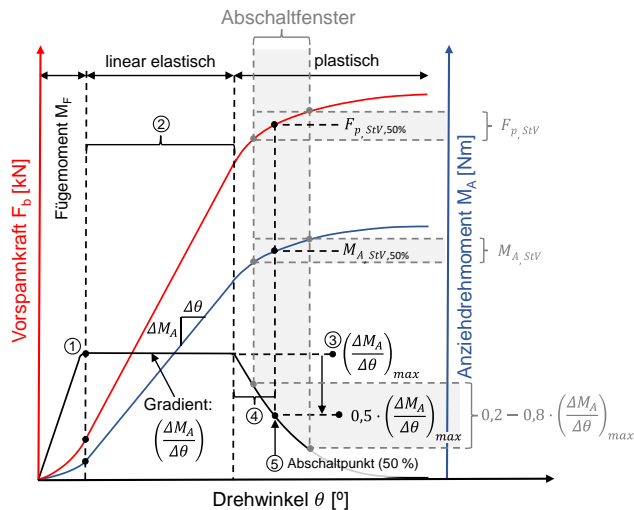


IGF- Forschungsvorhaben Nr. 20838 N: "Streckgrenzgesteuertes Anziehen geschraubter Verbindungen M12 bis M72 im Stahlbau"

Entwicklung normativer Grundlagen zum prozesssicheren streckgrenzgesteuerten Anziehen vorgespannter geschraubter Verbindungen der Durchmesser M12 bis M72 im Stahlbau



Im Stahlbau ist die Ausführung vorgespannter geschraubter Verbindungen durch DIN EN 1090-2 und in Deutschland zusätzlich durch den Nationalen Anhang DIN EN 1993-1-8/NA sowie DAST-Richtlinie 024 geregelt. Die im deutschen Stahlbau verwendeten HV-Garnituren sind nach DIN EN 14399-4 und DIN EN 14399-6 geregelt und für Schraubendurchmesser größer M36 durch DAST-Richtlinie 021 erweitert. Für ein Vorspannen von HV-Garnituren sind im deutschen Stahlbau das Modifizierte Drehmoment-Vorspannverfahren nach DAST-Richtlinie 024 und das Kombinierte Vorspannverfahren nach DIN EN 1090-2 bzw. DAST Richtlinie 024 normativ geregelt.

Da beide bereits etablierten Vorspannverfahren Einschränkungen unterliegen, besteht bei der Industrie das Interesse ein Vorspannverfahren im Stahlbau zu etablieren, welches hohe Vorspannkraft mit geringer Streuung ermöglicht, ohne eine Überbeanspruchung der Garnitur zu riskieren und zusätzlich eine potentielle Wiederverwendung der HV-Garnituren ermöglicht.

Beim Streckgrenzgesteuerten Vorspannverfahren, welches im Maschinenbau etabliert und durch VDI-Richtlinie 2230-1 geregelt ist, dient der Fließbeginn der Garnitur als Steuergröße der

Montagevorspannkraft. Somit kann eine hohe Vorspannkraft erzielt werden, ohne das Risiko einer Überbeanspruchung der Garnitur zu riskieren. Zudem bietet das Streckgrenzgesteuerte Vorspannverfahren geringe Streuungen zwischen den erzielten Vorspannkraften, da diese weniger von den Reibungen in der Schraubengarnitur beeinflusst werden. Das Streckgrenzgesteuerte Vorspannverfahren findet im Stahlbau jedoch mangels grundlegender Untersuchungen unter Praxisbedingungen noch keine Anwendung. Eine simple Adaption des Streckgrenzgesteuerten Vorspannverfahrens für den Stahlbau war aufgrund unterschiedlicher Sicherheitskonzepte und ungeklärter Fragen zur Zuverlässigkeit des Verfahrens in Kombination mit HV-Schraubenverbindungen nach DIN EN 14399-4/-6 und DASt-Richtlinie 021 bisher nicht möglich.

