

Schlussbericht

Datum	24.06.2016
Zuwendungsempfänger (ZE)	Voith Composites GmbH & Co. KG
Förderkennzeichen	03MAI06A
Vorhabensbezeichnung	„MAI Pop – Schnelles Preforming mit Verschnittoptimierung“
Laufzeit des Vorhabens	01.01.2013 – 31.12.2015
Berichtszeitraum	01.01.2013 – 31.12.2015

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhalt

Inhalt	2
1 Kurzdarstellung	3
1.1 Aufgabenstellung	3
1.2 Voraussetzungen	4
1.3 Planung.....	4
1.4 Ausgangspunkt	6
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	11
2 Eingehende Darstellung	13
2.1 Ergebnisse des Forschungsvorhabens	13
2.1.1 AP 1 Definition Anforderungen & Prozessrandbedingungen.....	13
2.1.2 AP 2 Preform-Technologie-Entwicklung	16
2.1.3 AP 3 Preform-Qualitäts-Analyse.....	26
2.1.4 AP 4 Aufbau Preform-Montage-Zentrum (Hybrides Preforming).....	35
2.1.5 AP 5 Industrialisierungskonzept (ganzheitliche Prozesskette).....	36
2.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit	39
2.3 Bekannte Fortschritte anderer Stellen auf diesem Gebiet.....	40
2.4 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse	41
3 Literatur.....	42

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

MAI Pop soll im Rahmen des Spitzenclusters MAI Carbon neben der Stärkung der Region und des Aufbaus von Wissen insbesondere einen Beitrag zur Technologieentwicklung im Bereich der Textiltechnik für CFK liefern.

Für einen wirtschaftlichen Einsatz von hochfestem CFK in der Großserienproduktion besteht großer Bedarf an verschnittarmen Preformingprozessen die vollautomatisiert umgesetzt werden können. Dafür sind besonders direkte Preformingverfahren geeignet, bei denen aus der Faser, mit geringem Verschnitt, ein komplexer Preform in hoher Geschwindigkeit aus dem Primärhalbzeug „Roving“ hergestellt werden kann. Dafür eignen sich in erster Linie Verfahren zum direkten Faserablegen aus Endlosfasern oder von Kurzfasern. Für weniger hoch belastete Bereiche bestehen diese im besten Fall aus Recyclingmaterial (z.B. aufbereitetes Verschnittmaterial). In einer maßgeschneiderten Kombination der Preformingverfahren bzw. Halbzeuge kann ein Optimum zwischen Leichtbaupotential und Wirtschaftlichkeit erzielt werden.

Das Gesamtziel des Vorhabens ist die Entwicklung und Validierung einer Preformingtechnologie, die unter den oben genannten Aspekten eine wirtschaftliche Herstellung von Preforms für Großserienanwendungen ermöglicht. Die zu entwickelnde Preformingtechnologie soll dabei dem Ansatz des hybriden Preformings folgen, bei dem durch die Unterteilung des Preforms in Substrukturen eine individuelle Technik für jeden sogenannten Subpreform zur Anwendung kommen kann [1].

Im Rahmen des Projekts sollen zur Erreichung des Gesamtziels folgende wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele erreicht werden:

- Definition eines geeigneten Demonstratorpreforms
- Auswahl eines Fertigungsszenarios (ganzheitliche Prozesskette)
- Definition Material & Aufbau finale Preform
- Definition der Qualitätsmerkmale des Preforms
- Marktscreening und Charakterisierung geeigneter Bindertechnologien

- Entwicklung und Erprobung folgender Technologien:
 - Direkte Faserablage
 - Preform-Fügen
 - Preform-Beschnitt
 - Preform-Qualitäts-Analyse
- Ableitung und Analyse wirtschaftlicher Kennzahlen der neuen Preformingtechnologie

1.2 Voraussetzungen

Zur Preformherstellung für komplexe Bauteile werden bisher hauptsächlich kostenintensive Textilfasergewebe und -gelege eingesetzt. Der Preformprozess ist dabei in mehrere Schritte wie Zuschneiden, Absortieren, Drapieren und Konsolidieren unterteilt, die nur zu geringen Teilen automatisiert umgesetzt sind - und einen hohen Anteil an manuellem Aufwand erfordern. Die Verwendung von flächigen Textilhälften erzeugt viel Verschnitt, so dass aktuell nur ein geringer Materialausnutzungsgrad erreichbar ist und der bereits große Anteil der Halbzugkosten am Bauteil bei großen Stückzahlen zum Hauptkostentreiber wird. Diese Vorgehensweise eignet sich aufgrund des hohen Kosten- und Zeitaufwandes nur unzureichend für einen wirtschaftlichen Einsatz in der Großserienfertigung.

1.3 Planung

Das Projekt MAI Pop wird in Haupt- und Unterarbeitspakete untergliedert. Als Verantwortlicher für jedes Haupt-Arbeitspaket (AP1–AP5) ist ein Projektpartner benannt. Die an den jeweiligen Arbeitspaketen beteiligten Partner sind der Übersicht in Tabelle 1 zu entnehmen. Die Koordination für das Gesamtprojekt übernimmt Voith Composites.

Tabelle 1 Übersicht über Projektbeteiligungen und Arbeitsteilung [1]

MAI Pop Schnelles Preforming mit Verschnittoptimierung		VOITH	AUDI	SIEMENS	KraussMaffei
AP 0	Projektkoordination	★			
0.1	Übergeordnete Koordination Konsortium / Teilprojekte	x	(x)	(x)	(x)
0.2	Organisation Projekt-Review	x	(x)	(x)	(x)
AP 1	Definition Anforderungen & Prozessrandbedingungen		★		
1.1	Definition Demonstratorbauteil (Fokus: Preform)	(x)	x		
1.2	Auswahl eines Fertigungsszenarios (ganzheitliche Prozesskette)	x	(x)	(x)	
1.3	Definition Material & Aufbau finale Preform	(x)	x		(x)
1.4	Definintion Qualitätsmerkmale	(x)	x		
AP 2	Preform-Technologie-Entwicklung (Sub-Preforms -> Maßgeschneidert)	★			
2.1	Prozessübergreifende Definitionen	x	(x)		
2.1.1	Verschnitthandhabung bei Technologie-Umsetzung (Konzept / Auflagen)	x	(x)		(x)
2.1.2	Screening und Test Bindertechnologien (Mehrfachaktivierung, Grenzen des Systems)	x	(x)	(x)	
2.2	Direktes Faserablegen	x	(x)		
2.2.1	Funktionsspezifikation und Schnittstellendefinition	x	(x)	(x)	
2.2.2	Konzeption Faser-Quer-Ablegen	x	(x)		
2.2.3	Einzelmodul-Entwicklung	x		(x)	
2.2.5	Modul-Montage und Erst-Erprobung	x	(x)		
2.3	Faser Spritzen	(x)	(x)		x
2.3.1	Funktionsspezifikation und Schnittstellendefinition	x	(x)	(x)	
2.3.2	Konzeption Faserspitzkopf und Werkzeug (Fokus Stapelfasergarn)	(x)			x
2.3.3	Entwicklung-Aufbau-Ersterprobung	(x)			x
2.4	Preform-Fügen	(x)	x		
2.4.1	Funktionsspezifikation Fügestelle und Schnittstellendefinition	(x)	x	(x)	
2.4.2	Auswahl geeignetes Füge- und Positionierverfahren	(x)	x		
2.4.3	Entwicklung/Aufbau Endeffektor	(x)	x		
2.5	Preform-Beschnitt	x	(x)		
2.5.1	Funktionsspezifikation Beschnitt und Schnittstellendefinition	x	(x)	(x)	
2.5.2	Auswahl geeignetes Beschnittverfahren	x	(x)	(x)	
2.5.3	Entwicklung/Aufbau Beschnitt	x	(x)		
AP 3	Preform-Qualitäts-Analyse	★			
3.1	Entwicklung Inline / Online QS	x	(x)	(x)	(x)
3.2	Mechanische Eigenschaften	(x)	x		
3.3	Permeabilitätsuntersuchungen	x	(x)		
3.4	Preform-Montage-Güte	(x)	x		
AP 4	Aufbau Preform-Montage-Zentrum (Hybrides Preforming)	★			
4.1	Konzeption Preform-Montage-Zentrum	x	(x)	(x)	
4.2	Technologie-Integration	x		(x)	
4.2.1	Preform-Fügen	x	(x)	(x)	
4.2.2	Faser Spritzen	x		(x)	(x)
4.2.3	Direktes Faserablegen	x		(x)	
4.2.4	Inline / Online-QS	x		(x)	
4.3	Sub-Preform-Integration (Logistik bzw. auspacken)	x			
4.4	Technologie-Erprobung	x	(x)	(x)	(x)
4.5	Fertigung der Demonstrator-Struktur (Finale Preform)	x	(x)		
AP 5	Industrialisierungskonzept (ganzheitliche Prozesskette)	★			
5.1	Anpassung PD auf CFK-Fertigungstechnologie	(x)		x	
5.2	Modellierung des Fertigungsprozesses	x	(x)	(x)	
5.3	Wirtschaftliche Kennzahlen einem Fertigungsszenario folgend > Bewertung	x	(x)	(x)	
★ AP-Koordinator X : eigene Arbeiten (X) : unterstützende Tätigkeiten / Interesse					

1.4 Ausgangspunkt

Für die Durchführung des Vorhabens wurden folgende Messen und Konferenzen besucht:

- Composites Europe
- JEC
- Konferenz für industrialisierte Composite Produktion (2014)
- Symposium "A comprehensive approach to Carbon Composites Technology" (2014)
- CFK-Valley Stade Convention
- CC eV Automotiveforum
- MAI Projektforum
- Fachtagung Carbon Composites

Weiterhin wurden eine Vielzahl an Fachzeitschriften und Fachliteratur verwendet, die als wissenschaftlicher und technischer Ausgangspunkt für die Arbeiten dienten. Im Folgenden werden die wichtigsten Quellen aufgelistet, weitere spezifische Quellen sind in den Literaturverzeichnissen der eigenen, im Rahmen des Projektes getätigten, Veröffentlichungen dokumentiert (siehe Kapitel 2.4).

