

# Technologieplanung zur automatisierten Fertigung von Preforms für CFK-Halbzeuge

PROF. DR.-ING. JÜRGEN FLEISCHER | DIPL.-ING. HENNING WAGNER

Der Schlüssel zur automatisierten Fertigung von hochbelasteten faserverstärkten Kunststoffen im RTM-Prozess liegt im reproduzierbaren Preforming von textilen Halbzeugen. Zur systematischen Planung der Preformingtechnologien und somit zur Realisierung von industriell umsetzbaren Abläufen ist die Anwendung von Technologieplanungsansätzen erforderlich.

Die Anwendung von faserverstärkten Kunststoffen, besonders im Bereich von hochbelastbaren Bauteilen, kann aktuell im Automobilbau nur eingeschränkt als Stand der Technik angesehen werden. Im Flugzeugbau sind dagegen seit vielen Jahren hochbelastete Bauteile aus Endlosfasern im Einsatz. Die hier eingesetzten Verfahren, wie Fiberplacement und Prepregtechnologien, sind aber für den Automobilbau mit seinen großen Stückzahlen und gleichzeitig komplexer Geometrie derzeit nicht einsetzbar. Ebenfalls ist für die Automobilindustrie von Nachteil, dass die hohen Kosten der endlosfaserverstärkten Bauteile außer im Premiumsegment nur eingeschränkt an den Kunden weitergereicht werden können. Größtes Potenzial bietet für die Automobilindustrie aufgrund der möglichen Bauteilperformanz der RTM-Prozess [2].

## Preforming im RTM-Prozess

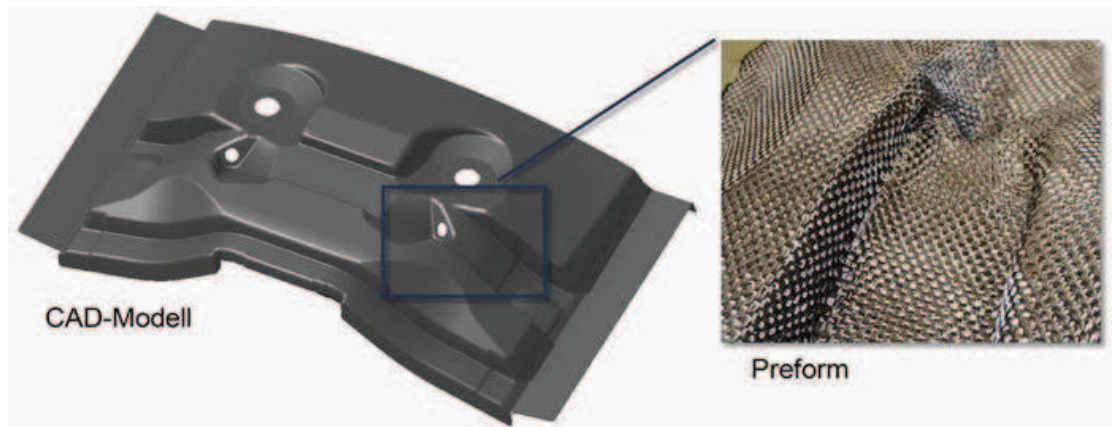
Der RTM-Prozess kann in die vier Prozessschritte Textiltechnik, Preforming, Infiltration und Nachbearbeitung unterteilt werden. Aus Sicht der Automatisie-

rung stellt das Preforming die größte Herausforderung dar [3]. Mittels des Preformings kann eine gezielte Faserorientierung erreicht werden, wodurch eine belastungsgerechte Auslegung der Bauteile möglich wird.

Das Preforming beinhaltet die Formgebung der textilen Halbzeuge, die Fixierung der Einzellagen und den Lagenaufbau. Besonders die Formgebung ist aufgrund der Nicht-Fließfähigkeit der textilen Halbzeuge erschwert. Diese besitzt einen großen Einfluss auf die Formtreue und auftretende Falten im Preform. Eine hohe Formtreue und eine geringe Faltenbildung können wiederum als Qualitätsmerkmal für den Preform definiert werden. Beispielsweise kann eine unzureichende Formtreue zu Harznestern im Bauteil führen, wodurch es frühzeitig zum Versagen des Bauteils an dieser Stelle kommen kann.

