

Numerische und versuchstechnische Untersuchungen zur Anwendung von reaktiven Brandschutzsystemen auf Zuggliedern aus Stahl

T 3313

T 3313

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2015

ISBN 978-3-8167-9444-8

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

**BAM**

Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung

FORSCHUNGSBERICHT

Numerische und versuchstechnische Untersuchungen zur Anwendung von reaktiven Brandschutzsystemen auf Zuggliedern aus Stahl

Forschende Stelle: BAM Bundesanstalt für Materialforschung
und -prüfung

Fachbereich: 7.3 – Brandingenieurwesen

Projektleiter: Dr.-Ing. Sascha Hothan
Projektbearbeiter: Ing. Dustin Häßler, Mestre, M.Sc.

Projektnummer: P 52-5-4.186-1369/11
BAM-Vorhaben (Vh 7539)

Datum: 23. Januar 2015



FORSCHUNGSBERICHT

Dieser Bericht wurde nach bestem Wissen und mit der ordentlichen Sorgfalt entsprechend dem Kenntnisstand der Autoren zum Projektstand 23.01.2015 abgefasst. Eine Haftung für die Richtigkeit der Angaben in dem Bericht wird nicht übernommen.

Impressum

Abschlussbericht:

**Numerische und versuchstechnische Untersuchungen
zur Anwendung von reaktiven Brandschutzsystemen
auf Zuggliedern aus Stahl**

2015

Herausgeber:

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Unter den Eichen 87

12205 Berlin

Telefon +49 30 8104-0

Telefax +49 30 8112029

E-Mail: info@bam.de

Internet: www.bam.de

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	III
Abstract	VII
Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XXV
Symbolverzeichnis	XXVII
Abkürzungsverzeichnis	XXIX
1 Erläuterungen zum Forschungsprojekt	1
1.1 Allgemein	1
1.2 Details zu Block 1	2
1.3 Details zu Block 2	2
1.4 Details zu Block 3	3
1.5 Aufbau des Berichtes	4
2 Literaturrecherche	7
2.1 Literaturübersicht	7
2.2 Erste Ergänzung zum Zwischenbericht	9
2.3 Für das Forschungsprojekt relevante Normen	9
3 Heißbemessung im Stahlbau	13
3.1 Bemessungswert der Materialeigenschaften	13
3.2 Bemessungswert der Einwirkungen	15
3.3 Fallbeispiel für die Ermittlung der Bemessungslast	17
4 Materialeigenschaften nach Eurocode 3	19
4.1 Material- und Umgebungskennwerte	19
4.1.1 Temperaturunabhängige Größen	19
4.1.2 Temperaturabhängige Größen	19
4.2 Erwärmungsgeschwindigkeit von Stahlbauteilen	24

5	Entwicklung eines numerischen Modells in ABAQUS	29
5.1	Geometrie des Zugstabes	29
5.2	Statisches System und Modellbildung	31
5.3	Temperaturmodell (Heat)	32
5.4	Strukturmodell (Structural)	38
5.4.1	Auflagerungsbedingungen	38
5.4.2	Strukturmodell A – Instationärer Warmzugversuch ($\sigma = \text{konst.}$) . . .	42
5.4.3	Strukturmodell B – Stationärer Warmzugversuch ($\vartheta = \text{konst.}$) . . .	45
6	Bestimmung der Hochtemperatureigenschaften des Stahls der Zugglieder mit Kreisvollprofil (KVP D20)	49
6.1	Stahlsorten	49
6.2	Stahlprobekörper	49
6.3	Blankstahl	50
6.4	Versuchsumfang	51
6.5	Herstellung der Versuchskörper	52
6.6	Chemische Zusammensetzung des Stahls	53
6.7	Bestimmung des Elastizitätsmoduls	55
6.7.1	Definition des E-Moduls	55
6.7.2	Bestimmung des E-Moduls mittels Resonanzverfahren	56
6.7.3	Bestimmung des E-Moduls aus den Zugversuchen	58
6.8	Bestimmung der Spannungs-Dehnungs-Kennlinien	61
6.8.1	Probenbezeichnung	61
6.8.2	Stationäre und instationäre Zugversuche	62
6.8.3	Zugversuche unter Raumtemperatur	63
6.8.4	Zugversuche bei erhöhter Temperatur	67
6.8.5	Vergleich der Abminderungsfaktoren	71
6.9	Bestimmung des Wärmeausdehnungskoeffizienten	78
6.9.1	Bestimmung mittels Schubstangen-Dilatometer	78
6.9.2	Bestimmung des Wärmeausdehnungskoeffizienten aus den Zugversuchen	80
6.9.3	Vergleich der Ergebnisse aus der Dilatometeruntersuchung und den Zugversuchen	81

