

Kurzfassung

Das Forschungsprojekt beschäftigt sich mit der numerischen und versuchstechnischen Untersuchung zur Anwendung von reaktiven Brandschutzsystemen auf Zuggliedern aus Stahl. Das Vorhaben wird vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) finanziell gefördert und von der BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung durchgeführt.

Die Verwendbarkeit von reaktiven Brandschutzsystemen wird durch nationale Zulassungen und europäische technische Bewertungen geregelt. In diesen Dokumenten ist der Einsatz reaktiver Brandschutzbeschichtungen für Bauteile unter Zugbeanspruchung derzeit lediglich für offene Profile geregelt. Ferner wird eine Anwendung auf Vollprofilen durch die Zulassungen nicht abgedeckt.

Das Tragverhalten von Zuggliedern unter Brandeinwirkung ist bisher kaum untersucht. Des Weiteren liegen fast keine veröffentlichten experimentellen Daten zum genannten Thema vor. Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher, mittels experimentellen und numerischen Untersuchungen zu klären, inwieweit reaktive Brandschutzsysteme für den Einsatz auf zugbeanspruchten Traggliedern mit kreisrundem Querschnitt, insbesondere auch Vollprofile, verwendet werden können. Kreisvollprofile werden im Bauwesen typischerweise für vorgefertigte Zugstabsysteme eingesetzt. Die Versagensmechanismen von Stahlzuggliedern mit reaktiven Brandschutzsystemen werden bestimmt. Anhand der Ergebnisse des Projektes werden Empfehlungen für die Prüfung und Bewertung reaktiver Brandschutzsysteme erarbeitet.

Die Bearbeitung des für einen Zeitraum von drei Jahren angelegten Forschungsvorhabens erfolgt in drei Themenblöcken. In Block 1 wird zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt. Informationen zu den thermischen und mechanischen Hochtemperatureigenschaften von Stahl sowie der Erwärmungsgeschwindigkeit von Stabquerschnitten mit reaktiven Brandschutzsystemen bilden den Schwerpunkt der Recherche. Ferner wird ein numerisches Modell auf Grundlage der Finite-Elemente-Methode für ein mechanisch belastetes Zugglied mit Temperatureinwirkung entwickelt. Im zweiten Themenblock werden zahlreiche Kleinversuche durchgeführt, um die Materialeigenschaften des verwendeten kaltverformten Blankstahls zu bestimmen. Die Durchführung von Brandversuchen im Realmaßstab erfolgt im dritten Themenblock. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden Empfehlungen für die Prüfung und Bewertung reaktiver Brandschutzsysteme auf Stahlzuggliedern erarbeitet. Die experimentellen Ergebnisse dienen ebenso als Vergleichsgrundlage für das entwickelte Berechnungsmodell.

Für die getesteten Zugglieder wird Baustahl der Festigkeitsklasse S355 verwendet. Die Beschichtung der Bauteile erfolgt mit einem herkömmlichen derzeit zugelassenen reaktiven Brandschutzsystem. Aus Gründen der Vergleichbarkeit werden sämtliche Versuche mit diesem

Produkt durchgeführt. Dabei steht die Ermittlung grundsätzlicher Versagensmechanismen im Vordergrund. In den experimentellen Untersuchungen werden verschiedene Parameter variiert. Im Einzelnen sind dies der Stabdurchmesser, die Trockenschichtdicke der Brandschutzbeschichtung sowie der Lastausnutzungsgrad des Zuggliedes. Das Verhalten des reaktiven Brandschutzsystems wird sowohl an mechanisch belasteten als auch an unbelasteten Zuggliedern untersucht. Anhand der unbelasteten Versuchskörper wird zudem dem Einfluss der Einbaulage mittels Prüfung in vertikaler und horizontaler Position nachgegangen.

