



© CTeam



© CTeam

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

Institut für
Metall- und Leichtbau

Einfluss von Beschichtungen auf das Tragverhalten von geschraubten Verbindungen

Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner

Dr.-Ing. Dominik Jungbluth

Lukas Makevičius, M.Sc. | Nariman Afzali, M.Sc.

2. Fachtagung
Mechanische Verbindungsmittel
im Stahlbau

8. März 2019 | Hamburg



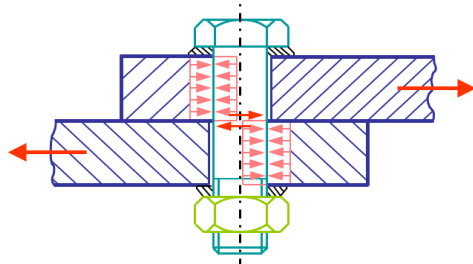
Prüfung einer
GV-Verbindung nach
DIN EN 1090-2, Anhang G

- Schraubenkategorien nach Eurocode 3
- DIN EN 1090-2
- ZTV-Ing und TL KOR –Stahlbauten
- Vorspannkraftverluste bei beschichteten Kontaktflächen
- Haftreibungszahl für gleitfeste Verbindungen nach Anhang G der DIN EN 1090-2
 - ASI – ESI – Zn-SM
- Zusammenfassung

Schraubenkategorien nach Eurocode 3

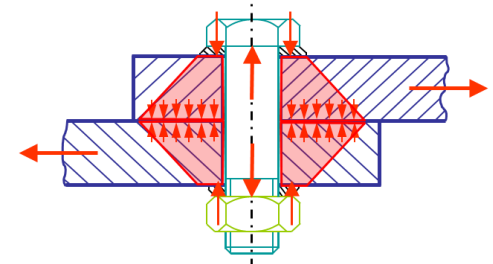
Schraubenkategorien nach DIN EN 1993-1-8

Scherverbindungen

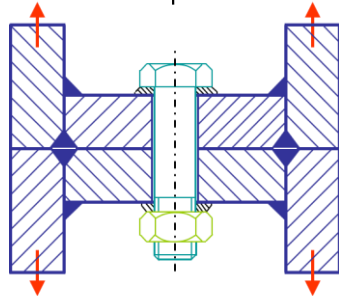


Kategorie A
Scher-/Lochleibungs-
verbindung
FK 4.6 bis 10.9

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

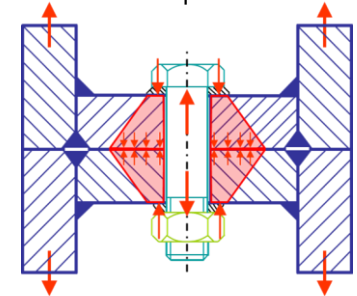


Zugverbindungen



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

DEUTSCHE NORM

September 2018

DIN EN 1090-2

DIN

ICS 91.080.13

Ersatz für
DIN EN 1090-2:2011-10

**Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken –
Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken;
Deutsche Fassung EN 1090-2:2018**

Execution of steel structures and aluminium structures –
Part 2: Technical requirements for steel structures;
German version EN 1090-2:2018

Exécution des structures en acier et des structures en aluminium –
Partie 2: Exigences techniques pour les structures en acier;
Version allemande EN 1090-2:2018

Vorgespannte Verbindungen

DIN EN 1090-2, Anhang F.4

Beschichtete Kontaktflächen \Rightarrow nur eine Grundbeschichtung mit max. Trockenschichtdicke 100 μm

Vorspannkraftverluste

DIN EN 1090-2, 8.5.1

Nur unzureichende Aussagen in DIN EN 1090-2:

- Mögliche **Vorspannkraftverluste** infolge z. B. Relaxieren oder Kriechen der Beschichtungen werden bei den festgelegten Anziehverfahren **implizit berücksichtigt**, **außer** für **dicke** Beschichtungen. Bei diesen darf der mögliche Vorspannkraftverlust nach **Anhang I** beurteilt werden.
- Bei dicken Oberflächenbeschichtungen ist festzulegen, ob Maßnahmen zum Ausgleich eines möglichen nachträglichen Verlustes der Vorspannkraft erforderlich sind.

\Rightarrow Empfehlung:

- Bei Kategorie E-Verbindungen sollte Kriechen der Beschichtung beachtet werden.
- **Anhang I**

Tabelle I.1 — Möglicher Vorspannkraftverlust durch Beschichtungen/Beschichtungssysteme auf vorgespannten Kontaktflächen

DIN EN 1090-2, Anhang I

Beschichtung/Beschichtungssystem (Siehe EN ISO 12944-5 für vollständige Systemangaben)	Systembezug in EN ISO 12944-5	Möglicher Vorspannkraftverlust
Feuerverzinkt nach EN ISO 1461, ohne zusätzliche Beschichtung	entfällt hier als Referenzwert aufgeführt	Vorspannkraftverlust $\leq 10\%$ In allen vorgespannten Schraubverbindungen geeignet ^{a b}
Alkalimetall-Zink-Silicat-Grundbeschichtung	entfällt	Vorspannkraftverlust $\leq 10\%$ In allen vorgespannten Schraubverbindungen geeignet ^{a b}
Einschichtige 2K-EP- oder -PUR-Beschichtung mit Zn(R)	A 3.10	
Mehrschichtige 1K- PUR-Beschichtungssysteme mit Zn(R)	A 3.11 A 4.13 A 4.14 A 4.15	Vorspannkraftverlust $\leq 30\%$. In Schraubverbindungen der Kategorien A und D nach EN 1993-1-8, die aus Gründen der Gebrauch- tauglichkeit vorgespannt sind (z. B. Dauerhaftigkeit oder Minimierung der Verformung) geeignet
PVC/PVC-Kombinationsbeschichtungen mit beliebig dicken AK- oder AY-Hydro-Schichten mit Gesamtdicken von mehr als 120 μm	entfällt	Vorspannkraftverlust $> 30\%$. Für Bauteile mit vorgespannten Verbindungen nicht geeignet

⇒ Entspricht der Regelung der DIN 18800-7

^a Zur Eignung für Reibflächen, siehe Tabelle 17.

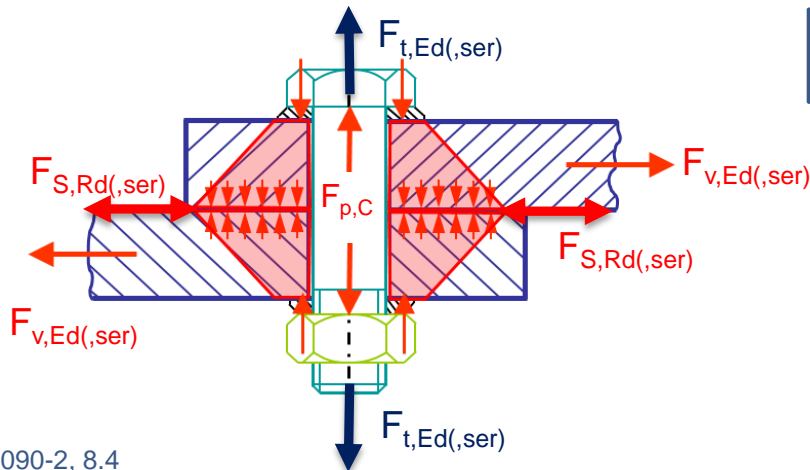
^b In Schraubverbindungen der Kategorie B, C und E nach EN 1993-1-8 kann es notwendig sein, die Bemessung mit $0,9 F_{p,C}$ durchzuführen oder (im Falle des Drehmomentverfahrens) Vorspannkraft und Schraubengarnituren, die nach ein paar Tagen nachgezogen werden können, festzulegen.

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

Grenzzustand der
Tragfähigkeit



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

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 μ

Externe Zugkraft $F_{t,Ed}$

Teilsicherheitsbeiwert γ_{M3}

DIN EN 1090-2, 8.4

Oberflächenbehandlung	Gleitflächen- klasse	Haftreibungs- zahl μ
Oberflächen mit Kugeln oder kantigem Strahlmittel gestrahlt, loser Rost entfernt, nicht körnig.	A	0.5
Oberflächen feuerverzinkt nach EN ISO 1461, gesweept und mit Alkali-Zink-Silikat-Beschichtung mit einer Nenndicke von 60 μm . (Trockendicke zwischen 40 μm bis 80 μm)	B	0.4
Oberflächen mit Kugeln oder kantigem Strahlmittel gestrahlt: a) mit Alkali-Zink-Silikat-Beschichtung mit einer Nenndicke von 60 μm ; (Trockendicke zwischen 40 μm bis 80 μm) b) thermisch spritzaluminiert oder spritzverzinkt oder beides kombiniert auf eine Nenndicke von nicht mehr als 80 μm .	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 Beschichtungsmittel
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 μm nicht unterschreiten und 80 μm nicht überschreiten.



