

Experimentelle Untersuchungen zum Verhalten verschiedener Spritzbetonzusammensetzungen unter Temperaturbeanspruchung

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes UPTUN (UPgrading of existing TUNnels) wurden bei einem Großbrandversuch mit verschiedenen Brandlasten von 10 MW, 20 MW und 30 MW spezielle Spritzbetone hinsichtlich ihres Verhaltens bei Temperaturbeanspruchung untersucht. Um die Ergebnisse auch qualitativ miteinander vergleichen zu können, wurden weitere Laborversuche durchgeführt.

In dem Vortrag wird die Durchführung des Großbrandversuchs und die verschiedenen Laboruntersuchungen vorgestellt. Außerdem werden Interpretationen der Ergebnisse mit Ergebnissen aus numerischen Simulationen verglichen.

1 Einleitung

Spritzbetone bilden häufig die Innenauskleidung von Tunneln. Sie sollen während eines Brandereignisses möglichst lange ihre Tragfähigkeit behalten. Durch verschiedene Strategien in Bezug auf die Betonzusammensetzung kann das Risiko des Abplatzens vermindert werden. Sechs verschiedene Spritzbetonhersteller nahmen an den Versuchen teil. Die Produkte unterscheiden sich durch den Zusatz von:

- Feuerbeständigen Zuschläge (z. B. Magnesium-Eisen-Hydrosilikat-Mineralien)
- PP – Fasern
- Speziellen Zusätzen
- Feinstäuben
- Zusatzmitteln.

Im Beton ist die Temperaturgrenze 100°C von besonderer Bedeutung. Ab dieser Temperatur entwickeln sich Dampfdrücke, die zu Abplatzungen führen können. Diese Dampfdrücke können aber nicht direkt gemessen werden. Ausgehend vom Wassergehalt in der jeweiligen Tiefe können diese bei bekannter Temperatur, jedoch errechnet werden.

Der Wassergehalt kann mittels elektrischer Widerstandsmessung bestimmt werden. Die Bestimmung des elektrischen Widerstandes bei stationären Verhältnissen wie einem Brandereignis, ist jedoch sehr aufwendig und erfordert eine Messzeit von mindestens 24 Stunden jeweils vor und nach dem Brandversuch, um bei der Interpretation der Ergebnisse die Temperaturabhängigkeit des Elektrolyten ausgleichen zu können. Deshalb wurden bei dem Großbrandversuch nur Temperaturen gemessen. Unter Laborbedingungen wurde anschließend die Korrelation zwischen Temperatur und Wassergehalt für den jeweiligen Spritzbeton, hergestellt.

Für die Berechnung der insitu-Spannungen müssen außerdem die Volumsvergrößerungen von silikatischen Zuschlägen durch die Temperaturbeanspruchung berücksichtigt werden. Dazu werden aus den Probekörpern vor und nach den

Laborbrandversuchen Bohrkernentnommen und an diesen Mikrostrukturanalysen durchgeführt.

Außerdem werden an weiteren Probekörpern die Permeabilität und die Porosität des jeweiligen Spritzbetons bestimmt, da diese Parameter den Dampfdruckabbau bestimmen.

Um nun einen Zusammenhang zwischen der insitu-Spannung und der Wahrscheinlichkeit des Abplatzens herstellen zu können, müssen die Parameter Druckfestigkeit und Bruchenergie für den jeweiligen Beton bestimmt werden.

Für eine Brandbemessung muss auch die Temperatur auf Bewehrungshöhe bekannt sein, um die entsprechenden Abminderungsfaktoren in Bezug auf die Festigkeit des Stahls nach EC2 [1], ansetzen zu können. Dazu ist die Kenntnis des Temperaturleitwertes notwendig.

In diesem Beitrag sollen der Großversuch sowie einige Brand-Laborversuche beschrieben werden.

2 Versuchsaufbau

2.1 Versuchsaufbau - Großbrandversuch

Für den Großversuch wurde der Virglertunnel der Brennerautobahn bei Bozen/Südtirol ausgewählt.

