



© CTeam



© CTeam

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

# ***Verschrauben von beschichteten Kontaktflächen***

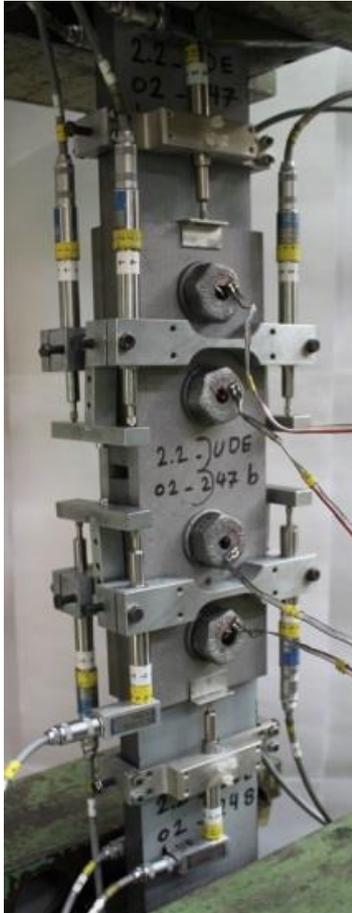
Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner

Institut für Metall- und Leichtbau | Universität Duisburg-Essen

Fachgespräch  
Stahlbrückenbau

27. September 2017

BASSt, Bergisch Gladbach



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

- Schraubenkategorien nach Eurocode 3
  - Gleitflächenklassen nach E DIN EN 1090-2
- Neue Regelungen der ZTV-Ing und TL KOR - Stahlbauten zu geschraubten Verbindungen beschichteter Kontaktflächen
- Bestimmung der Haftreibungszahl nach Anhang G der E DIN EN 1090-2
  - Vergleich ASI – ESI
  - Nichtrostender Stahl
- Zusammenfassung

## RFCS-Project SIROCO

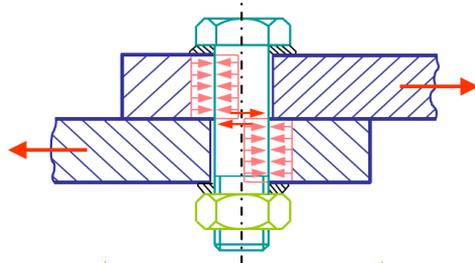
Execution and reliability of slip-resistant connections  
for steel structures using CS and SS



# Schraubenkategorien nach Eurocode 3

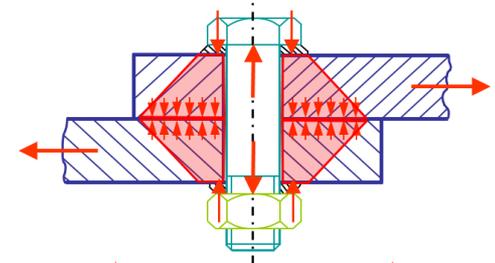
## Schraubenkategorien nach DIN EN 1993-1-8

### Scherverbindungen

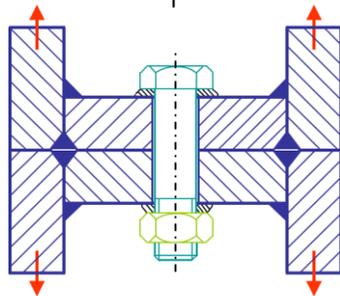


**Kategorie A**  
Scher-/Lochleibungs-  
verbindung  
FK 4.6 bis 10.9

**Kategorie B | C**  
Gleitfeste Verbindung  
im GZG | GZT  
FK 8.8 und 10.9

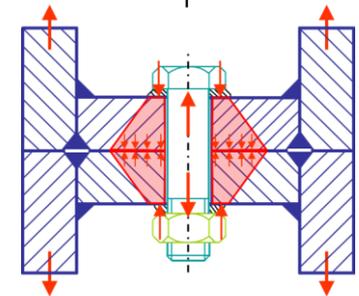


### Zugverbindungen



**Kategorie D**  
Nicht vorgespannte  
Zugverbindung  
FK 4.6 bis 10.9

**Kategorie E**  
Vorgespannte  
Zugverbindung  
FK 8.8 und 10.9



### Zielebene II

#### Gebrauchstauglichkeitsrelevantes Vorspannen

- ⇒ Vorspannungsfrei bemessene Kategorien A (und D) nach DIN EN 1993-1-8, die zur qualitativen Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit dennoch vorgespannt werden
- ⇒ Schlupfminimierung
- ⇒ Verformungssteifigkeit

### Zielebene I

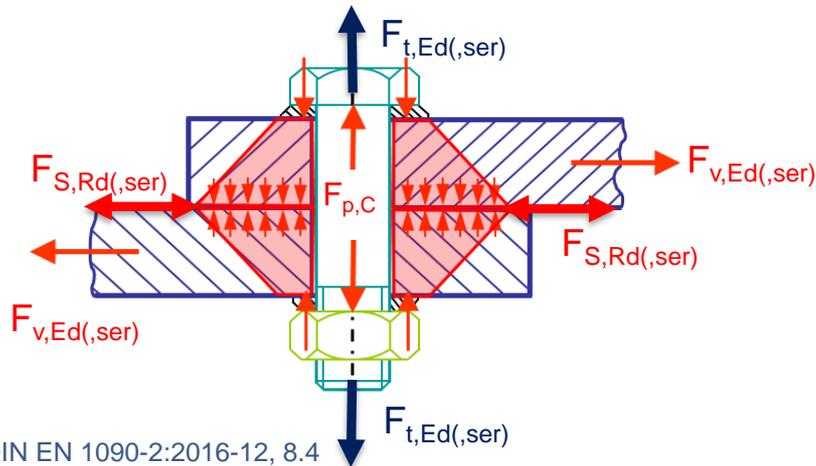
#### Tragsicherheitsrelevantes Vorspannen

- ⇒ Kategorien B, C und E nach DIN EN 1993-1-8

# Gleitfeste Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8 und DIN EN 1090-2

## Gleitfeste Verbindungen - Kategorien B | C

Gleitfest im GZG – Kat. B und GZT – Kat. C - Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9



Beiwert für Lochdetail  $k_s$   
Normales Lochspiel:  $k_s = 1,0$

Grenzzustand der  
Tragfähigkeit

Anzahl der Gleitfugen

Vorspannkraft  $F_{p,C}$

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

Haftreibungszahl  $\mu$

Externe Zugkraft  $F_{t,Ed}$

Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M3}$

### Oberflächenbehandlung

Oberflächen mit Kugeln oder kantigem Strahlmittel gestrahlt, loser Rost entfernt, nicht körnig.

Gleitflächen-  
klasse

Haftreibungszahl  $\mu$

Oberflächen feuerverzinkt nach EN ISO 1461, gesweept und mit Alkali-Zink-Silikat-Beschichtung mit einer Nenndicke von 40  $\mu\text{m}$  bis 80  $\mu\text{m}$ .

A

0.5

B

0.4

Oberflächen mit Kugeln oder kantigem Strahlmittel gestrahlt:

a) mit Alkali-Zink-Silikat-Beschichtung mit einer Nenndicke von 40  $\mu\text{m}$  bis 80  $\mu\text{m}$ ;

b) thermisch spritzaluminiert oder spritzverzinkt oder beides kombiniert auf eine Nenndicke von nicht mehr als 80  $\mu\text{m}$ .

B

0.4

Oberflächen feuerverzinkt nach EN ISO 1461 und gesweept (oder gleichwertiger Abrasionsprozess)

C

0.35

Oberflächen mittels Drahtbürsten oder Flammstrahlen gereinigt, loser Rost entfernt

C

0.3

Oberflächen im Walzzustand

D

0.2

# Neue Regelungen der ZTV-Ing und TL KOR - Stahlbauten zu geschraubten Verbindungen beschichteter Kontaktflächen

## Bundesanstalt für Straßenwesen

---

---

**Zusätzliche Technische  
Vertragsbedingungen und Richtlinien  
für Ingenieurbauten**

### ZTV-ING

Teil 4

**Stahlbau, Stahlverbundbau**

Abschnitt 3

**Korrosionsschutz von Stahlbauten**

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21. Juli 1998, S. 22) und der Richtlinie 2006/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Dezember 2006 (ABl. L 363 vom 20.12.2006, S. 81) geändert wurde, sind beachtet worden.

**Entwurf 8.5.2017**

Entwurf 8.05.2017

## Bundesanstalt für Straßenwesen

---

---

**Technische Lieferbedingungen  
und Technische Prüfvorschriften  
für Ingenieurbauten**

### TL/TP-ING

Teil 4 Abschnitt 3

**Technische Lieferbedingungen  
für Beschichtungsmaterialien  
für den Korrosionsschutz von Stahlbauten**

### TL KOR - Stahlbauten

Die Verpflichtungen aus der Richtlinie 98/34/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Juni 1998 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der Normen und technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 204 vom 21.7.1998, S. 37), die zuletzt durch die Richtlinie 2006/96/EG (ABl. L 363 vom 20.12.2006, S. 81) geändert wurde, sind beachtet worden.