- Zeitschrift: Kunststoffe, Hanser-Verlag (diverse Ausgaben)
- Zeitschrift: lightweight design, Springer Vieweg (diverse Ausgaben)
- DRECHSLER, K.: CFK-Technologie im Automobilbau: Was man von anderen Märkten lernen kann. Vortrag auf: C.C.e.V. Automotive Symposium, Neckarsulm, 24.06.2010
- PUDENZ, K.: Der neue BMW 7er mit Carbon Core: 130 kg leichter. URL <http://www.springerprofessional.de/der-neue-bmw-7er-mit-carbon-core-130-kg-leichter/5691238.html>. – Aktualisierungsdatum: 21.04.2015 – Überprüfungsdatum 09.10.2015
- HERBECK, L.: Anforderungen an eine Faserverbund-Produktionstechnik. Vortrag auf: Wissenschaftstag - Funktionsintegrierter Leichtbau für den bodengebundenen Verkehr, 30.09.2009

- LINKE, M. ; GREB, C. ; KLINGELE, J. ; SCHNABEL, A. ; GRIES, T.: Automating textile preforming technology for mass production of fibre-reinforced polymer (FRP) compo-sites. In: SHISHOO, R. (Hrsg.): The Global Textile and Clothing Industry : Woodhead Publishing, 2012, S. 171–195
- EHINGER, C. A.: Automatisierte Montage von Faserverbund-Vorformlingen. Technische Universität München, Dissertation, 2012
- FLEMMING, M. ; ZIEGMANN, G. ; ROTH, S.: Faserverbundbauweisen - Fertigungsverfahren mit duroplastischer Matrix. Berlin, Springer, 1999
- HENNING, F. ; MOELLER, E.: Handbuch Leichtbau - Methoden, Werkstoffe, Fertigung. München, Hanser, 2011
- SCHÜRMAN, H.: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. Berlin, Springer, 2007
- EHRENSTEIN, G. W.: Faserverbund-Kunststoffe - Werkstoffe - Verarbeitung - Eigenschaften. 2., völlig überarb. Aufl. München, Hanser, 2006
- FLEMMING, M. ; ZIEGMANN, G. ; ROTH, S.: Faserverbundbauweisen - Fasern und Matrices. Berlin, Springer, 1995
- DURST, K. G.: Beitrag zur systematischen Bewertung der Eignung anisotroper Faserverbundwerkstoffe im Fahrzeugbau. Universität Stuttgart, Dissertation, 2008
- HUFENBACH, W. (Hrsg.): Textile Verbundbauweisen und Fertigungstechnologien für Leichtbaukonstrukturen des Maschinen- und Fahrzeugbaus. Dresden, SDV - Die Medien AG, 2007
- STORER, R. A.: ASTM standards and literature references for composite materials. 2nd ed. Philadelphia, PA, ASTM, 1990
- FLEMMING, M. ; ZIEGMANN, G. ; ROTH, S.: Faserverbundbauweisen - Halbzeuge und Bauweisen. Berlin, Springer, 1996
- FLEMMING, T.: Vergleich der mechanischen Eigenschaften und des Umformverhaltens zwischen gerichteten kurz- und langfaserverstärkten Thermoplasten, 1994
- LAN, M. ; CARTIÉ, D. ; DAVIES, P. ; BAILEY, C.: Influence of embedded gap and over-lap fiber placement defects on the microstructure and shear and compression

properties of carbon-epoxy laminates. In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing

- BICKERTON, S. ; ŠIMÁČEK, P. ; GUGLIELMI, S. E. ; ADVANI, S. G.: Investigation of draping and its effects on the mold filling process during manufacturing of a compound curved composite part. In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 28 (1997), 9–10, S. 801–816
- STELZER, G.: Zum Faser- und Eigenschaftsabbau bei Verarbeitung und Recycling discontinuierlich faserverstärkter Kunststoffe. Universität Kaiserslautern, Dissertation, 2002
- KRENCHHEL, H.: Fibre reinforcement - Theoretical and practical investigations of the elasticity and strength of fibre-reinforced materials. Copenhagen, Akademisk Forlag, 1964
- THOMASON, J. L.: The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection moulded long and short fibre PP. In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 33 (2002), Nr. 12, S. 1641–1652
- BAUCOM, J. N. ; THOMAS, J. P. ; POGUE, W. R. ; SIDDIQ QIDWAI, M. A.: Tiled Composite Laminates. In: Journal of Composite Materials 44 (2010), Nr. 26, S. 3115–3132
- HARPER, L. T. ; TURNER, T. A. ; WARRIOR, N. A. ; RUDD, C. D.: Characterisation of random carbon fibre composites from a directed fibre preforming process: The effect of tow filamentisation. In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 38 (2007), Nr. 3, S. 755–770
- HARPER, L. T. ; TURNER, T. A. ; WARRIOR, N. A. ; RUDD, C. D.: Characterisation of random carbon fibre composites from a directed fibre preforming process: The effect of fibre length. In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 37 (2006), Nr. 11, S. 1863–1878
- PIMENTA, S. ; ROBINSON, P.: An analytical shear-lag model for composites with 'brick-and-mortar' architecture considering non-linear matrix response and failure. In: Composites Science and Technology 104 (2014), S. 111–124

- CZÉL, G. ; PIMENTA, S. ; WISNOM, M. R. ; ROBINSON, P.: Demonstration of pseudo-ductility in unidirectional discontinuous carbon fibre/epoxy prepreg composites. In: Composites Science and Technology 106 (2015), S. 110–119
- MEYER, O.: Kurzfaser-Preform-Technologie zur kraftflussgerechten Herstellung von Faserverbundbauteilen. Universität Stuttgart, Dissertation, 2008
- DICKERT, M.: Einfluss von Binder auf die Herstellung von Faserkunststoffverbunden. Technische Universität Clausthal, Dissertation, 2015
- LUKASZEWICZ, D. H.-J. ; WARD, C. ; POTTER, K. D.: The engineering aspects of auto-mated prepreg layup: History, present and future. In: Composites Part B: Engineering 43 (2012), Nr. 3, S. 997–1009
- MTorres automatic tape layer ATL machine. URL http://www.mtorres.es/sites/default/files/productos/torreslayup_automatic_tape%20_layer_MTorres_05.jpg – Überprüfungsdatum 23.12.2015
- KERNER, A.: Manufacturing of complex sandwich components for helicopters using Automated Fiber Placement. Vortrag auf: CFK Valley State Convention, Stade, 11.06.2013
- BROETJE AUTOMATION: STAXX COMPACT 1700. URL http://www.broetje-automati-on.de/fileadmin/redupload/Datenblaetter/Staxx_Compact_Folder_Broetje_web.pdf – Überprüfungsdatum 23.12.2015
- FIBERFORGE CORPORATION: FIBERFORGE - Lightweighting Your World - Rapid Efficient Layup. URL <http://www.fiberforge.com/documents/2.%20Fiberforge%20RELAY%20Station%20brochure.pdf> – Überprüfungsdatum 28.02.2016
- GALLET, C.: Recent Developments in the Field of Automated Fiber Placement for Industrial Applications. Vortrag auf: LCC Symposium "A comprehensive approach to Carbon Composites Technology", München, 11.09.2014
- COMPOSITENCE GMBH: Compositence - Fertigungsanlagen - Mit unserer patentierten Fertigungstechnologie kommen Sie vollautomatisiert vom trockenen Roving direkt zur 3D Preform. URL <http://compositence.firma.cc/fertigungsanlagen/> – Überprüfungsdatum 30.12.2015

- FELTIN, D.: Entwicklung von textilen Halbzeugen für Faserverbunde unter Verwendung von Stickautomaten. Technische Universität Dresden, Dissertation, 2008
- GARDINER, G.: Tailored Fiber Placement: Besting metal in volume production - Affordable automated production of highly optimized preforms and parts. URL <http://www.compositesworld.com/articles/tailored-fiber-placement-besting-metal-in-volume-production> – Überprüfungsdatum 24.12.2015
- FLEISCHER, J. ; FÖRSTER, F. ; DACKWEILER, M.: Materialeffiziente hybride Preforms aus Lang- und Endlosfasern. In: Lightweight Design 8 (2015), Nr. 6, S. 14–19. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s35725-015-0048-7>
- AUBRY, J.: HexMC — bridging the gap between prepreg and SMC. In: Reinforced Plastics 45 (2001), Nr. 6, S. 38–40
- HARPER, L. T.: Discontinuous carbon fibre composites for automotive applications. University of Nottingham, Dissertation, 2006
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT; Schutzrecht: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umwelt-verträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) (in Kraft getr. am 24. 2. 2012) (2012-02-24), S. 9. URL <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/krwg/gesamt.pdf> – Überprüfungsdatum 31.12.2015
- WOOD, K.: Carbon fiber reclamation: Going commercial - As the first commercial-scale carbon fiber recycling operations go online, research continues into both recycling alternatives and applications for recycle. URL <http://www.compositesworld.com/articles/carbon-fiber-reclamation-going-commercial> – Überprüfungsdatum 31.12.2015
- PIMENTA, S.: Toughness and strength of recycled composites and their virgin precursors. Imperial College London, Dissertation, 2013
- FELDHUSEN, J. ; GROTE, K.-H.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre - Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8., vollst. überarb. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg, 2013
- VDI-Richtlinie VDI 2221. 1993-05. Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte

- NESTLER, J. ; VETTERMANN, F. ; RECHSEL, D.; Schutzrecht: Vorrichtung und Verfahren zum Ausbreiten eines Karbonfaserstrangs. 04.11.2005
- LIBA MASCHINENFABRIK GMBH: Multiaxial-Technologie zur Herstellung textiler Halbzeuge aus Carbonfasern. URL <http://alumag.cc/wp-content/uploads/2013/11/RCOM11.2011LibaLecture.pdf> – Überprüfungsdatum 22.01.2016
- GÖTTINGER, M. ; WEIMER, C. ; MIENE, A.: Inline-Preformprozesskontrolle in der CFK-Fertigung. Vortrag auf: Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, Aachen, 2009
- THOMASON, J. L. ; VLUG, M. A.: Influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene: 1. Tensile and flexural modulus. In: Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 27 (1996), Nr. 6, S. 477–484

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Vorhabens wurde durch Voith Composites eine Vielzahl von Arbeiten in Zusammenarbeit mit den am Projekt beteiligten Partnern durchgeführt. In Tabelle 1 sind die jeweiligen Arbeitspakete sowie die beteiligten Partner dargestellt.

Im Rahmen von Unteraufträgen wurden vereinzelt weitere Unternehmen und Forschungseinrichtungen in die Arbeiten mit einbezogen. Im Folgenden werden die entsprechenden Themen sowie Unterauftragnehmer aufgeführt.

Zusammen mit der Cetex Institut für Textil- und Verarbeitungsmaschinen gemeinnützige GmbH wurde die Thematik diskontinuierliches Spreizen von Kohlenstofffasern sowie der automatisierte Wechsel von Rovingspulen bearbeitet.

Zusammen mit der Voith Engineering Services GmbH wurde ein Konzept für die Überführung der entwickelten Preformingtechnologie in die Serie erarbeitet.

Mit dem Spezialisten für Klebesysteme und Dosiertechnologien, der Firma SCA-Schucker GmbH & Co. KG, wurden Ideen sowie Konzepte für den flüssigen Auftrag von Binder erarbeitet.

Der Auftrag von tropfenförmigen Bindermaterialien wurde durch die Firma FMP Technology GmbH im Rahmen einer Machbarkeitsstudie untersucht.

Gemeinsam mit der Firma Längle GmbH erfolgte die Lösungsfindung sowie Erprobung spezieller Binderauftragsmethoden für pulverförmige Materialien.

Durch das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT wurde eine Untersuchung für das elektrostatische Greifen und Fixieren von Carbonfasern durchgeführt.

Durch die Firma IBG Automation GmbH wurde die Anpassung der Technologiezelle für das automatisierte Beschneiden und Montieren von Preformstrukturen auf die projektspezifischen Anforderungen angepasst.

Zusammen mit der Firma Hengstmann Solutions GmbH wurde ein System zur Qualitätssicherung von gespreizten Fasersträngen entwickelt und erprobt.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Im Folgenden werden die erzielten Ergebnisse des Vorhabens mit Bezug zu den Arbeitspaketen detailliert dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit wird die Darstellung anhand der Arbeitspakete im Projekt gegliedert wobei zur Einführung jeweils kurz die ursprüngliche Zielstellung laut Rahmenplan beschrieben wird.

