

Zustandsuntersuchung nach einem Brandfall

1 Einführung

Im Vergleich zu anderen Baumaterialien hat Beton einen hohen Feuerwiderstand. Bei langer Branddauer und hohen Temperaturen können jedoch Schäden entstehen, die im schlimmsten Fall nicht mehr instand zu setzen sind.

Meist sind grossflächige Abplatzungen des Überdeckungsbetons und freiliegende Bewehrung offensichtliche Folgen eines Brandes. Damit die verbleibende Tragfähigkeit des Bauteils durch einen Planer berechnet werden kann und die notwendigen Instandsetzungen und ggf. Verstärkungen geplant werden können, müssen verschiedene mechanische Eigenschaften des Betons und des Betonstahls ermittelt werden.

In diesem Bulletin werden die Auswirkungen eines Brands auf Beton und Stahl dargelegt und welche Parameter bestimmt werden können, darunter die erreichten Betontemperaturen anhand mikroskopischer Temperaturindikatoren.

2 Auswirkungen eines Brands auf Stahlbeton

Nach einer intensiven Brandeinwirkung auf eine Stahlbetonoberfläche liegt häufig die Bewehrung frei und weist eine gewisse Durchbiegung auf (Abbildung 1). Durch leicht unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten von Bewehrungsstahl, Zementstein und Gesteinskörnung wird bei hohen Temperaturen der Verbund zerstört und es kommt zu einer Auflockerung des Betongefüges und in vielen Fällen zu grossflächigen Abplatzungen des Betons entlang der Bewehrung. Bei hohen Temperaturen gerät Stahl zudem in einen Zustand des Fließens, wobei nach dem Abkühlen im Gegensatz zum Beton nicht mehr die ursprüngliche Länge des betroffenen Bauteils erreicht wird, was in der Folge zu einem Spannungsaufbau und zu Durchbiegungen führt.

Weitere Brandeinwirkungen, die oft nicht direkt sichtbar sind, sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die Erhitzung verändert den Beton permanent durch Umwandlung der Zementsteinphasen, Austrocknung, Karbonatisierung und Bildung von (Mikro-)Rissen. Diese Änderungen führen zu einer Reduktion der mechanischen Eigenschaften. Zudem unterliegt der Bewehrungsstahl bei Temperaturen über 500 °C einer signifikanten Abnahme der Zugfestigkeit und der Fließgrenze, welche auch nach der Abkühlung deutlich reduziert bleiben können.

Neben den obenerwähnten Auswirkungen starker Hitze auf die Tragfähigkeit des Konstruktionsbetons können durch einen Brand auch die Dauerhaftigkeit oder andere Funktionen beeinträchtigt werden.

Bei Bränden von chlorhaltigen Kunststoffen (PVC) und beim Schmelzen von PVC-Einlagen im Beton (z.B. Abstandhalter) kann Chlor freigesetzt werden und durch Rauchgase oder Löschwasser in den Beton eindringen, wo mittel- bis langfristig Bewehrungskorrosion ausgelöst werden kann.

Bei extremen Bränden besteht die Möglichkeit, dass Betoneinlagen (z.B. Strom- oder Wasserleitungen) oder Dämmmaterial und Abdichtungsfolien im Kontakt mit dem brandexponierten Bauteil, geschädigt werden.



Abb. 1: Abplatzungen und freiliegende, durchgebogene Bewehrung an einer Wand und der Deckenuntersicht in einem Werkhof (oben) und Decken-Abplatzungen nach einem Autobrand in einer Garage (unten).

3 Untersuchungsmethoden

Die Wahl der Untersuchungsmethoden umfasst üblicherweise, neben einer visuellen Aufnahme der Brandschäden, die Entnahme von Bohrkernen für Druckfestigkeitsprüfungen am Beton, für Chloridanalysen und für mikroskopische Untersuchungen des Betongefüges, Bewehrungssondagen und die Entnahme von Stahlproben für Zugversuche, sowie Bewehrungsüberdeckungsmessungen.

Mikroskopie

Ein essenzieller Bestandteil der Untersuchungen ist die Bestimmung des Temperaturprofils im Beton, d.h. die Abschätzung der maximal erreichten Temperaturen an der Betonoberfläche und im Beton auf Bewehrungsniveau. Die mikroskopischen Untersuchungen erfolgen an Dünnschliffen. Die Erhitzung des Betons führt zu mineralogischen Umwandlungen im Zementstein und in Gesteinskörnern bestimmter Zusammensetzung sowie

Tabelle 1: Mögliche Auswirkungen von Bränden auf Stahlbeton und entsprechende Untersuchungsmethoden.

Auswirkung (phänomenologisch)	Funktionelle Auswirkung	Untersuchungsmethoden
Abnahme Betondruckfestigkeit	Tragfähigkeit	Bohrkerndruckfestigkeit; Rückprallzahl
Abnahme Stahlzugfestigkeit und Fließgrenze	Tragfähigkeit	Stahlzugversuch; Temperaturprofil (Mikroskopie); Bewehrungsüberdeckung
Durchbiegung von Decken und Bewehrung	Tragfähigkeit	Visuelle Aufnahme; Geodäsie
(Beginnende) Abplatzungen Konstruktionsbeton; Ablösen und Freilegen der Bewehrung; Reduzierte Deckenstärke	Tragfähigkeit	Visuelle Aufnahme; Abklopfen
(Beginnende) Abplatzungen vom Putz oder Beschichtung	Brandschutz	Visuelle Aufnahme; Haftzugprüfung
Verfärbungen Beton, Putze oder Anstriche; Russflecken; mineralogische Umwandlungen im Zementstein	Ästhetik	Visuelle Aufnahme Bauteile und Bohrkern; Mikroskopie
Eintrag von chloridhaltigen Rauchgasen oder Löschwasser und Schmelzen von PVC-Einlagen (Abstandhalter).	Dauerhaftigkeit	Bestimmung Chloridgehalt und Bewehrungsüberdeckung
Depassivierung Bewehrung durch mineralogische Umwandlungen im Zementstein und Karbonatisierung	Dauerhaftigkeit	Mikroskopie; Karbonatisierungstiefe
Effekte durch brandinduzierte Austrocknung und Befeuchtung durch Löschwasser	Dauerhaftigkeit	Verschiedene Methoden
Erhöhte Temperatur im ganzen Bauteil: Zustand Stromkabel, Spannkabel, Dämmmaterial, Abdichtungsfolien	Diverse Funktionen	Prognose Temperaturprofil; Radarmessungen zur Ortung, Sondagen