**Entwurf 8.5.2017**

Entwurf 8.05.2017

## 4.3.5 Kontaktflächen von geschraubten Verbindungen

- (1) Kontaktflächen von geschraubten Verbindungen sind zu beschichten.
- (2) Bei **nicht vorgespannten Verbindungen** sind die Kontaktflächen aller zu verbindenden Bauteile mit dem Beschichtungssystem der übrigen Flächen zu schützen.
- (3) Für **vorgespannte Verbindungen** sind die Kontaktflächen gemäß Tabelle 4.3.1 zu beschichten. Sollen andere Beschichtungssysteme verwendet werden, muss ihre Eignung nachgewiesen werden.
- (4) Für Reibflächen von **gleitfesten Verbindungen**:  
Trockenschichtdicke darf 40  $\mu\text{m}$  nicht unterschreiten und 80  $\mu\text{m}$  nicht überschreiten.



**Tabelle 4.3.1:** Eignungshinweise für die Beschichtung von Kontaktflächen vorgespannter Verbindungen.

Eignungsvermerk	Beschichtungen/Aufbau der Beschichtungssysteme	
Gleitfeste Verbindungen (siehe Anhang A)	ASI- Zinkstaub ESI-Zinkstaub <sup>1)</sup>	Blatt 85 Blatt 86
	ASI- Zinkstaub ESI-Zinkstaub <sup>1)</sup>	Blatt 85 Blatt 86
Vorspannkraftverlust bei zwei zusammenge- spannten beschichteten Kontaktflächen ≤ 10 %	2K-EP-Zinkstaub	Blatt 87
	Feuerverzinken <b>TL KOR - Stahlbauten</b>	DIN EN ISO 1461
Geeignet für Zugverbindungen (Kategorie E) und für Scher- /Lochleibungsverbindungen mit Gebrauchstauglichkeitsvorspannung	EP-/PUR-System 1. 2K-EP- GB, Stoff Nr. 687.03 oder 687.02 2. 2K-EP-Eisenglimmer ZB 3. 2K-EP-Eisenglimmer ZB 4. 2K-PUR-DB	Blatt 87
	1K-PUR-System 1. GB 1K-PUR-Zinkstaub Stoff-Nr. 689.04 2. ZB 1K-PUR-Eisenglimmer 3. DB 1K-PUR-Eisenglimmer	Blatt 89

<sup>1)</sup> Der Nachweis ist zu führen.

⇒ entspricht bis auf ESI: DIN 18800-7

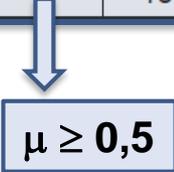
Anhang A, Tab. A 4.3.2

1	2	3	4	5	6	7
Bauteil-Nr.	zugrundegelegte Korrosionsbelastung	Beschichtungssystem Nr.	Soltschichtdicke (µm)	Oberflächen-vorbereitung	Stoffe nach TL KOR-Stahlbauten, TL-Blatt	sonstige Hinweise
<b>5</b>	<b>Besonders zu behandelnde Flächen</b>					
5.1	Reibflächen von geschraubten Verbindungen und Nietverbindungen					
5.1.1	gleitfeste geschraubte Verbindungen der Kategorien B und C					
	wenn Haftreibungszahl von $\mu \geq 0,5$ erforderlich  <b><math>\mu \geq 0,5</math></b>	1	GB ASI-Zinkstaub  <b>ASI</b>	60	Sa 2½	85  <b>Blatt 85</b>
	wenn Haftreibungszahl von $\mu \leq 0,3$ rechnerisch ausreicht	2	GB ESI-Zinkstaub  <b>ESI</b>	60	Sa 2½	86  <b>Blatt 86</b>
Die Trockenschichtdicke darf 40 µm nicht unterschreiten und 80 µm nicht überschreiten.						
5.1.2	geschraubte Verbindungen der Kategorie E und Nietverbindungen					
Es ist die GB zu verwenden, die für die angrenzenden Bauteile vorgesehen ist. Die Trockenschichtdicke darf 125 µm nicht überschreiten (abweichend zu E DIN EN 1090-2: 2016-12 wegen abweichendem Prüfverfahren). Oberflächenvorbereitungsgrad: Sa 2½						
5.1.3	geschraubte Verbindungen der Kategorien A und D					
Beschichtungssystem der angrenzenden Bauteile verwenden						

## Gleitfeste Verbindungen

Tabelle A2.2: Art und Umfang der Prüfungen sowie zu den Prüfungen einzureichende Stoffe gemäß Blattes 85

ASI	Blatt 85 Prüfungen					
	Grundprüfung	WPK und Abnahmeprüfung 3.1	Abnahmeprüfung 3.2	Wiederholungsprüfung	Anforderungen/ Kennwerte des Blattes 85	Prüfverfahren für Grundprüfung, Abnahmeprüfung 3.2 und Wiederholungsprüfung
Gleitfestigkeit von geschraubten Verbindungen	X			X	5.3	E DIN EN 1090-2: 2016-12
Für die Prüfung einzureichende Stoffe (Stoff-Nr.)	685.03	alle Lieferchargen für eine Maßnahme	wie vereinbart	685.03		



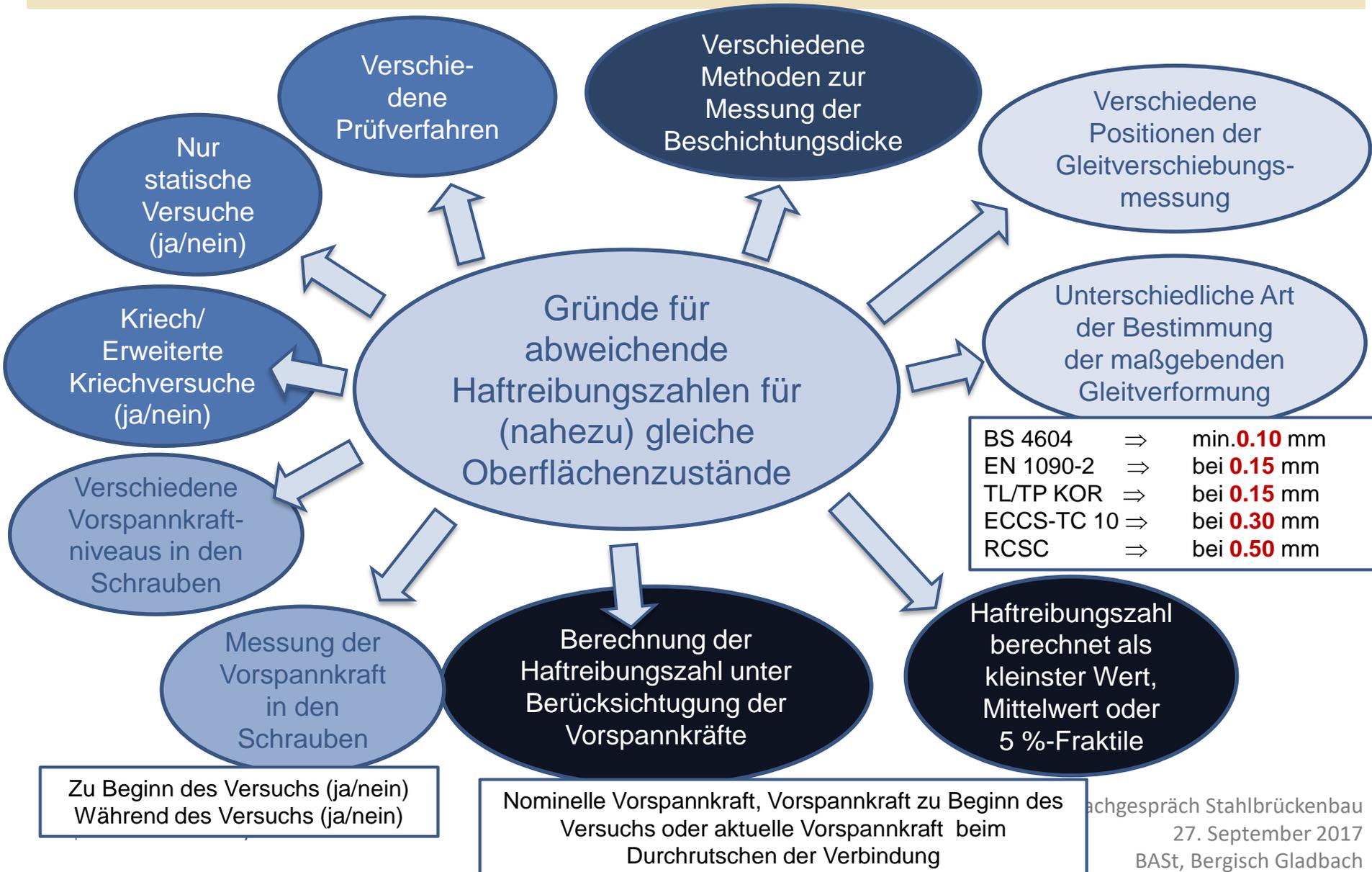
**$\mu \geq 0,5$**

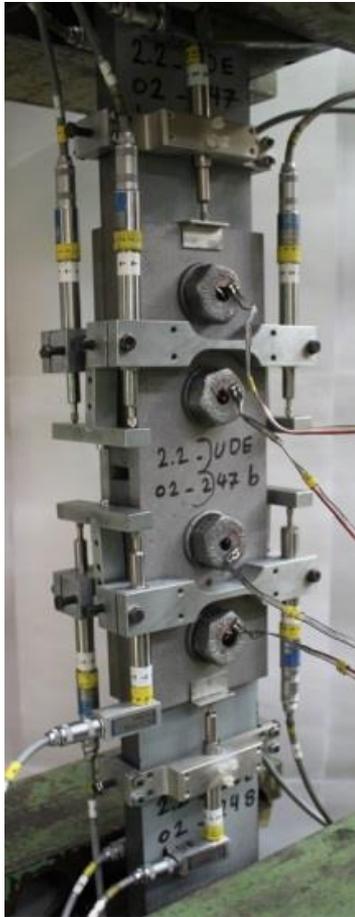
Tab. A2.1

- Prüfkörper nach DIN EN 1090-2 (M16-Prüfkörper ...)
- 1 x GB Stoff-Nr. 685.03  $\Rightarrow$  60  $\mu\text{m}$
- Trockenschichtdicke darf 40  $\mu\text{m}$  nicht unterschreiten und 80  $\mu\text{m}$  nicht überschreiten
- Anforderung an Haftreibungszahl:  $\mu \geq 0,5$