2.1.1 AP 1 Definition Anforderungen & Prozessrandbedingungen

Übersicht Zielstellung:

Der Ansatz im Projekt MAI Pop, die gesamte Prozesskette maßgeschneidert für ein definiertes Strukturbauteil zu optimieren, stellt eine der wesentlichen Säulen zum Erreichen der Ziele des Projekts dar. Bei dieser Vorgehensweise steht das Bauteil im Fokus der Prozessgestaltung und hat einen großen Einfluss auf zu entwickelnden Fertigungsverfahren. Aus diesem Grund ist es für das Projekt MAI Pop notwendig zu Beginn der Laufzeit in einem ersten Arbeitspaket ein geeignetes Demonstratorbauteil zu definieren. Die Auswahl der verwendeten Geometrie soll sich dabei an aktuell realistisch erscheinenden Produktionsszenarien orientieren, wie sie in den kommenden Jahren für die Großserienfertigung von Faserverbundbauteilen in der Automobilindustrie erwartet werden. Weiterhin soll die Geometrie so gestaltet sein, dass für einzelne Subpreforms die in Betracht gezogenen Fertigungstechnologien zur Anwendung kommen können. Ein nachfolgender Injektionsprozess, den das Preform bis zum endgültigen Bauteil durchläuft wird bei den Anforderungen berücksichtigt - auch wenn im Projekt MAI Pop nur der Herstellungsprozess eines Preforms selbst Gegenstand ist [1].

Ergebnisse

Die Definition eines Demonstratorbauteils stellt eine wichtige Arbeitsbasis für die Prozessentwicklung im Projekt MAI Pop dar. Abgeleitet von Anforderungen heutiger Fahrzeugstrukturen und entsprechender Bauteilgestaltung wurden wesentliche Herausforderungen bei der Umsetzung derartiger Geometrien in Faserverbundbauweise in einem Demonstratorbauteil zusammengefasst (Abbildung 1, Abbildung 2 und Abbildung 3).

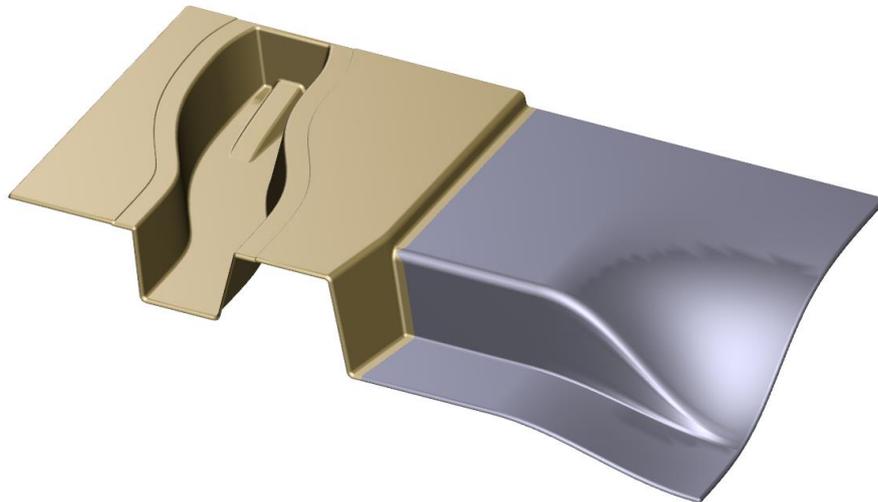


Abbildung 1: Demonstratorbauteil - Isometrische Darstellung der Subpreforms

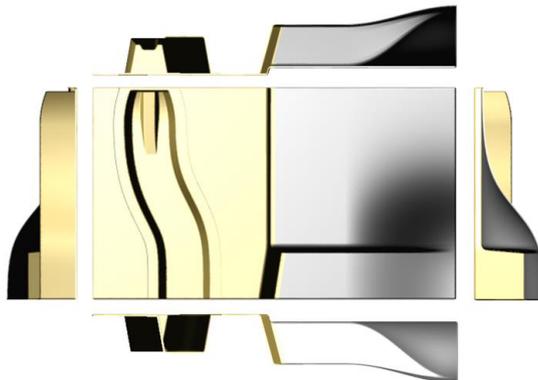


Abbildung 2: Demonstratorbauteil - Ansicht von oben und von den Seiten

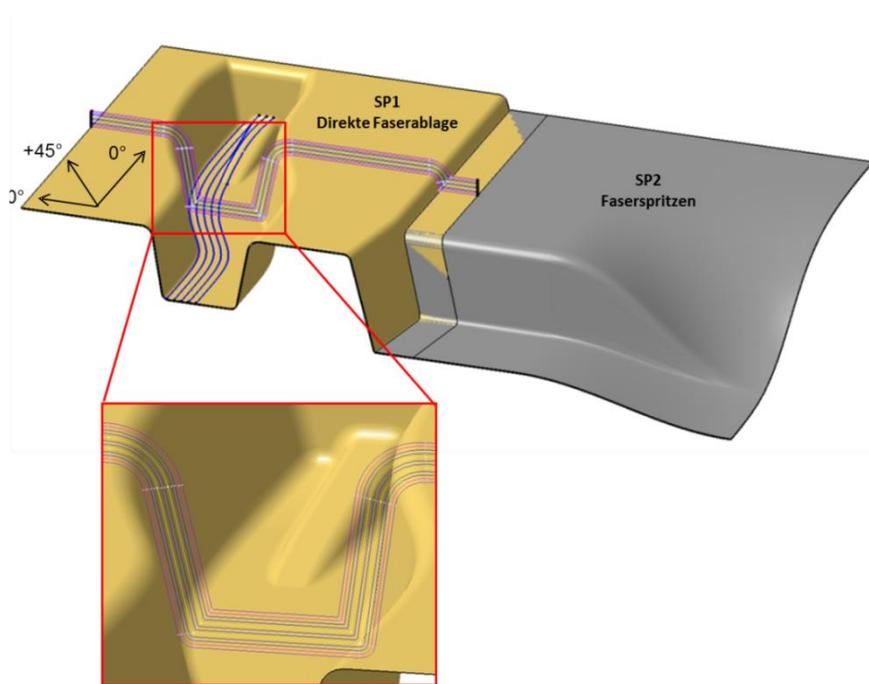


Abbildung 3: Faserarchitektur Demonstratorpreforms

Unter der Prämisse eines großserientauglichen Prozesses wurde ein Fertigungsszenario für die Prozessschritte nach der Preformherstellung definiert (Abbildung 4). Aus diesem Szenario ergeben sich bestimmte Anforderungen hinsichtlich der Preformingprozesse, die für eine stabile Prozessführung der Fertigung der Faserverbundstrukturen notwendig ist. Die folgende Liste beschreibt die erarbeiteten Annahmen sowie Anforderungen:

- Taktzeit <3min für alle Prozessschritte
- Volle Automatisierung der Prozesskette möglich (Verkettung der Schritte z.B. durch Roboterhandling)
- Angenommener Konsolidierungsprozess: Nasspressen / HD-RTM
- Notwendige Stabilität Gesamtpreform: Preformstruktur trägt Eigenmasse + entsprechende Harzmasse (notwendig f. Nasspressen) bei umlaufender Klemmung

- Preformfügestelle muss HD-RTM Injektion widerstehen und Position der Substrukturen sicherstellen (Temperaturstabilität / Wash-Out des Bindersystems)
- Imprägnierbarkeit sollte mindestens für Nasspressprozess ausreichend sein (Durchtränkung in Z-Richtung möglich)
- Angenommener Endkonturbeschnitt der Bauteile: Wasserstrahlschneiden oder Fräsen



Abbildung 4: Fertigungsszenario MAI Pop

2.1.2 AP 2 Preform-Technologie-Entwicklung

Übersicht Zielstellung:

Im Arbeitspaket 2 sollen gebündelt die technischen Herausforderungen im Preforming bearbeitet, sowie die vielversprechendsten Ansätze in einem konkreten Szenario entwickelt, umgesetzt und erprobt werden. Die Bewertung erfolgt dabei auf Grundlage ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte - im Speziellen sind hier die Ziele Verschnittminimierung, Prozesszeitoptimierung sowie Ausschussreduzierung zu berücksichtigen. Grundlegende und prozessübergreifende technologische Herausforderungen in Bezug auf das Preforming sollen gleich zu Beginn des Projekts bearbeitet werden, um zu einem frühestmöglichen Zeitpunkt auf konkrete Ergebnisse aus diesen Arbeiten zurückgreifen zu können. Basierend auf den Anforderungen, die sich durch den in Arbeitspaket 1 definierten Preform ergeben, werden weitere Herausforderungen sowie technische Lösungsansätze definiert und die notwendigen entsprechenden Herstellungstechnologien entwickelt bzw. angepasst. Das Vorgehen soll sich dabei an Modulen, die jeweils maßgeschneidert für eine konkrete technische Lösung vorgesehen werden, orientieren [1].

Ergebnisse

Als Basis für die Technologieentwicklung im Arbeitspaket 2 wurde ein Screening verfügbarer Bindertechnologien durchgeführt. Dabei wurden neben dem Bindermaterial selbst auch geeignete Applikations- und Aktivierungstechnologien sowie die Einflüsse auf die Preformeigenschaften berücksichtigt.

In einem ersten Schritt wurden die Anforderungen an das zukünftige Bindersystem im Konsortium zusammengetragen und abgestimmt. Anhand der Vorgaben betrachtete Voith entsprechende Systeme. Bei den ausgewählten Materialien handelt es sich um nicht-reaktive Bindersysteme, das heißt diese Bindersysteme sind mehrfach aufschmelzbar, was die Handhabung und Applikation erleichtert. Jedoch neigen nicht-reaktive Bindersysteme aufgrund der relativ geringen Wärmebeständigkeiten und dem Aufschmelzverhalten zu einem Ausspülen bei der Harzinjektion. Das bedeutet, dass das Bindersystem durch die Werkzeugtemperatur und die Harztemperatur in einen viskosen Zustand versetzt wird und eine ausreichende Strukturfixierung im Preform nicht mehr gegeben ist. Das Ausspülen des Bindersystems ist besonders bei Preforms mit begrenzten Faserlängen kritisch zu betrachten, weil die aneinander liegenden Fasern begrenzter Länge keine strukturbedingte Fixierung, wie z.B. bei einem Gewebe, erlauben. Da die Zielstellung in MAI Pop darin besteht industriell verwertbare Preforms herzustellen, muss die dem Preforming folgende Harzinjektion berücksichtigt werden. Die Strukturfixierung des Preform muss daher über die gesamte Prozesskette, insbesondere bei der Harzinjektion unter erhöhten Temperaturen, gewährleistet sein. Es zeigte sich, dass die präferierten Systeme für die Weiterverarbeitung unzureichende Eigenschaften aufweisen. Aus diesem Grund wurden weitere, reaktive Bindersysteme in Betracht gezogen. Diese weisen nach einer gewissen Aktivierungsdauer eine nicht mehr aufschmelzbare Form auf und stabilisieren die Fasern zuverlässig ebenfalls im RTM-Prozess.

Im Zusammenhang mit dem Screening wurden geeignete Auftragsprinzipien für die ausgewählten Bindersysteme ermittelt.

Zur Prüfung verschiedener Binderauftragsmethoden wurde ein Versuchsstand aufgebaut (siehe Abbildung 5) an dem die einzelnen Techniken auf grundsätzliche Machbarkeiten geprüft wurden. Eine Übersicht über die evaluierten Technologien zeigt Abbildung 6. Als am besten geeigneten Technologien stellten sich die pulverbasierten Verfahren dar, insbesondere mit Unterstützung durch ein elektrostatisches Feld zum Transport des Bindermaterials.

