

TourAtlas

RecyCarb

Nachwuchssicherung
Maschinen
Umwelt
Zukunftsprodukt
Innovations-
management
Bau
Ressourceneffizienz
Industrie 4.0
Wertschöpfungsketten
Holz
Arbeitsorganisation
Medizin
Landwirtschaft
Wissensmanagement
chemie

Zukunft unternehmen!

Unsere Anwendungsfelder



Automotive



BuildTech



InduTech



Luftfahrt



MedTech



MobilTech



SportTech



Windenergie

➤ Über das Forschungsprojekt futureTEX

Das Projekt futureTEX ist ein Gewinner im Programm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Bis 2021 arbeiten wissenschaftliche Einrichtungen, Unternehmen und Verbände an der Entwicklung wesentlicher Bausteine eines Zukunftsmodells für Traditionsbranchen. Das Projektkonsortium futureTEX verfolgt das Ziel, die führende Position bei der Umsetzung der vierten industriellen Revolution im Textilmaschinenbau und in der Textilindustrie zu erringen und damit beispielhaft bis 2030 das modernste textilindustrielle Wertschöpfungsnetzwerk Europas aufzubauen. Mit der Entwicklung eines

Zukunftsmodells werden die Forschungsschwerpunkte Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft, kundenintegrierte flexible Wertschöpfungsketten, textile Zukunftsprodukte, Wissens- und Innovationsmanagement sowie Arbeitsorganisation und Nachwuchssicherung gemeinschaftlich mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft bearbeitet. Das Konsortium umfasst aktuell über 300 involvierte Partner, darunter 70 Prozent aus der Industrie. Das Projekt futureTEX ist Preisträger im Wettbewerb „Ausgezeichneter Ort“ im Land der Ideen 2016.

➤ Abschlussdokumentation Umsetzungsvorhaben RecyCarb

Ganzheitliche verfahrenstechnische Betrachtung und prozessbegleitendes Monitoring von Qualitätsparametern bei der Aufbereitung von Carbonfaserabfällen und deren hochwertigen Wiedereinsatz in textilen Flächengebilden als Basismaterial für Faser-verbundwerkstoffe der Zukunft

Laufzeit: 1. Dezember 2016 – 30. November 2018

RecyCarb war eines von insgesamt 26 Umsetzungsvorhaben des Projekts futureTEX im Rahmen des Programms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovationen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Inhalt

Management Summary	6
Partner	7
Problemstellung und Motivation	9
Beitrag zur Realisierung der futureTEX-Ziele	10
Lösungsansatz	10
Ergebnisse	12
Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung	18
Ausblick	19



➤ Management Summary

Im Forschungsvorhaben RecyCarb hat ein Team aus zwei Instituten und vier Industriepartnern eine qualifizierte Wertschöpfungskette für rezyklierte Carbonfasern (rCF) aufgebaut, die deren qualitativ hochwertige und nachhaltige Verwendung in anspruchsvollen Faserverbundbauteilen der Automobil- und Luftfahrtindustrie sowie im Bereich der Sportgeräte oder Medizintechnik gestattet. Dies ging einher mit der weiteren Schließung der technologischen Lücke zwischen Abfallmaterialien, die bereits vor Projektstart am Markt in den unterschiedlichsten Aufmachungen verfügbar waren, und deren funktionellem Wiedereinsatz. Zur Verifizierung des technologischen Fortschritts wurden ein normgerechtes Schema zur Qualitätsbewertung der Rezyklatchargen sowie ein darauf aufbauendes prozessbegleitendes Monitoring im Sinne der Industrie 4.0 entwickelt.

Die Arbeiten umfassten Weiterentwicklungen in allen Bereichen der Prozesskette. Besonders im Fokus standen hierbei:

- Upscaling des Prozesses zur Abfallaufbereitung und Vliesstoffherstellung in industriell und wirtschaftlich relevante Maßstäbe unter besonderer Beachtung der Qualitätsanforderungen

- Aufbau eines prozessbegleitenden Monitorings von Qualitätsparametern beginnend mit der Aufbereitung der Carbonfaserabfälle bis zum hochwertigen Wiedereinsatz von rCF in geeigneten Bauteilen
- Einsatz unterschiedlicher Vliesbildungs- und -verfestigungstechnologien, erstmalige Anwendung eines kombinierten Vliesbildungsverfahrens zur Abbildung quasiisotroper Vliesstoffstrukturen
- Gezielte anwendungsorientierte Technologie- und Produktanpassungen an die spezifischen Bedingungen und unterschiedlichen Anforderungen der Endanwender

Die Ergebnisse leisten einen Beitrag zur weitgehenden Erhaltung von Fasereigenschaften und Funktionalität. Zusätzlich ermöglichen sie die Mehrfachnutzung der Funktionalität durch Wiedereinsatz sowie die weitgehende Vermeidung des Downcyclings der energieintensiv hergestellten Carbonfasern.

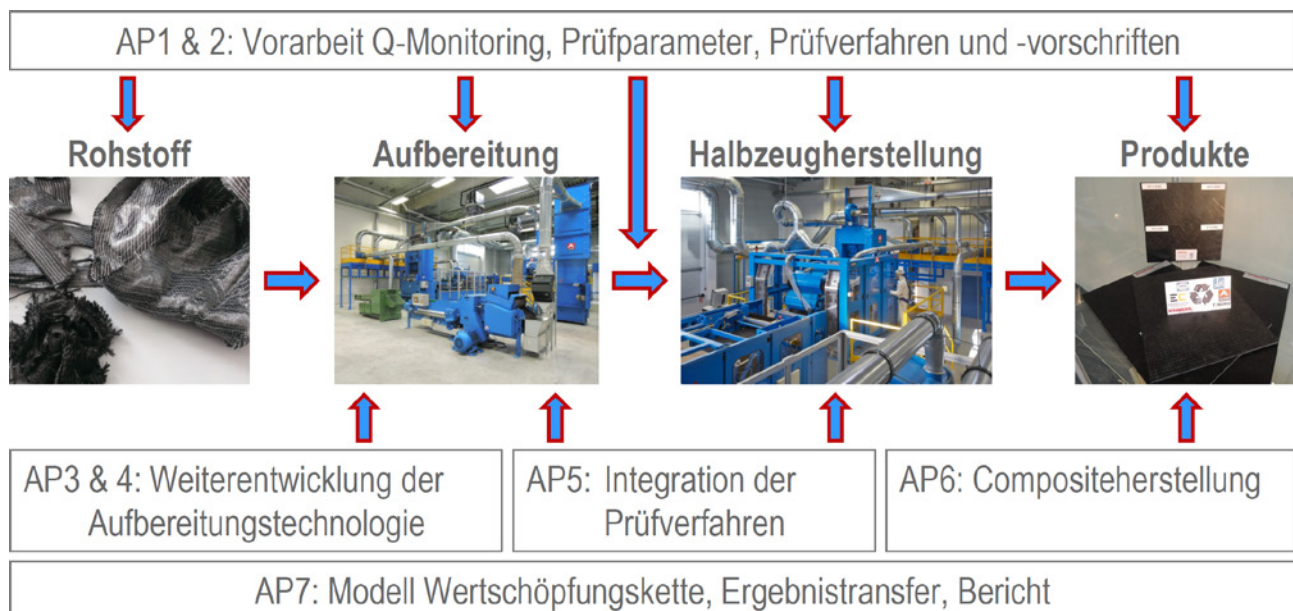


Abbildung 1: Übersicht der Arbeitspakete des Projektes RecyCarb. Fotos: STFI. Layout: FIBRE

