

# Zweites Leben für Carbon

## Wiedereinsatz rezyklierter Carbonfasern in anspruchsvollen Bauteilen

Carbonfasern sind kostspielig und deshalb sehr interessant für das Recycling. Die Ergebnisse des Projekts RecyCarb ermöglichen die Mehrfachnutzung von Carbonfasern durch einen funktionellen Wiedereinsatz. Erste Demonstratoren aus der Medizintechnik und dem Automobilbau belegen die industrielle Umsetzbarkeit.

Die Wachstumsvorhersagen für carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) sind aufgrund der speziellen Eigenschaften der Carbonfasern weltweit hervorragend. Durch den höheren Verbrauch wächst auch die Menge an CFK-Abfällen. Einerseits nehmen die Produktionsreste und Ausschussteile zu, andererseits steigt ebenfalls die Anzahl der End-of-Life-Abfälle (EoL-Abfälle). Aufgrund des hohen Werts der CFK erhöht sich auch das Interesse an einem wirksamen Recycling des Materials.

Das RecyCarb genannte Forschungsvorhaben des Faserinstitut Bremen e.V. (Fibre) und des Sächsischen Textilforschungsinstitut e.V. (STFI), Chemnitz, verfolgt daher das Ziel, Carbonfasern wiederzugewinnen und den Kreislauf zu schließen. Zusammen mit vier Industrieunternehmen entwickelten die Wissenschaftler ein Verfahren, das die hochwertige Verwendung der rezyklierten Carbonfasern (rCF) in Faserverbundbauteilen der Automobil- und Luftfahrtindustrie, in Sportgeräten und in der Medizintechnik gestattet. Im Projekt konnten folgende Ziele erreicht werden:

- Upscaling des Prozesses der Vliesstoffherstellung aus rCF
- Aufbau eines prozessbegleitenden Monitorings von Qualitätsparametern
- Verarbeitung unterschiedlicher Produktionsreste und Pyrolysefasern (pur oder in Mischung mit Thermoplastfasern) im Airlay- und Krepmpelverfahren
- Mechanische Verfestigung der rCF-Vliesstoffe durch Vernadeln oder im Nähwirkverfahren (Typ Maliwatt)
- Online-Überwachung der Faserorientierung nach unterschiedlichen Prozessstufen



Carbonvliesstoffanlage des STFI mit Fallschneidemaschine (1), Reißmaschine (2), Füllschacht (3), Airlay (4), Krepmpel (5), Kreuzleger (6), Nadelmaschine (7) und Nähwirkmaschine des Typs Maliwatt (8) (© STFI)

- Prepreg-Herstellung aus rCF-Vliesstoffen und Weiterverarbeitung zu rCFK

### Anlage zum Recycling von CFK

Am Zentrum für textilen Leichtbau des STFI wurde eine Technikumsanlage zur Aufbereitung trockener Carbonfaserabfälle und der Weiterverarbeitung zu rCF-Vliesstoffen installiert (**Titelbild**). Die Carbonfaserabfälle werden zunächst mittels Fallschneidemaschine zu Langfaserrezyklaten mit einer durchschnittlichen Faserlänge von 50 bis 120 mm zugeschnitten. Anschließend erfolgen eine Faseröffnung und -vereinzeln unter Verwendung einer modifizierten Reißmaschine.

Die Vliesbildung ist entweder im Airlay- oder Krepmpelprozess möglich. Letzterer kann mit einem Kreuzleger kombiniert werden. Die Arbeitsbreite beträgt 1 m. Bei der aerodynamischen Vliesbildung mittels Airlay (mit der Vliesmaschine Airlay Card K12-direct von Autefa Solutions Germany GmbH, Friedberg) werden die Carbonfasern mithilfe eines Luftstroms wirt auf eine Unterlage, ein Siebband, abgelegt. Dadurch ergibt sich eine quasiisotrope Vliesstoffstruktur.

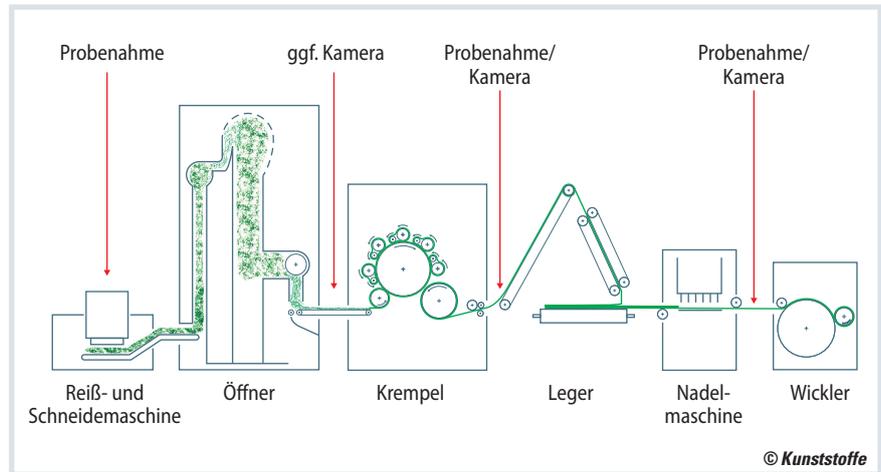
Für das Krepmpeln wird eine Krepmpelmaschine des Typs MiniCard mit einem Kreuzleger des Modells Topliner, beide Modelle ebenfalls von Autefa Solutions, kombiniert. Bei diesem Verfahren werden