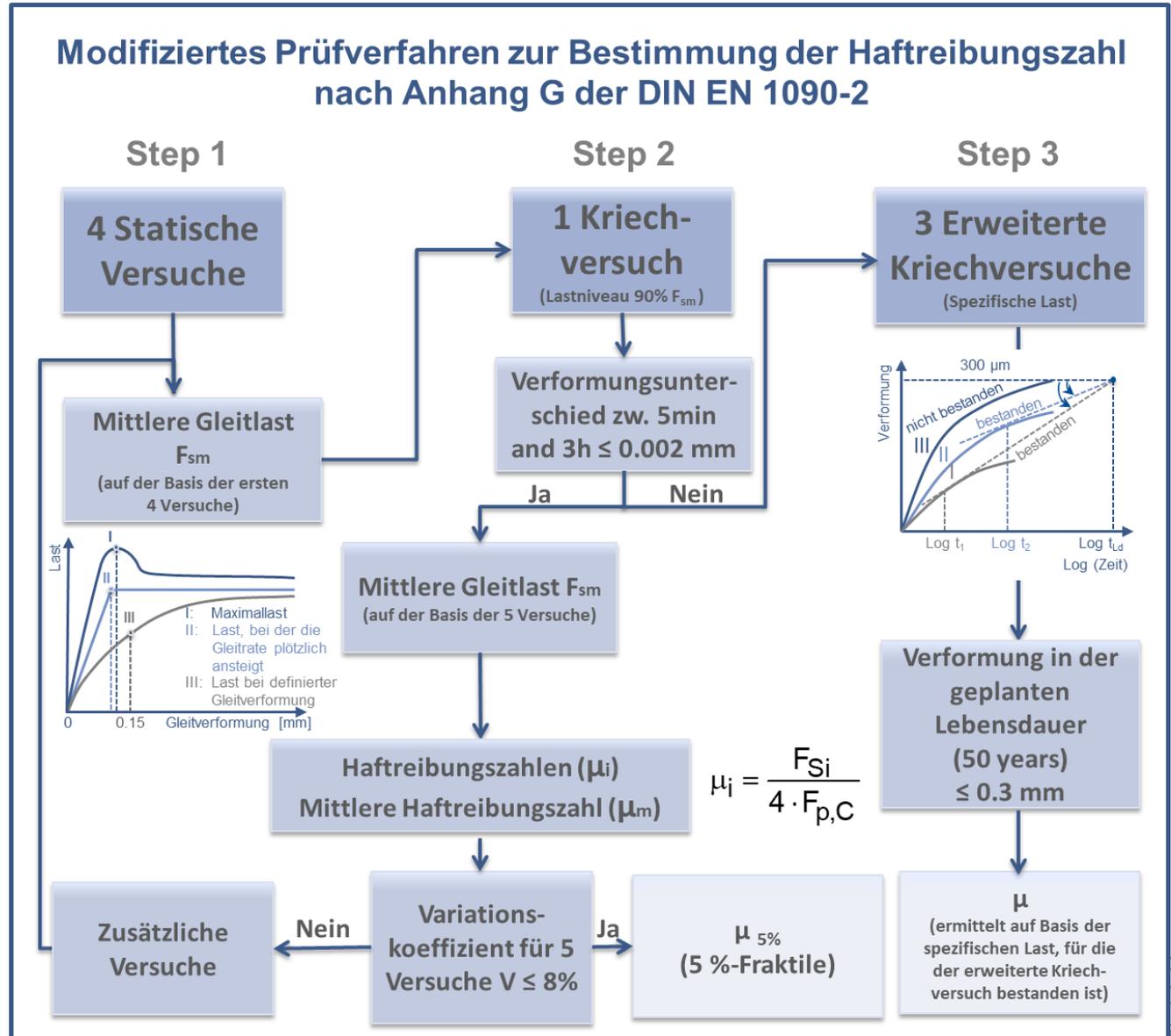
# Bestimmung der Haftreibungszahl nach Anhang G der E DIN EN 1090-2

# Gründe für abweichende Haftreibungszahlen aus der Literatur

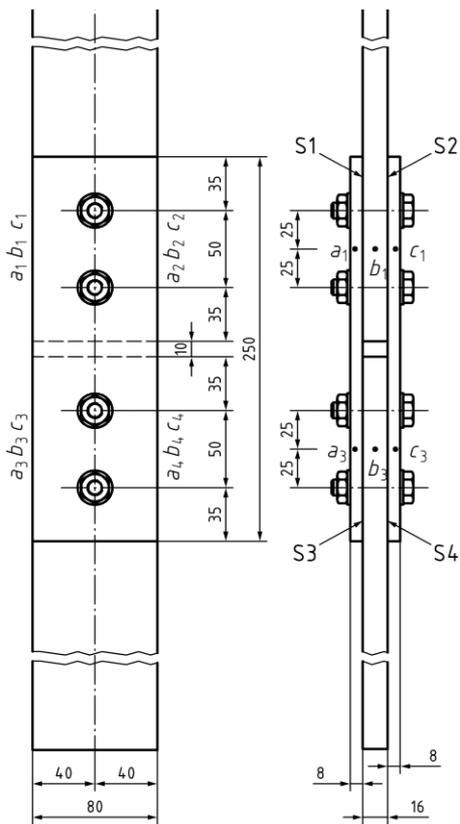




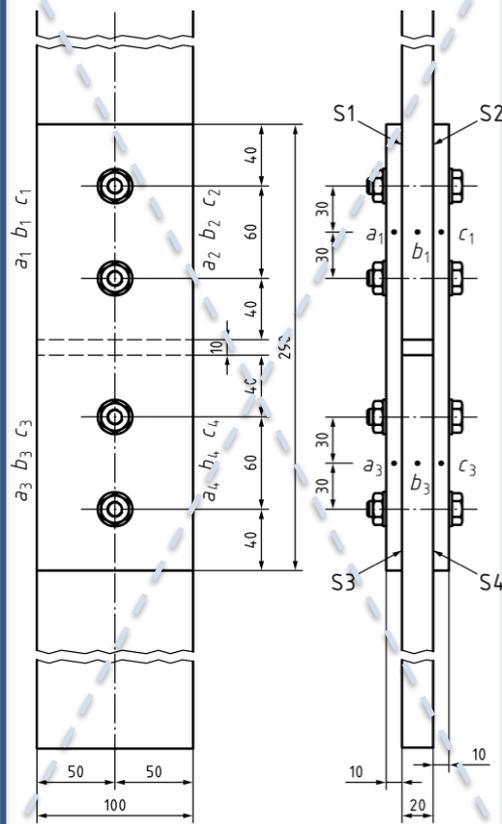
Prüfung einer  
GV-Verbindung nach  
DIN EN 1090-2, Anhang G



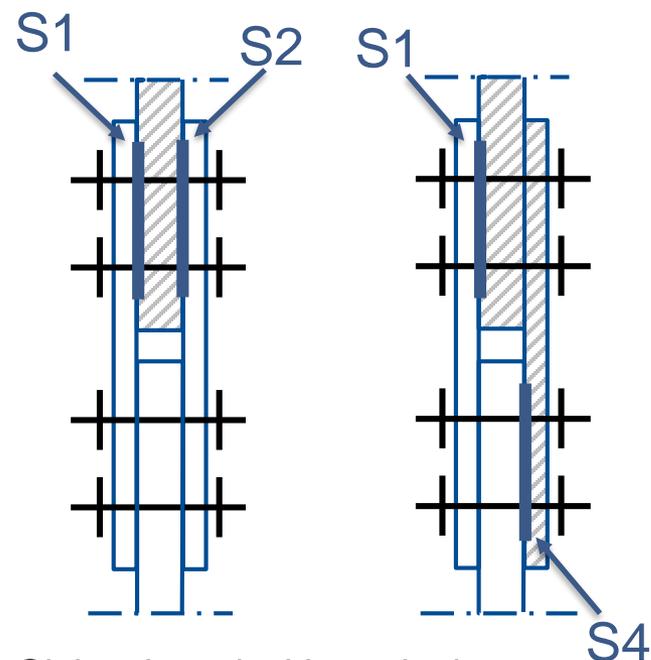
## M16-Prüfkörper



## M20-Prüfkörper



## Gleitmechanismus



- Das Gleitmaß muss gemäß dem tatsächlich aufgetretenen Gleitmechanismus ermittelt werden, so dass letztlich **zwei Gleitmaßwerte** auf Basis der acht gemessenen Relativverschiebungen **je Prüfkörper** erhalten werden.

- Gleiten kann im Versuch als Gleitmechanismus entweder kombiniert in den direkt gegenüber liegenden Gleitebenen S1 mit S2 und S3 mit S4 oder kombiniert in den diagonal gegenüber liegenden Gleitebenen S1 mit S4 und S2 mit S3 auftreten.

