



Fort York Bridge, Toronto, Kanada

Fußgängerbrücke

© Juan A. Sobrino, pedelta

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Institut für
Metall- und Leichtbau

Aktuelle Entwicklungen in der internationalen Anwendung von vorgespannten Verbindungen aus nichtrostenden Stählen

Dr.-Ing. Dominik Jungbluth

Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner

3. Fachtagung
**Mechanische Verbindungsmittel
im Stahlbau**

26. März 2021 | Online-Fachtagung

Fort York Bridge, Toronto, Kanada

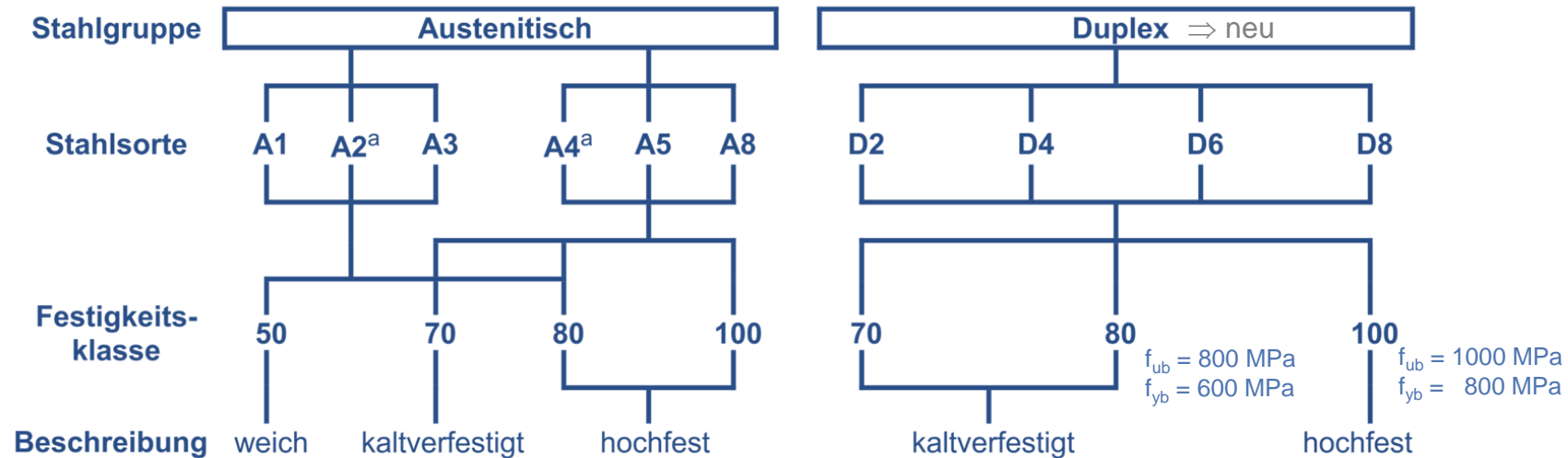
Fußgängerbrücke

© Juan A. Sobrino, pedelta



- Vorspannen von Garnituren aus nichtrostendem Stahl
- Schraubengarnituren aus nichtrostendem Stahl
- Korrosivitätskategorien
- Vorspannverhalten
- Gleitfeste Verbindungen
- Aktuelle Entwicklungen in der Normung
- Bolt Tightening Qualification Procedure (BTQP)
- Zusammenfassung

Überarbeitung der EN ISO 3506-1 und -2 Mechanische Eigenschaften für Schrauben und Muttern



a Austenitische nichtrostende Stähle mit einem niedrigen Kohlenstoffgehalt von höchstens 0,03 % dürfen zusätzlich mit einem „L“ gekennzeichnet werden. Beispiel: **A4L-80**.

Auch verfügbar:
Hochfeste nichtrostende Schrauben vergleichbar
mit hochfesten Kohlenstoffschrauben

Bumax 88/109 (A) oder LDX/DX/SDX
mit

⇒ $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$ oder

⇒ $f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$, $f_{yb} = 900 \text{ MPa}$



Schirm-Produktnorm

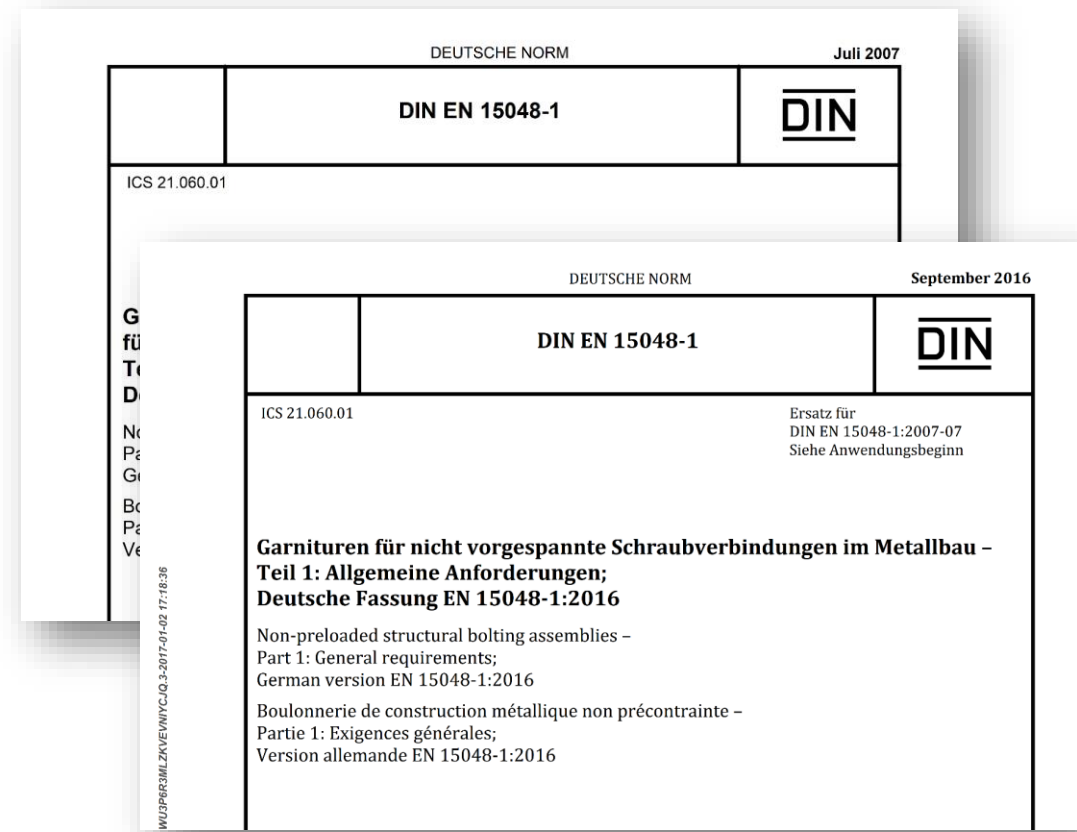
⇒ Fixiert alle aus der Sicht des Stahlbaus wichtigen technischen Anforderungen an Garnituren aus Schrauben, Muttern und Scheiben, **ohne** auf einzelne spezielle Produkte einzugehen.

Zentrale Forderungen

- Maße und Toleranzen sind in einer europäischen oder internationalen Produktnorm beschrieben
- in Garnituren lieferbar
- CE-Kennzeichnung
- Zusatzkennzeichen „SB“ (Structural Bolting) auf Schrauben und Muttern

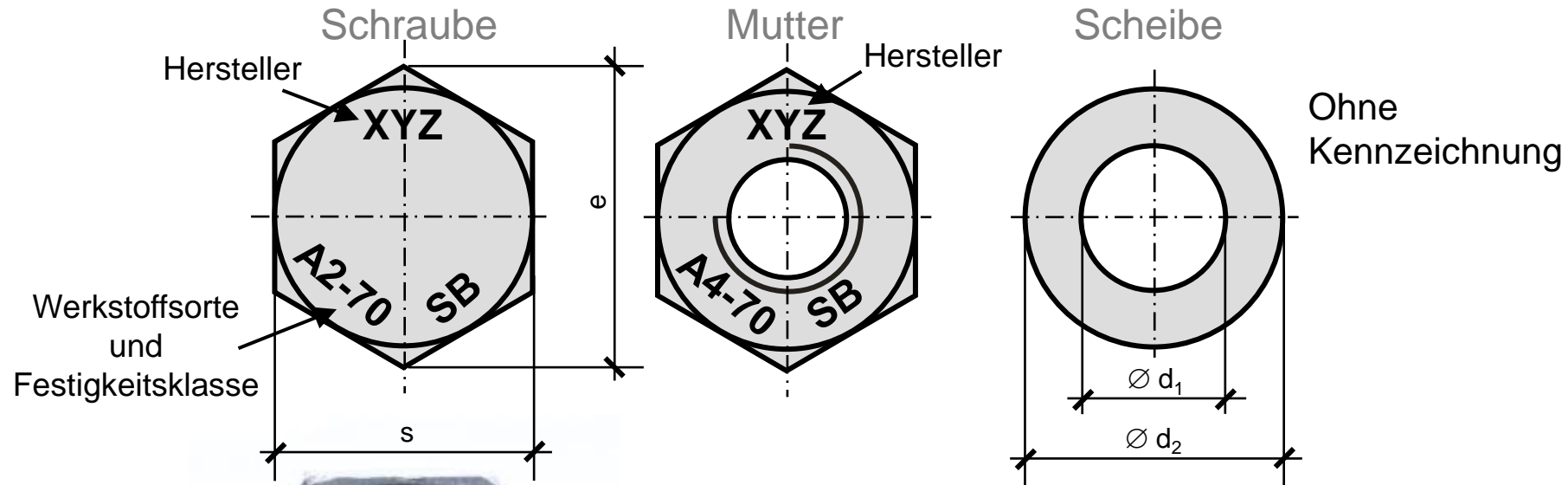
Beschränkungen hier nur mit Bezug auf nichtrostenden Stahl

