

Schlussbericht

Autor: Felix Weitmeier

Datum: 26.10.2022

Förderkennzeichen	03INT510AB
Zuwendungsempfänger	KraussMaffei Technologies GmbH Krauss-Maffei-Straße 2 80997 München
Förderinitiative	InterSpiN - Internationalisierung von Spitzenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken
Vorhaben	Verbundprojekt: Technologiefusion von 3D-Faserapplizieren und Spritzgießen zur Herstellung lastgerechter Leichtbaustrukturen – Teilvorhaben B
Laufzeit des Vorhabens	01.09.2018 bis 30.04.2022

gefördert durch:

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Inhalt

1	Kurzbericht.....	3
1.1	Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	3
1.2	Ablauf des Vorhabens.....	3
1.3	Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	5
2	Eingehende Darstellung	7
2.1	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	7
2.1.1	AP 1.1: Entwicklung des Anforderungskataloges zur Realisierung repräsentativer Technologiedemonstratoren	7
2.1.2	AP 1.2: Definition der Prozessparameter und Zielparame-ter für den Faserapplizier- und Spritzgussprozess.....	7
2.1.3	AP 2.4: Spezifikation der Halbzeuge für die Verarbeitung im Spritzguss	10
2.1.4	AP 3.2: Synthese und Konstruktionskonzept für das Legekopfsystem	10
2.1.5	AP 4.1: Konzeption	11
2.1.6	AP 5.2: Spezifizierung und Detailentwicklung des modularen Werkzeugsystems.....	12
2.1.7	AP 5.4: Konstruktive Ausarbeitung des modularen Werkzeugsystems	13
2.1.8	AP 5.5: Realisierung eines Forschungsmusters für das Spritzgießwerkzeugsystem	14
2.1.9	AP 6.1: Konzeption der Anordnung der Fertigungssysteme (Fertigungsvarianten).....	16
2.1.10	AP 6.3: Realisierung (der Produktionslinie) und eines Technologiedemonstrators.....	16
2.1.11	AP 8.1: Arbeitspaketübergreifende Strategieentwicklung zur Werkstoffrückführung	16
2.1.12	AP 9.1: Dokumentation und Einordnung aller messbaren Zielgrößen	21
2.1.13	AP 9.2: Entwicklung von Gestaltungs- und Dimensionierungsrichtlinien	21
2.1.14	AP 9.3: Zusammenfassung und Ableitung von Methoden zur Auslegung der 3D-Faser-Strukturbauteile	21
2.2	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	22
2.3	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	23
2.4	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	23
2.5	Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NABF	23
2.6	Literaturverzeichnis.....	24
2.7	Abbildungsverzeichnis	24
2.8	Tabellenverzeichnis	24

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03INT510AB gefördert.

Die KraussMaffei Technologies GmbH bedankt sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung und beim Projektträger Jülich für die Förderung, Unterstützung und Betreuung des Projektes 3D-Faim. Ebenfalls möchten wir uns bei den Projektpartnern und bei allen Beteiligten bedanken, die bei der Durchführung des Projektes mitgewirkt haben.

Für die Unterstützung und konstruktiven Gespräche bedanken wir uns bei den Firmen KomRec-ReCond GmbH, MKV Kunststoffgranulate und Fraunhofer IVV

1 Kurzbericht

1.1 Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der Kern der Innovation in diesem Projekt besteht in der Erarbeitung eines Fertigungskonzeptes zur Kombination des effizienten Spritzgießens mit der Technologie des 3D-Faserapplizierens zur Herstellung von faserverbundbasierten Leichtbaustrukturen mit individualisierter lastgerechter Verstärkung. Die technologische Innovation liegt in der erstmaligen dreidimensionalen Fertigung lokaler Verstärkungsstrukturen durch Ablegen faserverstärkter thermoplastisch imprägnierter Tapes sowie Drucken kurzfaserverstärkter Thermoplaste (3D-Faserapplizieren) mittels eines den Druckvorgang bestimmenden multifunktionalen Lege- bzw. Druckkopfs.

Die Zielerreichung soll anhand der Fertigung einer Demonstratorkomponente nachgewiesen werden. Am Beispiel der Demonstratorkomponente soll ein wirtschaftlicher und zuverlässiger Fertigungsprozess erarbeitet werden.

Ziel des Teilvorhabens von KraussMaffei ist die Erforschung und technische Darstellung einer vollständigen Prozesskette zur Herstellung lastpfadgerecht verstärkter Bauteile mit der Integration verschiedener Funktionalitäten direkt im Herstellprozess unter Einhaltung einer hohen Ressourceneffizienz. Hierbei unterstützt KraussMaffei die Projektpartner beratend hinsichtlich Auslegung des Zellenlayouts und Prozessparameter.

KraussMaffei hat in verschiedenen Forschungs- und Entwicklungsprojekten Erfahrungen gesammelt, welche in das Projekt mit einfließen werden:

- Enthylt - Entwicklung von Hybridbauteilen aus langfaserverstärkten Thermoplasten und Tapes
- SpriForm – Kombination von Thermoplast-Spritzguss und Fließpressen mit Thermoformen kontinuierlich faserverstärkter Thermoplaste für Struktur-Leichtbauteile im Automobilbau
- MAI hiras + handle - Entwicklung und Realisierung einer dynamisch dauerbeanspruchten Komponente einer Fahrzeugstruktur aus thermoplastischen CFK am Beispiel einer Motorrad-Hinterradschwinge
- ReProOrgano - Prozessentwicklung zum Recycling von Organoblech-Verschnitten mit direkter Implementierung in den Hybridbauteil-Fertigungsprozess mit zusätzlicher Bewertung

Darüber hinaus hat KraussMaffei in der Vergangenheit verschiedene Kundenprojekte mit Organoblech- und Insert- Anwendungen durchgeführt.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Die Aufgaben und Arbeitsinhalte aller beteiligten Partner des Verbundprojektes wurden in 9 Arbeitspakete (AP) gegliedert, welche im folgenden Gantt-Chart detailliert dargestellt sind. Das internationale Forschungsvorhaben erforderte in allen Arbeitspaketen einen hohen Grad an Kommunikation und Absprachen der Aufgaben zwischen allen Verbundpartnern. Alle Konsortialpartner waren in mehreren Arbeitspaketen zu geordnet. Die TU Chemnitz / Exzellenzcluster MERGE galt als federführender Antragsteller und übernahm die Rolle des Projektkoordinators und für dieses internationale Verbundprojekt.

Hauptgliederung des Antrags		2018												2019												2020																							
		DE (MERGE)	DE (NM)	DE (WM)	R&R	FKT	NL (Station)	NL (Complape)	PL (Wiro -CAMT)	PL (BIC)	PL (UTE Byd)	PL (Rtze)	PL (TU Opole)	PL (fa Dopak)	1	2	3	4	5	MS1	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	MS 2	7	8	9	10	MS3	12	1	2	MS4	4	5	MS5	7	8	9	10	MS6
1	Voruntersuchungen	x	x	x		x		x			x	x			x	x	x	x	x	x																													
	- Randbedingungen anhand der Technologiedemonstration - Materialkennwerte - Verarbeitungsparameter																																																
2	Halbzeugentwicklung	x	x					x	x			x						x	x	x	x	x	x	x	x																								
	- Ableitung von Materialanforderungen - Tape- und Druckmaterialentwicklung - Bestimmung des Eigenschaftsspektrums																																																
3	3D-Legekopf	x			x		x											x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
	- Entwicklung eines multifunktionalen Konzeptes - Konstruktive Umsetzung - Realisierung und Vergegenständlichung - Inbetriebnahme																																																
4	Technologiedemonstrator	x	x	x		x			x	x	x								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
	- Konzeption - Lastgerechte und technologieorientierte Detailplanung - Ausarbeitung und Konstruktive Umsetzung - Fertigungstechnische Aufbereitung																																																
5	Modulares Spritzgießwerkzeugsystem	x	x			x				x	x								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
	- Konzepte des Systems - Detailplanung und prozesstechnische Auslegung - Realisierung und Vergegenständlichung - Inbetriebnahme und versuchstechnische Musterung																																																
6	Technologiefusion im Fertigungsprozess	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x					x	x		x	x	x	x																									
	- Konzeption und Zusammenführung der Teilsysteme - Schnittstellendefinition und integrierende Systeme - Feinabstimmung - Produktspezifische Anpassungen																																																
7	Prüfung am Technologiedemonstrator	x		x					x			x	x																																				
	- Statische und dynamische Untersuchungen - Zerstörungsfreie Untersuchungen - Daueruntersuchungen - Anwendung und Auswertung																																																
8	Recyclingstrategie	x						x	x			x	x					x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
	- Strategieentwicklung - Materialkreisläufe und Werkstoffrückführung in den Prozess - Zusammenhängendes Netzwerk																																																
9	Technische Analyse, Auswertung und Zusammenfassung	x	x	x	x	x		x	x		x		x																																				

Abbildung 1: Arbeitsplan 3D-Faim

KraussMaffei Technologies hat die Arbeitspakete 1, 2, 4, 5, 6, 8, und 9 bearbeitet. Arbeitspaket 8 war ursprünglich kein Arbeitsinhalt von KM, wurde aber im Lauf des Projektes bearbeitet.

Im AP 1 erfolgte eine eingehende Analyse der technischen Anforderungen an die Entwicklungs- und Fertigungsprozesse. Für die Darstellung innerhalb einer Anwendungsumgebung wurde ein Technologiedemonstrator ausgewählt und davon die zu erfüllenden Lastanforderungen abgeleitet. Im Mittelpunkt stand dabei vor allem die Schnittstellen innerhalb der Bauteilgeometrie und deren Integration im Fertigungsprozess.