➤ Partner



Faserinstitut Bremen e.V.
Am Biologischen Garten 2/IW3 | 28359 Bremen
Ansprechpartner: Dr. Holger Fischer
T: +49 421 218 58661 | fischer@faserinstitut.de



Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Annaberger Straße 240 | 09125 Chemnitz
Ansprechpartner: Marcel Hofmann
T: +49 371 5274-205 | marcel.hofmann@stfi.de



AUTEFA Solutions Germany GmbH
Paul-Lenz-Straße 1 | 86316 Friedberg
Ansprechpartner: Anton Mooshammer
T: +49 821 2608-165 | anton.mooshammer@autefa.com

Faserinstitut Bremen e.V.

Das Faserinstitut Bremen (FIBRE) ist ein Forschungsinstitut mit Schwerpunkten in den Bereichen der Entwicklung von Hochleistungsverbundwerkstoffen, Fertigungstechnologien, Faserentwicklung, Qualitätssicherung sowie Materialentwicklung und -charakterisierung. Die Forschungstätigkeit wird durch eine enge Verbindung zur Universität Bremen unterstützt.

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)

Das Sächsische Textilforschungsinstitut ist eine gemeinnützige Forschungseinrichtung, die sich den langjährigen Traditionen sächsischer Textilforschung verpflichtet fühlt. Untersuchungen zur Aufbereitung und Verwertung von Textilabfällen unterschiedlichster Art sowie die Verarbeitung von Fasern zu Vliesen und deren anschließende Verfestigung zu Vliesstoffen sind zentrale Bestandteile der Forschungsaktivitäten des STFI. Umfangreiche technische Voraussetzungen und das erforderliche Know-how sind dazu im Zentrum für Textilien Leichtbau des STFI gebündelt.

AUTEFA Solutions Germany GmbH

Als weltweit führender Systemlieferant fertigt die AUTEFA Solutions Germany GmbH komplette Linien sowie Einzelmaschinen für die Vliesherstellung. Neben der Vernadelungs- und Wasserstrahlvliesverfestigung werden Linien zur thermische Verfestigung angeboten. Sie verfügt über Kompetenzen in der Kombination von Sondermaschinen für die Vliesstoffherzeugung mit besonderem Fokus auf Leistungsoptimierung, Qualitätsverbesserung und Wirtschaftlichkeit.



TENOWO GmbH
Fabrikzeile 21 | 95028 Hof
Ansprechpartner: Dr. Hagen Hohmuth
T: +49 9281 49-438 | hagen.hohmuth@tenowo.com



EISSMANN | COTESA
automotive carbon

Eissmann Cotesa GmbH
Bahnhofstraße 70 | 09648 Mittweida
Ansprechpartner: Dr. Knut Bauer
T: +49 3727 996756-125 | knut.bauer@eissmann-cotesa.com



Schmuhl Faserverbundtechnik GmbH & Co. KG
Egertsweg 3 | 07368 Liebschütz
Ansprechpartner: Michael Ziller
T: +49 36640 281-139 | m.ziller@schmuhl.de

TENOWO GmbH

Die TENOWO GmbH mit ihren Töchtern und Partnern entwickelt und produziert Vliesstoffe für technische Anwendungen. Sie verfügt über Erfahrung und Kompetenz bei der Entwicklung und Herstellung von Vliesstoffen nach unterschiedlichen Technologien an Standorten in Deutschland, den USA und China.

Eissmann Cotesa GmbH

Das Joint Venture Eissmann Cotesa GmbH vereint das Automobilkonzept von Eissmann mit dem Aerospace-Produktions-Know-how von Cotesa. Geschäftszweck ist die Entwicklung, die Produktion und der Vertrieb von Kohlefaserbauteilen (Composite-Bauteile) für Innenräume und Karosserieteile von Straßenfahrzeugen.

Schmuhl Faserverbundtechnik GmbH & Co. KG

Die Schmuhl FVT GmbH & Co. KG ist ein kompetenter Hersteller von anspruchsvollen Kunststoffzeugnissen mit mehr als 20 Jahren Erfahrung, insbesondere im Bereich hochfester Composites. In der Entwicklung, dem Prototypenbau und der Serienfertigung von Faserverbunderzeugnissen bestehen umfangreiche Kompetenzen.

➤ Problemstellung und Motivation

Die Motivation des Vorhabens bestand in der vor Projektbeginn im industriellen Maßstab noch nicht vollständig gelösten Frage des Recyclings von Carbonfaserabfällen aus unterschiedlichen Stufen des Herstellungs- und Rücknahmeprozesses. Gerade in einer Zeit, in der im Bereich der Carbonverarbeitung Aufbruchstimmung herrscht und darüber hinaus ein großes Marktwachstum auf Grund von neuen Anwendungsgebieten wie dem Leichtbau, insbesondere der Elektromobilität, prognostiziert wird, muss gezielt an der parallelen Entwicklung von wirtschaftlichen und im industriellen Maßstab einsetzbaren Recyclingverfahren gearbeitet werden.