© M. Schiborr | IML

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

Eignungsvermerk	Beschichtungen/Aufbau der Beschichtungssysteme	
Gleitfeste Verbindungen (siehe Anhang A)	ASI- Zinkstaub	Blatt 85
	ESI-Zinkstaub ¹⁾	Blatt 86
Vorspannkraftverlust bei zwei zusammenge- spannten beschichteten Kontaktflächen ≤ 10 %	ASI- Zinkstaub	Blatt 85
	ESI-Zinkstaub ¹⁾	Blatt 86
Geeignet für Zugverbindungen (Kategorie E) und für Scher- /Lochleibungsverbindungen mit Gebrauchstauglichkeitsvorspannung	2K-EP-Zinkstaub	Blatt 87
	Feuerverzinken	DIN EN ISO 1461
Vorspannkraftverlust bei zwei zusammenge- spannten beschichteten Kontaktflächen ≤ 30 %	<u>EP-/PUR-System</u> 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
	<u>1K-PUR-System</u> 1. GB 1K-PUR-Zinkstaub Stoff-Nr. 689.04 2. ZB 1K-PUR-Eisenglimmer 3. DB 1K-PUR-Eisenglimmer	Blatt 89

TL KOR - Stahlbauten

⇒ entspricht bis auf ESI: DIN 18800-7

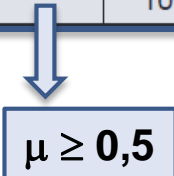
¹⁾ Der Nachweis ist zu führen.

Anhang A, Tab. A 4.3.2

1	2	3	4	5	6	7
Bauteil-Nr.	zugrundegelegte Korrosionsbelastung	Beschichtungssystem Nr.	Sollschichtdicke (μm)	Oberflächen-vorbereitung	Stoffe nach TL KOR-Stahlbauten, TL-Blatt	sonstige Hinweise
5	Besonders zu behandelnde Flächen					
5.1	Reibflächen von geschraubten Verbindungen und Nietverbindungen					
Gleitfeste Verbindungen						
5.1.1	gleitfeste geschraubte Verbindungen der Kategorien B und C					
	wenn Haftreibungszahl von $\mu \geq 0,5$ erforderlich $\mu \geq 0,5$	1	GB ASI-Zinkstaub ASI	60	Sa 2½	85 Blatt 85 kantiges Strahlmittel verwenden; Blatt 86 auch zulässig, wenn Haftreibungszahl $\mu \geq 0,5$ nachgewiesen
	wenn Haftreibungszahl von $\mu \leq 0,3$ rechnerisch ausreicht	2	GB ESI-Zinkstaub ESI	60	Sa 2½	86 Blatt 86 kantiges Strahlmittel verwenden
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						

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 μm
- Trockenschichtdicke darf 40 μm nicht unterschreiten und 80 μm nicht überschreiten
- Anforderung an Haftreibungszahl: $\mu \geq 0,5$

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

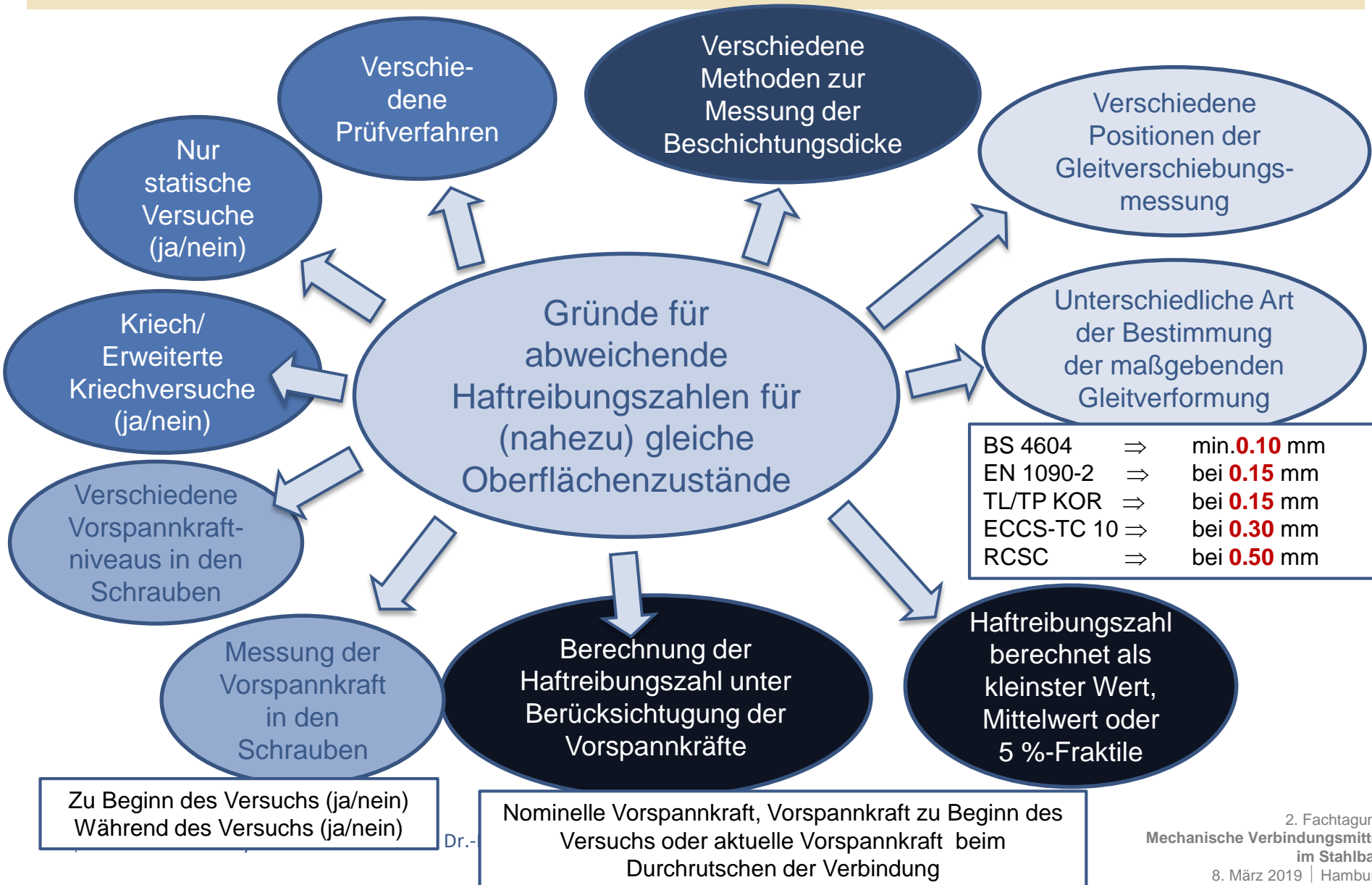
RFCS-Project SIROCO

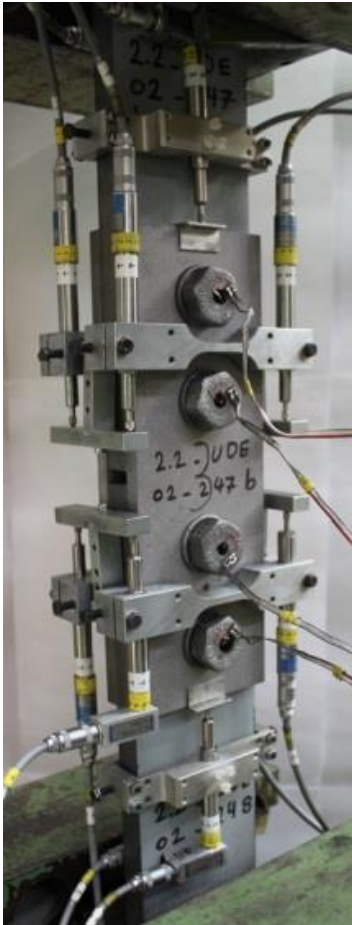
Execution and reliability of slip-resistant connections
for steel structures using CS and SS