Mit dem Ansatz, die erforderlichen Halbzeuge nicht nur für die Einzelanwendung, sondern erstmalig serien-tauglich nutzbar bereitzustellen, wurden im AP 2 die unidirektionalen endlosfaserverstärkten Thermoplast-tapes spezifiziert und durch eine Prozesskette zur Bereitstellung der Halbzeuge beschrieben. Die Anforderungen orientierten sich dabei an der Materialspezifikation aus den Voruntersuchungen und werden durch entsprechende Prüfzenarien nachgewiesen.

In AP 4 erfolgte die Entwicklung des Technologiedemonstrators, welcher alle Anforderungen des gegenwärtig

eingesetzten Stahlbauteils (Seitenaufprallträger) erfüllt und in einem serienfähigen Prozess hergestellt werden kann.

In AP 5 wurde ein modulares Werkzeugsystem im Rahmen der Spritzgießtechnologie konzipiert, geplant, simuliert und schließlich realisiert. Die Fertigungsparameter waren abhängig von dem vorab ausgewählten Technologiedemonstrator.

In AP 6 kam es zur Kombination aller Fertigungstechnologien zum finalen Technologiedemonstrator. Alle Einzelanlagen wurden steuerungstechnisch in die Gesamtanlage verknüpft und das Handhabesystems wurde implementiert.

In AP 7 wurde das Verhalten des Technologiedemonstrators in realen Einsatzszenarien analysiert. Die Durchführung erfolgte an einem Technologiedemonstrator, der auf Basis von Berechnung, Simulation und Materialkennwerten der Halbzeuge entwickelt wurde. Bei der Prüfung des Technologiedemonstrators fanden die

Ergebnisse aus Voruntersuchungen, Auslegung und Entwicklung Berücksichtigung.

Ziel des AP 8 war die Entwicklung einer mit dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) konformen Recyclingstrategie für den Technologiedemonstrator und aller während der Fertigung entstehen Abfallprodukte. In AP 9 wurde die zusammenfassende Analyse der Teilprozesse und deren Zusammenwirkung in Form der Technologiefusion übernommen. Die Fertigungsergebnisse im Hinblick auf messbare ökonomische Zielgrößen und ökologische Kriterien wurden ausgewertet. Die Auswertung lieferte wichtige fundierte technologiespezifisch Teilaspekte zum Entwickeln von Dimensionierungs- und Gestaltungsrichtlinien. Daraus können sich für die Partner des Verbundes auch wesentliche Inhalte zur Gestaltung von modularen technologiespezifischen Werkzeugsystemen und deren anwendungsorientierter Auslegung ableiten.

Die Überprüfung von Zwischenergebnissen erfolgte durch sechs vorab definierte Meilensteine, die das Erreichen von Teilzielen markierten:

MS 1: Vorliegen eines Demonstratorkonzepts

MS 2: Vorliegen der Produktionsstrategie und Konzeptabschluss

MS 3: Vorliegen der realisierten Teilsysteme

MS 4: Vorliegen der Technologiefusion

MS 5: Vorliegen der Recyclingstrategie

MS 6: Auswertung der Technologiefusion

1.3 Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Projektpartner:

Universitäten/Einrichtungen (Deutschland):

Technische Universität Chemnitz /

Exzellenzcluster MERGE (Verbundkoordinator)

09126 Chemnitz

KMU (Deutschland):

KraussMaffei Technologies GmbH

Vollmann Group

R&R Automatisierungstechnik GmbH

FKT

80997 München

08451 Crimmitschau

08344 Grünhain Beierfeld

07819 Triptis

Universitäten/Einrichtungen (International):

Saxion University of Applied Sciences

UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz

Opole University of Technology

Wrocław University of Science and Technology

Rzeszów University of Technology

7513 Enschede Niederlande 3

85-796 Bydgoszcz Polen 3

45-758 Opole Polen 3

50-371 Wrocław Polen 3

35-959 Rzeszów Polen

KMU (International):

CompTape B. V.

Bydgoszcz Industrial Cluster

Dopak Sp. z o.o.

2622 Delft Niederlande 3

85-717 Bydgoszcz Polen 3

54-614 Wrocław Polen 3

Des Weiteren wurde eine Pilotuntersuchung am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV hinsichtlich der Recyclingfähigkeit durchgeführt, außerdem wurde die Recyclingfähigkeit hinsichtlich mechanischem Recycling von der Firma KomRec-ReCond GmbH bewertet.

Hierfür möchten wir uns besonders bedanken.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

2.1.1 AP 1.1: Entwicklung des Anforderungskataloges zur Realisierung repräsentativer Technologiedemonstratoren

Es wurden verschiedene Demonstratorkonzepte verglichen (Ergebnisse Abschlussbericht Merge / SLK). Als Technologiedemonstrator wurden Anforderungen an einen Seitenaufprallträger (SAT) festgelegt (Bauteildimensionen: 800x100x350 mm³). Die Gestaltungsansätze wurden mittels Altair Hyperworks und Moldflow Simulation vom Projektpartner TU Chemnitz ermittelt. Die kritischen Lastanforderungen wurden als Ergebnis in einem Anforderungskatalog zusammengeführt:

Pflichtanforderungen:

- Technologiedemonstrator wird Seitenaufprallträger (SAT) aus FKV
- Bauteildimension: Länge - 800 mm
 Breite - 100 mm
- Abmaß der Anbindungen von SAT an Karosserie identisch mit Westfalia SAT
- Bauraum wird 1 zu 1 von FKV-SAT auf Stahl-SAT übernommen
- Verstärkungsbereich entsprechend dem Lastfall: Crash-Impacts (Rippen, Sicken)
- KTL beständig (passende Materialwahl)
- Integration von Metallinsert an Krafteinleitungspunkten
- Metallinserts müssen im Werkzeugbau berücksichtigt werden und vor dem Spritzgießprozess eingelegt werden

Gewünschte Anforderungen:

- Modularisierung des SATs, und somit des Werkzeugs
- Entwickeln unterschiedlicher Einleger zur Gestaltänderung anhand Modellierungsgrenzen
- Große Oberfläche zur Tape-Applikation

2.1.2 AP 1.2: Definition der Prozessparameter und Zielparame-ter für den Faserapplizier- und Spritzgussprozess

Zu Beginn des Projektes wurden verschiedene Möglichkeiten diskutiert um die lokale Faserverstärkung in den Demonstrator einzubringen. Grundsätzlich können die Verstärkungsstrukturen vor dem eigentlichen Spritzgussprozess in Form von Einlegern in das Werkzeug eingebracht werden (Pre-Mold), während dem Spritzgussprozess über das Anspritzen von Faserverstärkten Rippen (In-Mold) und nach dem Spritzgussprozess über das Aufbringen von Tapes zur Verstärkung auf dem Bauteil (Post-Mold).

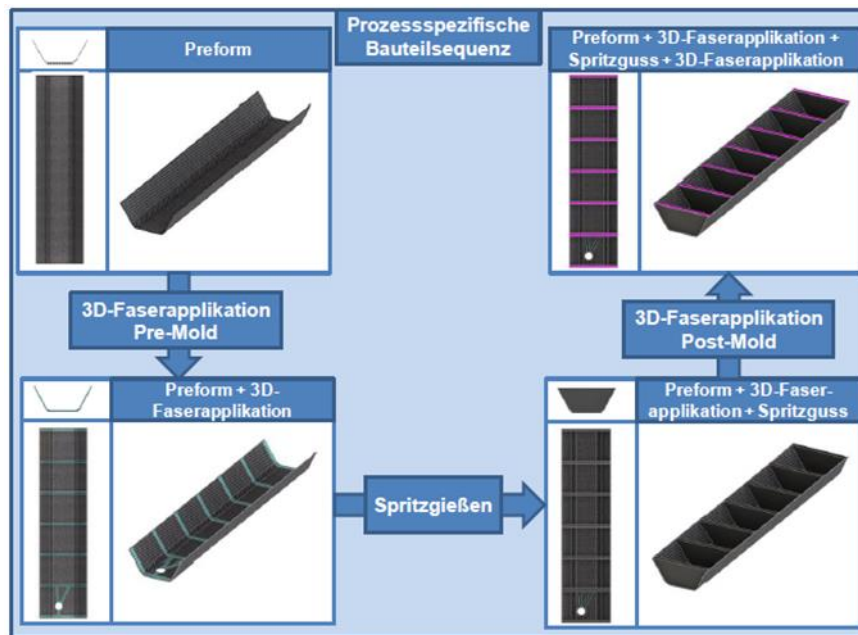


Abbildung 2: Prozessspezifische Bauteilsequenz

Für die Prozessstufen wurden Voruntersuchungen für den In- und Post-Mold-Prozess durchgeführt, um erste Erkenntnisse zur Prozesskomplexität zu erhalten.

Pre-Mold:

Das Matrixmaterial (SG-Prozess) war bei allen Untersuchungen reines PP, für den Einleger wurde ein Tape mit 50% Fasergehalt und PP-Matrix gewählt, die Werkzeugtemperatur wurde auf 80°C festgelegt, das Tape wurde nicht vorgewärmt. Die Versuche zeigten, dass das In-Mold Verfahren keine Verbesserungen der Steifigkeit bewirkt, die Zykluszeit stark verlängert sowie die Tapevorbereitung sehr kosten- und zeitaufwendig ist.