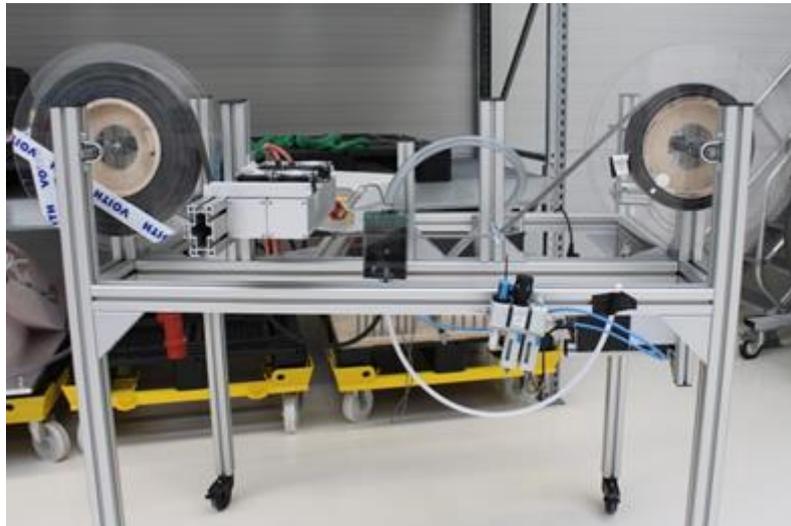


Abbildung 5: Darstellung Versuchsstand Binderauftrag

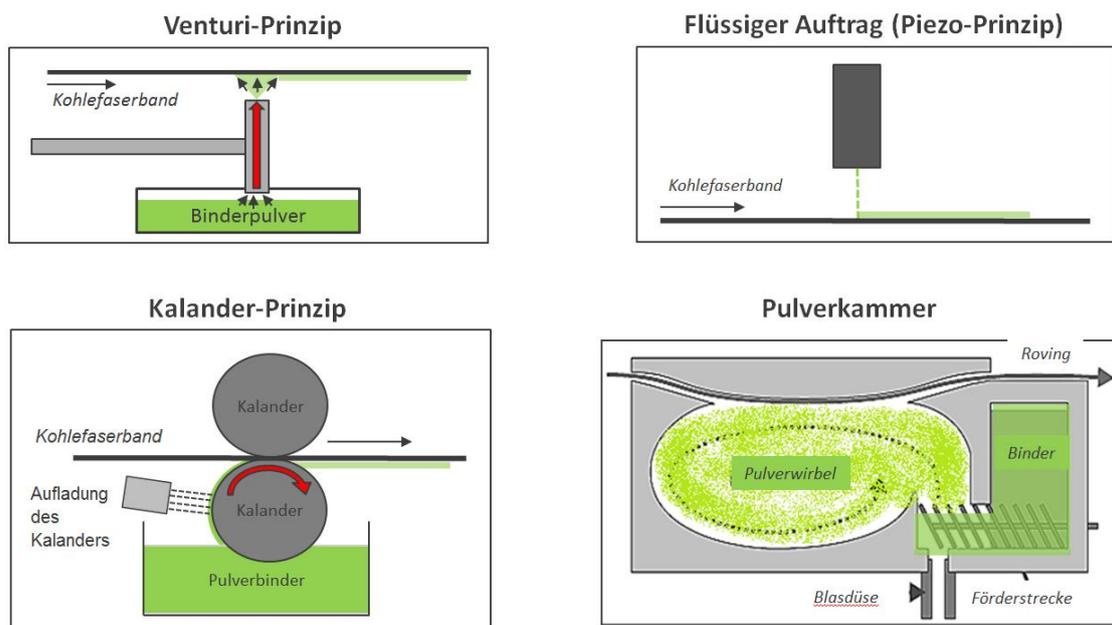


Abbildung 6: Darstellung evaluierter Binderauftragskonzepte

Die Entwicklung einer neuen direkten Faserablagetechnologie als Kern des gesamten Vorhabens wurde im Rahmen einer Dissertation detailliert dokumentiert und veröffentlicht [2]. Als Überblick über die Inhalte dieser Veröffentlichung wird im Folgenden die Kurzfassung der Arbeit zitiert:

Gegenstand [...] ist die Entwicklung eines neuartigen Preformingverfahrens zum Einsatz in der Fertigung von Faserverbund-Bauteilen für die Automobilindustrie. Für eine zielgerichtete Prozessentwicklung wird der spezifische Bedarf der Branche sowie der bisherige Einsatz derartiger Materialien analysiert. Auf Basis des Analyseergebnisses wird mithilfe systematischer Methoden ein neues Verfahren entwickelt, welches die direkte Verarbeitung von Carbonfaser-Rovings zu geometrisch komplexen Preforms ermöglicht. Das auf der präzisen und schnellen Ablage von Faserabschnitten beruhende Verfahren bietet das Potential zur Kosteneinsparung sowie die Einsatzfähigkeit in einer Großserienfertigung. Aufgrund der guten Umformbarkeit der entstehenden Langfasertextilien ist der Prozess in zwei Schritte unterteilt. Zuerst erfolgt die Ablage der Fasern in der Ebene zu zweidimensionalen Platinen. Mittels eines nachfolgenden Pressprozesses werden diese Platinen dann zu komplexen dreidimensionalen Strukturen umgeformt. Die Entkopplung der beiden Prozessschritte bietet Vorteile hinsichtlich Taktzeit und Gesamtanlageneffektivität.

Den Kern der Arbeit stellt die Technologie der Faserablage dar, welche mit einem Vorversuchsstand grundlegend erforscht und schließlich in einer vollautomatisierten Prototypenanlage erprobt wird. Nachfolgend wird im Rahmen einer ausführlichen Analyse die Homogenität der Faserabschnitte sowie die Präzision und Geschwindigkeit der Faserablage untersucht. Weiterhin werden die Umformeigenschaften der zweidimensionalen Platinen sowie die physikalischen Wirkmechanismen experimentell betrachtet. Neben der Umformung diverser Platinen erfolgt eine Untersuchung der Reibeigenschaften zwischen den Faserschichten.

Abschließend wird das neue Verfahren durch eine technische und wirtschaftliche Betrachtung hinsichtlich der anfangs gestellten Anforderungen bewertet. Es zeigt sich, dass die neue Technologie das Potential besitzt, eine Alternative zu bisherigen Preformingverfahren in einer Faserverbundfertigung zu bieten [2].

Für detaillierte Ergebnisse sowie die Methodik und Vorgehensweise zu der als Voith Langfaser Preforming (VLP) bezeichneten Technologie wird auf die genannte Veröffentlichung verwiesen.

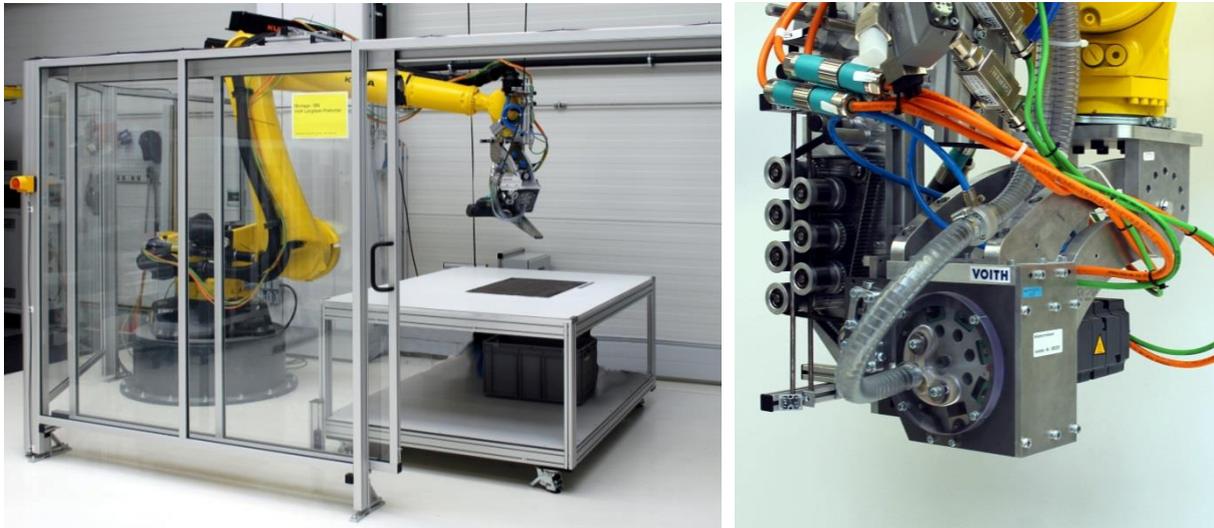


Abbildung 7 links: Roboterzelle mit Faserablagemodul, rechts: Faserablagekopf in optimierter Ausbaustufe [2]

Neben der Faserablagetechnologie selbst wurden im Arbeitspaket 2 zusätzliche Verfahren zur Weiterverarbeitung der Preforms erforscht und entwickelt. Zur Realisierung des hybriden Preformings sind damit eine Preformbeschnitt- sowie eine Montagetechnologie erforderlich.

Der Konturbeschnitt, der im Projekt hergestellten Subpreforms folgt direkt nach der Fertigung die im Projekt entwickelten direkten Faserablegeverfahren. Anhand einer roboterbasierten Preformbeschnittzelle (Abbildung 8) wurde die Technologie in einem ersten Schritt mit handelsüblichen Carbontextilien (z.B. Multiaxialgelege) und in einem zweiten Schritt mit den in MAI Pop hergestellten Faserstrukturen analysiert und erprobt. Durch die Analyse wurde deutlich, dass die durch eine Direktablage hergestellten Preforms eine besondere Fixierung benötigen um die Anforderungen an die Schnittkantengüte zu erfüllen. Aus diesem Grund entwickelte Voith spezielle Preformbeschnittwerkzeuge, welche eine innen- und außenseitige Klemmung des Materials beim Beschnitt erlauben (Abbildung 9).