die Carbonfasern über einen Tambour (Haupttrommel) und Arbeiter-Wender-Paare aufgelöst, parallelisiert und anschließend über den Kreuzleger entsprechend dem Zielflächengewicht im Zickzack-Muster abgelegt bzw. gestapelt. Dadurch ergeben sich anisotrope Vliesstoffstrukturen; die Vliesstoffe besitzen also in Querrichtung höhere Festigkeiten als in Längsrichtung.

Eine nachfolgende mechanische Inline-Verfestigung durch Vernadelung oder im Nähwirkverfahren (Typ Maliwatt) bildet den späteren Vliesstoff. Während bei der Vernadelung mit Widerhaken versehene Nadeln durch senkrecht einstechen in den Faserflor zu einer Verfestigung führen, wird beim Nähwirkverfahren ein zusätzlicher maschenbildender Nähfaden eingebracht.

### Analyseschema und zu messende Parameter

Für die als Rohware gelieferten rCF-Chargen wurde ein Probenentnahmeschema entwickelt, das sich an DIN EN 12751:1999 anlehnt. Die Offline-Analyse der rCF-Chargen erfolgt mittels Dia-Stron. Untersucht wurden die Einzelfilamentfestigkeit und der Elastizitätsmodul (E-Modul) in Anlehnung an DIN EN ISO 5079:1996. Die Untersuchung der Faserlängenverteilung erfolgte mittels der Software FiVer. Bei Bedarf ergänzte Rasterelektronenmikroskopie die Analyse. Die Vorschrift zur FiVer-Probenvorbereitung musste angepasst



**Bild 1.** Übersicht der Probenahmestellen im Kardierverfahren (mittels Krepel): Die Onlinekontrolle erfolgt an der Zufuhr zum Krepel (© STFI)

werden, um auch Proben mit besonders breiter Längsverteilung, wie z.B. Filterstäube aus der Anlage oder sehr inhomogene Schnitffasern, reproduzierbar beurteilen zu können. Bestanden die gelieferten oder im Prozess verwendeten Rezyklatchargen aus Rovingabschnitten, wurden sie bei 100 dpi im Flachbettscanner erfasst und mithilfe der Software Fibre-shape V5 analysiert (ausführlich beschrieben in *Kunststoffe* 11/2013, ab S. 88).

Zur Prozessüberwachung sind jeweils drei Positionen für die Offline-Probenahme sowie Online-Überwachung mittels Kameras vorgesehen (Bild 1). Offline wird die Wareneingangskontrolle durchgeführt, Proben aus Krepel- bzw. Airlayflor entnommen und schließlich der Nadelvlies-

stoff beprobt. Die Onlinekontrolle erfolgt an der Zufuhr zu Krepel bzw. Airlay (Identifikation von Kontaminationen), direkt nach Krepel bzw. Airlay (Kontrolle der Faserorientierung und Florhomogenität) sowie nach der Vernadelung (Kontrolle der Faserorientierung und Vliesstoffhomogenität). Die Verarbeitungsversuche konnten damit erfolgreich durchgeführt und analytisch begleitet werden.

Das im Rahmen dieses Projekts entwickelte Online-Messsystem basiert auf CCD-Kameratechnik (Charge Coupled Device) in Verbindung mit einer bildanalytischen Auswertesoftware, die am Fibre entwickelt wurde. Die bildanalytische Bestimmung des Längs- und Querrichtungsverhältnisses (MD/CD) erfolgt anhand »