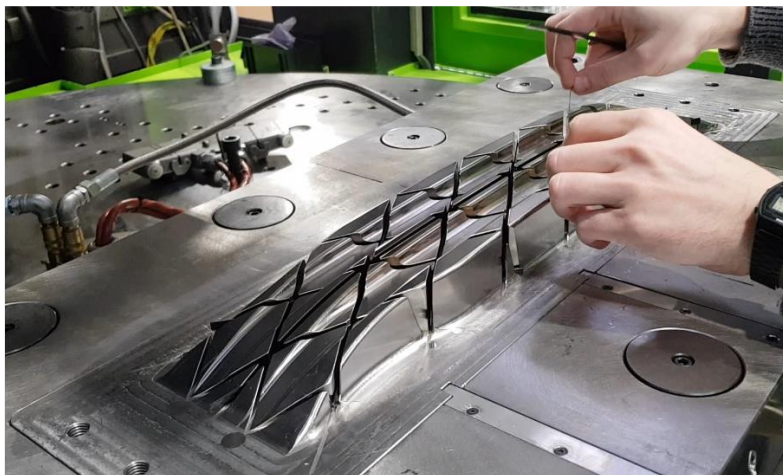


Abbildung 3: Manuelles Einbringen der Tapeeinleger in das Werkzeug

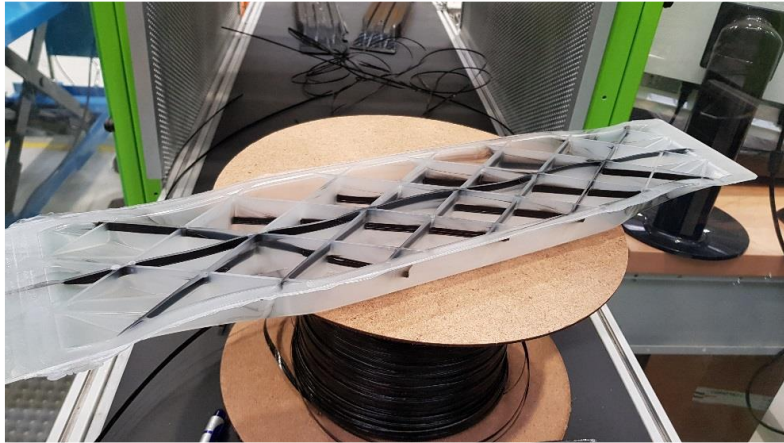


Abbildung 4: Demonstrator mit Pre-Mold Faserapplikation

Die durchgeführten 3-Punkt-Biegeversuche zeigten, dass sich die SAT-Steifigkeit nicht signifikant verbessert. Sowohl die unverstärkten SAT aus PP, als auch bei die verstärkten Träger versagten bei einer aufgetragenen Kraft von ca. 1300N.

Post-Mold:

Versuche im Post-Mold-Prozess zeigten, dass der Prozess stabil durchgeführt werden kann und eine gute Anbindung zwischen Tape und Matrixmaterial erzielt wird. Es wurde ein Tape mit 60% Fasergehalt und PP-Matrix gewählt, welches mittels einer Legeeinheit mit integrierten IR Strahlern auf den vorgewärmten SAT aufgebracht wurde. (Applikationsgeschwindigkeit auf den SAT: 12-20 mm/s). Eine gute Anbindung ohne vollständige Konsolidierung zwischen SG-Komponente und FKV ohne optische Degradation der Matrix mit Erhaltung der UD-Fasern konnte mit folgendem Energieeintrag der Strahler erreicht werden: Aufheizung Substrat ca. 1,28 kW und für FKV-Komponente ca. 0,66 kW. Die Voruntersuchungen verdeutlichten, dass das Anbindungsverhalten bei gleicher Materialkombination (Tape PP-GF, Matrixmaterial PP-GF/ reines PP) eine haftbare, stoffschlüssige Verbindung eingeht. Es zeigte sich, dass das Tape vollständig konsolidiert vorliegen muss, um ein gutes Anbindungsverhalten zum Matrixmaterial zu realisieren. Hierzu wurde ein Tape PP-GF60 sowie vergleichend das Tape vom Projektpartner CompTape PP-GF60 in die Voruntersuchungen einbezogen.

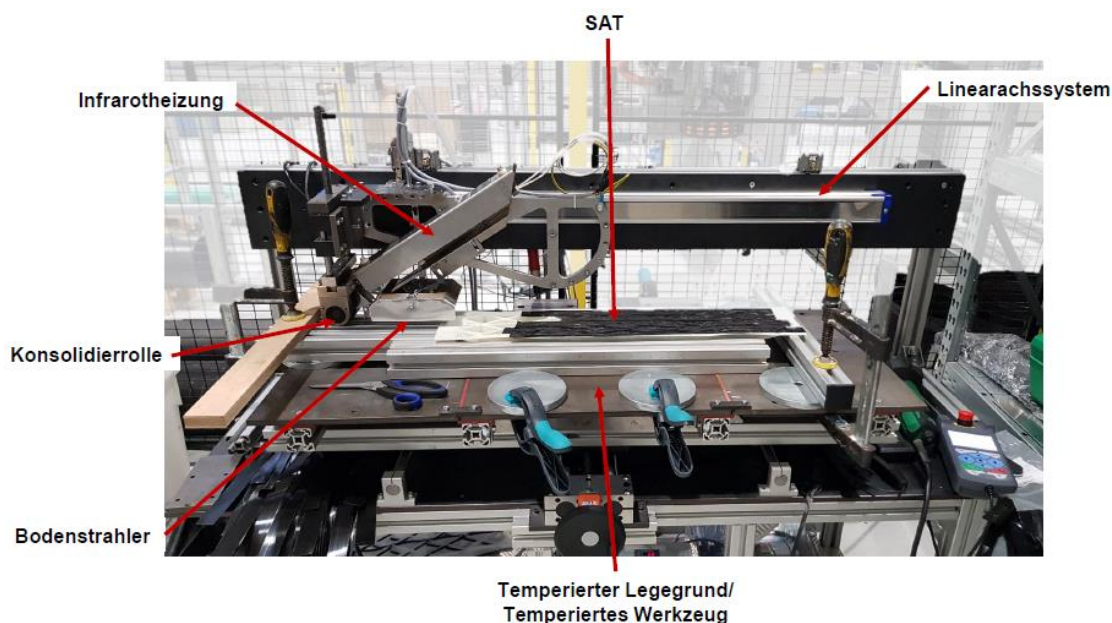


Abbildung 5: Laborvorrichtung zum teilautomatisierten Tapeablegen

Die Durchführung des 3-Punkt-Biegeversuchs zeigte, dass die BT-Steifigkeit um bis zu 35% auf 3600N gesteigert wurde.

2.1.3 AP 2.4: Spezifikation der Halbzeuge für die Verarbeitung im Spritzguss

Zu Beginn der Halbzeugentwicklung wurde eine Recherche zum Stand der Technik im Hinblick auf die Anbindung zwischen Endlosfaserverstärkung und angespritztem Matrixwerkstoff durchgeführt. Die folgenden Quellen können exemplarisch für den ermittelten Stand der Technik genannt werden: MORITZER, E.; BUDDE, C.; HÜTTNER, M. Wie Kurz- und Endlosfasern sich am besten vertragen. Materialeigenschaften beeinflussen die Verbundfestigkeit zwischen Organoblech und angespritztem Thermoplast. Kunststoffe, München, 2015, 105. Jg., Nr. 3, S. 85-88.

HUMMEL, S.; KNORR, L.; KARLINGER, P.; SCHEMME, M. Eine Frage der Haftung. Die Verbundfestigkeit zwischen Organoblechen und angespritzten Strukturen hängt von vielen Einflussfaktoren ab. Kunststoffe, München, 2017, 107. Jg., Nr. 7, S. 41-45.

Es zeigte sich, dass die Anbindung zwischen Organoblech und Spritzguss zwar in einigen Quellen untersucht wird, jedoch der Fokus auf der einstufigen Verarbeitung von Organoblechzuschnitten liegt. Das heißt, die Umformung des Organoblechs und das Hinterspritzen finden im identischen Werkzeug statt. Im Unterschied dazu wird im Projekt ein vorgeformtes Organoblech in ein Spritzgießwerkzeug eingelegt und umspritzt. Daher können nicht alle Ergebnisse aus den oben genannten Quellen übertragen werden, da bspw. die Abhängigkeit der Schälfestigkeit von der Faserorientierung geringer ist, da im Unterschied zur einstufigen Prozessführung keine offene Faserstruktur vorliegt, die einen mechanischen Formschluss ermöglicht. Somit kann die Anbindung

im zweistufigen Prozess primär als stoffschlüssig betrachtet werden. Weiterhin haben eigene Versuche gezeigt, dass im Anbindungsbereich zusammen mit dem Wärmeeintrag des Spritzgießmaterials die Schmelztemperatur des Matrixmaterials überschritten werden muss, um eine stoffschlüssige Anbindung zu erreichen. Zusammenfassend werden daher für die Kombination von Organoblech und Spritzgießmaterial die gleichen Matrixwerkstoffe verwendet und die Massetemperatur im Spritzgießprozess derart eingestellt, dass die Mischungstemperatur in der Anbindungszone über der Schmelztemperatur des Matrixwerkstoffes liegt.

2.1.4 AP 3.2: Synthese und Konstruktionskonzept für das Legekopfsystem

Es wurden Anforderungen und Funktionen für das 3D-Legekopf Konzept festgelegt. Der Legekopf ist multifunktional zu gestalten (Ablegen endlosfaserverstärkter Tapes sowie Drucken kurzfaserverstärkter Thermoplaste). Ein Konstruktionskonzept wurde vorgelegt, das nach technischer Realisierbarkeit modifiziert wurde. Es wurde u.a. ein ganzheitliches Aufheizsystem mittels Infrarot festgelegt. Zudem wurde ein Konzept für das Steuerungssystem erarbeitet, welches sich auf teilautomatisierte Systeme im Versuchsbetrieb fokussiert.

