

# Numerische und experimentelle Untersuchungen des Tragverhaltens und der Leistungsmerkmale universeller, ohne Schweißen hergestellter Stahlverbundstützen aus S960 (IGF.-Nr. 21458 N)

Numerical and experimental investigations of the load-bearing behavior and the performance characteristics of universal, non-welded steel composite columns made of S960

*Jalaeeyan, Asieh; Zehfuß, Jochen; Nonn, Jonas; Feldmann, Markus; Janiak, Till; Hegger, Josef; Claßen, Martin*

## Abstract

This project has two main goals: firstly to determine the material properties of high strength steels S960 and secondly, in regard to the first goal, experimental investigation and analysis of the behavior of the composite column made of this steel in various loading conditions. To achieve these goals, a joint project has been defined between the RWTH Aachen University, Institute of Steel Construction and Institute of Structural Concrete and Technische Universität Braunschweig, Institute of Building Materials, Concrete Construction and Fire Safety, to perform an extensive series of tests on two different temperature levels: elevated temperature and ambient temperature. For this purpose, in addition to the tests carried out on the small specimens, tests are also carried out on the composite columns in real dimensions. From this category, tests on loaded columns with a height of about 3.59 m at elevated temperature, could be mentioned. A FE-Model will be developed to drive a parameter study, this will be validated with the test results. Finally, the test results will be compared to available data on high strength steel subjected to elevated temperatures in the literature and to the Eurocode model and performance a model include recommendation for practice.

## 1. Einführung

Dieses Projekt hat zwei Hauptziele: die Bestimmung der Materialeigenschaften von hochfesten Stählen S960 und in diesem Zusammenhang, die experimentelle Untersuchung und Analyse des Verhaltens von Verbundstützen aus diesem Stahl bei verschiedenen Belastungszuständen. Um diese Ziele zu erreichen, wurde ein gemeinsames Projekt zwischen der RWTH Aachen, Institut für Stahlbau und der RWTH Aachen Institut für Massivbau und Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technische Universität Braunschweig definiert. Hiermit wurden Kaltversuche und Warmversuche geplant. Dazu werden neben den Versuchen an den Kleinproben auch Versuche an den Verbundstützen in realen Dimensionen

durchgeführt. Aus dieser Kategorie sind Versuche an belasteten Stützen mit einer Höhe von ca. 3,59 m bei erhöhter Temperatur zu nennen. Schließlich wird ein FE-Modell, das mit diesen Testergebnissen validiert ist, entwickelt, um eine Parameterstudie auszuführen. Abschließend werden die Versuchsergebnisse mit verfügbaren Daten über den hochfesten Stahl S960 in erhöhter Temperatur in der Literatur und mit dem Eurocode-Modell verglichen und ein Modell mit Empfehlungen für die Praxis erstellt.

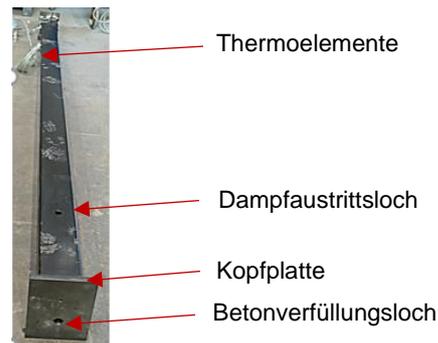


Bild 1: Die im iBMB hergestellte Stütze für den Brandversuch

## 2. Experimentelle und numerische Untersuchungen an Verbundstützen aus hochfestem Stahl: Kaltversuche

Im Rahmen der Kaltversuche an diesen Verbundstützen haben:

- Push-out Versuche
- Lastumlagerung Versuche
- Stub-column Versuche
- Knickversuche-Stahl
- Knickversuche- Verbund.

stattgefunden. Darüber hinaus wurde die Konstruktion der Auflager untersucht.



Bild 2: Schematische Darstellung des Auflager Prüfstandes

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen führen zur Einordnung der Stützen in die Knickspannungslinie c. Die weiteren Ergebnisse der Kaltversuche könnten bei der Universität Aachen, Institut für Stahlbau und Institut für Massivbau angefordert werden.

