

# **Schale und Profil in einem FKV-Bauteil – Ohne Fügeprozesse durch innovative einteilige Verstärkungsstrukturen**

David Hoffmann, Wolfgang Trümper, Chokri Cherif (ITM)

Thema dieses Beitrags ist die Entwicklung einer simulationsgestützten Prozesskette zur Entwicklung und Umsetzung endlosfaserverstärkter textiler Halbzeuge mit direkt geometrie- und belastungsgerecht ausgebildetem Übergang zwischen Schale und Profil.

## **1. Motivation und Zielsetzung**

Bisherige Lösungsansätze zur Umsetzung von FKV-Bauteilen mit einem Übergang von einer Schale zu einem Profil sind in der Regel sehr aufwändig und erfordern einen hohen Materialeinsatz. Zur Umsetzung des Gesamtbauteils sind prinzipiell zwei Wege denkbar. Das in der Regel angewendete Vorgehen nach der ersten Variante ist zunächst eine separate Herstellung der Schale und des Profils. In einem finalen Fügeprozess werden dann beide Teile verbunden. Eher selten wird der zweite Weg genutzt, bei dem aus einzelnen Preformteilen eine Gesamtpreform hergestellt und durch Infiltration zum Gesamtbauteil konsolidiert wird. Unabhängig vom konkreten Vorgehen bei der Bauteilherstellung besteht aktuell ein großes Defizit darin, dass es nicht möglich ist das Leistungsvermögen der verwendeten Hochleistungsfasern auszunutzen. Sowohl beim Fügen von Einzelteilen, als auch beim Aufbau aus einzelnen Preformteilen ist bisher keine, durch das gesamte Bauteil durchgehende Faserverstärkung erreichbar. Vielmehr kommt es in zu einer deutlichen Reduktion des Leichtbaugrades, da zur Sicherstellung der mechanischen Eigenschaften in den Übergangsbereichen zwischen den einzelnen Teilen des Gesamtbauteils bzw. der -preform und auch den angrenzenden Bereichen eine erhöhte Wandstärke und damit Überdimensionierung vorzusehen ist.

Am Beispiel eines Kajak-Paddels bestehend aus Paddelblatt (Schale) und -Schaft (Profil) wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts eine simulationsgestützte Prozesskette zur Auslegung und Umsetzung von FKV-Bauteilen entwickelt, die aus einteiligen Preformen mit lastgerecht angeordneten Verstärkungsfasern eine einfache und materialeffiziente Herstellung von FKV-Schalen-Profilbauteile erlaubt. Im Ergebnis sind die Performance von Hochleistungsfasern maximal ausnutzbar, bisherige Überdimensionierungen vermeidbar und so hochperformante Bauteile mit minimaler Masse realisierbar.

## **2. Simulativer Entwicklungsprozess**

In einem ersten Schritt erfolgt am Beispielbauteil eine simulative Geometrie- und Lastanalyse um daraus die notwendigen Verstärkungsfadenmengen und deren Ausrichtung sowie die textiltechnische Umsetzbarkeit ableiten zu können. Das Beispielbauteil Paddel (vgl. Abbildung 1, Breite 190 mm, Länge 2100 mm) besteht aus zwei Paddelblättern und dem dazwischenliegenden Schaft. Das Projektziel ist die Umsetzung der erforderlichen Verstärkungsfadenstruktur in einer Gesamtpreform, um den Preformingprozess stark zu vereinfachen. Der Fokus im Projekt war die integrale Ausbildung des Übergangs Schale Profil (markierter Ausschnitt, Fläche 190 x 550 mm<sup>2</sup>). Die Länge und Breite des Paddelblattes sowie die Länge und der Durchmesser des Paddelschaftes sind mittels der Stricktechnik variabel an den Sportler anpassbar.

Die simulative Strukturanalyse auf Basis der 3D-CAD-Daten liefert die für eine sichere Lastübertragung notwendigen Faserquerschnitte und deren Ausrichtungen. Die Außenkontur der 2D-Preform zur Abbildung des 3D-Bauteils ist das Ergebnis der durchgeführten Drapiersimulation. Diese Ergebnisse sind die Basis für die Entwicklung der stricktechnischen Bindun-

gen zur Umsetzung der Konturen bei gleichzeitiger Anordnung der lokal notwendigen Verstärkungsfadenanteile. Die finale Preformvariante ist das Ergebnis eines Optimierungszyklus zwischen Kontur, Strickbarkeit sowie Mechanik, der so lange ausgeführt wird, bis die auftretenden Spannungen geringer sind als die maximal von den Fasern übertragbaren. Im Ergebnis der Arbeiten steht ein Simulationstool zur Auslegung stricktechnisch umsetzbarer Preformen entsprechend der Lösungsansätze der Funktionsmuster zur Verfügung.