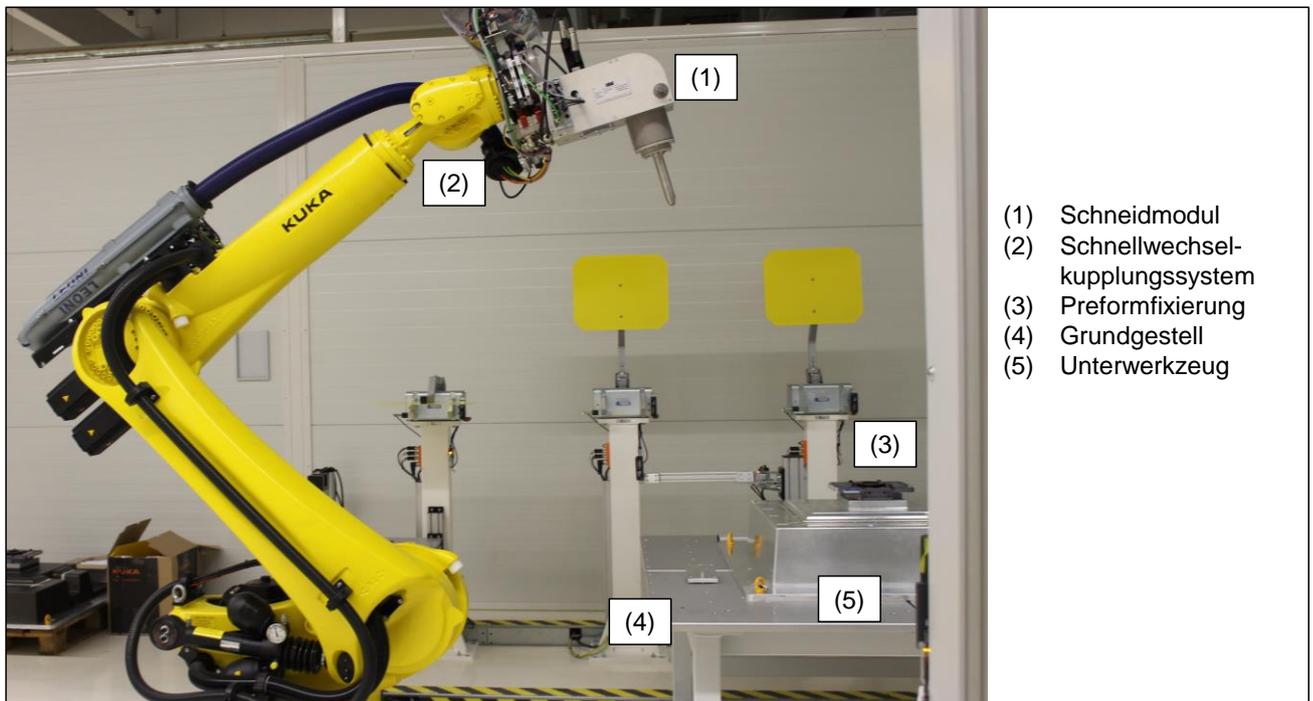
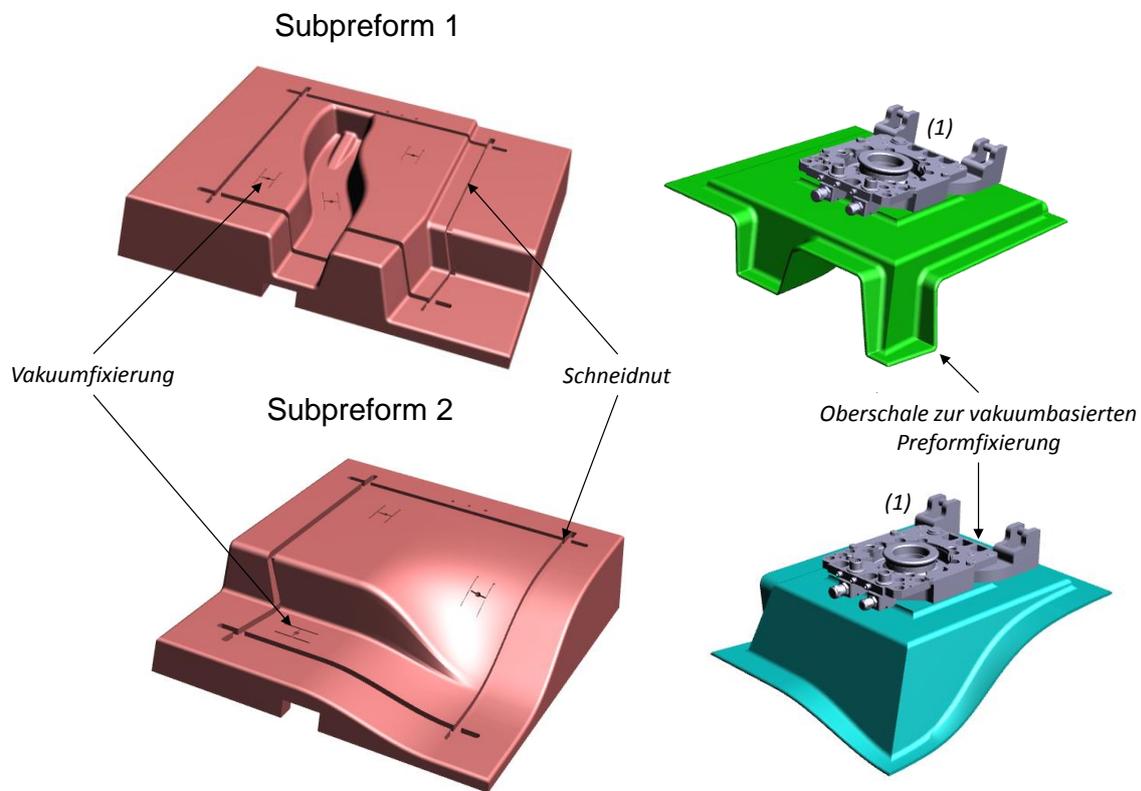


Abbildung 8: Preformbeschnittzelle bei Voith Composites



(1) technologieübergreifende Schnellwechsellkupplung

Abbildung 9: Darstellung der entwickelten Preformbeschnittwerkzeuge

Für die Herstellung von komplexen Automobilbauteilen aus Faserverbundwerkstoffen empfiehlt sich häufig aus herstellungsbedingten und wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Aufteilung in weniger komplexe Teilstrukturen. Als Vorstufe des fertigen Bauteils werden in einem oder mehreren Preforming-Prozessen Subpreforms hergestellt, welche für die weitere Verarbeitung zu einer Gesamtpreform gefügt werden. Der dafür notwendige Fügeprozess ist zentraler Gegenstand des Arbeitspaketes 2.4. Zur Unterstützung der Aktivitäten von Audi in diesem AP wurden von Voith die Anforderungen an die Preform-Fügeprozesse im Umfeld einer automobilen Großserienproduktion erarbeitet. Sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte wurden bei der Anforderungsdefinition betrachtet. Aufbauend auf diesen Ansprüchen und dem Stand der Technik wurden Konzepte für das Fügen von Subpreforms entwickelt. Dazu wurden Wirkprinzipien und Lösungsmöglichkeiten mittels systematischer

Variation physikalischer Effekte ermittelt. Die Erfüllung der Anforderungen wurde abgeschätzt und die weiter zu verfolgenden Konzepte ausgewählt und detailliert.

Die drei vielversprechendsten Konzepte (Binder, Heftklammer und Heftfaden) wurden durch Zugversuche auf ihre mechanischen und durch Versuche zur Imprägnierbarkeit auf ihre fluiddynamischen Eigenschaften getestet. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die abschließende technische Bewertung der Konzepte. Auf diese Weise wurde eine Methodik abgeleitet, welche eine fundierte Grundlage für die Arbeiten von Audi im Bereich Preformfügen schafft. Sie dient zum Finden und Umsetzen von Fügekonzepten entsprechend den zugrunde gelegten und priorisierten Anforderungen. Tabelle 2 und Tabelle 3 geben einen Überblick über die wichtigsten Punkte der technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften der Fügekonzepte. Zur besseren Visualisierung sind die Ergebnisse in Abbildung 10 in einem Netzdiagramm zusammengefasst.

Tabelle 2 Wichtige Größen sowie technische Eigenschaften der Konzepte im Überblick [3]

Konzept	wichtige Größen	mechanische Eigenschaften	Imprägnierbarkeit	Leichtbaupotenzial
Binder	<ul style="list-style-type: none"> • Bindermaterial • Bindermenge • Art der Binderaktivierung • <u>Decklagenorientierung</u> 	<ul style="list-style-type: none"> + hohe Steifigkeit - starke Abhängigkeit von der <u>Decklagenorientierung</u> + absolut sehr hohe mechanische Kennwerte 	<ul style="list-style-type: none"> + kein wesentlicher Einfluss auf die Imprägnierbarkeit im Vorversuch - Verringerung der Permeabilität aus Literatur bekannt 	<ul style="list-style-type: none"> + hohe massenbezogene mechanische Eigenschaften + geringe <u>Masseneinbringung</u>: 1,20 g/m bzw. 0,147 g/m (45°/45°- bzw. 90°/90°-<u>Decklagenorientierung</u>)
Heftklammer	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrie der Heftklammern • Umformung der Schenkel 	<ul style="list-style-type: none"> + Verstärkung in z-Richtung + absolut hohe mechanische Kennwerte 	<ul style="list-style-type: none"> - lokale Reduktion der Imprägnierbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - reduzierte massenbezogene mechanische Eigenschaften - relativ große <u>Masseneinbringung</u>: 3,82 g/m
Heftfaden	<ul style="list-style-type: none"> • Geometrie der Heftfäden 	<ul style="list-style-type: none"> + Verstärkung in z-Richtung + gute spezifische Kennwerte - absolut geringe mechanische Kennwerte - <u>geringe Anfangssteifigkeit</u> 	<ul style="list-style-type: none"> + kein Einfluss auf die Imprägnierbarkeit im Vorversuch 	<ul style="list-style-type: none"> + hohe massenbezogene mechanische Eigenschaften + <u>geringe Masseneinbringung</u>: 0,302 g/m

Tabelle 3: Wirtschaftliche Eigenschaften der Konzepte im Überblick [3]

Konzept	Prozesszeit	Prozessschritte	Kosten
Binder	<ul style="list-style-type: none"> - genaues Auftragen erhöht Prozesszeit - Aufheizen und Abkühlen des Binders zeitintensiv 	<ul style="list-style-type: none"> - Binderauftrag - Aktivieren des Binders - Kühlen der <u>Fügezone</u> - Aufbringen von Druck 	<ul style="list-style-type: none"> + sehr geringe Materialkosten: 0,0060 €/m bzw. 0,00073 €/m (45°/45°- bzw. 90°/90°-<u>Decklagenorientierung</u>) - hohe Energiekosten
Heftklammer	<ul style="list-style-type: none"> + zügiges Einbringen von Heftklammern möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Einbringen von Heftklammern - Umbiegen der Klammerschenkel - Zugang von zwei Seiten nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - relativ hohe Materialkosten: 0,21 €/m + geringere <u>Energiekosten</u>
Heftfaden	<ul style="list-style-type: none"> + zügiges Einbringen von Heftfäden möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Einbringen der Heftfäden + Zugang von einer Seite ausreichend 	<ul style="list-style-type: none"> - relativ hohe Materialkosten: 0,30 €/m + geringere <u>Energiekosten</u>

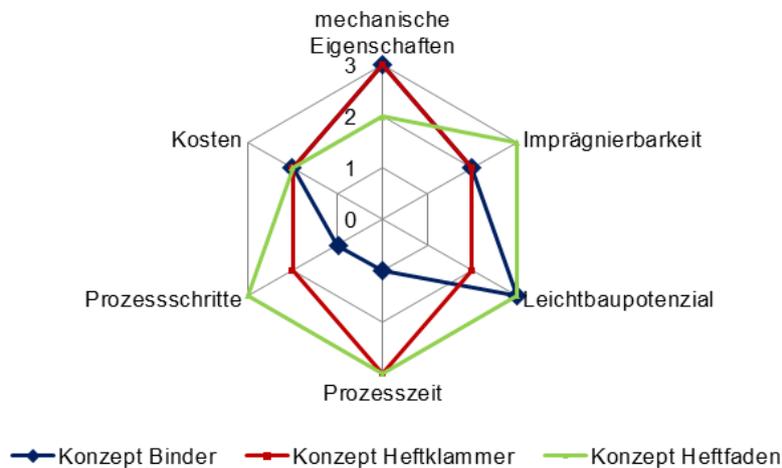


Abbildung 10: Bewertung der Konzepte¹ [3]

2.1.3 AP 3 Preform-Qualitäts-Analyse

Übersicht Zielstellung:

Der Schwerpunkt in Arbeitspaket 3 liegt in der Erarbeitung von Verfahren zum automatisierten Prüfen der Preformqualität. Das Ziel ist die Entwicklung eines Verfahrens (welches aus mehreren Schritten bestehen kann) um am Ende des Preformprozesses, bzw. nach einem geeigneten Zwischenschritt, die in Arbeitspaket 1 definierten Mindestanforderungen abzuprüfen. Der Nutzen soll eine uneingeschränkte Weiterverarbeitbarkeit des Preforms in nachfolgenden Prozessschritten sein, um den Ausschuss zu minimieren [1].