Für das Preforming gibt es heute bereits eine Vielzahl an vielversprechenden technologischen Lösungen, die zum Teil bereits kommerziell erhältlich sind oder noch innerhalb von Forschungsprojekten vorangetrieben werden. Eine Untertei-

**Bild 1**  
**Komplexes**  
**Schalenbauteil**  
**(Stirnwand)**  
 – CAD-Modell und  
 Preform



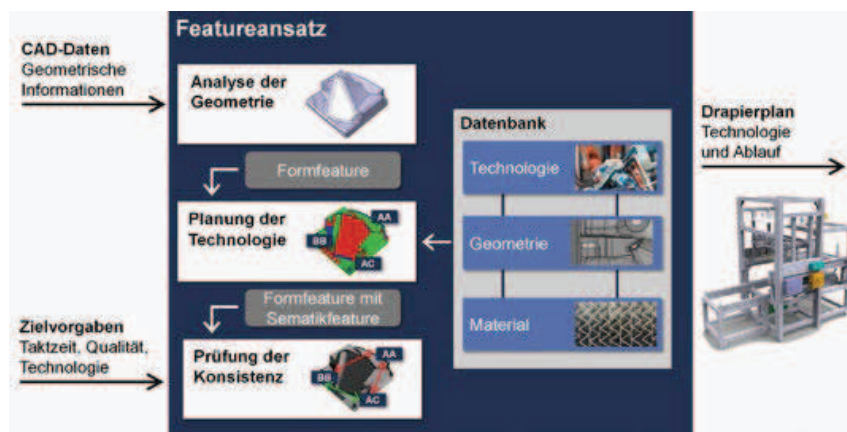
lung der Preforminglösungen ist dabei in sequentielle Preformingsysteme und globale Lösungen möglich. Bei sequentiellen Preformingsystemen wird das Halbzeug schrittweise in die Kavität eingearbeitet, wodurch eine qualitativ hochwertigere Drapierung ermöglicht werden soll. Dagegen erfolgt bei globalen Lösungen das Preforming in einem Prozessschritt, wie beispielsweise mit Membransystemen. Der Vorteil globaler Lösungen liegt in der kürzeren Taktzeit, als nachteilig erweist sich die schlechtere Preformqualität.

Durch die bisher erarbeiteten Preformlösungen lässt sich bereits eine Vielzahl an Bauteilen mit unterschiedlicher geometrischer Komplexität und Größe herstellen, wie beispielsweise in Bild 1 dargestellt. Es liegen jedoch noch keine definierten Vorgehensweisen zur Planung und Auswahl der Preformingtechnologie vor. Die Herstellung des zu fertigenden Bauteils muss daher mit jeder verfügbaren Preformlösung getestet werden. Die Vorgehensweise „Trial and Error“ führt, aufgrund der Vielzahl an erforderlichen Versuchen, sowohl zu verlängerten Entwicklungszeiten als auch zu höheren Kosten für das eigentliche Bauteil.

## Featurebasierte Technologieplanung zum Preforming

Das Ziel aktueller Forschung am wbk Institut für Produktionstechnik ist die Entwicklung eines Planungstools, das die Fertigungstechnologie für die automatische Herstellung von Preforms für schalenförmige Bauteile ermittelt. Mit diesem Planungstool soll sowohl die benötigte Entwicklungszeit als auch die verursachten Entwicklungskosten für die Preformingtechnologie reduziert werden. Der Bauteilentwickler soll während der Konstruktionsphase in der Lage sein, eine Aussage über die Fertigbarkeit anstellen zu können und, falls erforderlich, gezielt Änderungen am Bauteil vorzunehmen. Mit dem Abschluss der Konstruktionsphase sollen mit dem Planungstool die für das Bauteil optimalen Preformingtechnologien ermittelt sein.

Die Technologieplanung, die am wbk entwickelt wird, basiert auf einem Featureansatz [1]. Die wichtigsten Schritte – Analyse, Kombination und Prüfung – in dem featurebasierten Ansatz sind in Bild 2 dargestellt. Die Input-Daten, wie Bauteilgeometrie und Halbzeug, werden in einem Softwaretool analysiert und mit technologischen Informationen verknüpft. Hierbei erfolgt eine Kombination mit Form- und Semantikfeature. Die Semantikfeatures beinhalten die Technologie- und Halbzeuginformationen. Die



**Bild 2**  
**Featurebasierte**  
**Technologieplanung**  
**für das Preforming**

kombinierten Daten werden auf die Geometrie des herzustellenden Bauteils übertragen und können anschließend auf ihre Verträglichkeit geprüft werden. Liegt eine unzureichende Verträglichkeit vor, erfolgt eine Optimierung der ausgewählten Informationen durch die Auswahl einer anderen Preformingtechnologie. Abschließend werden der Ablauf sowie das benötigte Fertigungssystem für den Preform bereitgestellt.