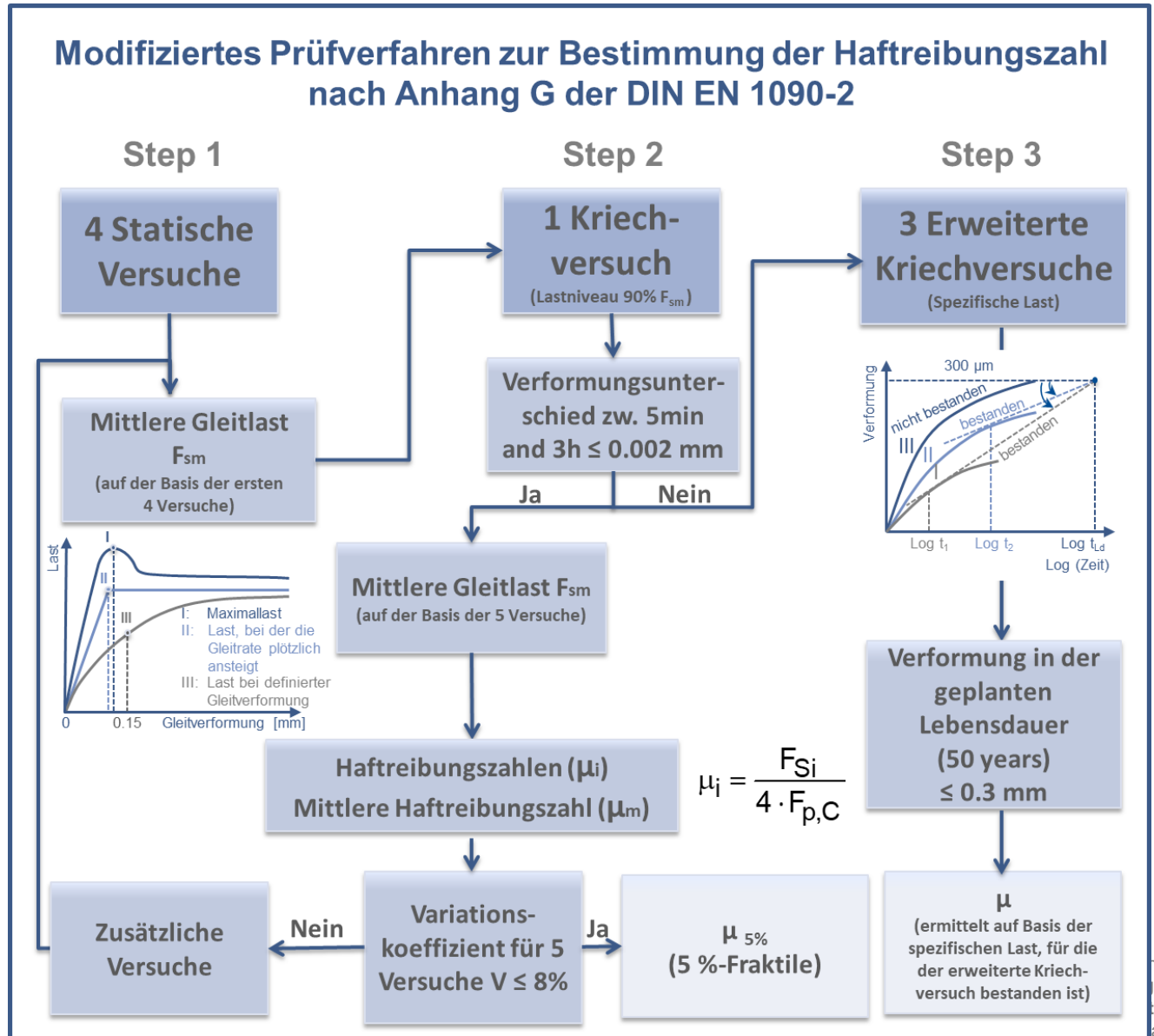
RESEARCH AND INNOVATION
Industrial Technologies
Research Fund for Coal and Steel

Gründe für abweichende Haftreibungszahlen aus der Literatur

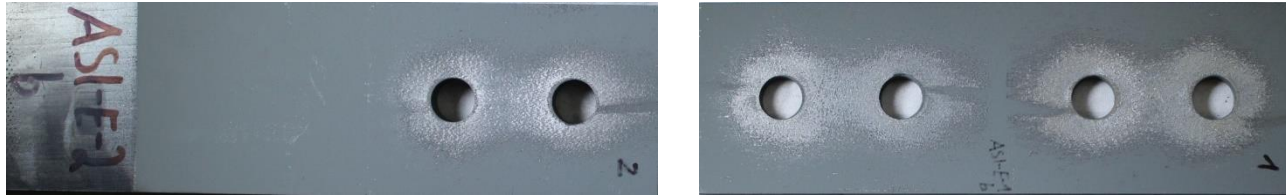




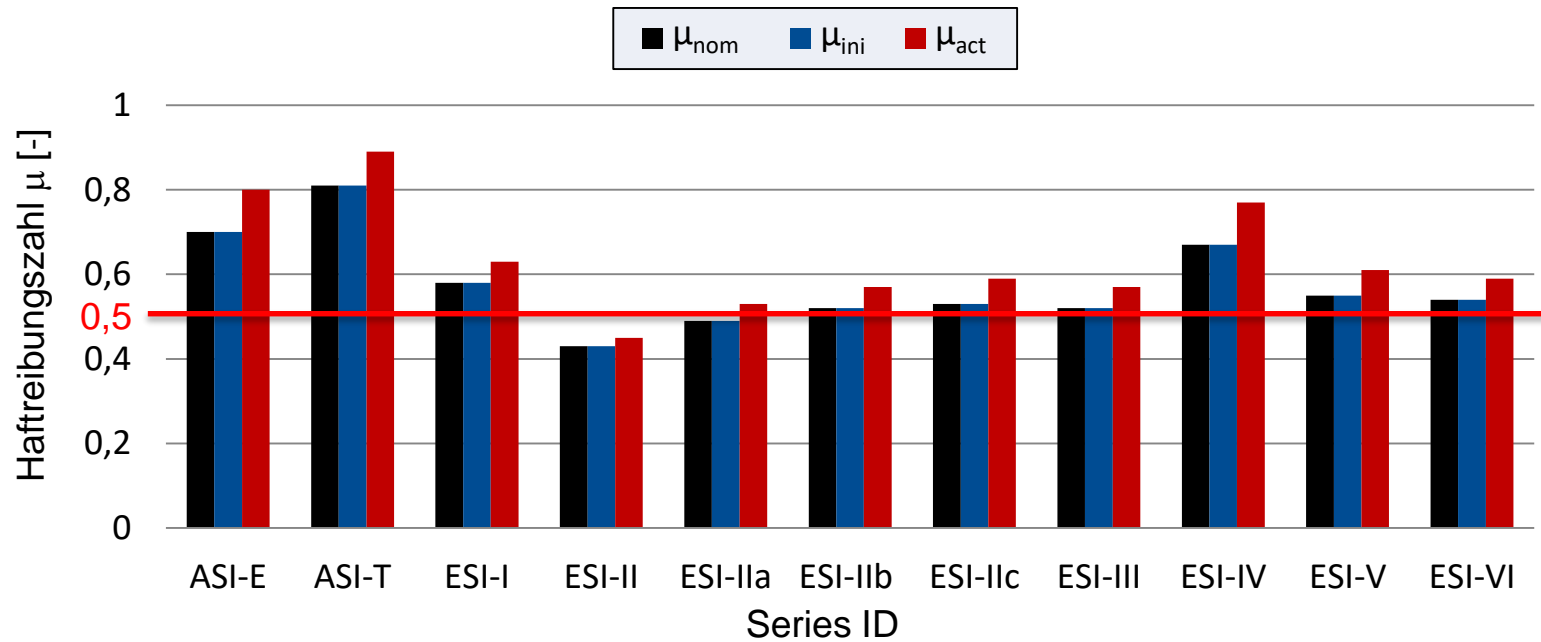
Prüfung einer
GV-Verbindung nach
DIN EN 1090-2, Anhang G