- M12 – M36
- Nichtrostender austenitischer Stahl
- Festigkeitsklassen 50, 70, 80 (nach EN ISO 3506-1/-2)
- Kein Duplex-Stahl



Kennzeichnung Schraubengarnituren nach DIN EN 15048-2

Garnituren aus nichtrostendem Stahl



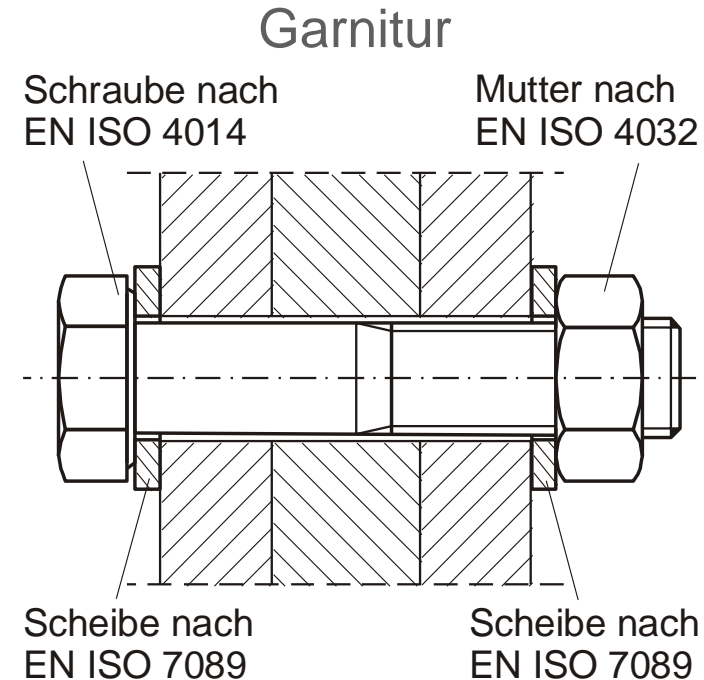
© Bumax

- Gute Praxis: Anordnung von Scheiben unter dem Schraubenkopf und unter der Mutter
- Korrosionswiderstand der Schrauben sollte mindestens genauso gut sein wie der Korrosionswiderstand der zu verbindenden Teile
 - ⇒ z. B. zur Verschraubung von nichtrostendem Stahl 1.4401 sollten A4- Schrauben oder besser verwendet werden (siehe auch Werkstoffauswahl)

Falsche Werkstoffauswahl für Komponenten einer Befestigung aus einem Straßentunnel



© Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

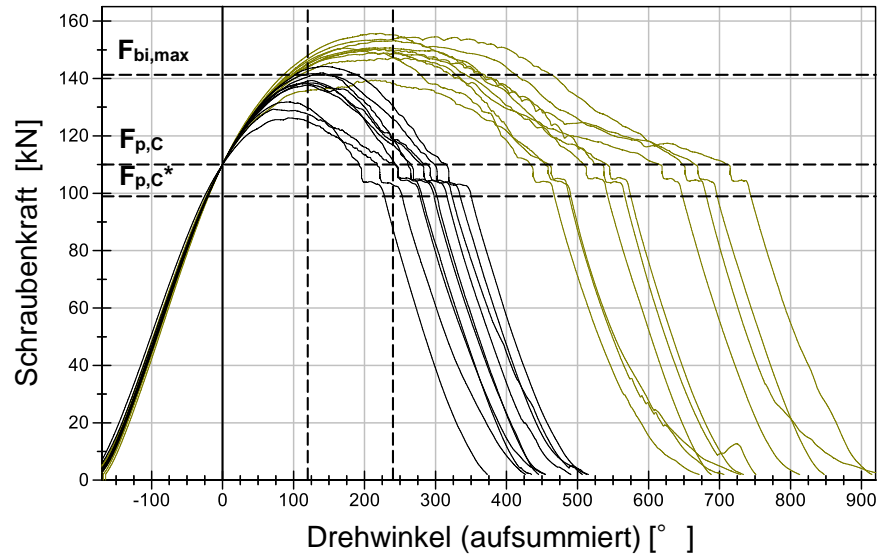


Komponente	Stahlsorte	CRC	Einschätzung
Schraube	1.4567	II	keine ausreichende CRC ⇒ starke, die Tragfähigkeit gefährdende Korrosion
Mutter	1.4301	II	
Rechteck-scheibe	1.4404	III	
Unterleg-scheibe	1.4529	V	richtige Auswahl ⇒ keine Korrosion

