

Theoretische und experimentelle Untersuchung zur Ermittlung und Optimierung des Brandverhaltens von ultra-hochfestem Beton (UHPC)

Theoretical and experimental determination of the high temperature behavior of ultra high performance concrete (UHPC)

Siemon, Matthias; Hosser, Dietmar; Zehfuß, Jochen

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 . For the validation of the thermal and thermo-mechanical material properties determined at laboratory scale as well as investigate possible scale effects, middle and real scale building component tests were 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 explanations for the observed effects in thermal and thermo-mechanical material properties, flanking structural investigations were carried out.

1. Einführung

Ein Ziel des Projektes war, Erkenntnisse über die temperaturabhängigen thermischen Materialkennwerte Wärmeleitfähigkeit λ , spezifische Wärmekapazität c_p und Rohdichte ρ zu gewinnen. Darüber hinaus fehlten systematische Heißdruckversuche zur Beschreibung des Festigkeits- und Steifigkeitsverhaltens von UHPC unter Temperatureinwirkung. Für die Absicherung der im Labormaßstab ermittelten thermischen und thermo-mechanischen Materialkennwerte und Erforschung möglicher Maßstabeffekte wurden Bauteilversuche im mittleren und 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. Um Erklärungen für festgestellte Effekte bei den thermischen und thermomechanischen Materialkennwerten zu finden, wurden flankierende Strukturuntersuchungen durchgeführt.

Im Forschungsvorhaben wurde das Brandverhalten von UHPC exemplarisch an zwei Betonrezepturen untersucht, die im Zuge des Schwerpunktprogramms SP 1182 entwickelt worden waren /1/. Dies sind ein Mörtel mit der Kurzbezeichnung M3Q und ein Beton mit der Kurzbezeichnung B5Q.

2. Thermisches Materialverhalten

Zur Ermittlung der thermischen Materialkennwerte wurden unterschiedliche Laborversuche durchgeführt. Bei allen Untersuchungen wurden Probekörper beider Mischungen B5Q und M3Q verwendet, die nach Herstellung mindestens 100 Tage alt waren und nach 28 Tagen Wasserlagerung bei Raumklima gelagert wurden. Die zu erwartenden Feuchtegehalte liegen damit in einem Bereich von 2,5 bis 3,2 M.-%. Exemplarisch ist in Bild 1 der Verlauf der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur dargestellt.

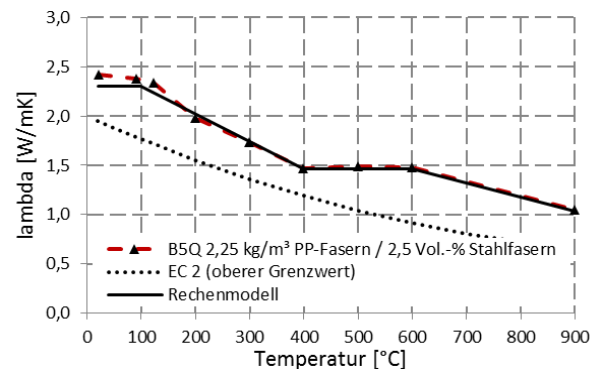


Bild 1 Wärmeleitfähigkeit des UHPC (Mischung B5Q) im Vergleich zu Normalbeton

Alle wesentlichen Eingangsgrößen wie Wärmespeicherkapazität, Verlauf der Rohdichte und Angaben zum Abplatzverhalten sind in /1/ veröffentlicht.

3. Mechanische Materialkennwerte

Die temperaturabhängigen mech. Materialkennwerte wurden mit Hilfe von stationären Heißdruck- und instationären Warmkriechversuchen an Betonzylindern aus den Mischungen B5Q und M3Q bestimmt. Dabei zeigte sich, dass die hier verwendeten UHPC-Rezepturen erst bei deutlich höheren Temperaturen an Festigkeit verlieren als Normal- und hochfester Beton. Hierfür müssen Betonabplatzungen durch die Beimischung geeigneter PP-Fasern möglichst verhindert werden.

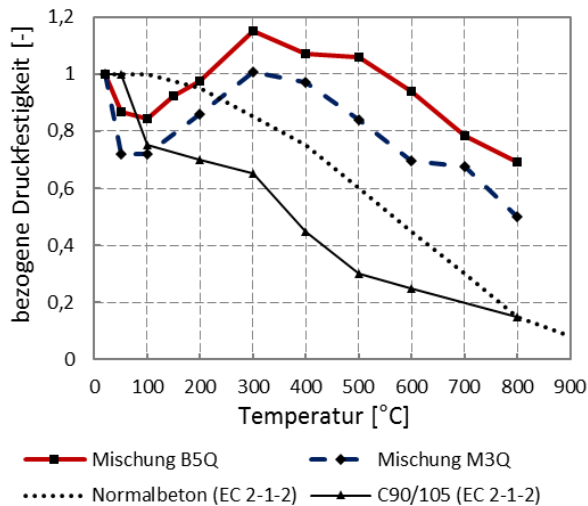


Bild 2 Druckfestigkeit von 2 UHPC Mischungen, Vergleich mit Normal- und hochfestem Beton

Die Ableitung von Materialmodellen aus den Versuchsdaten sowie weitere Angaben zu der thermischen Ausdehnung und den abgeleiteten Spannungs-Dehnungs-Beziehungen sind u. a. in /2,3/ veröffentlicht.