Entsprechend dem Wert des eingesetzten Materials werden auch an den Recyclingprozess von carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK) besondere Anforderungen gestellt. Die Zielstellung besteht darin, die Carbonfasern (C-Fasern) möglichst wenig zu schädigen und nach Möglichkeit lange Fasern zu erhalten. Gegenwärtig konzentrieren sich die Recyclingverfahren vorwiegend auf Ausschussteile und Produktionsabfälle, wie z. B. Zuschnittreste. In steigendem Maße gewinnt aber das Recycling von End-of-Life-Abfällen (EoL-Abfällen) an Bedeutung. Hauptlieferant von EoL-Abfällen wird in den nächsten Jahren die Luftfahrtindustrie sein, bei welcher bereits jetzt CFK in größeren Mengen eingesetzt werden, um den Treibstoffverbrauch zu reduzieren. Für den Großteil der gegenwärtig anfallenden Carbonfaserabfälle, welche hauptsächlich Verschnittabfälle aus Produktionen der Anwendungsbereiche Luftfahrt und Windenergie darstellen, ist die energetische Verwertung Stand der Technik. Kritisch zu hinterfragen

ist hierbei jedoch die Vernichtung der energieintensiv produzierten Fasern, welche in keiner Relation zu einer ökoeffizienten, stofflichen Verwertung stehen. Parallel hierzu wurden in den Jahren vor Projektbeginn weitere Verwertungstechnologien entwickelt, welche eine Rückgewinnung der Carbonfasern und somit den Wiedereinsatz in textilen Produkten grundsätzlich ermöglichen. Neben der Pyrolyse von CFK-Strukturen und mit Harz getränkten textilen Halbzeugen (Prepregs) stehen besonders die mechanisch arbeitenden Verfahren des web-shreddings (Mühlentechnik) und des modifizierten Reißprozesses im Fokus, wenn es um die Aufarbeitung trockener (harzfreier) Carbonfaserverschnittabfälle geht. Die vorgenannten Entwicklungen wurden teilweise durch die Partner des Verbundkonsortiums im Rahmen früherer Forschungsaktivitäten vorangetrieben bzw. begleitet. Im Ergebnis dieser Arbeiten zeigte sich deutlich, dass Weiterentwicklungen besonders im Bereich der Qualitätsbeurteilung von Rezyklaten, Halbzeugen und Prozessen notwendig sind, um eine wirtschaftlich sinnvolle Umsetzung im industriellen Maßstab zu gewährleisten.

Diese Arbeiten belegten die technische Machbarkeit sowie die wirtschaftliche und nachhaltige Sinnhaftigkeit der Aufbereitung von carbonfaserhaltigen Abfällen und der anschließenden Flächenbildung. Die erzielten Ergebnisse machten jedoch auch die Notwendigkeit der umfassenden Charakterisierung deutlich. So zum Beispiel wichen die gemessenen mittleren Faserlängen bis zum Faktor 3 von den Nennwerten ab. Zudem wurde der Bedarf zur Überarbeitung der Prüfverfahren sowie der dazugehörigen Software festgestellt.

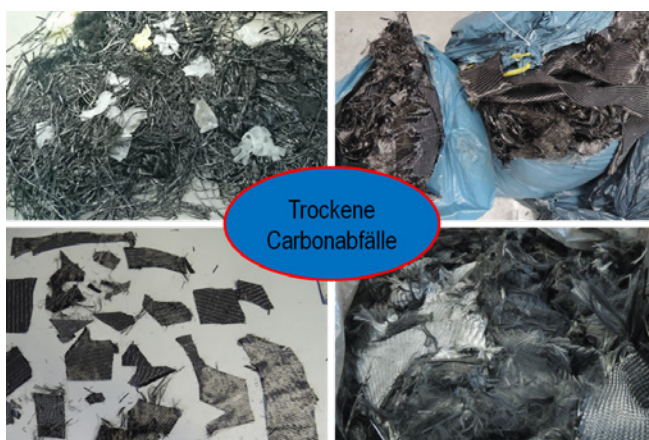


Abbildung 2: Aus Abfällen werden wieder leistungsfähige Verbundwerkstoffe. Quelle: STFI



Bild: STFI

➤ Beitrag zur Realisierung der futureTEX-Ziele

Das Vorhaben RecyCarb gliedert sich in mehrere Unterziele der futureTEX-Strategie ein. Zunächst wird bei der Verwendung von CF-Produktionsresten (Verschnitt, Kantenabschnitte, Restspulen etc.) die Materialeffizienz im Sinne der „Ressourceneffizienten Textilfabrik“ gesteigert. Ein Erfolg war, dass bereits während der Projektlaufzeit durch optimierte Sammlung bei den Projektpartnern ein qualitativ hochwertiger Wertstoffstrom in die Produktion zurückgeführt werden konnte. Weiterhin adressiert die Option der Verwendung von rCF aus der Pyrolyse von End-of-life-Bauteilen das Textilrecycling im Sinne eines „Nachhaltigen Textilkreislaufs“.

Die Ergebnisse des Projekts fließen direkt in die Gestaltung des Forschungs- und Versuchsfelds „Textilfabrik der Zukunft“ am STFI ein. Die entwickelte Online-Analyse der Faserorientierung im laufenden Prozess ermöglicht nicht

nur die Qualitätskontrolle direkt im Prozess, sondern kann perspektivisch im Sinne von „Industrie 4.0“ auch zur automatischen Optimierung der Maschinenparameter dienen. Die maschinentechnische Umsetzung erfolgt u. a. im Rahmen des futureTEX-Umsetzungsvorhabens SelVliesPro, in dem zudem relevante Use-Cases aufgezeigt werden sollen. Weiterhin stellt die systematische Stärkung qualitativer Wettbewerbsfaktoren im Projekt eine Schlüsselrolle dar und entspricht damit in hervorragender Art und Weise den strategischen Zielen von futureTEX. Die betrachtete Prozesskette umfasst branchenübergreifend die gesamte Wertschöpfungskette, beginnend mit den Bereichen Entsorgung/Recycling, über Textilmaschinenbau/Messtechnik, Textilherstellung und -verarbeitung bis hin zu Fertigung und Einsatz der mit rezyklierten Carbonfasern verstärkten Bauteile.

➤ Lösungsansatz

Um die zukünftig in größeren Mengen am Markt verfügbaren Abfälle und die daraus gewonnenen rCF in höherwertigen Anwendungen einsetzen zu können, wurden Weiterentwicklungen in allen Bereichen der Prozesskette, verbunden mit der Entwicklung eines verlässlichen Schemas zur Qualitätssicherung und eines darauf aufbauenden, prozessumfassenden Monitoringsystems, realisiert.

