b>		± 9% bis ± 17%	1,2 - 1,4													

Das ist doch absurd, oder?

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit

bei Rückfragen  
[info@thomsen-bremen.de](mailto:info@thomsen-bremen.de)  
04221-9740022