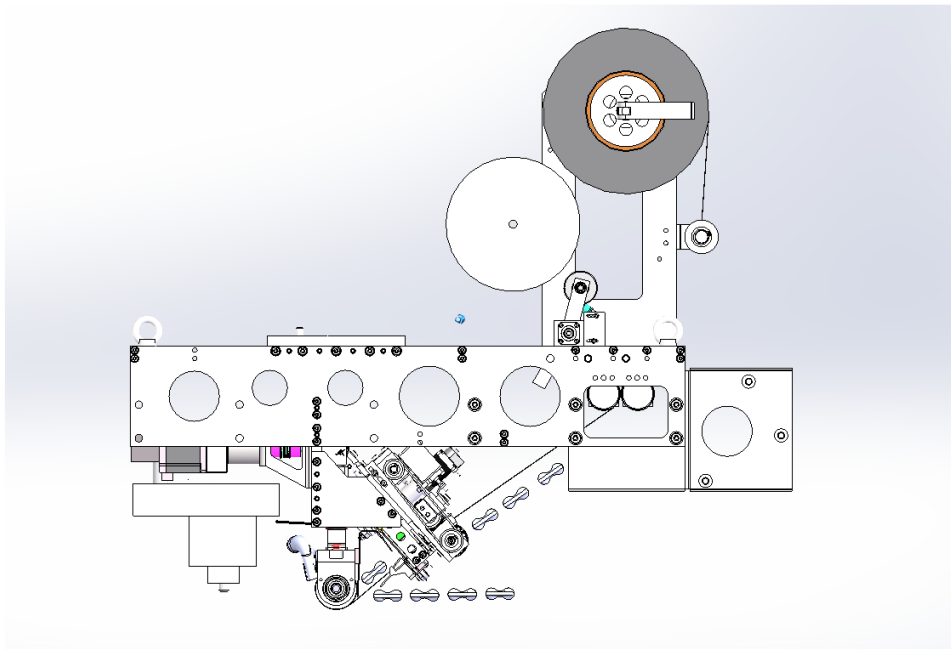


Abbildung 6: Konzept Legkopf zum Tapelegen und zur Faserapplikation

KraussMaffei hat das AP3.2 im Bereich der Auswahl und Regelung von Infrarotstrahlern unterstützt. Für die Erwärmung von Organoblechen für die Verarbeitung im einstufigen Prozess hat KM bereits eine angepasste Regelung entwickelt, welche bereits in der Extrusion erfolgreich angewandt wurde. Unabhängig davon ist eine genaue Temperaturführung notwendig, um einerseits eine stoffschlüssige Anbindung zu gewährleisten und andererseits eine übermäßige thermische Belastung zu vermeiden.

KraussMaffei unterstützte beratend bei der Entwicklung der Heizregelung. Bei ersten Versuchen von R&R ergaben sich beim Aufheizprozess Temperaturschwankungen bis 30K, daher wurde eine individuelle Ansteuerung aller Strahler geprüft. Es wurde geprüft ob die von KM entwickelte Aufheizregelung für extrudierte, faserverstärkte Profile auf das System mit den Infrarotstrahlern von Heraeus übertragen werden kann, die Anpassungen an die vorhandene Software fallen hier allerdings zu umfangreich aus um im Projektrahmen umgesetzt zu werden. Hierfür würde sich ein Folgeprojekt zur Prozessoptimierung des Legkopfs anbieten. Zudem wurde die mechanische Trennung des Tapes überprüft. Die zuverlässige Trennung ist essentiell für einen stabilen Prozess.

2.1.5 AP 4.1: Konzeption

Das Konzept für den Technologiedemonstrator hat KM mit seinen Kontakten aus vorangegangenen Projekten unterstützt. So wurde zusammen mit der Firma Böllhoff die Integration von verschiedenen Inserts zur Lasteinleitung untersucht. Während der Projektierung waren keine zufriedenstellenden Inserts auf dem Markt erhältlich. Daher wurde während der Projektbearbeitung auf Krafteinleitungselemente und SteelCords ausgewichen. Die auf dem Markt umspritzbaren Inserts mit Gewinde besaßen zu große Kopfformen, zu dicke Blechvarianten oder keine ausreichende Genauigkeit. Ohne ausreichende Genauigkeit war die Gefahr der Kollision mit dem Werkzeug gegeben.

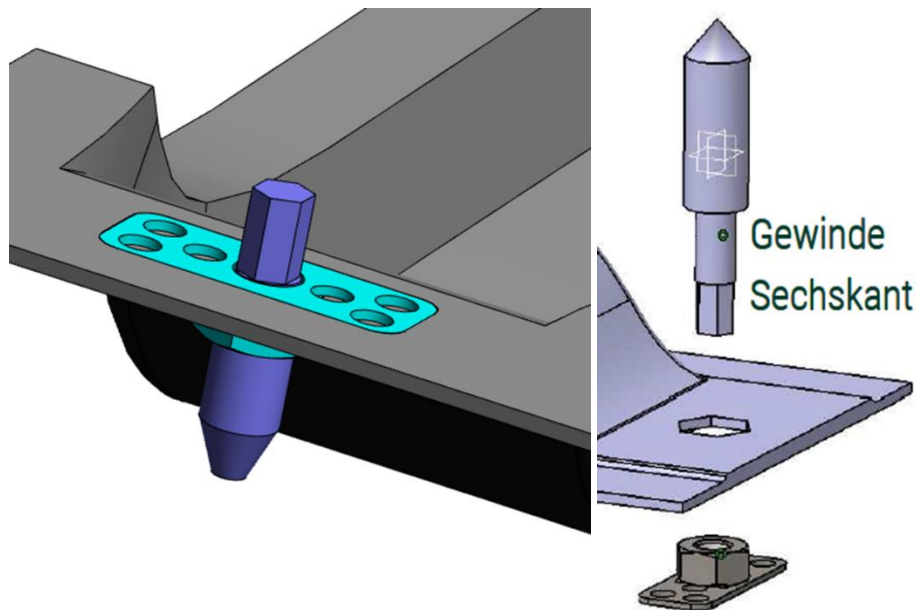


Abbildung 7: Integration von Inserts Fa. Böllhoff

Weiterhin wurde geprüft, ob das bei KM vorhandene Spritzgießwerkzeug „Querträger“ für Vorversuche genutzt werden kann. Die konstruktiven Änderungen an der Tapelegeeinheit fallen hier zu umfangreich auf um im Projektrahmen umgesetzt werden zu können. Bei der Durchführung der Untersuchungen und Ermittlung der spezifischen Prozessparameter war KM beratend tätig.

2.1.6 AP 5.2: Spezifizierung und Detailentwicklung des modularen Werkzeugsystems

Bei der Konstruktion des Spritzgießwerkzeugs hat KM beratend unterstützt. Fokus von KM war dabei, dass mit dem Werkzeug ein möglichst großes Prozessfenster zur Verfügung steht und Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten mit einfließen. Bei dem BMBF Projekt SpriForm (02PU2350) wurde die Erfahrung gemacht, dass komplexe dreidimensionale Umformungen im Werkzeug zu vielen Iterationsschleifen des Spritzgießwerkzeugs führen um das Organoblech wiederholbar umzuformen ohne dass es im Werkzeug verrutscht. Diverse Kundenprojekte haben zudem gezeigt, dass es zwar für den Prozess, insbesondere das Abkühlverhalten des Organoblechs zwischen Ofen und Werkzeug, von Vorteil ist das Ofensystem und Werkzeug vertikal anzuordnen um kurze Transferzeiten zu erzielen, allerdings ist die Anforderung an das Bauteilhandling damit sehr hoch, insbesondere wenn verschiedene Parameter (Temperaturen, Haltezeiten, lokale Verstärkungen, etc.) gefahren werden. Daher wurden auf komplexe Umformungen verzichtet und ein horizontaler Versuchsaufbau angestrebt. Des Weiteren haben Kundenprojekte gezeigt, dass Bauteile mit komplexen dreidimensionalen Umformungen sehr empfindlich auf Prozessänderungen (Temperatur) reagieren. Kleine Änderungen in Lagenaufbau, Temperatur oder Verweilzeit können gravierende Einflüsse auf die Einlegeposition des Organoblechs haben, weshalb ein möglichst flächiger Versuchsträger angestrebt wurde. Um die Geometrie des SATs flexibel ändern zu können wurde ein modularer Werkzeugaufbau angestrebt.

Anforderungen:

- Flexible Einsätze modularer Aufbau
- Aufspannplatten passend für existierende Vertikalmaschine
- Heißkanalanspritzung
- Temperierung angepasst auf Energieeintrag Organblech
- Einlegerpositionierung / Umformung nicht stärker als 2,5D
- Sensorintegration
- Insertintegration
- Anschlüsse Heißkanal/ Temperierung/ Sensoren/ Hydraulik passend für Bestandsanlage

2.1.7 AP 5.4: Konstruktive Ausarbeitung des modularen Werkzeugsystems

Die Informationen von vorangegangenen Projekten bei KM sind in die Konstruktion mit eingeflossen. Das Werkzeug wurde gemäß der in AP 5.2 definierten Spezifikationen umgesetzt. Als Stammform wurde auf ein Werkzeug aus dem BMBF-Förderprojekt ThermoPre zurückgegriffen, welches für das Projekt angepasst wurde. Um eine möglichst große Flexibilität im Hinblick auf Schussgewicht und Einleger zu haben wurde mit austauschbaren Kavitäteneinsätzen gearbeitet. Bei der Umsetzung des Systems für die Zuführung und Entnahme hat KM mit seinem Prozesswissen unterstützt.