Die Bereitstellung des Fertigungsablaufs kann jedoch nicht alleine durch eine logische Analyse der Bauteilkontur realisiert werden, vielmehr muss eine Bauteilanalyse mit den in einer Datenbank hinterlegten technologischen Informationen verknüpft werden. Schwerpunkt der Arbeiten am wbk ist daher sowohl der Analysevorgang als auch der Aufbau einer Preformingdatenbank.

## Bewertung und Clustering der Informationen

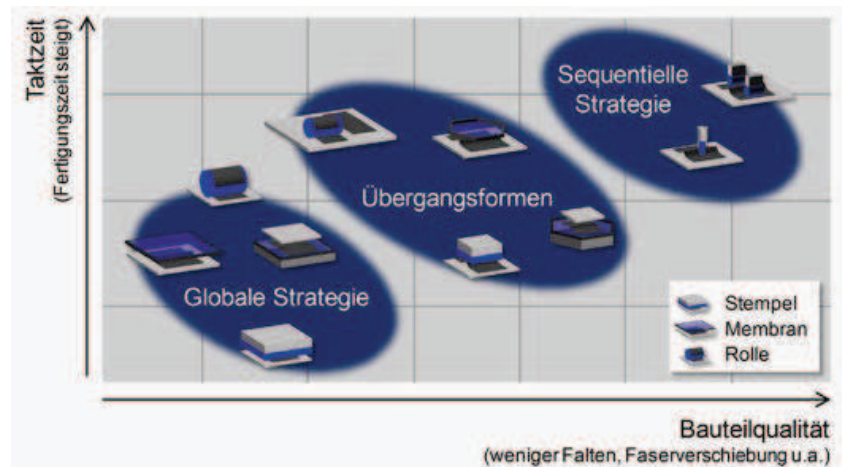
Für die Planung der Preformingtechnologie wird eine Datenbank eingesetzt, die grundlegende Informationen zu unterschiedlichen Preforminglösungen sowie Halbzeug- beziehungsweise Drapierstrategien enthält. Die Datenbankinformationen basieren dabei auf in Versuchen erlangten quantitativen Ergebnissen. Um die Preforminglösungen und Vorgehensweisen in der Datenbank einordnen zu

können, werden in Versuchsreihen hergestellte Preforms optisch erfasst und die Messwerte ausgewertet.

Die Bewertung der Preformingergebnisse basiert auf einem Soll/Ist-Vergleich zwischen den CAD-Daten und dem realen Preform. Die Bewertung der Preforms ist noch auf die Erfassung der Geometrie und Falten beschränkt. Mittels der erfassten Geometrie wird die Formtreue des Preformingergebnisses bestimmt. Für die Formtreue eines Preforms wird mit einer am wbk realisierten Software für die Quantifizierung ein prozentualer Wert ausgegeben. Hiermit kann für jeden Geometriebereich eine Aussage im Vergleich zwischen den unterschiedlichen Preformingssystemen angestellt werden. Die Faltenbildung wird anhand der manuellen Bewertung der Länge und Anzahl der Falten im Scanergebnis bewertet. Die Werte für die Formtreue und Faltenbildung werden nach Auswertung in der Preformingdatenbank gespeichert.

Die Preformingergebnisse werden jedoch nicht nur in die Datenbank gespeichert, sondern es erfolgt ebenfalls eine Clustering dieser Daten entsprechend der für die Technologieplanung vorliegenden Anforderungen. In der Datenbank kann dabei eine Gruppierung nach möglichen Preformingstrategien erfolgen, das heißt es wird eine Unterteilung in globale Strategien und in lokale Lösungen durchgeführt. Wie in Bild 3 dargestellt, kann hier-

**Bild 3**  
**Einordnung**  
**Preforminglösung**  
**nach Strategie**



durch eine prinzipielle Einordnung der Preforminglösungen in Bezug auf Taktzeit und Qualität erfolgen. Liegt beispielsweise die Anforderung „geringe Taktzeit“ vor, müssen sequentielle Lösungen bei der Technologieauswahl ausgeschlossen werden.

