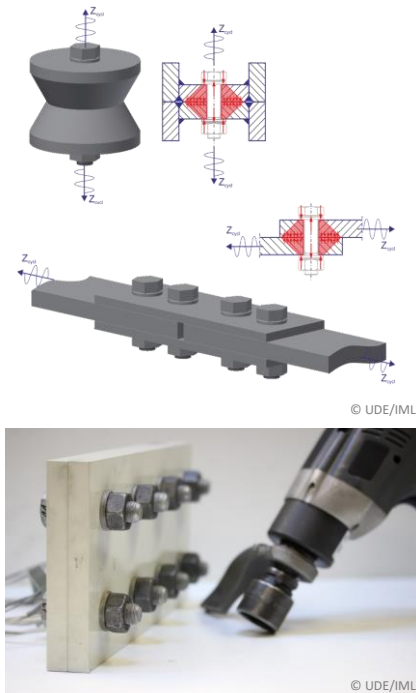


## IGF- Forschungsvorhaben Nr. 21196 BG: "Vorspannkraftverluste bei beschichteter Oberfläche"

### Entwicklung normativer Grundlagen zur Berücksichtigung von Vorspannkraftverlusten in vorgespannten Schraubenverbindungen im Stahlbau mit allseits beschichteten Oberflächen



Im Stahlbau werden geschraubte Verbindungen aus Gebrauchstauglichkeitsgründen oder aus Gründen der Tragfähigkeit vorgespannt. Dabei wird zwischen der Zielebene I und der Zielebene II unterschieden. Die Zielebene I (tragfähigkeitsrelevant) beschreibt gleitfeste Verbindungen der Kategorie B/C sowie auf Ermüdung beanspruchte Zugverbindungen der Kategorie E. Bei vorgespannten Verbindungen der Zielebene I geht die Vorspannkraft in den rechnerischen Nachweis ein. Aufgrund dessen ist zu gewährleisten, dass die Vorspannkraft über die Lebensdauer eines Tragwerkes in den ausgeführten Verbindungen verbleibt. Die Zielebene II (Gebrauchstauglichkeit) wird für die Kategorien A und D eingesetzt, um Schlupf und Verformung zu vermeiden. Bereits unmittelbar nach der Montage kommt es aufgrund von Setz- und Kriecheffekten oder zyklischer Belastung zu einem Abfall der eingebrachten Vorspannkraft.

Im Rahmen des IGF-Forschungsvorhabens Nr. 21196 BG „Vorspannkraftverluste vorgespannter Schraubverbindungen im Stahlbau mit allseits beschichteten Oberflächen“ sind die Einflüsse von ausgewählten Anziehverfahren und stahlbautypischen Beschichtungssystemen ((lösemittelarme) Nasslackssysteme auf niedrig legierten Stahl, Pulver-Beschichtungssysteme nach DIN 55633 auf niedrig legierten Stahl, Pulverbeschichtungssysteme nach DIN 55633 auf feuerverzinkten Stahl mit anschließendem Sweep-Strahlen sowie Duplexsysteme mit Nasslackbeschichtung auf feuerverzinkten Stahl) auf die resultierenden Vorspannkraftverluste von geschraubten vorgespannten Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8 untersucht worden, welche der Kategorien B/C und Kategorie E und damit der Zielebene I zugeordnet werden können, aber auch aus Gebrauchstauglichkeitsgründen vorgespannt werden und damit der Zielebene II zuzuordnen sind (Verbindungen der Kategorien A und D). Um Einflüsse aus Setzeffekten bewerten zu können, wurden Relaxationsversuche durchgeführt, wobei die Ergebnisse auf eine Lebensdauer von 50 Jahren extrapoliert wurden. Mittels statischer Gleitlastversuche an gleitfest vorgespannten Verbindungen, sowohl vor als auch nach einer zyklischen Beanspruchung, wurde der Einfluss zyklischer Beanspruchung auf das Tragverhalten von gleitfest vorgespannten Verbindungen untersucht. Mittels quasi-statischen Versuchen und darauffolgenden zyklischen Beanspruchungen wurden Vorspannkraftverluste an Verbindungen der Kategorie E ermittelt und auf  $2 \cdot 10^9$  Lastwechsel extrapoliert sowie bewertet. Als Prüfkörper wurden

M16 HV-Garnituren, M16 Schließringbolzensysteme sowie M20 IHF-Schraubengarnituren verwendet und mit verschiedenen Anziehverfahren, Klemmlängenverhältnissen sowie Beschichtungssystemen ausgeführt.