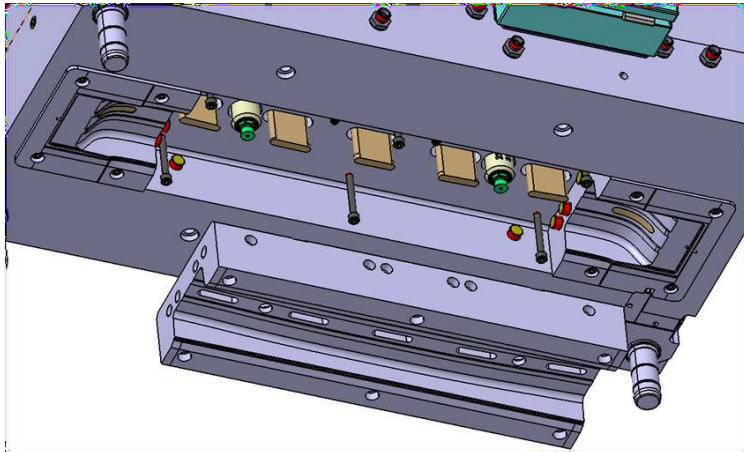


Abbildung 8: Herausgehobene Einsätze aus Düsenseite

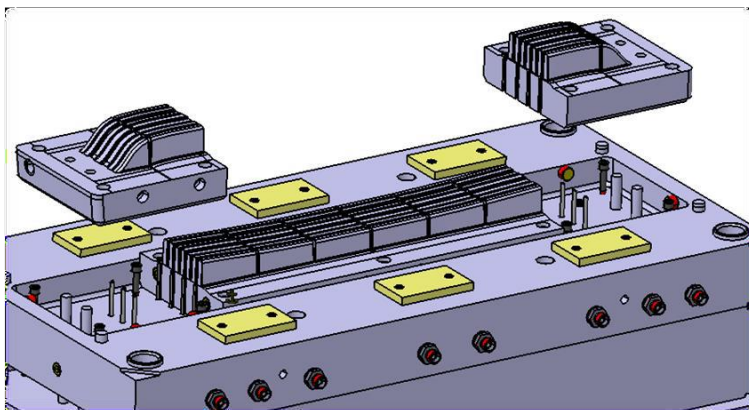


Abbildung 9: Herausgehobene Einsätze aus Auswerferseite

Für die Demonstratorherstellung wurde auf ein existierendes Heizsystem bei der TU Chemnitz zurückgegriffen, parallel wurden bei KraussMaffei verschiedene Aufheizstrategien analysiert. Grundsätzlich gibt es drei verschiedene Möglichkeiten Organobleche zu temperieren. Neben Umluftöfen und Kontaktheizungen kann der Wärmeeintrag über Infrarotstrahler eingebracht werden. Bei KraussMaffei hat sich bei früheren Projekten der Einsatz von Infrarotstrahlern durchgesetzt, welche in einer vertikalen Anordnung über der festen Formaufspannplatte positioniert wurden. Dies hat entscheidende Vorteile beim Handling der Organobleche. Während die Organobleche beim Aufheizen in Umluftöfen oder Kontaktheizpressen vom Robothandling in die Heizstation übergeben und wiederaufgenommen werden, kann das Organoblech in einer vertikalen IR-Station am Greifer verbleiben. Dies minimiert im weiteren Prozess Einlegeungenauigkeiten bei der Übergabe ins Werkzeug.

Die Infrarotstrahler der Heizstation, welche auf gleicher horizontaler Ebene liegen wurden zu Heizzonen zusammengeschlossen. Die Leistung dieser Heizzonen wiederum wurde über eine Temperaturerfassung auf der Oberfläche des Organobleches durch Pyrometer geregelt. Es hat sich gezeigt, dass diese Konfiguration für Organobleche mit lokalen Verstärkungen (Dickenunterschiede) nicht optimal ist. Um das Heizsystem optimal auf solche Anwendungen anpassen zu können war es erforderlich eine flexible Zonenauswahl zu realisieren. Hierfür wurde die Leistungselektronik angepasst um Heizfelder einzeln ansteuern zu können. Des weiteren wurde ein Bedienungskonzept realisiert, welches es dem Anwender erlaubt die Heizzonen frei zu konfigurieren und verschiedenen Pyrometern zuzuordnen. Um zu

gewährleisten, dass die Aufheizqualität konstant bleibt, galt es sicherzustellen, dass die Maschinensteuerung Ausfälle von Infrarotstrahlern vollautomatisch detektieren kann. Hierfür wurde ein System entwickelt welches in definierten Abständen die Leistung der einzelnen Zonen erfasst und mit einem Sollwert vergleicht.

2.1.8 AP 5.5: Realisierung eines Forschungsmusters für das Spritzgießwerkzeugsystem

Das Demonstratorwerkzeug wurde an der TU Chemnitz in Betrieb genommen, KraussMaffei hat bei der Inbetriebnahme hinsichtlich der Prozessparameter beratend unterstützt. Leider konnte hier aufgrund der mit der pandemischen Gesamtlage einhergehenden Reisebeschränkungen nicht in vollem Umfang vor Ort unterstützt werden. Es wurde zunächst eine Füllstudie ohne Einleger angefertigt um das Werkzeug hinsichtlich Funktionalität, Maßhaltigkeit und Temperierung zu prüfen. Für die Validierung wurde ein Polyamid von Altech (PA6 A2030/319 GF30 IM – PA6-GF30) verwendet. Bei der Fertigung von Demonstratorbauteilen wurde festgestellt, dass es in dem Bereich der Bindaht zwischen den beiden Einspritzpunkten aufgrund unzureichender Entlüftung zu Brennern kommt (sog.: „Diesel-Effekt“). Diese Fehlstellen konnten durch Optimierungen in der Prozessführung minimiert werden.

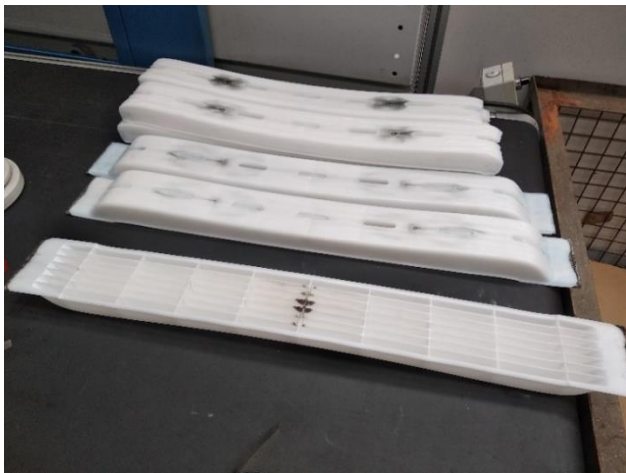


Abbildung 10: Füllstudie Demonstrator mit Brennern

Nach der Validierung und Optimierung des Werkzeugsystems wurden erste Versuche mit Organoblechhalbzeugen gefahren. Die Halbzeuge wurden von der Firma ThermoPre GmbH lastspezifisch aufgebaut, die Zuschnitte wurden auf den SAT- Demonstrator angepasst.



Abbildung 11: In der TU Chemnitz entstandene SAT



Abbildung 12: SAT Rippenansicht

2.1.9 AP 6.1: Konzeption der Anordnung der Fertigungssysteme (Fertigungsvarianten)

Es wurde ein Konzept erstellt, in dem alle Fertigungsschritte durchgeführt werden und die einzelnen Teilsysteme miteinander verknüpft sind. Aus den Ergebnissen der Voruntersuchungen erfolgt eine Fokussierung auf die Post-Mold Verstärkung. Bei allen Prozessschritten wurden Wirtschaftlichkeit und diverse Qualitätsparameter berücksichtigt. Analysiert wurden verschiedene Arten von Greifersystemen und konzeptiv in den Prozess der Technologiefusion eingebunden. Das Ergebnis ist eine Konstruktion des Greifersystems aus pultrudierten CFK-Rohren und Bernoulli-Greifern. Bei dieser Variante wird ein stabiler Prozess gewährleistet und u.a. die Qualität der Preform nicht beeinträchtigt. Bei den praktischen Versuchen an der TU Chemnitz kamen ein Nadelgreifersystem der Firma R&R zum Einsatz.



Abbildung 13: Anlagensystem zur Herstellung des Demonstrators an der TU Chemnitz

2.1.10 AP 6.3: Realisierung (der Produktionslinie) und eines Technologiedemonstrators

KM unterstützt das AP6 mit seinen Erfahrungen aus vorangegangenen Projekten hinsichtlich Roboterbewegungen, Synchronisation der Prozess- und Taktzeiten der Teilprozesse, sowie bei der Bewertung und Auswahl der Vorzugsvarianten. Bei der Optimierung des Gesamtprozesses vor Ort kann KM aufgrund der pandemischen Gesamtlage nicht im vollen Umfang mit der Expertise aus vorangegangenen Projekten unterstützen.

2.1.11 AP 8.1: Arbeitspaketübergreifende Strategieentwicklung zur Werkstoffrückführung

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz(KrWG) schreibt in §6 Abfallhierarchie sinnvolle Maßnahmen für den Umgang mit Abfällen jeglicher Art in folgender Rangfolge vor [1]:

1. Vermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. Sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
5. Beseitigung.

In AP 8 wurden Möglichkeiten zu Punkt 2 „Vorbereitung“ und Punkt 3 „Recycling“ untersucht. Hierzu wurden verschiedene Recyclingverfahren zur Aufbereitung gegenübergestellt. Bei endlosfaserverstärkten Strukturen sollten die Fasern nach Möglichkeit zurückgewonnen werden, um sie später z.B. zu rezyklierten Vliesen zu verarbeiten. Bei kurzfaserverstärkten Strukturen findet die mechanische Zerkleinerung Anwendung, um später ein spritzgießfähiges Rezyklat herzustellen.

Bei Abfällen kann grundsätzlich in zwei Arten unterschieden werden. Es gibt die Produktionsabfälle, den sogenannten „Pre-Consumer-waste“ und der Abfall der am Ende des Produktlebenszyklus anfällt, welcher als „Post-Consumer-waste“ bezeichnet wird.

