

Campus Carbon 4.0

Ergebnis-Broschüre



CU
COMPOSITES
UNITED

M·A·I
CARBON

Vorwort

Mit dem Campus Carbon 4.0 hat sich der Spitzencluster MAI Carbon als Innovations-Hub weiter etablieren können. In der Dekade 2017 – 2023 konnte MAI Carbon weltweit sein Ansehen steigern und im Rahmen dieses Förderprogramms den faserverstärkten Leichtbau branchenübergreifend weiterentwickeln. Der Spitzencluster MAI Carbon ist im Jahr 2012 mit dem klaren Ziel der Großserienfähigkeit von Carbon Composites gestartet. Nach und nach forcierten die Partner zusammen mit dem Cluster Management ihre Aktivitäten und auf Basis einer Roadmap wurden die Clusterziele definiert und umgesetzt: Zykluszeiten unter 90 Sekunden für ein Bauteil, Prozesskostenreduktion je nach Applikation von mehr als 70% und der Verschnitt von <5% sind drei technologische Ziele, die im Cluster erfolgreich demonstriert wurden. Im Campus Carbon 4.0 konnten diese technischen Erfolge mit Themen der Digitalisierung kombiniert und verschränkt angegangen werden. Insgesamt wurden sechs* Projekte erfolgreich umgesetzt. Damit wurden weitere Meilensteine für den bayrischen Standort erreicht, Partner vernetzt und die Composites-Industrie facettenreich und cross-sektoral vorangebracht. Die Ergebnisse der einzelnen Projekte finden Sie als Lektüre in dieser Broschüre. Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen.

Herzlichst grüßt Sie,



Carolin Cichosz (CTO Voith Composites / Sprecherin des MAI Carbon Vorstands)

Danksagung

Ausdrücklich möchten wir uns beim **Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie des Freistaats Bayern** für die großzügige Unterstützung im Rahmen dieses Programms bedanken. Diese Förderung ließ uns erst die genannten Projekte mit den entsprechenden Zielrichtungen umsetzen. Weiterhin gilt unser außerordentlicher Dank dem **Projekträger Jülich (PtJ)**, namentlich bei Dr. Carsten Wadewitz, für die Begleitung und das stets konstruktive Miteinander.

* Zwei weitere Projekte MAI CC4 Optimal und MAI CC4 Hybrid wurden im Rahmen des Campus Carbon 4.0 gefördert. Beide sind jedoch nicht Teil dieser Broschüre.

Inhalt

| | |
|--------------------------------|----|
| Hinführung und Motivation..... | 1 |
| MAI CC4 CaRinA..... | 2 |
| MAI CC4 CosiMo..... | 8 |
| MAI CC4 FastMOVE | 13 |
| MAI CC4 HybCar..... | 14 |
| MAI CC4 ILQ2020 | 16 |
| MAI CC4 Rapidskelett | 18 |
| Fazit..... | 20 |
| Abbildungsverzeichnis..... | 21 |

Hinführung und Motivation

Der Campus Carbon 4.0 ist eine Initiative des Spitzenclusters MAI Carbon des Composites United e.V. und der Universität Augsburg, welche das Ziel hat, den Werkstoff Carbon in der Region Schwaben zu etablieren und weltweit zum Durchbruch zu verhelfen. Das Thema Leichtbau weist in der Industrie weiterhin eine hohe Aktualität auf. Dabei sind die Kenntnisse im Bereich des Leichtbaus und hier insbesondere im Bereich der Faserverbundmaterialien ein wichtiger Knowhow-Vorsprung der deutschen Industrie. Auch durch die Beschlüsse auf der UN-Klimakonferenz wird das Thema Leichtbau weiter an Bedeutung gewinnen, um die gesetzten Klimaziele zu erreichen. Damit kann der Campus Carbon 4.0, wie auch MAI Carbon selbst, seine Position und Stärke weiter ausbauen. Die Strategie des Campus Carbon 4.0 ist eng mit der Strategie des Spitzenclusters MAI Carbon verzahnt und greift viele Elemente dieser Strategie auf, setzt aber auch neue Schwerpunkte. Das Ziel bleibt der industrielle Durchbruch der Carbon Composites, die Innovationsführerschaft in diesem Themenfeld, eine etablierte KMU-Zulieferindustrie, sowie eine gesellschaftliche Verankerung des Werkstoffs. Um diese Ziele zu erreichen, sind im Campus Carbon 4.0 folgende Handlungsfelder definiert:

- **Produktionssysteme:** Dieses Handlungsfeld adressiert neben der Industrialisierung und der Steigerung der Materialausnutzung auch die Themengebiete Multimaterial und Funktionalisierung.
- **Engineering:** Das Systemverständnis von Composites und geeigneten Bauweisen soll erweitert werden. Gleichzeitig sollen notwendige Konstruktions- und Simulationstools so weiterentwickelt werden, dass eine effiziente Auslegung möglich ist.
- **Öffentliche Wahrnehmung:** Dieses Themenfeld hat zum Ziel die Carbon Composites nachhaltig in der Gesellschaft und Politik zu verankern. Dazu gehört neben der Information auch die Begeisterung für den Werkstoff.
- **Digitalisierung:** Die Schlagworte „Internet der Dinge“ und „Industrie 4.0“ sind allgegenwärtig. Im Rahmen des Campus sollen die Prozesse und Abläufe der Carbon Composites Industrie mit der Digitalen Welt vereint und so fit für die Zukunft gemacht werden.
- **Recycling:** Neben der Etablierung optimierter Recyclingverfahren werden sich die Aktivitäten im Campus Carbon 4.0 auch zentral damit beschäftigen, neue Anwendungen für Recyclat-Materialien aufzubauen.

Mit der Strategie des Campus Carbon 4.0 ist die Basis geschaffen, um das Netzwerk langfristig zu verstetigen und zu stärken, sowie die Industrialisierung der Carbon Composites weiter voranzutreiben.

Carbonfaser Recyclingwerkstoffe für industrielle Anwendungen

Das Projekt MAI CC4 CaRinA hatte das übergeordnete Ziel recycelte Carbonfasern (rCF) in industrielle Anwendungen zu überführen. Hierfür wurde an der Vliesbildung, Verarbeitung von Vliesstoffen zu Composites und der Simulation dieser geforscht. Ein starkes Konsortium entlang der Prozesskette hat hierbei an der Datenqualität und an der Generierung von Materialkarten gearbeitet, um einen Serieneinsatz von rCF und Vliesstoffen vorzubereiten. Insgesamt wurden über 100 unterschiedliche Vliesstoffe hergestellt und in verschiedenen Routen verarbeitet und charakterisiert.

Projektdaten

Koordinator

Dr.-Ing. Frank Manis

Projektvolumen

3.15 Mio €

Dauer

01.11.2017 - 31.10.2020

Projektpartner

- Fraunhofer IGCV
- Institut für Textiltechnik Augsburg
- SGL Carbon
- Brose
- EDAG
- Tenowo
- Faurecia
- Röchling
- Lamilux
- Airbus Helicopters
- CarbonTT
- ELG Carbon Fibre

Mit der Entwicklung serientauglicher Fertigungs-Methoden ist der Einsatz carbonfaserverstärkter Kunststoffe (CFK) in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. Als Leichtbauwerkstoff mit hervorragender spezifischer Steifigkeit und Festigkeit wird die Bedeutung dieses Materials insbesondere in der Luftfahrt- und Energiebranche zukünftig weiter zunehmen. Mit der steigenden Verwendung von CFK in Serienanwendungen gewinnt aber auch die Verwertung entstehender Abfälle zunehmend an Bedeutung. Nicht nur die zukünftig stark steigende Abfallmenge durch Bauteile am Ende ihrer Nutzungsdauer, sondern auch die heute als Produktionsverschnitt anfallenden Mengen sind von Bedeutung. Eine hochwertige Verwertung von CFK-Abfällen und –Verschnittresten ist zwingend erforderlich und aufgrund des Potentials der Carbonfaser und des hohen Energieaufwandes für die Produktion der Fasern geboten. Durch ein flächendeckendes, hochwertiges Recycling von CFK wird die energetische und ökonomische Gesamtbilanz der Carbonfaser insgesamt verbessert. Die nur einmalige Verwendung der

kosten- und energieintensiv hergestellten Carbonfaser führt zu einer ungenügenden Gesamtenergiebilanz des Werkstoffes und relativiert zum Teil die hohen, durch Leichtbau erzielbaren Einsparungen der Nutzungsphase.

Das Recycling von Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) beschreibt den stofflichen Wiedereinsatz der Carbonfaser für technische Anwendungen. Sind die rCF länger als 2-3 mm, so bietet sich die Vliesbildung als kostengünstige, skalierbare und industrialisierte Verarbeitung der Fasern an. Jedoch war diese zum Zeitpunkt der Projekteinreichung noch immer nicht ausreichend optimiert und die Produkte somit ungleichmäßig, zu teuer oder der Ausschuss zu hoch. Das Projekt CaRinA hat als Ziel die Produktion von Vliesstoffen zu verbessern und eine stabile Verarbeitung dieser zu ermöglichen.

Arbeitsinhalt war es, die Vliesproduktion der Trocken- und Nassvliesherstellung zu untersuchen, Korrelationen zu erarbeiten und zu optimieren. Die hergestellten Vliesstoffe wurden anschließend auf vielfältige Weise thermoplastisch und duromer verarbeitet, um eine breite Anwendbarkeit zu validieren. Anschließend wurden Prüfplatten gefertigt und ausführlich charakterisiert, wie auch industrialisierte Demonstratoren hergestellt. Der Fokus lag hierbei auf kostengünstigen und großserienfähigen Routen durch den Einsatz von Polyamid 6 (PA6), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP) sowie Epoxidharz (EP) für die Automobilindustrie. Aus den gewonnenen mechanischen Daten wurden Materialkarten abgeleitet und FEM-Modelle aufgebaut, um das statische Lastverhalten von vliesstoffverstärkten Kunststoffen abzubilden. Als recycelte Faser wurden Verschnittfasern, sowie auch pyrolytisch gewonnene rCF untersucht. Auch eine lokale Verstärkung der Vliesstoffe durch Neufasern mittels Fiber-Placement Verfahren wurde im Rahmen des Projektes untersucht (Abb. 1).

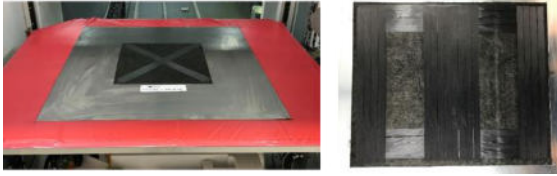


Abb. 1: Links: Blech zur Fixierung des rCF-Vlieses auf dem Legetisch. Rechts: lokale Verstärkung der Vliesstoffe für eine Hutprofil Geometrie.

