

### **3-D-formbare Nassvliese - Erhöhung der Drapierbarkeit papiertechnisch hergestellter Halbzeuge mittels Wasserstrahlbehandlung**

Angelika Endres<sup>1</sup>, Steffen Schramm<sup>2</sup>, Alexander Schwingenschlögl<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Papiertechnische Stiftung (PTI), München, (PTS)*

<sup>2</sup>*Papiertechnische Stiftung (IZP), Heidenau, (PTS)*

<sup>3</sup>*Lehrstuhl für Carbon Composites der TU München (LCC)*

Im Rahmen des Projektes „3-D-formbare Nassvliese“ (IGF-Forschungsvorhaben 18697 BG) wurde durch das Konsortium aus PTS und LCC die Erhöhung der Drapierbarkeit von Nassvliesen mittels Wasserstrahlbehandlung erforscht. Ziel des in 2015 gestarteten Projektes war es, inwieweit die Drapierbarkeit von Nassvliesen durch gezielte Strukturbeeinflussung im makroskopischen (Faserart und -zusammensetzung) und mikroskopischen Bereich (Bindungspunkte, Bindesystem) verbessert werden kann. Hierbei sollte insbesondere die Wasserstrahlbehandlung der Nassvliese inline an der Papiermaschine genutzt werden, um die Morphologie und Bindungspunkte im Fasergelege zu verändern. Die entwickelten Nassvliese wurden durch geeignete Methoden hinsichtlich ihres Drapierverhaltens charakterisiert.

Es ist möglich über den im Vergleich zur Trockenvliesherstellung günstigeren und faserschonenderen Papierprozess flächige Halbzeuge mit einem Verstärkungsfaseranteil von bis zu 90 % herzustellen. Durch die gleichmäßige Faservereinzelung entstehen sehr gleichmäßige, homogene Fasergelege mit eher geringer Vorzugsrichtung. Die Suspendierung von Rohstoffen im wässrigen Medium erlaubt zudem die Mischung unterschiedlicher Faserstoffe und somit die maßgeschneiderte Entwicklung neuer Halbzeuge. Die im Nassprozess verarbeitbaren Faserlängen können bis zu 30 mm betragen. Da sich die mechanischen Festigkeiten von Compositen proportional zur Länge der verstärkenden Fasern verhalten, ist die Leistungsfähigkeit nassvlies-verstärkter Composite deutlich begrenzt. Die wirre Anordnung der Fasern im Vlies beschränkt zudem die realisierbaren Faservolumenanteile im Endprodukt, da die Fasern im Nassvlies bei hohen Verdichtungsdrücken zum Bruch neigen (an den Kreuzungspunkten übereinanderliegender Fasern). Die Drapierbarkeit der Nassvliese ist aufgrund der kurzen Fasern ebenfalls nur bedingt möglich. An dieser Stelle setzt dieses Projekt an.

Gemäß den aktuell dominierenden Werkstoffgruppen im Bereich der FVK wurde im Projekt ein Halbzeug hergestellt, welches die thermoplastische Harzmatrix bereits in Form von Fasern integriert hat und somit nach dem Prinzip der Organobleche durch thermische Verpressung konsolidiert und später in die finale 3D-Form überführt wird.

Als Verstärkungsfasern wurden Basaltfasern ausgewählt. Deren Eigenschaften und Kosten liegen zwischen denen der Glasfaser und der Carbonfaser und gewinnen zunehmend Bedeutung für Anwendungsbereiche mit mittlerem Anforderungsniveau. Als Synthesefasern wurden Polyamid-6-Fasern (PA6) mit unterschiedlicher Faserfeinheit und -länge verwendet.

Das Festigkeitsniveau der synthetischen Nassvliese nach einer Wasserstrahlverfestigung ist erwartungsgemäß auf einem niedrigen Niveau, da die einzelnen Faserstoffe kaum Eigenbindefähigkeit besitzen. Dabei erhöht sich die Bruchkraft proportional zum

eingetragenen Druck im Wasserstrahlbalken und die Biegesteifigkeit mit zunehmender Faserlänge, wie Abbildung 1 zeigt.

