

Prüfverfahren für thermische Materialkennwerte von Brandschutzbekleidungen und reaktiven Brandschutzsystemen für die Bemessung von Stahltragwerken bei Naturbränden

Test methods for thermal material properties of fire protection materials for the design of steel structures in natural fires

Zehfuß, Jochen; Sander, Lisa; Schaumann, Peter; Weisheim, Waldemar

Abstract

A goal of the project was to gain insight into the temperature-dependent material parameters (thermal conductivity λ , specific heat capacity c_p and density ρ) of fire protection materials. Especially the material properties in the heating and cooling phase were investigated. For the validation of the thermal material properties determined at laboratory scale, a large-scale fire test on coated and boxed steel elements was carried out. For the design of the specimens and the recalculation of the experiments, a suitable numerical model was developed based on the finite element method. In order to find the material properties under natural fire scenarios, the effect of different heating and cooling rates was investigated and boundary condition for standardized test methods were determined.

1. Einführung

Ein Ziel des Projektes war, Erkenntnisse über die temperaturabhängigen thermischen Materialkennwerte Wärmeleitfähigkeit λ , spezifische Wärmekapazität c_p und Rohdichte ρ für Brandschutzmaterialien zu gewinnen. Bisher existierten nur für ausgewählte Brandschutzmaterialien konstante Materialkennwerte, die auf Bauteilversuchungen unter Brandeinwirkung der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) basierten. Im Gegensatz zur ETK wird bei einem Naturbrandszenario ein realer Brandverlauf (Brandentstehung, Vollbrand, Abkühlphase) abgebildet. Der Temperaturverlauf eines Naturbrandes kann in Abhängigkeit der vorhandenen Brandlasten, Ventilationsverhältnisse und Brandraumgeometrie individuell sein [1]. Unter der Anwendung von Brandsimulationsberechnungen mit dem Zonenmodell CFAST und Feldmodell FDS sind repräsentative Aufheiz- und Abkühlraten von Naturbrandbeanspruchungen ermittelt worden. Die entwickelten Naturbrandbeanspruchungen dienen als Grundlage für experimentelle Untersuchungen.

Darüber hinaus sollten systematische Randbedingungen für Prüfverfahren zur Bestimmung von Hochtemperaturmaterialeigenschaften in der Aufheiz- und Abkühlphase erarbeitet werden. Zur Beschreibung der thermischen Materialeigenschaften von Brandschutzmaterialien unter

Naturbrand wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Für die Absicherung der im Labormaßstab ermittelten thermischen Materialkennwerte und Erforschung möglicher Maßstabeffekte wurde ein Großbrandversuch im Realmaßstab durchgeführt. Für die Auslegung der Versuchskörper und die Nachrechnung der Versuche wurde ein geeignetes numerisches Modell auf Basis der Methode der finiten Elemente erarbeitet.

Im Forschungsvorhaben wurden die Untersuchungen exemplarisch an drei Brandschutzplatten (Gipskarton, Gipsfaser, Calciumsilicat), an einem perlithaltigem Brandschutzputz und an zwei reaktiven Brandschutzsystemen (wasserbasiert und lösungsmittelbasiert) durchgeführt.

2. Thermisches Materialverhalten

Zur Ermittlung der thermischen Materialkennwerte wurden unterschiedliche Laborversuche durchgeführt. Verschiedene Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeiten für natürliche Brandbeanspruchung sind dabei unter Berücksichtigung der Messrandbedingungen angewendet worden. Exemplarisch ist in Bild 1 der Verlauf der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur für eine Gipskartonfeuerschutzplatte (GKF) für die Aufheizphase dargestellt.

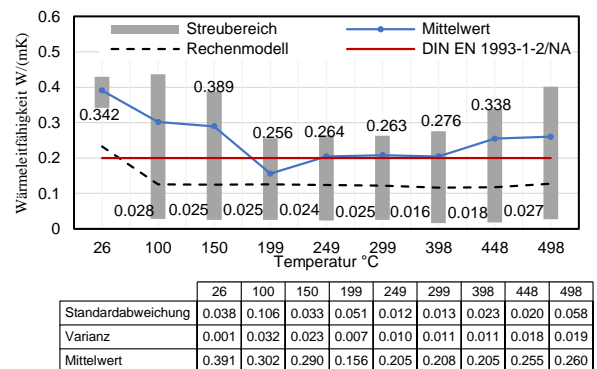


Bild 1 Temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit von GKF für die Aufheizphase (Heizrate 10 K/min)

Weitere, ausgewählte Ergebnisse für die temperaturabhängigen Materialkennwerte (Wärmeleitfähigkeit, Rohdichte, spezifische Wärmekapazität sowie Expansion) aus den Laborversuchen sind in /1/ und /2/ veröffentlicht.