Ergebnisse statischer Versuche mit ASI und ESI



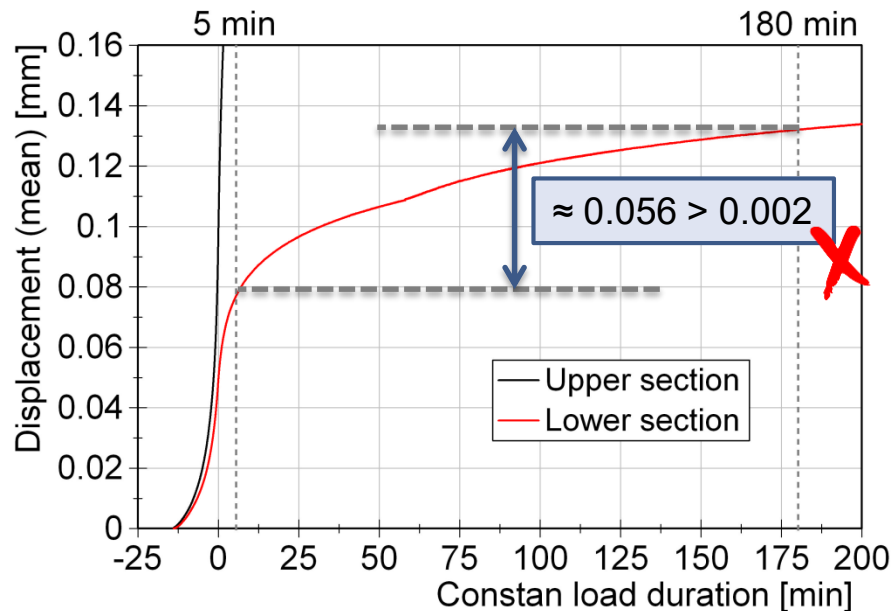
ASI



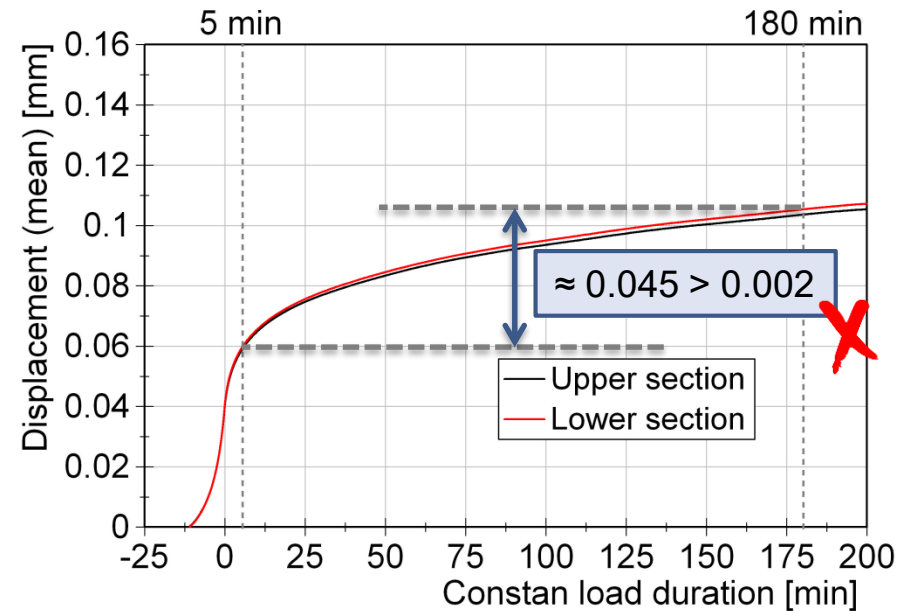
ESI-II

Exemplarische Ergebnisse von Kriechversuchen an ASI und ESI

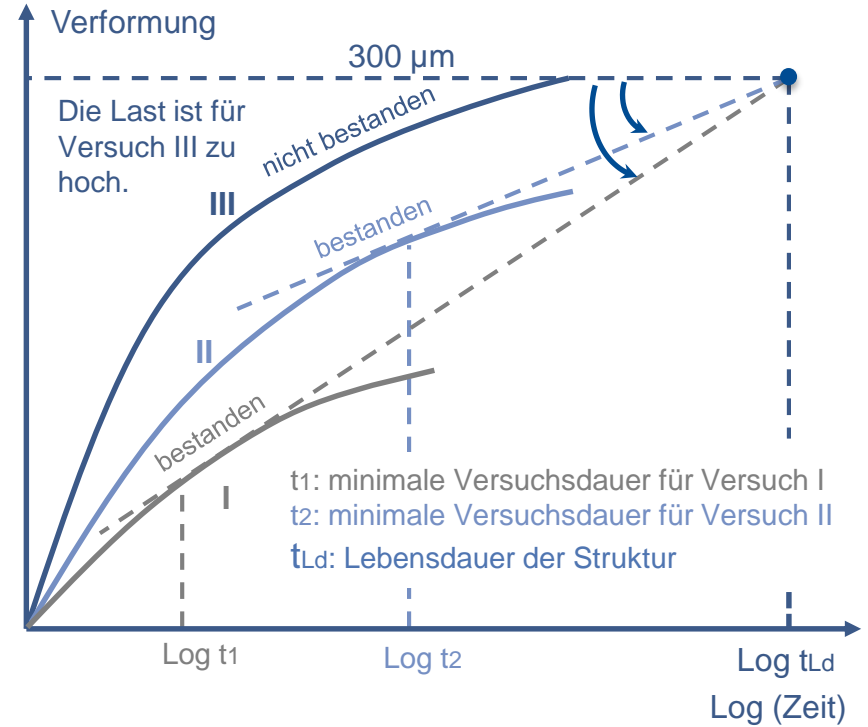
ASI-E

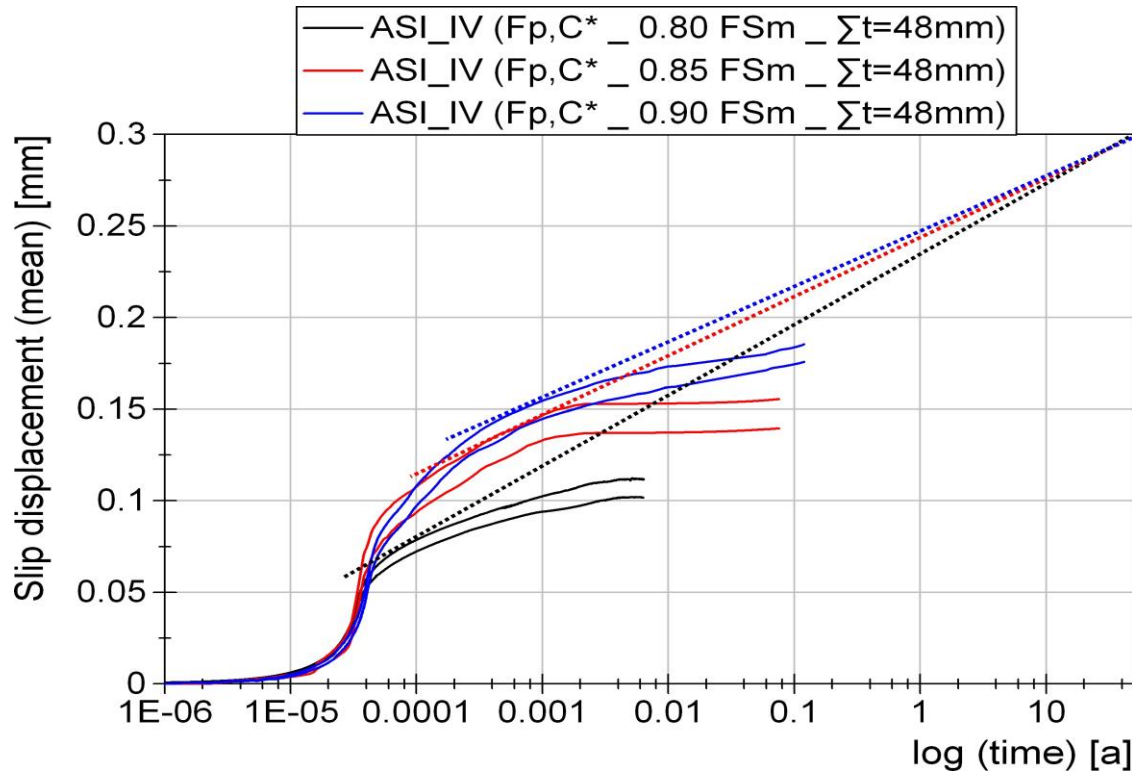


ESI-V



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