ISO 4017

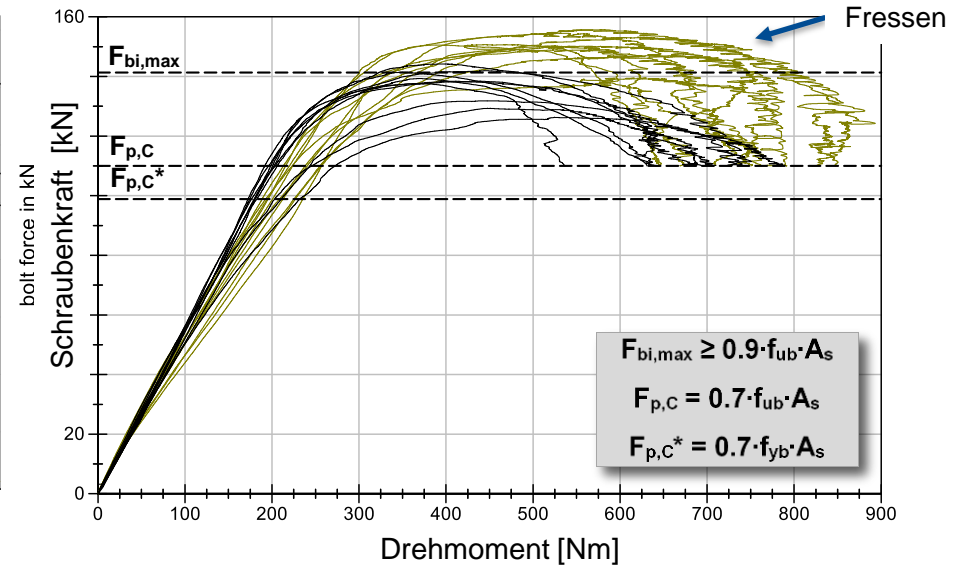


Schraubenkraft-Drehwinkel-Kurven



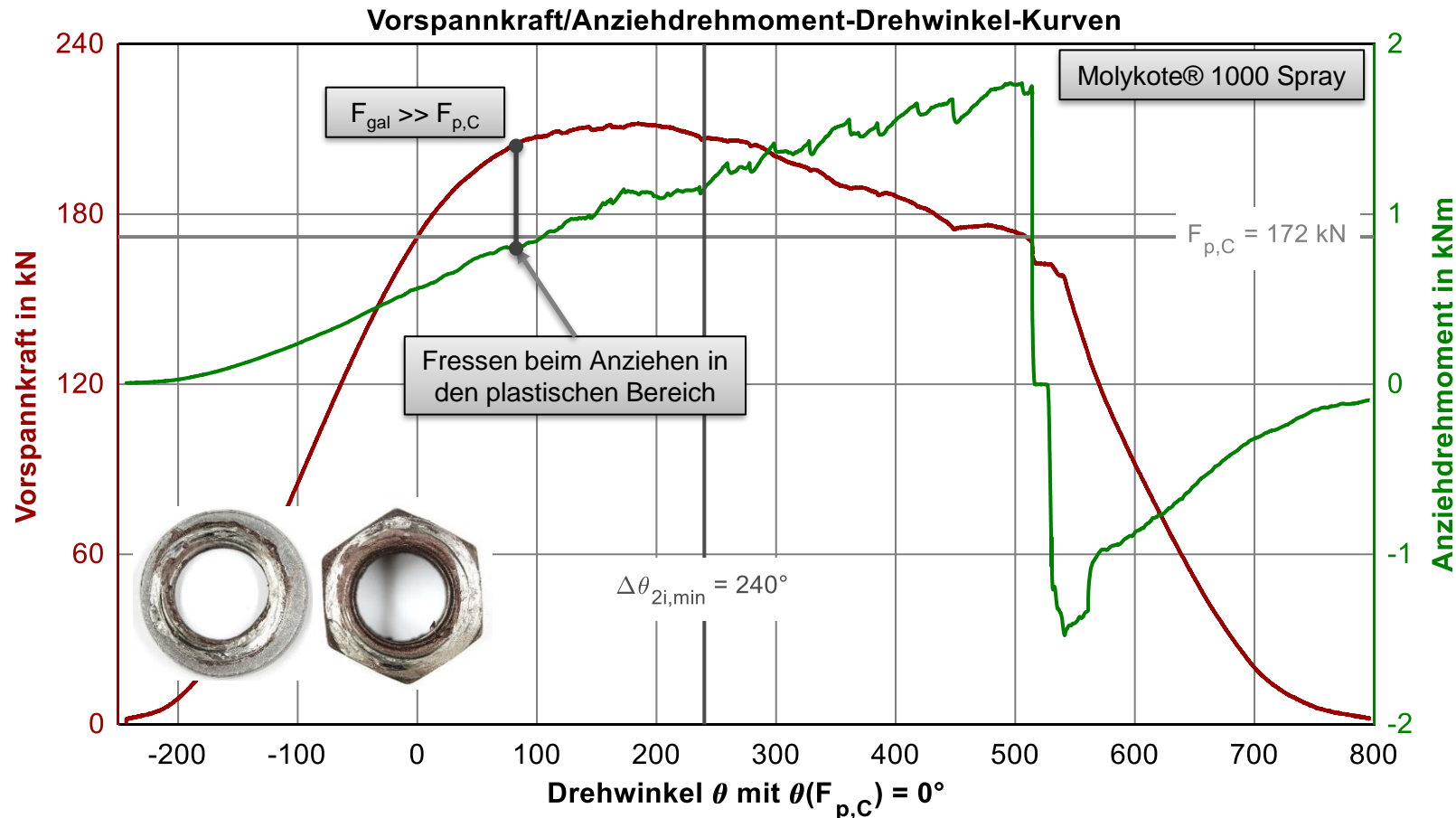
— Bumax LDX – M16x100 – Gleitmo 1952V
 — Bumax LDX – M16x100 – Molykote 1000 S

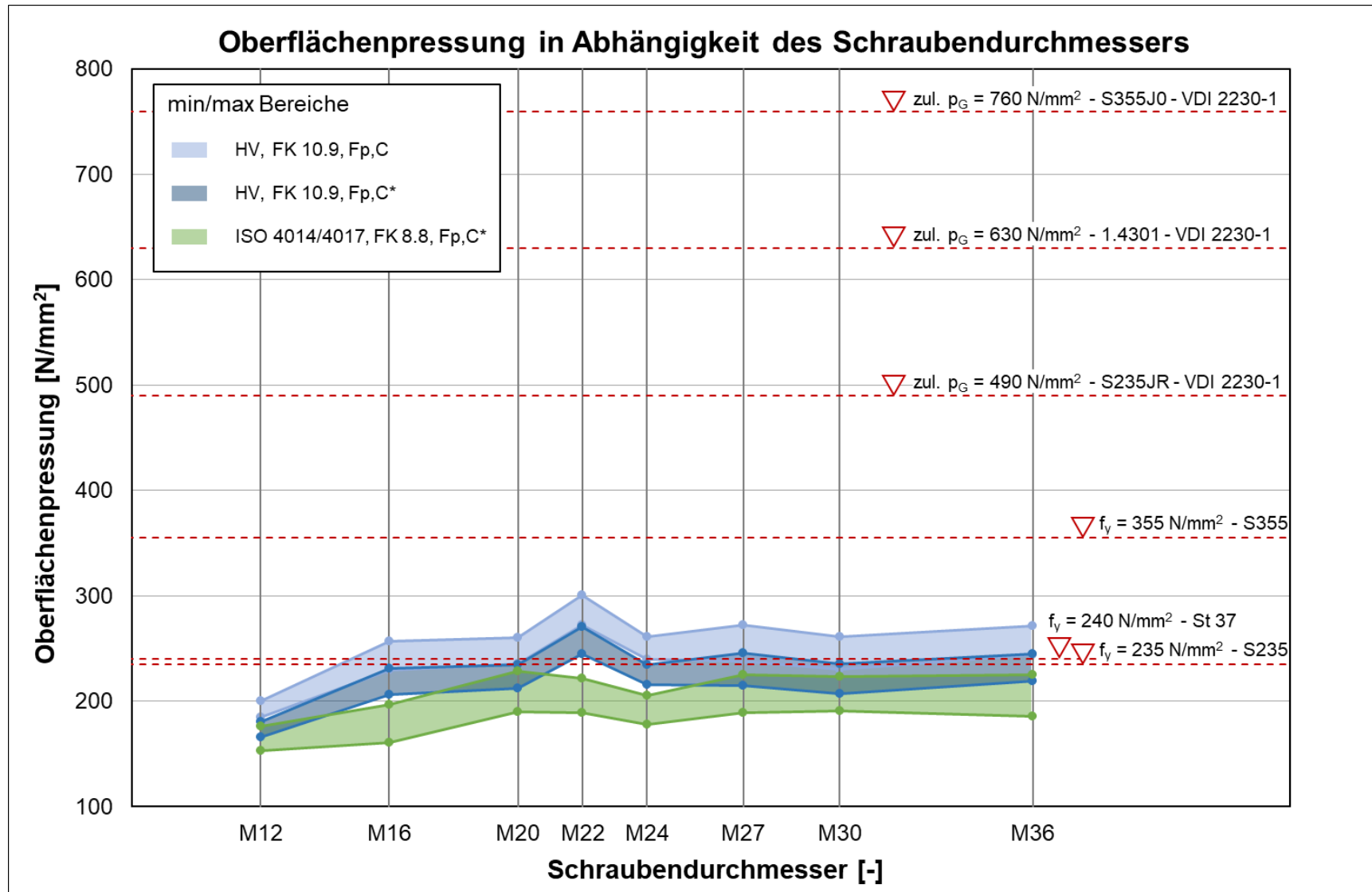
Schraubenkraft-Drehmoment-Kurven



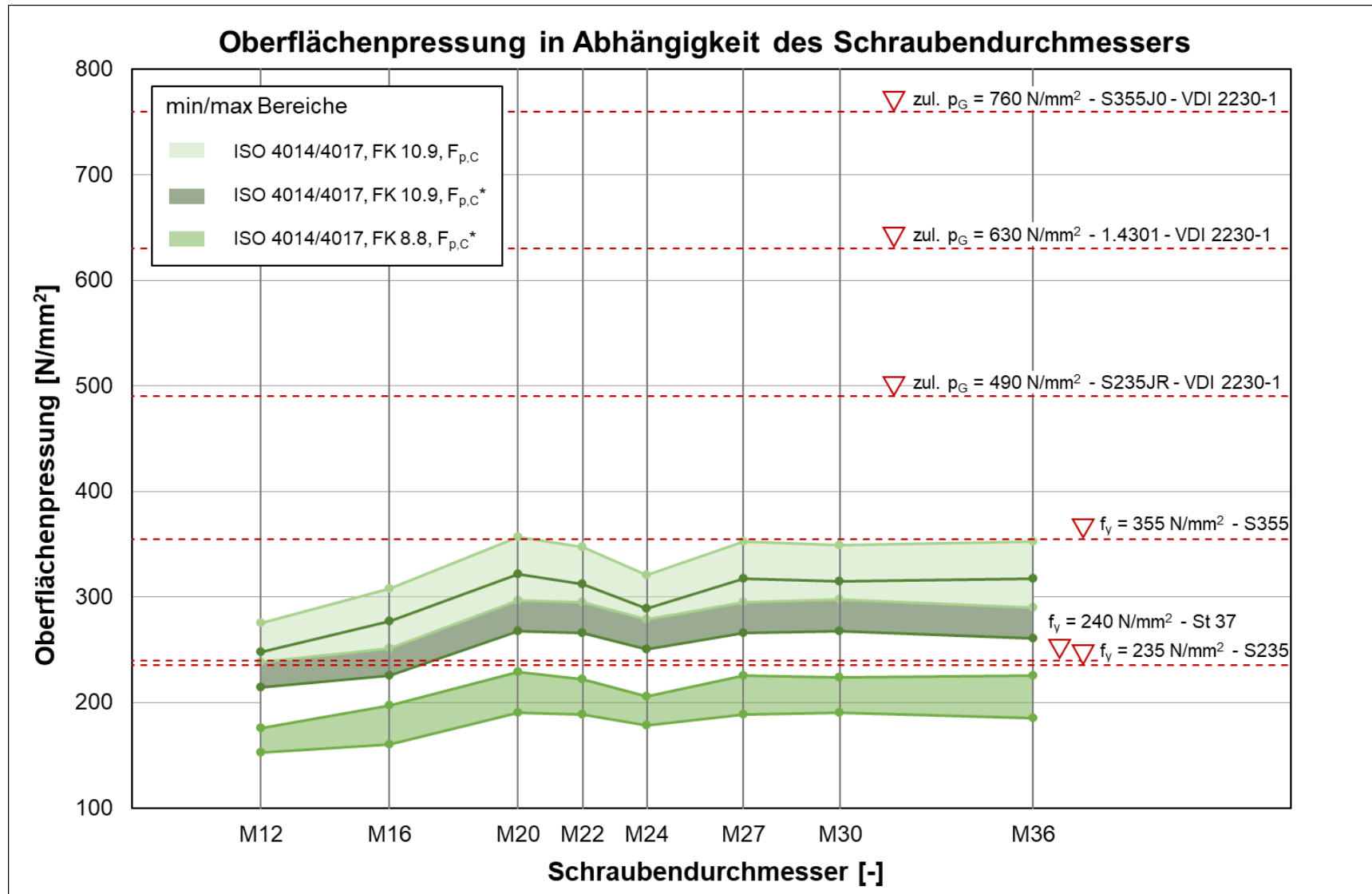
- Mit einer nicht kalibrierten Standardschmierung (Gleitmo 1952V), die ab Werk appliziert wird, lassen sich die Schrauben zwar vorspannen, allerdings nicht gezielt auf ein definiertes Vorspannkraftniveau
- Darüber hinaus wird in der Regel die maximal erforderliche Vorspannkraft $F_{bi,max} \geq 0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s$ nicht erreicht
- **Allerdings: mit einer geeigneten Schmierung, z. B. Molykote 1000 S, lassen sich die Vorspanneigenschaften deutlich verbessern!**