zur Bildung von Mikrorissen. Die deutlichsten Temperaturindikatoren, die in einer brandgeschädigten Betonprobe mikroskopisch beobachtet werden können, sind Rot-Verfärbungen in Gesteinskörnern durch Oxidation von eisenhaltigen Bestandteilen, eine Entwässerung von Portlandit (ein Bestandteil des Zementsteins), der sogenannte Quarzsprung (eine Änderung der Kristallstruktur von Quarz in der Gesteinskörnung), was zu einer sprunghaften Zunahme des Volumens und damit zur Bildung von Mikrorissen im betroffenen Gesteinskorn führt und die Dekarbonatisierung des (karbonatisierten) Zementsteins oder von Kalksteinkörnern (Abbildung 2).

Weitere Prüfungen

Wenn die Bewehrung durch Abplatzungen frei liegt, oder bei sehr geringer Bewehrungsüberdeckung, sollten die mechanischen Eigenschaften des Bewehrungsstahls überprüft werden. Hierzu ist es erforderlich Bewehrungsstäbe zu entnehmen, um diese mit Zugversuchen im Labor auf ihre Zugfestigkeit und Fließgrenze zu prüfen.

Bei Verdacht, z.B. bei Bränden PVC-haltiger Kunststoffe oder beim Aufschmelzen der Bewehrungsabstandhalter im Beton sind Chloridgehaltsanalysen zu empfehlen. Durch die Analyse verschiedener Tiefenstufen kann ein Tiefenprofil erstellt werden und zusammen mit der Bewehrungsüberdeckung das Korrosionsrisiko für die Bewehrung abgeschätzt werden.

Modellierung

Unter Umständen kann es hilfreich sein, das Temperaturprofil im erhitzten Beton mittels eines thermischen Modells (z.B., fib- MC2010-model) zu prognostizieren. Die Inputparameter sind das mikroskopisch bestimmte Temperaturprofil, die Branddauer und die thermischen Eigenschaften von Beton. Damit kann die Temperaturverteilung im ganzen Bauteilquerschnitt und die Dauer der Stahlerhitzung bestimmt werden. So kann der Zustand von Betoneinlagen (z.B. Stromkabel, Spannkabel) in grösseren Tiefen abgeschätzt werden.

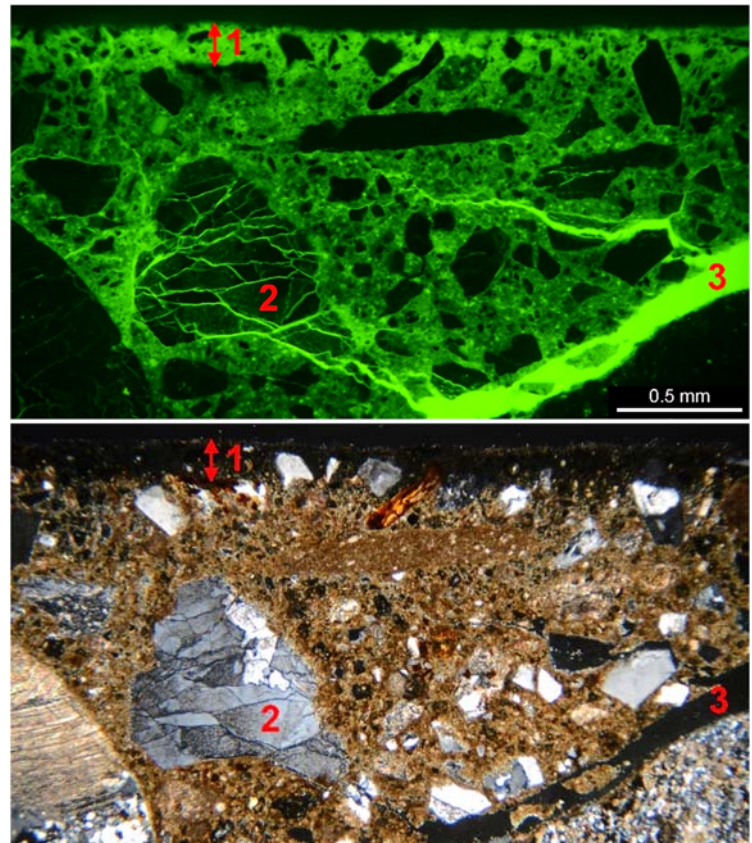


Abb. 2: Mikroskopische Temperaturindikatoren im Beton aus einem Brandherd in einem Dünnschliff in UV-Licht (oben) und in polarisiertem Durchlicht (unten):

1 = Dekarbonatisierung der Matrix; 2 = Quarzkorn mit Mikrorissen durch den Quarzsprung; 3 = beginnender Abplatzungsrisse

Dr. Jan Bisschop, Dr. Leonhard Klemm