3. Finite Elemente Modell

Die temperaturabhängigen Materialkennwerte sind in ein Finite Elemente Modell zur Berechnung der thermischen Schutzwirkung eingeflossen. Dabei zeigte sich, dass mit den im Vorhaben bestimmten temperaturabhängigen Materialkennwerten (Ingenieurmodell) im Gegensatz zu den konstanten Materialkennwerten des Eurocodes (DIN EN 1993-1-2/NA) realistischere Stahltemperaturen von bekleideten Stahlbauteilen ermöglicht werden (Bild 2). Das FE-Modell ermöglicht die Berechnung von kastenförmig und profilliegend geschützten Stahlprofilen (belastet und unbelastet) unter einer vier- sowie dreiseitigen Naturbrandbeanspruchung.

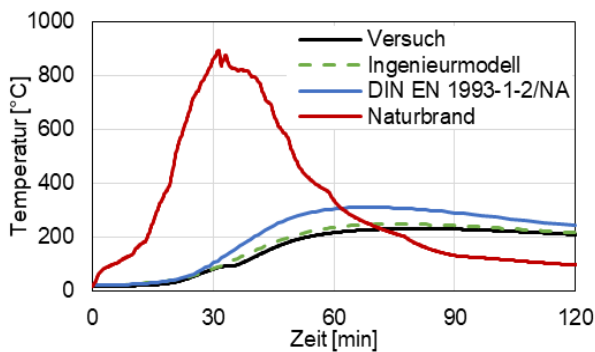


Bild 2 Berechnete Stahlbautemperaturen (HEA 240 mit 15 mm GKF) unter Naturbrandbeanspruchung

Die Ableitung der verwendeten Materialmodelle für das FE-Modell erfolgte aus den Versuchsdaten sowie weiteren Erkenntnissen des Großbrandversuches.

4. Versuch und Validierung

Zur Überprüfung der in den Kleinversuchen gewonnenen thermischen Materialkennwerte und zur Validierung des FE-Modells wurde ein Naturbrandversuch an mit Brandschutzbekleidung geschützten Stahlbauträgern (Profil HEA 240) durchgeführt. Angaben zu den belasteten Versuchsträgern sind in Tabelle 1 und der Versuchsaufbau ist in Bild 3 dargestellt.

Tabelle 1 Versuchskörper (belastet, 3-seitig)

Bekleidung	Länge	Bekleidungs- dicke	Mech. Belastung
GKF	4,90 m	15 mm	30% · $M_{pl,Rd,kalt}$
Perlitputz	4,90 m	15 mm	60% · $M_{pl,Rd,kalt}$
RBS	4,90 m	350 μ m	60% · $M_{pl,Rd,kalt}$

Zusätzlich sind ein unbelasteter Trägerabschnitt (Länge 1 m) mit 350 μ m reaktivem Brandschutzsystem und 5 unbelastet Stützenabschnitte (Höhe 1 m) mit 15 mm GKF, 15 mm Gipsfaserplatte, 20 mm Calciumsilikatplatte, 20 mm Brandschutz und 350 μ m RBS untersucht worden. Die Bauteiltemperaturen der geschützten Prüfkörper konnte zur Validierung des FE-Modells verwendet werden. Ferner lieferte der Großbrandversuch Erkenntnisse über das thermische Materialverhalten im Realmaßstab. Die Bauteiltemperaturen wurden über Thermoelemente Typ K in verschiedenen Ebenen über die Versuchskörperlängen erfasst. Mittels in den Brandraum eingelassener Plate-Thermoelemente wurde die Brandraumtemperatur gesteuert. Die Lasten der belasteten Stahlträger wurden über Laststempel in den Drittelpunkten der Versuchskörperlänge eingebracht (Bild 3). Die Stahlträger sind als Einfeldträger ausgeführt worden. Die Nachrechnung der Versuche mit Hilfe verschiedener FE-Modelle (2D und 3D) führte zu guten Übereinstimmungen mit den Versuchsergebnissen.



Bild 3 Versuchsaufbau des Großbrandversuchs

5. Erkenntnisse und Ausblick

Kleinskalige Laborversuche und der realmaßstäbliche Großbrandversuch ergaben, dass die untersuchten Brandschutzmaterialien ein irreversibel Materialverhalten aufweisen. Unter Naturbrandbeanspruchung unterscheiden sich die thermischen Materialkennwerte von Aufheiz- und Abkühlphase voneinander, sodass eine temperaturabhängige Formulierung der thermischen Materialkennwerte erforderlich ist.

6. Literatur

- /1/ Zehfuß, J., Sander, L., Schaumann, P., Weisheim, W.: Thermische Materialeigenschaften von Brandschutzbekleidungen unter Naturbrandbeanspruchungen. Bautechnik 95 (2018), H. 8, S. 535 – 546.
- /2/ Weisheim, W., Schaumann, P., Sander, L., Zehfuß, J.: Numerical model for the fire protection performance of intumescent coatings exposed to natural fires, SiF 2018 Belfast, 2018.