- Fressen tritt in der Regel erst bei vergleichsweise hohen Vorspannkräften auf.
- **Fresserscheinungen lassen sich durch Peaks in den Anziehdrehmoment-Drehwinkel-Kurven anhand von unregelmäßigen Kurvenverläufen erkennen.**

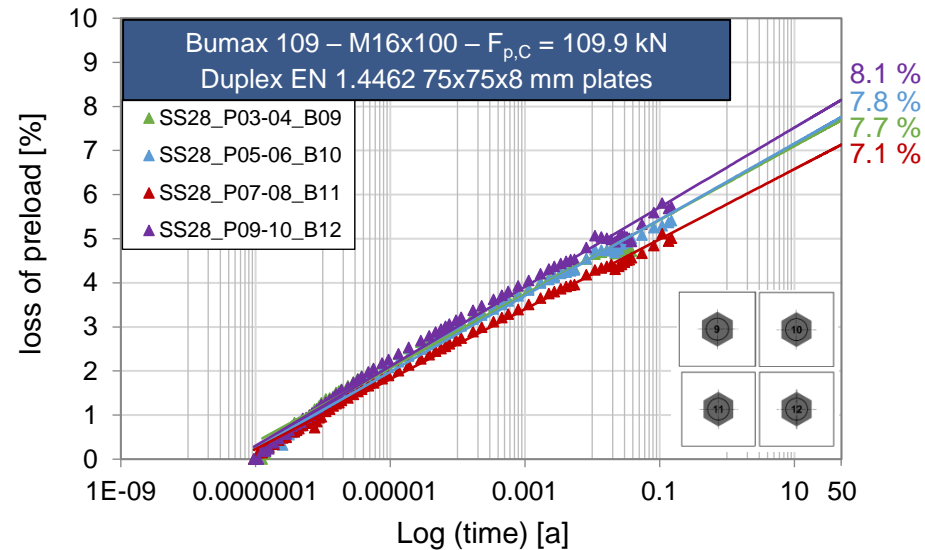
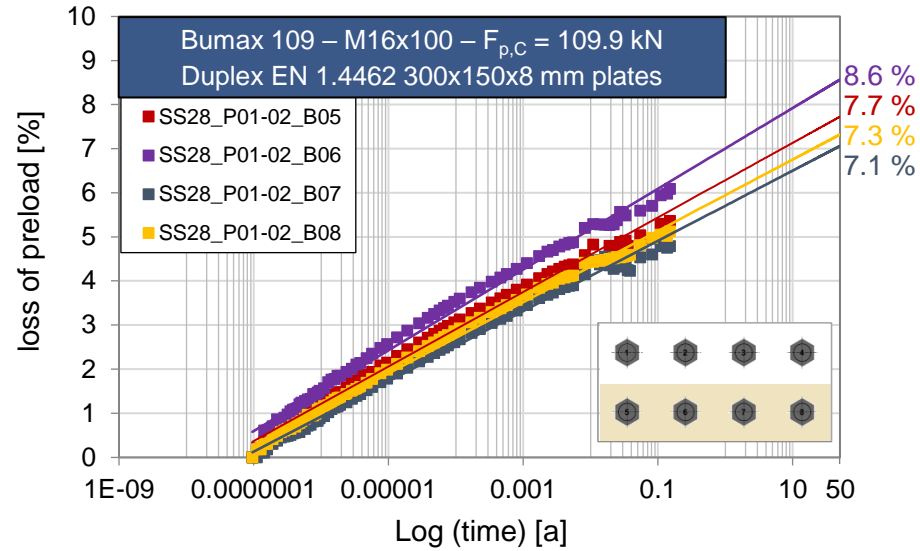




Oberflächenpressung – ISO 4014, FK 8.8 vs. 10.9



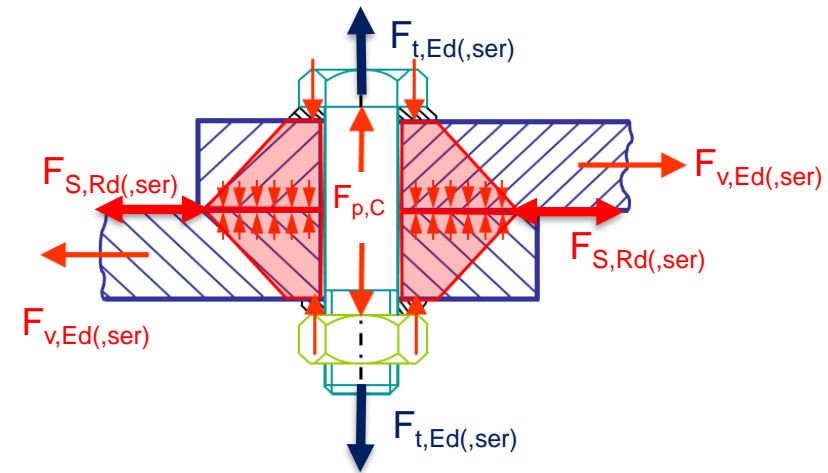
Relaxationsversuche - Vorspannkraftverluste



- ⇒ Höchste Vorspannkraft-Verlustrate
→ Versuchsbeginn, danach abnehmend
- ⇒ **Kriech-/Relaxationsverhalten**
→ **vergleichbar mit HV-Schrauben**