Besonders im Fokus standen hierbei:

➤ Upscaling des Prozesses zur Abfallaufbereitung und Vliesstoffherstellung in industriell und wirtschaftlich relevante Maßstäbe unter besonderer Beachtung der Qualitätsanforderungen

➤ Aufbau eines prozessbegleitenden Monitorings von Qualitätsparametern beginnend mit der Aufbereitung der Carbonfaserabfälle bis zum hochwertigen Wiedereinsatz von rCF in geeigneten Bauteilen

➤ Einsatz unterschiedlicher Vliesbildungs- und Vliesverfestigungstechnologien, erstmalige Anwendung eines kombinierten Vliesbildungsverfahrens zur Abbildung quasiisotroper Vliesstoffstrukturen

➤ Gezielte anwendungsorientierte Technologie- und Produktpassungen an die spezifischen Bedingungen und unterschiedlichen Anforderungen der Endanwender

Aus diesen Zielen resultierten die im Projekt bearbeiteten Arbeitspakete:

1. Festlegung von grundlegenden Rahmenbedingungen für das Qualitätsmonitoring und Definition der wichtigsten Prüfparameter
2. Applikation bestehender Prüfmethoden und Neuentwicklung von adaptierten Prüfverfahren und -vorschriften zur Charakterisierung der rCF vor, im und nach dem Prozess
3. Definition der notwendigen Maßnahmen für das Up-scaling in den industriellen Maßstab auf Basis der Erkenntnisse aus der laufenden Weiterentwicklung der Aufbereitungstechnologie
4. Verarbeitungstests der in AP3 gewonnenen rCF mittels verschiedener Vliesstofftechnologien im Technikumsmaßstab zur Ermittlung der optimalen Technologien für verschiedene Anwendungsfälle
5. Integration der in AP2 ausgewählten Prüfverfahren und -vorschriften in die modifizierte Prozesskette und erste Feldtests zur Halbzeugherstellung unter realen Produktionsbedingungen
6. Composite-Herstellung aus rCF-Halbzeugen auf Industrieanlagen mit Nachweis erreichbarer Effekte und Zuordnung zu den Anforderungen der verschiedenen Produktgruppen

7. Entwicklung des Modells einer qualifizierten, industriell umsetzbaren Wertschöpfungskette sowie Verifizierung bei den Industriepartnern als Grundlage einer Konzepterstellung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Zur Erreichung der Ziele wurde ein Verbundkonsortium zusammengestellt, welches die Betrachtung der gesamten Prozesskette vom EoL-CFK-Bauteil über das Rezyklat zum erneuten textilen Halbzeug bis hin zum rCFK ermöglicht.

Die Industriepartner Eissmann Cotesa, Mittweida und Schmuhl Faserverbundtechnik, Liebschütz lieferten carbonhaltige Abfälle in Form von Verschnittabfällen sowie EoL-CFK-Bauteilen. Die CFK-Bauteile mussten hierbei zunächst bei CarboNXT in Stade pyrolysiert werden, um die C-Fasern zurückzugewinnen. Die Verschnittabfälle sowie die zurückgewonnenen C-Fasern wurden anschließend entweder beim Sächsischen Textilforschungsinstitut, Chemnitz (siehe *Abbildung 3*) oder beim Industriepartner TENOWO, Hof aufbereitet und zu verschiedenartigen Vliesstoffen weiterverarbeitet. Abschließend wurden bei Eissmann Cotesa und/oder Schmuhl Faserverbundtechnik erneut Bauteile (rCFK) hergestellt. Mit der grundlegenden Charakterisierung der rCF, der Applikation bestehender Prüfmethoden sowie der Neuentwicklung adaptierter Prüfverfahren und -vorschriften im und nach dem Prozess befasste sich der Kooperationspartner Faserinstitut Bremen.



Abbildung 3: Carbonvliesstoffanlage am STFI. Quelle: STFI

➤ Ergebnisse

Alle ursprünglich formulierten Zielstellungen konnten im Projektverlauf erreicht werden:

- Die Rahmenbedingungen für das Qualitätsmonitoring und Prüfparameter wurden definiert und in der Applikation/Neuentwicklung von Prüfverfahren und -vorschriften erfolgreich umgesetzt.
- Die Weiterentwicklung der Aufbereitungstechnologie ist sowohl für das Krempel- als auch das Airlayverfahren gelungen; die Verarbeitungstests der rCF im Technikumsmaßstab verliefen erfolgreich.
- Die Integration der Prüfverfahren in die modifizierte Prozesskette konnte validiert werden; für die Online-Analytik wurde der proof-of-concept erbracht.
- Die Composite-Herstellung aus rCF auf Industrieanlagen und der Nachweis erreichbarer Effekte sind gelungen; das Modell der qualifizierten, industriell umsetzbaren Wertschöpfungskette konnte auf Basis dieser Daten erfolgreich erstellt werden.

Die Ergebnisse werden im Folgenden anhand der vorgenannten Punkte dargestellt.

Qualitätsmonitoring und Prüfparameter

Zunächst wurden die Probenahmestellen im Prozess sowie die notwendigen Analyseverfahren als Teil des umfassenden Qualitätsmonitoringsystems definiert. Bezüglich der Probenahme sind im Prozess jeweils drei Positionen für Offline-Probenahme sowie Online-Überwachung mittels Kamera vorgesehen (siehe *Abbildung 4*). Offline wird die Wareneingangskontrolle durchgeführt, Proben aus Krempel- bzw. Airlayflor entnommen und schließlich der Nadelvliesstoff beprobt (Produktkontrolle). Die Online-Kontrolle erfolgt an der Zufuhr zu Krempel bzw. Airlay (Identifikation von Kontaminationen), direkt nach Krempel 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. Für die als Rohware gelieferten rCF-Chargen wurde ein Probenentnahmeschema entwickelt, das sich an die DIN EN 12751:1999 anlehnt. Die Offline-Analyse der rCF-Chargen erfolgt durch Dia-Stron (Faserfestigkeit und E-Modul), bei Bedarf zusätzlich mit Rasterelektronenmikroskopie, sowie mittels FiVer (Längenverteilung).