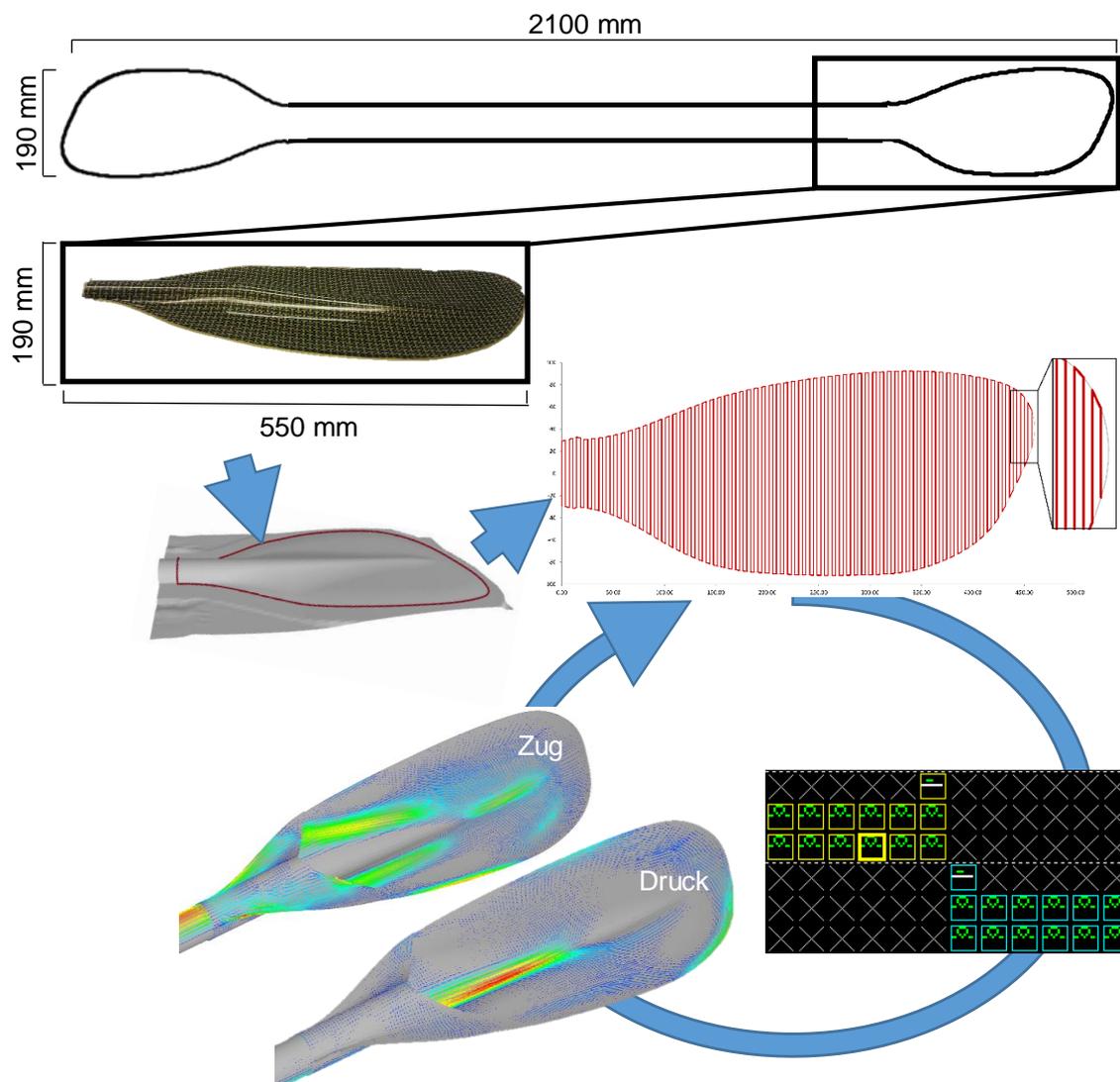


Abbildung 1 Schematische Darstellung des Entwicklungsprozesses der Demonstratorpreform