Gleitfeste Verbindungen aus nichtrostendem Stahl

Bestimmung der Haftreibungszahl nach Anhang G der DIN EN 1090-2

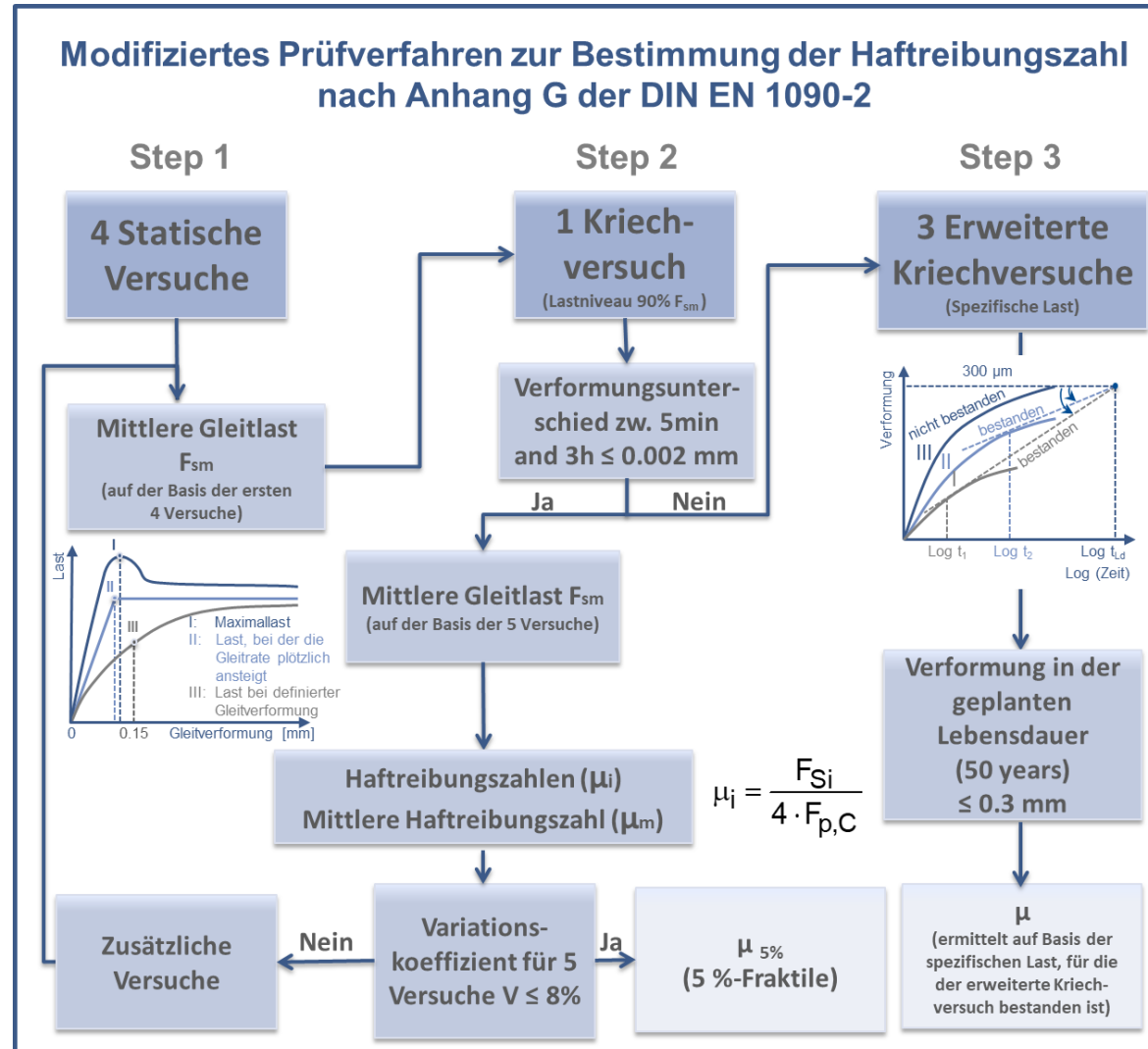


$$F_{S,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_{p,C} - 0,8 \cdot F_{t,Ed})}{\gamma_{M3} (= 1,25)}$$

© Juan A. Sobrino, pedelta

Dr.-Ing. Dominik Jungbluth | Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghörer

Prüfung einer
GV-Verbindung M20 nach
DIN EN 1090-2, Anhang G

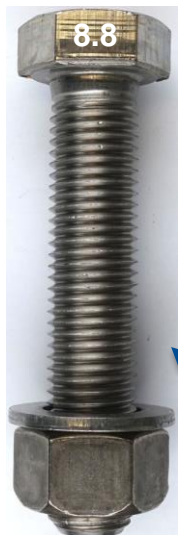


Erweiterte
Kriechversuche nach
DIN EN 1090-2,
Anhang G



Nichtrostender Stahl

Statische Versuche mit Bumax 88/109-Schrauben (EN ISO 4017)



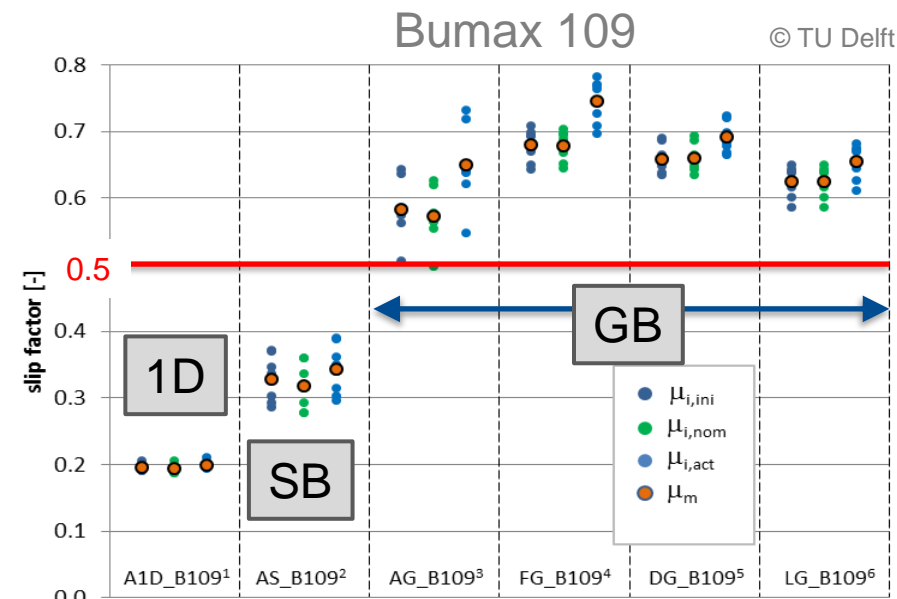
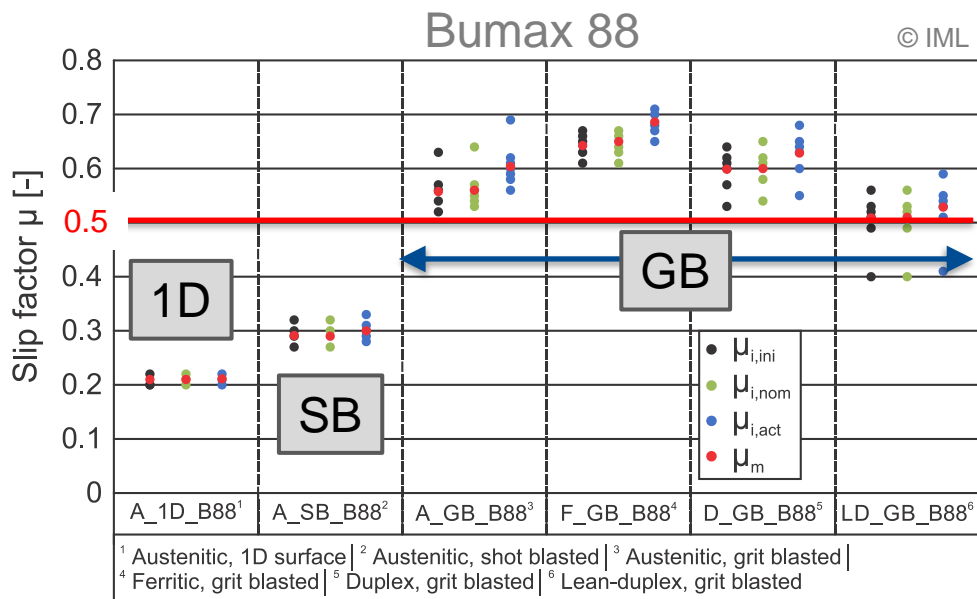
Bleche aus nichtrostendem Stahl

- Austenit (1.4404) - A
- Duplex (1.4462) - D
- Lean-Duplex (1.4162) - LD
- Ferrit (1.4003) - F

Austenitische Schrauben
M16, FK 8.8/10.9 (Bumax 88/109)