7	Voruntersuchungen an unbelasteten Stahlprofilen	83
7.1	Zielsetzung	83
7.2	Aufbau und Herstellung der Probekörper	83
7.3	Messung der Schichtdicken	86
7.4	Aufbau der Brandversuche	90
7.5	Verlauf der Brandversuche	93
7.5.1	Brandversuch der Probekörper V1 und V2	93
7.5.2	Brandversuch der Probekörper V3, V4 und V7	98
7.6	Auswertung der Brandversuche	103
7.6.1	Entwicklung der Brandgastemperaturen über die Versuchsdauer	103
7.6.2	Entwicklung der Stahltemperaturen über die Versuchsdauer	104
7.6.3	Probekörper V1 und V2 – Schichtdicken und Risse	106
7.6.4	Probekörper V3, V4 und V7 – Schichtdicken und Risse	110
7.7	Zusammenfassung der Ergebnisse der Voruntersuchungen	114
8	Brandversuche an zugbeanspruchten Stahlprofilen mit reaktiver Brandschutzbeschichtung	115
8.1	Allgemeine Informationen	115
8.2	Zielstellung	115
8.3	Versuchsprogramm	116
8.4	Aufbau der Versuchskörper	117
8.4.1	Oberflächenrauheit der Versuchskörper	119
8.4.2	Messung der Schichtdicken des reaktiven Brandschutzsystems	120
8.5	Versuchsaufbau und Kalibrierung der Prüfeinrichtung	121
8.5.1	Ermittlung der Nachgiebigkeit des Belastungsrahmens	123
8.5.2	Untersuchungen zum Drift-Verhalten des Hydraulikzylinders	125
8.6	Versuchsdurchführung	126
8.7	Auswertung der Brandversuche	127
8.7.1	Kreisvollprofil KVP D20 - Versuchsreihe a - c	127
8.7.2	Kreisvollprofil KVP D30 - Versuchsreihe d	131
8.7.3	Kreishohlprofil KHP D60,3 × 8,8 - Versuchsreihe f - g	132
8.7.4	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Brandversuchen	134

9	Numerische Analyse von Zuggliedern mit reaktiver Brandschutzbeschichtung	137
9.1	Modellbildung	137
9.1.1	Temperaturmodell	138
9.1.2	Strukturmodell	140
9.2	Strukturmodell A - Überprüfung der Materialmodelle	143
9.3	Strukturmodell B - Nachrechnung der Brandversuche	145
9.3.1	Nachrechnung des Brandversuches des Versuchskörpers B9	146
9.3.2	Zusammenfassung der Ergebnisse aus der numerischen Simulation	153
10	Empfehlungen für die Durchführung von Brandversuchen an Zuggliedern mit reaktivem Brandschutzsystem	155
10.1	Prüfprogramm	155
10.2	Versuchskörper	157
10.3	Temperaturmessung / Thermoelementapplikation	158
10.4	Brandraum	159
10.5	Zugbelastung und Prüfraumen	160
10.6	Versuchsauswertung und Ergebnisdarstellung	161
10.7	Beurteilungs- und Tragfähigkeitskriterium	162
11	Literaturverzeichnis	165
12	Anhang	169
12.1	Übersicht zu den existierenden Zulassungen für reaktive Brandschutz- und Zugstabsysteme	169
12.2	Recherchierte Literatur mit Relevanz für das Forschungsvorhaben	172
12.3	Ergebnisse der Materialuntersuchungen des Blankstahls	179
12.4	Temperaturentwicklung der Versuchskörper aus den Brandversuchen im Realmaßstab	186
12.5	Datenblätter zu den Brandversuchen im Realmaßstab	210