

1 EINFÜHRUNG

1.1 AUSGANGSSITUATION

Der Einsatz von Leichtbaumaterialien hat sich in den vergangenen Jahren vorwiegend in der Automobil- und Luftfahrtindustrie, aber auch im Schiffs- und Maschinenbau bewährt. Durch neue Materialien und Fertigungsverfahren konnten erhebliche Gewichtsreduzierungen erzielt werden, die während des Einsatzes zu Energieersparnis und damit zur Senkung der Betriebskosten führen können. Neben den typischerweise eingesetzten Blechwerkstoffen, hat sich in jüngerer Zeit der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen als mögliche Alternative zur weiteren Gewichtsreduzierung bei gleichbleibender oder sogar höherer Steifigkeit und Festigkeit der Bauteile etabliert. Trotz der genannten Vorteile findet bisher keine breite industrielle Anwendung textilverstärkter Thermoplast-Verbundwerkstoffe statt. Die Ursachen dafür liegen vor allem in der geringen Wirtschaftlichkeit bedingt durch den niedrigen Automatisierungsgrad derzeitiger Fertigungsprozesse.

Bisher werden textilverstärkte Thermoplaste häufig aus konsolidierten Plattenhalbzeugen, sogenannten Organoblechen, gefertigt. Diese werden auf Doppelbandpressen unter hohen Temperaturen und Drücken kontinuierlich gefertigt und anschließend auf die gewünschte Länge zugeschnitten. Ausgangsstoffe sind textile Flächengebilde wie etwa Gewebe oder Gelege, die mit einem Thermoplast imprägniert werden. Alternativ können auch textile Flächengebilde aus Hybridgarnen zu Organoblechen verarbeitet werden. Die konsolidierten Halbzeuge müssen bei der Weiterverarbeitung zum Bauteil erneut aufgeschmolzen und anschließend umgeformt und abgekühlt werden. Somit sind bei der Herstellung von Faserverbundbauteilen aus vorkonsolidierten Halbzeugen letztendlich zwei komplette Fertigungsschritte (Organoblechherstellung, Bauteilfertigung) nötig, was gegenüber der direkten Verarbeitung von Hybridgarnen einen erhöhten Zeit- und Energieaufwand bedeutet. Darüber hinaus müssen aus den Halbzeugen die entsprechenden Konturen für das endgültige Bauteil gestanzt werden. Der hierbei anfallende Verschnitt wurde ebenfalls bereits konsolidiert und stellt somit einen hohen Verlust dar.

Bei der direkten Verarbeitung der Hybridgarntextilien kann deren Drapiervermögen ausgenutzt werden, sodass die Fertigung von Bauteilen mit komplexen Geometrien möglich wird. Die so hergestellten endkonturnahen Faserverbundbauteile zeichnen sich durch ein hohes Maß an Funktionsintegration und Gestaltungsfreiheit aus. So können komplexe Geometrien mit unterschiedlich hohen Umformgraden realisiert und zusätzlich Querschnittssprünge oder Bauteilausschnitte integriert werden. Darüber hinaus besitzen textilverstärkte Thermoplaste die für Faserverbunde typischen hohen mechanischen Eigenschaften. Die gewichtsbezogenen Festigkeiten und Steifigkeiten liegen teilweise deutlich über denen von konventionellen Werkstoffen, womit die Faserverbundbauteile einen hohen Leichtbaugrad aufweisen.

Aus diesem Grund entwickelten Forscher der Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden im Rahmen des Projektes „Modellverarbeitungsprozess für eine

effektive endkonturnahe Fertigung von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen“ einen Fertigungsprozess, mit dem Strukturbauteile aus Hybridgarn-Textilien automatisiert effizient hergestellt werden können.

Der Modellverarbeitungsprozess wurde in zweijähriger interdisziplinärer Zusammenarbeit konzipiert und erprobt. Grundlage dafür war das Förderprogramm "ForMaT - Forschung für den Markt im Team" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung beim Projektträger Jülich.

Am Projekt wirkten folgende Institute und Lehrstühle der Fakultät Maschinenwesen mit:

- Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik
Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. Dr. h.c. W. Hufenbach
- Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik,
Professur Konfektionstechnik
Prof. Dr.-Ing. habil. H. Rödel
- Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik
Prof. Dr.-Ing. habil. K. Großmann
- Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik,
Professur Fügetechnik und Montage
Prof. Dr.-Ing. habil. U. Füssel
- Institut für Oberflächen- und Fertigungstechnik,
Professur Laser- und Oberflächentechnik
Prof. Dr.-Ing. habil. E. Beyer
- Institut für Formgebende Fertigungstechnik
Prof. Dr.-Ing. V. Thoms

Die Koordination und Verwertung des Projektes lagen in Verantwortung des CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation (Prof. Dr.-Ing. M. Schmauder) sowie des Lehrstuhls für Betriebswirtschaftslehre, insb. Marketing der Fakultät Wirtschaftswissenschaften (Prof. Dr. Stefan Müller).