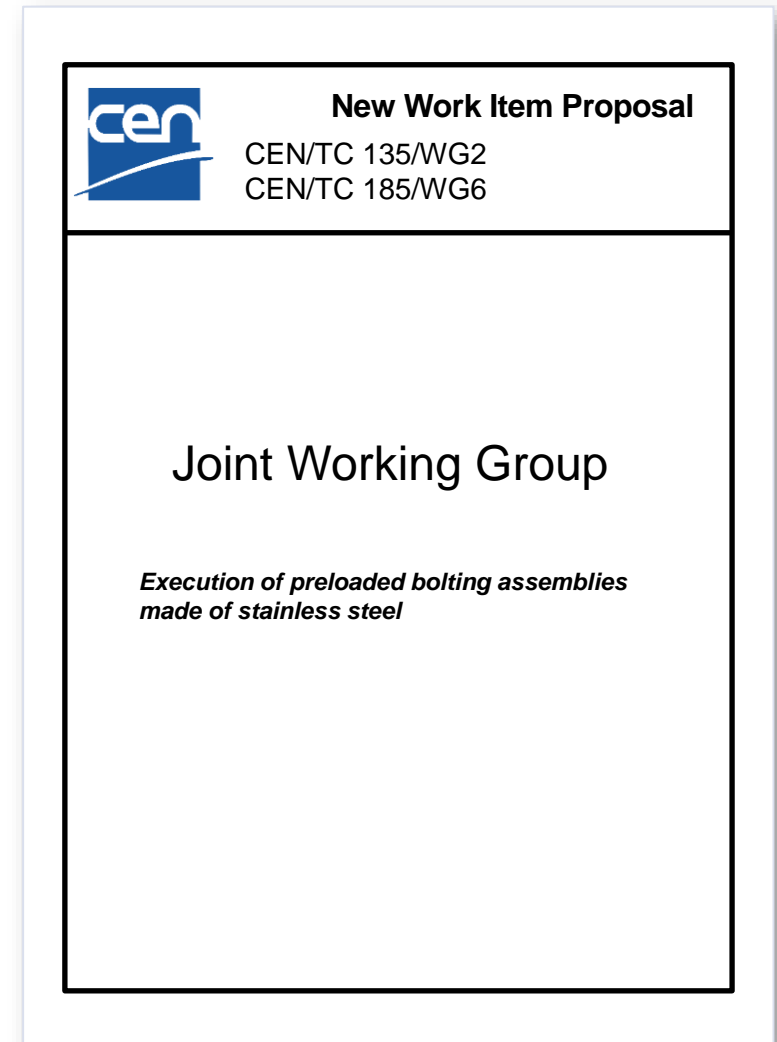
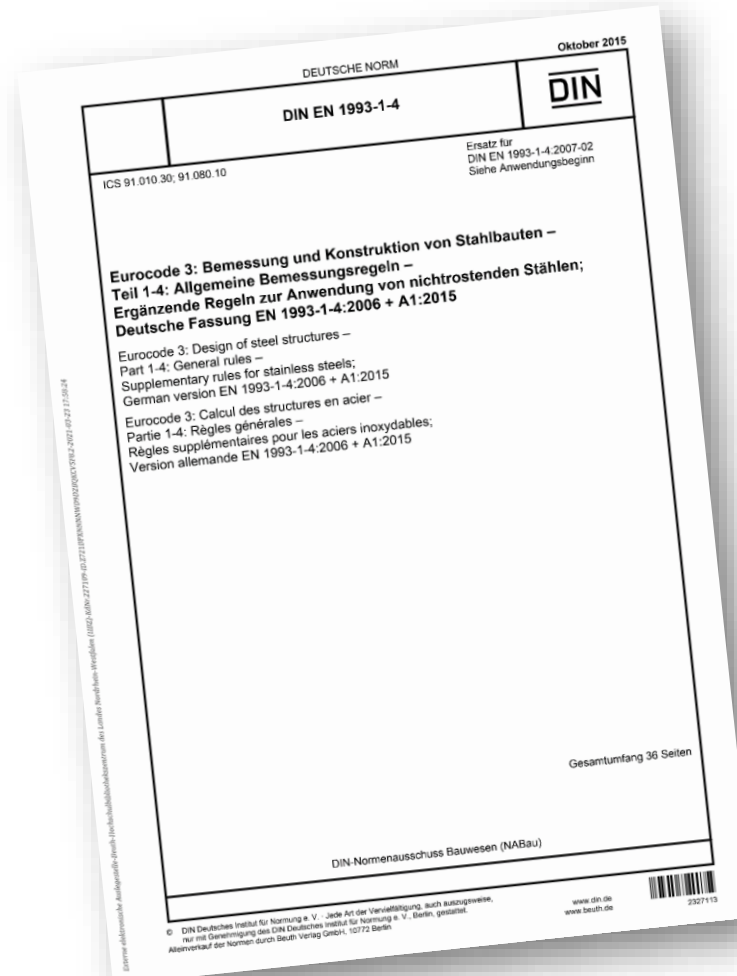
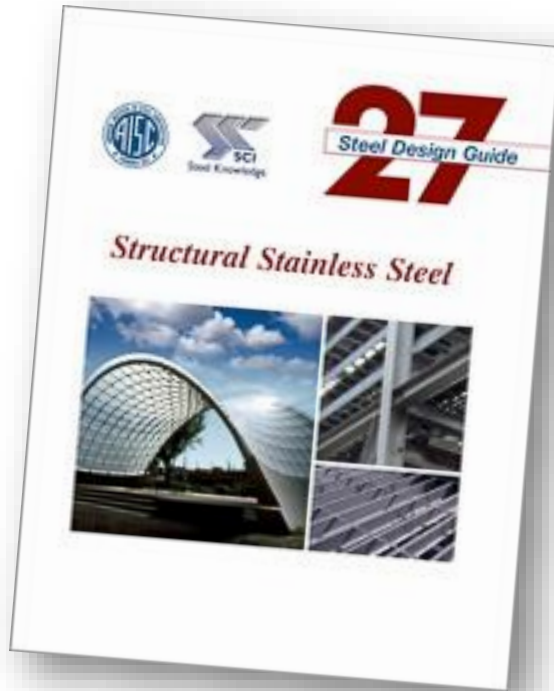
Typische Oberflächenbeschaffenheiten

- 1D
 - Shot Blasted (SB)
 - Grit Blasted (GB)
- Statische Versuche
 - Kriechversuch
 - Erweiterte Kriechversuche



(Vorläufige) Haftreibungszahlen für nichtrostenden Stahl

Gleitflächen- klasse	Stahlsorte	Oberflächenbehandlung		Haftreibungs- zahl μ [-]
		Oberfläche	R_z [μm]	
A++	Duplex 1.4462/ Lean Duplex 1.4162	Aluminium Spray Metalized Gemessene Trockenschichtdicke (DFT) 100 mm \pm 20 mm	≥ 40 (vor Beschichtung)	0,7
A+	Austenitic 1.4404/ Ferritic 1.4003	Aluminium Spray Metalized Gemessene Trockenschichtdicke (DFT) 100 mm \pm 20 mm	≥ 40 (vor Beschichtung)	0,6
A	Duplex 1.4462	Strahlen (kantiges Strahlgut)	≥ 50	0,5
	Ferritic 1.4003		≥ 45	
B	Austenitic 1.4404	Strahlen (kantiges Strahlgut)	≥ 45	0,4
	Lean Duplex 1.4162		≥ 40	
C	-	-	-	0,3
D	Austenitic 1.4404	Strahlen (rundes Strahlgut)	≥ 35	0,2
E	Austenitic 1.4404	Wie hergestellt	≥ 25	0,15





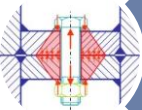
Definition der Ausgangsparameter



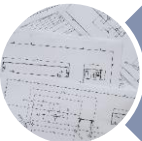
Zugversuche an der Ganzschraube
nach DIN EN ISO 3506-1



Gebrauchseignungsprüfung
nach DIN EN 14399-2



Bestimmung von Vorspannparametern



Festlegung von Kontrollanforderungen



Verfahrensanweisung



Produktnorm

- DIN EN ISO 4014
- DIN EN ISO 4014
- DIN EN ISO 4762
- ...



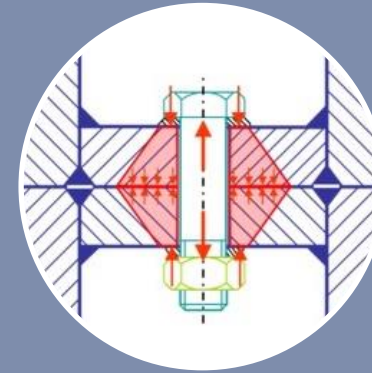
Schmierung

Geeignetes Schmiermittel für den Anwendungsfall und für nichtrostenden Stahl



Anziehverfahren

- Drehmomentverfahren
- Kombiniertes Verfahren
- Streckgrenzgesteuertes Anziehen
- Hydraulisches Vorspannen
- ...