Vliesstoffherstellung

Am Institut für Textiltechnik Augsburg gGmbH (ITA) und bei der Tenowo GmbH wurde die Herstellung von Vliesstoffen aus recycelten Carbonfasern detailliert untersucht. Mit einer Prozessanalyse wurden alle relevanten Steuer- und Störgrößen bei der trockenen Vliesstoffherstellung identifiziert. Zusammengefasst handelt es sich dabei um die Walzengeschwindigkeiten, die Abstände der Walzen zueinander, die Fasermasse in der Krempel, die Vernadelungsdichte, den eingesetzten Nadeltypen und Weitere. In einer groß angelegten Versuchsreihe im Rahmen der Dissertation von Georg Stegshuster [Steg21] wurden die Auswirkung der Größen auf Vliesstoff- und Composite-Eigenschaften wie Flächengewichtsgleichmäßigkeit, Faserorientierung und mechanische Kennwerte ermittelt. Auf dieser Grundlage konnte ein Modell zur Herstellung gleichmäßiger, isotroper und anisotroper rCF-Vliesstoffe abgeleitet werden und der Transfer zu industriellen Anlagen untersucht werden. Dieser ist jedoch nur bedingt möglich, da die Konfiguration und die Einstellungen von Vliesstoffanlagen nie identisch sind. Die Modelle müssen daher für andere Anlagentypen und Faserkombinationen stets neu ermittelt werden, was mit der angewandten Untersuchungsmethode jedoch effizient möglich ist.

Für die Beanspruchung der Carbonfasern wurden die faserschonendsten Einstellungen identifiziert. Dadurch kann die Fasereinkürzung bei der Vliesstoffherstellung von im ungünstigsten Falle 49 % auf unter 11 % reduziert werden. Bei der Vliesstoffverfestigung durch Vernadeln – die energie- und schadstoffärmste Verfestigungstechnologie – wurden Einstellungen und Nadeltypen ermittelt, die eine Reduktion der Fasereinkürzung von 25 % auf unter 5 % erreichen.

Das ITA entwickelte mit der Dilo Systems GmbH einen für Carbonfaservliesstoffe geeigneten Walzenabzug für die Florabnahme (Abb.

2). Dieses System war bis dahin nicht für rCF-Vliesstoffe einsetzbar und erlaubt nun wesentlich höhere Produktionsgeschwindigkeiten sowie die Möglichkeit der Einflussnahme auf Vliesstoffeigenschaften. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde auch die Theorie der Ausrichtung der Carbonfasern im Vliesstoff untersucht und weiterentwickelt.

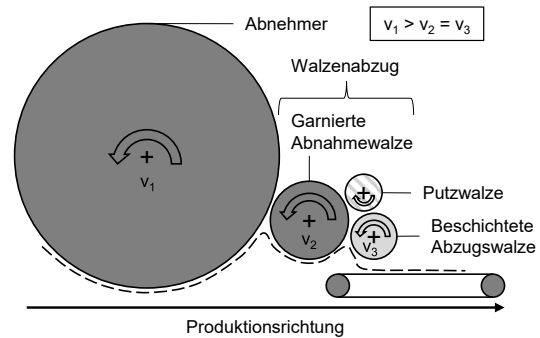


Abb. 2: Walzenabzug für die Abnahme des Flors aus der Krempel. Das System wurde für die Verarbeitung von Carbonfasern erstmals funktionsfähig im CaRinA-Projekt entwickelt.

Ein weiterer Untersuchungspunkt war der Einfluss der textilen Eigenschaften von Thermoplastfasern – Faserlänge, Kräuselung, Feinheit – und deren prozentualer Anteil auf die Verarbeitbarkeit und Einkürzung der Carbonfasern. Eine geringere Kräuselung und ein höherer Anteil an Thermoplastfasern wirken signifikant faserschonend. Bereits ein Thermoplastfaseranteil von 10 % reduziert die Faserschädigung um mindestens 38 %.

Vliesstoffverarbeitung

Für die Verarbeitung der Vliesstoffe wurde eine große Anzahl von Verfahren gewählt. Für die Erstellung von Kennwerten und Materialkarten haben sowohl der Prozess wie auch die verwendete Matrix einen großen Einfluss, weshalb beide Parameter im Projekt tiefergehend untersucht wurden. Zu den gewählten Prozessrouten gehört im Bereich der Thermoplaste die Verarbeitung von Hybridvliesstoffen mit Thermoplastfasern, das Vlies- oder Folienstacking mit entsprechenden thermoplastischen Folien sowie die Pulverimprägnierung. Für duromere Materialien wurden das Nasspressen, ein vakuumunterstütztes Nasspressen (DFCM), das Heißpressen von Prepregs sowie das RTM-Verfahren genauer untersucht. Für alle Prozessrouten wurde eine Prozessfenstervariation

durchgeführt, um die besten Verarbeitungsparameter für Vliesstoffe zu definieren. Als Kriterien einer guten Infiltration wurden die Konsolidierqualität, der Porengehalt, die mechanischen Eigenschaften, die Oberflächenqualität sowie der auftretende Faserbruch herangezogen (siehe Abb. 3). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass isotrope Vliesstoffe bei 40 - 60 bar verarbeitet werden mussten, um eine ausreichende Imprägnierqualität zu zeigen und dass ein Faservolumengehalt von 20 - 30 Vol.-% mit dem genannten Druck erreicht werden kann.

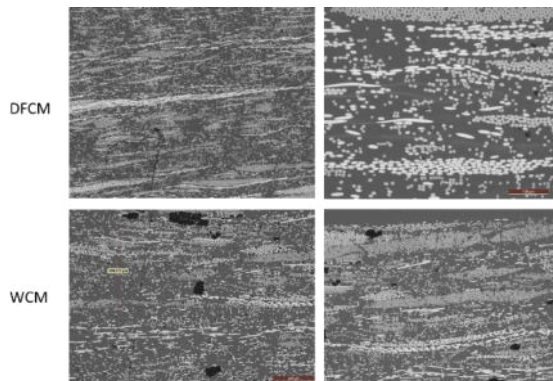


Abb. 3: Vergleich der Schlifffbilder von Nassgepressten Proben (WCM) und DFCM Proben.

Zur kontinuierlichen Herstellung von vorimprägnierten Halbzeugen wurden erste Versuche an Doppelbandpressen durchgeführt und auch Imprägnierstudien an der Labor-Prepreganlage der SGL Carbon. Die Analyse der PA6-basierten, pulvergestreuten Vliese hat gezeigt, dass ein höherer Druck nötig ist, um ein vollimprägniertes Organoblech zu erzeugen. Somit sollte eine Doppelbandpresse mit einem Stahlband einem Teflonband vorgezogen werden, wenn eine nachträgliche Konsolidierung nicht mehr gegeben ist.

Neben der Herstellung von Platten wurden auch Umformversuche an thermoplastischen und duromeren Vliesstoffen durchgeführt. Hierfür wurden Drapierversuche am trockenen Vliesstoff, sowie am vorimprägnierten Organoblech durchgeführt. Zur Validierung einer thermoplastischen, großserienfähigen Prozessroute wurden Organobleche erzeugt und diese isotherm umgeformt und anschließend hinterspritzt. Auf diese Weise konnten Rippen angespritzt und eine Funktionalisierung der Organobleche nachgewiesen werden (siehe Abb. 4).



Abb. 4: Hutprofil mit vollständig gefüllten Schmelze-Kavitäten

Neben der Funktionalisierung durch Rippen und geometrischem Umformen wurde im Projekt auch eine mechanische Funktionalisierung durch lokal eingebrachte Verstärkungen untersucht. Hierfür wurden thermoplastische und duromere Platten aus vliesstoffverstärktem Kunststoff hergestellt und anschließend lokal mit einem Neufasertape verstärkt. Zur lokalen Verstärkung wurden Fiber-Placement Verfahren des Fraunhofer IGCV und der SGL Carbon eingesetzt. Auf diese Weise wurden einseitig und zweiseitige verstärkte Vliesstoffe hergestellt und mechanische Kennwerte an diesen Materialien erhoben. Die ermittelten Biegeeigenschaften sind in Abb. 5 zu sehen. Es ist ersichtlich, dass eine Festigkeit von 600 – 800 MPa bereits durch eine einlagige Verstärkung erreicht werden kann.

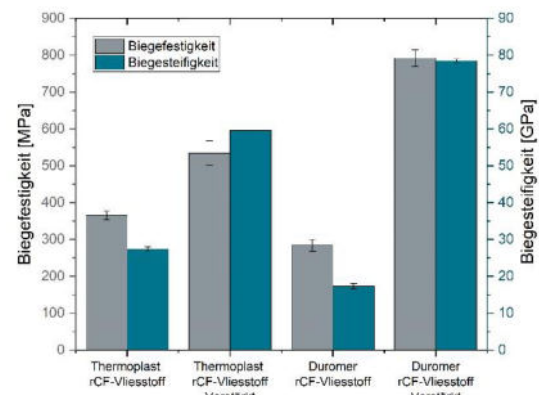


Abb. 5: Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit von unverstärkten und verstärkten thermoplastische und duromeren Vliesstoffen [Man20]

Datenmanagement

Parallel zu den großangelegten Versuchskampagnen zur Vliesherstellung und Verarbeitung wurden entlang der Prozesskette Daten ermittelt. Dies beginnt bei der Datenerhebung für die recycelte Faser und der Messung der Fasereigenschaften. Für die Vliesstoffe wurde mittels elektromagnetischer Messung die Orientierung bestimmt sowie eine Vliesrollengleichmä-

Bigkeit und Homogenität auf Basis des gemessenen Flächengewichtes. Die infiltrierte Platten wurden nach DIN EN ISO 527-5 und DIN EN ISO 14125 im Zug- und Vierpunktbiegeversuch charakterisiert und entlang der Produktionsrichtung der Vliesrollen, sowie 90° dazu geprüft. Eine ausgewählte Darstellung der über 100 getesteten Materialien ist in Abb. 6 zu sehen.

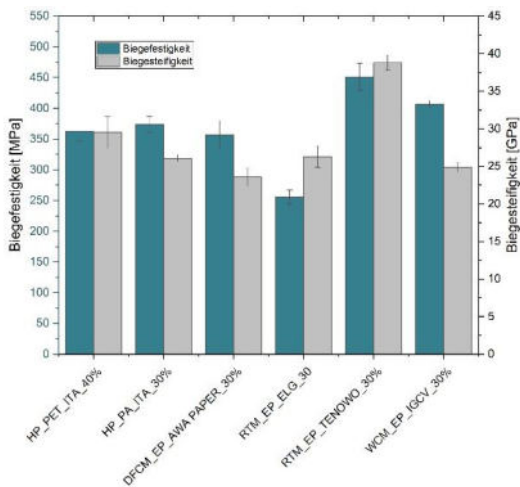


Abb. 6: Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit einiger ITA, ELC, Tenowo und Nassvliesmaterialien mit unterschiedlichen Prozessrouten. Eigenschaften als gemittelte Darstellung aus 0° und 90° (keine Normierung der Daten auf einen FVG).