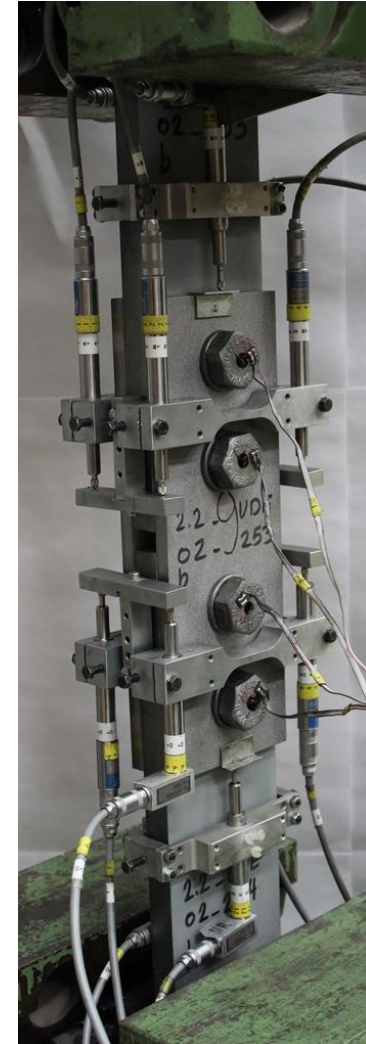
ASI-IV

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

Vorspannkraft = F_{p,C^*}

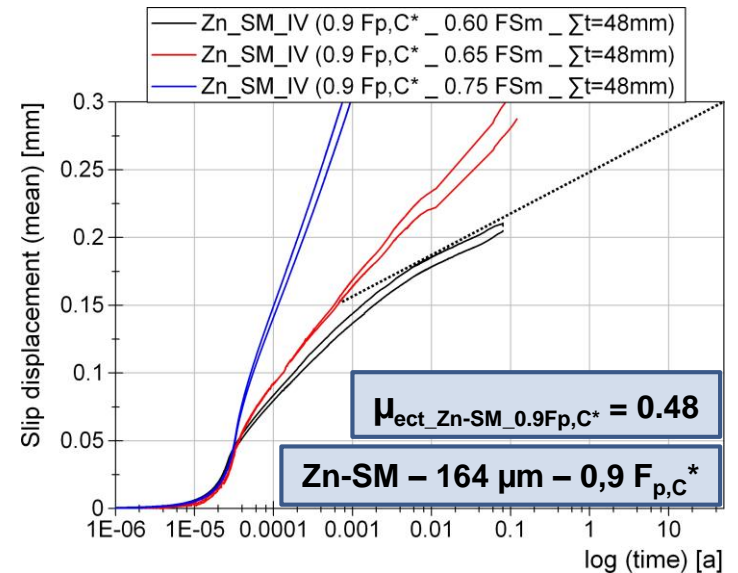
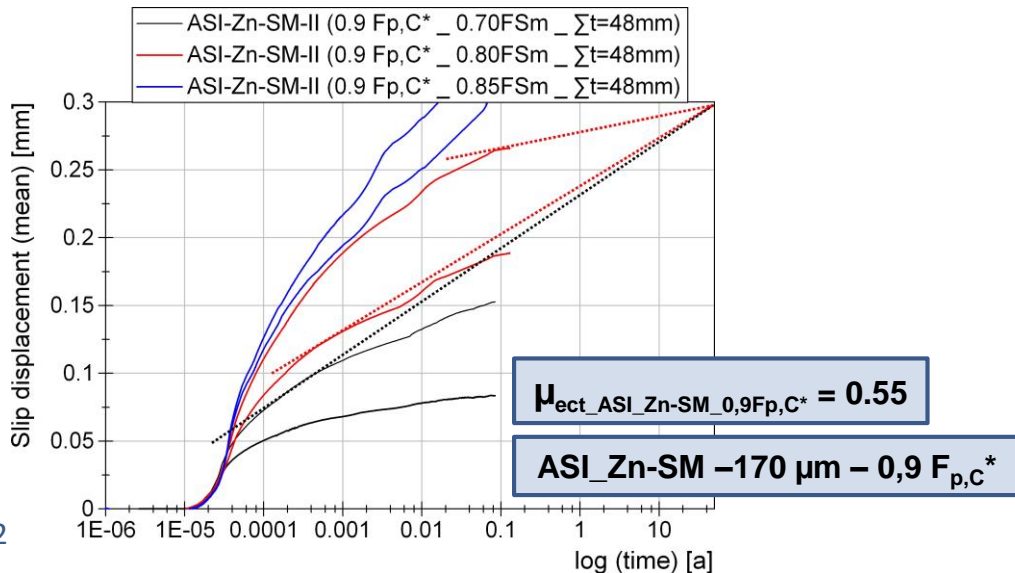
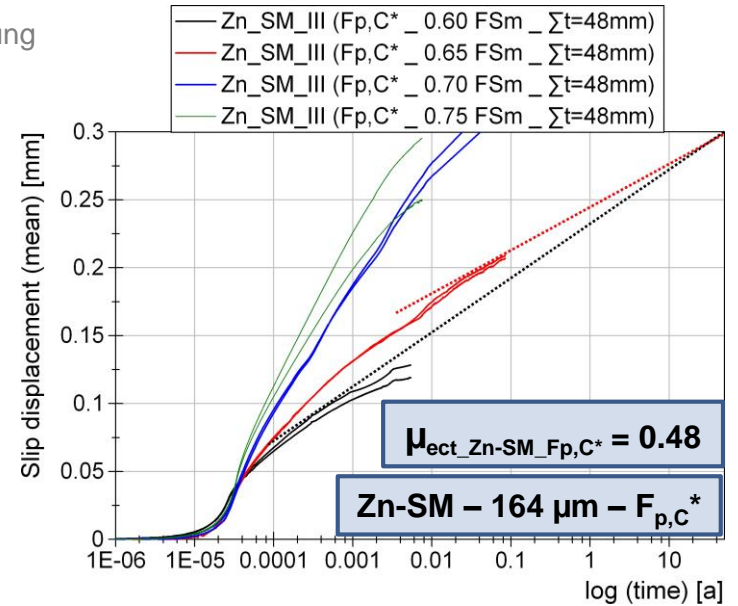
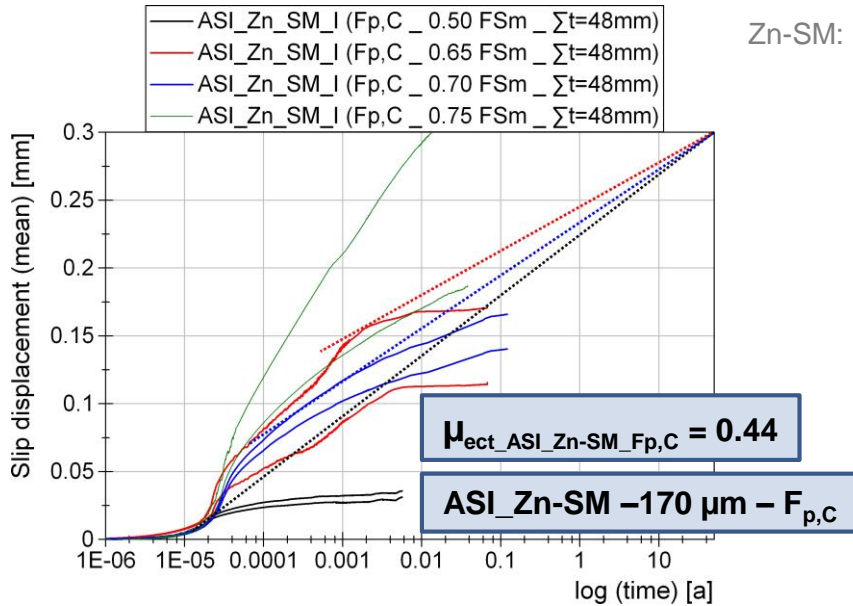
Versuchsdauer ≈ 40 Tage

