

C. Könke, J. P. Bergmann, M. Ganß
J. Hildebrand, M. Kuhne, S. Hammer, Y. Ali

**Zustandsmonitoring von mit
Kohlefaserlamellen verstärkten
Stahlverbindungen unter Einsatz
integrierter Fasersensorik
Intelligentes CFK-Pflaster**

F 3103

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. 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.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2018

ISBN 978-3-7388-0242-9

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

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



Materialforschungs- und
-prüfanstalt an der
Bauhaus-Universität Weimar



Zustandsmonitoring von mit Kohlefaserlamellen verstärkten Stahlverbindungen unter Einsatz integrierter Fasersensorik

„Intelligentes CFK-Pflaster“

Endbericht



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



FORSCHUNGSINITIATIVE
Zukunft BAU

Endbericht: Zustandsmonitoring von mit Kohlefaserlamellen verstärkten Stahlverbindungen unter Einsatz integrierter Fasersensorik

„Intelligentes CFK-Pflaster“

Forschungsstellen:

Materialforschungs- und -Prüfanstalt
an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA)
Coudraystraße 4/9
99423 Weimar

Fachgebiet Fertigungstechnik (IFT),
Technische Universität Ilmenau
Gustav-Kirchhoff-Platz 2
98693 Ilmenau

Projektleitung und Mitarbeit:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. C. Könke (MFPA)
Univ.-Prof. Dr.-Ing. J.-P. Bergmann (IFT)
Dr.-Ing. M. Ganß (MFPA)
Dr.-Ing. J. Hildebrand (IFT)
Dr. rer. nat. M. Kuhne (MFPA)
S. Hammer M.Sc. (IFT)
Yarop Ali M.Sc. (IFT)

Projektpartner/Projektunterstützer:

Advanced Optics Solutions GmbH
FBGS Technologies GmbH
RSB Rudolstädter Systembau GmbH
Sika Technology AG
S&P Clever Reinforcement GmbH

Laufzeit: 01.08.2016-31.07.2018

Aktenzeichen: SWD 10.08.18.7-16.24

**Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative ZukunftBau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumplanung gefördert.
(Aktenzeichen: SWD 10.08.18.7-16.24)**

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Weimar, den 01.08.2018

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzfassung	4
2. Einleitung und Motivation	5
2.1. Ausgangssituation – Nutzung von CFK-Lamellen zur Sanierung von Stahlkonstruktionen	5
2.2. Faseroptische Sensoren und Messsysteme	6
2.2.1. Faser-Bragg-Gitter-Sensoren	6
2.2.2. Verteilt-messende Systeme / optische Rückstreureflektometer	8
2.3. Gegenstand des Forschungsvorhabens	9
3. Materialien, Experimentelle Arbeiten und Methoden.....	11
3.1. Untersuchte Klebstoffe und Herstellung der Klebverbindungen.....	11
3.1.1. Herstellung der Laborprobekörper.....	12
3.1.2. Herstellung der Bauteildemonstratoren	13
3.2. Verwendete Sensoren und Messtechnik	14
3.2.1. FBG-Sensoren und Messtechnik.....	14
3.2.2. Frequenzbereichsreflektometrie (OFDR).....	14
3.2.3. Sensorkonfektionierung.....	14
3.3. Bildgebende Verfahren zur Charakterisierung der Sensoreinbettung und Schädigung	14
3.3.1. Lichtmikroskopie	14
3.3.2. Röntgen-Computer-Tomographie (X-CT)	15
3.3.3. Puls-Phasen-Thermographie.....	15
3.4. Mechanische Untersuchungen an den Stahl-CFK-Klebverbindungen unter Nutzung von faseroptischen Sensoren.....	15
3.4.1. Zugversuche an Klebstoffsubstanzproben.....	15
3.4.2. Zugversuche an den Stahl-CFK-Klebverbindungen.....	16
3.4.3. Bauteilversuche - Biegebelastung	16
3.4.4. Modellbildung und Numerische Simulation.....	18
3.4.5. Mechanische Untersuchungen unter schwingender Belastung an Stahl-CFK-Klebverbindung	18
3.5. Klimalagerungen an den Stahl-CFK-Klebverbindungen mit in-situ Dehnungsmessungen.....	19
4. Ergebnisse der Untersuchungen – Bewertung der faseroptischen Messverfahren für Klebverbindungen unter verschiedenen Belastungen.....	21
4.1. Zugversuche an Klebstoffen und Faserauszugsversuche	21
4.2. Bewertung der Einbettung der faseroptischen Sensoren in die Klebfuge.....	22

4.3. Mechanische Untersuchungen an den Stahl-CFK-Klebverbindungen unter Zugbelastung mit faseroptischer Sensorik	24
4.3.1. Kraft-Verformungs-Verhalten der Stahl-CFK-Klebverbindungen.....	24
4.3.2. Faseroptische Dehnungsmessungen in Stahl-CFK-Klebverbindungen.....	26
4.4. Faseroptische Messung an Stahl-CFK-Klebverbindungen unter schwingender Belastung.....	32
4.5. Faseroptische Messungen an den Stahl-CFK-Klebverbindungen unter thermohygrischer Belastung in Klimalagerungen	35
4.6. Untersuchungen an den Bauteildemonstratoren.....	38
4.6.1. CFK-verstärkter HEA-Profilträger	38
4.6.2. Feldtest an einem CFK-verstärkten HEA-Profilträger	44
4.6.3. CFK-verstärkte Quadratprofile.....	46
5. Zusammenfassung und Ausblick.....	52
Quellenverzeichnis	56