

Titel

„Zustandsmonitoring von mit Kohlefaserlamellen verstärkten Stahlverbindungen unter Einsatz integrierter Fasersensorik“ („Intelligentes CFK-Pflaster“)

Anlass/ Ausgangslage

Ein neuer Ansatz zur Ertüchtigung von Stahlkonstruktionen ist die klebetechnische Applikation von Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Trotz der in der Literatur gezeigten Verstärkungspotentiale, fehlen bislang zerstörungsfreie Monitoring- und Analyseverfahren, um die Akzeptanz und das Vertrauen in strukturelle Klebung zu steigern und neue Erkenntnisse zur Lebensdauer von geklebten Stahl-CFK-Verbindungen zu generieren. In die Klebverbindung integrierte sehr dünne faseroptische Sensoren können hier helfen neue Detailkenntnisse zu den Verbundeigenschaften insbesondere zu dem Klebfugenverhalten unter komplexen Umgebungsbedingungen und Belastungen zu erlangen.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Im Vorhaben wurden die Möglichkeiten des Einsatzes von faseroptischen Sensoren für die Zustandserfassung von Stahl-CFK-Klebverbindungen experimentell und numerisch untersucht. Zum Einsatz kamen sehr dünne Faser-Bragg-Gitter-(FBG)-Sensoren und verteilt-messende Sensorfasern, bei denen die Dehnungsmessung über die Auswertung der Rayleigh-Streuung mittels Frequenzbereichsreflektometrie erfolgte. Für die Untersuchungen wurden in Stahl-CFK-Laborprobekörper und Bauteile mit aufgeklebten CFK-Lamellen FBG-Sensoren und verteilt-messenden Sensorfasern in der Klebfuge appliziert. In mechanischen Tests mit definierten Lastbedingungen und Versuchen mit thermisch-hygrischen Beanspruchungen wurden Dehnungen mit den Fasersensoren erfasst, systematisch ausgewertet und analysiert. Die Validierung der Sensordaten erfolgte hierbei mit Temperatursensoren, Kraft- und Wegdaten der Prüfmaschinen sowie mit der elektrischen Dehnungsmesstechnik, der digitalen Bildkorrelation sowie mit der numerischen Struktursimulation unter Nutzung der Finiten-Elemente-Methode. Die Einbettungscharakteristika sowie die Versagensmechanismen der Klebverbindungen wurden mit der Röntgen-Computertomografie, Lichtmikroskopie und mit Puls-Phasen-Thermografie beurteilt. Im Rahmen eines einfachen Feldtestes wurde ein Profilträger mit aufgeklebter CFK-Lamelle und integrierter Sensorik über 7 Monate im Freien gelagert und kontinuierlich Sensordaten aus dem Inneren der Verbindung erfasst und analysiert.

Fazit

Die Untersuchungen an den Stahl-CFK-Klebverbindungen und CFK-verstärkten Bauteilen mit in der Klebfuge integrierten faseroptischen Sensoren verdeutlichen, dass während der mechanischen und thermisch-hygrischen Belastung der Stahl-CFK-Klebverbindungen sehr genau und ortsauflösend lokale Dehnungen sowie inhomogene Dehnungszustände in Sensorfaserrichtung in der Klebfuge ermittelt werden können. Mit der Fasersensorik können somit tatsächliche Dehnungszustände und eine Schädigung des Verbundes in Form einer Delamination orts aufgelöst und in Echtzeit detektiert werden. Die Ergebnisse des Vorhabens liefern somit einen neuen Ansatz für die Optimierung von strukturellen Klebverbindungen auf Basis einer Detailanalyse der Klebfugen. Das Projekt schafft zudem die Grundlage für den Einsatz von faseroptischen Sensoren zur Zustandserfassung von Stahl-CFK-Klebverbindungen. Auf Basis eines dehnungsbasierten Bewertungskonzeptes können kritische Dehnungen und Überbelastungen erfasst und somit Traglastgrenzen mit Vorkenntnissen zur Struktur und / oder numerischen Berechnungen abgeschätzt werden.

