

Dissertation ETH No. 23391

# Structural Fire Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns with Solid Steel Core

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by  
MARTIN NEUENSCHWANDER  
Msc. ETH in Civil Engineering  
born on 01.08.1977  
citizen of Langnau i. E.

accepted on recommendation of  
Prof. Dr. Mario Fontana  
Prof. Ph.D. Venkatesh Kodur, Prof. Dr. Markus Knobloch

2016

## Abstract:

The present *cumulative dissertation* on the structural fire behavior of concrete-filled steel tube columns with steel core consists of *five scientific journal publications* that summarize the results of a combined experimental and numerical investigation on the basic thermo-mechanical behavior of this innovative type of composite column.

Pre-fabricated concrete-filled steel tube columns with solid steel core can provide relatively slender design solutions at high load-levels with increased fire resistances, which makes them appealing for use in multi-story building practice. However, fire tests with this type of composite column or numerical investigations are extremely scarce in the literature and to date their basic thermo-mechanical behavior has not been comprehensively analyzed. This lack of fundamental knowledge limits today an increased applicability in building practice.

The combined experimental and numerical investigation performed within the framework of the present dissertation encompassed (1) a series of four full-scale fire tests including an extended elevated-temperature test program on the mechanical properties of the steels and the concrete used in the fire test specimens; and (2) the development of an advanced numerical Finite-Element-Method model to simulate the fire tests by considering the experimentally established temperature-dependent material behavior.

The dissertation is organized in two parts. In the first part (Part I) a brief summary of the state of the art, the statement of the problem and the objectives and limitations of the work is given, before the five scientific journal papers are outlined and related to the context of the stated problem. Finally the first part is completed with overall conclusions and recommendations for further research. In the second part (Part II) the five scientific journal papers are appended in full length.

This dissertation provides a primary contribution to an improved understanding of the complex thermo-mechanical behavior of concrete-filled steel tube columns with solid steel core, by suitably combining advanced numerical methods with the results of a novel experimental database, and therefore enhances prospects of increased application of this innovative type of composite column in multi-story building practice.

## Kurzfassung:

Die vorliegende *kumulative Dissertation* zum Tragverhalten im Brandfall von betongefüllten Stahl-Hohlprofilstützen mit Einstellprofil aus massivem Vollstahl setzt sich aus *fünf wissenschaftlichen Publikationen* zusammen, die die Resultate der durchgeführten kombinierten experimentell-numerischen Untersuchung über das grundlegende thermo-mechanische Verhalten dieses innovativen Verbundstützentyps zusammenfassen.

Mit vorfabrizierten betongefüllten Stahl-Hohlprofilstützen mit Einstellprofil aus massivem Vollstahl können unter hohen Lasten relativ schlanke Schwerlaststützen realisiert werden, was diesen Stützentyp attraktiv macht für den Einsatz im Geschossbau. In der einschlägigen Literatur sind jedoch Brandversuche mit derartigen Verbundstützen und begleitende numerische Untersuchungen dazu nur äusserst spärlich vorhanden. Des Weiteren ist bis anhin ihr thermo-mechanisches Verhalten noch nicht grundlegend untersucht worden.

Die kombinierte experimentell-numerische Untersuchung umfasste (1) eine Serie von vier grossmassstäblichen Brandversuchen einschliesslich eines umfassenden Programms zur Ermittlung der temperaturabhängigen Materialeigenschaften der in den Stützenprüfkörpern eingesetzten Stähle und des Betons und (2) die Entwicklung eines fortgeschrittenen Finite-Elemente-Methoden-Modells zur Simulation der Brandversuche, unter besonderer Berücksichtigung der experimentell ermittelten temperaturabhängigen Materialeigenschaften.

Diese Dissertation ist in zwei Teile gegliedert. Der erste Teil (Part I) gibt einen kurzen Überblick zum Stand der Forschung, zur Problemstellung sowie zur Zielsetzung und thematischen Abgrenzung der Arbeit, bevor die fünf wissenschaftlichen Publikationen umrissen und in den Gesamtkontext der Problemstellung gestellt werden. Abschliessend werden die Hauptschlussfolgerungen der Arbeit zusammen mit Empfehlungen zu weiterführenden Forschungsarbeiten dargelegt. Der zweite Teil (Part II) beinhaltet schliesslich die fünf einzelnen Publikationen in voller Länge.

Die vorliegende Dissertation leistet mit Hilfe einer kombinierten experimentellen und vertieft numerischen Forschungsmethodik einen ersten grundlegenden Beitrag zum erweiterten Verständnis des komplexen thermo-mechanischen Verhaltens betongefüllter Stahl-Hohlprofilstützen mit Einstellprofil aus massivem Vollstahl. Dadurch werden die Grundlagen für eine zukünftig vermehrte Verwendung dieses innovativen Stützentyps im Geschossbau bereitgestellt.