Generell hat sich gezeigt, dass typische Trockenvliese und Nassvliese eine leichte Orientierung der Fasern aufzeigen und nicht komplett isotrop vorliegen. Die Biegeeigenschaften der Produkte aus rCF liegen im Mittel bei etwa 400 - 500 MPa in Richtung der höheren Orientierung und bei 200 - 300 MPa entlang der schwächer orientierten Richtung. Materialien mit PA6 und EP zeigen höhere Werte als Hybridvliesstoffe mit PP. Besonders hervorzuheben sind die guten Eigenschaften der PET und rPET-basierten Vliesstoffe (siehe Abb. 7). Hier wurde u.a. mit Produktionsresten eines Industriepartners gearbeitet und Vliesstoffe mit 300 MPa Biegefestigkeit und 30 GPa Biegesteifigkeit wurden hergestellt. Die Werte von Verschnittfasern und pyrolytisch freigelegten Fasern unterschieden sich in der Regel nicht besonders, was der Hypothese eines benötigten Resizing entgegensteht. Dennoch sind Fasern ohne Schlichte im Krempelprozess schwieriger zu verarbeiten, was an erhöhten Reibwerten zwischen der Carbonfaser und den Arbeitselementen der Krempel liegt. Folglich steigt der Grad an Fasereinkürzung an. Die Vliese aus Fasern mit höheren mechanischen

Eigenschaften (z.B. aus Luftfahrtabfällen) zeigten bessere Eigenschaften als Vliesstoffe aus minderwertigeren Carbonfasern. Die im Projekt ermittelten Kennwerte haben ein grundlegendes Verständnis zum Einsatz von rCF und den dazugehörigen material- und prozessbedingten Korrelationen aufzeigen können. Die ermittelten mechanischen Daten wurden in die Granta MI Materialdatenbank des Fraunhofer IGCV integriert, welche auch nach Projektende weiter genutzt wird, um zukünftige Materialien besser einordnen zu können.

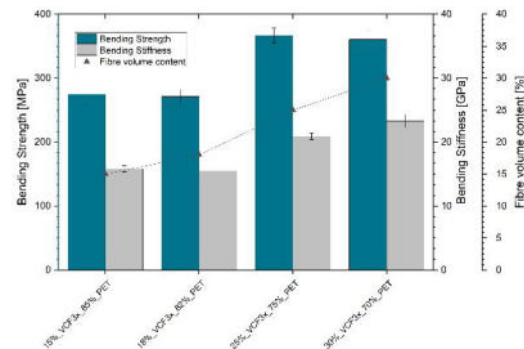


Abb. 7: Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit von rCF-Vliesstoffen mit einer unterschiedlichem FVG und einer PET-Matrix [Man21].

Simulation

Durch den Partner EDAG wurde im Projekt auch am Engineering und Design von Bauteilen aus rCF-Vliesstoffen gearbeitet. Hierfür wurden über CT-Analysen Messungen zur Faserorientierung durchgeführt und mit unterschiedlichen mechanischen Modellen korreliert (Abb. 8).

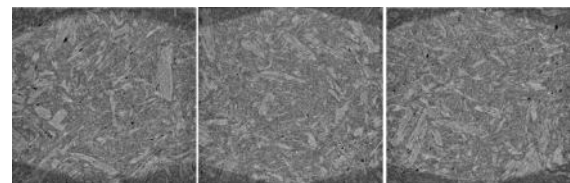


Abb. 8: CT-Aufnahmen an unterschiedlichen Stellen im Vliesstoff.

Das mechanische Verhalten der Vliesstoffe wurde somit in einem ersten Schritt elastisch-statisch und in einem zweiten Schritt Bruchmechanisch nachgebildet. Die Ergebnisse wurden eingesetzt, um die Materialkarten auf Coupons und umgeformte Bauteile anzuwenden. Anhand von zwei Anwendungsfällen, dem Hutprofil und eines Türmoduls, wurden die FEM-gestützten Ansätze validiert und weiter verfeinert. Es konnte eine erfolgreiche Abbildung der

Steifigkeiten und auch des Bereichs der Schadensinitiierung erreicht werden, sowie ein teilweises Abbilden der Schadensdegeneration. Eine weitergehende Simulation der Anwendungsfälle hat gezeigt, dass makroskopische Verformungen und das Verbeulen der Komponenten zu überlagerten Effekten führen können, welche noch nicht komplett integriert werden konnten.

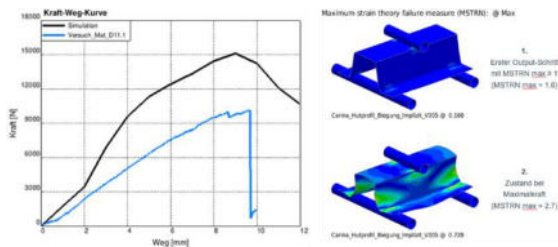


Abb. 9: Hutprofil-Demonstrator im digitalen Modell. Verformungssimulation im unbelasteten und belasteten Zustand.

Anwendung

Zum Ende des Projektes wurde der Einsatz von rCF-Vliesstoffen in unterschiedlichen Anwendungen untersucht. Hierfür wurden drei Anwendungsfälle ausgewählt. Eine Unterbodenverkleidung von Röchling, ein Türmodul der SGL Carbon sowie ein Hitzeschild von Airbus Helicopters. Für den Unterbodenschutz wurde ein MAPP-Hybridvlies hergestellt und bei Röchling zum Organoblech verpresst. Anschließend wurde das Blech in der LWRT-Technologie geloftet und mit einer Metallfolie auf der Ober- und Unterseite bei 10 bar thermogeformt. Das Hitzeschild wurde in einer duromeren Prepregroute gefertigt. Hierfür hat die SGL Carbon einen Vliesstoff mit einer EP-Matrix getränkt, welcher bei Airbus Helicopters mit einem Kernmaterial verbunden und anschließend für 2 Stunden bei 2 bar im Autoklav ausgehärtet wurde. Das Türmodul der SGL Carbon wurde im Nasspressverfahren hergestellt. Hierfür wurde ein Huntsman Epoxydharzsystem aus zuvor durchgeführten Grundlagenversuchen verwendet. Der Zuschnitt wurde zweifach getränkt und nach einer kurzen Einwirkzeit an die Presse übergeben, wo das Türmodul bei 120 °C verpresst wurde (Abb. 10).

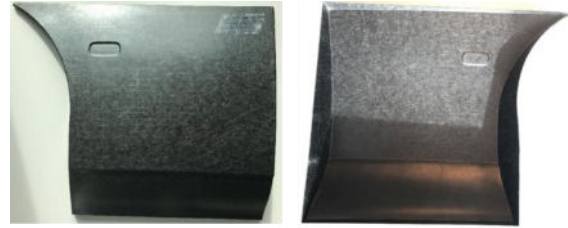


Abb. 10: Links: Türmodul-Außenseite mit ELG-Vlies. Rechts: Türmodul-Innenseite mit ELG-Vlies.

Zusammenfassung

Das Projekt CaRinA konnte den Stand der Technik im Bereich der Vliesstoffherstellung und Verarbeitung stark erweitern. Es wurden mithilfe statistischer Modelle Korrelationen und Vorhersagen für die Vliesherstellung abgeleitet, die gezielt die Qualität und die (An-)Isotropie der Vliese verbessern können. Ein neues Abnahmesystem für die Verarbeitung von Carbonfasern in Krempeln wurde entwickelt und erstmalig erfolgreich eingesetzt. Die Theorie zur Ausrichtung von Carbonfasern konnte erweitert werden und signifikante Einstellungen für eine faserschonende Verarbeitung wurden ermittelt. Für die Verarbeitung hat sich gezeigt, dass das Nasspressen ein einfaches und kostengünstiges Verfahren für rCF-Vliesstoffe darstellt, da hier eine Imprägnierung in z-Richtung erfolgt. Eine Imprägnierung in XY-Richtung ist aufgrund der schlechten Permeabilität der meisten Vliesstoffe nicht zu empfehlen. PP-basierte Vliesstoffe zeigen deutlich niedrigere Werte, als PA- oder PET-basierte Varianten. Jedoch kann die Anbindung des Polymers durch Zugabe kleiner Mengen von Maleinanhidrid deutlich verbessert werden. Durch den Einsatz des DFCM-Verfahrens konnten ebenfalls gut infiltrierte Platten, mit hohen Kennwerten hergestellt werden. Insgesamt wurden 100 unterschiedliche Vliesstoffe hergestellt und auf verschiedene Arten verarbeitet und geprüft. Die Daten wurden in einer Datenbank des Fraunhofer IGCV zusammengeführt (Abb. 11).

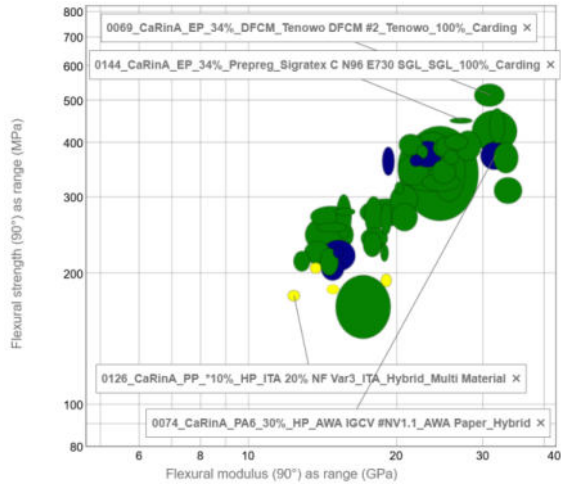


Abb. 11: Auswahl der MAI CaRinA Datensätze innerhalb der Fraunhofer IGCV Materialdatenbank.

Generell zeigen sich keine großen Schwankungen der mechanischen Eigenschaften innerhalb eines Vliesstoffes im Vergleich zu Neufasermaterialien aber eine große Schwankung durch die gewählten Produktionsparameter, die Wahl des Polymers und Fehlstellen. Durch das Projekt MAI CaRinA konnten weitere Projekte im Bereich Recycling von Carbonfasern bei den Konsortialpartnern gestartet und die entsprechenden Recyclingverfahren im Allgemeinen deutlich weiterentwickelt werden.

[Steg21] Kardiervverfahren; recycelte Carbonfasern; Prozessanalyse; vliesstoffverstärkter Faserverbundwerkstoff, Dissertation, 2021.

[Man20] Influences on Textile and Mechanical Properties of Recycled Carbon Fiber Nonwovens Produced by Carding, Journal of Composites Science; Special Issue Carbon Fiber Composites, 2021.