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



Ergebnisse erweiterte Kriechversuche – ASI, Zn-SM

Zn-SM: Spritzverzinkung

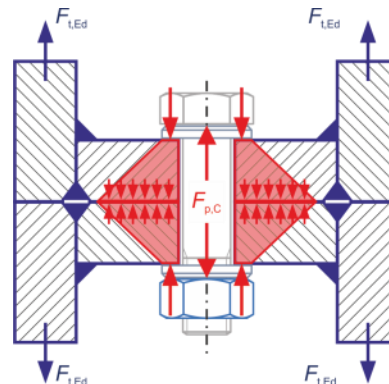


Vorspannkraftverluste

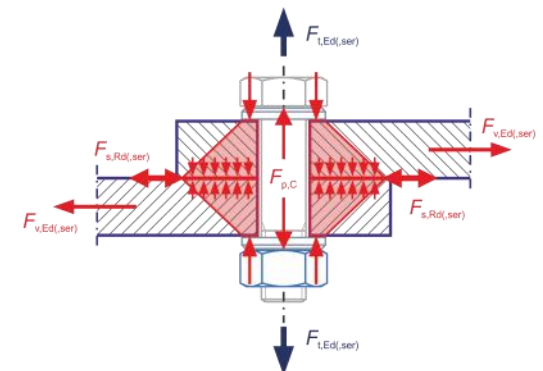
IGF-Forschungsvorhaben 18711 BG / P-1091

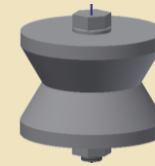
Vorspannkraftverluste ermüdungsbeanspruchter vorgespannter Schraubverbindungen

Schraubverbindungen der Kategorie E
(Zugverbindungen)



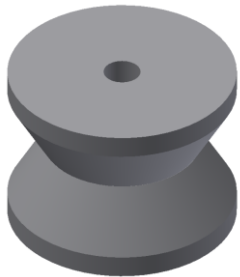
Schraubverbindungen der Kategorien B/C
(gleitfest vorgespannte Verbindungen)





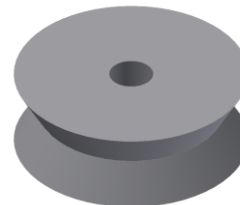
Versuchskörper

Klemmlängen-
verhältnis

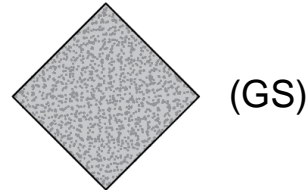


$l_k/d \sim 5$

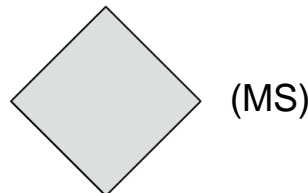
$l_k/d \sim 2$



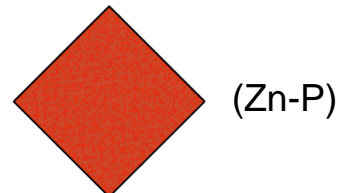
Oberflächenausführung



Gestrahlt SA 2 ½

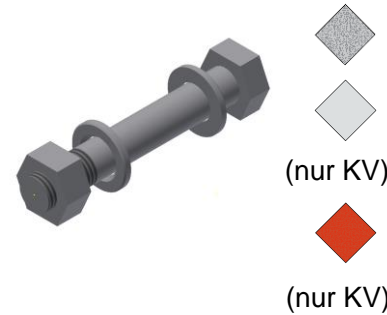


Gestrahlt SA 3 +
Spritzverzinkung (60 µm)
(Trennfugenbereich)



Gestrahlt SA 2 ½ +
Zinkphosphat-
Grundanstrich (80 µm)
(Trennfugenbereich)

Verbindungsmitel/Anziehverfahren



HV-Schraubengarnituren
(angezogen mit KV und MDV)



HR-Schraubengarnituren
mit DTI



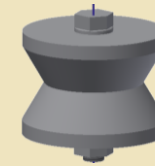
HRC-Schraubengarnituren



Schließringbolzen

M20 Schraubengarnituren

Bewertung der Vorspannkraftverluste unter Berücksichtigung der normativen Regelungen

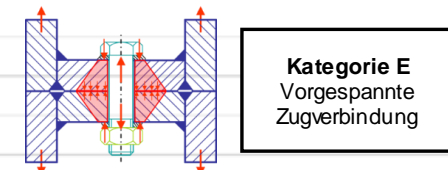
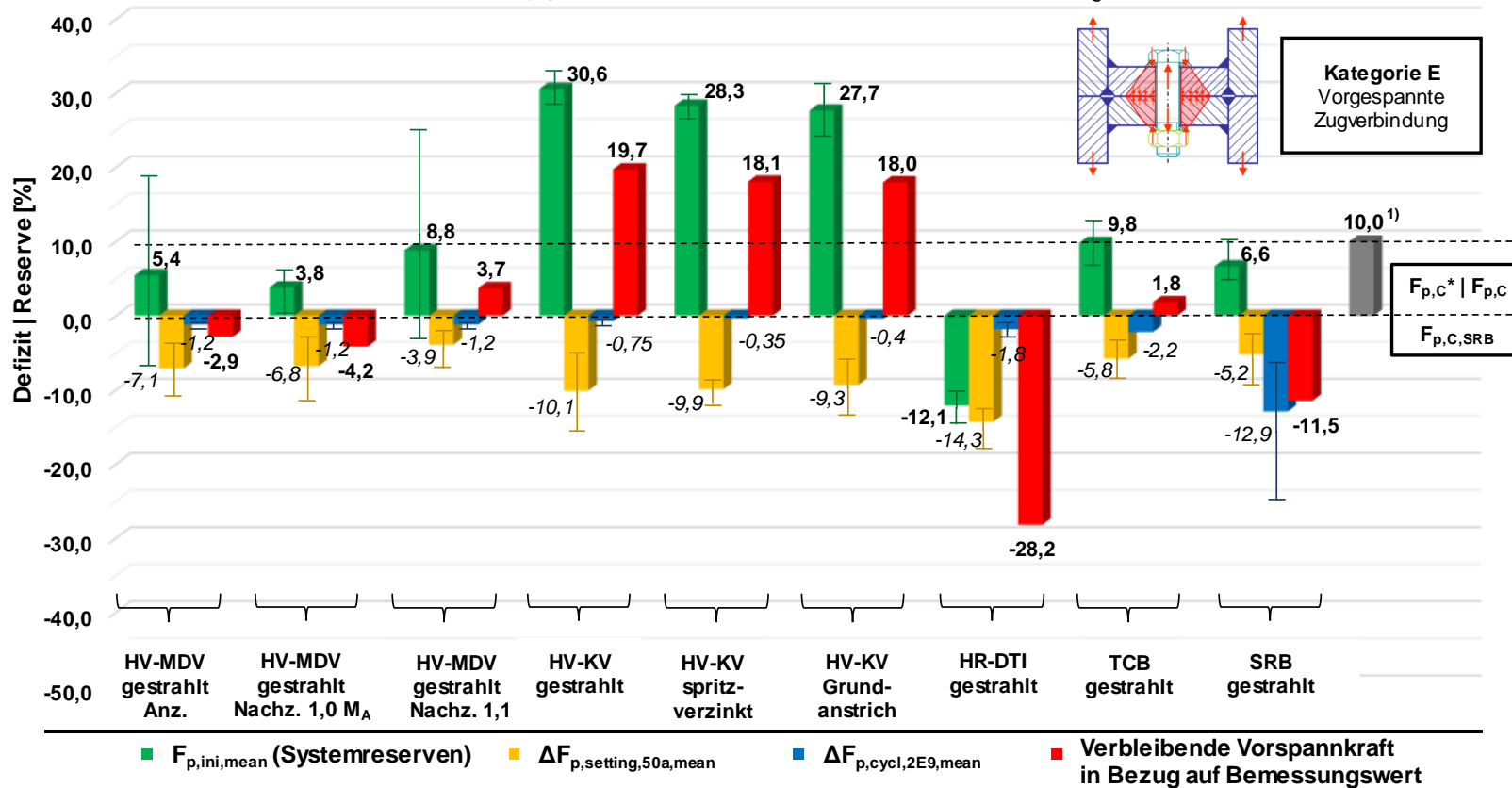


Zugverbindungen ($I_k/d \sim 5$)

Vorspannkraftverluste $I_k/d \approx 5$

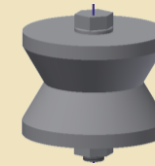
($\Delta F_{p,cycl,2E9,mean}$ basierend auf Versuchen mit $R = 0,1$)