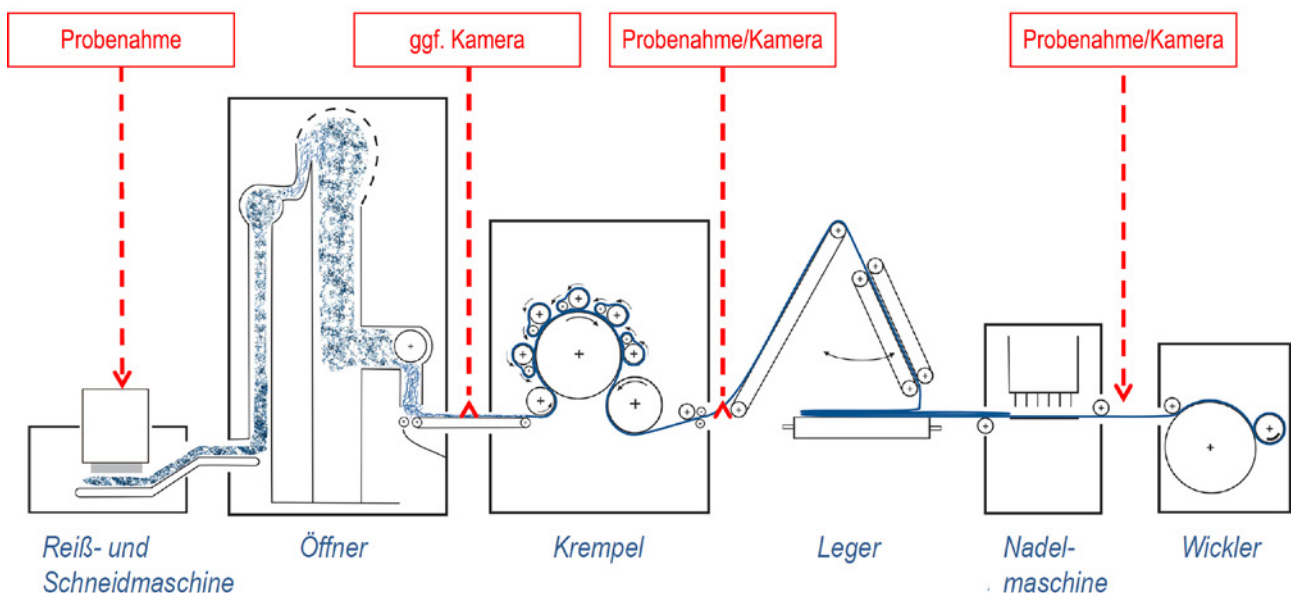


Abbildung 4: Übersicht der Probenahmestellen im Kardiervfahren (mittels Krempel). Quelle: STFI

Die Vorschrift zur FiVer-Probenvorbereitung musste angepasst werden, um auch Proben mit besonders breiter Längenverteilung, wie z. B. Filterstäube aus der Anlage oder sehr inhomogene Schnitffasern, reproduzierbar beurteilen zu können.

Im Ergebnis zeigte sich, dass für eine zuverlässige Messung der Längenverteilung der Filterstäube > 10.000 Filamente erforderlich sind, während für inhomogene Schnitffaserchargen > 2.500 Filamente ausreichen. Untersuchungen mittels REM ergaben, dass in keiner der verarbeiteten Chargen Faserbruchstücke in Größen der WHO-Klassierung vorhanden sind, sodass keine Krebsgefahr besteht. In den mechanischen Tests zeigten die meisten Faserchargen Eigenschaften nahe am Niveau von Neufasern; des Weiteren konnten Faserchargen mit Produktionsfehlern identifiziert werden, die bereits aus der Ersterstellung stammten.

Weiterentwicklung der Aufbereitungstechnologie und Verarbeitung im Technikumsmaßstab

Die Untersuchung der Aufbereitungstechnologie, insbesondere der Reißtechnologie, umfasste die folgenden Bearbeitungspunkte:

- Qualitätsklassierung der Abfallarten zur Verarbeitung im Reißprozess unter Verwendung der im Projekt ermittelten Prüfparameter und -verfahren
- Ermittlung der Fasereigenschaften (insbesondere Faserlänge) nach dem Aufreißprozess
- Ermittlung der Verarbeitbarkeit der Rezyklate im Vliesherstellungsprozess (mittels Airlay & Krempel)
- Ermittlung der Eigenschaften der entstandenen Vliesstoffe

Darauf aufbauend wurden die notwendigen Modifikationen an der Anlage erfolgreich spezifiziert, durchgeführt und ein Lastenheft für das konstruktive und technologische Upscaling in den industriellen Maßstab erstellt. Anschließend erfolgten Aufbereitungstests mit Rohstoffen aus verschiedenen Quellen (siehe *Abbildung 5*) sowie Verarbeitung größerer rCF-Chargen zur Bereitstellung von Rezyklaten für die weitere Verarbeitung bei den Industriepartnern. Die aufbereiteten Carbonabfälle wurden im Technikumsmaßstab am STFI mittels Airlay- und Krempelverfahren und anschließender Vernadelung zu Vliesstoffen verarbeitet (siehe *Abbildung 6* und *Abbildung 7*). Die Verarbeitung im Industriemaßstab konnte beim Partner TENOWO erfolgreich demonstriert werden. Neben der Aufbereitung von rCF-Chargen, wurde ebenfalls die Aufbereitung der eigenen Vliesstoffabfälle charakterisiert und dem Vliesstoffprozess erneut zugeführt. Hierdurch entstanden sogenannte rrCF-Vliesstoffe.



Abbildung 5: Faseraufbereitung mittels Schneid- und Reißmaschine am STFI. Quelle: STFI



Abbildung 6: Airlayverfahren und Vernetzung am STFI. Quelle: STFI



Abbildung 7: Vliesstoffbildung mittels Krempel, Kreuzleger und Nadelmaschine am STFI. Quelle: STFI

Integration der Prüfverfahren in die modifizierte Prozesskette

Gemäß dem im Projekt definierten Probenahmeschema wurden die Faserflore nach Airlay und Krempel sowie die resultierenden Nadelvliesstoffe im Prozess online mittels einer gekapselten Kamera-/Beleuchtungseinheit analysiert. Im Vordergrund stand hier die Analyse der Faserorientierung in den Floren, da diese einen starken Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der später daraus hergestellten Composite hat. Die Ergebnisse konnten durch Vergleich mit den mechanischen Kennwerten der hergestellten Verbundwerkstoffplatten

validiert werden. Als Beispiel sind in *Abbildung 8* die montierte Messeinheit, ein resultierendes Bild sowie die ermittelte Orientierungsverteilung verschiedener schwerer Flore aus der Airlay dargestellt. *Abbildung 9* zeigt den gleichen Vorgang am Krempelflor vor dem Kreuzleger. Beide dargestellte Versuchsreihen dienen der Herstellung von 300 und 400 g/m² schweren Vliesstoffen. Im Ergebnis sieht man deutlich die quasiisotrope Verteilung der Filamente im Airlayflor mit MD/CD = 0,84 – 0,89 und die stark längsorientierte MD/CD-Verteilung von 2,16 – 2,24

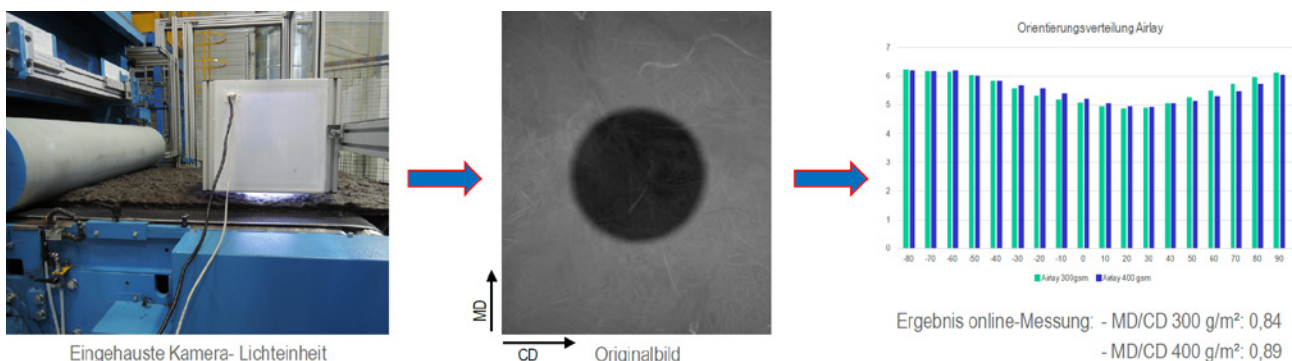


Abbildung 8: Online-Analyse der Orientierungsverteilung im laufenden Prozess am Airlayflor. Quelle: FIBRE

im Krempelflor. Auch eine Messung des letztlich erzeugten Nadelvliesstoffs wurde durchgeführt. Die gefundenen Unterschiede der Faserorientierung dieser Halbzeuge finden sich später auch in den mechanischen Kennwerten

der daraus hergestellten Verbundplatten wieder. Es wurde damit der proof-of-concept erbracht, dass die Prozessführung sowohl mit Offline-Qualitätsanalytik als auch mit Online-Messtechnik möglich ist.