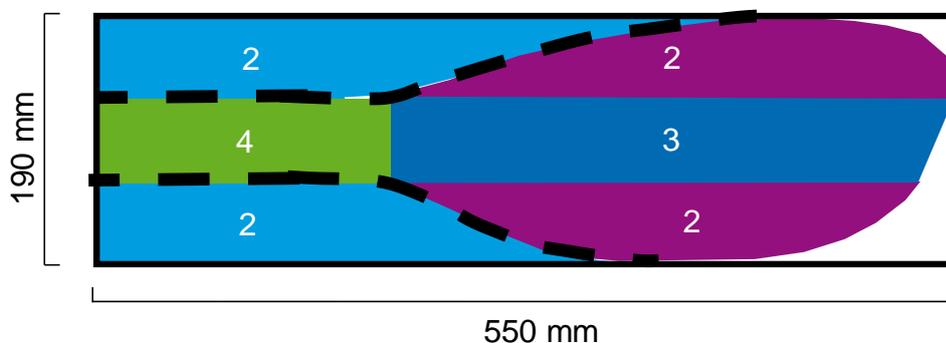
### 3. Bindungstechnische Preformentwicklung basierend auf entwickelten Methoden

Unter Verwendung der Simulationstools lassen sich Vorzugspreformvarianten für das Beispielbauteil entwickeln (hinsichtlich Kontur und Verstärkungsfadenanordnung). Dazu erfolgt eine umfassende Analyse der im Projekt entwickelten Funktionsmuster zur Herstellung des Überganges zwischen Schale und Profil. Prinzipiell sind hier verschiedene Möglichkeiten der stricktechnischen Umsetzung möglich. Eine umfassende Bewertung der Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Varianten ist anhand der dazu entwickelten Funktionsmuster möglich. In einem iterativen Prozess erfolgt die praktische Umsetzung der verschiedenen Funktionsmuster an der Strickmaschine. Dabei werden die Ergebnisse der stricktechnischen Umsetzung in die Simulation zurückgespeist. Basierend auf dem vorliegenden Norm-Lastfall werden die auftretenden Spannungen ermittelt.

Der erste Ansatz ist das Einbringen sogenannter **Faltlinien** in flächige Bereiche als das Preforming vereinfachende Elemente. Entlang der **Faltlinien** weisen die textilen Strukturen eine verringerte Biegesteifigkeit auf und sind so sehr einfach faltbar. Die Ausrichtung der **Faltlinien** ist mit Winkeln zwischen  $0^\circ$  (entlang der Kettrichtung) bis zu  $90^\circ$  (entlang der Schussrichtung) in einem großen Bereich einstellbar. Über die definierte Ausrichtung der **Faltlinien** sind sowohl die Außenkontur der Preform als auch eine lastgerechte Faserorientierung realisierbar. Dabei sind durch das Falten die lokale Bauteildicke entsprechend der Anforderungen einstellbar und gleichzeitig die Profilbereiche mit einer durchgehenden Faserverstärkung an die schalenförmigen Bereiche anbindbar.

Alternativ oder ergänzend zu den **Faltlinien** ermöglicht ein **lokal variierbarer Verstärkungslagenaufbau** die lokale Anpassung der Verstärkung bestimmter Bauteilbereiche. Die Einbringung unterschiedlicher Lagenanzahlen ist dabei über die Anpassung der Kettfaden- und/oder der Schussfadenlagenanzahl möglich. Die die Verstärkungslagen fixierende Maschenstruktur wird über die Maschenlänge auf die variierte Verstärkungsfadenmenge angepasst. Beide entwickelten Elemente sind miteinander kombinierbar.

Diese Kombination der beiden Möglichkeiten führt letztlich auch zur finalen Preform für das Beispielbauteil (Abbildung 2). Genutzt werden endkonturgerecht eingebrachte **Faltlinien** (gestrichelte Linie) und in den Bereichen der Maxima der Zug/Druck-Spannungen lokal, durch zusätzliche Anordnung von Verstärkungslagen höher verstärkte Bereiche. In der schematischen Darstellung (Abbildung 2) sind die in den jeweiligen Strickbereichen angeordneten Verstärkungslagenanzahlen angegeben (weiße Ziffern). Die finale Preform bildet, wie angestrebt, den Übergang von der Schale zum Profil vollständig und endlosfaserverstärkt ab.



