

DISS. ETH NO. 27205

**Natural Fire Exposure of Structural Timber-Contribution to Determine the  
Influence in the Fully Developed and the Decay Phase**

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

Joachim Schmid  
Dipl. Ing. TU Vienna, Austria  
born on 8.1.1979  
citizen of Austria

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Andrea Frangi, examiner  
Prof. Dr. Stefan Winter, co-examiner  
Prof. Dr. Andreas Taras, co-examiner

2020

## Abstract

Natural Fire Exposure of Structural Timber-Contribution to Determine the Influence in the Fully Developed and the Decay Phase

by

Joachim Schmid

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH in Civil Engineering

ETH Zurich

Professor Andrea Frangi, Chair

Structural fire safety is one of the most important design requirements - regardless of the building material. The development of the fire design of timber structures has been adopted to rules developed for non-combustible building materials, which have defined the standard procedure for testing and the common practice for fire resistance design. Recently, the design basics were questioned including the validity of the testing of structural timber components in furnaces and the applicability of the current design framework to structural timber. This thesis developed an understanding of the "fire exposure" to describe the thermal exposure of structural timber members in fire compartments. Further, this thesis reported the investigation of the relevant characteristics of fire-exposed timber in standard fire and under non-standard heating regimes. The focus is given to the thermally modified layer of a fire exposed timber member, the char layer, which has not been considered in many previous research studies in fire safety engineering. An experimental setup was designed to study the behaviour of timber under various fire exposures, the Fire Apparatus for Non-standard Heating and Charring Investigation (FANCI). Analysing the char layer, it was confirmed that a significant amount of energy is stored in this thermally modified part of the structural timber. For fire resistance tests, it was concluded that the contribution of the char layer varies significantly depending on the fire exposure. As a final result, the Timber Charring and Heat Storage (TiCHS)-model, a model was presented to describe the timber charring and the contribution to the compartment fire. The TiCHS-model was proposed to describe the behaviour of timber in laboratory experiments but also for compartment fires when timber surfaces are involved in the fire dynamics. Finally, the TiCHS-model was applied as an add-on to a zone-model. Proposals were suggested for future development to increase the model applicability.

---

Professor Andrea Frangi  
Dissertation Committee Chair

## Zusammenfassung

Der bauliche Brandschutz ist eine der wichtigsten Konstruktionsanforderungen - unabhängig vom Baumaterial. Die Entwicklung der entsprechenden Bemessungsregeln für Holzkonstruktionen wurden an jene von nicht brennbaren Baustoffen angelehnt welche nahezu zur Gänze auf Normbrandprüfungen basieren. In jüngster Zeit wurde dieses Vorgehen in Frage gestellt, einschliesslich der Gültigkeit der Prüfung von Holzbauteilen in Prüföfen und der Anwendbarkeit des aktuellen Bemessungskonzeptes auf Holzkonstruktionen. In der vorliegenden Arbeit wurde das Verständnis für die *Brandbeanspruchung* erarbeitet um die thermische Beanspruchung von Holzbauteilen in natürlichen Bränden zu beschreiben. Relevanter Eigenschaften wurden untersucht um das Verhalten von Holzbauteilen im Brand abschätzen zu können. Der Fokus wurde hierbei auf die Kohleschicht gelegt welche in vielen bisherigen Forschungsarbeiten im Bereich des technischen Brandschutzes nicht ausreichend berücksichtigt wurde. Zur Untersuchung des Verhaltens von Holz unter verschiedenen Brandbeanspruchungen wurde ein Versuchsaufbau entwickelt, der *Fire Apparatus for Non-standard heating and Charring Investigation* (FANCI). Die tiefgehende Analyse der Kohleschicht bestätigte, dass in diesem thermisch modifizierten Teil des Bauholzes eine erhebliche Menge an Energie gespeichert ist. Bei der Analyse von Feuerwiderstandsprüfungen wurde festgestellt, dass der Beitrag der Kohleschicht in Abhängigkeit von der Brandeinwirkung erheblich variieren kann. Als Endergebnis wurde mit dem *Timber Charring and Heat Storage* (TiCHS)-Modell ein Modell zur Beschreibung der Verkohlung und des Beitrags zur Brandentwicklung vorgestellt. Das TiCHS-Modell wurde verwendet, um das Verhalten von Holz in Laborexperimenten zu beschreiben, aber auch allgemein in Raumbränden, in denen Holzoberflächen an der Branddynamik beteiligt sind. Hierfür wurde das TiCHS-Modell als Aufsatz gemeinsam mit einem vorhandenen Zonenmodell angewendet. Zuletzt wurden Vorschläge für die zukünftige Entwicklung gemacht, um die Anwendbarkeit des Modells zu erweitern.