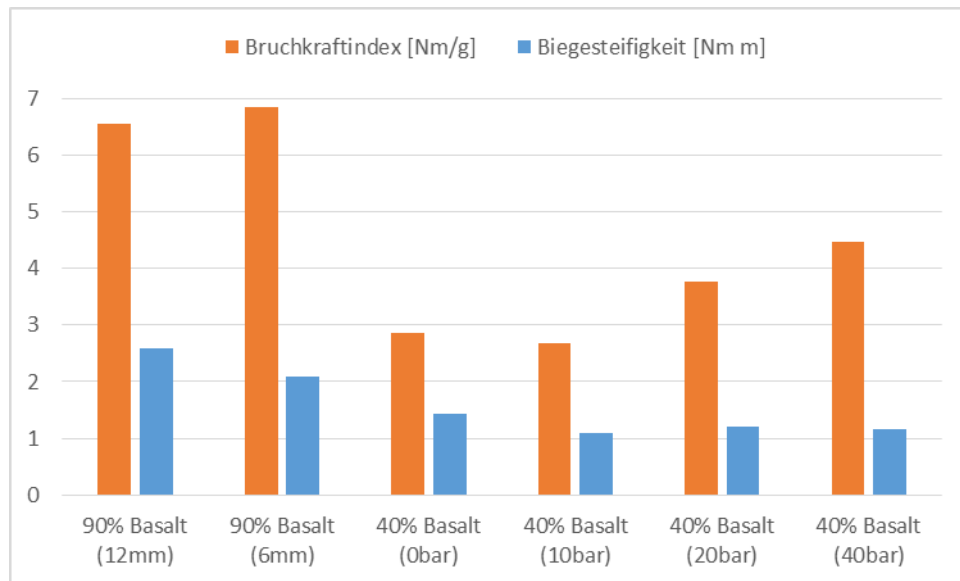


Abbildung 1: Festigkeitseigenschaften der hergestellten Nassvliese unter Einfluss der Wasserstrahlbehandlung

Je nach eingetragener Vernetzungsenergie führt die Wasserstrahlbehandlung zunächst zu einem leichten Volumengewinn aufgrund der erzeugten Turbulenz im Gefüge durch die Verteilung des auftreffenden Strahles und ab einem gewissen Energieeintrag zur Komprimierung durch Faserverwirbelungen. Ab einem Arbeitsdruck von 40 bar wird die Vliesdicke reduziert und es kommt aufgrund der Wasserstrahlbehandlung zu einer teilweise irreversiblen Kompression der Vliese, was auf einen höheren Vernetzungsgrad hinweist. Bei Varianten mit 60 Ma% Basalt wird das Festigkeitsniveau durch die Wasserstrahlbehandlung negativ beeinflusst. Grund dafür ist, dass weniger flexibles und leicht verwirbelbares PA6-Fasermaterial zur Verfügung steht.

Die Fähigkeit eines textilen Flächengebildes, sich an eine vorgegebene Form ohne Faltenbildung anzupassen, wird durch mehrere Verformungsmechanismen beeinflusst. Diese können durch Simulation auf verschiedenen Ebenen bewertet werden. Die Drapierungssimulation ist in der Lage, die Positionen und Abweichungen, wie Faserbruch, Faltenbildung und die Änderung der Faserorientierung vorherzusagen [1, 2]. Die Verhakung der Verstärkungsfasern und die Bindung mit den PA6-Fasern verhindert eine freie Rotation der Fasern und das Biegeverhalten wird nicht nur durch die Verstärkungsfasern dominiert. Um die Drapierfähigkeit von Nassvliesen zu bewerten, wurden Doppelsinus-Drapierversuche durchgeführt, siehe Abbildung 2.