¹⁾ gemäß DIN EN 1090-2:2018-09



$F_{p,C^*} | F_{p,C}$
 $F_{p,C,SRB}$

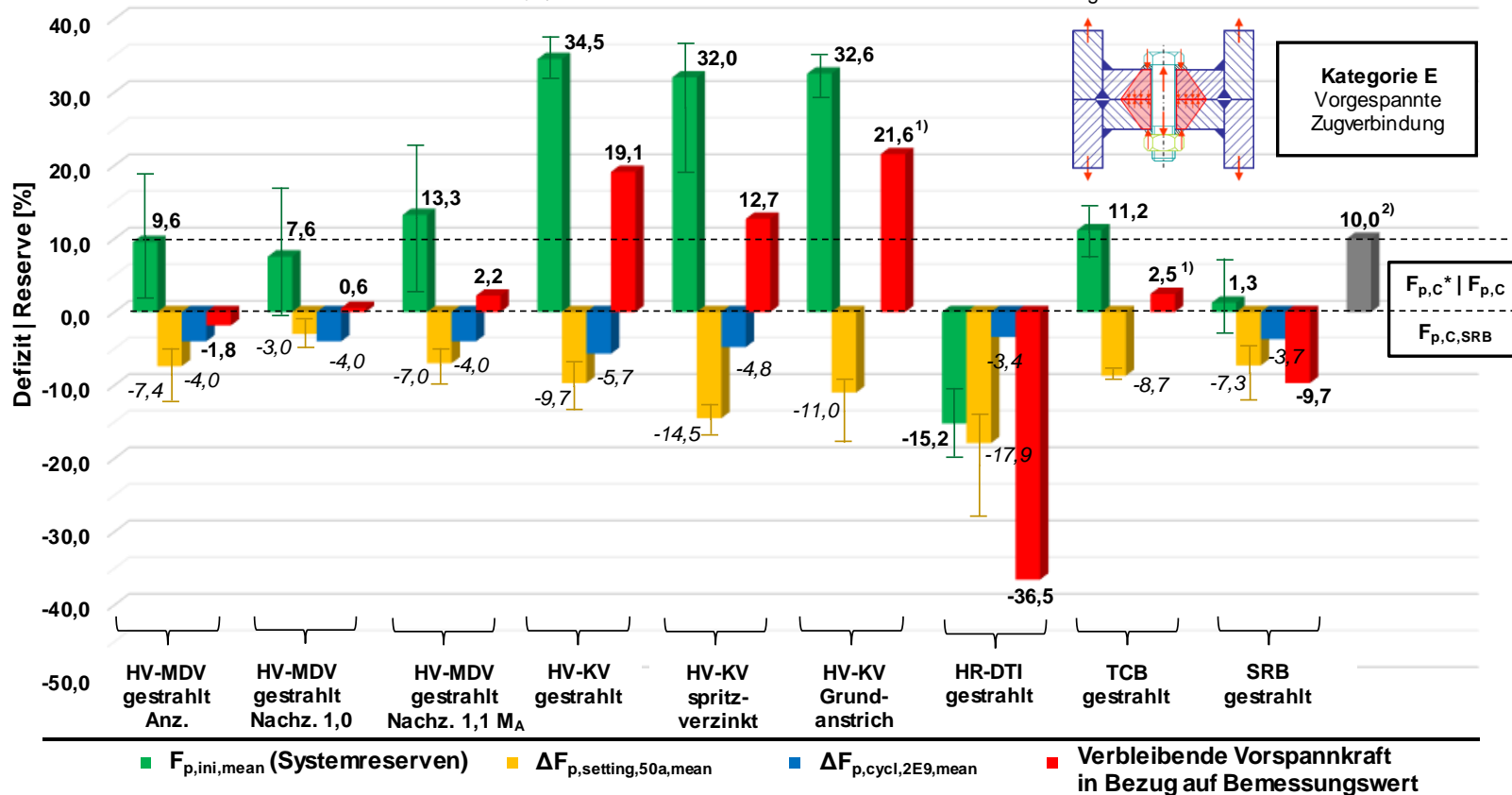
Bewertung der Vorspannkraftverluste unter Berücksichtigung der normativen Regelungen

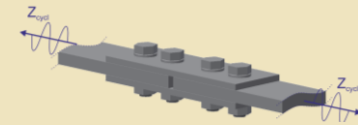


Zugverbindungen ($I_k/d \sim 2$)

Vorspannkraftverluste $I_k/d \approx 2$
($\Delta F_{p,cycl,2E9,mean}$ basierend auf Versuchen mit $R = 0,1$)

1) ohne Berücksichtigung von $\Delta F_{p,cycl,2E9,mean}$
2) gemäß DIN EN 1090-2:2018-09

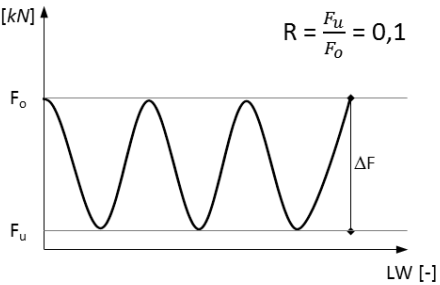




Versuchsprogramm Schwingbelastung

Oberlast =
40% bzw. 90% von ULS

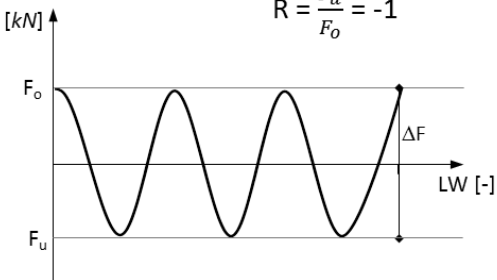
$$R = \frac{F_u}{F_o} = 0,1$$



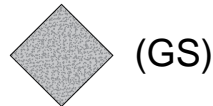
$$R = 0,1$$

$$R = -1$$

$$R = \frac{F_u}{F_o} = -1$$

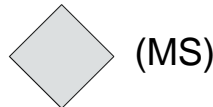


Oberflächenausführung



(GS)

Gestrahlt SA 2 ½



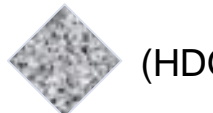
(MS)

Gestrahlt SA 3 +
Spritzverzinkung (60 µm)
(Trennfugenbereich)



(ASI)

Gestrahlt SA 3 +
Alkali-Zink-
Silikat-Anstrich (60 µm)
(Trennfugenbereich)

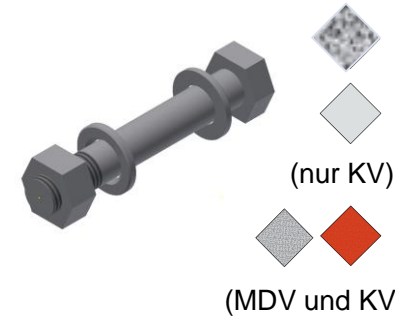


(HDG)

Allseitige Feuerverzinkung (120 µm)
+ Sweepen + Alkali-Zink-
Silikat-Anstrich (60 µm)
(Trennfugenbereich)



Verbindungsmitel/Anziehverfahren



(nur KV)

(MDV und KV)

HV-Schraubengarnituren
(angezogen mit KV und MDV)



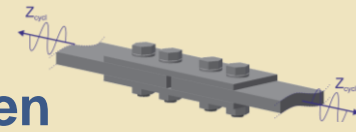
HRC-Schraubengarnituren



Schließringbolzen

M20 Schraubengarnituren

Bewertung der Vorspannkraftverluste unter Berücksichtigung der normativen Regelungen