**ETTLINGER ECO 250 Schmelzefilter**

PUMP & FILTRATION SYSTEMS ›  
 PELLETIZING SYSTEMS ›  
 PULVERIZING SYSTEMS ›  
 RECYCLING SYSTEMS ›

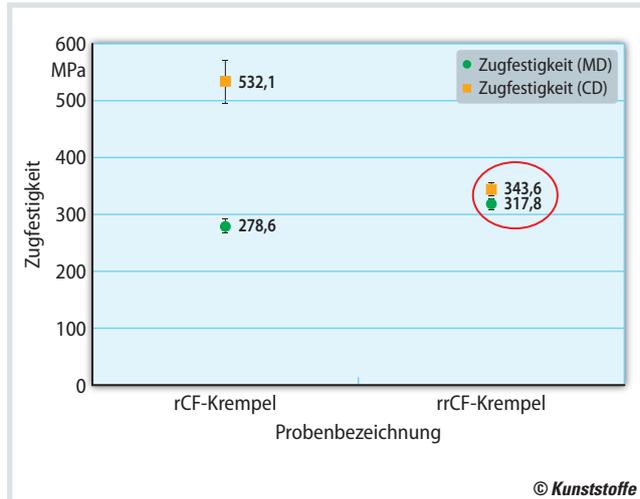
**ETTLINGER**

Mit den leistungsstarken ECO Schmelzefiltern für PET profitieren Sie von 100% sauberen Filterflächen und sparen häufige Siebwechsel. Die ECO Serie senkt Kosten bei der Herstellung von Folien, Platten, Fasern und Verpackungsbändern und erhöht den Anteil an Rezyklaten.

**MAAG** Group  
 a BENTON company

maag.com

**Bild 2.** Vergleich der Zugfestigkeit des rCF- und des rrCF-Verbunds aus kardierte Vliesstoffen (MD = Machine Direction, in Maschinenlaufrichtung; CD = Cross Direction, in Querrichtung)  
(Quelle: STFI)



der Filamentorientierungsverteilung, die als Histogramm dargestellt wird (ausführliche Beschreibung in [1]).

### Herstellung der Vlies- und Verbundwerkstoffe

Das STFI entwickelte sowohl im Airlays als auch im Krempelverfahren rCF-Vliesstoffe mit einer Flächenmasse von insge-

samt 300 g/m<sup>2</sup>. Die Möglichkeit eines Recyclings durch die Aufbereitung eigener Vliesstoffabfälle und deren erneute Zuführung zum Vliesstoffprozess wurde ebenfalls untersucht. Dadurch entstanden sogenannte re-recycelte Vliesstoffe (rrCF-Vliesstoffe) mit Flächenmassen von 100 bis 250 g/m<sup>2</sup>. Danach erfolgte eine Imprägnierung der Vliesstoffe mit Epoxidharz im Handlaminierverfahren und anschließend die Verpressung auf 2 mm, unter Verwendung einer hydraulischen Oberkolbenpresse. Die dadurch entstandenen Lamine wurden hinsichtlich ihrer Zug- (gemäß DIN EN ISO 14125) und Biegefestigkeit (gemäß DIN EN ISO 527-4/1b/2) überprüft.

### Ergebnisse der Untersuchung

Die ermittelten mechanischen Kennwerte wurden mit den Resultaten der Bildanalyse des Krempelflors verglichen. Die Ergebnisse und Produktionsparameter sind in der **Tabelle** zusammengefasst. **Bild 2** zeigt die Ergebnisse der Zugprüfung der hergestellten Verbunde. Deutlich ersichtlich ist, dass die rCF-Vliesstoffvariante in 90°-Richtung eine höhere Zugfestigkeit und somit eine deutliche Querorientierung der Fasern im Verbund aufweist. Die rrCF-Variante dagegen zeigt eine Art Isotropie (rot markiert). Die Längs- und Querfestigkeiten weisen keinen deutlichen Unterschied zueinander auf; eine Faserorientierung in Querrichtung ist somit nicht erkennbar. Die Quasiisotropie des rrCF-Verbundes bestätigt die in der Offline-Bildanalyse ermittelten Werte. Sie lässt sich durch eine höhere Abzugsgeschwindigkeit des Legers begründen,

bedingt durch die kürzere Faserlänge der erneut rezyklierten Fasern.

Um die Isotropie des Verbundes zu überprüfen, wurden zusätzlich Zugprüfproben in 45° sowie Biegeproben in den Winkeln 0°, 30°, 45° und 60° aus der rrCF-Platte entnommen. Der Wert der Zugprobe in 45°-Richtung lag mit 304,5 MPa ungefähr auf dem Niveau der 0°- und 90°-Biegeprobe. Die Ergebnisse der Biegeproben liegen alle im Bereich 350 bis 400 MPa und bestätigen die isotrope Struktur des Verbundes und somit des Vliesstoffs. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass die im Laminat ermittelten MD/CD-Verhältnisse für die Varianten rCF-Krempel und rrCF-Krempel den im Bildverfahren ermittelten MD/CD-Verhältnissen entsprechen (**Tabelle**). Die Bildanalyse ist somit für die Ermittlung der Faserorientierung geeignet.