- 1 Stempel
- 2 Auflagetisch und Matrize
- 3 Niederhalter
- 4 Niederhalterführung

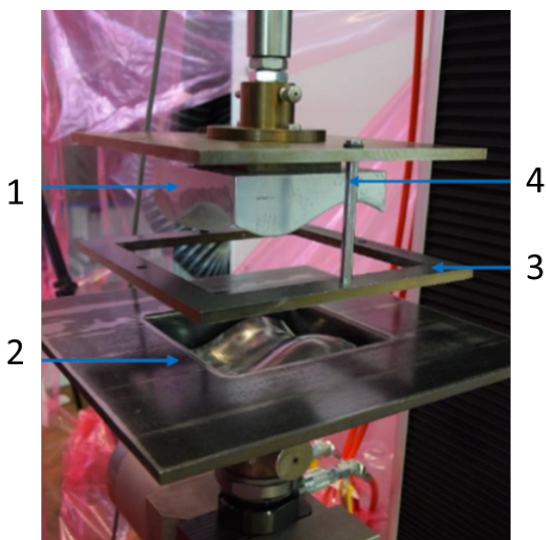
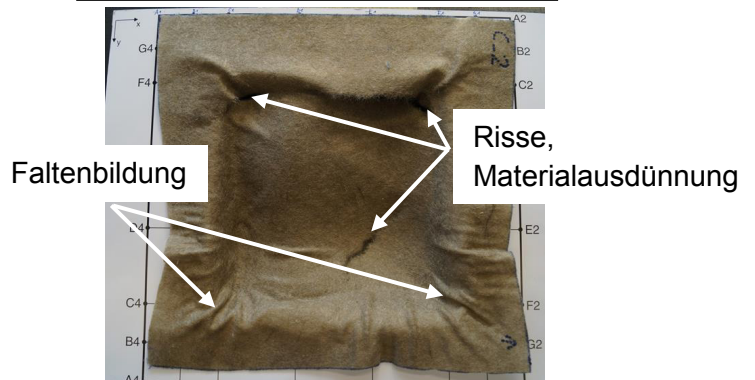


Abbildung 2: Aufbau des Doppelsinus-Drapierversuches (links) und behandeltes Vlies (rechts)

Das flache Vlies wird zentral positioniert und durch den Rahmen an Ort und Stelle gehalten. Die Umformung erfolgt durch Schließen der Werkzeughälften, gleichzeitig können Kraft und Verschiebung aufgezeichnet werden. Nach dem erneuten Öffnen des Werkzeuges kann das Ergebnis des Drapierprozesses visuell ausgewertet werden. Bei nasgelegten Vliesstoffen sind die vorherrschenden Drapierungsfehler Faltenbildung unter lokaler Druckbelastung und Rissbildung in der Lage. Bei einigen Vliesen kann örtliches Ausdünnen des Materials ohne Bruch stattfinden.

Die zellulosefaserbasierten Papiere Versagen durch Rissbildung. Ursächlich ist ihre sehr niedrige Dehnbarkeit von weniger als 0,7 % in MD- bzw. weniger als 1,5 % in CD-Richtung. Trotz ausreichender Festigkeit und damit deutlichem Materialeinzug sind Risse unausweichlich. Bei den PA6-faserbasierten Vliesen ist genau das Gegenteil der Fall. Bei den nicht wasserstrahlverfestigten Vliesen findet praktisch kein Einzug statt. Risse bilden sich trotz hoher Dehnbarkeit aufgrund der zu niedrigen Festigkeit. Die erhöhte Festigkeit infolge der Wasserstrahlverfestigung ermöglicht einen Einzug. Entsprechend sind hier die Ergebnisse besser. Im Fall der Spunlacebehandlung mit 20 bar sind optisch keine Risse feststellbar, Materialausdünnungen allenfalls zu „erahnen“.