¹ Annäherung an die ideale Verwirklichung: 3 Punkte: sehr gut, 2 Punkte: mittelmäßig, 1 Punkte: gerade noch tragbar

Ergebnisse

In Bezug auf die Inline- und Online-Qualitätssicherung von Preforms wurde in einem ersten Schritt ein Vergleich der möglichen Prüfmethoden durchgeführt (Tabelle 4). Im Anschluss wurden die geeigneten Verfahren untereinander verglichen um die optimale Prüfmethode zu bestimmen. Aus der in Tabelle 5 dargestellten Bewertung geht hervor, dass sich die Thermographie- und Wirbelstromprüfung am ehesten zur Prüfung von umgeformten Carbonpreforms eignen.

Tabelle 4: Sichtung geeigneter zfP-Verfahren zur Prüfung von Kohlefaserpreforms

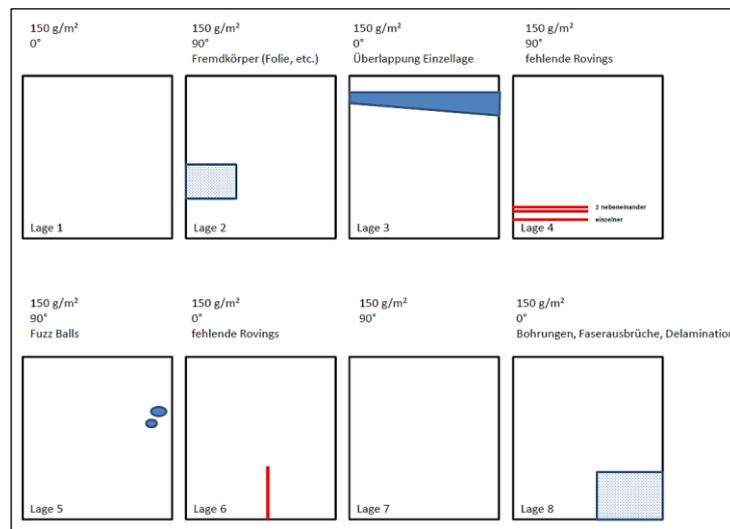
Prüfverfahren	Eignung zur Prüfung von Preforms
Ultraschall	Prüfung von Preforms nicht möglich
Thermographie	Grundsätzlich geeignet
Optische Prüfmethoden	Grundsätzlich geeignet
Wirbelstrom	Grundsätzlich geeignet
Röntgen	Grundsätzlich geeignet

Tabelle 5: Vergleich geeigneten QA-Methoden für Preforms

	Thermographie		Röntgen		Wirbelstrom		Opt. Messung	
Faserorientierung 1. Lage	Teilweise erkennbar	2	Gut erkennbar	3	Gut erkennbar	3	Gut erkennbar	3
Faserorientierung weiterer Lagen	Teilweise erkennbar	2	Teilweise erkennbar	2	Teilweise erkennbar	2	Nicht möglich	0
Gaps/Hohlstellen im gesamten Preform	Teilweise erkennbar/ erkennbar	3	möglich	3	möglich	3	Ausschließlich in erster Lage/ nicht möglich	1
Faserverteilung	Teilweise erkennbar	2	erkennbar	3	Teilweise erkennbar	2	Ausschließlich in erster Lage	1
Geom. Abmessungen	erkennbar	3	Nicht möglich	0	Nicht möglich	0	möglich	3
Prüfbare Fläche/ Prüfgeschwindigkeit	Großflächig prüfbar, daher hohe Prüfgeschwindigkeit	3	Prüffläche von 10 mm x 10 mm/ sehr geringe Prüfgeschwindigkeit	0	Geringe Prüffläche von ca. 100 mm x 100 mm / geringe Prüfgeschwindigkeit	1	Große prüfbare Fläche/ hohe Prüfgeschwindigkeit	3
Prozessintegration	Gut integrierbar	3	geringen Prüfgeschwindigkeit	0	zusätzlichen Roboter - erhöhte Prüfzeit	1	Einzellagenprüfung möglich	0
Kosten [€]	< 100.000	2	>500.000	0	>100.000	1	<100.000	2
Fazit/ Summe	Anwendung möglich	20	Für industrielle Anwendung nicht geeignet	11	Anwendung möglich	13	Nur Prüfung erster Lage möglich	13

Zur Untersuchung der Thermographie und Wirbelstromprüfung bzgl. ihrer Eignung erstellte Voith Composites Referenzproben in welche definierte Fehler eingebracht wurden. Diese Referenzproben wurden durch die beiden Methoden untersucht, um die definierten Fehler zu detektieren (Abbildung 11). Im Rahmen dieser Evaluierung war zu erkennen, dass sich das Wirbelstromverfahren derzeit nicht für einen praktikablen Einsatz eignet. Der Grund hierfür liegt in der geringen Prüfgeschwindigkeit und den geringen Prüfflächen der derzeitigen Umsetzungsvariante. Des Weiteren befindet sich die Auswertung kohlefaserbasierter Geometrien derzeit im Entwicklungsstadium. Perspektivisch empfiehlt sich jedoch eine weitere Betrachtung dieser Methode.

Im Gegensatz dazu ist die Detektion möglicher Fehler mittels Thermographie bei größeren Flächen möglich. Der Zeitaufwand für eine entsprechende Auswertung liegt zudem lediglich bei wenigen Sekunden. Mit diesem System ist es zudem möglich Fehler sowohl in den Preforms, als auch in den Bauteilen nach der Harzinjektion zu erkennen. Die Betrachtung der Eigenschaften nach der Harzinjektion ist dabei besonders hinsichtlich Fiber-Wash-Out bei direkten Faserablageverfahren interessant.



Thermographie



Wirbelstromprüfung

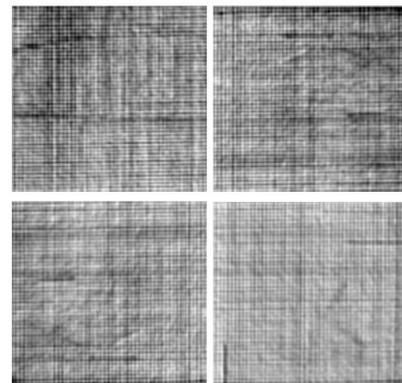


Abbildung 11: Darstellung der definierten Fehler und der entsprechenden Prüfungen

Vorversuche mit einem geometrisch hochkomplexen Werkzeug zeigen das Potential des VLP-Materials derartige Geometrien abzubilden (Abbildung 13). Das Material weist durch Abgleiten der Rovingabschnitte ein tiefziehähnliches Verhalten auf und kann so selbst Geometrien abbilden, die mit endlosfaserverstärkten Strukturen kaum möglich sind (Abbildung 13).

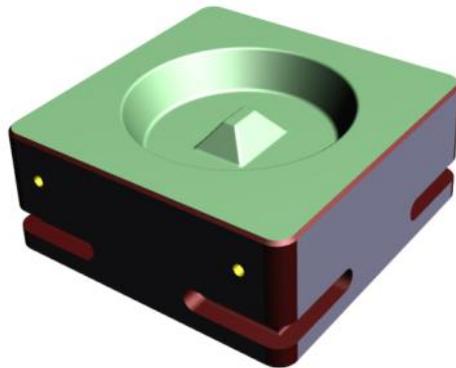


Abbildung 12: Komplexes Umformwerkzeug, Schikanengeometrie MAI Plast



Abbildung 13: Vorversuche zur Umformbarkeit des VLP-Textils

Zur Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften des Materials aus der direkten Faserablage ist ein detailliertes Verständnis der physikalischen Effekte bei der Umformung notwendig. Um diese Effekte im Bauteil-Auslegungsprozess ausreichend genau vorhersagen zu können beschäftigt sich das Projekt MAI Form mit entsprechenden Simulationsmethoden. Zur Förderung der Zusammenarbeit der beteiligten Partner und zuständigen Mitarbeiter und Sicherstellung der notwendigen Verzahnung, wurden die Versuche zur Charakterisierung des Materials durch MAI Pop und MAI Form gemeinsam betreut. Im Rahmen der Arbeiten

von MAI Pop wurde ein Versuchstand zur Ermittlung der Reibkoeffizienten aufgebaut, mit welchem im Rahmen der Arbeiten von MAI Form entsprechende Versuche durchgeführt werden. Der Versuchsstand besteht aus einem Reibtisch und einem Schlitten, auf die jeweils ein Textil zur Charakterisierung aufgespannt werden kann und welche sich in einem Ofen befinden (Abbildung 14 und Abbildung 15). Durch den Ofen ist es möglich die Versuche bei erhöhter Temperatur durchzuführen und somit beispielsweise Binder auf den Fasern aufzuschmelzen. Der Rest der Apparatur, sowie die gesamte Messtechnik, befinden sich außerhalb des Ofens.

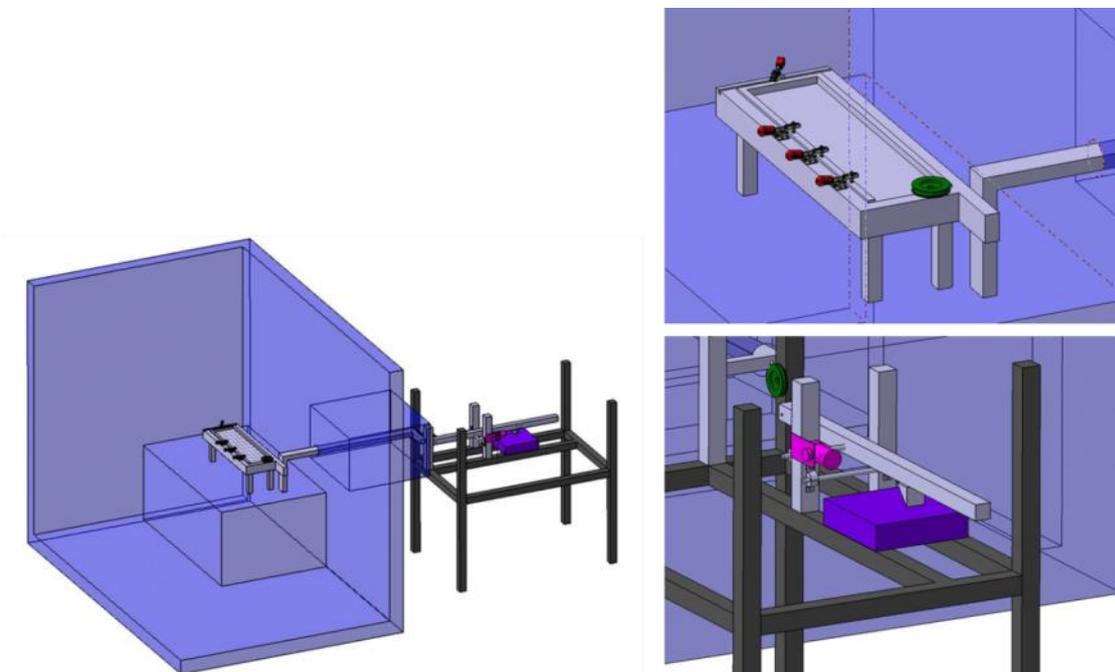


Abbildung 14: Versuchsstand zur Ermittlung der Faserreibung (CAD Modell)



Abbildung 15: Versuchsstand zur Ermittlung der Faserreibung (reale Ausführung)

Eine Übersicht über die Versuchsergebnisse zeigen die nachfolgend aufgeführten Stichpunkte. Entsprechende Diagramme sind überdies in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt.