Fraunhofer IGCV
Dr.-Ing. Frank Manis
 Gruppenleiter Recycling von Composites
 Tel. +49 821 90678229
frank.manis@igcv.fraunhofer.de
<https://www.igcv.fraunhofer.de/>

Weitere Autoren:

Institut für Textiltechnik Augsburg
Dr.-Ing. Georg Stegschuster
 Leiter Recycling Atelier Augsburg
 Tel. +49 151 22585915
georg.stegschuster@ita-augsburg.de

Fraunhofer IGCV
Dipl.-Ing. Jakob Wölling
 Abteilungsleiter Recycling und nachhaltige
 Composite Materialien
 Tel. +49 821 90678231
jakob.wölling@igcv.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Mesut Cetin
 Institutsleiter Institut für Textiltechnik
 Tel. +49 821 90903410
mesut.cetin@ita-augsburg.de
<https://ita-augsburg.com/>

Thermoplastischer RTM-Prozess für eine nachhaltige Mobilität

Projektdaten

Koordinator

Faurecia Clean Mobility

Projektvolumen

Gesamt: 6,65 Mio. €

Dauer

01.06.2018 - 31.12.2021

Projektpartner

- Faurecia Clean Mobility
- KraussMaffei Technologies
- KraussMaffei Automation
- Premium Aerotec
- SGL Carbon
- C. K. Siebenwurst GmbH
- Netzsch Gerätebau GmbH
- KUKA AG
- Iba AG
- DLR Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie Augsburg
- UniA - Institut für Materials Resource Management
- UniA - Institut für Software & Systems

Im Rahmen des Forschungsprojekts **CosiMo** wurde das **material- und prozessspezifische Verständnis für eine automatisierte Herstellung thermoplastischer Faserverbundkunststoffe erarbeitet. Von physikalischen Laboruntersuchungen, über die Modellbildung und Simulation bis zur Prozessierbarkeit in einem industrienahe T-RTM-Prozess wurde ein breites Themenspektrum bearbeitet. In diesem Bericht werden die Arbeiten zur Herstellung eines Anwendungsdemonstrators in Anlehnung an einen Batteriegehäusesedekel vorgestellt.**

Projektziele

Das Projekt CosiMo ist ursprünglich aus einer gemeinsamen Initiative in Augsburg ansässiger Unternehmen aus der Automobil- und Luftfahrtbranche entstanden. Im Zuge der Digitalisierung von industriellen Herstellprozessen (Industrie 4.0) sollten Synergien aus beiden Bereichen sowie aus der Forschung zusammengebracht werden. Ziel war es, einen nachhaltigen und gleichzeitig sensorbasierten und „intelligenten“ Herstellprozess mit neuartigen Leichtbaumaterialien zu entwickeln. Hierzu sollte sowohl die technische Hardware zur Herstellung von Bauteildemonstratoren sowie die modellbasierte Infrastruktur für die Prozessabbildung in einem „digitalen Zwilling“ geschaffen werden. Aus dieser Idee ging ein Konsortium aus industriellen Endanwendern, Zulieferern, Prozessspezialisten, Software-, Modellierungs- und Simulationsexperten hervor (siehe Abb. 12).

Das konkrete Ziel des Projektes CosiMo war es, die Forschungsbasis für die Realisierung nachhaltiger, hochproduktiver und wirtschaftlicher Fertigungsverfahren für Bauteile im Automobil- und Flugzeugbau zu schaffen.

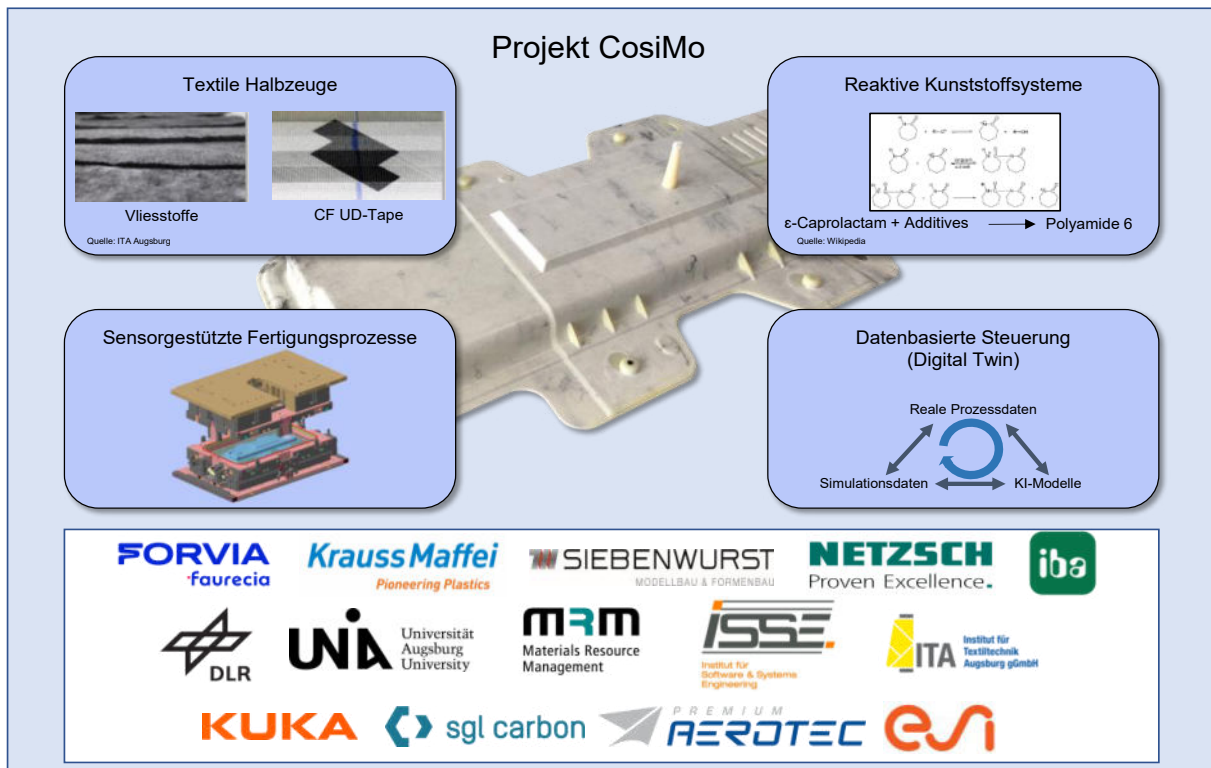


Abb. 12: Projektlogo mit Themenfeldern und Partnern

Im Fokus stand dabei die Verknüpfung prozessspezifischer Vorteile etablierter Resin-Transfer-Molding-Prozesse (RTM) mit material-spezifischen Vorteilen thermoplastischer Matrixsysteme in einem thermoplastischen RTM-Prozess (T-RTM). Insbesondere sollten Methoden entwickelt und untersucht werden, um die nach wie vor kostenintensive Herstellung von FVK-Bauteilen sowohl ökonomisch als auch ökologisch optimieren zu können. In diesem Zusammenhang waren die wesentlichen Projekthinhalte

- die Untersuchung der Imprägnierung von recycelten Glasfaser-Vlies-Materialien durch in-situ-Polymerisation von ϵ -Caprolactam zu Polyamid 6 (PA6),
- die Realisierung eines T-RTM-Prozesses mit ϵ -Caprolactam mit Hilfe eines umfangreichen Sensornetzwerks zur Validierung des Prozess- und Materialverhaltens
- sowie die Erstellung virtueller Modelle der Anlagen und des Prozesses mit Hilfe maschineller Lernmethoden.

Die Technologien wurden abschließend an einem industrienahen Anwendungsdemonstrator gezeigt, der auf der Heißpresse des DLR-Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie in Augsburg (DLR-ZLP) hergestellt wurde. Im Folgenden sollen insbesondere die dabei generierten Ergebnisse vorgestellt werden.

Ausgangssituation und Vorgehensweise

Glasfaservliesstoffe sind im Vergleich zu herkömmlichen Materialien aus dem Faserverbundbereich, wie bspw. Gewebe und Gelege deutlich steifer/stabiler. Daher können sie sehr einfach händisch in eine RTM-Form gelegt werden, ohne sich zu verformen. Andererseits sind sie aufgrund der Wirrfaseranordnung sehr kompakt und lassen sich vergleichsweise schwer imprägnieren. Die Wirrfaseranordnung sorgt auch dafür, dass der Faservolumengehalt des fertigen Bauteils zwischen 15 – 30 Vol.% liegt. Dies ist deutlich geringer als mit Kohlenstofffasern verstärkte Hochleistungskunststoffe, die einen Faservolumengehalt von über 60% aufweisen können. Daraus ergibt sich, dass die Festigkeiten vliesstoffverstärkter Bauteile deutlich unterhalb derer von CFK-Bauteilen liegen. Dies ist je nach Anwendung gewollt und

z.B. für einen Batteriegehäusedeckel ausreichend. Umfassende Arbeiten zur Herstellung von Glasfaser- und Kohlenstofffaser-Preforms aus rezyklierten Fasern wurden in einem Unterauftrag durch das ITA Augsburg durchgeführt.

Um dem sehr kompakten Verhalten der Vliesstoffe zu begegnen, wurden die Bauteile mit dem Spalt-RTM-Prozess gefertigt, bei dem die Kavität während der Injektion nicht vollständig geschlossen wird. In dem Spalt, der sich zwischen Faserhalbzeug und Werkzeugoberseite einstellt, breitet sich die flüssige Matrix aus. Nachdem das Material eingebracht ist, wird die Presse vollständig geschlossen und dadurch die Kavität auf das Sollmaß reduziert. Bei dieser Hubbewegung wird das Matrixsystem senkrecht in die Fasern gepresst.

Üblicherweise weisen thermoplastische Kunststoffe im flüssigen Zustand eine deutlich höhere Viskosität als Epoxidharze auf. Bei Nylon (PA6) haben wir uns jedoch zu Nutze machen können, dass die Ausgangsstoffe (ϵ -Caprolactam + Additive) im unpolymerisierten Zustand sehr niedrigviskos sind. Entsprechend konnte das Matrixsystem aus ϵ -Caprolactam + Additiven ähnlich den Epoxidharzen injiziert werden. Auch die Polymerisation lässt sich aus Prozesssicht mit dem Aushärten von Epoxidharzsystemen vergleichen. Die Polymerisation beginnt mit dem Mischen von Caprolactam und Additiven und endet nach ca. 4 Minuten mit dem Resultat eines festen, stabilen Bauteils. Dieses wurde isotherm bei 170°C entformt.

Der entscheidende Unterschied des thermoplastischen Polymers zu Epoxidharzsystemen ist, dass es sich auch nach der Polymerisation durch Temperaturerhöhung erneut aufschmelzen bzw. verflüssigen lässt. Dadurch können Einzelkomponenten zu komplexeren Strukturen verschweißt werden. Auch lassen sich Fasern und Matrix durch Temperaturzugabe voneinander trennen bzw. wiederverwerten. Unter Nachhaltigkeitsaspekten und unter der Verwendbarkeit für modulare, zusammengesetzte Bauteile bieten thermoplastische Materialien daher einige Vorteile.

Speziell bei der Verarbeitung recycelter Fasern ist zu beachten, dass deren Materialeigenschaften stark schwanken. So können Flächengewichte innerhalb einer Vliesstoffmatte stark variieren. Dies wiederum beeinflusst die Imprägnierung, den Faservolumengehalt im Bauteil

und dadurch auch dessen Festigkeiten/Stabilität. Dieses Phänomen der schwankenden Materialeigenschaften ist generell bei der Verarbeitung von rezyklierten Materialien (z.B. Fasern, Kunststoffe) festzustellen. Um darauf bei der Herstellung reagieren zu können, müssen Fertigungsprozesse flexibler gemacht und die Regelungsmöglichkeiten erhöht werden. Hier setzt CosiMo mit einem sensordaten- und modellbasierten Ansatz an.