1.2 MODELLVERARBEITUNGSPROZESS

Bei dem hier vorgestellten Modellverarbeitungsprozess handelt es sich um ein innovatives Verfahren zur direkten Verarbeitung neuartiger Hybridgarne zu mehrlagigen, lokal verstärkten, endkonturnahen Thermoplast-Verbundbauteilen. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die einzelnen Phasen des Gesamtprozesses.



Abbildung 1: Einzelphasen des Gesamtprozesses

Der erste Schritt des Modellverarbeitungsprozesses ist die belastungsgerechte Bauteilauslegung (Kap. 2). Das Bauteil und seine Geometrie sind dabei i.d.R. durch den Auftraggeber grob vorgegeben. In diesem Projekt wurde ein praxisnahes Bauteil entsprechend eines Anforderungsprofils generiert, welches im Vorfeld des Projekts durch eine Befragung möglicher Anwender erstellt wurde. Als wesentliche Forderungen sind eine komplexe Gestalt, hohe Beanspruchbarkeit, hohe Oberflächenqualität, mittlere Bauteilgröße, geringer Nachbearbeitungsaufwand sowie die Fertigung in mittleren bis großen Stückzahlen zu nennen. Der Prozessschritt der Bauteilauslegung besteht aus der Auswahl eines geeigneten Materials (Kap. 3.1), der Wahl einer belastungsgerechten Bauteilgestalt (Kap. 2.2), sowie der Definition eines der Lasttrichtung angepassten Lagenaufbaus (Kap. 2.4.2).

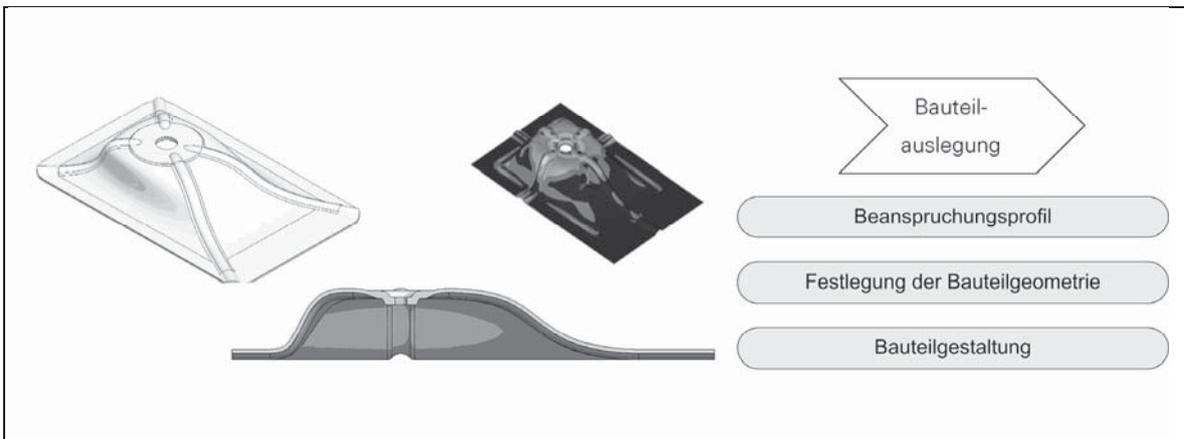


Abbildung 2: Bauteilauslegung

Nach Festlegung der Bauteilgestalt werden im folgenden Prozessschritt, mit Hilfe von Simulationen zur Bestimmung des Drapierverhaltens des Materials, aus der Endgeometrie des Bauteils die Konturen für die Zuschnitte der Bauteileinzellagen und der im Lastangriffsbereich eingebrachten Verstärkungspatches abgeleitet. In einer geeigneten Simulationssoftware werden die endkonturnahen 2D-Zuschnitte des textilen Halbzeugs berechnet (Kap. 3.4), durch die im Formgebungswerkzeug eine faltenfreie Drapierung der Einzellagen auf die Endkontur des Bauteils ermöglicht wird.