# Messung der Vorspannkraft in den Schrauben



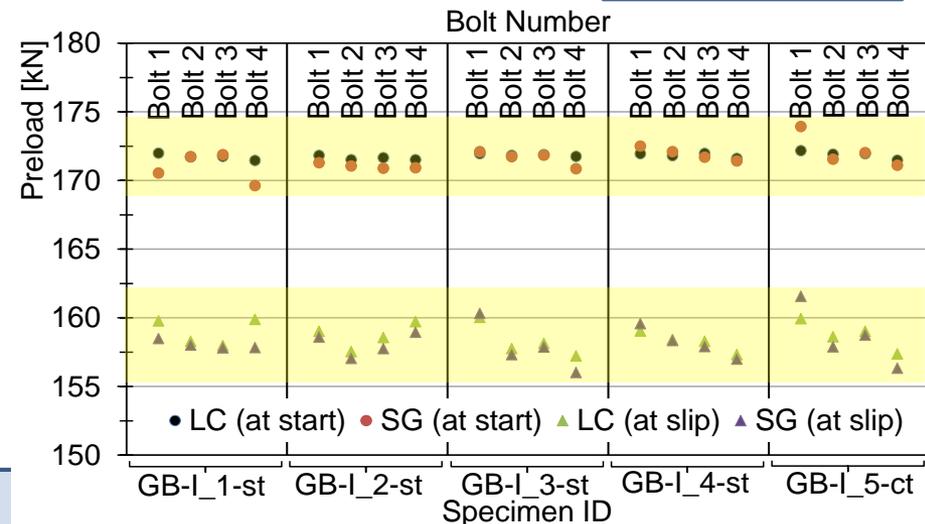
Steife Kraftmessdosen –  
Eigenbau (LC)



Handelsübliche  
Kraftmessdosen

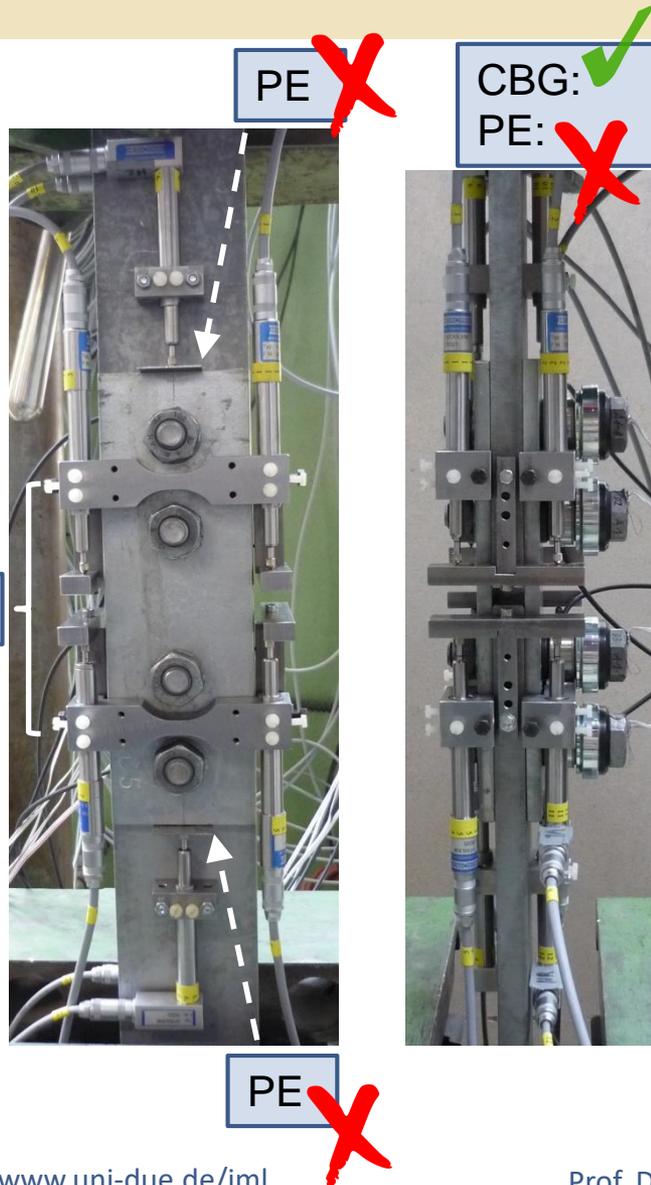


Instrumentierte  
Schrauben  
(SG)

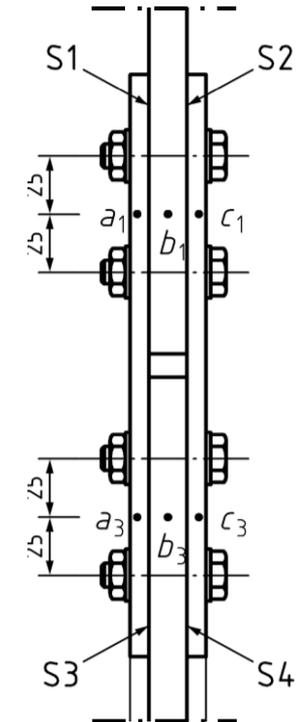
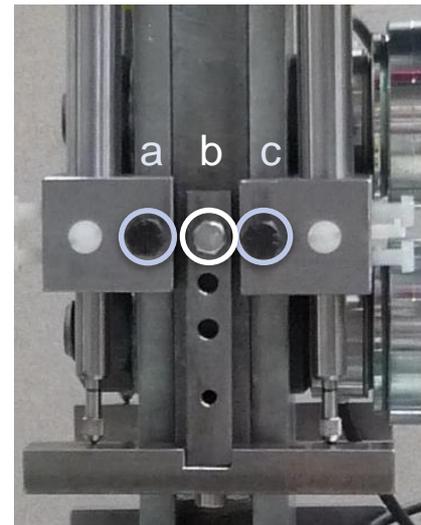


Genauigkeit ⇒ SG und LC beide ok

Einfluss der Klemmlänge ⇒ Instrumentierte Schrauben



CBG: ✓ mittig in der Schraubengruppe  
PE: X an den Laschenenden



## Gleitmaß

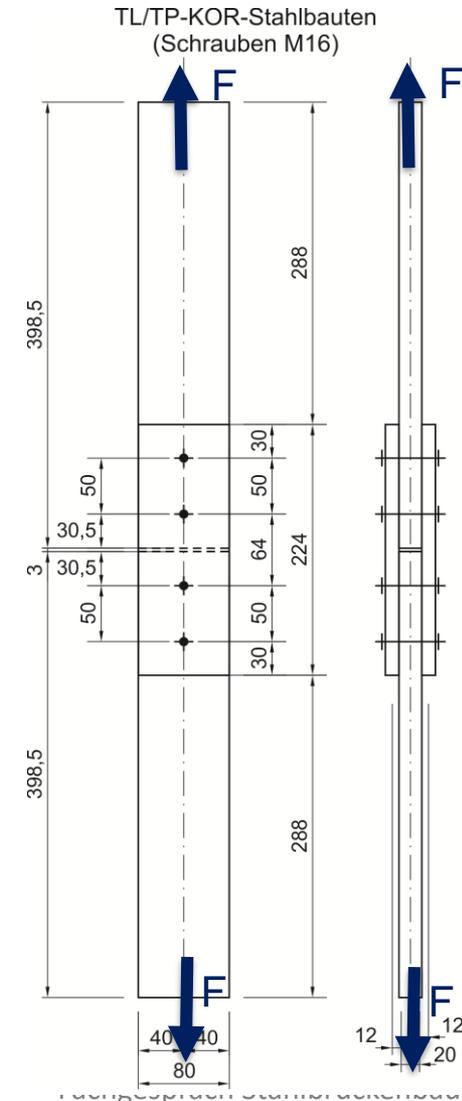
- Relative Verschiebung zwischen angrenzenden Punkten auf einem inneren und einem äußeren Blech.
- Ist für jedes Ende des Prüfkörpers getrennt zu messen.
- Ist als Mittelwert der Verschiebung auf beiden Seiten des Prüfkörpers anzunehmen.

## Problematik

- Nur statische Versuche, keine Kriechversuche  
⇒ Langzeitverhalten nicht abgebildet
- Angaben zur Kontrolle der Vorspannkraft fehlen  
⇒ Vorspannen mittels Drehmomentverfahren liefert „irgendwelche“ Vorspannkraft
- Berechnung der Haftreibungszahl unter Ansatz einer „fiktiven“/nicht realen Vorspannkraft  

$$\mu_i = \frac{F_{g,i}(\text{kN})}{400} \geq 0,5$$

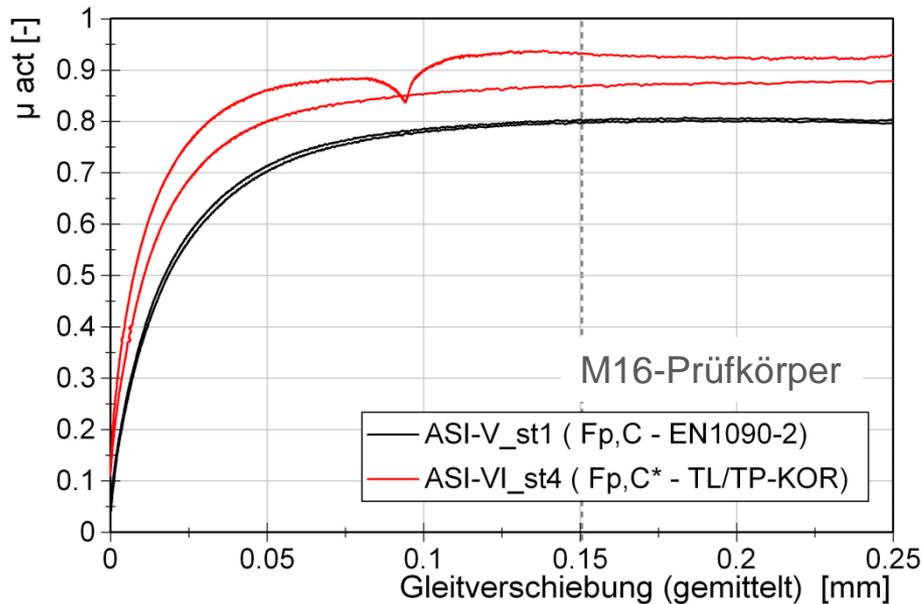
2 Gleitfugen · 2 · 100 kN (Vorspannkraft)
- Haftreibungszahl ⇒ kleinster Wert aus 10 Prüfungen ⇒ statistische Aus- und Bewertung fehlt  
 $\mu = \min. \mu_i$
- Kontrolle der Vorspannkraftverluste fehlt
- Auswertepunkt der Gleitlast bei Verschiebung von 0,15 mm nicht immer zutreffend  
⇒ Unter- bzw. Überschätzung der Gleitlast und damit der Haftreibungszahl möglich