Die durch die Relaxationsversuche ermittelten Versuchsergebnisse erlauben eine Bewertung der Vorspannkraftverluste bezogen auf die aufgebrachten Anfangsvorspannkraft  $F_{p,ini,mean}$  in Abhängigkeit der aufgebrachten Beschichtung bzw. der Beschichtungsdicke. Prinzipiell ließen sich die ermittelten Vorspannkraftverluste  $F_{p,setting,50a,mean}$  im Rahmen des Forschungsvorhabens schichtdickenabhängig in drei Bereiche unterteilen. Zum einen die Prüfkörper mit Nasslackbeschichtungen und Überschichtdicken von bis zu  $3 \times$  NDFT (Nominal Dry Film Thickness – Sollsichtdicke) mit Vorspannkraftverlusten  $F_{p,setting,50a,mean}$  von bis zu 75 %. Zum anderen die Nasslackssysteme mit einer aufgetragenen Sollsichtdicke (NDFT) mit Vorspannkraftverlusten  $F_{p,setting,50a,mean}$  nach dem erstmaligen Anziehen mit dem modifizierten Drehmoment-Vorspannverfahren (MDV), dem Kombinierten Vorspannverfahren (KV), dem Ziehenden Verfahren (ZV) sowie mit Schließringbolzensystemen (SRB) von maximal  $F_{p,setting,50a,mean} = 35$  %. Weiterhin konnte bei Prüfkörpern, welche mittels dem MDV und dem ZV vorgespannt wurden, durch ein Nachziehen der Verbindungen die Vorspannkraftverluste infolge Setzen auf ca. 20 % reduziert werden. Zu beachten ist, dass die mit Pulverbeschichtung ausgeführten Prüfkörper bei Überschichtdicken weitaus unempfindlicher reagieren und geringere Vorspannkraftverluste aufweisen. Hierbei lagen nach dem ersten Anziehschritt die Vorspannkraftverluste  $F_{p,setting,50a,mean}$  bei maximal 35 %.

Bei den gleitfest vorgespannten Verbindungen lag der Fokus auf die Bewertung des potenziellen Einflusses aus zyklischer Beanspruchung (Spannungsverhältnis  $R = 0,1$ ) auf das Tragverhalten der Verbindung. Als Vergleichswert wurde die statische Haftreibungszahl  $\mu_{ini}$  (bezogen auf die Anfangsvorspannkraft  $F_{p,ini,mean}$ ) aus statischen Gleitlastversuchen nach DIN EN 1090-2, Anhang G vor und nach einer zyklischen Beanspruchung ermittelt. Bei den untersuchten Beschichtungssystemen (ASI-EP-EG und ASI-2K-EP) war mit einer Steigerung der statischen Haftreibungszahl  $\mu_{ini}$  um ungefähr 15% ein positiver Effekt zu erkennen.

Die vorgespannten Zugverbindungen wurden in den zyklischen Versuchen gezielt hinsichtlich der zu erwartenden Vorspannkraftverluste untersucht. Der maximale Vorspannkraftverlust  $\Delta F_{p,cycl,2E9}$  nach der Extrapolation auf  $2 \cdot 10^9$  Lastwechsel bei einem Lastniveau von 90 %  $Z_{crit}$  betrug ca.  $\Delta F_{p,cycl,2E9} \approx 10$  %. Diese Ergebnisse zeigen ein erfreuliches Potenzial und weisen darauf hin, dass der Einfluss aus einer zyklischen Beanspruchung größtenteils durch logarithmische Extrapolation abgedeckt werden könnte. Dazu sind allerdings zukünftig ergänzende Untersuchungen notwendig, welche genau dieser Fragestellung nachgehen.

Mit den vorliegenden Versuchsergebnissen wurde eine Handlungsempfehlung verfasst, die den Umgang mit den untersuchten Beschichtungssystemen ((lösemittelarme) Nasslackssysteme auf niedrig legierten Stahl, Pulver-Beschichtungssysteme nach DIN 55633 auf niedrig legierten Stahl, Pulverbeschichtungssysteme nach DIN 55633 auf feuerverzinkten Stahl mit anschließendem Sweep-Strahlen sowie Duplexsysteme mit Nasslackbeschichtung auf feuerverzinkten Stahl), den Beschichtungsdicken sowie den gewählten Anziehverfahren beschreibt.

Das IGF-Vorhaben (21196 BG / FOSTA Nr. P 1455) der [Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. \(FOSTA\)](#) in Kooperation mit dem [Deutschen Ausschuss für Stahlbau DAST](#) wird über die [AiF](#) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom [Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz](#) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Das Vorhaben wurde vom Institut für Metall- und Leichtbau der Universität Duisburg-Essen und dem Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP, Rostock durchgeführt. Die Projektlaufzeit betrug 36 Monate (01.05.2020 – 30.04.2023). Der Schlussbericht befindet sich in Vorbereitung und wird voraussichtlich in diesem Jahr durch die Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. (FOSTA) veröffentlicht.

Ansprechpartner am Institut für Metall- und Leichtbau:  
Dr.-Ing. Dominik Jungbluth, Philipp Werner, M.Sc.

### Förderung:



Gefördert durch:



Forschungsvereinigung  
Stahlanwendung e. V.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Forschungseinrichtungen:



*Offen im Denken*