KM unterstützte das AP 8 bei der Auswahl und Bewertung von verschiedenen Recyclingstrategien für das Demonstratorbauteil mit seinen Kontakten aus vorangegangenen Projekten. Grundsätzlich gibt es für Faserverbundkunststoffe drei Verwertungsmethoden:

1. Energetisch
2. Werkstofflich
3. Rohstofflich.

Energetisch

Die energetische Verwertung entspricht in der Abfallhierarchie §6 KrWG dem Punkt 4, abgesehen davon ist sie aufgrund des hohen Füllstoffgehalts bei Faserverbundbauteilen nicht sehr ergiebig und aufgrund der Umweltbelastung in Deutschland nicht mehr erlaubt, von daher fällt die energetische Verwertung für den Demonstrator aus.

Werkstofflich

Bei der werkstofflichen Verwertung wird das Bauteil zunächst durch mechanische Zerkleinerung zu Mahlgut verarbeitet, welches entweder direkt weiterverarbeitet wird oder in einem Zwischenschritt recompoundiert und dann weiterverarbeitet wird. Hierbei ist die Direktverarbeitung aufgrund der positiven Umweltbilanz zu bevorzugen.

Die werkstoffliche Verwertung des Demonstrators erweist sich aufgrund der metallischen Einleger als schwierig umsetzbar, es wurden im Rahmen des Projektes Möglichkeiten mit verschiedenen Verwertern diskutiert. Einen Ansatz für die werkstoffliche Verwertung zeigt das Unternehmen KomRec – ReCond GmbH, welches sich auf das Recycling von Aluminium-PE-Rohren mittels Abplatzen und „Verkuglung“ von Aluminium mit anschließender Trennung über Fliehkräfte spezialisiert hat. Bei diesem Verfahren wird der Kunststoff zu 99,9% von Aluminium getrennt. Die Herausforderung in dem 3D-Faim-Demonstrator besteht in der Kombination von Endlosfasern, Metalldrähten (Steelcord-Einleger) und Metalleinlegern. Die angefragten Unternehmen haben aktuell noch keine Möglichkeit eine solche Materialkombination auf werkstofflicher Ebene sicher zu trennen. Ein möglicher Ansatz ist die Bearbeitung („Weichklopfen“) der Bauteile in einer Hammermühle mit anschließender magnetischer Separierung der Metallkomponenten.



Abbildung 14: Detailaufnahme Steelcords



Abbildung 15: Demonstrator mit Metalleinlegern

Des Weiteren ist es denkbar den Demonstrator mittels lösemittelbasierten Recycling in einen Stoffkreislauf zu überführen, wie es die APK, Merseburg im Bereich von Verpackungen mit seinem „Newcycling-Verfahren“ zur Marktreife gebracht hat. Dieses Verfahren wurde bisher hauptsächlich im Verpackungsbereich erforscht, ist aber für alle gängigen Polymere geeignet.[2]

Rohstofflich

Die rohstoffliche Verwertung bietet für Metall-Faserverbundkunststoff-Hybridbauteile technisch insofern die interessanteste Methode, als das hierbei die Ausgangsstoffe nach dem Recyclingprozess in Neuwarequalität vorliegen. Die gängigsten Vertreter sind hierbei die Pyrolyse und die Solvolyse. Bei der Pyrolyse werden die Kohlenwasserstoffe unter Abwesenheit von Luft, bzw. Sauerstoff zersetzt. Dieses Verfahren ist seit über 10 Jahren industriell etabliert, allerdings können nur die Fasern wiedergewonnen werden. Bei der Solvolyse werden die Polymere hydrolytisch, sauer, basisch alkoholisch oder aminisch attackiert und gelöst. Die Solvolyse befindet sich in der industriellen Erprobung, der Vorteil gegenüber Pyrolyse ist die Möglichkeit sowohl Fasern, als auch Matrix wieder in Neuwarequalität vorliegen zu haben. Ein solcher Prozess wurde mit dem CreaSolv-Verfahren bereits vom Fraunhofer IVV im Projektverbund ForCycle umgesetzt.[3,4]

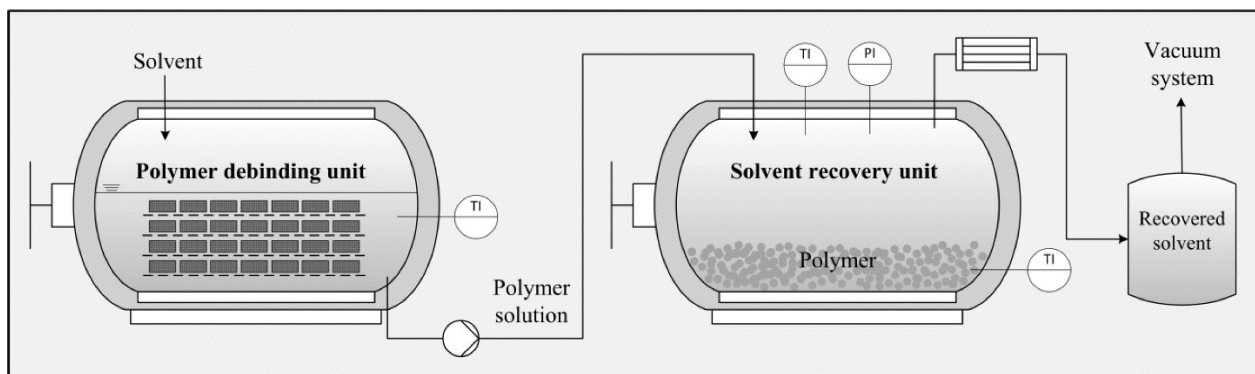


Abbildung 16: Solvolyse-Prozess [5]

Im Projekt 3D-Faim wurden zwei mögliche Recyclingrouten identifiziert: Zum einen die Verwertung des Post-Industrial-waste in Form von den angefallenen Verschnittresten aus der Organoblechproduktion in Form eines Closed-Loop-Verfahrens, zum anderen die Verwertung des Post-Consumer-waste durch Solvolyse, Pyrolyse oder lösemittelbasiertes Recycling.

Post-Industrial:

Um die Prozessroute des post-industrial-waste aufzuzeigen wurden die Verschnittreste von den Organoblechen (Celstran PA6 GF60-03) zunächst an der TU Chemnitz geschreddert und zu Mahlgut verarbeitet. Die Organobleche weisen einen Fasergehalt von 60 Gew.% (47 Vol.%) auf und wurden anschließend mit PA6 (Akulon F223-D) auf einem Laborextruder zu PA6GF30 heruntergeblendet und regranuliert.



Abbildung 17: Mühle Moretto VC30/35



Abbildung 18: Laborextruder TU Chemnitz

Bei der Zermahlung der Organobleche ist zu erkennen, dass sich einzelne Fasercluster bilden. Dies stellt für eine exakte Dosierung im Compoundierprozess ein Problem dar, da während dem Prozess Fraktionen mit unterschiedlichem Fasergehalt in den Extruder gelangen können. Für eine industrielle Anwendung empfiehlt es sich den Zermahlungsprozess genauer zu untersuchen und hinsichtlich der Fraktionierung zu optimieren.



Abbildung 19: Pa6-GF-Organoblech-Mahlgut

Es wurden eine Faserlängenanalyse des Mahlguts durchgeführt, hierfür wurde das Analyse-System Fiver verwendet. Der arithmetische Mittelwert der Faserlänge beträgt $545,3\mu\text{m}$, der gewichtete Mittelwert beläuft sich auf $2056,6\mu\text{m}$.

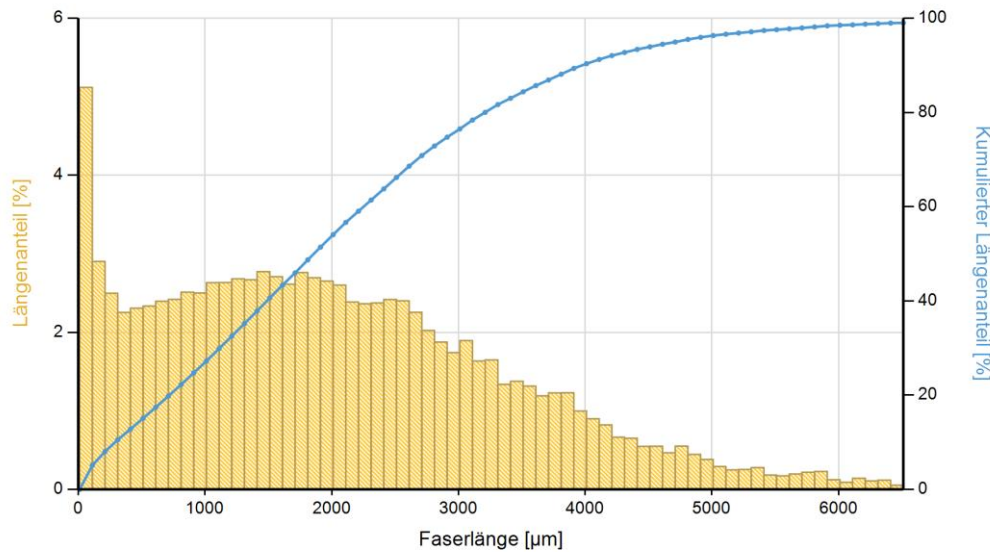


Abbildung 20: Histogramm Faserlängenanalyse Mahlgut Organoblech

Im Anschluss wurde das recycelte PA6GF30 mit Neuware (ALTECH PA6 A 2030/319) bei der TU Chemnitz hinsichtlich mechanischer Eigenschaften verglichen. Im Zugversuch hat sich gezeigt, dass die Zugfestigkeit im Vergleich zur Neuware um ca. 45% abgenommen hat, bei der Bruchdehnung ist eine höhere Streuung erkennbar. Hier gibt es noch deutliches Entwicklungspotential bei der Recompounding des Mahlgutes. Mit einer geeigneten Zerkleinerung, sowie einer Optimierung der Compoundierung hinsichtlich Faserlängen und Dispergierung sollten die Eigenschaften deutlich verbessert werden können.