# ASI-Beschichtung

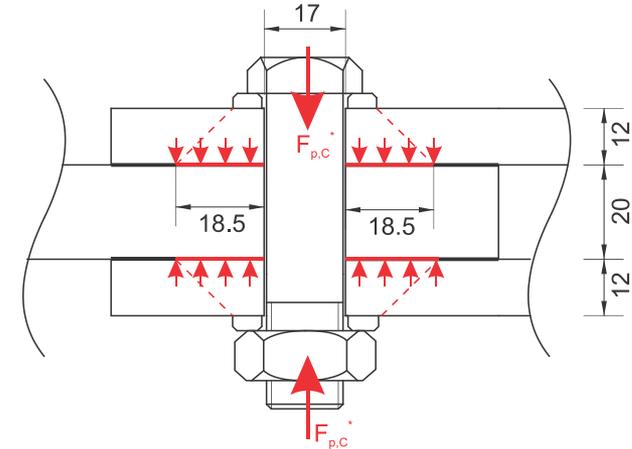
## TL/TP-KOR-Stahlbauten, Blatt 85 (alt) vs Anhang G, EN 1090-2

Alkali-Zink-Silikat-(ASI-)Beschichtung (statischer Versuch und Kriechversuch)

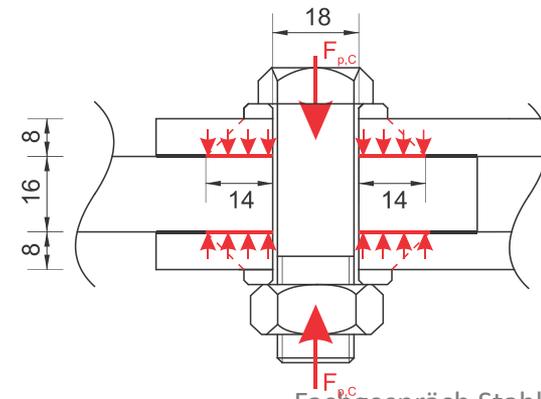


⇒ TL/TP-KOR-Stahlbauten (mit  $F_{p,C}^*$  und größerer Reibfläche) liefert größere Haftreibungszahlen als statischer Versuch nach EN 1090-2, Anhang G (mit  $F_{p,C}$  und kleinerer Reibfläche)