- Eigenreibung des Reibtisches vernachlässigbar
- Bewertung der Streuung: 5 Versuchswiederholungen ausreichend
- Reibkoeffizienten können vergleichbar mit UD-Gelege und unvernähtem Material gemessen werden
- Messung für $0^\circ/0^\circ$ -Richtung unkritisch, 90° -Richtung bei kleinen und mittleren Drücken gut messbar, bei hohen Drücken nicht trivial
- Reibungsbeiwert sinkt leicht bei steigendem Druck
- Reibungsbeiwert sinkt mit steigender Temperatur

Eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse sowie der Vorgehensweise wurden in einem separaten Paper veröffentlicht [4].

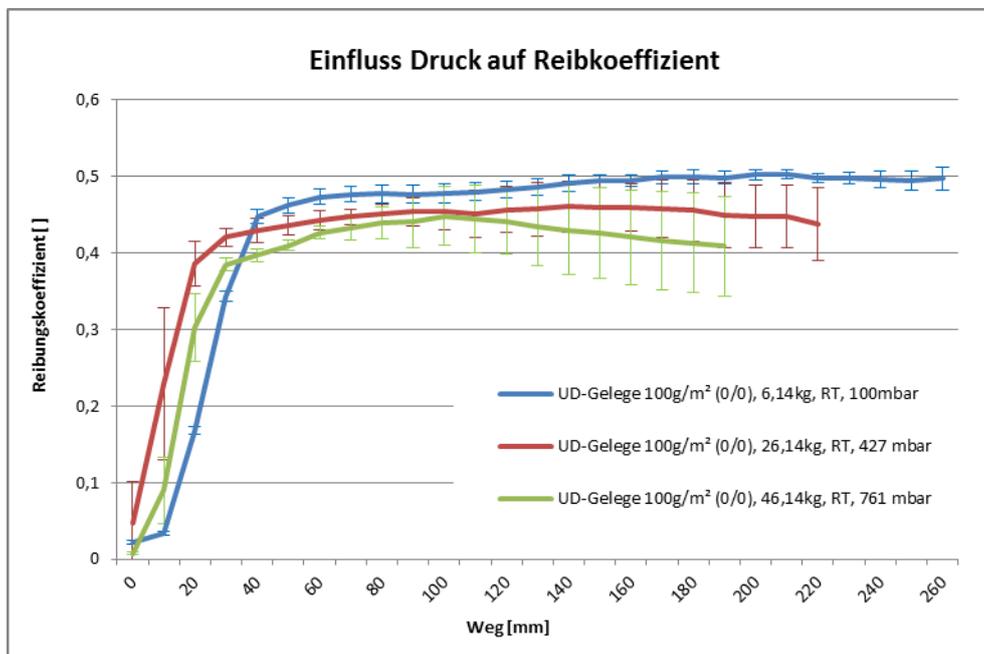


Abbildung 16: Diagramm: Einfluss Druck auf Reibkoeffizient

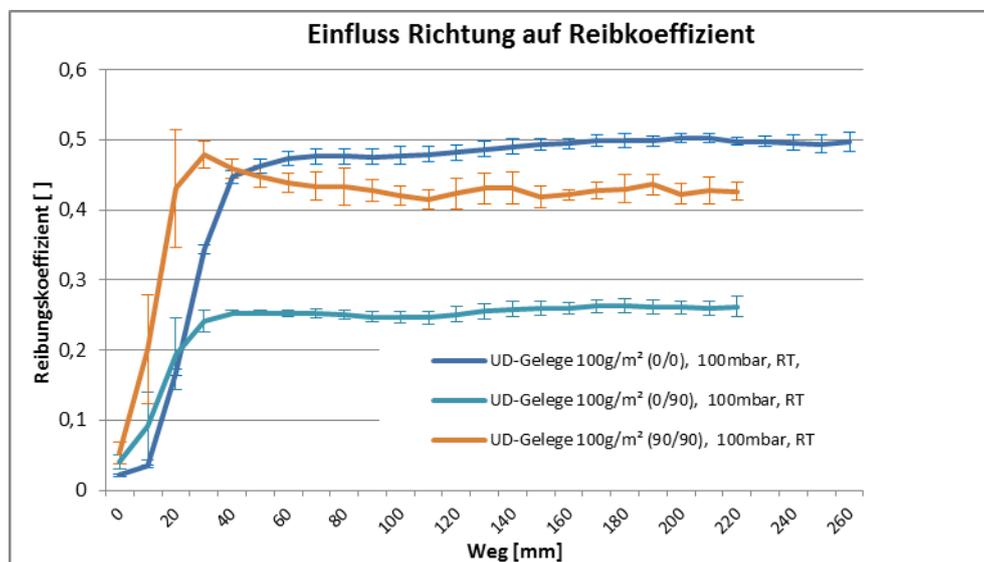


Abbildung 17: Diagramm: Einfluss Faserorientierung auf Reibkoeffizient

2.1.4 AP 4 Aufbau Preform-Montage-Zentrum (Hybrides Preforming)

Übersicht Zielstellung:

Im 4. Arbeitspaket des Projektes MAI Pop soll ein Preform-Montage-Zentrum aufgebaut werden in welchem die einzelnen Technologien integriert und miteinander verknüpft sind. Der Fokus liegt auch hier auf einem maßgeschneiderten Konzept für das in Arbeitspaket 1 definierte Demonstratorpreform mit seinen Subpreforms sowie einer Minimierung von Verschnitt und Prozesszeiten. Das Ergebnis soll ein hochautomatisiertes Zentrum sein, in dem das finale und qualitätsgeprüfte Gesamtpreform hergestellt wird [1].

Ergebnisse

Aufgrund von unvorhersehbaren Verzögerungen während der Arbeiten im Arbeitspaket 2 konnte die geplante Verlagerung und integrierte Demonstration der Einzeltechnologien nicht im Rahmen des Vorhabens umgesetzt werden. Da die Integration derartiger Technologien in einer automatisierten Roboterzelle dem Stand der Technik entspricht und keinen relevanten Nutzen für die Verwertungsperspektive darstellt, konnte ohne eine Gefährdung der Projektziele die Einzeldemonstration der Verfahren beibehalten werden. Abbildung 18 zeigt die bei den Projektpartnern umgesetzten Roboterzellen mit denen die jeweilige Erprobung und Demonstration durchgeführt wurde.

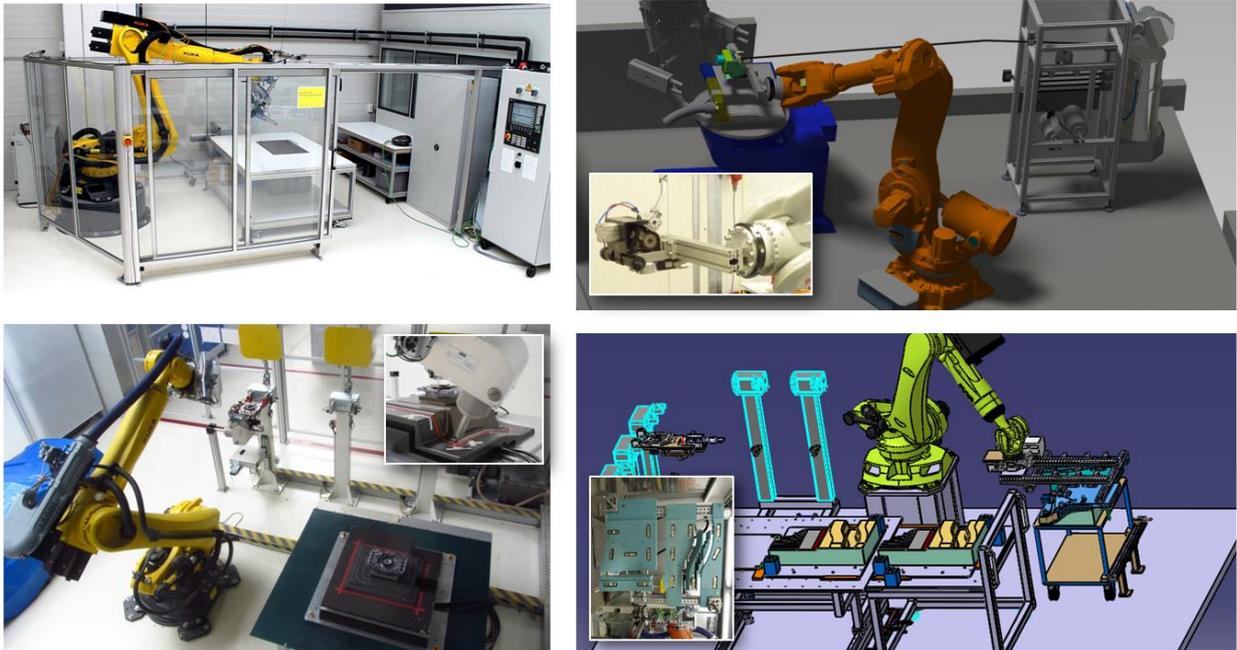


Abbildung 18: Im Rahmen des Vorhabens umgesetzte Technologiezellen

2.1.5 AP 5 Industrialisierungskonzept (ganzheitliche Prozesskette)

Übersicht Zielstellung:

Softwarelösungen, standardisierte Methoden / Bibliotheken zur digitalen Fertigungsplanung von Herstellungsprozessen für Faserverbundwerkstoffe sind bisher nicht in der Form vorhanden, wie es für andere Werkstoffe bzw. Fertigungsprozesse der Fall ist. Im Hinblick auf eine effektive Planung und Prozessgestaltung ist eine digitale sowie durchgängige Abbildung von Fertigungsszenarien bereits in einer frühen Konzeptphase zum Ableiten von wirtschaftlichen Kennzahlen zielführend. Im Arbeitspaket 5 soll hierfür eine Planungssoftware angepasst werden und mit deren Hilfe ein Fertigungssimulation aufgebaut werden. Ziel dieser Simulation ist, auf Basis wirtschaftlicher Kennzahlen eine Bewertung bei der Annahme unterschiedlicher Randbedingungen vornehmen zu können [1].

Ergebnisse

Für die Modellierung des Fertigungsprozesses wurden folgende Zielstellungen definiert:

- Vereinfachung der Planungsprozesse für neue FVK-Fertigungen durch
- Nutzung von FVK-Bibliotheken (Prozesse, Ressourcen, Produkte)
- Systematisierung der Arbeitsweise
- Erstellung von alternativen Prozessabbildungen zum Vergleich verschiedener Prozessszenarien
- Wiederverwendbarkeit von Planungen für nachfolgende Planungsaufgaben
- Visualisierung von Fertigungsplanungsprozessen (3D-Darstellung von Prozesslayouts, Diagramme)
- Ableitung von Planungsanforderungen für andere Planungsaufgaben (Architektur, HVAC, Elektro, Daten)
- Gemeinsame (systematisierte) Datenhaltung für alle planungsrelevanten Informationen
- Ermittlung wirtschaftlicher Kennzahlen zu Investitionen sowie Prozess- und Produktkosten

Generelle Erkenntnisse bei der Anwendung der Siemens Software Process-Designers für FVK-Prozesse sind:

- Prozessdarstellungen möglich, zB Gantt – Überblick über Taktzeitüberschreitungen
- Layoutdarstellung möglich, wenn JT-Grafiken vorhanden (Abbildung 19)

Neben den dargestellten Fähigkeiten der Software ergeben sich allerdings auch Einschränkungen:

- Ende-Ende Beziehungen von Teilprozessen nicht möglich (für FVK u.a. aufgrund chemischer Prozesse notwendig)
- Losgrößenfertigung nicht sinnvoll abbildbar (Gruppierungsalgorithmen nicht vorhanden)
- Alternativer Vergleich verschiedener Fertigungsprozesse (z.B. Faserspritzen & Direkte Faserablage) kaum möglich (nur bei identischer hieratischer Struktur = gleiche Stückliste möglich)
- keine Möglichkeit, mit konkreten „Verbrauchsmengen“ für Material, Hilfsstoffe, Medien etc. zu planen (es gibt nur die Standardeinheit „1 Stück“, diese ist nicht veränderbar)

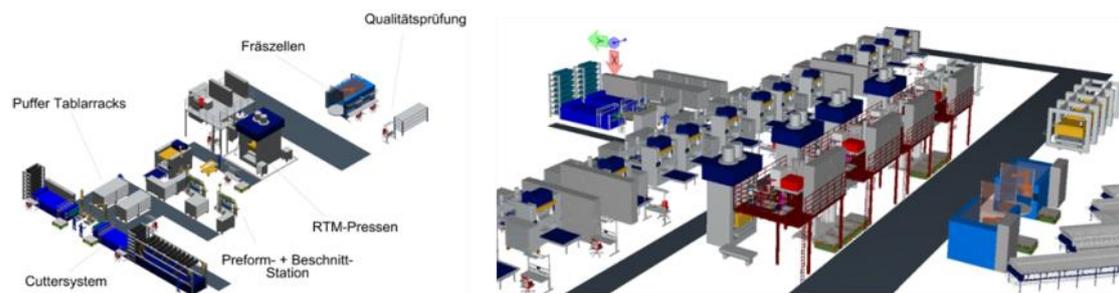


Abbildung 19: Darstellung einer FVK-Fertigungsplanung

Für die wirtschaftliche Bewertung der im Projekt entwickelten VLP-Technologie wird auf die oben bereits genannte Dissertation verwiesen ([2]). Eine Übersicht über die Ergebnisse im Kontext eines Serien-Industrialisierungskonzepts zeigt Abbildung 20.