Drei mal wurde Feuer entzündet und anschließend wieder gelöscht. Dabei wurden verschiedene Brandbekämpfungs- und -erkennungssysteme, Befestigungssysteme und mehrere Lichtleitsysteme getestet sowie zwei Fluchtszenarien in Verbindung mit Luftanalysen durchgeführt. Außerdem wurden nach dem Großbrandversuch Reinigungstests an den sechs Oberflächen der Spritzbetone durchgeführt.

2.2 Versuchsaufbau - Laborbrandversuche

Um aus allen Spritzbetonprodukten die gleichen Probekörper herstellen zu können, wurde von der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK) Leerschaltungen mit einer entsprechend robusten Instrumentierung angefertigt, sodass das Einbringen des Spritzbetons keine Schädigung der Sensoren verursachte. Die Abmessungen des Betonwürfels betragen jeweils 20 cm Seitenlänge. Die Instrumentierung wurde so vorbereitet, dass in den Tiefen 10 mm, 20 mm und 30 mm jeweils Temperatur und elektrischer Widerstand (Impedanzmessung, $f = 1$ kHz) gemessen werden konnte. Ein Temperatursensor an der Oberfläche wurde kurz vor Versuchsbeginn montiert. Befeuert wurden die Betonproben mit einer Brennerleistung von ca. 12 kW. In einem kleinen Brennofen konnten so Oberflächentemperaturen von über 1200°C erreicht werden.

3 Versuchsdurchführung

3.1 Versuchsdurchführung des Großversuchs

Um möglichst realistische Versuchsbedingungen für unterschiedliche Unfallszenarien voraussetzen zu können, wurden drei verschiedene Brandlasten (10 MW, 20 MW, 30 MW) gewählt.

3.2 Durchführung der Laborbrandversuche

Die Probekörper wurden mindestens 28 Tage im Wasserbad aufbewahrt, um in jedem Probekörper von voller Wassersättigung ausgehen können. Eine halbe Stunde vor Versuchsbeginn wurde der entsprechende Probekörper aus dem Wasserbad entnommen und etwa 10 Minuten getrocknet. Dann wurde der Oberflächentempersensor eingeschlitz und mit einem schnell trocknenden Mörtel fixiert.

Der Brandversuch wird in drei temperaturgesteuerten Etappen gefahren.

4 Versuchsergebnisse

4.1 Ergebnisse des Großbrandversuchs

Es wurden erwartungsgemäß unterschiedlich verlaufende Temperaturprofile in den einzelnen Spritzbetonen aufgezeichnet. In dem folgenden Bild 10 sind die jeweiligen Maxima der Temperaturen in dem jeweiligen Spritzbeton für die Tiefen 5 mm und 25 mm dargestellt.

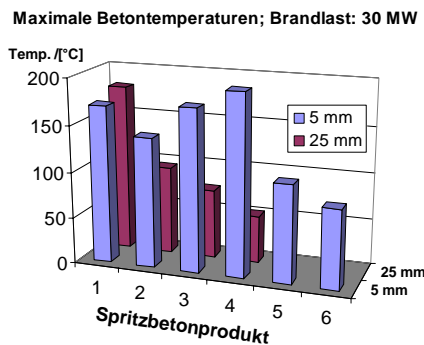


Bild 1. Betontemperaturen

Durch den ungleichmäßigen Abbrand kam es am Rand des Versuchsbereichs (bei Spritzbetonfeld 6) zu einem deutlich geringeren Energieeintrag.

4.2 Ergebnisse der Laborbrandversuche

Hohe, gleichmäßige Temperaturen ergaben eindeutige Temperaturprofile für die einzelnen Spritzbetonprodukte. Exemplarisch soll in dem folgenden Bild ein solches Temperaturprofil für die Tiefen 0 mm, 10 mm, 20 mm und 30 mm dargestellt werden.