Post-consumer

Für die Prozessroute des Post-consumer-waste ist die Solvolyse technisch gesehen das vielversprechendste Verfahren. Hierfür wurde exemplarisch ein Demonstrator in einem Laborversuch am Fraunhofer IVV im CreaSolv-Verfahren von Metall und Glasfasern gelöst. Im weiteren Schritt wäre es möglich das PA zu extrahieren, aus den Glasfasern ein RecyclingVlies herzustellen und die Metallkomponenten einzuschmelzen. Da die Herstellung von ausreichend rPA zu Herstellung von Probekörpern allerdings den Rahmen des Projektes überschreiten würde, wurde auf die Weiterführung dieser Prozessroute verzichtet.

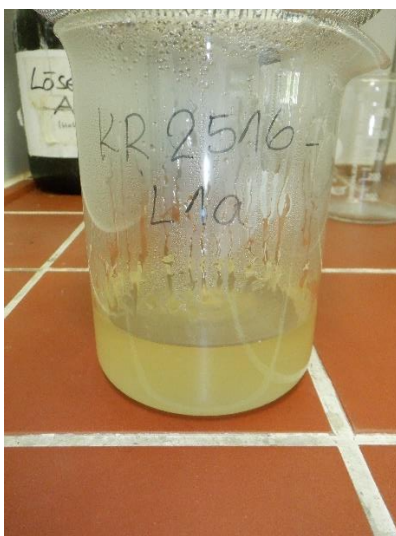


Abbildung 21: gelöstes PA



Abbildung 22: Filtrierte Glasfasern

2.1.12 AP 9.1: Dokumentation und Einordnung aller messbaren Zielgrößen

Im Rahmen des Verbundprojektes „3D-Faim“ wurden Herstellprozesse für die Produktion lastpfadgerechter Bauteile untersucht. Hierbei wurden verschiedene Ansätze für die Einbringung der Verstärkungsstrukturen betrachtet. Neben dem Einsatz von Tapes mit thermoplastischer Matrix und Glasfasern wurden metallische Einleger und das Aufbringen von Verstärkungsstrukturen mittels 3D-Druck betrachtet. Die Verstärkungsstrukturen wurden zu verschiedenen Punkten während der Fertigung eingebracht: Pre-, In- und Post-Mold. Am vielversprechendsten waren hierbei die Versuche In- und Post-Mold. Pre-Mold hat mit Tapeeinlegern keine nennenswerte Verbesserung der Bauteileigenschaften erzielt. In-Mold waren durch die metallischen Steel-Cords Verbesserungen erkennbar. Jedoch ist eine Automatisierung des SteelCord-Einlegeprozesses mit sehr hohem Aufwand verbunden.

Im Post-Mold-Verfahren konnten die mechanischen Eigenschaften des Versuchsträgers mit der Aufbringung von Tapes deutlich verbessert werden. Für die wirtschaftliche Umsetzung des Post-Mold-Prozesses ist weitere Forschung notwendig. Insbesondere die Ablege-Geschwindigkeit des Tapes muss erhöht werden um ökonomisch sinnvoll produzieren zu können.

Das In-Mold Verfahren mit lastpfadgerechter Verstärkung der Organoblecheinleger konnte an der TU Chemnitz vollautomatisiert umgesetzt werden, hierbei wurde auf eine horizontale Produktionsanlage (Spritzgussmaschine + Ofen) zurückgegriffen. Für eine Großserie von lastpfadgerechten Verstärkungen empfiehlt sich eine Entkopplung von der eigentlichen Bauteilproduktion. Verkürzte Taktzeiten wären dadurch umsetzbar. Somit ist für einen Einsatz in der Industrie die In-Mold-Variante zu bevorzugen. Vorstellbar ist ein Aufbringen von Verstärkungselementen auf ein Organoblech: mit anschließend gemeinsamen Aufheizen, Übergabe in das Werkzeug, Umformen und Hinterspritzen.

Um die Aufheizzeiten in der Produktion kurz zu halten ist darauf zu achten die Bauteile so auszulegen, dass die lokale Verstärkung 3 mm nicht überschreitet um zu gewährleisten, dass die Heizzeiten innerhalb der Zykluszeiten der Spritzgießmaschine liegen. Des Weiteren ist es sinnvoll ein flächiges „Trägerorganoblech“ ohne Leerstellen (abgesehen von Durchbrüchen für z.B. Anschraubpunkte) zu verwenden, auf welchem Tapes zur lokalen Verstärkung aufgebracht werden. Hierdurch wird das Handling der Stacks deutlich vereinfacht. Bei der Aufheiztechnologie für Organoblechstacks mit variierender Wandstärke gibt es noch Forschungsbedarf. Im Projekt wurde an der TU Chemnitz auf einen Umluftofen zurückgegriffen, welcher bei 4 mm Organoblech Aufheizzeiten von bis zu 240s benötigt.

2.1.13 AP 9.2: Entwicklung von Gestaltungs- und Dimensionierungsrichtlinien

Gegenstand	Richtlinie
Rippenstärke TD	2 bis 4 mm (topologische Optimierungen)
Rippenverrundung TD	Rippen zu Boden: 0,5 mm; Rippe zu Rippe: 1 mm
Drahtseilpaket/KEE	Drahtpaket muss gespannt umspritzt werden
Organoblecheinleger	komplett umspritzen (vermeiden von offenliegende Kanten)
Heizzeiten OB	<35 s
Dicke OB	2 bis 4 mm (Taktzeit- Festigkeitsabhängig)
Material- und Prozessparameter	Bestimmen aller Parameter (Generieren abgestimmter Taktzeiten)
Transferzeiten	so kurz wie möglich (Abkühlraten 15K/s OB)
Organoblechofen	vertikale Positionierung (Energie und Materialschonung)
Spritzgießwerkzeug	Modularer Aufbau
Tapeappliziereinheit	verwenden von Mittel- oder Hochwellenstrahlern (3.000 nm bis 1.000.000 nm)
Recycling	möglichst wenig verschiedene Materialien

Tabelle 1: Dimensionierungsrichtlinien

2.1.14 AP 9.3: Zusammenfassung und Ableitung von Methoden zur Auslegung der 3D-Faser-Strukturbauteile

In dem Projekt konnten einige Erfahrungen zur Gestaltung von Seitenaufprallträgern gemacht werden. Im Demonstrator wurden Organobleche mit Wandstärken von bis zu 4mm verwendet. Dies hatte lange Aufheizzeiten zu Folge. Der Heizprozess sollte innerhalb des Spritzgießzyklus abgeschlossen sein. Somit können die Aufheizzeiten im Takt der Spritzgießmaschine realisiert werden. Infrarotöfen der Firma

KraussMaffei liegen bei der Aufheizzeit, je nach Wandstärke; bei ca. 20 – 35s, allerdings stößt die aktuelle Technologie bei variierenden Wandstärken an ihre Grenzen, da die Temperaturen der IR-Strahler mittels Pyrometer auf den Organoblechen geregelt werden. Dieser Aufbau hat zur Folge, dass die Temperaturen des Organoblechs nicht vollflächig erfasst werden, was ein homogenes Aufheizergebnis bei variierenden Wandstärken schwierig gestaltet.

Die Abkühlraten der Organobleche liegen je nach Wandstärke bei bis zu 15 K/s, von daher empfiehlt es sich die Transferzeiten vom Ofen ins Werkzeug so kurz wie möglich zu halten. Mit dem Nadelgreiferhandling kam es zu 20 s Transferzeiten. In Kundenprojekten bei KM hat sich dementsprechend bewährt den Ofen oberhalb der festen Aufspannfläche vertikal zu positionieren um die Transferzeiten zu minimieren. Dies spart Energie und schont das Material, da beim Aufheizen niedrigere Temperaturen nötig sind. Die Organoblecheinleger und das Handling sind so zu gestalten, dass ein vertikales Aufheizen möglich ist. Bei den Bauteilen ist darauf zu achten, die Organobleche komplett zu umspritzen, d.h. offenliegende Kanten des Organoblechs müssen vermieden werden um eine Delamination zu vermeiden. Aus Prozesstechnischer Sicht ist zu empfehlen die lokalen Verstärkungen auf das Organoblech aufzubringen, dass gesamte Stack zusammen aufzuheizen, einzulegen und umzuformen, da sonst der Handlingaufwand für ein nachgeschaltetes Aufbringen weiterer Tapelagen auf das Bauteil die Komplexität der Fertigungszelle erhöhen.

Das Organoblech-stack sollte möglichst geschlossen sein, d.h. keine großen Leerräume zwischen den Tapes um das Handling zu vereinfachen. Sinnvoll ist die Verwendung eines dünnen "Trägerorganobleches" auf welches die lokalen Verstärkungen aufgebracht werden.

Bzgl. Recyclingfähigkeit hat sich gezeigt, dass das mechanische Recycling von Faser-Metall-Kunststoffhybriden sehr herausfordernd ist. Bei der Auslegung des Bauteils sollte darauf geachtet werden möglichst wenig

verschiedene Materialien einzusetzen, sprich keine Kombination verschiedener Fasern (Glas, Kohle, Aramid) um die Wiederverwertung in einem möglichst breiten Spektrum zu ermöglichen.