### 3. Experimentelle und numerische Untersuchungen an hochfestem Stahl: Heißzugversuche

Während sich die in EC 3-1-2 (bis 12) angegebene Spannungs- Dehnungs- Beziehung bei steigender Temperatur auf die normalfesten und hochfesten Stähle bis 700 Mpa bezieht, (und den Einsatz hochfester Stähle bis 960 Mpa in der Arbeit ist), sind im EC 4 die Nennstreckgrenzen nur bis 460 Mpa geregelt. Um die in der Einleitung genannten Ziele zu erfüllen und weiterhin die Materialeigenschaften der hochfesten Stähle in hoher Temperatur mit den angegebenen Materialeigenschaften im EC zu vergleichen, wurden die stationäre und instationäre Heißzugversuche an Rundproben aus CrNiMo34 mit einer Festigkeit von mindestens 960 Mpa durchgeführt.

Die stationären Versuche haben bei den Temperaturen 400°C, 500°C, 600°C und 700°C jeweils 2-mal stattgefunden. In diesen Versuchen wurde die Temperatur auf den genannten Werten gehalten und die Probe bis zum Bruch belastet. Bei Temperatur von 700°C ist nach 8:30 Stunden kein Bruch eingetragen. Die instationären Versuche wurden bei einer steigenden Temperatur von 20°C auf 700°C und einer Belastung von 20%- 40%-60%-70% der genannten Zugstreckgrenze mal Querschnittsfläche ausgeführt.

### 4. Experimentelle und numerische Untersuchungen an Verbundstützen: Brandversuche

Zur Untersuchung des Tragverhaltens im Brandfall wurden vier Großbrandversuche an 2 verschiedenen Verbundstützenquerschnitten geplant. Hiermit werden verschiedene Brandbeanspruchungen experimentell unter-

sucht. Neben den genannten Erkenntnissen zum Verformungsverhalten sowie zum Verhalten der Verbundstützen im Brandfall, dienen die gewonnenen Messergebnisse als Grundlage für die Validierung und Kalibrierung der numerischen Modelle.

Zur numerischen Untersuchung der Stützen im Brand wird ein detailliertes numerisches Modell einer Stütze mit einem Finite-Elemente-Programm erstellt. Es werden hierbei auf geometrischer und materieller Ebene nichtlineare Simulationen durchgeführt. Des Weiteren werden die Kontakte zwischen den Materialien als reine normale Reibung modelliert, dies gilt sowohl für den Kontakt zwischen dem Kern und dem Beton, als auch zwischen dem Beton und Hohlprofil.

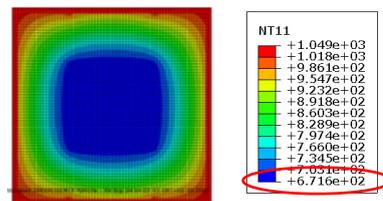


Bild 3 Temperaturverteilung im Querschnitt nach 120 Minuten

Das obige Bild zeigt eine mit dem Simulationsprogramm Abaqus durchgeführte zweidimensionale thermische Berechnung für den quadratischen Querschnitt. Wie aus der Legende abzulesen ist, steigt die Temperatur im Kernprofil nach 120 Minuten bzw. 7200 Sekunden nach dem Brand auf 670°C. Im folgenden Bild wurde diese Temperaturverteilung im Kernprofil, Hohlprofil und in der Betonschicht dargestellt und mit dem ETK-Diagramm verglichen, weil der Temperaturanstieg im Ofen auf ETK bezogen ist.

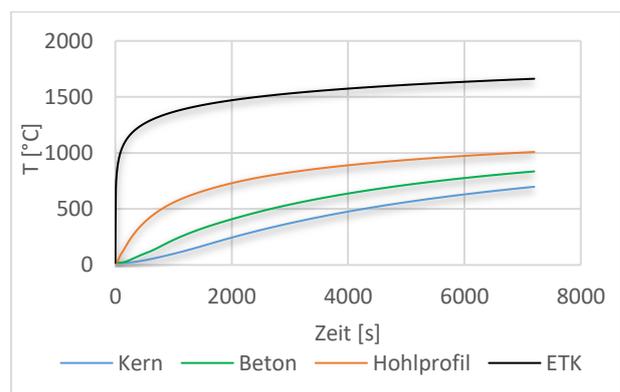


Bild 4 Die Temperaturverteilung im Querschnitt nach 120 Minuten