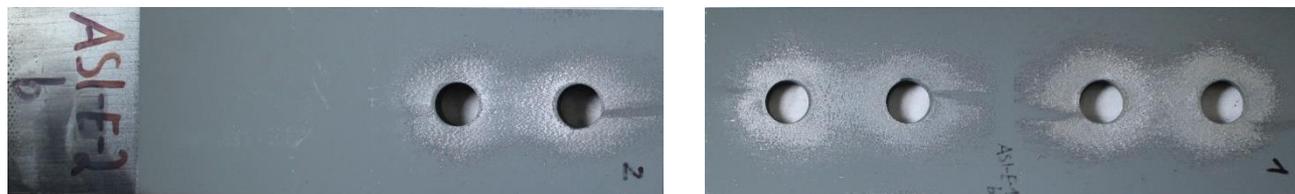
TL/TP-KOR-Stahlbauten



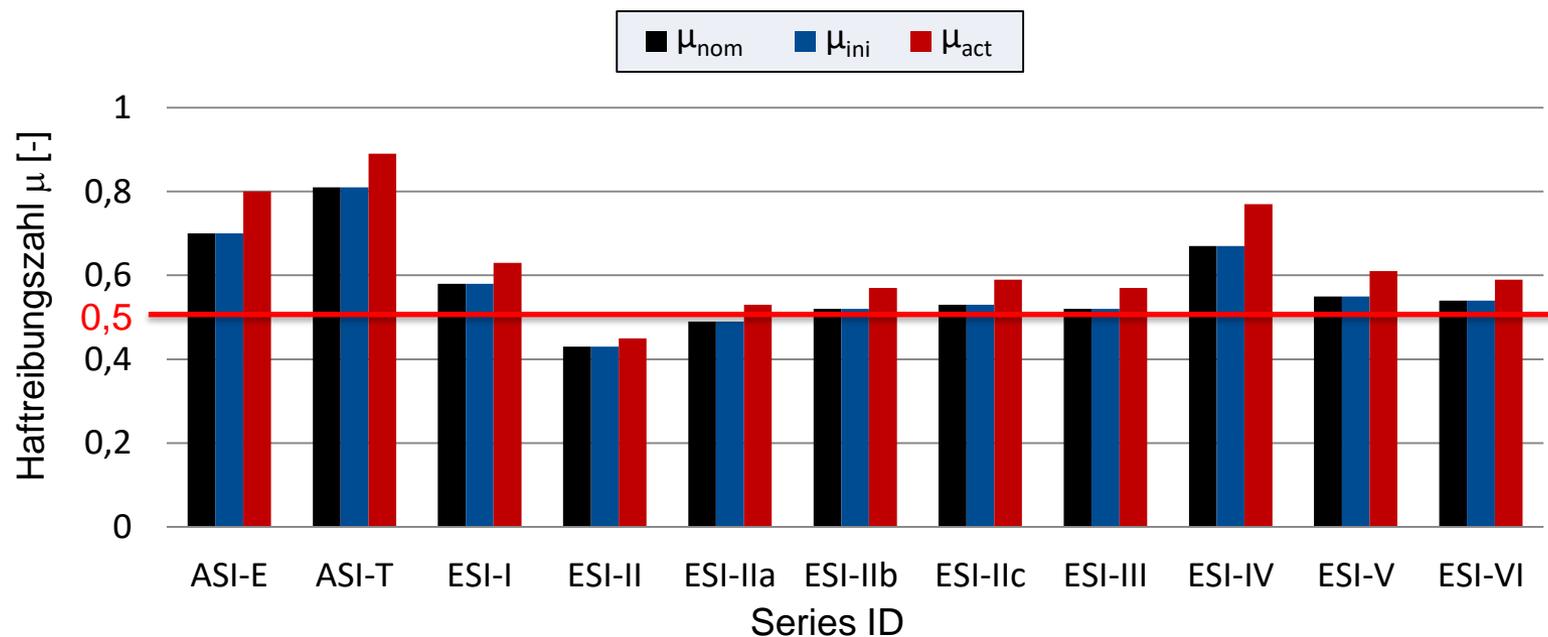
Anhang G, EN 1090-2



# Ergebnisse statischer Versuche mit ASI und ESI

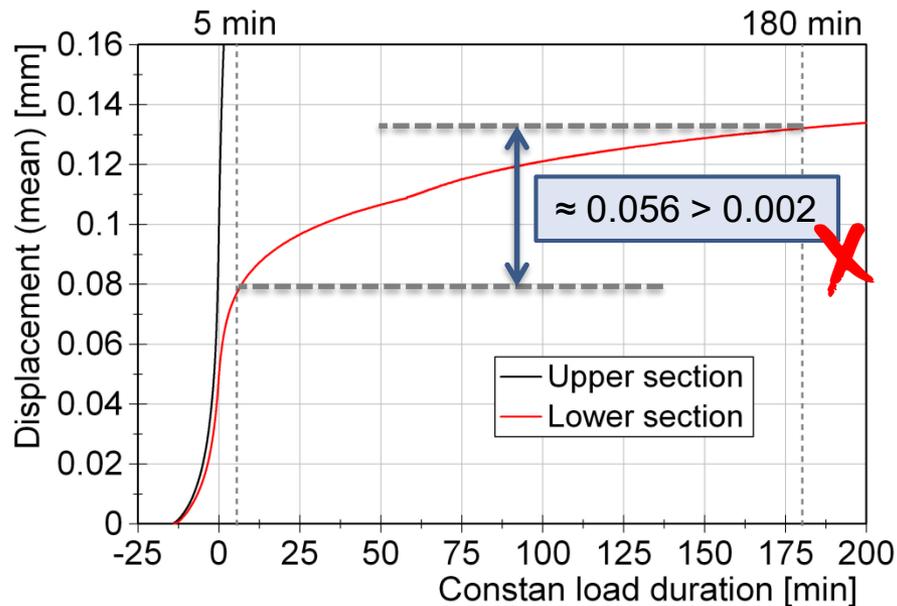


ASI

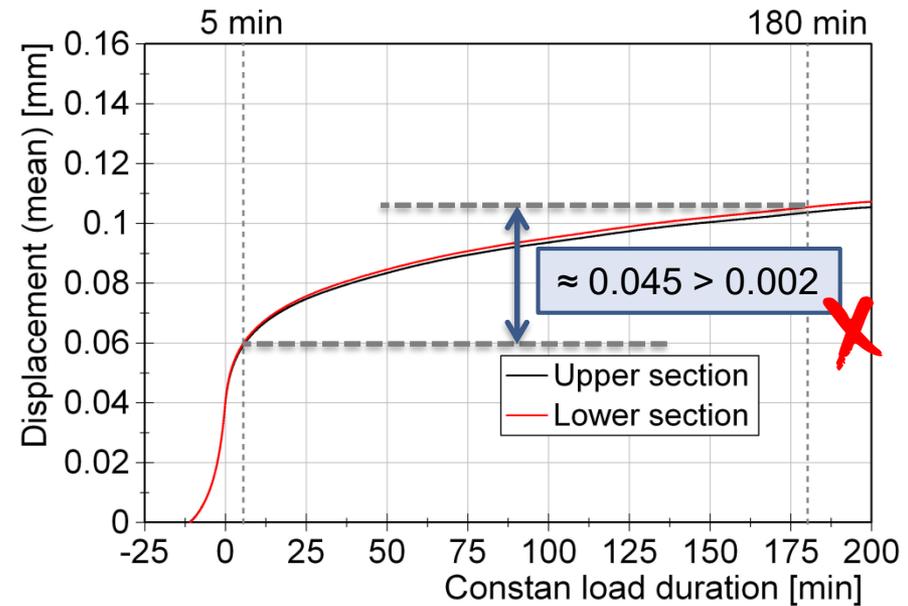


ESI-II

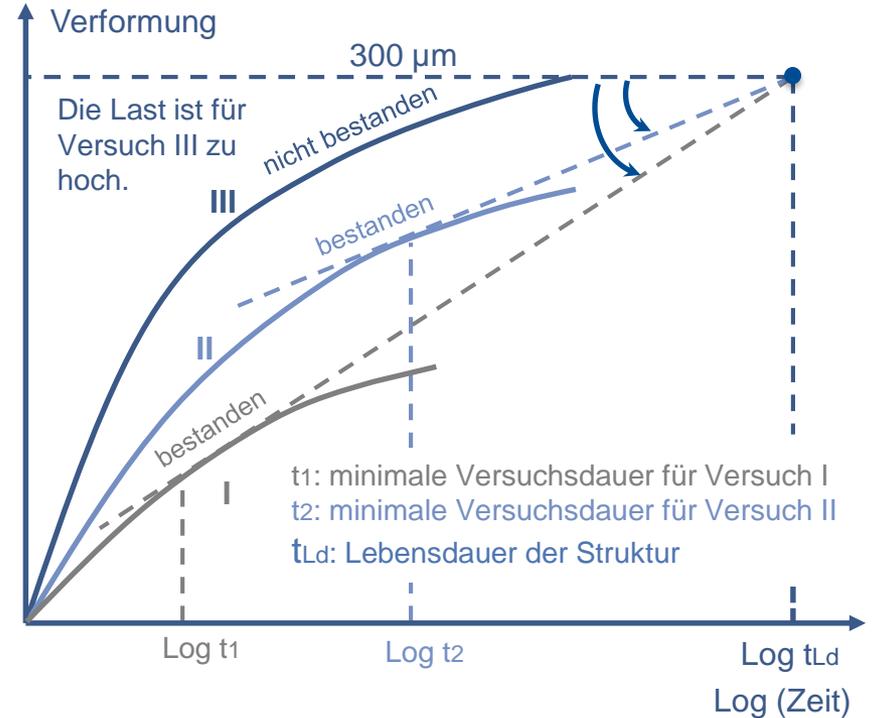
ASI-E

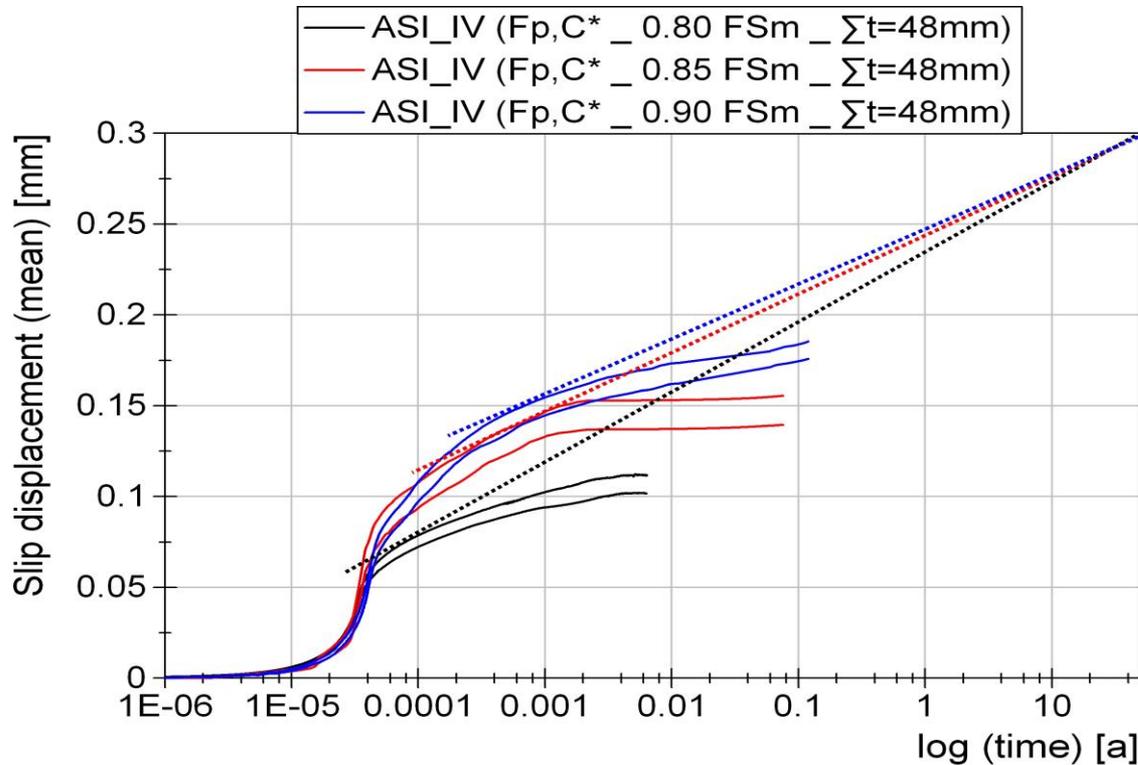


ESI-V



- ASI und ESI zeigen starkes Kriechverhalten!
  - In allen untersuchten Fällen sind die Kriechversuche nicht bestanden.
- ⇒ Erweiterte Kriechversuche sind erforderlich.