Eckdaten

Forschungsstellen:

- (1) Materialforschungs- und -Prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA), Coudraystraße 4/9, 99423 Weimar
- (2) Fachgebiet Fertigungstechnik (IFT), Technische Universität Ilmenau, Gustav-Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau

Forscher / Projektleitung:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. C. Könke (MFPA)
Dr.-Ing. M. Ganß (MFPA, Projektleitung)
Dr. rer. nat. M. Kuhne (MFPA)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. J.-P. Bergmann (IFT)
Dr.-Ing. J. Hildebrand (IFT)
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

Gesamtkosten: 212.078,54 € €

Anteil Bundeszuschuss: 139.613,04 €

Projektlaufzeit: 24 Monate

BILDER/ ABBILDUNGEN:

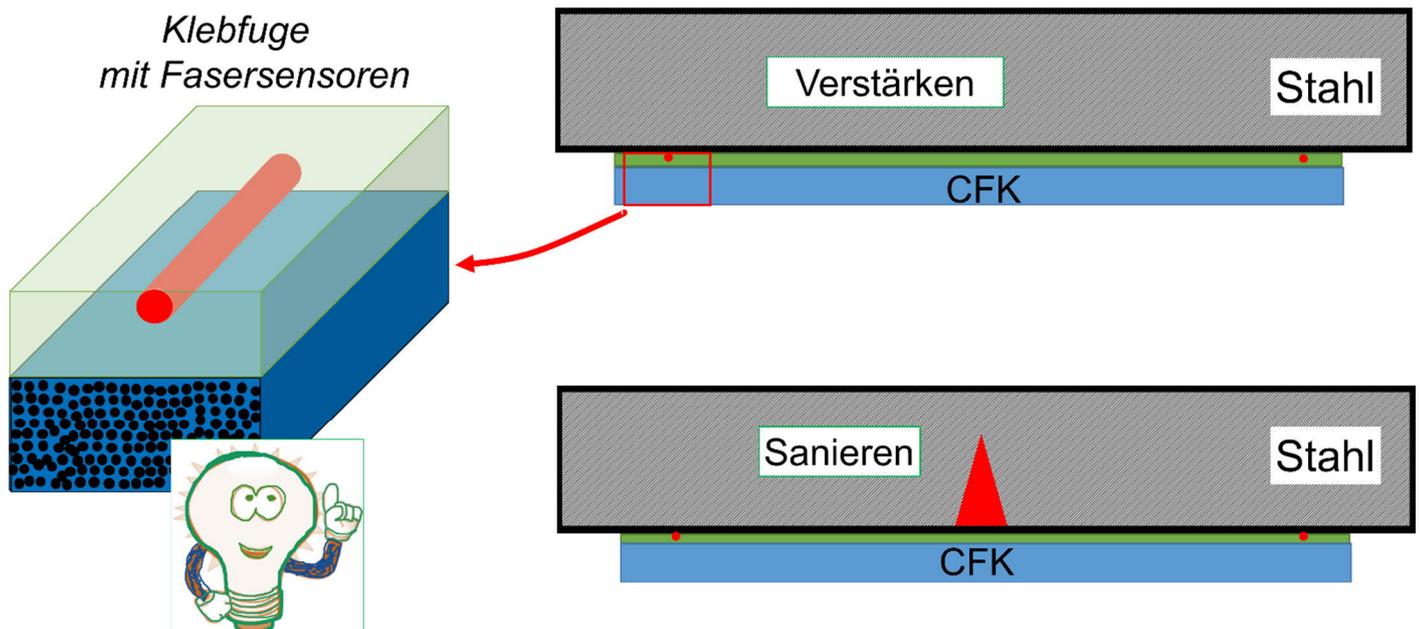


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Lösungsansatzes im Projekt „intelligentes CFK-Pflaster“