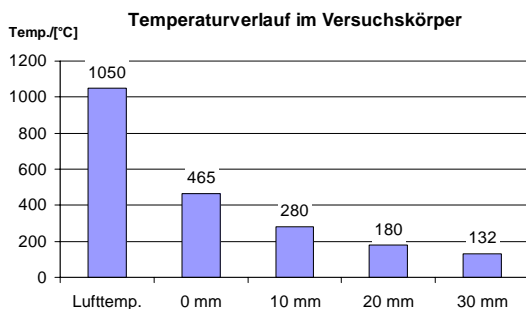


Bild 2. Temperaturprofil im Laborversuch

4.3 Druckfestigkeits- und Biegezugversuche

Diese Versuche wurden mit Prüfkörpern durchgeführt welche aus demselben Material hergestellt wurden, wie die Betonwürfel für die Laborbrandversuche.

Für die Druckfestigkeit kamen jeweils drei Würfel mit 15 cm Seitenlänge zum Einsatz. Die Biegezugversuche wurden als weggesteuerte, dreipunkt Biegeversuche durchgeführt. Aus den gemessenen Kraft-Durchbiegungskurven wurde die Bruchenergie errechnet. Es zeigte sich ein deutlicher Unterschied in der Bruchenergie zwischen Beton mit Fasern und Beton ohne Fasern.

5 Erkenntnisse

Es wurden sehr unterschiedliche Temperaturleitwerte in den einzelnen Betonen festgestellt. Für den Versuchsablauf hatte dies eine ständig zu kontrollierende Brandleistung zur Folge. Der Grund für eine hohe Bandbreite von Temperaturleitwerten liegt in der Vielfältigkeit der Zusammensetzungen der einzelnen Betonprodukte. Als Beispiel dafür soll das nächste Bild 3 dienen. Es zeigt die Temperaturen an der Oberfläche, in 10 mm und 30 mm Tiefe. Zu beachten sind vor allem die stark unterschiedlichen Oberflächentemperaturen und die gleichen Temperaturen in 30 mm Tiefe. Beide Temperaturprofile wurden nach 15 min Befuerung festgehalten.

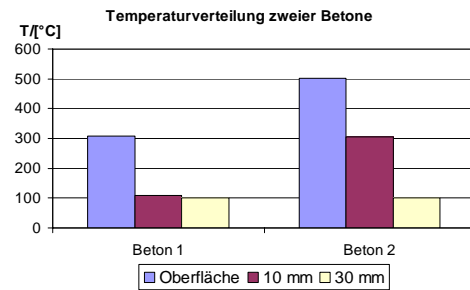


Bild 3. Unterschiedliche Temperaturweiterleitungen

Wesentlich für den Wärmeleitungskoeffizient sind die jeweiligen Zuschläge. Der Zuschlag von temperaturbeständigem Beton muss daher entweder einen sehr geringen Temperaturkoeffizienten besitzen oder Wärme absorbieren können. Bei der Wärmeabsorption muss aber darauf geachtet werden, dass die Volumsvergrößerung durch kristalline Umbildung nicht derart große Spannungen verursacht, dass Abplatzungen entstehen können. Die resultierenden Spannungen müssen in jedem Fall von der Zementmatrix aufgenommen werden. Es ist daher notwendig die Bruchenergie der Zementmatrix so zu erhöhen, dass Spannungen die aufgrund der Umbildungen des Zuschlages entstehen, schadlos aufgenommen werden. Eine deutliche Erhöhung der Bruchenergie wird durch die Zugabe von Polypropylenfasern erreicht. Dies konnte in den durchgeführten Versuchen auch deutlich bestätigt werden. Allerdings schmelzen diese Fasern bei relativ geringen Temperaturen von etwa 350°C. Der Vorteil dabei ist aber, dass dadurch neue Kapillarporen geschaffen werden. Durch diese neu geschaffenen Kanäle kann entstehender Wasserdampf im Brandfall leichter entweichen. Schädliche Dampfdrücke können so vermindert werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Verbesserung von brandbeständigem Beton die Verbesserung in den folgenden zwei Punkten bedeuten muss, nämlich:

- Verbesserung der Wärmeabsorption des Zuschlags unter Berücksichtigung seiner kristallinen Umbildung und die damit verbundene Volumsvergrößerung
- und
- Verbesserung bzw. Erhöhung der Bruchenergie der Zementmatrix im Brandfall.