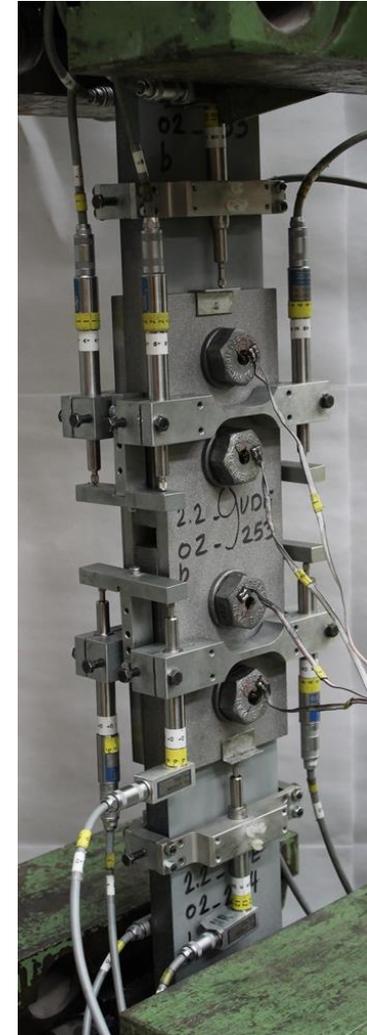
## ASI-IV

$\Sigma t = 48 \text{ mm}$

Vorspannkraft =  $F_{p,C^*}$

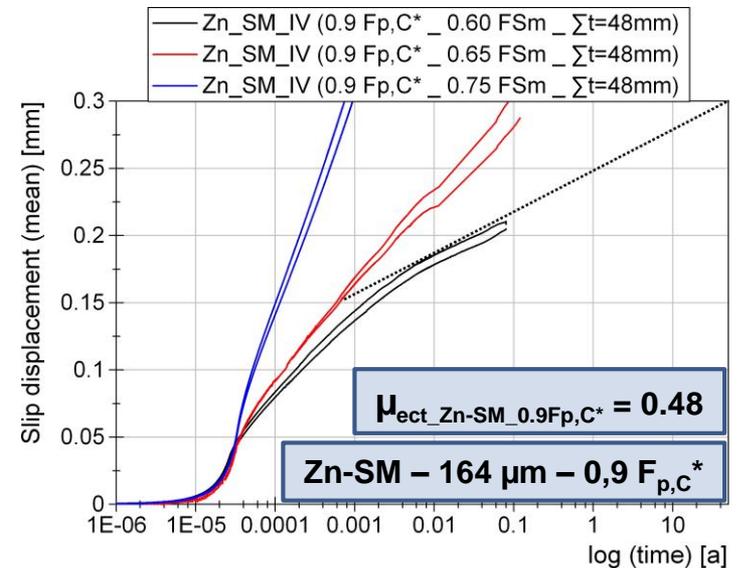
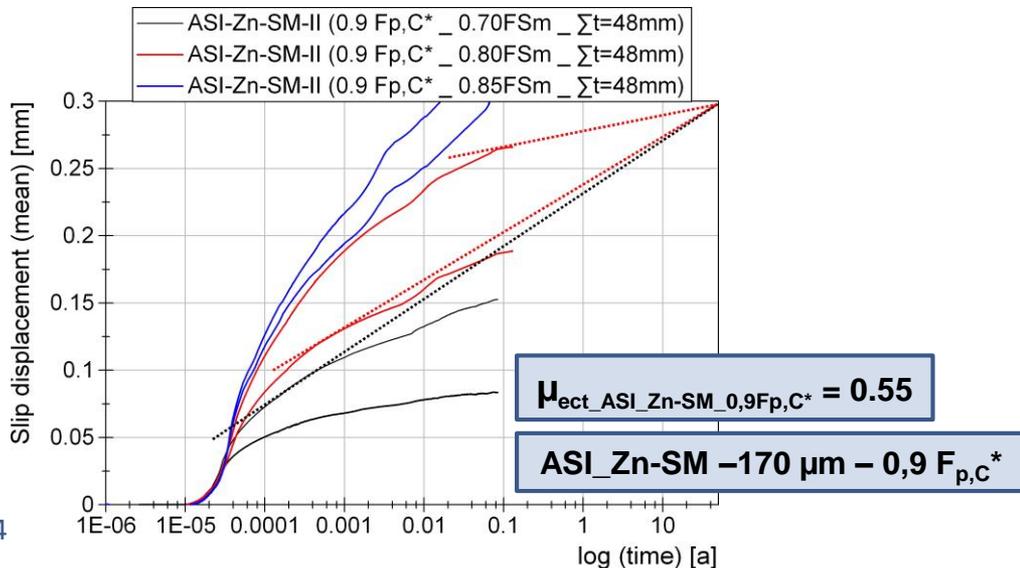
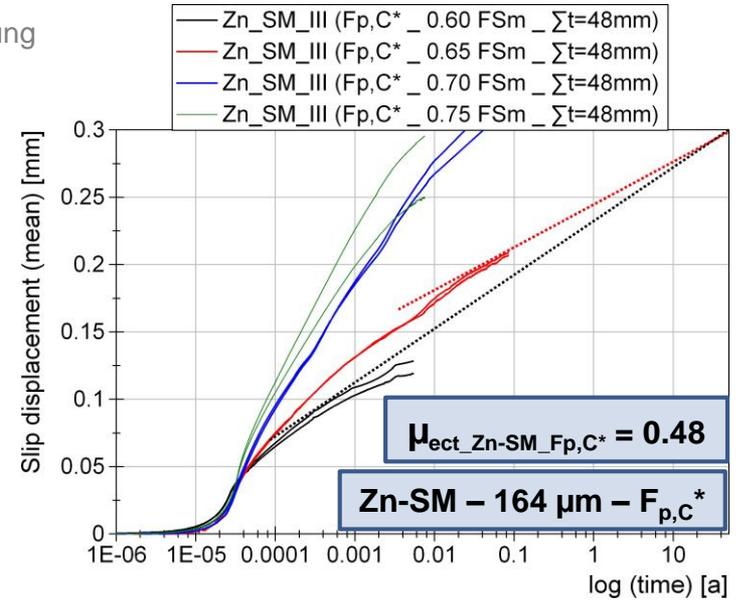
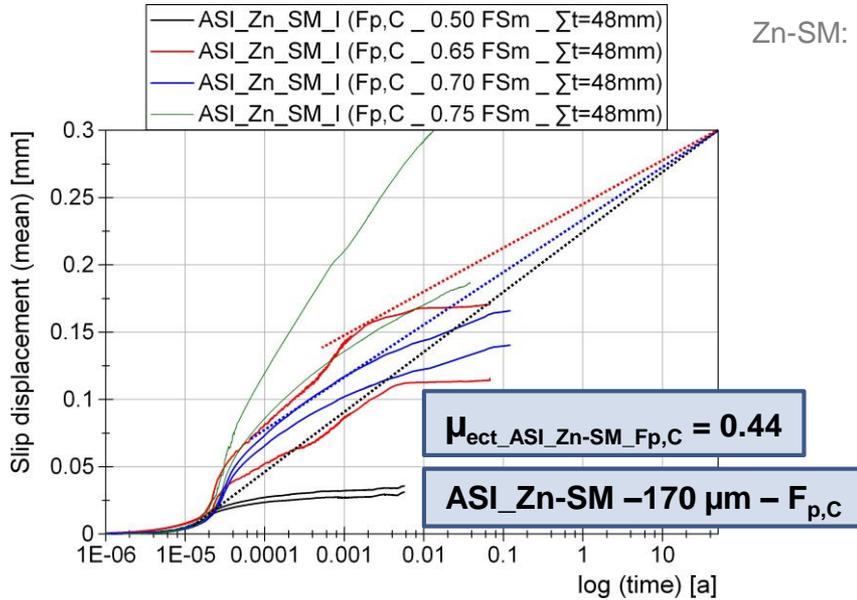
Versuchsdauer  $\approx 40$  Tage

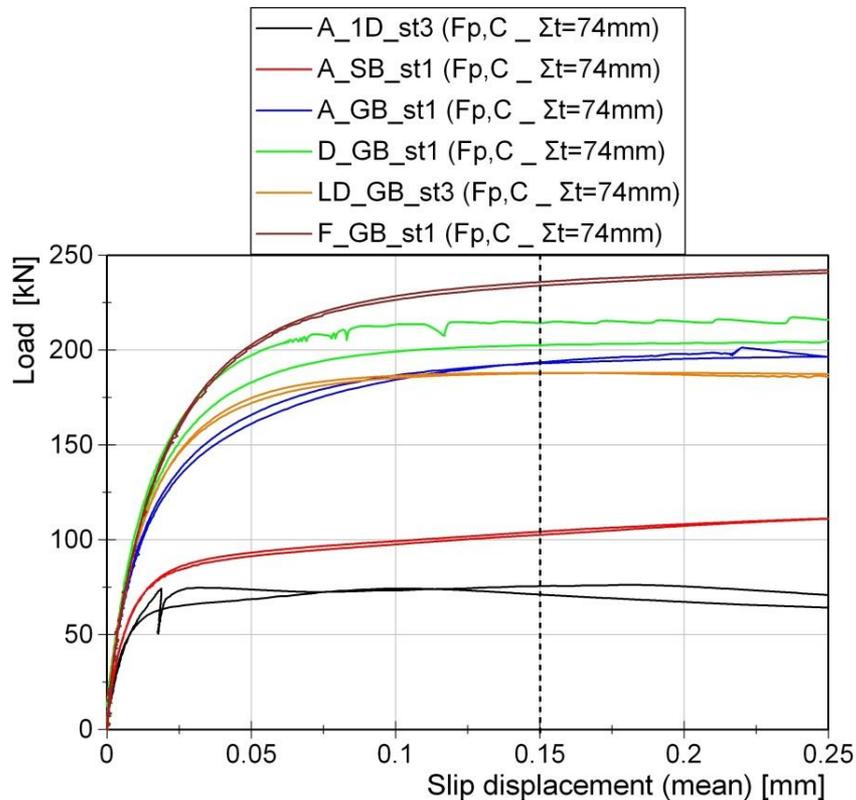
$$\mu_{\text{nom}} = \frac{0.90 F_{Sm}}{4 \cdot F_{V,\text{nom}}} = \frac{400 \text{ kN}}{4 \cdot 160 \text{ kN}} = 0.63 [-]$$



# Ergebnisse erweiterte Kriechversuche – ASI, Zn-SM

Zn-SM: Spritzverzinkung





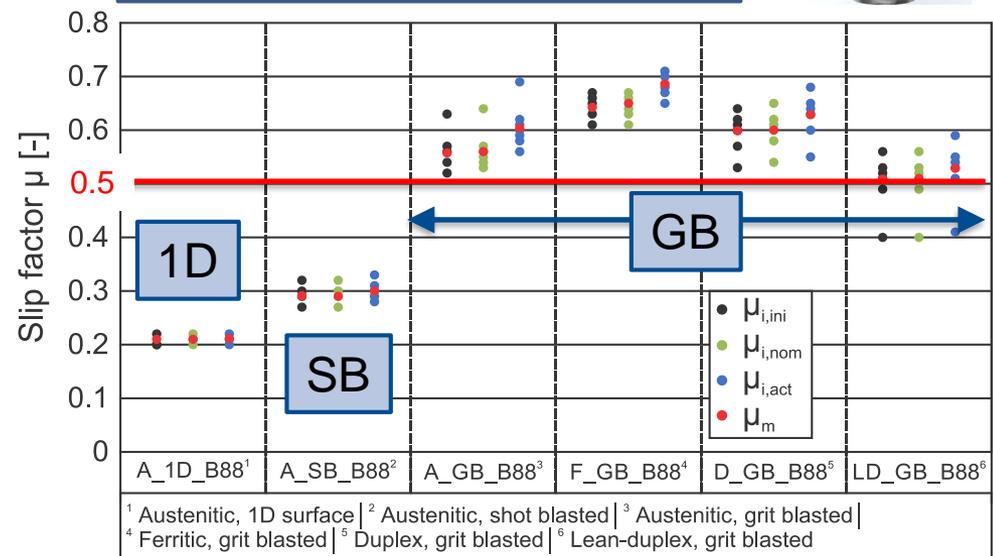
### Typische Oberflächenbeschaffenheiten

