

Multiaxiale Hochleistungs-Gewebekonstruktionen und deren belastungskonforme Nutzung zu Leichtbau-Composites mit unterschiedlichen Matrices (IGF 462 ZN)

Autoren: Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Wolfrum
Metin Caliskan
Dr.-Ing. Hans-Jürgen Bauder
Prof. Dr.-Ing. Götz T. Gresser

Erschienen: Mai 2016

Bearbeitungszeitraum: 01.01.2013 – 31.12.2015

1 Problemstellung

Energetische Rohstoffe werden knapp und die Umweltbelastung steigt. Deswegen wächst gerade im Fahrzeugbau der Bedarf an anwendungsgerechten Leichtbaukomponenten aus optimierten Faserverbundwerkstoffen. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist die belastungskonforme Ablage von Hochleistungsfasern. Aus diesem Grund wurden bisher für die Herstellung von Composites vorzugsweise Gelegestrukturen entwickelt und verwendet. Nachteil dieser Strukturen ist, dass aufgrund der relativ losen Verbindung der Faserlagen eine exakte Faserorientierung in Belastungsrichtung nicht immer gewährleistet werden kann. Um dies zu vermeiden, wurde von der Firma Lindauer Dornier – basierend auf einer Hochleistungs-Greiferwebmaschine – die Open-Reed-Weave Webtechnologie (ORW) entwickelt. Einer der ersten ORW-Webmaschinen ist seit Oktober 2013 am ITV Denkdorf installiert. Durch die Integration zweier zusätzlicher, in der Positionierung und Verlegung nahezu frei programmierbaren Fadenachsen können mit dieser Webtechnologie Leichtbaustrukturen sowohl

mit flächiger als auch mit lokal begrenzter multiaxialer Verstärkung entwickelt und gefertigt werden. Da bei diesem Fertigungsverfahren unidirektionale, orthogonale wie auch multiaxiale Verstärkungslagen stabil miteinander verbunden werden, verringert sich im konsolidierten Bauteil nicht nur die Anzahl der Gewebelagen, sondern es verbessert sich auch deren Bruch-, Biege-, Torsions-, Scher- und Delaminationsverhalten.

2 Durchgeführte Versuche und Versuchsergebnisse

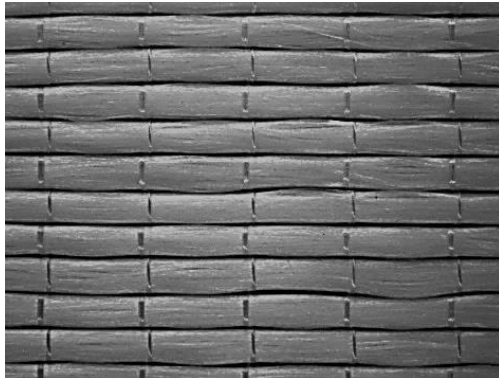
Die Durchführung des IGF-Forschungsvorhabens 462 ZN erfolgte in Kooperation mit dem Fraunhofer ICT Pfinztal. Dabei übernahm das ITV Denkendorf die Entwicklung, Fertigung und Prüfung multiaxialer Gewebestrukturen mit bis dato maximaler ORW-Faserdichte. Das Fraunhofer ICT Pfinztal war verantwortlich für die Konsolidierung sowie die Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften der Composites. Die Infiltrierung erfolgte im RTM-Prozess unter vergleichbaren Bedingungen mit Epoxid-, Polyurethan- und Polyamidmatrix. Am Ende des Projekts bildeten die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen die Basis für die Entwicklung eines 3D-Gebrauchsmusters mit lokalen, lastgerecht angeordneten Bauteilverstärkungen.

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich im Wesentlichen auf die am ITV Denkendorf durchgeführten Arbeiten, d. h. auf die Entwicklung bzw. Herstellung unterschiedlich verstärkter Gewebestrukturen.

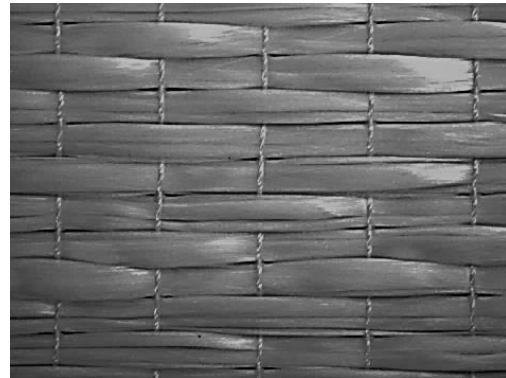
2. 1 Unidirektional verstärkte ORW-Gewebe