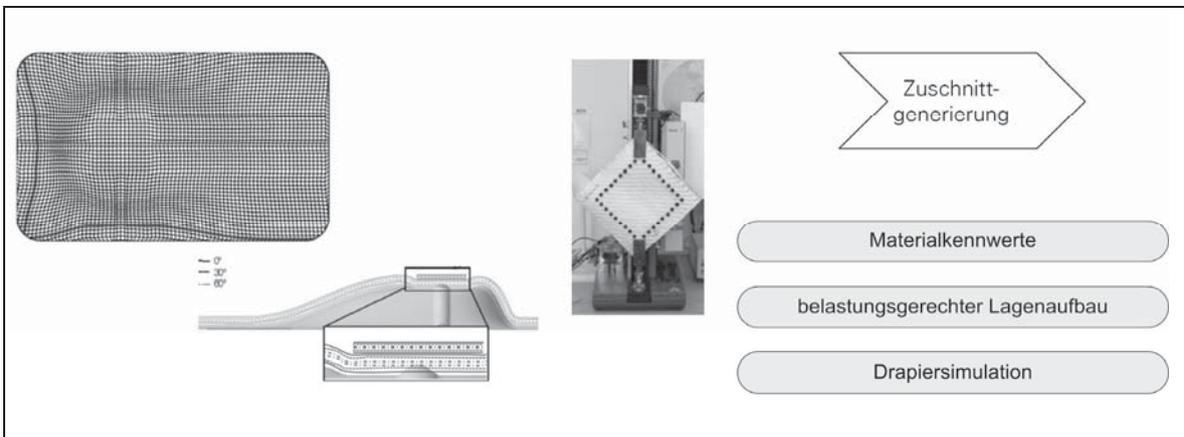


Abbildung 3: Zuschnittgenerierung und Drapiersimulation

Die Herstellung des Verbundbauteils erfolgt anschließend in zwei getrennten und unabhängig voneinander arbeitenden Bearbeitungszentren (Preformzentrum Kap. 4, Konsolidierungszentrum Kap. 5).

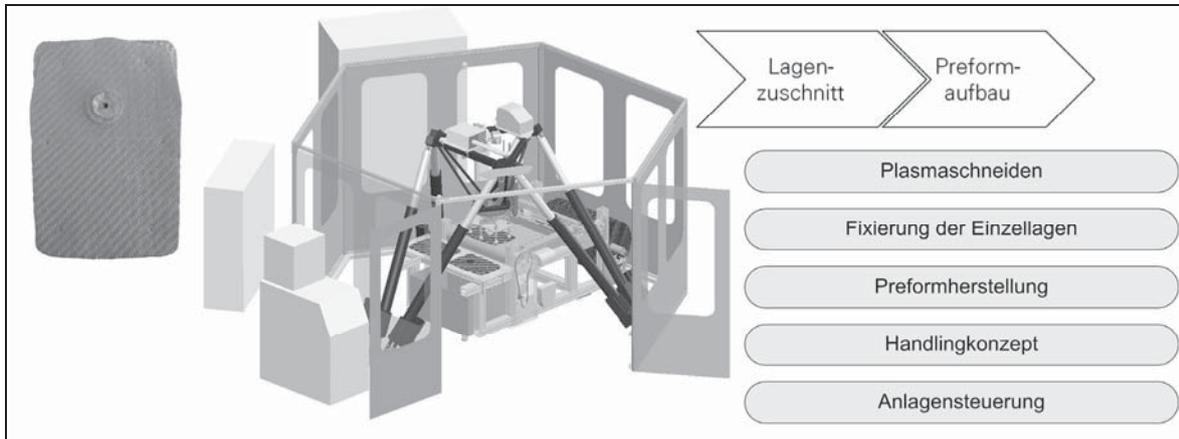


Abbildung 4: Preformzentrum

Im *Preformzentrum* wird das als Rollenware vorliegende Ausgangsmaterial automatisiert auf eine Schneidunterlage gefördert Kap. 4.3.1, mittels indirektem Plasmastrahlschneiden werden die Lagen entsprechend der definierten Konturen und Faserausrichtungen zugeschnitten (Kap. 4.1) und durch ein Vakuumgreifersystem faserwinkelgerecht zur 12-lagigen Preform gestapelt. Während der Preformherstellung überprüft ein optisches Qualitätsüberwachungssystem sowohl das Ausgangsmaterial auf Fehlstellen und Verzug (Kap. 6.1) als auch die Einhaltung von Kontur, Ablageposition und Faserwinkel beim Aufbau der Preform (Kap. 6.2).