Durch die Erhöhung des Flächengewichtes (160 - 180 g/m<sup>2</sup>) und einer Optimierung der Nassvliesrezeptur mit erhöhtem Basaltfaseranteil von 60 Ma%, wird eine homogenere

Vliesstruktur und besseres Handling der Materialien erreicht. Bei diesen Materialien sind nach der Umformung keine optisch nachweisbaren Risse oder erhebliche Materialausdünnungen erkennbar. Leichte Materialausdünnungen sind möglich, aber nicht zweifelsfrei detektierbar. Alle Materialien zeigen erhebliche Faltenbildung auch innerhalb der Doppelsinusgeometrie, siehe Abbildung 3.

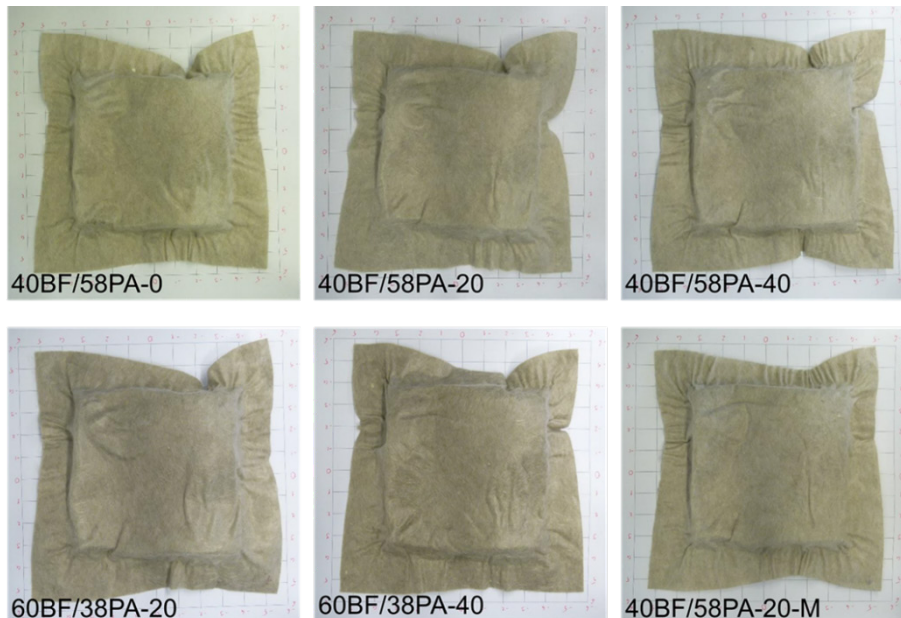


Abbildung 3: Ergebnisse der Doppelsinus-Drapierversuche der optimierten Materialien

Die Ergebnisse des Projektes bestätigen die Eignung des Papiererzeugungsprozesses für die Herstellung von Halbzeugen für faserverstärkte Kunststoffe. Hinsichtlich der Umform- bzw. Drapierbarkeit in hochgradig 3-dimensionale Geometrien zeigen sich unter Verwendung von thermoplastischen (PA6) Bindefasern erhebliche Potenziale. Eine Anwendbarkeit für komplexe Geometrien ist gegeben, die bisherige Einschränkung auf einfache Geometrien entfällt. Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass sich diese Nassvliese durch eine zusätzliche Wasserstrahlbehandlung weiterverfestigen lassen, ohne die Dehnbarkeit und damit die Umformbarkeit unzulässig einzuschränken. Dies bietet Möglichkeiten hinsichtlich der Minimierung von Falten und erleichtert die Handhabung der Halbzeuge.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben 18697 BG der kooperierenden AiF-Forschungsvereinigungen PTS und FSKZ wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Dafür sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

1. Drechsler, K., Hinterhölzl, R.M., Margossian, A. *Process Simulation and Material Modeling of Composites*. Technical University of Munich, 2015.
2. Long, A.C. *Composites forming technologies*. Cambridge: Woodhead, 2007