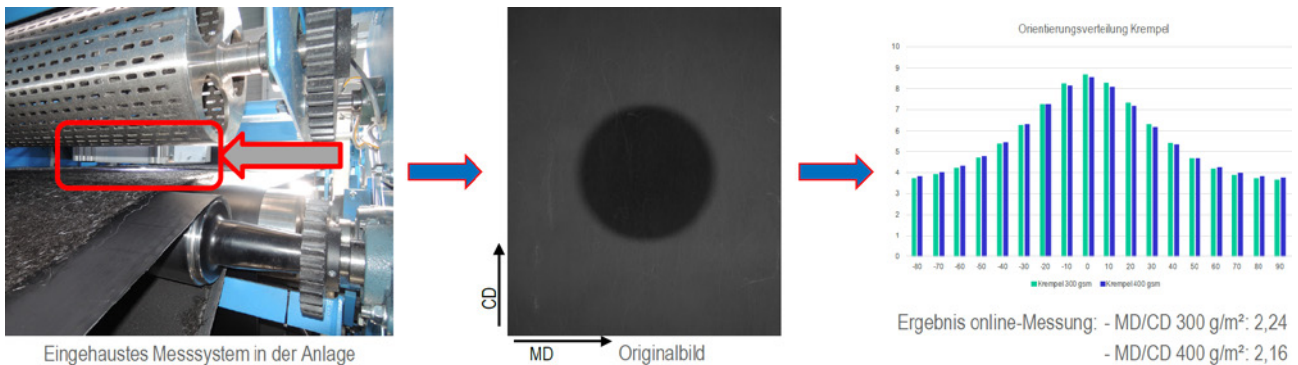


Abbildung 9: Online-Analyse der Orientierungsverteilung im laufenden Prozess am Krempelflor. Quelle: FIBRE

Industriennahe Composite-Herstellung aus rCF

Im Rahmen des Vorhabens wurden drei unterschiedliche Herstellungsverfahren von rCF-Verbundwerkstoffen betrachtet. Neben dem Handlaminierverfahren (am STFI) wurden im RTM-Verfahren beim Projektpartner Schmuhl

(siehe Abbildung 10 und Abbildung 11) Verbundwerkstoffe hergestellt. Weiterhin konnten vorimprägnierte Halbzeuge, im Prepreg-Verfahren gefertigt und im Autoklav-Verfahren bei Eissmann Cotesa zu rCFK weiterverarbeitet werden.



Abbildung 10: Versuchsaufbau bei Schmuhl Faserverbundtechnik. Quelle: Schmuhl

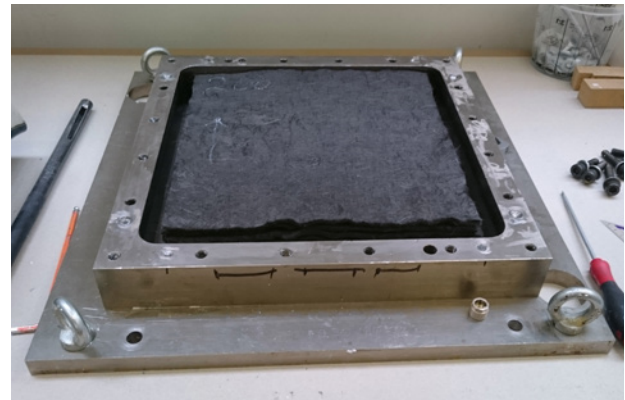


Abbildung 11: Plattenwerkzeug bestückt mit rCF-Vliesstoffen. Quelle: Schmuhl

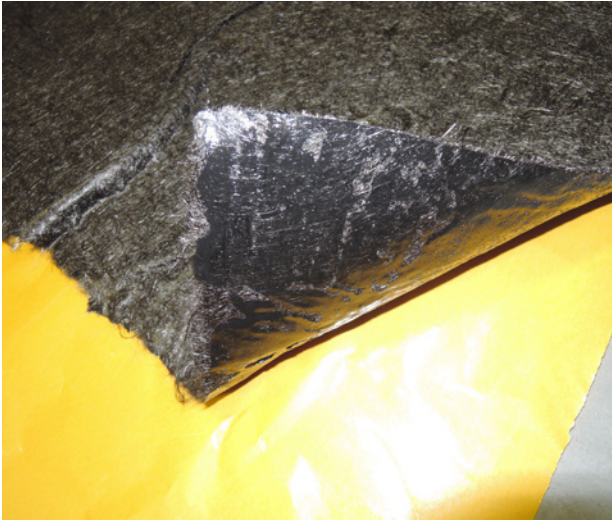


Abbildung 12: rCF-Prepreg. Quelle: STFI



Abbildung 13: Verarbeitung des rCF-Prepregs mittels hydraulischer Oberkolbenpresse am STFI. Quelle: STFI

Die hergestellten Faserverbundwerkstoffe wurden hinsichtlich ihrer mechanischen Kennwerte sowie des Faservolumengehalts charakterisiert. Die Kennwerte dienten zudem als Nachweis der bereits online mittels Kameratechnik (siehe *Abbildung 8* und *Abbildung 9*) erfassten Faserorientierung. Aufgrund der erzielten Kennwerte konnten erste Anwendungsfelder ermittelt und Demonstratoren gefertigt werden. So entstanden zusätzlich zu den 2D-Plattengeometrien auch 3D-Bauteile, welche eine qualitative Beurteilung der Drapierbarkeit und Imprägnierbarkeit der Vliesstoffe ermöglichten. Die vom Kunden erwartete Oberflächenqualität des Bauteils, Fließwiderstände sowie Rückstellkräfte der Vliesstoffe waren Herausforderungen, denen sich die Industriepartner stellten. Als Demonstrator zur Verarbeitung der rCF-Vliesstoffe (*Abbildung 14*) im RTM-Verfahren entstand

beim Partner Schmuhl Faserverbundtechnik eine Kotflügelspitze (*Abbildung 15*).