Die für den Aufbau der Datenbank benötigten Preforminglösungen werden innerhalb des Technologiecluster Composite erarbeitet und umgesetzt. Der Cluster, bestehend aus Hochschulen und

Forschungseinrichtungen aus Baden-Württemberg, hat zum Ziel, eine hochautomatisierte RTM-Fertigungskette zu entwickeln, die eine wirtschaftliche Herstellung von komplexen Hochleistungsfaserverbunden in hohen Stückzahlen ermöglicht.

## Identifikation und Verknüpfung der Features

Die Verknüpfung der Datenbank mit den Realbauteilen bedarf einer Analyse und Detektion der Formfeatures auf den Realbauteilen. Als Ausgangspunkt für die Analyse dient der Input, der sowohl aus der Geometrie beziehungsweise den CAD-Daten als auch aus zusätzlichen Anforderungen besteht. Die Anforderungen können dabei die Taktzeit für den Preformingprozess oder bereits definierte textile Halbzeuge sein. Für die Verknüpfung der Daten werden die CAD-Informationen zunächst in ein systemunabhängiges Tool überführt (unabhängig von vorliegenden CAD-Anwendungen). Basis bildet die geometrische Beschreibung der Bauteilkontur mittels einer Punktwolke. Mit dieser ist es möglich, eine Krümmungsanalyse durchzuführen und die Features zu detektieren.

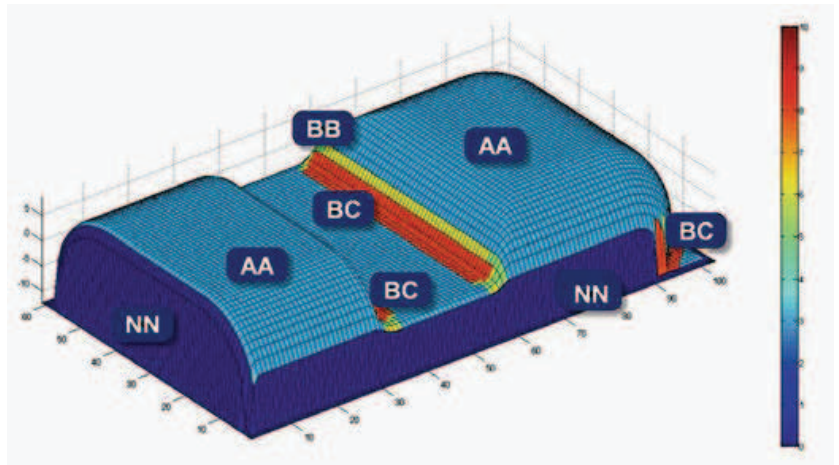
Die CAD-Daten werden in Catia V5 in eine Punktwolke transferiert. Dabei wird eine Rasterung der Geometrie

## DANKE

Die Kenntnisse zum Aufbau der featurebasierten Technologieplanung basieren auf den im Technologiecluster Composite erarbeiteten Ergebnissen. Dieses Vorhaben wird durch die Europäische Union – Europäischer Fonds für regionale Entwicklung – sowie das Land Baden-Württemberg gefördert. Verwaltungsbehörde des operationellen Programms RWB-EFRE ist das Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz Baden-Württemberg. Weitere Informationen unter [www.rwb-efre.baden-wuerttemberg.de](http://www.rwb-efre.baden-wuerttemberg.de). Wir bedanken uns herzlich für die Unterstützung.



anhand eines definierbaren Flächenverhältnisses erreicht. Die Rasterung der Geometrie wird zur systemunabhängigen Featureanalyse an Matlab übertragen. Zur Featuredetektion wird mit Matlab an jedem Punkt innerhalb der gerasterten Punktwolke der Krümmungsradius in mehrere Richtungen bestimmt. Durch die erhöhte Anzahl der Krümmungsradien ist eine genauere beziehungsweise Bestimmung der Krümmung möglich. Anhand der Krümmungsradien kann wiederum die Gaußsche- sowie die mittlere Krümmung berechnet werden. Beide Krümmungen sind für die genaue Charakterisierung der Geometrie in Kategorien von konvex bis konkav erforderlich. Die Charakterisierungswerte werden dabei jedem Punkt in der Punktwolke zugeordnet. Auf Grundlage der definierten Grenzen der geometrischen Kategorien in der Datenbank, kann jedem Punkt in der Punktwolke eine Kategorie zugeordnet werden. Durch die Zuordnung der Kategorie zur vorliegenden Realbaugometrie ist somit die Verknüpfung mit der Datenbank erreicht. Entsprechend der detektierten Kategorie erfolgt die Zuweisung der in der Datenbank am besten bewerteten Preforminglösung. Dabei kann im Idealfall für ein einfaches konvexes Bauteil eine Gesamtpreforminglösung, wie Membrandrapierung mit Infrarotstrahler, identifiziert werden. Liegt jedoch ein sehr komplexes Bauteil vor, kann es zu unterschiedlichen Preformingempfehlungen entlang der Bauteilkontur kommen, die eine Anpassung der jeweiligen Technologieauswahl erforderlich macht. Es wird hierzu für jede Kategorie die Verträglichkeit und Verknüpfbarkeit mit der Nachbarkategorie geprüft. Beispielsweise wird, wie in Bild 4 dargestellt, an einer konvex-konvexen Fläche (entspricht der Kategorie AA) als Ideallösung eine globale Membran identifiziert und an der konkav-planen Nachbarfläche (ent-