Die Brandprüfungen zeigen, dass eine Anwendung reaktiver Brandschutzsysteme auf Stahlzuggliedern mit Kreisvollprofil grundsätzlich möglich ist. Jedoch ergeben sich aufgrund des gekrümmten Querschnittes Besonderheiten, welche bei der Prüfung und späteren Anwendung dieser Systeme zu berücksichtigen sind. Unter anderem muss mit einer ausgeprägten Rissbildung im Brandschutzsystem gerechnet werden. Als Folge kann sich die thermische Schutzwirkung des Systems erheblich verschlechtern und dies zu einer schnellen Erwärmung des Stahls führen. Ferner kann durch eine Aufweitung von Längsrissen ein teilweises Abrutschen der Brandschutzbeschichtung auftreten, welches zu einer signifikanten Reduzierung der thermischen Schutzwirkung des Systems führt. Durch die Wahl einer ausreichenden Trockenschichtdicke können "Rissheilungseffekte" aktiviert werden. Risse im Schaum der Beschichtung können durch nachschäumendes Beschichtungsmaterial teilweise wieder geschlossen werden. Die thermische Schutzwirkung des Systems kann so aufrechterhalten werden.

In den Brandversuchen zeigt sich, dass die aufgebrachte mechanische Belastung die Rissbildung forciert. Das Versagen der belasteten Zugglieder ereignet sich dabei an der Stelle mit der maximalen Stahltemperatur und kündigt sich meist durch eine Zunahme und Vergrößerung der Querrisse an. Im Allgemeinen führt eine Erhöhung der Trockenschichtdicke bzw. eine Reduzierung des Lastausnutzungsgrades zu einer Verbesserung des Feuerwiderstandes. Ein Unterschied zwischen den maximal gemessenen Stahltemperaturen von belasteten und unbelasteten Versuchskörpern ist besonders bei relativ geringen Trockenschichtdicken zu beobachten. Aufgrund dessen kann ein Umrechnungsfaktor zwischen den Versuchsergebnissen aus Prüfungen an belasteten und unbelasteten Zuggliedern bisher nicht bestimmt werden. Die Untersuchung der Einbaulage zeigt, dass zwischen den Prüfergebnissen mit vertikaler und horizontaler Probenausrichtung ein signifikanter Unterschied besteht. Die Einbaulage der Versuchskörper beeinflusst folglich die Feuerwiderstanddauer. Der spätere Einsatzbereich der Zugglieder ist deshalb bei der Prüfung zu berücksichtigen. Ein Einfluss der Stablänge auf das Verhalten des Brandschutzsystems ist in horizontaler Einbaulage nicht festzustellen. Um das Prüfergebnis nicht zu beeinflussen, sind Abschattungseffekte auf das Bauteil sowie ein Einfluss der Temperaturmessung auf das Aufschäumverhalten der Beschichtung zu vermeiden. Mindestlängen für die Prüfung von Zuggliedern sowie Abstände und Methoden zur Applikation der Thermoelemente werden vorgeschlagen.

Ferner enthält der Bericht Angaben zu den mechanischen Hochtemperatureigenschaften von kaltverformtem Blankstahl. Dieser Stahl wird üblicherweise für Kreisvollprofile eingesetzt. Die Besonderheiten gegenüber warmgewalztem Stahl werden im Bericht aufgezeigt. Die Hochtemperatureigenschaften dienen mit den aus den Brandversuchen im Realmaßstab gewonnenen Temperaturfeldern als Eingangswerte für das numerische Modell.

Anhand des Bemessungsmodells zeigt sich, dass eine Nachrechnung der Brandversuche möglich ist. Die numerisch ermittelten Stabverformungen eines exemplarisch untersuchten Zuggliedes stimmen gut mit den im Brandversuch gemessenen Verformungen überein. Der Verformungsanteil des Belastungsrahmens sollte mittels Korrektur der gemessenen Verformungen berücksichtigt werden. Ferner sollten die Temperaturmessstellen am Zugglied über die gesamte Stablänge, auch außerhalb des Brandraumes, angeordnet werden. Nur so lässt sich die rechnerisch bestimmte Verformung des Stabes korrekt mit den Versuchsergebnissen vergleichen. Die Anwendung des numerischen Modells setzt die Kenntnis der zeitlich veränderlichen Temperaturfelder des Bauteils voraus. Diese werden wesentlich durch das Verhalten des reaktiven Brandschutzsystems beeinflusst. Die Bildung von Rissen im Brandschutzsystem und die daraus folgende Verschlechterung der thermischen Schutzwirkung des Systems tragen zur Komplexität des Problems bei. Da sich in den Brandversuchen gezeigt hat, dass sich an unbelasteten Versuchskörper der Temperaturverlauf teilweise wesentlich von dem eines belastet geprüften Zuggliedes unterscheidet, können die Ergebnisse der unbelasteten Probekörper für die numerische Betrachtung nicht verwendet werden.