Vorspannkraft $F_{p,s}$

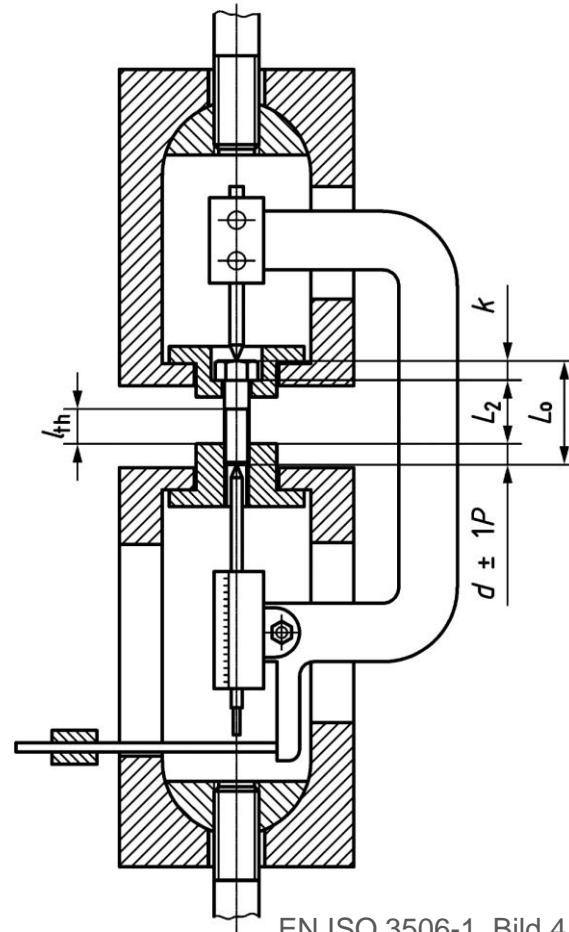
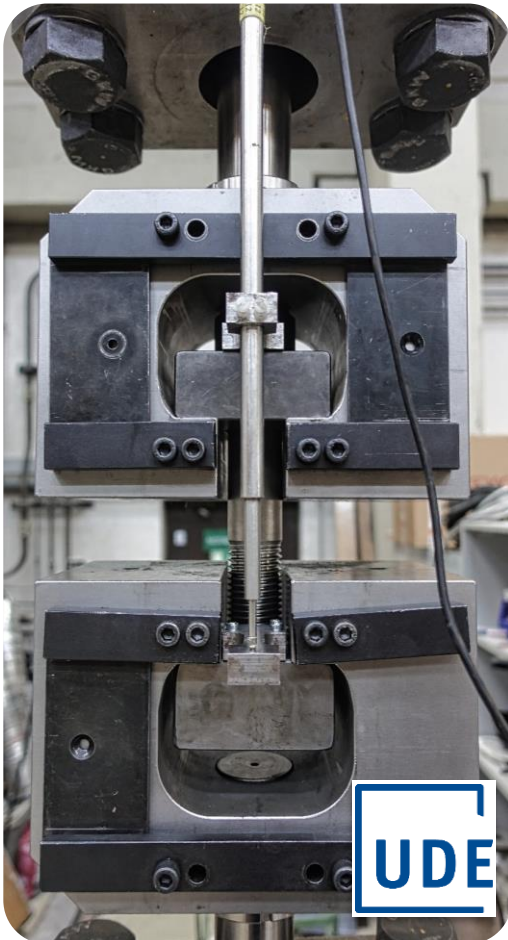
- Zielebene I oder II
- Benötigte Vorspannung basierend auf der Bemessung
- Vorspannung kleiner oder gleich
 $F_{p,s} = 0,7 f_{yb} A_s$



Eigenschaften

- Korrosionswiderstand
- Festigkeitsklasse (80, 100)
- Stahlsorte des nichtrostenden Stahls

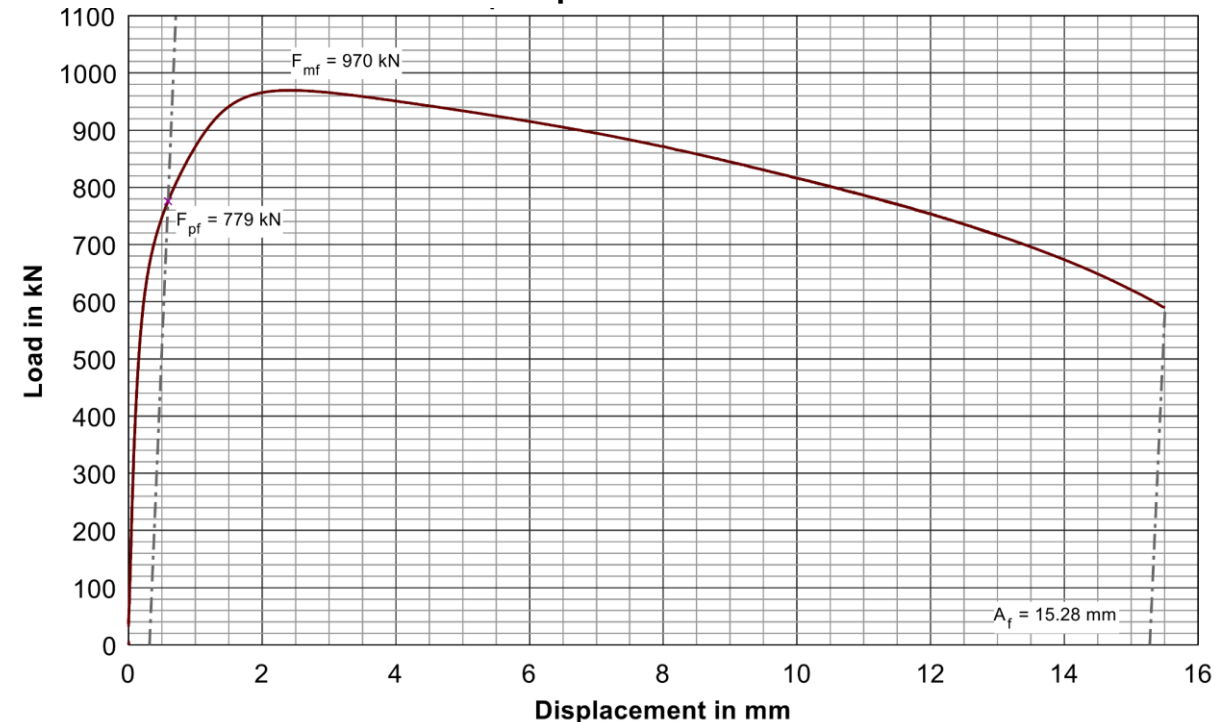
Mindestens 3 Prüfungen



Bestimmung

- der Zugfestigkeit F_{mf} ,
- der 0,2 % Dehngrenze F_{pf} und
- der Bruchverlängerung A_f .

Wichtig: Korrekte Messung der Längenänderung Load-Displacement Curve



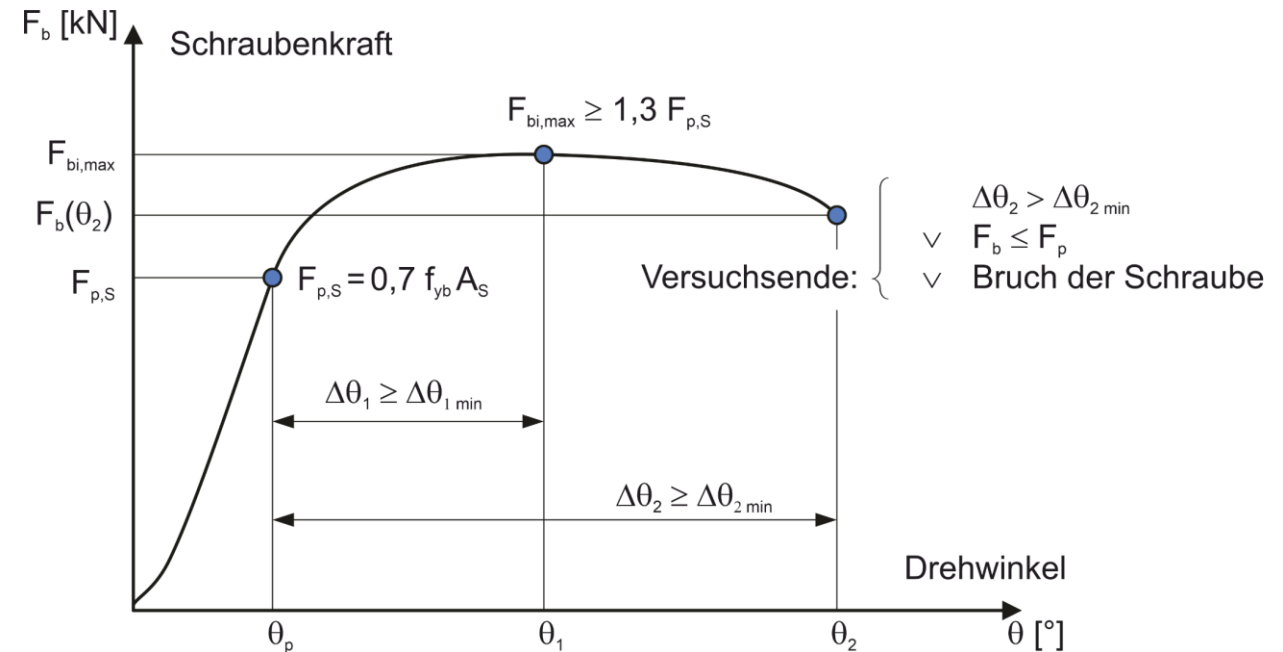
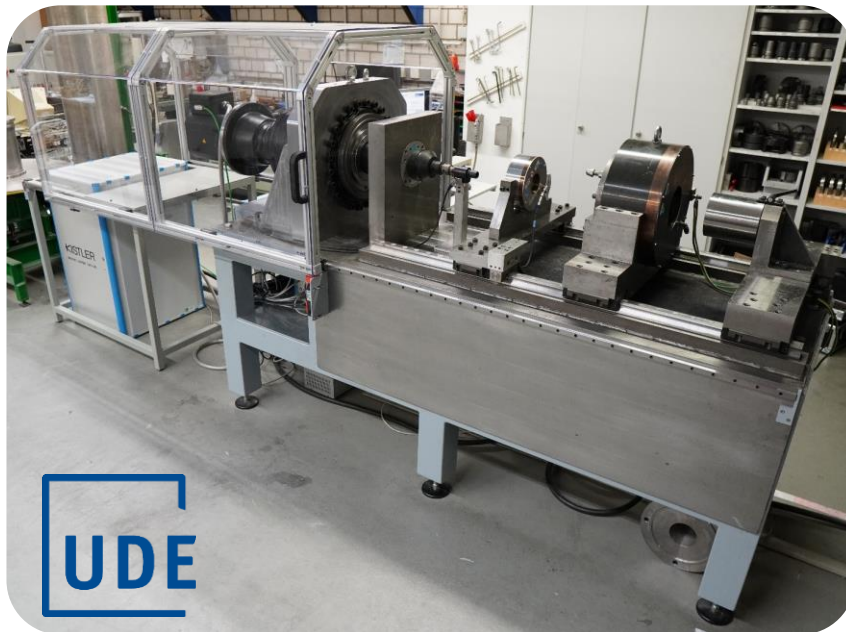
Bei einer Erstprüfung mindestens 20 Versuche je Konfiguration