4. Versuche und Validierung

Zur Überprüfung der in den Kleinversuchen gewonnenen thermischen und mechanischen Materialkennwerten wurden insgesamt vier Großversuche an UHPC-Stützen mit einer Länge von etwa 3,7 m durchgeführt. Angaben zur Auflast und der im Versuch vorgesehenen Ausmitte sind in Tabelle 1 und Bild 3 dargestellt.

Tabelle 1 Durchgeführte Versuche

Versuch	Auflast	Ausmitte
V1	1200 kN	10 mm
V2	1800 kN	7,5 mm
V3	1800 kN	15 mm
V4	2200 kN	15 mm

Die Verformungen wurden sowohl am Stützenkopf in vertikaler als auch in der Mitte in horizontaler Richtung ermittelt. Mittels in den Brandraum eingelassener Messfühler wurde die Brandraumtemperatur nach ETK gesteuert. Die Lasten wurden über 2 cm dicke Stahlplatten eingeleitet, welche entsprechend der vorgesehenen Ausmitte versetzt angeordnet eine eingefräste Führung besaßen. Das Widerlager und der Laststempel waren mit Stahlhalbrunden versehen, welche die geforderte gelenkige Lagerung ermöglichten. Die Nachrechnung der Versuche mit Hilfe verschiedener FE-Modelle führte zu guten Übereinstimmungen mit den Versuchsergebnissen /2,3/.

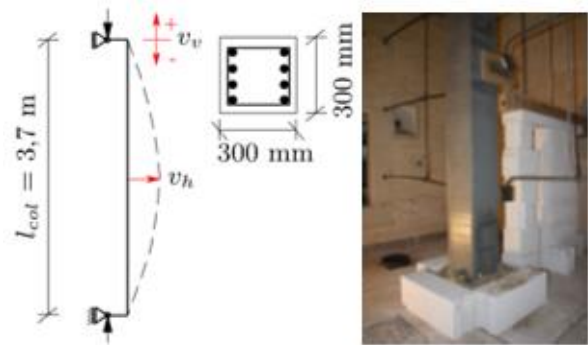


Bild 3 System (links), Blick in Brandkammer (rechts)

5. Erkenntnisse und Ausblick

Klein-, mittel- und realmaßstäbliche Versuche ergeben, dass nicht optimierter UHPC ein ähnliches Abplatzverhalten wie HPC zeigt. Die Zugabe von PP-Fasern (Anteil $> 2 \text{ kg/m}^3$) begrenzt die Abplatzungen auf ein vernachlässigbares Maß. Die thermischen Materialkennwerte entsprechen denen für normal- und hochfesten Beton aus dem Eurocode 2. Insgesamt ist die Wärmeleitfähigkeit von UHPC höher als die von Normalbeton. Im Vergleich dazu unterscheiden sich die Ergebnisse der spezifischen Wärmespeicherkapazitäten von normal- und ultrahochfestem Beton nur gering.

Zur Ableitung von temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen wurden verschiedene Heißdruckversuche durchgeführt. Zusammen mit den thermischen Materialkennwerten wurden die vier Stützenversuche erfolgreich zur Validierung herangezogen.

6. Literatur

- /1/ Hosser, D., Siemon, M., Kampmeier, B., Hollmann, D., Kruse, D., Deppe, B.: Theoretische und experimentelle Untersuchung zur Ermittlung und Optimierung des Brandverhaltens von ultra-hochfestem Beton (UHPC), aus Nachhaltiges Bauen mit ultrahochfestem Beton, Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau, H. 22, Hrsg.: Schmidt, M, Fehling, E., Fröhlich, S., Thiemicke, J., Heft 22, 2014, Kassel university press.
- /2/ Richter, E., Zehfuß, J., Kampmeier, B.: Entwicklung vereinfachter Materialgesetze in Form von temperaturabhängigen Spannungs-Dehnungs-Beziehungen für ultrahochfesten Beton. Bauphysik 35 (2013), H. 5, S. 303 – 322.
- /3/ Zehfuß, J., Siemon, M.: Numerische Analyse brandbeanspruchter Stützen aus ultrahochfestem Beton (UHPC). Bautechnik 92 (2015), H. 5, S. 335 – 345.