Projektergebnisse

Zunächst wurde das Prozessverhalten in Laborversuchen am MRM der Uni Augsburg sowie beim DLR-ZLP an einem einfachen Plattenwerkzeug demonstriert. So konnten wichtige Erkenntnisse zu Materialmenge, Verhalten von Glasfaser und Caprolactam während der Polymerisation aber auch die Datenverwertung des Sensornetzwerks untersucht werden. Zum Einsatz kamen

- kommerziell verfügbare Druck- und Temperatur-Sensoren,
- im Rahmen des Projekts weiterentwickelte Dielektrische (DEA) Sensoren der SensXpert GmbH
- Ultraschallsensoren, die durch das MRM der Uni Augsburg entwickelt wurden.

Die Daten aller Sensoren mussten zeitsynchron erfasst und gemeinsam ausgewertet werden. Hierbei half die Auswertesoftware ibaAnalyzer des Projektpartners ibaAG. Das Sensornetzwerk mit allen Daten liefernden Komponenten ist in Abb. 13 schematisch dargestellt. Für die wesentlichen Komponenten RTM Werkzeug, Injektionsanlage und Datenmanagementsystem sind die entsprechenden Schnittstellen und Datenströme aufgeführt. Diese werden von einem zentralen Auswertepc erfasst und für die Prozess- und Materialanalyse zur Verfügung gestellt. Das in CosiMo aufgebaute Sensornetzwerk ermöglicht eine permanente Überwachung des Herstellprozesses. Es ist möglich, virtuell in das Werkzeug „hineinzuschauen“. Die Druck- und Temperatursensoren dienen der Überwachung des Prozessverlaufs und ermöglichen die Einhaltung konstanter Prozessbedingungen. Die Dielektrischen (DEA)- und Ultraschallsensoren eignen sich insbesondere, zur Überwachung der Polymerisation. So kann der Prozess bspw. gezielt gestoppt werden, sobald die Polymerisation bzw. Reaktion abgeschlossen werden.

Wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen waren das Fließverhalten während der Infiltration und das Polymerisationsverhalten gelegt. Für die Analyse der Fließfronten, wurde die Ankunft der flüssigen Matrix an den jeweiligen Sensoren erfasst und zeitlich ausgewertet. Hierzu eigneten sich insbesondere, die DEA-

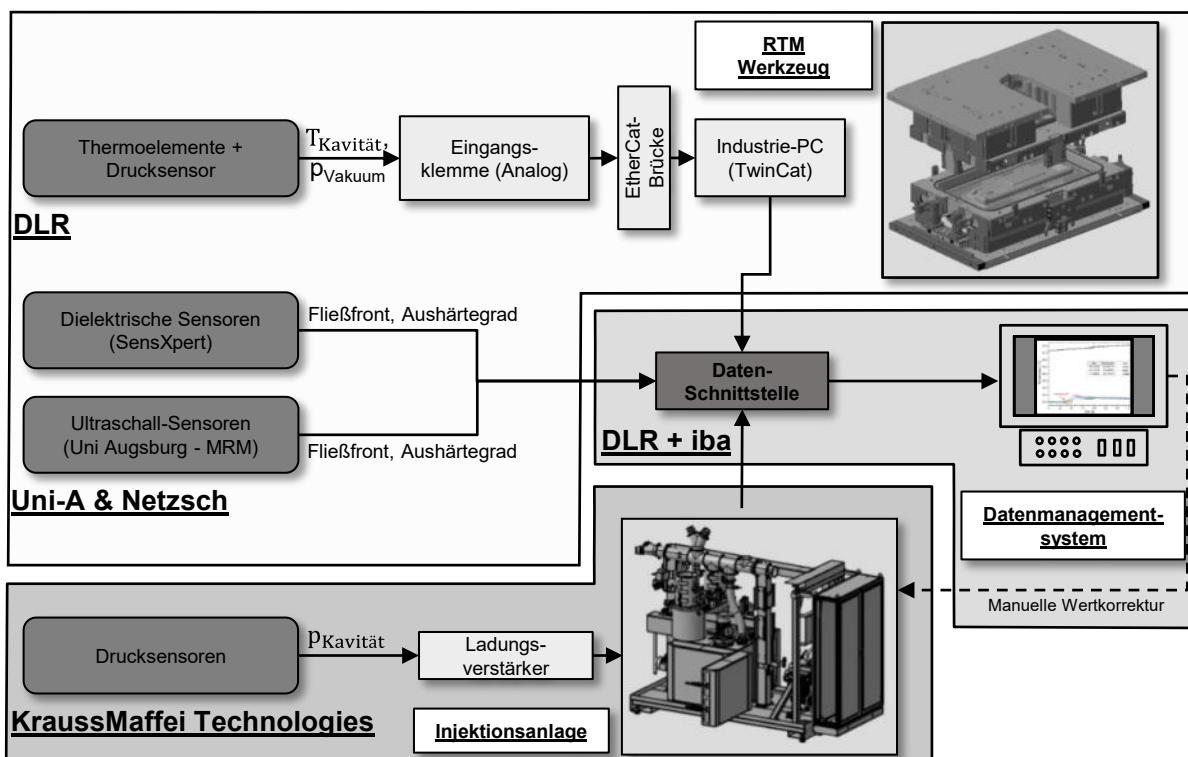


Abb. 13: Sensornetzwerk zur Sensor- und Anlagendatenverarbeitung

und Ultraschall-Sensoren. Aber auch anhand der Temperatur- und Druckverläufe konnte die Fließfront eindeutig detektiert werden. Charakteristische Messprofile der verschiedenen Sensoren sind in Abb. 14 gegenübergestellt. Temperaturverlauf (links) und DEA-Messkurve (rechts) zeigen mit dem ersten deutlichen Abfall der Kurve eindeutig die Ankunft der Fließfront. Die Druckkurve (Mitte) zeigt im Wesentlichen den Druckanstieg beim Zufahren der Presse. Aber auch aus diesen Daten kann der Zeitpunkt der Fließfrontankunft ermittelt werden.

Auf dieser Datengrundlage konnten mit Hilfe der Projektpartner das Fließverhalten nachempfunden und so kritische Bereiche identifiziert werden (kritische Bereiche = Bereiche in denen sich trockene Stellen bzw. Luft einschließen bilden). Bezogen auf das Polymerisationsverhalten konnten Sensor- und Labordaten verglichen und so die optimale Prozesszeit bestimmt werden. So wurde ein anvisierter Aushärtegrad von 98,5 % für den CosiMo-Demonstrator nach 5,7 Min. erreicht.

Die Versuchsanordnung mit den wesentlichen Anlagenkomponenten ist in Abb. 15 dargestellt. Besonders herausfordernd war es, die Vliesstoff-Fasermatten vollständig zu imprägnieren. Im Vergleich zu kompakteren Geweben oder Gelegen ist der Vliesstoff kissenartig und großvolumig. Dies führte dazu, dass der Spalt bei der Spaltinjektion vollständig mit Vliesstoff ausgefüllt war. Eine „echte“ Spaltinjektion war daher mit den vorhandenen Werkzeugen nicht möglich.

Bei der Prozessoptimierung wurden Material- und Anlagenparameter aufeinander abgestimmt. Beispielsweise wurde der Spalt während der Injektion im RTM-Werkzeug maximal erhöht. Auch wurde die Presskraft beim Zufahren der Presse maximiert (ca. 4200 kN). Gleichzeitig wurden das Mischungsverhältnis und die Temperaturen so gewählt, dass die Viskosität der Matrix bei der Injektion möglichst gering war. Schließlich wurden zur Optimierung des Tränkungsverhaltens Fließkanäle in den Preform eingebracht.

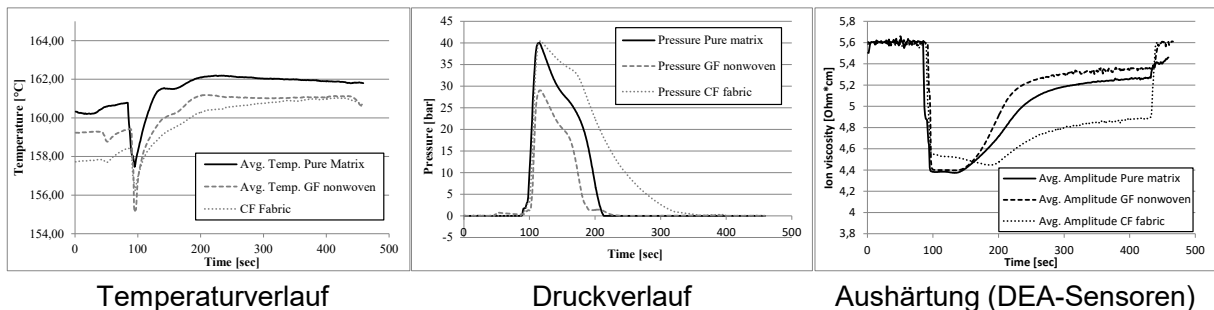


Abb. 14: Messdaten der Temperatur-, Druck- und DEA-Sensoren für einen beispielhaften Prozessdurchlaufs

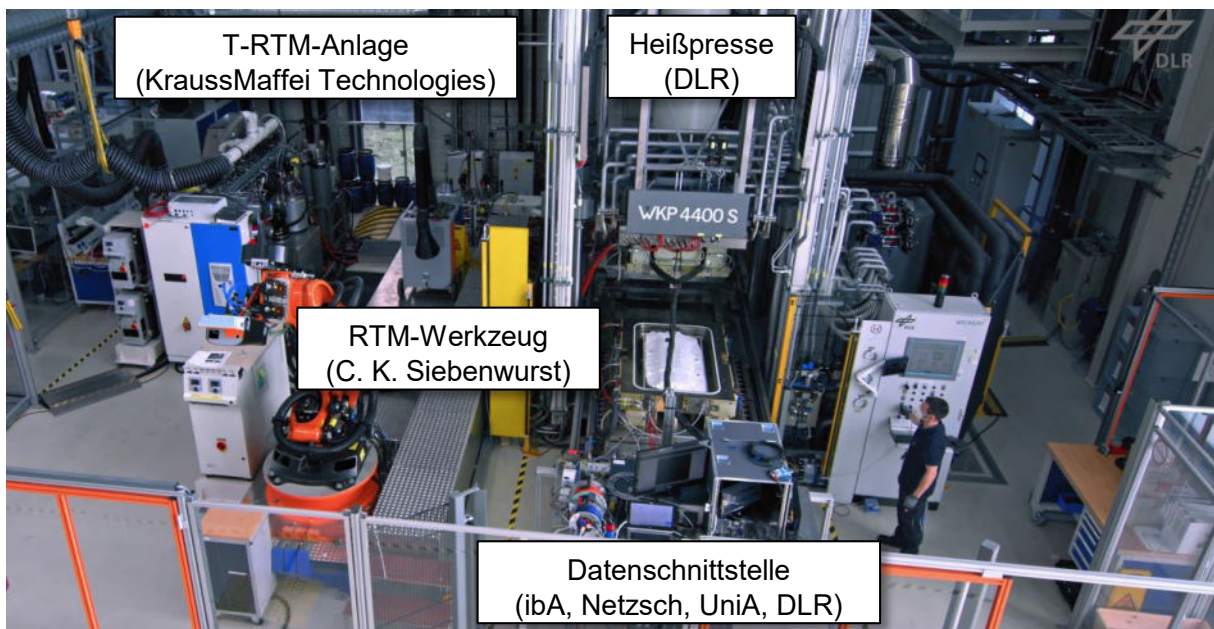


Abb. 15: Versuchsanordnung des T-RTM-Prozesses auf der Heißpresse des DLR-ZLP

Verwertungsperspektive

Mit CosiMo wurden die Grundlagen für eine modell- und sensor-basierte Prozessregelung für RTM-Prozesse geschaffen. Sensoren und Datenauswertung wurden für die Vliesstoffe und PA6 (Ausgangsstoffe ϵ -Caprolactam + Additive) entwickelt. Datenmodelle wurden auf Grundlage von Labor- und Sensordaten entwickelt und stehen für zukünftige Analysen zur Verfügung. Basierend auf dem gewonnenen Wissen können nun sogenannte closed-loop-Regelung entwickelt werden, bei denen eine Prozessparameteranpassung direkt während der Herstellung erfolgt.