Um das Streckgrenzgesteuerte Vorspannverfahren im Stahlbau zu etablieren, wurden am Institut für Metall- und Leichtbau (IML) der Universität Duisburg-Essen sowie am Institut für Stahlbau (IfS) der Leibniz Universität Hannover im Rahmen des IGF-Forschungsvorhabens Nr. 20838 N „Streckgrenzgesteuertes Anziehen geschraubter Verbindungen M12 bis M72 im Stahlbau“ umfangreiche Untersuchungen an HV-Garnituren der Durchmesser M12, M24, M36, M64 und M72 durchgeführt. Anhand der Versuche wurde die Prozesssicherheit des Anziehverfahrens in Verbindungen mit HV-Garnituren der Schraubendurchmesser M12 bis M36 und eingeschränkt für den Schraubendurchmesser M72 nachgewiesen und normative Handlungsempfehlungen erarbeitet. Außerdem wurde die strukturelle Integrität von HV-Garnituren, die in den Bereich der Streckgrenze vorgespannt wurden, bestätigt. Zu den Untersuchungen gehörten Anziehversuche an Anziehprüfständen für mechanische Verbindungselemente sowie Anziehversuche mit unterschiedlichen Anziehgeräten. Neben einer Einfachverwendung wurde auch eine Mehrfachverwendung von HV-Garnituren und einzelner Komponenten untersucht. Um die strukturelle Integrität von HV-Garnituren, die in den Bereich der Streckgrenze vorgespannt wurden, zu validieren, wurden Tragfähigkeits- und Ermüdungsversuche durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem Streckgrenzgesteuerten Vorspannverfahren hohe Vorspannkraften mit hohen Systemreserven gegenüber den Vorspannkraftniveaus $F_{p,C}$ und $F_{p,C}^*$ erzielt werden. Gegenüber dem Vorspannkraftniveau $F_{p,C}$ betragen die Systemreserven mindestens 28 %. Die Variationskoeffizienten der Vorspannkraften liegen beim Streckgrenzgesteuerten Vorspannverfahren in einem Bereich zwischen 1 % und 4 % und weisen somit geringe Streuungen beim Erzielen der Vorspannkraft auf. Die geringe Streuung der Vorspannkraften führt dazu, dass eine Überdimensionierung der Schraube aufgrund ungenauer Vorspannkraften und dem möglichen Risiko einer Überbeanspruchung nicht erforderlich ist. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass das Streckgrenzgesteuerte Vorspannverfahren im Schraubendurchmesserbereich M12 bis M36 anwendbar ist. Allerdings sind für den Schraubendurchmesser M72 noch weitere Untersuchungen erforderlich, sodass derzeit die Anwendungsgrenzen im großen Schraubendurchmesserbereich $> M36$ im Einzelfall mit einer Verfahrensprüfung festzulegen sind.

Die Versuche zum mehrfachen Vorspannen mit dem Streckgrenzgesteuerten Vorspannverfahren zeigen, dass unter definierten Randbedingungen eine Mehrfachverwendung der gesamten HV-Garnitur sowie einzelner Komponenten für Schraubendurchmesser M12 bis M36 technisch möglich ist. Untersucht wurden Mehrfachverwendungen von HV-Garnituren gepaart mit HV-Muttern oder Einschraubkörpern sowie die

Mehrfachverwendung einzelner Komponenten, wie Einschraubkörper und HV-Muttern. Die Ergebnisse zur Mehrfachverwendung der gesamten HV-Garnitur oder der HV-Garnitur gepaart mit Einschraubkörpern zeigen eine tendenzielle Erhöhung der Vorspannkraft bzw. Normalspannung bei den Folgeanzügen. Dabei beträgt die Steigerung der mittleren Vorspannkraft zwischen dem ersten und vierten Anzug bei HV-Garnituren der Schraubendurchmesser M12, M24 und M36 4 % bis 8 %. Eine vierfache Verwendung der HV-Garnituren ist für die Schraubendurchmesser M12, M24 und M36 unter definierten Rahmenbedingungen sowohl am Anziehprüfstand als auch mit Anziehgeräten möglich. Prinzipiell zeigten die Versuchsergebnisse, dass auch eine Mehrfachverwendung von M72 HV-Garnituren möglich ist. Jedoch kann an dieser Stelle keine eindeutige Aussage zur Mehrfachverwendung von HV-Garnituren M72 mit dem Streckgrenzgesteuerten Vorspannverfahren unter Verwendung von Anziehgeräten getroffen werden, da noch weitere Untersuchungen erforderlich sind.

Die Untersuchungen zur individuellen Tragfähigkeit von HV-Garnituren M12 bis M36 haben ergeben, dass das Streckgrenzgesteuerte Vorspannverfahren die Tragfähigkeit nicht negativ beeinflusst.

Anhand von Ermüdungsversuchen konnte für die Schraubendurchmesser M12, M24 und M36 die Kerbfallklasse 50 unter Berücksichtigung von erhöhten Mittelspannungsniveaus von 900 N/mm^2 und einer Vorbelastung der HV-Garnituren, die in den Bereich der Streckgrenze vorgespannt wurden, bestätigt werden. Zusätzlich wurde für die Schraubendurchmesser M36 und M64 auf Grundlage der gegebenen Datenbasis eine statistische Auswertung des Zeit- und Dauerfestigkeitsbereich durchgeführt und der Einfluss der Mittelspannung auf die Ermüdungsfestigkeit quantifiziert. Es konnte zwar eine leichte Reduktion der Ermüdungsfestigkeit mit steigender Mittelspannung sowohl für den Zeitfestigkeits- als auch für den Dauerfestigkeitsbereich für beide Schraubendurchmesser festgestellt werden, allerdings lag diese immer noch oberhalb der Kerbfallklasse 50.

Mit den vorliegenden Versuchsergebnissen wurde eine Handlungsempfehlung verfasst, die den Umgang mit dem Streckgrenzgesteuerten Vorspannverfahren beschreibt.

Das IGF-Vorhaben (20838 N / FOSTA Nr. P 1385) 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 Institut für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover durchgeführt. Die Projektlaufzeit betrug 42 Monate (01.01.2020 – 30.06.2023). 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:
Denis Paluska, M.Sc.
Dr.-Ing. Dominik Jungbluth,

Förderung:



Forschungsvereinigung
Stahlanwendung e. V.



Forschungsnetzwerk
Mittelstand



DAST

Deutscher Ausschuss für Stahlbau

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Forschungseinrichtungen:

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

11
102
1004

Leibniz
Universität
Hannover