### Verfahren auch im Industrieinsatz anwendbar

Bei den Industriepartnern wurden im Anschluss Demonstratoren hergestellt, die die industrielle Umsetzbarkeit des Verfahrens sowie die wirtschaftliche Verwertbarkeit der rCFK zeigen. Eine bei der Firma Schmuhl Faserverbundtechnik GmbH & Co. KG, Liebschütz, entwickelte Liege für einen Computertomografen (**Bild 3**) besteht aus vier Lagen rCF-Vliesstoff mit 400 g/m<sup>2</sup>. Er wurde im Kardiervverfahren hergestellt und im Nähwirkverfahren ver-

## Die Autoren

**Dr. Holger Fischer** beschäftigt sich mit Naturfasern und Biocomposites am Faserinstitut Bremen e.V. (Fibre), Bremen.

**Dr. Andrea Miene** ist am Fibre im Bereich Bildanalyse tätig.

**Katharina Heilos** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Sächsischen Textilforschungsinstitut e.V. (STFI).

**Marcel Hofmann** leitet das Zentrum für textilen Leichtbau am STFI.

## Dank

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die im Förderprogramm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ erfolgte finanzielle Förderung des Vorhabens mit den Förderkennzeichen 03ZZ0608A...M.

## Service

### Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2019-11](http://www.kunststoffe.de/2019-11)

Probe	rCF, Krempel	rrCF, Krempel
Flächenmasse Vliesstoff [g/m <sup>2</sup> ]	300	100
Lagenanzahl/Grammatur gesamt	6 / 1800	18 / 1800
Zugfestigkeit (0°, MD) [MPa]	279	318 <sup>a</sup>
Zugfestigkeit (90°, CD) [MPa]	532	344 <sup>a</sup>
E-Modul (0°, MD) [MPa]	50	29
E-Modul (90°, CD) [MPa]	26	34
MD/CD-Verhältnis Zugfestigkeit	0,52	0,92
MD/CD-Verhältnis Bildanalyse	0,30	0,88

<sup>a</sup> zusätzlich 45°: 304 MPa

**Tabelle.** Vergleich Zugfestigkeit und Offline-Bildanalyse rCF- und rrCF-Verbunde (Quelle: STFI)



**Bild 3.** CT-Liege aus rCF-Vliesstoffen: Durch den Vliesstoff können Carbon-Tapes und -Gelege ersetzt werden (© Schmuhl)

festigt. Der Einsatz dieses Vliesstoffs ermöglichte die Substitution von Carbon Tapes und -Gelegen. Dadurch ist zukünftig die Verwendung eigener, in der CFK-Produktion anfallender Verschnittreste möglich.

Beim Projektpartner Eissmann Cotesa GmbH, Mittweida, wurde ein zweiteilig geklebtes Bauteil, bestehend aus zwei Rohteilen, im Autokolavverfahren gefertigt. Der hergestellte Heckspoiler (**Bild 4**) besteht aus einer äußeren Schale als Sichtanwendung mit typischer Köpergewebeoptik und einer inneren Schale (Nichtsichtanwendung) aus rCF-Halbzeug (Prepreg). Somit wurden in den nicht sichtbaren Bereichen die Gewebelagen durch kosteneffizientere rCF-Prepregs ersetzt. Das Bauteil kommt damit auf einen rCF-Anteil von ungefähr 65 %.

#### Qualifizierte Wertschöpfungskette für Carbonfasern

Die Beispiele zeigen, dass im Forschungsvorhaben RecyCarb eine qualifizierte Wertschöpfungskette für rezyklierte Carbonfasern initiiert wurde, die eine hochwertige Verwendung dieser Fasern in anspruchsvollen Bauteilen gestattet. Die technologische Lücke zwischen verfügbaren Abfallmaterialien und deren Wiedereinsatz konnte weiter geschlossen werden. ■



**Bild 4.** Bei dem Heckspoiler kommt im Inneren ein CF-Prepreg zum Einsatz. Er besteht zu ca. 65 % aus rezyklierten Carbonfasern (© Cotesa)

Genießen Sie Ihren Tag auf der Messe!



KUNSTSTOFF  
PRODUKTE  
AKTUELL

Die branchenübergreifende Plattform für Beschaffung und Produktdesign

- **Präsentation** des kompletten Kompetenzportfolios der Kunststoffindustrie
- **Kompetente Ansprechpartner** in familiärer Messeatmosphäre
- **Rundum-Service** inklusive freiem Eintritt, Parken und Verpflegung

Jetzt kostenlose Tickets sichern mit dem Online-Code: **kpa20-dszUM**

10. – 11.03.2020  
Messe Ulm

[www.kpa-messe.de](http://www.kpa-messe.de)