Die Tätigkeiten in CosiMo haben gleichermaßen die Chancen und Herausforderungen für zukünftige intelligente Prozesse mit rezyklierten Materialien aufgezeigt. Einerseits nehmen die Materialtoleranzen in Halbzeugen aus rezyklierten Fasern stark zu. Dies kann zum Teil durch eine verstärkte Wareneingangskontrolle kompensiert werden. Andererseits sind die Einflüsse einzelner Parameterabweichungen auf den Gesamtprozess sehr komplex und lassen sich nur bedingt ausgleichen. CosiMo hat sehr deutlich die technischen Grenzen „intelligenter“ Prozesse vor Augen geführt. Nur mit einem umfassenden Materialverständnis, welches in Laborversuchen erarbeitet und in Simulationen ausgewertet werden muss, lassen sich Prozesszustände vorhersagen und aktiv während der Bauteilherstellung anpassen. Diese Erkenntnis gilt es nun in Folgeprojekten auch auf anderen Fertigungstechnologien, wie bspw. Vakuuminfusionsprozesse zu übertragen. Hier sollen zukünftige Forschungsarbeiten im Rahmen des Augsburger KI-Produktionsnetzwerks anknüpfen.



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.,
Institut für Bauweisen- und Strukturtechnologie,
Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie

Jan Faber

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Tel. +49 821 319874

jan.faber@dlr.de

www.dlr.de/zlp

Carbon-Hochgeschwindigkeits-5-Achssystem für die Bearbeitungsaufgaben der Zukunft

Im Rahmen des FuE-Vorhabens wurde ein Hochgeschwindigkeits-5-Achssystem für Bearbeitungsaufgaben der Zukunft unter der Verwendung von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) und der Integration von Zustandsüberwachungssystemen entwickelt.

Projektdaten

Koordinator

Ralph Hufschmied

Projektvolumen

3,46 Mio. €

Dauer

01.10.2017 - 30.06.2021

Projektpartner

- Hufschmied Zerspanungssysteme
- Eima
- ARRK
- Carbon-Werke
- Lebmeier
- Hoschschule Augsburg
- Universität Augsburg

Leichtbau-Elementen können die Prozessgeschwindigkeiten unter Beibehaltung hoher Präzision signifikant gesteigert werden. Dies ist eine erhebliche Steigerung der Effizienz und somit der Wirtschaftlichkeit im Bearbeitungsprozess.

Die Entwicklungen sind auf Grundlage einer vorhandenen Maschinenkonstruktion realisiert worden, die ein großformatiges Arbeitsvolumen ermöglicht. Der Fokus lag hierbei auf der Realisierung eines neuen Achsensystems (X-, Y- und Z-Achse) aus CFK. Dadurch können sehr hohe Verfahrgeschwindigkeiten des fahrenden Maschinenportals und deutlich höhere Schnittgeschwindigkeiten als bisher erreicht werden. Als Zielgröße wurden Achsbewegungen um den Faktor 4 bis 5 gegenüber dem bisherigen Stand der Technik realisiert, ohne an Bahngenauigkeit zu verlieren.

Außerdem wurde erstmalig durch die Integration zusätzlicher Sensorik und Messtechnik der Bearbeitungsprozess sowie die Maschinenkomponenten online erfasst und kontrolliert.

Dabei wird besonderes Augenmerk auf ein Detektions- und Reparaturkonzept für die CFK-Komponenten bei einer etwaigen Crash-Situation gelegt. Dieses Feature ist für ein markt- und serienreifes Produkt von entscheidender Bedeutung und wesentlich für dessen Akzeptanz beim Endkunden.



Abb. 16: Enabler Fräsmaschine



Hufschmied Zerspanungssysteme GmbH

Andreas Frank

Entwicklungsleiter

Tel. +49 823496640

info@hufschmied.net

MAI CC4 HybCar - Technologien zur effizienten Herstellung von hybriden CFK/Metall-Strukturbauteilen im Automobilbereich

Der HybCar-Ansatz zeigt eine flexible, lastfallspezifische und kostengünstige Leichtbaulösung für elektrische Fahrzeugplattformen durch materialspezifischen Einsatz von Stahlblech und CFK.

Projektdaten

Koordinator

Dr. Petra Fröhlich

Projektvolumen

2.679.000,00 €

Dauer

01.11.2017 - 31.01.2021

Projektpartner

- EDAG Eng. GmbH
- SGL Carbon
- Automation W&R
- Fraunhofer IGCV
- Universität Augsburg
- MAI Carbon

Der moderne Karosseriebau basiert auf Plattformkonzepten, von denen eine große Anzahl von Derivaten abgeleitet werden kann. Die Fahrzeugplattform ist darauf ausgelegt, das höchste erwartete Lastniveau zu erreichen. Bei vielen Derivaten führt dies zu einer Überdimensionierung der Komponenten oder zu kostenintensiver Derivatesteuerung in der Fertigung. Bei Verwendung eines leistungsstarken und kostenintensiven Werkstoffs wie z.B. Kohlenstofffaser, ist Überdimensionierung nicht rentabel. Kohlenstofffaser sollte nur verwendet werden, wenn ein bestimmtes Lastniveau erforderlich ist. Die Grundkonstruktion des HybCar-Konzepts erfüllt das niedrigste erwartete Lastniveau. Das niedrigste Lastniveau gilt als äußerst kostensensitiv und bildet die Grundstruktur, die den Montageanforderungen entspricht. Daher handelt es sich um eine reine Metallstruktur. Alle höheren Laststufen werden durch die Implementierung von UD-Kohlenstofffaser-Verstärkungen entlang der Hauptlastpfade erreicht.

Die HybCar-Innovation besteht aus einem Designkonzept und einem Prozess, welche die kostengünstige Herstellung bestimmter Teile auf Lastniveau mit einem einzigen Werkzeugset und deren Integration in einen automatisierten Fertigungsprozess ermöglichen. Unter Verwendung von automatisierter Faseraufbringung wird thermoplastisches UD-Band auf einen Metallrohling gelegt und anschließend mithilfe des HybCar-Verfahrens geformt,

einem kombinierten Thermoform- und Blechumformungsprozess.

Wie tragen Faserverbundwerkstoffe zur Funktion des Konzeptes bei?

Die Verwendung von Verbundwerkstoffen entlang der Hauptlastpfade in Kombination mit einer metallischen Grundkomponente stellt den Kern der Konzeptinnovation dar. Die Kohlenstofffaser-UD-Bänder werden verwendet, um die metallische Grundkomponente entlang ihrer Hauptlastpfade für höhere Lastniveaus zu skalieren, beispielsweise aufgrund einer größeren, und damit schwereren Fahrzeugbatterie. Geometrisch komplexe Bereiche sowie die verbindende Grundstruktur sind konzeptionell in Metall ausgearbeitet, die Hauptlastpfade sind faserverfreundlich gestaltet und entsprechen den Anforderungen von Faseraufbringungsprozessen. Mit Hilfe dessen kann das Bauteil entsprechend dimensioniert werden, und die in das Bauteil eingebaute Kohlenstofffaser kann ihr volles Leichtbau-Potenzial zeigen. Durch diesen Ansatz ermöglicht der Einsatz von Verbundwerkstoffen eine wirtschaftliche Bauteildimensionierung, die für die Großserienproduktion zur Verwendung in BEV-Plattformen geeignet ist.

Idee und Entwicklungsphase

Am Anfang des Projekts bestand die Idee darin, ein hybrides Leichtbaukonzept unter Verwendung von Faseraufbringungstechnologien zu entwickeln, das den wirtschaftlichen Anforderungen der Automobilindustrie gerecht wird. Um diese Anforderungen zu erfüllen, war uns klar, dass wir mit unserem Konzept vielseitigen Mehrwert schaffen und gleichzeitig ein sehr tiefes Verständnis des Prozesses haben mussten, damit die Rahmenbedingungen des Faseraufbringungsprozesses und das spezifische Formverhalten von Kohlenstofffasern und Metall gut in das Konzept passen. Wir haben die Entwicklungsphase iterativ gestaltet, basierend auf agilen Arbeitsmethoden, um den größtmöglichen Mehrwert zu schaffen. Diese Arbeitsweise hat uns geholfen, den hinzuge-

fügten Kundennutzen auf dem Zielmarkt wiederholt zu hinterfragen und somit das bestmögliche Gesamtergebnis zu erzielen.



Abb. 17: HybCar Bauteil

Wie trägt HybCar zur Optimierung der Fahrzeugauslegung bei und was ist sind die Umweltauswirkungen?

Das HybCar-Konzept ermöglicht ein spezifisches Leichtbaudesign in einem automatisierten, kosteneffizienten Hochvolumenprozess. Daher wird das Material nur platziert, wenn es für den jeweiligen Anwendungsfall benötigt wird. Überschüssiges Material und Gewicht werden vermieden, und somit wird die Fahrzeugeffizienz optimiert. Das Demonstrator-Teil des HybCar-Konzepts ist die Bodenstruktur eines BEV. Das HybCar-Konzept ermöglicht ein flacheres Profilkonzept, was die Bodenhöhe reduziert. Da BEVs aufgrund der Batterie in der Bodengruppe tendenziell einen höheren Aufbau haben, verringert ein flacheres Profil die Fahrzeughöhe und reduziert somit den aerodynamischen Luftwiderstand des Fahrzeugs, um noch mehr Energie zu sparen.

Höheneinsparungen in der Plattform, bei gleichbleibender Fahrzeughöhe, vergrößern hingegen den Raum für die Passagiere. Dies verbessert den Fahrkomfort und ermöglicht auch zusätzliche Schallisierungen. Im HybCar-Ansatz werden eine Stahlblechplatte und CF/PA6 UD-Tapes verwendet. Die Grundkomponente ist rein metallisch; die Kohlenstofffaser-Verstärkung wird entsprechend der erwarteten Laststufe eingeführt. Dies gewährleistet die Gestaltung eines gewichts- und laststufenoptimierten Bauteils. Dieser material- und gewichtsoptimierte Ansatz minimiert die CO₂-Emissionen in der Herstellungs- und Nutzungsphase. Am Ende des Lebenszyklus kann das Material in Metall und CF/PA6 getrennt werden. Beide Komponenten können separat

voneinander recycelt werden. Die Grundlage der HybCar-Innovation ist die EDAG BEV-Plattform ScaleBase. Der HybCar-Ansatz optimiert den Plattformansatz in Bezug auf Materialverwendung und Emissionen.