$$F_{bi,max} \geq 1,3 F_{p,S}$$

$F_{bi,max}$ Individueller Wert der maximal ermittelten Vorspannkraft im Versuch

$$\Delta\theta_{2i} \geq \Delta\theta_{2,min} = 210^\circ / 240^\circ / 270^\circ$$

$\Delta\theta_{2i}$ Winkel, um den die Mutter, ausgehend von der Vorspannkraft $F_{p,S}$ weitergedreht werden muss, bevor F_{bi} nach Erreichen von $F_{bi,max}$ den Wert $F_{p,S}$ wieder unterschreitet.



Statistische Auswertung der Anziehversuche nach DIN EN 1990 mit 5 % und 95 % Fraktilewerte $F_{Rk,5\%}$ and $F_{Rk,95\%}$ für die bestimmten Anziehparameter

Drehmomentgesteuertes
Vorspannen

Alternative Verfahren

Kombiniertes
Vorspannen

Grenzkriterien

$$\begin{aligned} F_{b,\min} &\geq 1,03 F_{p,S} \\ F_{Rk,5\%} &\geq 1,03 F_{p,S} \\ F_{bm} &\geq 1,10 F_{p,S} \\ F_{Rk,95\%} &\leq 0,95 S_b \cdot F_{p,S} \\ F_{b,\max} &\leq 0,95 S_b \cdot F_{p,S} \end{aligned}$$

Definition
äquivalenter
Grenzkriterien

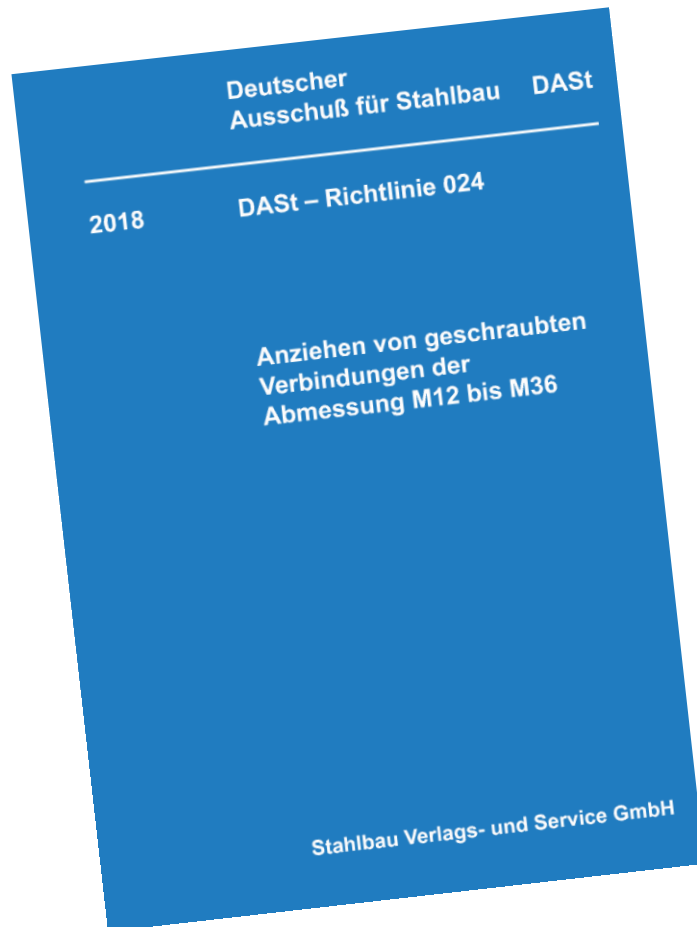
Grenzkriterien

$$\begin{aligned} F_{b,\min} &\geq 1,03 F_{p,S} \\ F_{Rk,5\%} &\geq 1,03 F_{p,S} \\ F_{bm} &\geq 1,10 F_{p,S} \\ F_{Rk,95\%} &< S_b \cdot F_{p,S} \\ F_{b,\max} &< S_b \cdot F_{p,S} \\ \Delta\theta_c &< 0,5 \Delta\theta_{2,i,\min} \end{aligned}$$

$F_{b,\min}$ kleinster Messwert
 $F_{b,\max}$ größter Messwert
 $F_{b,m}$ Mittelwert der Messwerte

$F_{Rk,5\%}$ 5% Fraktile aller Messwerte
 $F_{Rk,95\%}$ 95% Fraktile aller Messwerte
 $F_{p,S}$ Definiertes Vorspannkraftniveau

Definition der Kontrollanforderungen, zum Beispiel nach DASt-Richtlinie 024...



Zielebene I des Vorspannens

Gesamtanzahl der in einem Tragwerk zu kontrollierenden geschraubten Verbindungen		
Ausführungs-klasse	1. Anziehschritt ⁽¹⁾	2. Anziehschritt
EXC2	-	5 %
EXC3/4	5 %	10 %

⁽¹⁾ Der erste Anziehschritt muss durch Sichtprüfung der Verbindungen überprüft werden, um sicherzustellen, dass das Klemmpaket vollständig zusammengezogen ist.

Kontrolle nach dem ersten Anziehschritt		
Parameter	Kriterium	Bewertung
Voranziehdrehmoment M_{Vor}	Weiterdrehwinkel $\leq 15^\circ$	Ok
	Weiterdrehwinkel $> 15^\circ$	fehlerhaft
Zustand der Fuge	vollständig zusammengezogen	Ok
	nicht vollständig zusammengezogen	fehlerhaft

Kontrolle vor dem zweiten Anziehschritt

Sichtprüfung der Markierungen aller Muttern relativ zu den Schraubengewinden

Kontrolle nach dem zweiten Anziehschritt		
Parameter	Kriterium	Bewertung
Ausgeführter Weiterdrehwinkel $\Delta\theta_{ausgef.}$	$\Delta\theta - 15^\circ \leq \Delta\theta_{ausgef.} \leq \Delta\theta + 30^\circ$	Ok
	$\Delta\theta_{ausgef.} < \Delta\theta - 15^\circ$	fehlerhaft ⇒ Korrektur des Drehwinkels
	$\Delta\theta_{ausgef.} > \Delta\theta + 30^\circ$ (oder Schrauben- oder Mutternversagen)	fehlerhaft ⇒ Ersatz der Garnitur

Anwendung vorgespannter Schrauben aus nichtrostendem Stahl

- Eignung zum Vorspannen durchaus gegeben
- Hohe Vorspannkräfte sind möglich
- Fressen ist vermeidbar
- Oberflächenpressungen sind beherrschbar
- Vorspannkraftverluste vergleichbar mit HV-Schrauben
- Gleitfeste Verbindungen aus nichtrostendem Stahl sind möglich

Neue Entwicklungen in der Normung

- Neue Regelungen im AISC Design Guide 27
- Joint Working für eine CEN TS in Planung
- BTQP als erste Regelung zur Qualifizierung von vorspannbaren nichtrostenden Schraubengarnituren

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



Fort York Bridge, Toronto, Kanada
Fußgängerbrücke
© Juan A. Sobrino, pedelta

Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner
Dr.-Ing. Dominik Jungbluth

Universität Duisburg-Essen
Fakultät Ingenieurwissenschaften
Abteilung Bauwissenschaften
Institut für Metall- und Leichtbau
Prüf- und Zertifizierungsstelle NRW71

Universitätsstr. 15
45141 Essen

Fon: 0201 183-2757
Fax: 0201 183-2710

E-Mail: natalie.stranghoener@uni-due.de
dominik.jungbluth@uni-due.de

Internet: www.uni-due.de/iml