Dehnungen in einer Stahl-CFK-Klebverbindung unter Zugbelastung

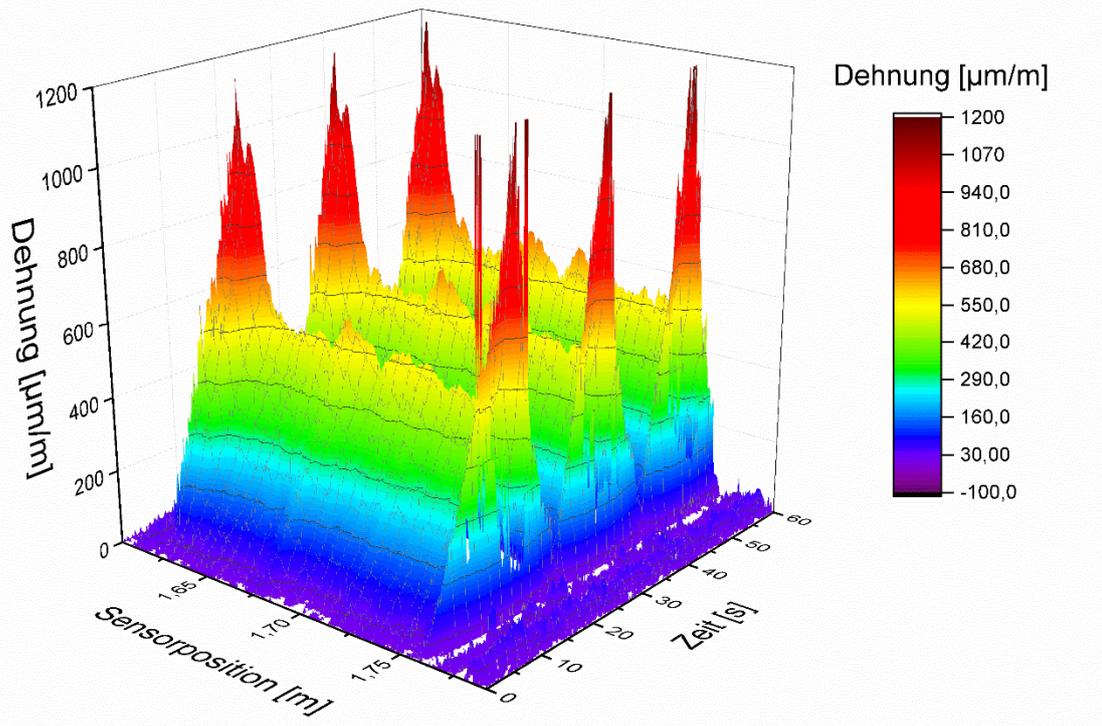


Abbildung 2: Dehnungsverteilung in einer Stahl-CFK-Klebverbindung unter zyklischer Zugbelastung (gemessen mit integrierten, verteilt-messenden faseroptischen Sensoren)

Profilträger mit aufgeklebter CFK-Lamelle / Biegebelastung

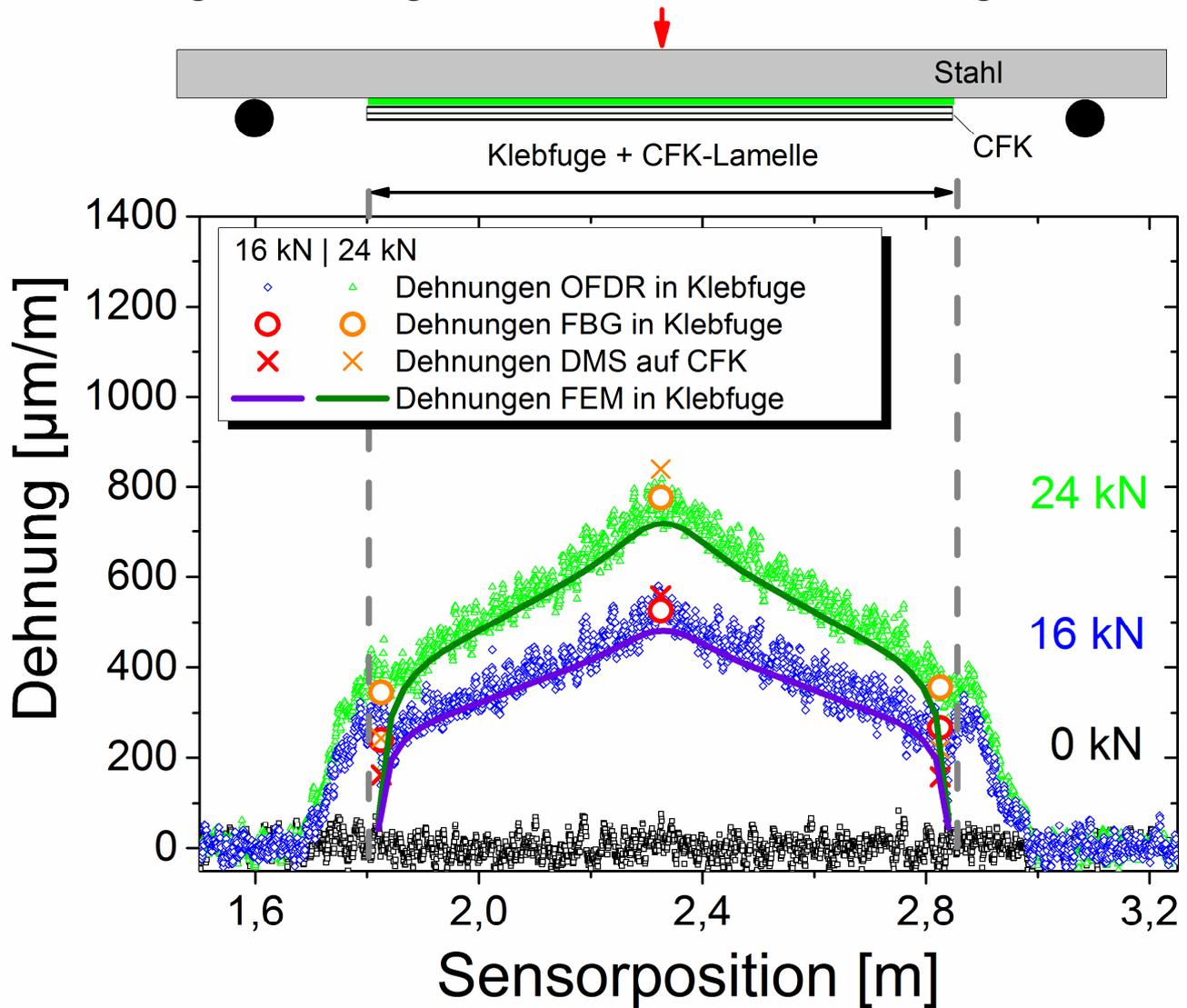


Abbildung 3: Vergleich von faseroptischen Sensordaten mit über FEM-berechneten Dehnungen eines Profilträgers mit aufgeklebter CFK-Lamelle unter Biegebelastung

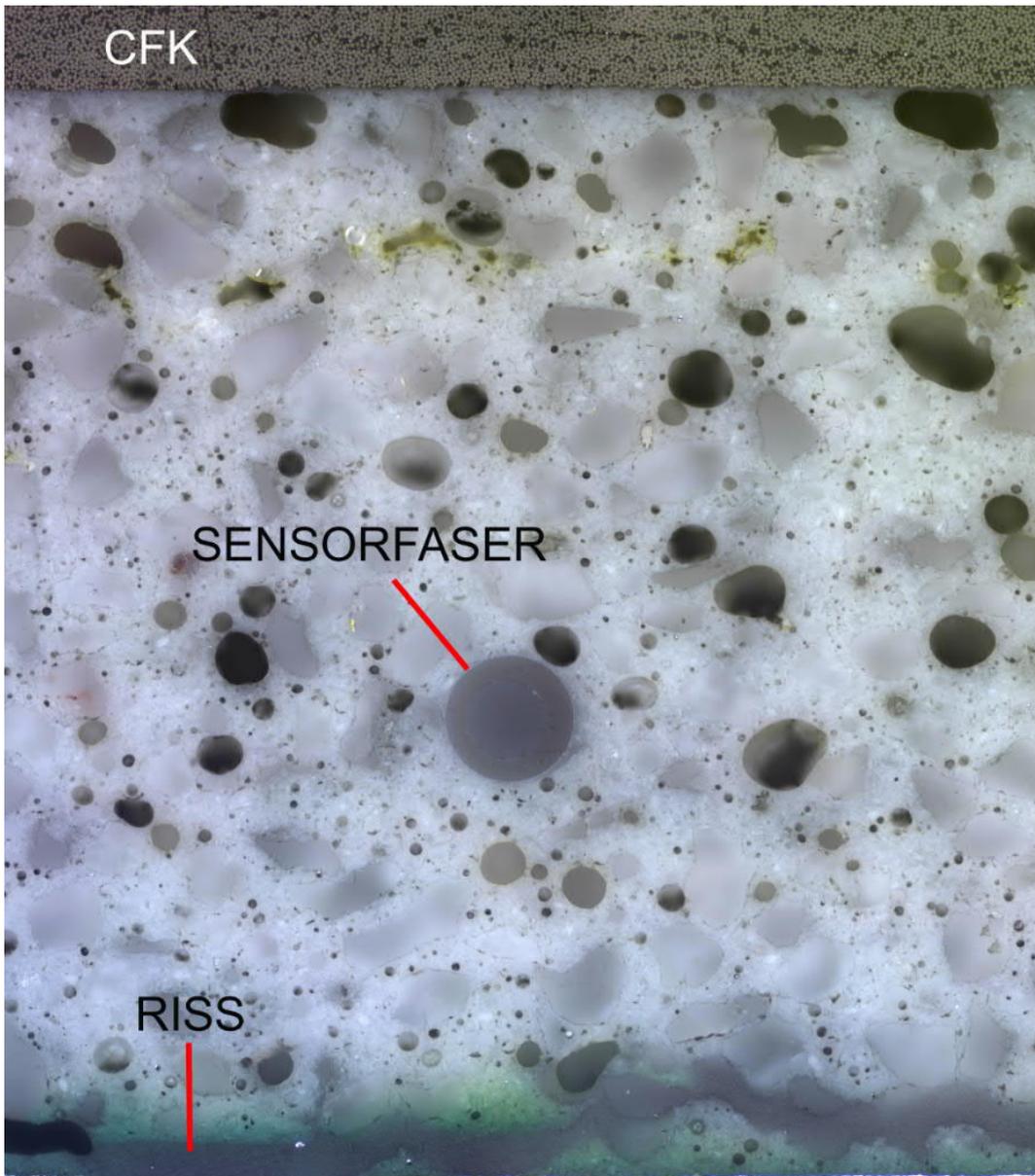


Abbildung 4: Lichtmikroskopiebild an einem Schnitt aus einer Stahl-CFK-Klebverbindung mit integrierter Sensorfaser

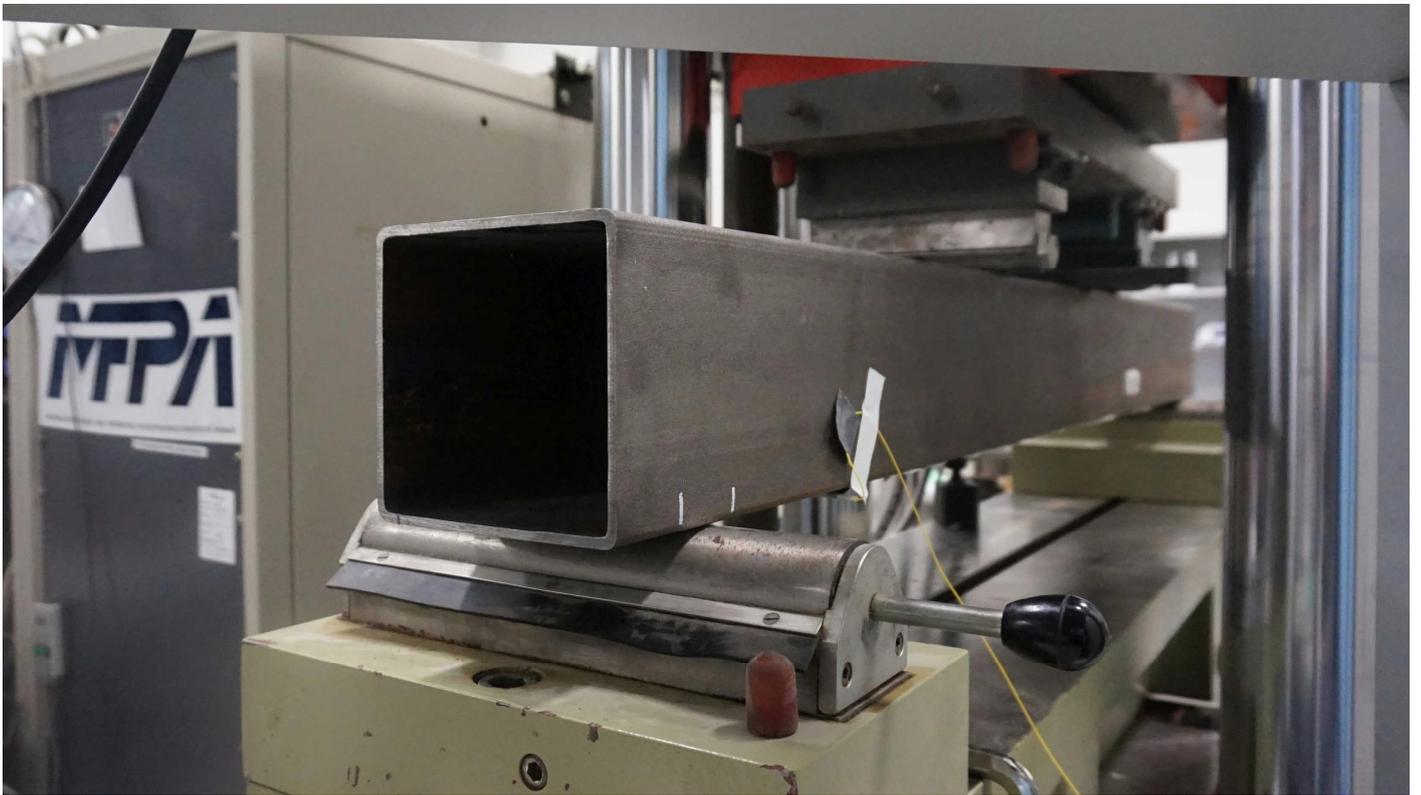


Abbildung 5: Bild des Bauteilversuchs an Quadratprofilen mit in der Zugzone aufgeklebter CFK-Lamelle und in der Klebfuge integrierten Sensorfasern