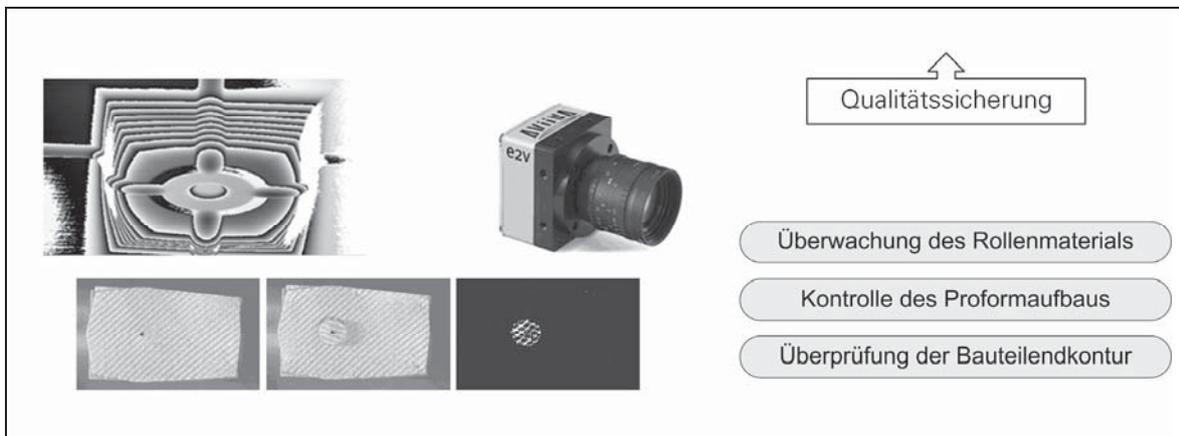


Abbildung 5: Qualitätssicherung

Zum vereinfachten Handling werden die einzelnen Lagenzuschnitte durch Ultraschallpunktschweißen geheftet (Kap. 4.2). Somit wird ein Verschieben der Lagen während des Greif- und Transportprozesses der Preform unterbunden. Alle Bewegungsabläufe der zuvor beschriebenen Prozessschritte (Schneiden, Greifen, Stapeln, Heften) werden durch einen Hexapod realisiert (Kap. 4.3.3), an dessen Plattform sämtliche Handhabungs- und Bearbeitungswerkzeuge sowie ein Teil des optischen Qualitätsüberwachungssystems angebracht sind.

Im *Konsolidierungszentrum* (Kap. 5) findet die Umformung und Konsolidierung der Preform zum Bauteil in einem variothermen Pressprozess statt. Bestandteile des Zentrums sind die Pressmaschine (Kap. 5.1), das variotherme Werkzeug (Kap. 5.2), die Temperierung (Kap. 5.3) sowie das Halbzeug- bzw. Bauteilhandling (Kap. 5.5). Hierzu wird die Preform von einem Industrieroboter gegriffen und in das Presswerkzeug eingelegt. Dieses wird elektrisch geheizt und mittels Wasser gekühlt. Nach dem Pressprozess und der Konsolidierung (Kap. 5.4) erfolgt durch das optische Überwachungssystem in einer abschließenden Qualitätskontrolle die Überprüfung der Bauteilkontur (Kap. 6.3).

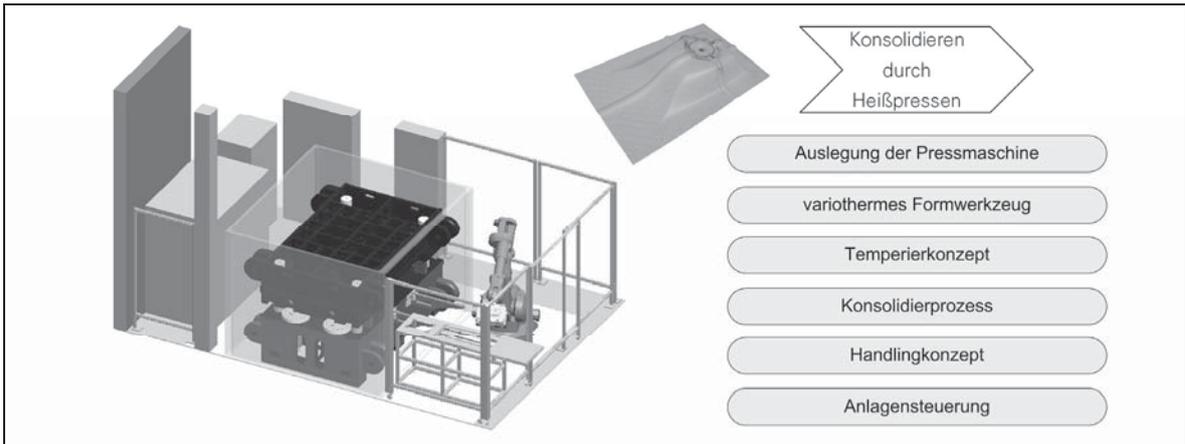


Abbildung 6: Konsolidierungszentrum

Kap. 7 betrachtet einige sicherheitstechnische Aspekte und in Kap. 8 erfolgt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Prozesses für verschiedene Szenarien einer industriellen Umsetzung.