**Abbildung 2 Schematischer Preformaufbau**

Abbildung 3 zeigt das **Faltprinzip** der Preform schematisch und praktisch im Formwerkzeug. Die äußeren Teilbereiche werden auf den mittleren Bereich gefaltet, so dass sich hier ein Rundprofil mit einem Außen-Durchmesser von 34 mm ergibt. Die **Faltlinien** sind so angeordnet, dass sich bei diesem **Faltprozess** auch die Außenkontur des Paddels ergibt. Auf der Oberseite des Schaftes werden durch den **Faltprozess** zwei Kett- und zwei Schussfadenlagen übereinandergelegt. Der resultierende **Lagenaufbau** am Schaft ist somit über den kompletten Umfang identisch. Durch die umgefalteten Bereiche an beiden Seiten des Paddelblattes wird dieses zusätzlich gegen Biegung und Knickung verstärkt.

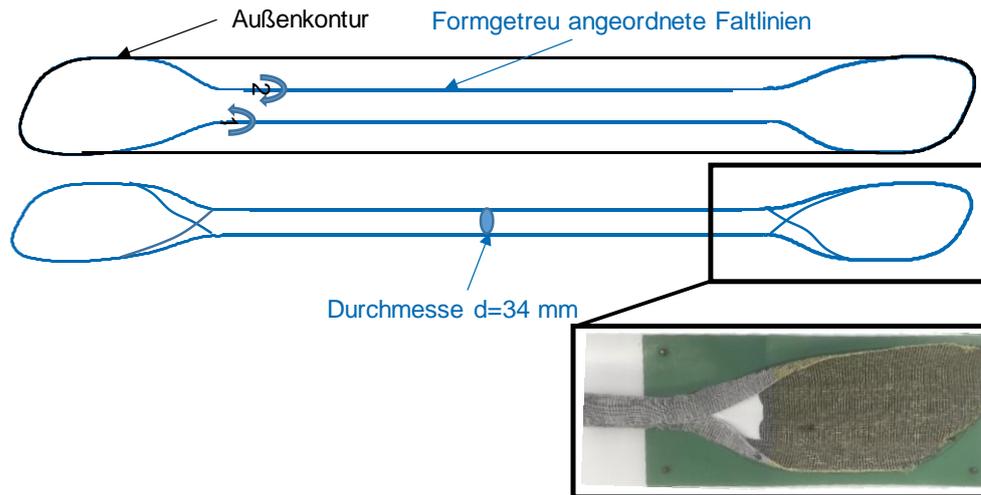


Abbildung 3 Falprinzip der hergestellten Preform

#### 4. Bauteilherstellung

Wesentlich für die Verwendung der Preformen in industriellen Prozessen ist der Nachweis der Herstellbarkeit von FKV-Bauteilen. Dazu wird die vorbereitete Preform (siehe Abbildung 3, unten) im Formwerkzeug im VARI-Verfahren infiltriert und konsolidiert. Zur Ausbildung des Hohlprofils wird eine Formkern eingelegt. Die Preform wird dann mit dem Formkern in das Formwerkzeug eingelegt, der Vakuumaufbau hergestellt und das duroplastische Matrixsystem infiltriert. Das Bauteil (Abbildung 4) wird nach Konsolidierung entformt.



Abbildung 4 Demonstratorbauteil Paddel – Übergang von Schale (Paddelblatt) zu Profil (Paddelschaft)

#### 5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Projektbearbeitung konnte gezeigt werden, dass mit dem entwickelten simulativ gestützten Entwicklungsprozess einteilige Bauteilpreformen mit einem Übergang von einer Schale zum Profil in einer einzigen Prozessstufe abbildbar sind. Dazu notwendige Faltlinien sind durch stricktechnische Maßnahmen frei in der Preform positionierbar. Aufgrund mechanischer Anforderungen notwendige lokale Anpassungen der Verstärkungslagenaufbauten sind problemlos möglich. Die im Ergebnis einteilige Herstellung der Preform führt zu deutlich einfacheren Performingprozessen mit sehr geringem manuellem Aufwand, notwendiger Arbeitszeit und Verschchnitt und ist damit wesentlich ressourceneffizienter und kostengünstiger. Die Ergebnisse bilden so die Basis für eine einfache und schnelle Entwicklung hochperformanter FKV-Bauteile.

Der Abschlussbericht ist am ITM erhältlich.

## 6. Danksagung

Das IGF-Vorhaben 19184 BR des Forschungskuratoriums Textil e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Der Schlussbericht und weiterführende Informationen sind am Institut für Textilmaschinen und Textile Hochleistungswerkstofftechnik der TU Dresden erhältlich.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages