

Innovatives und effizientes Reparaturverfahren für carbonfaserverstärkte Kunststoffverbunde

Kristin KÜchler, Elias Staiger, Matthias Hübner, Rolf-Dieter Hund,
Martin Kirsten, Thomas Gereke, Chokri Cherif

ITM, TU Dresden

SmartTex-Symposium, Weimar, 01.12.2015

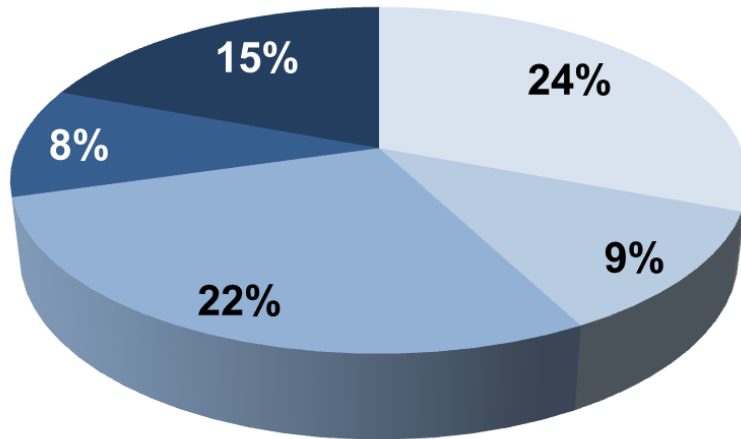


1. Einleitung

Deutliche Wachstumssteigerung im Bereich der hochfesten carbonfaserverstärkten Kunststoffe in den nächsten Jahren

2015

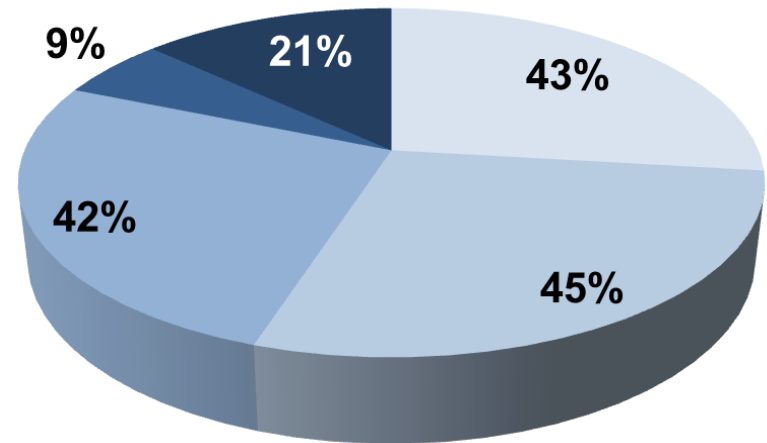
■ others
 ■ automotive & transport
 ■ wind energy
 ■ sports
 ■ aerospace



Quelle: Roland Berger Studie

2020

■ others
 ■ automotive & transport
 ■ wind energy
 ■ sports
 ■ aerospace



Quelle: Roland Berger Studie

Wachstumsprognose für CFK-Sektor

Erhöhte Nachfrage an spezifischen Reparatur- und Recyclingkonzepten

1.1 Standardverfahren für die Reparatur von CFK-Bauteilen

Schadensereignis

Schäden durch Auswirkungen, Absturz, bei der Wartung, Sonderlastfälle, Materialermüdung, Herstellungsfehler, Erosion, ...

Schadensdetektion

Nach kritischer Bauteilbeanspruchung oder als Teil der Routineuntersuchungen mittels zerstörungsfreier Prüfungen (ZfP)

Schadensanalyse

Bestimmung des Schadensausmaßes

Notwendigkeit und Möglichkeit der Reparatur werden bewertet, sowie Wirtschaftlichkeit einer Reparatur

Schadensbewertung

Auswahl eines geeigneten Reparaturverfahrens

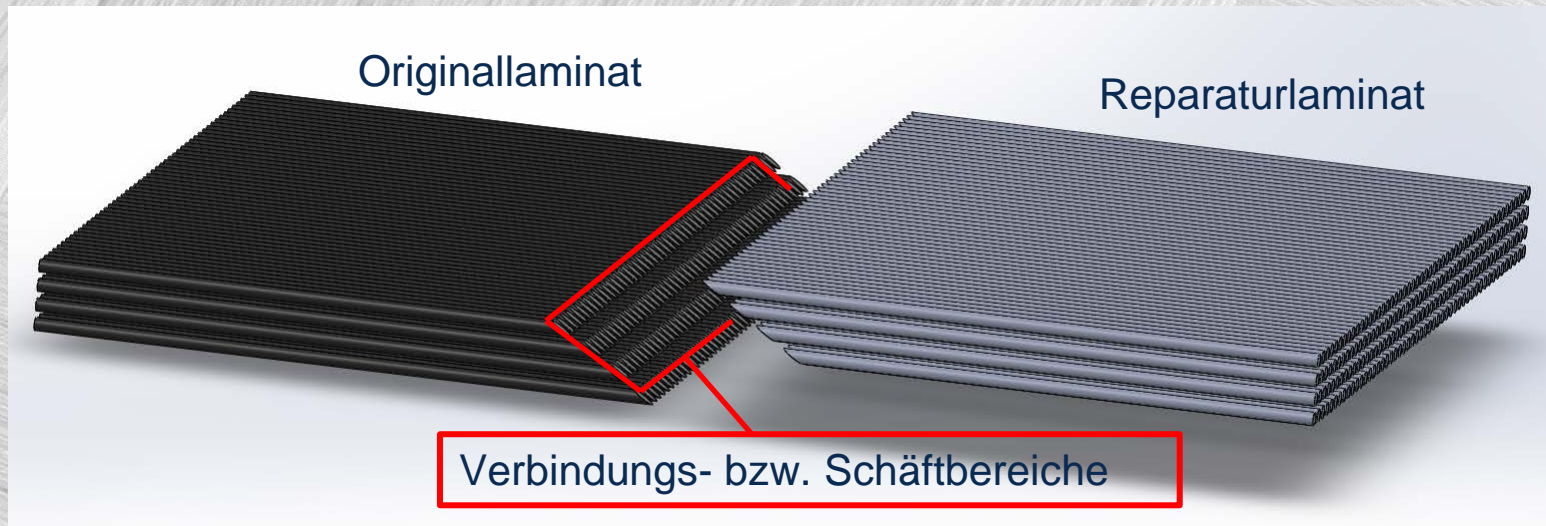
Reparatur

1.2 Bisherige Reparaturverfahren

Schadens-
analyse

Schadens-
bewertung

- Bestimmung des Schadensausmaßes
- Bewertung nach Notwendigkeit, Möglichkeit und Wirtschaftlichkeit der Reparatur
- Keine vollständige Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit des CFK-Bauteils
- Auswahl einer geeigneten Reparaturmethode je nach der Beschädigung und der Teilgeometrie des CFK → häufig verwendete Methoden:
 - 1) Reparatur durch Schäften

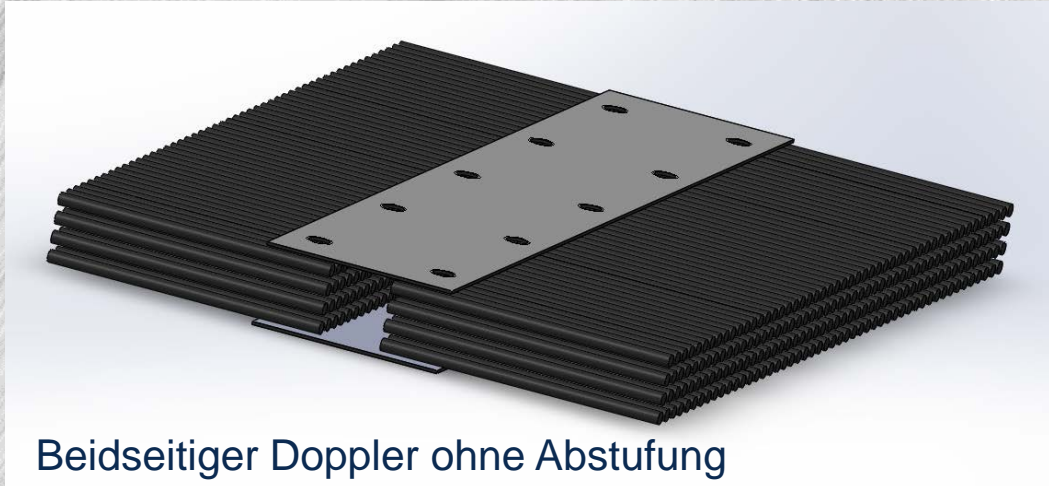


1.2 Bisherige Reparaturverfahren

Schadens-
analyse

Schadens-
bewertung

2) Reparatur durch Aufbringen von Dopplern



Beidseitiger Doppler ohne Abstufung



Beidseitig gestufter Doppler

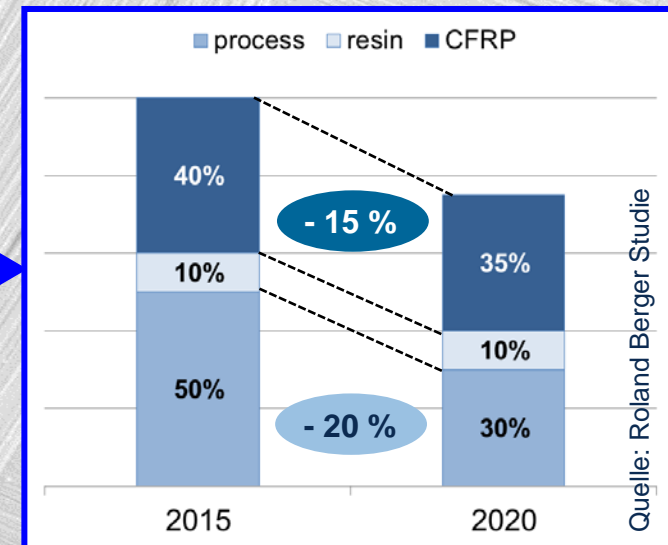
1.3 Leistung und Einschränkung bestehender Reparaturverfahren

Schadens-
analyse

Schadens-
bewertung

- Defizite der bisherigen Reparaturmethoden:
 - Aktuelle Reparaturmethoden mit hohem manuellen Aufwand
 - Ungenügende Reproduzierbarkeit
 - Ursprüngliche Verbundparameter nicht wieder erreicht
 - Kostendruck für die Auswahl und Durchführung wirtschaftlicher Reparaturmaßnahmen ist eng mit den Kosten der CFK-Produktion verbunden

- Neue kostengünstige Reparatur-systeme in angemessenen Verhältnis zu den Bauteilkosten



- Auswahl eines geeigneten Reparaturverfahrens in Abhängigkeit der Schädigung

2. Entwicklung eines lokalen, chemisch-physikalischen Reparaturverfahren für CFK

Reparatur

- Recyclingmethoden (Pyrolyse, Laser, chemisch, Oxid-Halbleiter)
- Nur über große Flächen möglich, hoher Energieverbrauch
- Halbleiter bilden gute Grundlage für Entwicklung eines CFK-Reparaturverfahren

• **Projektlaufzeit:**

01.01.2014 – 31.12.2016

• **Projektnummer:**

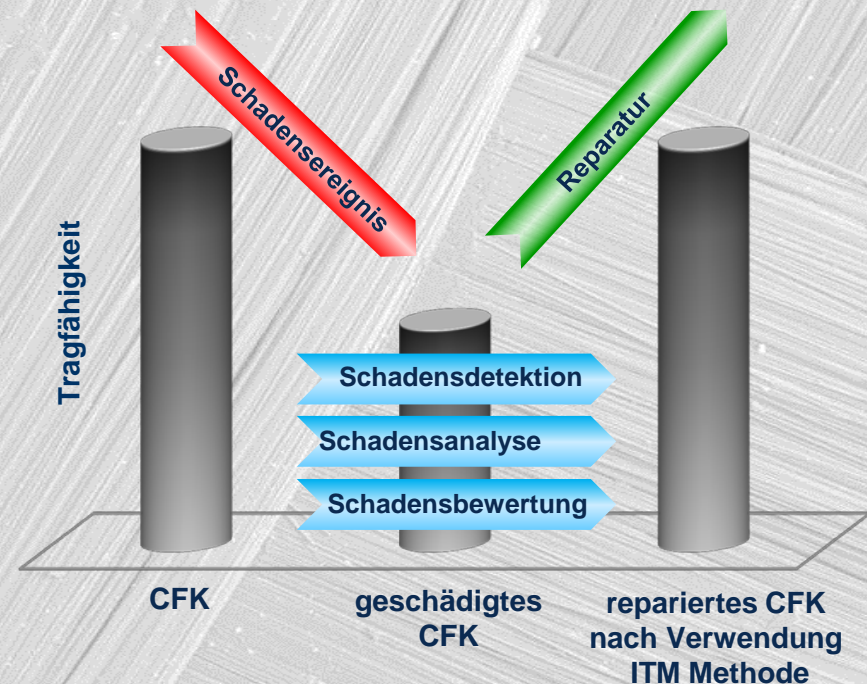
DFG CH174/36-1, DFG HU2107/4-1

• **Patent DE102013112933B4:**

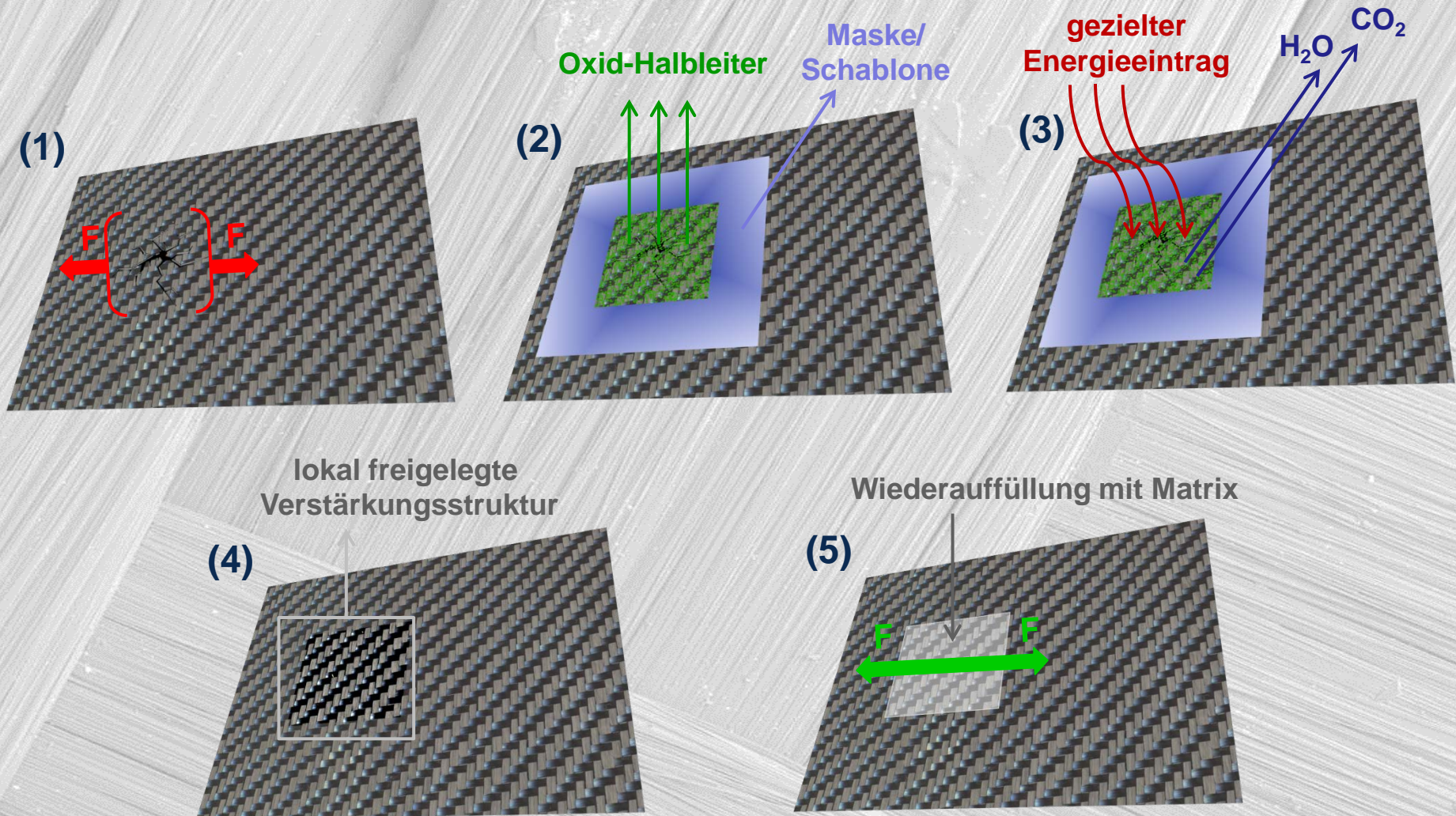
Verfahren zum Reparieren von Faser-Kunststoff-Verbänden

Forschungsschwerpunkte:

- Entwicklung eines neuen, chemisch-physikalischen Reparaturverfahrens
- Lokaler, katalytischer Matrixabbau
- Einbringung eines simulationsgestützt entwickelten Patches
- Wiederauffüllung mit Matrix



3. Durchführung





4. Ziel

- Vollständige Entfernung der Matrix im geschädigten Bereich für anschließende lokale Reparatur
→ Freilegung der Verstärkungsfasern



Der Schlüssel liegt in der Verwendung von Oxid-Halbleitern:

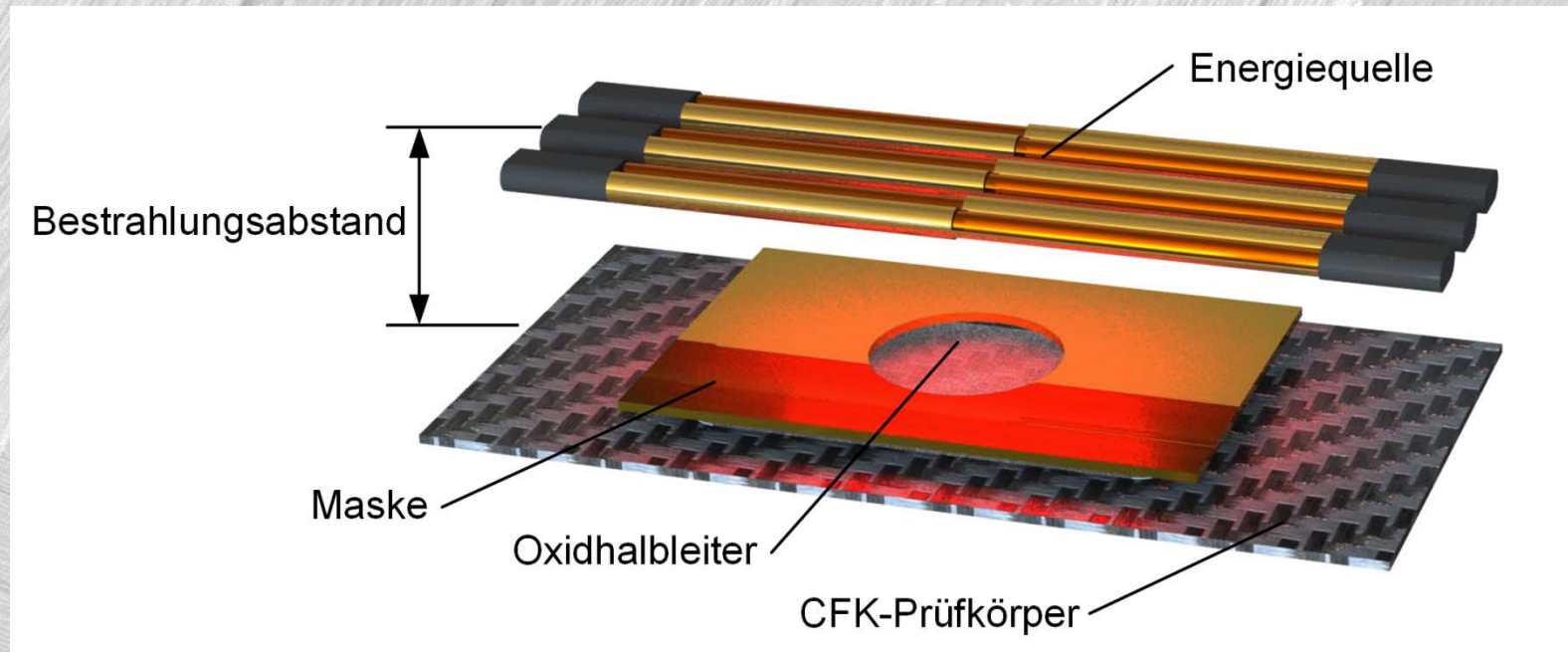
- Cr₂O₃, CeO₂, NiO, TiO₂, WO₃, MoO₃, ZrO₂, Ta₂O₅, Y₂O₃, CuO, Cu₂O, V₂O₅, SnO₂, ZnO, Co₃O₄, Fe₂O₃

- Anwendbar auf jede duroplastischen oder thermoplastischen Matrixsysteme
 - Duroplastische Matrixsysteme: Epoxid-, Phenolharze, etc.
 - Thermoplastische Matrixsysteme: PA, PET, PP, PVC, PS, ABS, etc.

5. Experiment

Reparatur

- Aufbringen pulverförmiger Halbleiter auf das CFK
- Definierter Energieeintrag → Infrarot-Wärmestrahlung
- Abschirmung des verbleibenden CFK vor themischer Belastung durch Verwendung einer Maske/Schablone

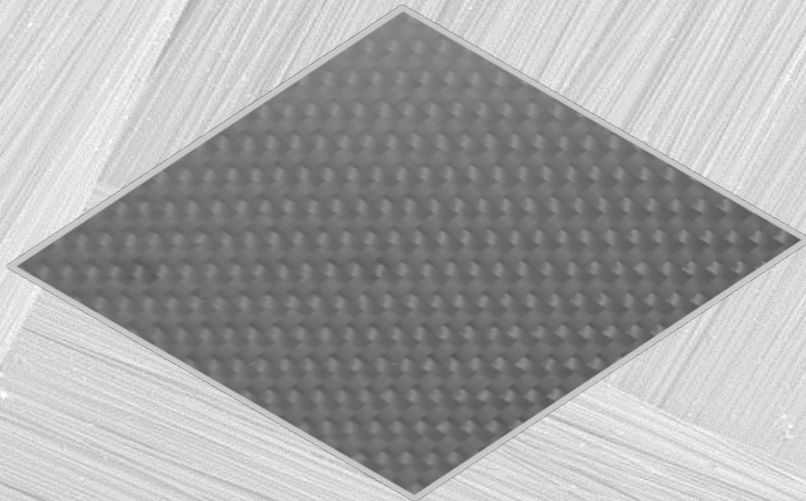


Experimenteller Aufbau zur lokalen Matrixentfernung

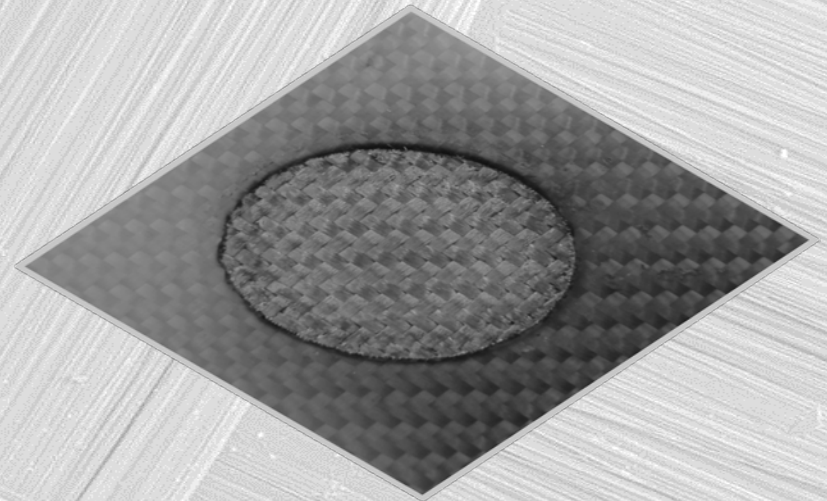
6. Ergebnis

- CFK vor und nach der Behandlung -

- Verwendung von Oxid-Halbleitern als Katalysator zur lokalen Matrixentfernung
- Radikalbildung und Ausbreitung im polymeren Substrat
- Spaltung großer Molekülketten in kleinere Fragmente
- Ende der Reaktion durch Entzug der Energiequelle



CFK vor der Behandlung

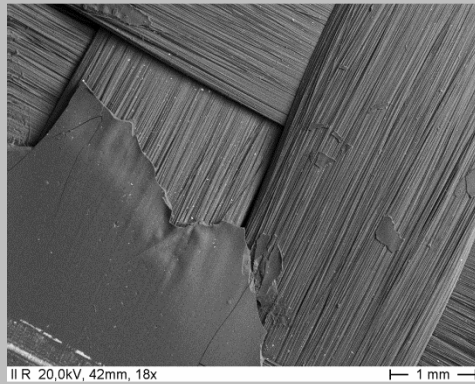


CFK nach der Behandlung mit Cr₂O₃

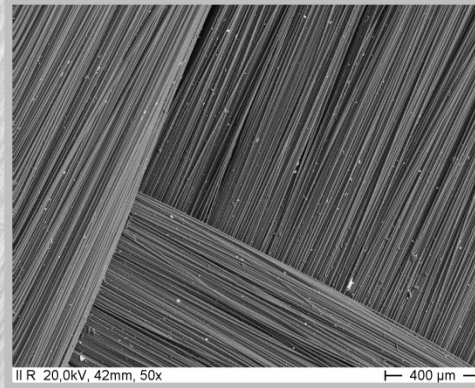


7. Charakterisierung

7.1 Rasterelektronenmikroskopie (REM)

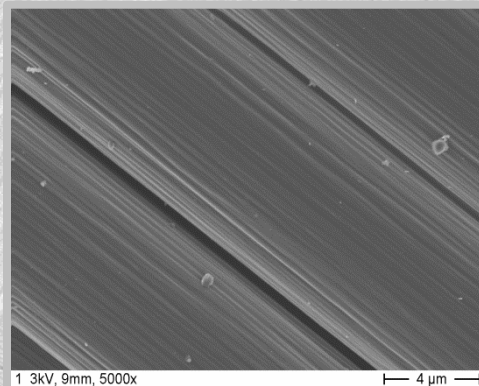


REM: CFK nach der
Behandlung mit Cr_2O_3

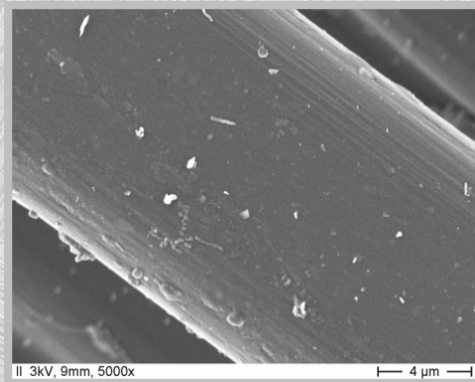


REM: CFK nach der
Behandlung mit Cr_2O_3

- Verstärkungsstruktur unbeschädigt
- Polymere Matrix vollständig entfernt
- Scharf konturiert, abgebauter Bereich
- Konturbereiche der Matrix einstellbar (kreisförmig, rechteckig, elliptisch,...)



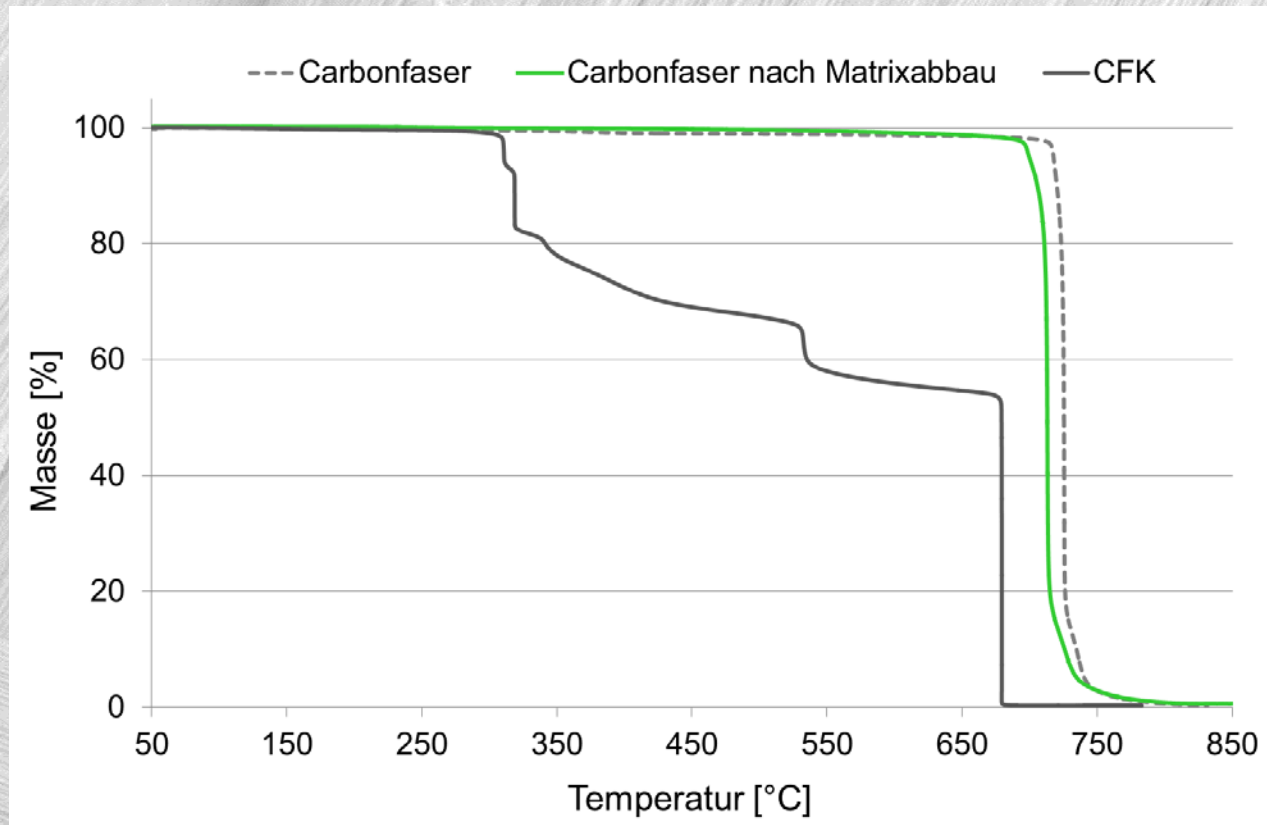
Carbonfaser vor der
Behandlung



Carbonfaser nach der
Behandlung mit Cr_2O_3

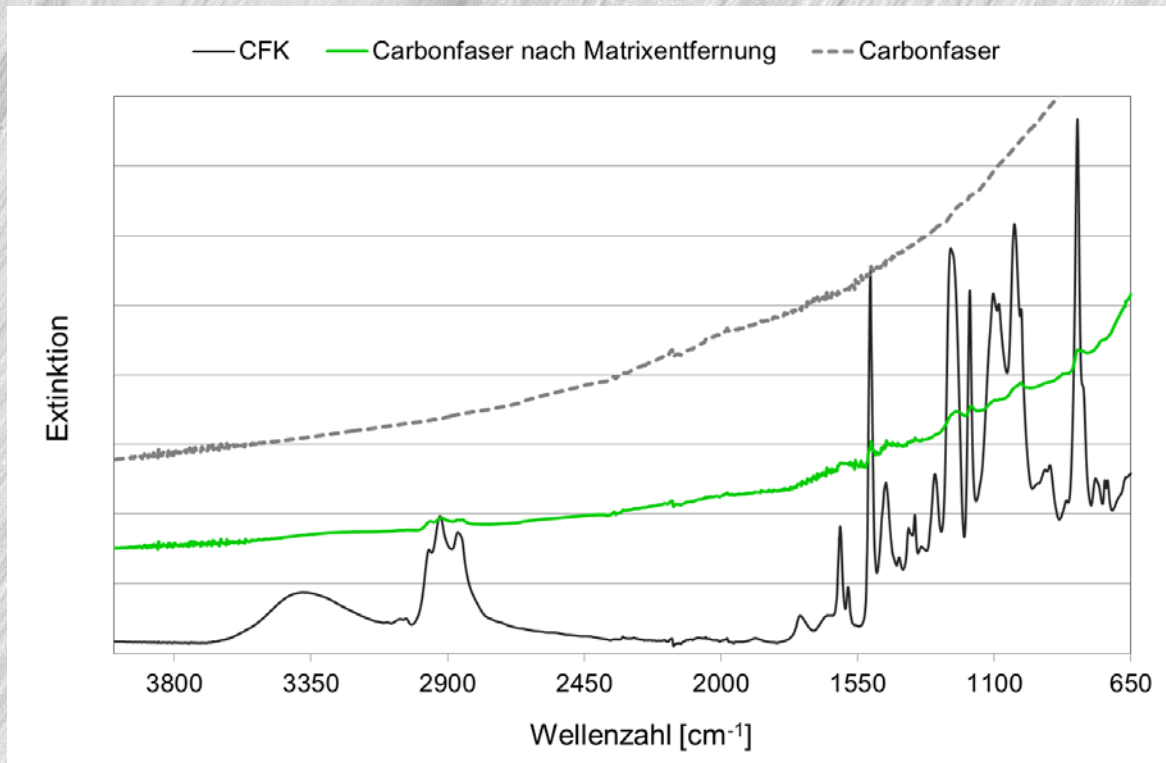
7.2 Thermogravimetrische Analyse (TGA)

Reparatur



- Vollständige Entfernung der polymeren Matrix
- Schlichte bereits bei 100 °C zerstört

7.3 Infrarotspektroskopie (IR)



CFK vor thermischer Behandlung:

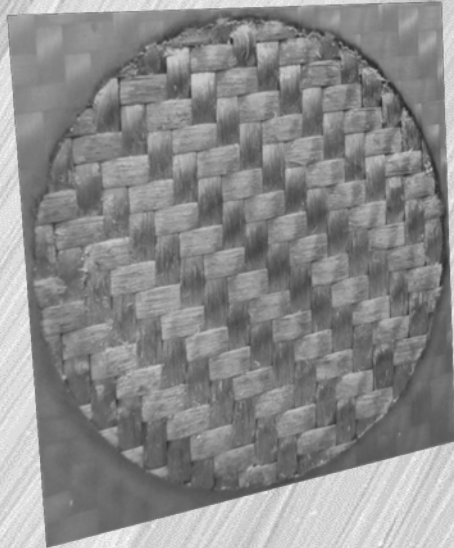
- CH und CH₂ – Valenzschwingung bei 2800 - 3000 cm⁻¹
- C-C Streckschwingung des aromatischen Rings im Bereich von 1400 und 1600 cm⁻¹
→ kann Epoxidharz zugeordnet werden

CFK nach der thermischen Behandlung mit Cr₂O₃:

- Nur sehr schwache CH und CH₂ – Valenzschwingungen im Bereich 2800-3000 cm⁻¹
- Typisches IR-Spektrum einer Carbonfaser



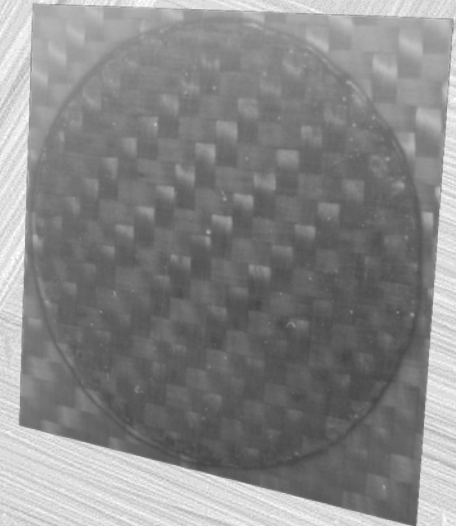
7.4 Lokale Reparatur durch Wiederauffüllung mit Epoxidharz



CFK vor der Wiederauffüllung mit Epoxidharz



CFK während der Wiederauffüllung mit Epoxidharz
→ SCRIMP-Methode
(Vakuuminfusion mit Fließhilfe)

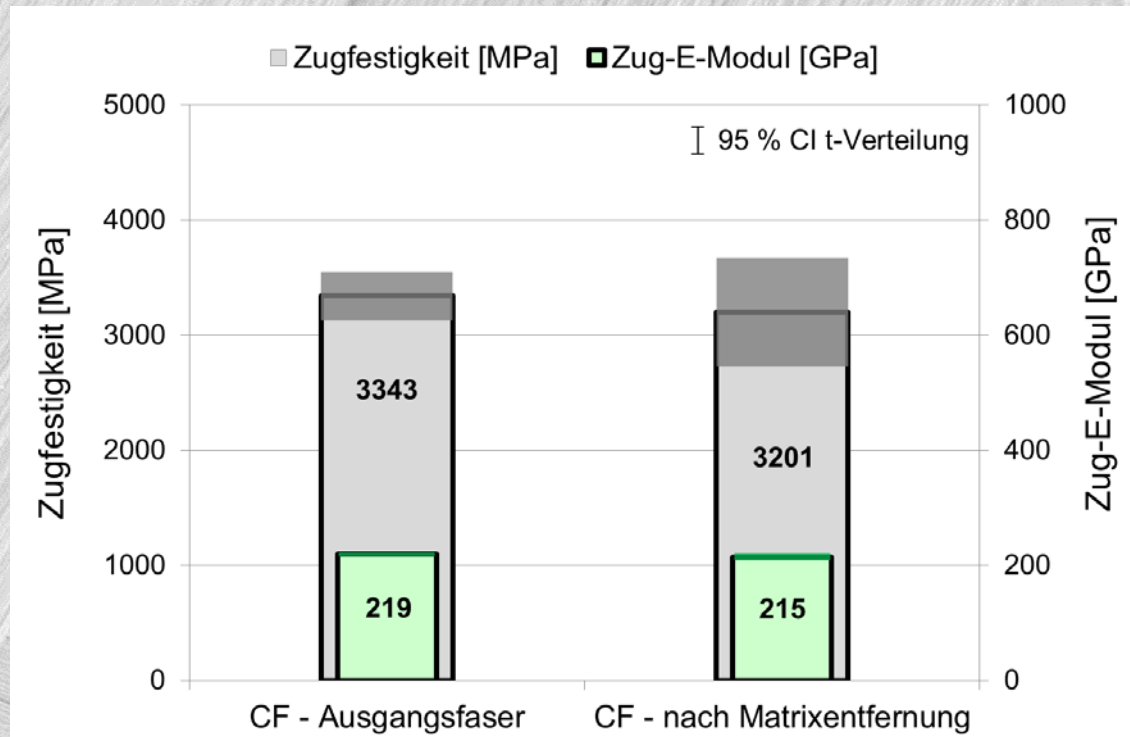


CFK nach der Wiederauffüllung mit Epoxidharz



7.5 Bestimmung mechanischer Kennwerte nach der Reparatur

- Einzelfaserzugprüfungen an CF-Proben mit lokal abgebauter Matrix

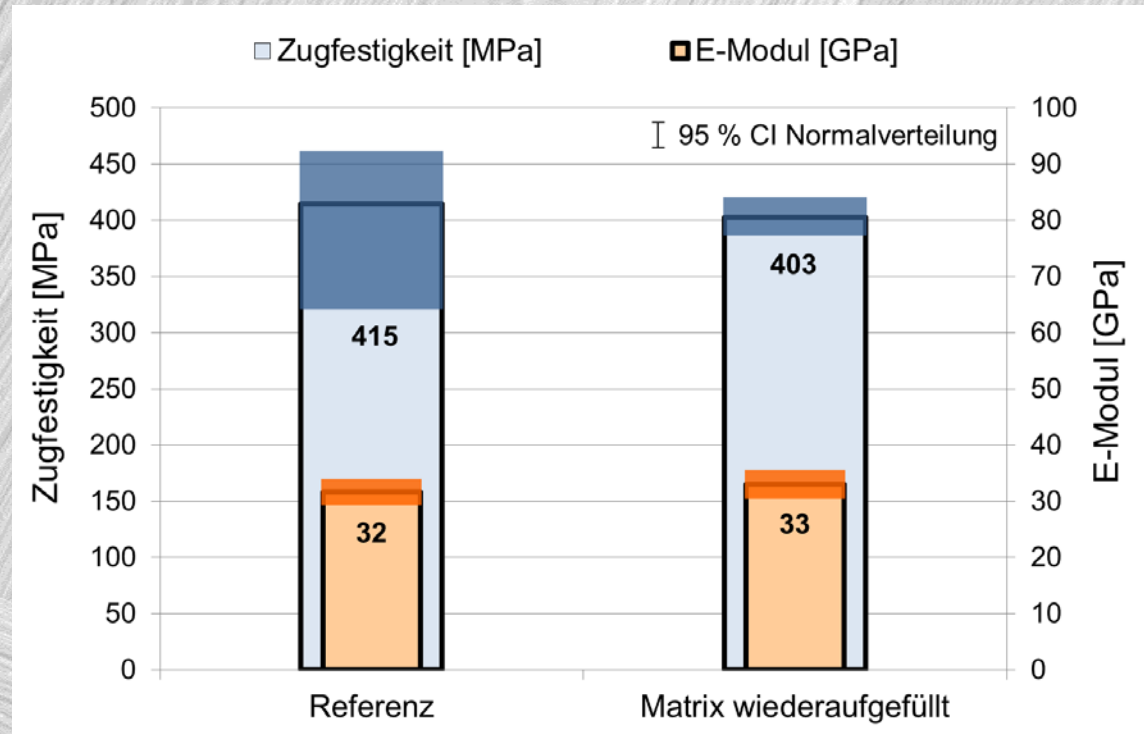


- CF nach Matrixabbau besitzen noch ca. 96 % der Zugfestigkeit
- nur sehr geringe Abnahme des E-Moduls von unter 2 %
- Schädigungen der CF aufgrund oxidativer Prozesse vernachlässigbar



7.5 Bestimmung mechanischer Kennwerte nach der Reparatur

- Bestimmung Verbundkennwerte vor und nach der Reparatur
- Zugeigenschaften der reparierten Proben sind als sehr gut zu bewerten
- Zugeigenschaften erreicht, die nahezu den Ergebnissen der Referenzproben entsprechen
- Schädigungen der CF ausschließbar



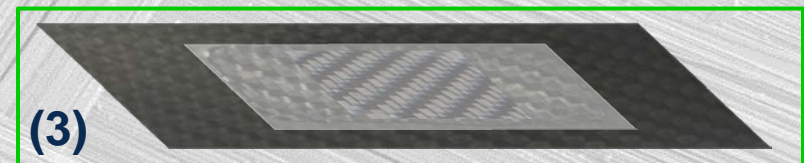
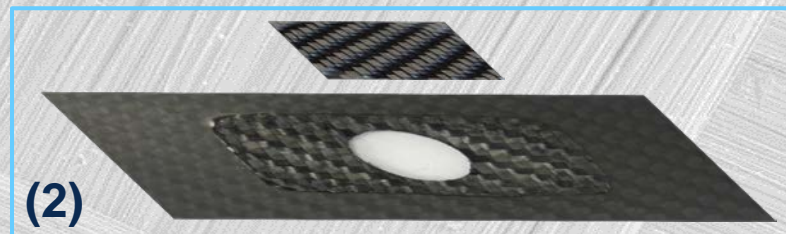
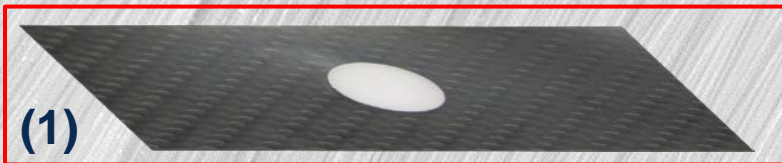
8. Zusammenfassung

- Entwicklung einer neuen chemisch-physikalischen Reparaturmethode
- Auftrag der Oxidhalbleiter im Reparaturbereich
- Katalytische Aktivierung, insbesondere durch IR-Strahlung → Matrix konturiert abbaubar
- Entfernung der Energiequelle stoppt die Reaktion/Matrixabbau
- Freigelegter Bereich und freigelegte Verstärkungsstruktur in weiteren nachfolgenden Schritten reparierbar
- Reparatur durch Wiederauffüllung mit Epoxidharz (SCRIMP-Methode)

- Neues chemisch-physikalisches Reparaturverfahren einfach in der Handhabung und kostengünstig
- Verfahren kann auch zum Recyceln verwendet werden

9. Ausblick

- Simulationsbasierte Entwicklung von maßgeschneiderte Reparaturpatches
- Anschließend wird das entsprechende Reparaturpatch in den Reparaturbereich eingebracht
- Reparaturbereich: Wiederauffüllung mit Harz (z. B. Epoxidharz)
- Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit des CFK



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!



Quelle: BMW

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Unterstützung der Forschungsarbeiten (DFG HU 2107/4-1 und DFG CH 174/36-1).