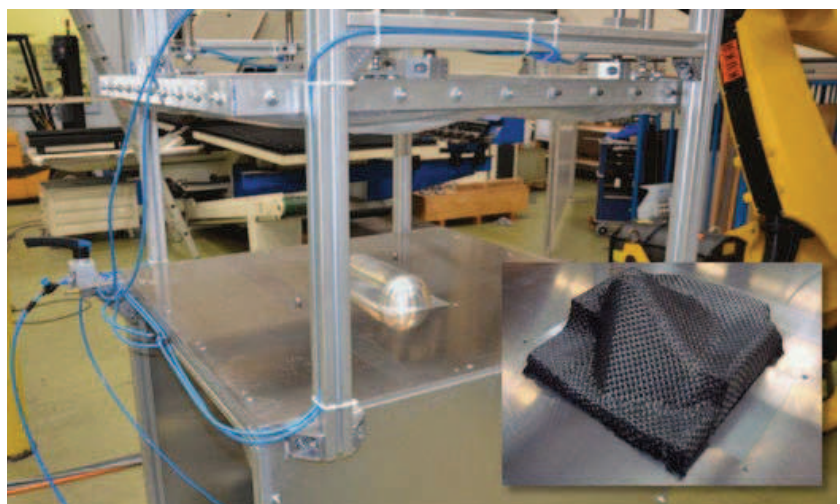


**Bild 4**  
Analysierte konvexkonkave Geometrie mit Datenbankkategorien

spricht der Kategorie BC) eine Rollenlösung. Somit kommt es in diesem Fall zu einer eingeschränkten Kombinierbarkeit, die sowohl im Ablauf, der Zugänglichkeit als auch in der Verknüpfbarkeit der Technologie liegt.

Ist eine Kombination der Lösungen nicht möglich, wird entsprechend der vorliegenden Geometrie eine nächst schlechtere Lösung aus der Datenbank ausgewählt. Im vorliegenden Beispiel wird anstelle der Rollenlösung eine Stempelösung ausgewählt. Scheitern alle Anpassungsschritte innerhalb des Prüfungsvorgangs besteht immer noch die Möglichkeit den Input, wie Taktzeit, textiles Halbzeug aber auch Strategie, anzupassen und somit ein Preforminglösung generieren zu können.

**Bild 5**  
Preformingstation für Schalenbauteile



## Fazit

Auf Basis des beschriebenen Technologieplanungsansatzes soll eine systematische Auswahl bestehender Preforminglösungen ermöglicht und eine Vorgehensweise zum Preforming definiert werden. Beispielsweise sollen die abgeleiteten Ergebnisse zu einer wie in Bild 5 dargestellten Preforminglösung führen. Durch den Ansatz beziehungsweise das Planungstool kann somit eine Beschleunigung der Entwicklungsabläufe für Preforminglösungen erreicht werden.

## Literaturhinweise

- [1] Fleischer, J.; Lanza, G.; Brabandt, D.; Wagner, H.: Overcoming the challenges of automated preforming of semi-finished textiles. Semat 12 Sampe Europe Symposium, Munich, Germany, Symposium on Automation of Advanced Composites and its Technology, ISBN 978-3-9523565-6-2; 03/2012
- [2] Reinhart, G.; Ehinger, C.; Straßer, G.: Der schwere Wege zum Carbon: A & D Antreiben und Bewegen; 11/2010
- [3] Schnabel, A.; Grundmann, T.; Kruse, F.; Gries, T.: Serienproduktion von Faserverbundkunststoffen – Automatisiertes textiles Preforming. In: lightweightdesign, 03/2009