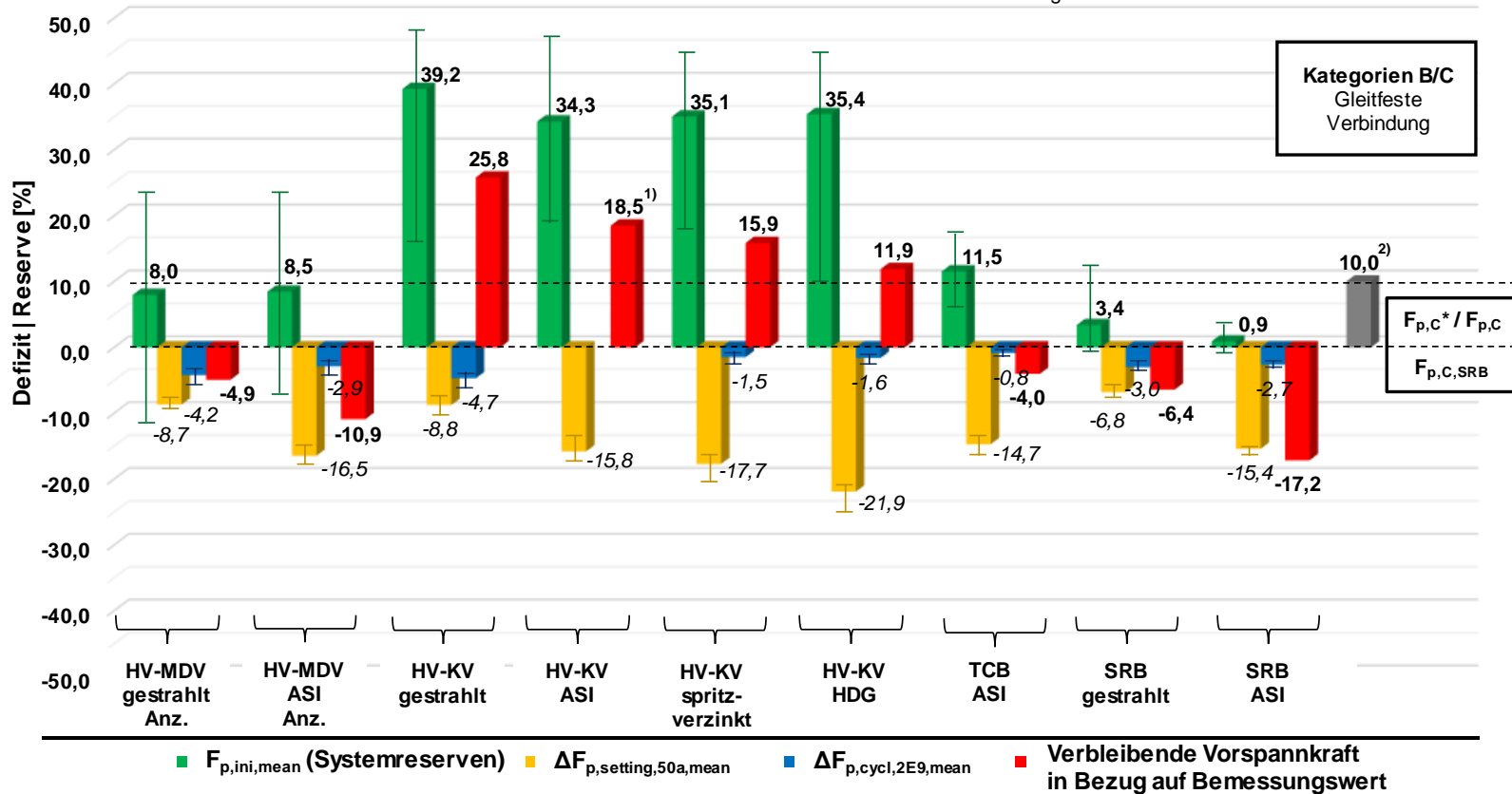


GV-Verbindungen ($I_k/d \sim 2$, $R = 0,1$)

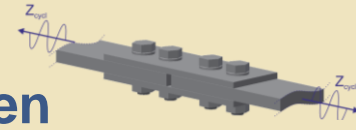
Vorspannkraftverluste $I_k/d \approx 2$

($\Delta F_{p,cycl,2E9,mean}$ basierend auf Versuchen mit $R = 0,1$)

1) ohne Berücksichtigung von $\Delta F_{p,cycl,2E9,mean}$
2) gemäß DIN EN 1090-2:2018-09



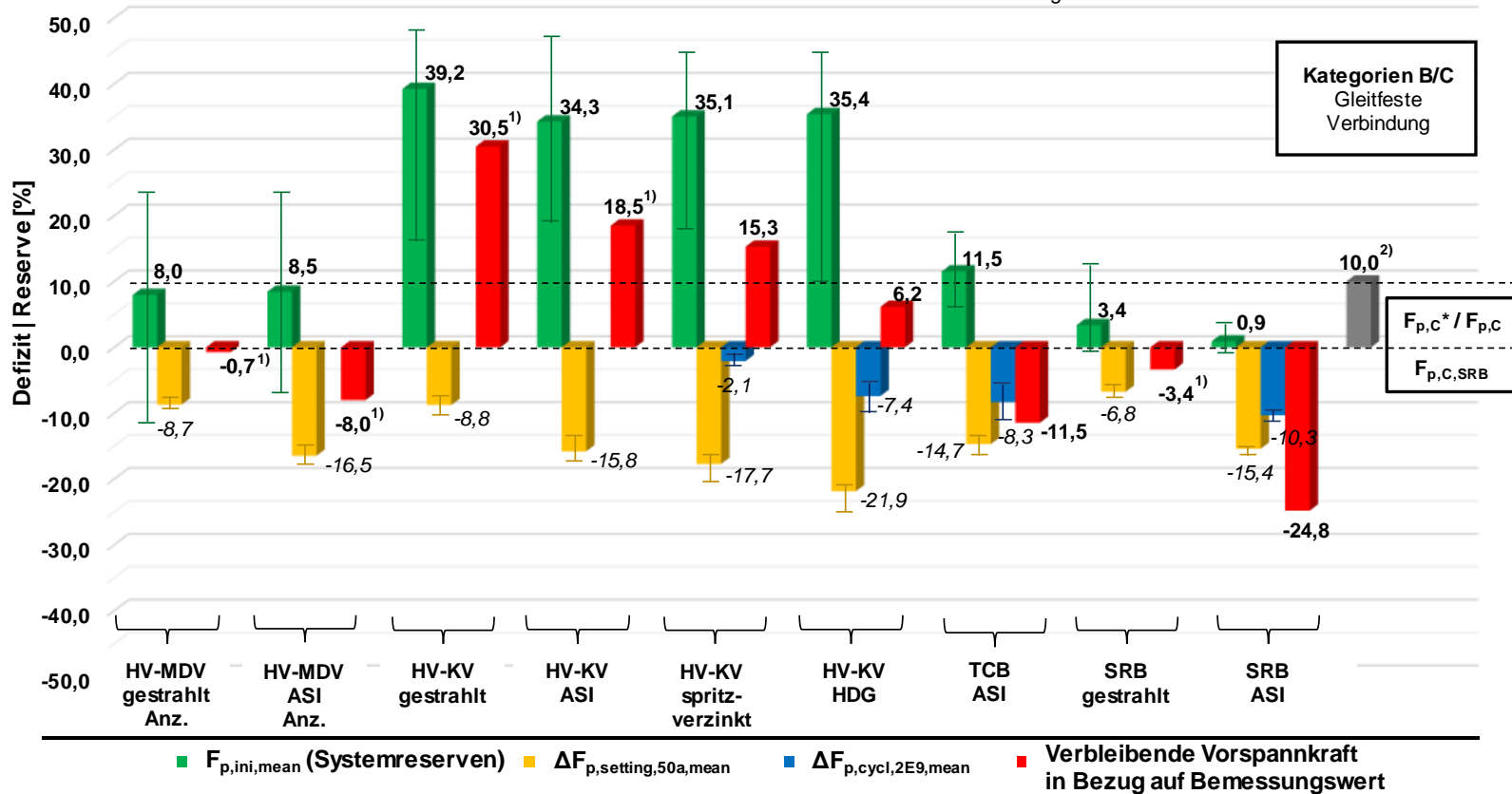
Bewertung der Vorspannkraftverluste unter Berücksichtigung der normativen Regelungen



GV-Verbindungen ($I_k/d \sim 2$, $R = -1$)

Vorspannkraftverluste $I_k/d \approx 2$
($\Delta F_{p,cycl,2E9,mean}$ basierend auf Versuchen mit $R = -1$)

1) ohne Berücksichtigung von $\Delta F_{p,cycl,2E9,mean}$
2) gemäß DIN EN 1090-2:2018-09



- Tragfähigkeit geschraubter Verbindungen ist abhängig von der Beschichtung der geklemmten Flächen.
- 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.
- DIN EN 1090-2 berücksichtigt implizite Vorspannkraftverluste und unterscheidet in Beschichtungen und dicke Beschichtungen.
- Anziehverfahren müssen so ausgelegt werden, dass die Effekte infolge Kriechen der Beschichtungen implizit abgedeckt werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



Prof. Dr.-Ing. habil. Natalie Stranghöner
Lukas Makevičius, M.Sc.
Nariman Afzali, M.Sc.

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

lukas.makevicius@uni-due.de

nariman.afzali@uni-due.de

Internet: www.uni-due.de/iml