Zur Darstellung der Funktionalität von aus rCF-Prepregs hergestellten Bauteilen entstanden beim Partner Eissmann Cotesa ebenfalls Demonstratoren. Die Bauteile wurden entweder im Pressverfahren (*Abbildung 16* und *Abbildung 18*) oder im Autoklav-Verfahren (*Abbildung 17*) gefertigt. Sichtbare Oberflächen wurden aus optischen Gründen mit einer Decklage in Form eines Köpergewebes ausgestattet, da dies als klassischer „Carbonlook“ in der breiten Öffentlichkeit bekannt ist. In den nicht sichtbaren Bereichen wurden die Gewebelagen durch kosteneffizientere rCF-Prepregs ersetzt. Es entstand neben Interieurbauteilen für den Automobilbereich auch ein Heckspoiler.



Abbildung 14: Drapierter rCF-Vliesstoff (vermädelt). Quelle: Schmuhl

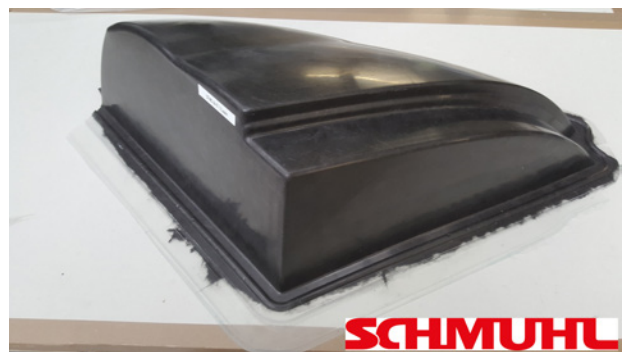


Abbildung 15: Kotflügelspitze aus rCFK. Quelle: Schmuhl

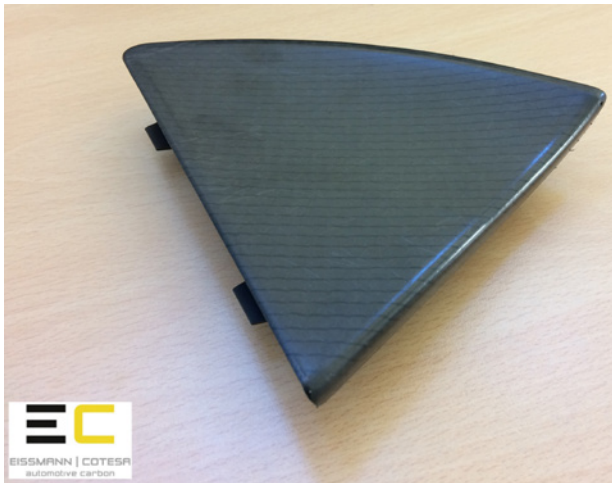


Abbildung 16: Pressteil aus rCF-Prepreg für den Automobil-Interieurbereich. Quelle: Eissmann Cotesa



Abbildung 17: Spoiler aus rCF-Prepreg mit Sichtlage. Quelle: Eissmann Cotesa



Abbildung 18: Pressteil aus rCF-Prepreg mit Carbongewebe-Sichtlage für den Automobil-Interieurbereich. Quelle: Eissmann Cotesa

Modell der rCF-Wertschöpfungskette

Die Wertschöpfungskette für rCF beginnt mit deren Sammlung, die momentan noch europaweit durch wenige, nach ISO 14001 zertifizierte Verwerter erfolgt. Alle Lieferungen werden mit einem EFB-Zertifikat bestätigt. Die Qualitätssicherung in dieser Stufe der Kette erfolgt hauptsächlich durch Getrennthaltung der Chargen. Die Originaldaten der C-Fasern sind durch den Lieferanten bekannt. Nach der Pyrolyse erfolgt ggf. eine Analyse der Oberfläche. Zu Beginn des Projekts wurden hier noch hauptsächlich Kurzfasern abgesetzt.

Inzwischen werden aber auch nennenswerte Mengen Langfasern gehandelt. Diese werden in wachsendem Maße auch nach Asien (insbesondere China und Japan) und Amerika exportiert. Der Markt ist global. Eine Beschichtung der pyrolysierten Fasern wird derzeit nur für Langfasern nachgefragt. Die zu rezyklierende Abfallentsorgungsmenge beträgt etwa 6.000 t/a in Europa, dazu werden weitere 1.000 – 2.000 t/a deponiert (EU-Ausland, nicht D). Von diesen Mengen gehen etwa 20 – 30 Prozent in die Pyrolyse. Zum Zeitpunkt des Projektbeginns wurde der Rest als EBS (Ersatzbrennstoff) thermisch verwertet, da die Nachfragemenge an recycelten Fasern bisher geringer war als das CFK-Abfallauf-

kommen. Im Bereich des Wiedereinsatzes dominiert aktuell noch die Kurzfaser für rCF-Compound-Herstellung und Spritzgussanwendungen im Automotive- und Consumer-Bereich.

Generell ist der rCF-Markt global und zielt noch auf Nischen, in denen Faktoren wie z. B. Leichtbaupotenzial oder Leitfähigkeit wichtig sind. Daneben gibt es aber bereits erste kommerzielle Anbieter, die wie z. B. der Partner TENOWO, im Lohnauftrag rCF-Langfasern zu Vliesstoffen verarbeiten. Dies sind nicht mehr ausschließlich Produktionsreste, die als Rezyklat in dieselben Produkte zurückgeführt werden, sondern auch Rezyklatströme aus der Entsorgung, die in neuen Produkten Verwendung finden.

Einige Beispiele für technische Möglichkeiten wurden im vorangegangenen und folgenden Abschnitt gezeigt. Weiteres Indiz für ein künftiges Wachstum des Langfaserbereichs ist, dass Textilmaschinenhersteller inzwischen dezidierte Anlagen für die Herstellung von Carbonfaservliesstoffen kommerziell anbieten. Ergänzend dazu hat z. B. der assoziierte Partner AUTEFA kürzlich ein Carbonfasertechnikum eröffnet, um hier gezielt auf Kunden-

wünsche eingehen zu können. Von der kommerziellen Seite gibt es in allen Stufen der Wertschöpfungskette Verbesserungen in Richtung höherer Wirtschaftlichkeit. Zu Projektbeginn lag der Einkaufspreis für pyrolysierte rCF als Langfasern bei ca. 10,00 – 12,00 €/kg; Produktionsreste wurden für ca. 5,00 €/kg angeboten. Mit zunehmenden Absatzmengen wird von allen Akteuren eine substantielle Reduktion des Preises für Pyrolysefasern erwartet; hier ist häufig von 7,00 – 9,00 €/kg die Rede. Eine rCF-geeignete Anlage für die Weiterverarbeitung ist im Preis ungefähr identisch mit einer Vliesstoffanlage für Naturfasern (staubgekapselt, Schaltschränke ggf. im separaten Raum). Die Lohn-

verarbeitung bewegt sich damit im Bereich von 12,00 – 15,00 €/kg; schwerere Vliese sind preiswerter; leichtere (z. B. 100 g/m²) können teurer sein. Die Vliesstoffe werden damit absehbar kommerziell im Bereich von < 25,00 €/kg liegen. Interessant ist der rCF-Einsatz schon jetzt überall dort, wo Carbonfaser-Prepregs ersetzt werden können. Diese liegen – auf die Masse bezogen – bei bis zu 100,00 €/kg, so dass sich hier je nach Anwendung ein hohes Einsparpotenzial ergeben kann. Limitierend ist dagegen der Umstand, dass sich mit den rCF-Vliesstoffen bisher nur Fasergehalte unter 40 Prozent sinnvoll realisieren lassen.