EDAG Engineering GmbH

Josef Wagner

Vice President Body Engineering

Tel. +49 160 90689245

josef.wagner@edag.com

www.edag.com

Inline Produktions- und Qualitätskontrolle bei der Fräsbearbeitung von metallischen und CFK-Produktionsanwendungen

Im Rahmen dieses Projekts wurde untersucht, inwieweit Prozessdaten zur Bauteilherstellung und Daten zur Qualitätssicherung zwischen Firmen eines Netzwerks Inline ausgetauscht werden können, so dass es möglich wird, bei Abweichungen der Prozessdaten von festgelegten Produktions- bzw. Qualitätswerten oder Schwellwerten über das Netzwerk in den Bearbeitungsprozess eingreifen zu können.

Projektdaten

Koordinator

Ralph Hufschmied

Projektvolumen

2,5 Mio. €

Dauer

01.06.2018 - 31.05.2020

Projektpartner

- BMW AG
- Hufschmied Zerspanungssysteme GmbH
- Alexander Thamm GmbH
- Universität Augsburg
- inno-focus businessconsulting GmbH (Unterauftragnehmer)
- VisCheck GmbH (Unterauftragsnehmer)

untereinander starten zu können. Als Folge dieser Inline-Qualitätskontrolle wurden die Kosten aus der Produktion und der Qualitätssicherung zwischen 35% und 50% reduziert. Des Weiteren konnten die Produktionskosten der Verarbeitung reduziert werden, da Werkzeuge, hier: Fräswerkzeuge, bis zu ihrem realen Standzeitende genutzt werden können und nicht nur bis zu einem statistisch festgelegten Mindeststandweg.

Anwendungsbereiche

Im Projekt MAI ILQ 2020 werden die unterschiedlichsten Anwendungsfälle für das Fräsen untersucht. Sie zeigen damit repräsentativ die unterschiedlichsten Ausprägungen des Schneidens mit definierter Schneide und werden nachfolgend kurz skizziert.

Der ausgewählte Demonstrator-Prozess, die Endbearbeitung von Serien-CFK-Bauteilen und die metallische Bearbeitung von Werkzeugen und Motorenkomponenten, sind als Enabling-Prozesse für viele weitere Anwendungen anzusehen. Der bereits gut industrialisierte Prozess des FräSENS ist in einem existierenden Netzwerk gewählt worden, um die Effekte von Industrie 4.0 messen und mit einem hohen Anfangsvertrauen der Partner

Im Werkzeugbau München der BMW AG werden Blech-Umformwerkzeuge für Karosseriebauteile hergestellt. Hierzu zählen unter anderem Karosseriestrukturbauteile und die lackierten Außenhautteile, die das Design des Fahrzeugs prägen. PKW-Seitenwände, Motorhauben und Heckklappen sind Großbauteile, für die Bearbeitungszentren mit Tischflächen von 2,50m x 5m erforderlich sind. Die hierzu erforderlichen Umformwerkzeuge sind Unikat-Anfertigungen. Sie müssen Pressdrücken von bis zu 4000t standhalten und eine sehr geringe Oberflächenrauheit aufweisen. Die Umformwerkzeuge bestehen aus Gusseisen mit Kugelgrafit (GJS), das ähnlich gute mechanische Eigenschaften wie Stahl besitzt, jedoch schwingungsdämpfender und kostengünstiger ist und als gut zerspanbar gilt. Dennoch führen die Bauteilgröße sowie die hohen Oberflächenanforderungen dazu, dass die Bearbeitungszeiten beim Schlichten deutlich mehr als 50 Stunden betragen.

Die Firma Hufschmied als Zerspanwerkzeughersteller fertigt diese Fräswerkzeuge auf Schleifmaschinen. Stand zunächst im Vordergrund, die Informationen des Produktes Zerspanwerkzeug, z.B. aus Messmaschinen, für den digitalen Zwilling bereitzustellen, zeigte sich gegen Projektmitte, dass die Ergebnisse aus dem FräSEN mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das Schleifen – Schneiden mit nicht definierter Schneide übertragbar sind.

Die Bearbeitungszentren im Technikum der Firma Hufschmied wurden digital an die Cloud von Hufschmied angebunden. Auf diesen Maschinen werden Kundenprozesse und -bauteile eingefahren sowie Werkzeugtests zur Entwicklung immer neuer Geometrien der Fräswerkzeuge durchgeführt. Dabei kommen sehr unterschiedliche Materialien wie CFK, Peek, Aluminium, GFK, Kunststoffe, Decormaterialien, etc. zum Einsatz. Ähnlich wie bei BMW kann damit der Prozess mittels Maschinendaten und weiteren Sensoren überwacht werden oder die erfassten Daten intern für weitere Projekte analysiert werden.

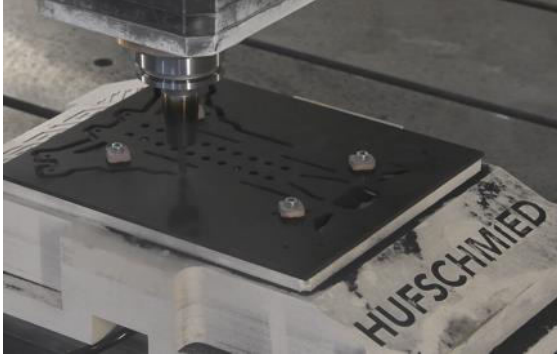


Abb. 18: Demobauteil CFK

Technologie Erkenntnisse:

Das Aufzeichnen, Speichern und somit mögliche Visualisieren auch in ganz anderer Darstellungsweise (z.B. Spindelleistung im Raum) hat zu einem deutlich erkennbaren Verständnis für die Prozesse bei den Fräswerkzeugtechnologien, den Fertigungsspezialisten und den Mitarbeiter in der Produktion geführt. Durch die Datenerfassung während des Prozesses können direkt und unmittelbar Ergebnisse produziert und dargestellt werden, die im Sinne der Inlinequalitätskontrolle einen großen Benefit für die Prozessbetrachtung liefern.

Im Projekt MAI ILQ 2020 ist es gelungen, die wesentlichen Ergebnisse mit einfachen Mitteln automatisiert darzustellen, so dass sie ohne zusätzliche Explorationsarbeit zumindest in der HUB-Ebene visualisiert werden können. Eine direkte Visualisierung an der Maschine bietet die Möglichkeit weitere Schritte im Prozessablauf umsetzen zu können, wobei eine aufwendige 100%-Qualitätskontrolle der Teile reduziert werden kann.

Insgesamt führte dies dazu, dass sich die Technologen und die Verantwortlichen dichter an die Belastungsgrenzen von Maschine und Fräswerkzeug herantrauen konnten, da sie erstmalig tatsächlich dokumentieren können, wie stark die Belastung in der Produktion für Fräswerkzeug und Maschine tatsächlich ist. Dieses Teilergebnis führte zu einer ökonomisch bewertbaren Effizienzsteigerung in der Produktion.

Auch im Bereich Schleifen haben die angebotenen Maschinen- und Körperschalldaten einen Einfluss auf die Fräswerkzeugherstellung und den digitalen Zwilling. Es ist nun durch die gesammelten Herstellungsdaten möglich, das Leben und vor allem die Standzeit bzw. den Standweg des Werkzeugs im Einsatz über die

Daten mitzuteilen. Neben den bereits angebotenen Schleifmaschinen bieten auch die Messmaschinen einen erheblichen datenbasierten Vorteil für weitere Schritte der Werkzeugherstellung.

Industrie 4.0

Die ursprüngliche Idee eines unternehmensübergreifenden Datenaustauschs konnte zu einem technologiespezifischen Ökosystem entwickelt werden. Dieses wurde von der Maschine bis hin zu einem Datenaustausch-HUB als reifer Prototyp mit definierter Aufgabenstellung und klarem Rollen-Rechte-Verständnis für den unternehmensübergreifenden Datenaustausch realisiert. Eine Instanzbasierte Datenübertragung findet statt und über den QR-Code jedes Zerspanungswerkzeugs kann das ermittelte Datenpaket über den HUB an den Werkzeugnutzer übergeben werden.

Know-how-Schutz

Dieser Begriff wird heute auch mit den Begriffen Datensouveränität und GAIA-X in Zusammenhang gebracht. Er konnte in der hier gewählten fachspezifischen Lösung und damit speziell für diesen Anwendungsfall im Detail betrachtet werden. Von den spezifischen Ergebnissen profitiert die Branche der Technologie Schneiden mit definierter Schneide (Fräsen). Zugleich lassen sich die Erkenntnisse aber auch sehr gut in andere Technologien übertragen. (vgl. Kapitel 2.1) Der Know-how-Schutz ist durch die Freigabemechanismen für die Partner auf dem HUB implementiert. Daher kann ein Datenaustausch auf einem sicheren Weg ohne Wissensverlust für die Partner realisiert werden. Diese Idee ist außerdem universell auf weitere Plattformnutzer anwendbar. Somit wurde die Idee zum Datenaustausch des digitalen Zwillings umgesetzt und der Nutzen auf Hersteller- und Nutzerseite erkannt.



Hufschmied Zerspanungssysteme GmbH
Andreas Frank
 Entwicklungsleiter
 Tel. +49 823496640
info@hufschmied.net
www.hufschmied.net

MAI CC4 Rapidskelett

Schneller und preiswerter zu abgesicherten und optimierten Leichtbauteilen mit 3D-Druck und Skelettbauweise

MAI CC4 Rapidskelett nutzt die in MAI skelett realisierte Bauweise für die Additive Fertigung. Dabei werden FVK-Bauteile werkzeuglos produziert und der Entwicklungsprozess signifikant beschleunigt. Gegenüber dem MAI skelett-Prozess, gekennzeichnet durch ein Umspritzen unidirektional endlosfaserverstärkter CFK-Stäbe - werden die Prozessschritte umgekehrt. Daher wird zunächst im 3D-Druck-Verfahren eine thermoplastische Struktur erzeugt, in die nachfolgend das unidirektional verstärkte Material im aufgeschmolzenen Zustand eingebracht wird.

Projektdaten

Koordinator

Jürgen Lescheticky,
BMW AG

Projektvolumen

2,8 Mio.