Zusammenfassend kann folgendes Vorgehen für die Auslegung von 3-dimensional Verstärkten Bauteilen empfohlen werden:

- Analyse des Lastfalles mittels geeigneter Tools, zB. FEM
- Positionierung geeigneter Verstärkungen entlang der Lastpfade auf einem Trägerblech
- Optimierung der Einleger hinsichtlich Fertigungstechnologie (Anpassung an Maschinenzyklus)
- Auswahl geeigneter Verstärkungsmaterialien im Hinblick auf die spätere Recyclingfähigkeit

Für die Optimierung hinsichtlich der Zykluszeit ist der Einsatz einer variothermen Temperierung denkbar um die Energie aus den lokal verstärkten Bereichen effektiver abzuleiten. Dies konnte jedoch im Rahmen des Projektes nicht mehr untersucht werden. Aktuelle Anfragen bei der Firma KraussMaffei zielen auf die Entwicklung von Class-A Oberflächen in Kombination mit Organoblechen ab, hier gibt es noch ein hohes Entwicklungspotential. Denkbar ist eine Kombination von verschiedenen Technologien wie In-Mould Coating oder Überfluten mit TPU um hochwertige Oberflächen zu erhalten.

2.2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die in diesem Vorhaben adressierten Projektziele konnten nur in Zusammenarbeit mit entsprechenden, hochspezialisierten Firmen und Instituten bzw. Forschungsinstituten entlang der gesamten Prozess- bzw. Fertigungskette erreicht werden. Ohne die Zusammenarbeit im Verbund, die durch die Förderung erst ermöglicht wurde, konnte KraussMaffei das Projekt nicht durchführen. Die technologischen und finanziellen Grundlagen ließen sich nicht von KraussMaffei allein bereitstellen. Die entlang der Wertschöpfungskette ausgerichteten Projektpartner leisteten in diesem Projekt gemeinsam Pionierarbeit. Aufgrund des hohen finanziellen Aufwands, der deutlichen technischen Risiken und der erforderlichen breit gefächerten fachlichen Kompetenzen war kein Partner in der Lage, dieses Vorhaben alleine zu bearbeiten. Deshalb haben in diesem Verbundprojekt Partner aus unterschiedlichen Branchen (Rohstoffhersteller, Anlagenhersteller, Forschung und Entwicklung, Verarbeiter und Endanwender) eine interdisziplinäre Zusammenarbeit beschlossen.

Die übergeordnete Zusammenarbeit im Projekt ermöglichte die Bündelung von Kompetenzen im Projektverbund und führte zu Synergien im Bereich der Verarbeitung lokal verstärkter Halbzeuge und den zugehörigen Verbundwerkstoffen. Die Förderung reduzierte die ansonsten sehr hohen Risiken, die mit dem Vorhaben verbunden sind und ermöglicht dem Unternehmen KraussMaffei eine Bearbeitung der Forschungsaufgabe. Für die Partner im Verbundprojekt bietet sich durch die Förderung eine große Chance bei der Weiterentwicklung der eigenen Kompetenzen wodurch technologische Alleinstellungsmerkmale und somit Spitzenpositionen im Wettbewerb erreicht werden konnten. Erst mit den geplanten Fördermitteln, aber auch mit Einbindung der Eigenanteile konnten die Lösungsansätze prototypisch in der gesamten Funktionalität umgesetzt und unter Praxisbedingungen getestet werden.

2.3 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Krauss Maffei konnte im Lauf des Projekts wichtige Erkenntnisse zur Verarbeitung von thermoplastischen Halbzeugen gewinnen. Insbesondere im Bereich der Finalheizstation für thermoplastische Halbzeuge mit variierenden Wandstärken hat sich weiterer Forschungsbedarf aufgetan. Hier konnte der Wissensvorsprung gegenüber der Konkurrenz auf dem Gebiet der Verarbeitung thermoplastischer Halbzeuge erweitert werden. Auch im Bereich des Recyclings von Verbundbauteilen konnten Erkenntnisse gesammelt werden. Hier besteht noch großer Forschungsbedarf hinsichtlich geeigneter Methoden zur Rückführung und Aufbereitung der Materialien und Rückführung in den Spritzgießprozess mit dem Ziel hohe mechanische Eigenschaften zu erhalten. Im Rahmen des Projektes konnten, für diesen Forschungsbedarf wichtige, Partnerschaften sowie national als auch international geknüpft werden.

2.4 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit ist für die relevanten Teilarbeitspakete von KraussMaffei kein relevanter Fortschritt an anderen Stellen bekannt geworden.

2.5 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NABF

Im Rahmen des Verbundprojektes „3D-FAIM“ sind derzeit keine Veröffentlichungen der Teilarbeitspakete geplant. Derzeit werden relevante Tagungen und Möglichkeiten zur Veröffentlichung der Projektergebnisse in Fachjournalen eruiert.

2.6 Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212),
- [2] <https://www.plastverarbeiter.de/verarbeitungsverfahren/kunststoffrecycling/loesemittelbasiertes-kunststoffrecycling-548.html>
- [3] <https://www.ivv.fraunhofer.de/de/recycling-umwelt/kunststoff-recycling-creasolv.html>
- [4] <https://www.kunststoffe.de/a/grundlagenartikel/solvolyse-und-pyrolyse-285278>
- [5] Knappich, F.; Hartl, F.; Schlummer, M.; Mäurer, A. Complete Recycling of Composite Material Comprising Polybutylene Terephthalate and Copper. Recycling 2017, 2, 9. <https://doi.org/10.3390/recycling2020009>

2.7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitsplan 3D-Faim

Abbildung 2: Prozessspezifische Bauteilsequenz

Abbildung 3: Manuelles Einbringen der Tapeeinleger in das Werkzeug

Abbildung 4: Demonstrator mit Pre-Mold Faserapplikation

Abbildung 5: Laborvorrichtung zum teilautomatisierten Tapeablegen

Abbildung 6: Konzept Legekopf zum Tapelegen und zur Faserapplikation

Abbildung 7: Integration von Inserts Fa. Böllhoff

Abbildung 8: Herausgehobene Einsätze aus Düsenseite

Abbildung 9: Herausgehobene Einsätze aus Auswerferseite

Abbildung 10: Füllstudie Demonstrator mit Brennern

Abbildung 11: In der TU Chemnitz entstandene SAT

Abbildung 12: SAT Rippenansicht

Abbildung 13: Anlagensystem zur Herstellung des Demonstrators an der TU Chemnitz

Abbildung 14: Detailaufnahme Steelcords

Abbildung 15: Demonstrator mit Metalleinlegern

Abbildung 16: Solvolyse-Prozess [5]

Abbildung 17: Mühle Moretto VC30/35 Abbildung 18: Laborextruder TU Chemnitz

Abbildung 19: Pa6-GF-Organoblech-Mahlgut

Abbildung 20: Histogramm Faserlängenanalyse Mahlgut Organoblech

Abbildung 21: gelöstes PA Abbildung 22: Filtrierte Glasfasern

2.8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dimensionierungsrichtlinien

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht		
3. Titel Schlussbericht Verbundprojekt: Technologiefusion von 3D-Faserapplizieren und Spritzgießen zur Herstellung lastgerechter Leichtbaustrukturen – Teilvorhaben B			
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dipl.-Ing.(FH) Felix Weitmeier		5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.04.2022	
		6. Veröffentlichungsdatum August 2023	
		7. Form der Publikation Schlussbericht	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) KraussMaffei Technologies GmbH Krauss-Maffei-Strasse 2 80997 München		9. Ber. Nr. Durchführende Institution	
		10. Förderkennzeichen 03INT510AB	
		11. Seitenzahl 27	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Forschungszentrum Jülich GmbH (FZJ) Projekträger Jülich (PTJ), Neue Innovationsstrukturen 52425 Jülich		13. Literaturangaben 5	
		14. Tabellen 5	
		15. Abbildungen 22	
16. Zusätzliche Angaben			
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)			
18. Kurzfassung Es wurde in diesen Vorhaben erstmalig die Kombination von zweiseitiger Tapeverstärkung (Sandwich) mit SteelCord-Technologie umgesetzt. Durch Ablegen faserverstärkter thermoplastisch imprägnierter Tapes, Umspritzen von Organoblechen sowie Werkzeugeinleger in Form von Krafteinleitungselementen durch passender Werkzeugtechnologie konnte dies bewiesen werden. Als Technologiedemonstrator wurde ein Crashelement aus der Automobilindustrie aus Stahl in ein FKV-Bauteil mit ebenbürtigen mechanischen Eigenschaften hergestellt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden unterschiedliche Anlagensysteme und Materialkombinationen betrachtet und bezüglich der Energie- und Materialeinsparungen sowie Funktionalisierung bewertet. Die Untersuchungen zur Artikelintegration auf Basis der vorhandenen Spritzgießmaschine haben gezeigt, dass unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen, die Organobleche (4:1) 47 Vol.% Glas/PA6 der CETEX gGmbH eine sehr gute Möglichkeit zur Funktionalisierung von FKV-Bauteilen darstellt. Die flexible und zügige Integration in den FKV-SAT zur Erhöhung der Energieaufnahme, wie SteelCords und Tapes, haben gezeigt, dass das Potential zur weiteren Erhöhung der Energieaufnahme sowie das Potenzial zu weiteren Untersuchungen gegeben ist. In weiterführenden Vorhaben kann die Energieaufnahme sowie Funktionalitätserweiterung für andere Faser-Matrix-Systeme und Bauteile validiert und die Prozesssicherheit nachgewiesen werden. Die Recyclinguntersuchungen fanden mit enger Zusammenarbeit von KraussMaffei GmbH statt und haben gezeigt, dass eine Rückführung der geschredderten SATs ohne SC nur als Zusatz zu frischem Kunststoff möglich ist, um die gewünschten Festigkeiten zu erreichen. Bei der Einbindung von KEEs oder Steel-Cords in die SATs kommt es zum erheblichen Mehraufwand. Die theoretischen Ansätze wurden erörtert, jedoch in diesem Forschungsvorhaben nicht praktisch umgesetzt.			
19. Schlagwörter Sensorintegration, Faserbeschichtung, faserverstärkte thermoplastische Bauteile, automatisierte Prozesskette, Spritzgießen			
20. Verlag		21. Preis	