➤ Verwertung und wirtschaftliche Bedeutung

Besonders die interdisziplinäre Zusammensetzung des Verbundkonsortiums entlang der Wertschöpfungskette ist ein Garant für die direkte Umsetzung der Ergebnisse in allen Bereichen der Textil- und Composite-Branche und wird darüber hinaus eine Ausweitung des Kenntnistransfers auf andere Industriezweige ermöglichen. Aufbauend auf den Ergebnissen des Projektes lassen sich zukünftig Technologie-Synergien ableiten, welche Weiterentwicklungen in andere Zielmärkte, z. B. weitere Verstärkungsfasern und/oder Rohstoffketten, positiv beeinflussen werden. Auch im Bereich des Qualitätsmanagements und -monitorings ergeben sich Synergien, welche durch die Übertragung der Prüf- und Bewertungsmaßnahmen auf andere Rohstoffe (z. B. Faserstoffe) und deren Verarbeitung einen Fortschritt in der Textilbranche erzeugen werden. Dem Open Innovation-Gedanken wird hierbei insbesondere im futureTEX-Konsortium Rechnung getragen, so dass die Nutzung von (Teil-) Ergebnissen für eigene Weiterentwicklungen im Rahmen nachfolgender Vorhaben gegeben ist.

Bereits während der Projektlaufzeit wurden die erzielten Teilergebnisse im Rahmen von mehr als 25 Publikationen & Fachvorträgen auf nationalen und internationalen Veranstaltungen der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die kurzfristige und erfolgreiche Verwertung ist die aktive Mitwirkung der Verbundpartner in verschiedenen Gremien und Arbeitsgruppen, welche sich mit den Themengebieten Recycling (insbesondere CF-Recycling) sowie der Nutzung faserverstärkter Kunststoffe beschäftigen. Über diese Medien können Teil- und Endergebnisse auf nationaler und internationaler Ebene einem breiten und interessierten Publikum zugänglich gemacht werden.



Abbildung 19: Fahrradsattel aus rCF-PA-Hybridvliesstoff. Quelle: TENOWO



Abbildung 20: CT-Liege aus rCF-Vliesstoffen (im Nähwirkverfahren verfestigt). Quelle: SCHMUEHL

Als direkte Auswirkung konnten bei den Industriepartnern in der Endphase des Projekts im Rahmen von Kunden-

projekten bereits erste Demonstratoren und Machbarkeitsstudien für die industrielle Verwendung der rCFK realisiert werden (vgl. *Abbildung 19* und *Abbildung 20*). Der aus mehreren Lagen rCF-PA-Hybridvliesstoff bestehende Fahrradsattel (*Abbildung 19*) ist das Ergebnis einer belastungsgerechten Auslegung, gefertigt als Kundenprojekt des Partners TENOWO im Heißpressverfahren. Die bei Schmuehl Faserverbundtechnik entwickelte CT-Liege (*Abbildung 20*) besteht aus 4 Lagen 400 g/m² rCF-Vliesstoff, welcher im Kardiervverfahren hergestellt und im Nähwirkverfahren verfestigt wurde. Der Einsatz dieses Vliesstoffs ermöglichte die Substitution von Carbon Tapes und Gelegen. So wäre zukünftig der Einsatz eigener in der CFK-Produktion anfallender Verschnittreste in der CT-Liege denkbar.

➤ Ausblick

Das Projekt unterstreicht die Wichtigkeit einer Offline- und Online-Prozessüberwachung zur Klassifizierung der Carbonfaserabfälle und somit zur Sicherung der Qualität der textilen Halbzeuge sowie der rCFK.

Die Online-Überwachung ermöglichte eine erste Charakterisierung des Vliesstoffs und die Ermittlung des in der rCFK-Herstellung wichtigen Kennwerts der „Faserorientierung“. Dies ermöglicht bereits im laufenden Vliesstoffherstellungsprozess die Faserorientierung zerstörungsfrei zu bestimmen und gezielt zu verändern. Die gezielte Einflussnahme auf die Faserorientierung

durch die Variation unterschiedlicher Prozessparameter in Kombination mit einer direkten Überprüfung durch die Online-Überwachung wäre zu überprüfen. Vor allem in der Verbundwerkstoffherstellung ist zunehmend gewünscht, dass Vliesstoffe über eine Faserorientierung mit stark ausgeprägter Vorzugsrichtung (ähnlich eines Carbonfasertapes) verfügen. Dies kann mit dem hier entwickelten Prozess nicht nur sichergestellt, sondern im Sinne von Industrie 4.0 perspektivisch auch zur Anlagensteuerung und Qualitätsdokumentation weiterentwickelt werden.

➤ Impressum

Konsortialführer Projekt futureTEX:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
An-Institut der Technischen Universität Chemnitz
Geschäftsführung: Dipl.-Ing.-Ök. Andreas Berthel |
Dr.-Ing. Yves-Simon Gloy

Postanschrift:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Postfach 13 25
09072 Chemnitz

Besucheradresse:

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI)
Annaberger Straße 240
09125 Chemnitz

Kontakt:

Projektleitung: Dirk Zschenderlein
E-Mail: dirk.zschenderlein@stfi.de
Tel.: +49 371 5274 283
Fax: +49 371 5274 153
www.futuretex2020.de

Verbundkoordinator Umsetzungsvorhaben RecyCarb:

Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)
Am Biologischen Garten 2/IW3
28359 Bremen
Ansprechpartner: Dr. Holger Fischer
Tel.: +49 421 218 58661
E-Mail: fischer@faserinstitut.de

Lektorat und Gestaltung:

P3N MARKETING GMBH
Bernhardstraße 68
09126 Chemnitz
Tel.: +49 371 5265 380
Fax: +49 371 5265 388
E-Mail: info@p3n-marketing.de