Dauer

01.09.2019 - 31.12.2022

Projektpartner

- BMW
- FHG-IGCV
- ARRK
- SGL Carbon
- TUM-LCC
- Lebmeyer

einsatz vorbereitet. Diese stellen zwischen dünnen Tapes und einem Stab als Halbzeug einen Kompromiss in Bezug auf den Querschnitt des Halbzeuges dar, und erlauben unter verfahrenstechnischen, d.h. wärmetechnischen, Aspekten, eine stabile Prozessführung bei höherem Durchsatz bei der Halbzeugherstellung als auch beim Eintrag der mit Thermoplasten imprägnierten endlosfaserverstärkten Halbzeuge in ein 3D-gedrucktes Bauteil. Das Fertigungskonzept mit mehreren gleichzeitig aufgeschmolzenen Rods und wenigen aber mehrfachem Eintrag in den 3-D gedruckten Kanal hat sich bewährt und ist für Knotenpunkte wesentlich. Für eine gute Kraftübertragung zwischen endlosfaserverstärktem CFK-Material und dem 3D-Material ist eine Kohäsionsverbindung gleicher Materialien in der Grenzschicht erforderlich, die durch ein kurzzeitiges Aufschmelzen

Beim Rapidskelett-Verfahren ist das endlosfaserverstärkte CFK das Fügeelement zu den 3D-Umfängen. Mittels der CFK-Umfänge lassen sich mehrere 3D-Teile leicht miteinander zu einer größeren Struktur zusammenfügen.

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit wurden im Bereich der Verfahrenstechnik Rods auf den Serien-

beider Komponenten in der Kontaktfläche erreicht wird.

Darüber hinaus ist die Auslegung/ Simulation wesentlicher Beitragsleister für eine optimierte werkzeuglose Fertigung von Skelettbauweisen, indem die Auslegung von Skelettbauweisen als Superposition zweier Materialien optimiert und hinzu einem halbautomatischen Vorgehen vereinfacht wird. Dazu trägt auch ein Baustein in der Bauteilkonstruktion der Endlosfaserstärkung bei, der eine fehlerfreie Konstanz des Flächenquerschnitts bei lokal unterschiedlichen Stabgeometrien sowie in Knoten sich kreuzenden Lastpfade realisiert.

Zur Steigerung des Leichtbaueffektes wurden Grundlagen für die Auslegung von Lattice-Strukturen geschaffen, die beim Drucken poröse 3D-Druck-Strukturen bei weiterhin guten mechanischen Eigenschaften erzeugen.

Projektziel

Die Rapidskelett-Bauweise soll mit dem in der Großserie realisierten Ansatz von MAI skelett abgeglichen werden, um die Skelettbauweise zusätzlich für die Prototypenphase nutzbar zu machen.

Die wesentlichen F&E Ziele wurden erreicht:

- signifikante Beschleunigung des Entwicklungsprozesses zur Herstellung von FVK-Bauteilen und Baugruppen.
- Machbarkeit des werkzeuglosen Verfahrens für FVK-Bauteile, welche den Anforderungen an Bauteileigenschaften genügen.
- neue Simulationsmethoden sowie Korrelation Simulation / Hardware mit verbesserter Prognosegüte
- Weitere Kostenreduktion für Bauteile in der Skelettbauweise

Projektergebnisse

MAI CC4 Rapidskelett hat den Stückzahlbereich der Skelettbauweise auch für niedrige Stückzahlen erweitert. Mit den Fortschritten in der Simulation konnten die Entwicklungszeiten reduziert werden und zugleich weitere Gewichtsreduktionen, insbesondere für die endlosfaserverstärkten CFK-Umfänge erreicht werden. Da diese preisbestimmend für das Bauteil

sind, konnte die Wirtschaftlichkeit für die Skelettbauweise insgesamt verbessert werden, die damit ihre Position als wegweisenden kostengünstigen Lösungsansatz für Leichtbaustrukturen erhärtet.



Abb. 19: Gerader Träger mit automatisiert eingebrachten endlosfaserverstärktem CFK (schwarz) in 3D-gedruckte Struktur (weiss)

Das Konzept der werkzeuglosen Fertigung ist möglich, aber der Materialeintrag des endlosfaserverstärkten CFK-Materials in den Kanal ist mit einer Andrückrolle zu unterstützen.

Für die generische Auslegung dieses Multimaterialsystems wird die Beibehaltung der grundlegenden Schritte des Standardvorgehens wie die Festlegung von Anforderungen und Zielen an Steifigkeit und Festigkeit, sowie die Vorgabe eines Bauraums und die enge Zusammenarbeit mit der Konstruktion empfohlen. Die Auslegung bei einem Multi-Material-Design erfolgt jedoch in zwei Schritten, wobei zuerst der Verlauf des endlosfaserverstärkten, unidirektionalen CFK-Materials und anschließend das optimale Design der Stützstruktur ermittelt wird. Die Topologieoptimierung des CFK-Materials erfolgt zunächst mit isotropen Materialeigenschaften und dem Optimierungsziel die Bauteilsteifigkeit zu maximieren und die benötigte Masse zu reduzieren. Abhängig von den bekannten Daten zu Zielgewicht, Zielsteifigkeiten, etc. wird die zweite Stufe zur Designfindung der Stützstruktur analog der ersten durchgeführt oder die Bauteilsteifigkeiten werden reduziert, während das Bauteilgewicht möglichst weit minimiert wird.

Mit dieser Abfolge von Topologie Optimierungen als umsetzbare Auslegungsrichtlinie lassen sich auf Basis der untersuchten Bauteile zuverlässig sowohl Skelett- als auch Rapidskelettstrukturen entwickeln.

Gegenüber dem Anfangsstand konnte für den geraden Träger mit dieser Auslegung eine Gewichtsreduktion von mehr als 15% erreicht werden, wobei der endlosfaserverstärkte Anteil durch die höhere Anpassbarkeit mit den Rods

um mehr als 25% Gew.-% reduziert werden konnte.

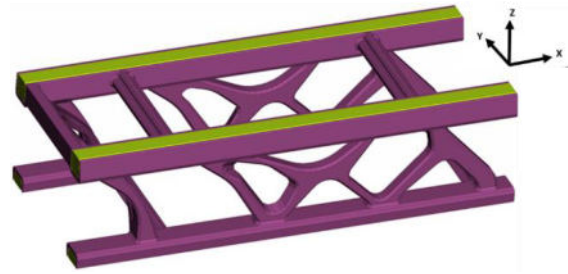


Abb. 20: Finales Design des geraden Trägers

Mit den weiteren Demonstratoren Multiaxialer Träger, E-Scooter-Rahmen, Maschinentraverse und Windlauf, wurden ebenfalls beachtliche Gewichts- und Kostenreduktionen erreicht. Der Windlauf als Dachspriegel ist inzwischen ein Skelett-Serienbauteil im BMW iX.

Verwertungsperspektive

Die Verwertungsperspektiven des Projektes MAI CC Rapidskelett sind vielfältig und haben unterschiedliche Ausprägungen.

Für Rods ist ein Entwicklungsstand erreicht, so dass Rods dem Markt, mit den Konzepten auch skalierbar für größere Mengen, bereitgestellt werden können. Gegenüber Tapes handelt es sich um eine flexible, kostengünstige Materialkonstellation für Rapid- und Multiskelettelwendungen.

Die generelle Machbarkeit einer Fertigung von Rapidskelett-Bauteilen ist bestätigt. Mit den dabei gewonnenen Erkenntnissen ist eine risikominimierte Serienentwicklung möglich, zumal andere wesentliche Elemente (Material und Auslegung) bereits zur Verfügung stehen.

Mit der Anwendung des Auslegungskonzeptes und Nutzung der Simulationstools bei allen Demonstratoren ist diese für die Skelettbauweise über die deutlichen Gewichtsreduktionen sowie die Rechenzeitreduktionen für die Auslegung und das Konstruktionstool klar gegeben.



BMW AG
Jürgen Lescheticky
 Leiter Konzeptentwicklung Fachbereich EP
 Tel. +49-89-382-21253
 juergen.lescheticky@bmw.de

Fazit

Mit dem Campus Carbon 4.0 ist es dem Spitzencluster MAI Carbon gelungen, die erfolgreiche Projektarbeit fortzusetzen und neue Impulse, vor allem aus dem Bereich der Digitalisierung von Prozessen, aufzugreifen. Damit konnte MAI Carbon sich als Innovationseinheit national und international behaupten und ein fundamentales Sprungbrett schaffen im Sinne der MAI Partner die Composites Industrie weiterzuentwickeln. Unser Motto „Kooperation – der Schlüssel zum Erfolg“ wird auch weiterhin eine große Chance bieten, sich gemeinsam Entwicklungsthemen zu widmen und sich damit von Wettbewerbern abzugrenzen, Ressourcen einzusparen und damit zukunftsorientiert aufzustellen.

Abbildungsverzeichnis

MAI CC4 CaRinA

Abb. 1: Links: Blech zur Fixierung des rCF-Vlieses auf dem Legetisch. Rechts: lokale Verstärkung der Vliesstoffe für eine Hutprofil Geometrie.3

Abb. 2: Walzenabzug für die Abnahme des Flors aus der Krempel. Das System wurde für die Verarbeitung von Carbonfasern erstmals funktionsfähig im CaRinA-Projekt entwickelt.3

Abb. 3: Vergleich der Schlibfbilder von Nassgepressten Proben (WCM) und DFCEM Proben. ...4

Abb. 4: Hutprofil mit vollständig gefüllten Schmelze-Kavitäten 4

Abb. 5: Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit von unverstärkten und verstärkten thermoplastische und duromeren Vliesstoffen [Man20] 4

Abb. 6: Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit einiger ITA, ELG, Tenowo und Nassvliesmaterialien mit unterschiedlichen Prozessrouten. Eigenschaften als gemittelte Darstellung aus 0° und 90° (keine Normierung der Daten auf einen FVG).....5

Abb. 7: Biegefestigkeit und Biegesteifigkeit von rCF-Vliesstoffen mit einer unterschiedlichem FVG und einer PET-Matrix [Man21].....5

Abb. 8: CT-Aufnahmen an unterschiedlichen Stellen im Vliesstoff.5

Abb. 9: Hutprofil-Demonstrator im digitalen Modell. Verformungssimulation im unbelasteten und belasteten Zustand..... 6

Abb. 10: Links: Türmodul-Außenseite mit ELG-Vlies. Rechts: Türmodul-Innenseite mit ELG-Vlies..... 6

Abb. 11: Auswahl der MAI CaRinA Datensätze innerhalb der Fraunhofer IGCV Materialdatenbank.7

MAI CC4 CosiMo

Abb. 12: Projektlogo mit Themenfeldern und Partnern..... 8

Abb. 13: Sensornetzwerk zur Sensor- und Anlagendatenverarbeitung 10

Abb. 14: Messdaten der Temperatur-, Druck- und DEA-Sensoren für einen beispielhaften Prozessdurchlaufs11

Abb. 15: Versuchsanordnung des T-RTM-Prozesses auf der Heißpresse des DLR-ZLP.....11

MAI CC4 FastMOVE

Abb. 16: Enabler Fräsmaschine13

MAI CC4 HybCar

Abb. 17: HybCar Bauteil.....15

MAI CC4 ILQ 2020

Abb. 18: Demobauteil CFK.....17

MAI CC4 Rapidskelett

Abb. 19: Gerader Träger mit automatisiert eingebrachten endlosfaserverstärktem CFK (schwarz) in 3D-gedruckte Struktur (weiss).....19

Abb. 20: Finales Design des geraden Trägers.....19

MAI Carbon

Spitzencluster des Composites United e. V.

Am Technologiezentrum 5

86159 Augsburg

www.mai-carbon.de

Sven Blanck

Clustergeschäftsführer

+49 (0) 821 26841115

sven.blanck@mai-carbon.de