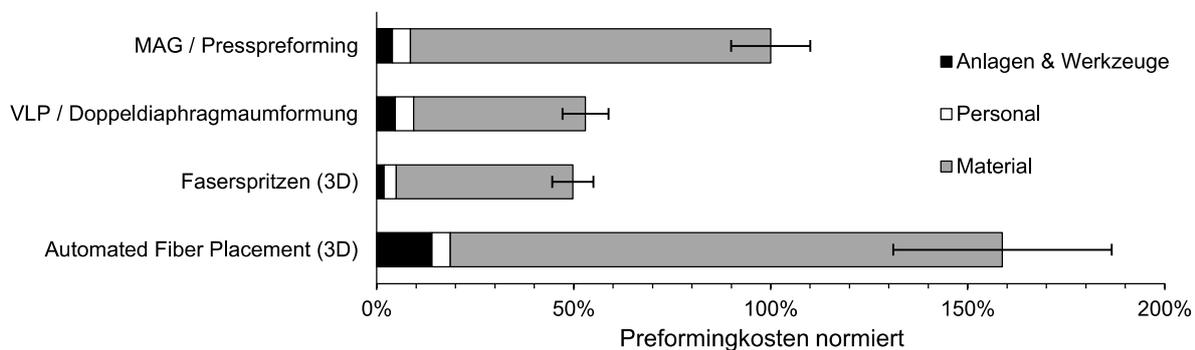


Abbildung 20: Wirtschaftlicher Vergleich verschiedener Preformingverfahren mit den im Vorhaben entwickelten Technologien [2]

2.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Aus dem Projekt konnte Voith Composites wichtige Erkenntnisse zur Verarbeitung von trockenen Carbon-Faserstrukturen für Großserienanwendungen, vor allem in Bezug auf automobiler Anwendungen, gewinnen. Innerhalb des Projekts konnte ein neues Verfahren zur direkten Faserablage entwickelt und mittels einer automatisierten Prototypenanlage erprobt und demonstriert werden. Auch nach Projektende werden die Entwicklungsarbeiten fortgeführt, um eine deutliche Kosten- und Zykluszeitenreduktion in der Prozesskette zu realisieren. Durch das Projekt kann zukünftig auf eine neue Preformingtechnologie zurückgegriffen werden, die insbesondere in Kombination mit weiteren Verfahren für die Fertigung hybrider Preformstrukturen geeignet ist. Ziel ist die Realisierung einer effizienten und wirtschaftlichen Produktion von Carbon-Bauteilen und somit das Ergänzen des Produktportfolios für Voith Composites im Automotivesektor.

Voith Composites beschäftigt sich neben dem Einsatz von Composites in automobilen Großserien ebenfalls intensiv mit dem Einsatz von CFK im industriellen Anlagenbau, zum Beispiel im Bereich Leichtbau-Komponenten in Papiermaschinen oder in der Antriebstechnik. Ergebnisse des Vorhabens können in Zukunft auch in diesen Bereichen genutzt werden.

Die aus dem Projekt gewonnenen Ergebnisse werden in der Entwicklung neuer Prozesse bzw. neuer Verfahren zur kostengünstigen Herstellung von trockenen Faserstrukturen verwendet. Ebenfalls wird das in MAI Pop gewonnene Know-how in zukünftige Forschungen und Pro-

zessentwicklungen fließen. So wird die entwickelte VLP-Technologie derzeit im Projekt MAI Form intensiv genutzt und die Umformeigenschaften des Materials weiter erforscht. Die durch das Projekt entstandene Vernetzung mit Partnern aus Industrie und Forschung trägt dazu bei, die wissenschaftliche Kompetenz optimal zu nutzen und zu erweitern. Die erarbeiteten Ergebnisse können über den Austausch innerhalb der MAI Carbon Plattform breite Anwendung in der Faserverbundforschung der Institute finden und darüber hinaus der Ausbildung von wissenschaftlichen Nachwuchskräften zugutekommen. Letztlich resultieren aus dem Projekt auch die Schaffung neuer Arbeitsplätze und die wirtschaftliche Stärkung des umliegenden Wirtschaftsraumes.

2.3 Bekannte Fortschritte anderer Stellen auf diesem Gebiet

In mehreren Teilbereichen der durch das Projekt MAI Pop adressierten Themen gab es während des Projektes Fortschritte zu verzeichnen. Insbesondere im Bereich der zerstörungsfreien Prüfung von Faserverbundstrukturen welche im Arbeitspaket 3 zur Anwendung kam, konnte durch das Projekt MAI ZFP ein Fortschritt erreicht werden.

In Bezug auf die digitale Modellierung von FVK-Fertigungsprozessen (MAI Pop Arbeitspaket 5) wurde im Rahmen des Projekts MAI Plast beim Fraunhofer RMV die Siemens Software Plant Simulation eingesetzt und deren Eignung eruiert. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag dabei jedoch auf der Nutzung der Software zur Gewinnung von Erkenntnissen für die Fertigungsplanung.

In Bezug auf das wesentliche Kernthema von Voith Composites im Projekt MAI Pop, die schnelle und präzise Ablage von Langfaserabschnitten aus einem Primär-Roving oder Recyclingmaterial, ist kein Fortschritt anderer Stellen bekannt.

2.4 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Voith Composites engagiert sich intensiv als Gründungsmitglied im Kompetenz-Netzwerk CCeV. Über Präsentationen und Arbeitskreise zur Entwicklung von FVK-Fertigungstechnologien findet in diesem Verein kontinuierlich ein breiter fachspezifischer Austausch mit anderen Mitgliedern bzw. weiteren Partnern statt. Über das Netzwerk werden Ergebnisse diskutiert und einer größeren Anzahl von Anwendern zugänglich. Im Rahmen des Projekts wurden darüber hinaus folgende Veröffentlichungen vorgenommen:

- Ufer, J.: Entwicklung und Validierung einer Technologie zur wirtschaftlichen Herstellung geometrisch komplexer Langfaser-Preforms unter Großserienrandbedingungen, TU München Dissertation. München. Veröffentlichung geplant.
- Ufer, J., Cichosz, C., Stengel, C., Mühlshlegel, H., Göttinger, M., Herbeck, L. u. Drechsler, K.: Reibverhalten von trockenen Faserstrukturen aus einem direkten Faserablageprozess. Zeitschrift Kunststofftechnik 2016 (2016) 4, S. 311–337
- Ufer, J.: Faltenlose Freiheit. Neues Verfahren zur Herstellung lastpfadgerechter Preforms. Carbon Composites Magazin 2016 (2016) 2
- Ufer, J.: Preform Technology for High Volume Manufacturing of Long Fiber Reinforced Structures. LCC Symposium "A comprehensive approach to Carbon Composites Technology". München 2014
- Ufer, J.: Großserienfähige Preformtechnologie für komplexe Composite-Bauteile. Industrial Composites Production Conference. München 2014
- Ufer, J.; Erhardsberger, A.; Von Sömmogy und Erdödy, M.: Patentanmeldung: Walzenschneidwerk zum Trennen von Fasermaterial in Abschnitte, DE102013224835A1 11.06.2015
- Ufer, J.: Patentanmeldung: Vorrichtung und Verfahren zum Herstellen von Faserplatten, WO 2015082385A1 01.12.2014

Zusätzliche Veröffentlichungen im Rahmen weiterer Composite-Veranstaltungen sind geplant.

3 Literatur

- [1] Voith Composites: Rahmenplan MAI Pop. Schnelles Preforming mit Verschnittoptimierung.
- [2] Ufer, J.: Entwicklung und Validierung einer Technologie zur wirtschaftlichen Herstellung geometrisch komplexer Langfaser-Preforms unter Großserienrandbedingungen, Dissertation. München Veröffentlichung voraussichtlich Ende 2016.
- [3] Weiß, M.: Konzeption und Evaluierung von Fügeprozessen für trockene Faserpreforms zum Einsatz in einer Großserienproduktion, unveröffentlichte Diplomarbeit. München 2012.
- [4] Ufer, J.; Cichosz, C.; Stengel, C.; Mühlischlegel, H.; Göttinger, M.; Herbeck, L.; Drechsler, K.: Reibverhalten von trockenen Faserstrukturen aus einem direkten Faserablageprozess. In: Zeitschrift Kunststofftechnik 2016 (2016) 4, S. 311–37.

Weitere Angaben zu der im Rahmen des Vorhabens genutzten Literatur ist in Kapitel 1.4 aufgeführt.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel „MAI Pop – Schnelles Preforming mit Verschnittoptimierung“	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Ufer, Jaromir Krasel, Andreas	5. Abschlussdatum des Vorhabens Dezember 2015
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Voith Composites GmbH & Co. KG Daimlerstrasse 27 85748 Garching bei München	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen 03MAI06A
	11. Seitenzahl 42
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 54
	14. Tabellen 5
	15. Abbildungen 20
16. Zusätzliche Angaben -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -	
18. Kurzfassung Derzeit werden für die Produktion von Preforms häufig kostenintensive textile Halbzeuge wie Gewebe oder Gelege eingesetzt. Das Gesamtziel des Vorhabens war die Entwicklung und Validierung einer Preformingtechnologie, die auf Basis der direkten Verarbeitung von unveredelten Rovings oder Recyclingmaterial eine wirtschaftliche Herstellung von Preforms für Großserienanwendungen ermöglicht. Dazu wurden geeignete Hilfsstoffe wie Bindermaterialien bzw. Werkstoffkombinationen identifiziert sowie geeignete Prozesse entwickelt, die für die Herstellung von hybriden Preforms geeignet sind. Mit den entwickelten Verfahren konnte eine signifikante Kostenreduktion durch automatisierbare, integrierte, energie- und materialeffiziente Prozesse erreicht werden.	
19. Schlagwörter Preforming, Carbonfaser, Preformbeschnitt, Großserie, Direktablageverfahren	
20. Verlag -	21. Preis -