- 1D
- shot blasted (SB)
- grit blasted (GB)

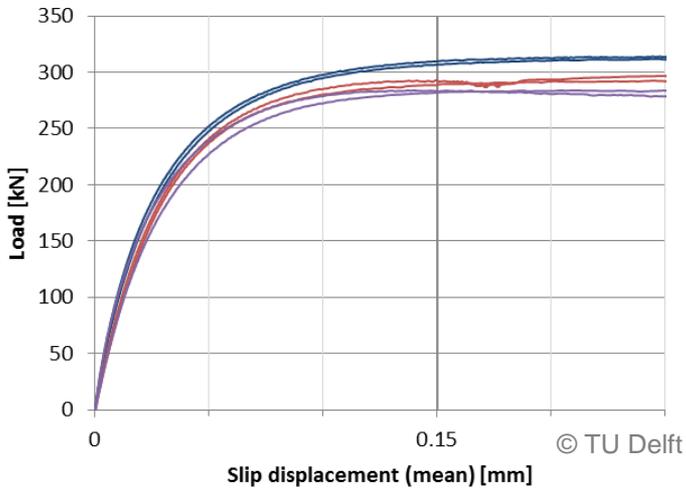
Austenitische Schrauben  
M16, FK 8.8 (Bumax 88)

Bleche aus nichtrostendem  
Stahl

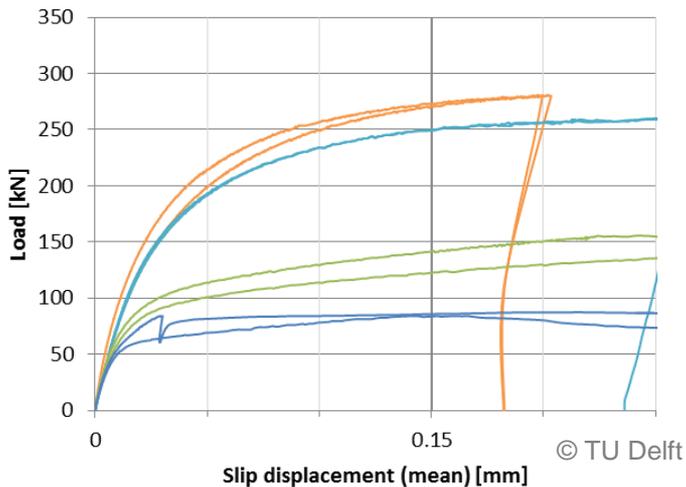
- Austenit (1.4404) - A
- Duplex (1.4462) - D
- Lean-Duplex (1.4162) - LD
- Ferrit (1.4003) - F



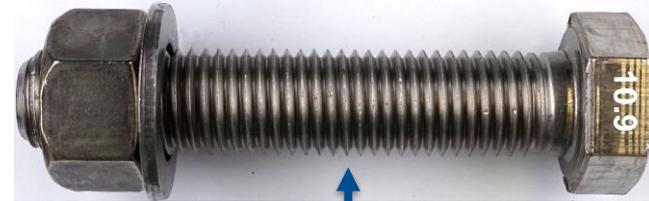
<sup>1</sup> Austenitic, 1D surface | <sup>2</sup> Austenitic, shot blasted | <sup>3</sup> Austenitic, grit blasted |  
<sup>4</sup> Ferritic, grit blasted | <sup>5</sup> Duplex, grit blasted | <sup>6</sup> Lean-duplex, grit blasted



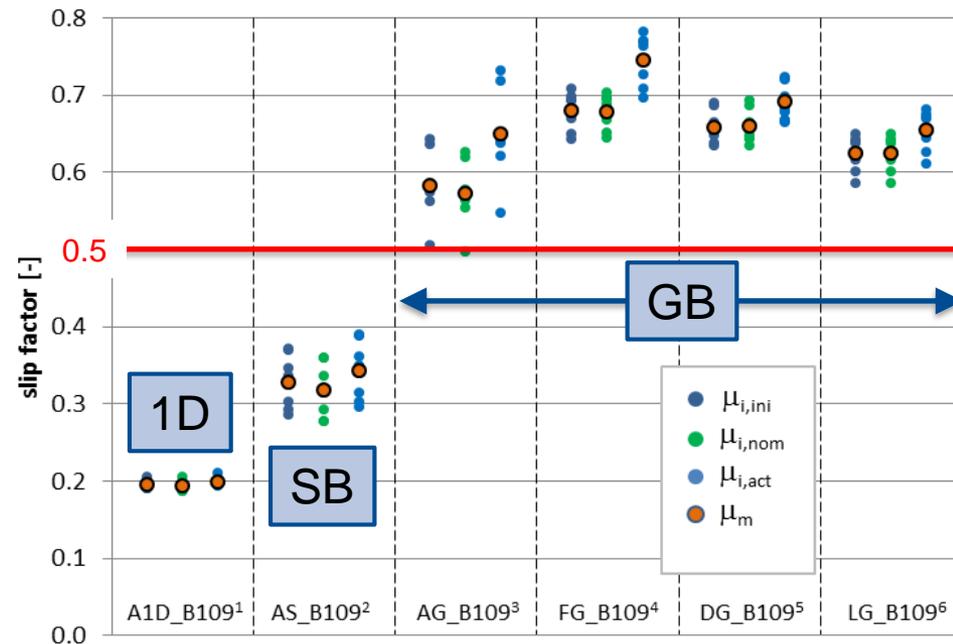
- FG\_B109\_01L
- FG\_B109\_01T
- DG\_B109\_01L
- DG\_B109\_01T
- LD\_B109\_01L
- LG\_B109\_01T



- AGC\_B109\_01L
- AGC\_B109\_01T
- AG\_B109\_03T
- AG\_B109\_03L
- AS\_B109\_01L
- AS\_B109\_01T
- A1D\_B109\_01T
- A1D\_B109\_01L



Austenitische Schrauben  
M16, FK 10.9 (Bumax 109)



# Haftreibungszahlen für nichtrostenden Stahl

Stahlsorte		Oberflächenbeschaffenheit	Schraubentyp Vorspannkraft: Fp,C	Haftreibungszahl $\mu_{5\%}$ / $\mu_{ect}$	
<b>Austenit</b>	1.4404	1D	Bumax 88	0.2/-	
		Grit blasted		0.49/0.51	
<b>Duplex</b>	1.4462	Grit blasted		0.54/0.54	
<b>Austenitic</b>	1.4404	1D		Bumax 109	-/0.16
		Shot blasted			-/0.28
		Grit blasted			-/0.48
Duplex	1.4462		0.62/0.59		
Lean Duplex	1.4162		0.56/0.49		
Ferrit	1.4003		0.64/0.59		

Vorläufige  
Einteilung in  
Haftreibungsklassen  
(noch final zu  
verifizieren)



Stahlsorte	Oberflächenbeschaffenheit	Haftreibungszahl $\mu$
<b>Austenit</b>	1D	< 0.2
	Shot blasted	0.25
	Grit blasted	0.5
<b>Duplex</b>	Grit blasted	0.6
<b>Lean Duplex</b>		0.5
<b>Ferrit</b>		0.6

EN 1090-2

} ⇒ ~ Haftreibungsklasse D

} ⇒ Haftreibungsklasse A

- Beschichtungen für geschraubte Verbindungen in ZTV-Ing und TL KOR – Stahlbauten neu geregelt
- Haftreibungszahlen für gleitfeste Verbindungen werden nach dem Prüfverfahren der DIN EN 1090-2, Anhang G bestimmt  $\Rightarrow$  genaues Prüfverfahren unter Berücksichtigung des Langzeitverhaltens (Kriechen...)
- ASI und ESI können durchaus Haftreibungszahlen  $\mu \geq 0,5$  liefern  $\Rightarrow$  Dies ist durch die Beschichtungsstoffhersteller nachzuweisen.
- Gleitfeste Verbindungen aus nichtrostenden Stahl liefern ohne Beschichtung für mit kantigem Strahlmittel gestrahlte Oberflächen (Grit Blasted – GB) Haftreibungszahlen  $\mu \geq 0,5$  (vorgespannte Verbindungen mit Schrauben aus nichtrostenden Stahl sind realisierbar  $\Rightarrow$  <sup>1)</sup> und SIROCO)
- Mehr zum Thema und RFCS-Forschungsvorhaben SIROCO: Spezial Journal-Ausgabe *Steel Construction 4/2017* (erscheint im November 2017)

RFCS-Project SIROCO  
Execution and reliability of slip-resistant connections  
for steel structures using CS and SS



<sup>1)</sup> Stranghöner, N., Jungbluth, D., Afzali, N., Lorenz, C., Einblick in das Vorspannverhalten von geschraubten Verbindungen aus nichtrostendem Stahl, Stahlbau 86 (2017), Heft 4, S. 302-314

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



**Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner**

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

Universitätsstr. 15  
45141 Essen

Fon: 0201 183-2757

Fax: 0201 183-2710

E-Mail: [natalie.stranghoener@uni-due.de](mailto:natalie.stranghoener@uni-due.de)

Internet: [www.uni-due.de/iml](http://www.uni-due.de/iml)