Begonnen wurden die experimentellen Untersuchungen mit in 90°, d. h. in Schussrichtung unidirektional verstärkten ORW-Drehergeweben. Die UD-Verstärkung erfolgte mit 1.200 tex Glasfaserrovings. Für die Dreherabbindung der Glasrovings wurden feine PES-Multifilamentfäden eingesetzt. Dabei fungierten die in den Verlegenadeln der ORW-Vorrichtung eingezogenen Multiaxialfäden als Dreherfäden und die in den Schäften eingezogenen Grundkettfäden als Steherfäden. Durch die Zuführung der beiden Webketten von zwei separaten Kettbäumen konnte durch die Einstellung unterschiedlich hoher Kettfadenzugkräfte ein gelegeartiges Drehergewebe mit einer glatten Gewebeoberfläche erzeugt werden (Abb. 1 links). Durch Variation des Verlegewinkels, der Verlegeart und der Flottungslänge wurde die Halbdreherbindung modifiziert. Damit lässt sich in gewissen Grenzen das Drapierverhalten sowie die Randstabilität und die Schiebefestigkeit des Gewebes beeinflussen. Eine Änderung der

Bindungskonstruktion wirkt sich allerdings auch auf den optischen Gewebeausfall aus. So geht z. B. der gelegeartige Gewebeausfall und die glatte Gewebeoberfläche verloren, wenn neben der Abbildung der Multiaxialfäden die Grundkettfäden gemeinsam mit den Schussrovings ein selbsttragendes Gewebe bilden (Abb. 1 rechts).



ORW-Gewebe mit einfacher Dreherabbindung



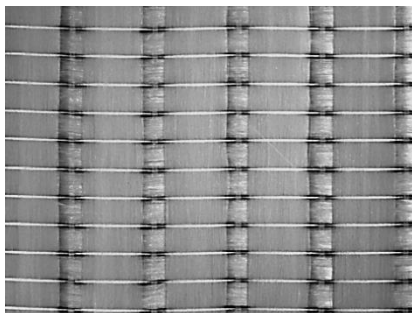
*ORW-Gewebe mit einfacher Dreherbindung
und K 2/1 Abbildung der Grundkettfäden*

Abbildung 1: In 90° unidirektional verstärkte ORW-Drehergewebe

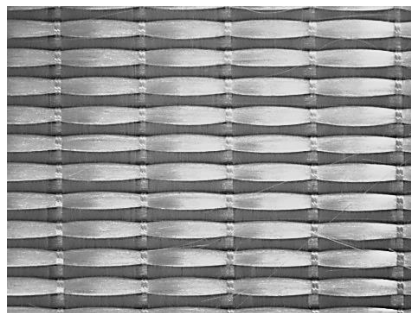
Bei der zweiten Versuchsreihe mit unidirektional verstärkten ORW-Geweben sollten die 1.200 tex Glasfaserrovings in 0° d. h. in Kettrichtung ins Gewebe integriert werden. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zeigte sich, dass mit 6 Rovings/cm die Fadendichte im Webblatt zu hoch ist. Die Glasfaserrovings scheuern auf. Ein störungsfreies Laufverhalten der Webmaschine wird erreicht, wenn bei gleicher Fadendichte die Feinheit der Glasfaserrovings von 1.200 auf 600 tex reduziert wird. Im Gegensatz zu den in 90° verstärkten ORW-Geweben führt hier die Dreherbindung zu einer Bündelung der Kettrovings und damit zu einer gitterartig offenen Gewebestruktur. Obwohl mit einer Kombination aus kreuzförmiger Diagonalverlegung der Multiaxialfäden und 2/1-bindigen Körpergrundgewebe das Problem der zu offenen Gewebestruktur weitgehend gelöst werden konnte, war der Gewebeausfall insgesamt nicht zufriedenstellend. Es ergab sich ein relativ loser Fadenverbund, der für die Weiterverarbeitung zum Faserverbundbauteil nicht die erforderliche Schiebefestigkeit und Randstabilität besaß.

2.2 Biaxial verstärkte Gewebe ORW-Gewebe

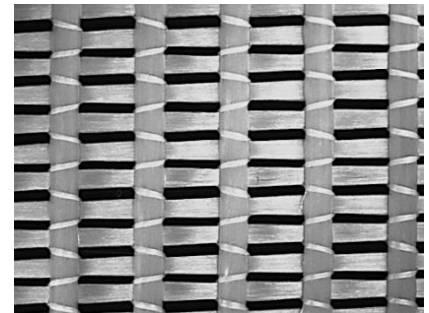
Zur Herstellung der biaxial verstärkten ORW-Gewebe wurde das feine PES-Multifilamentgarn der Grundkette und der 1.200 tex Schussroving durch einen 600 tex Glasfaserroving ersetzt. Mit Hilfe der feinen PES-Multifilamentfäden im Multiaxialbereich sollten die Gewebeeigenschaften eines bidirektional verstärkten Gewebes weiter verbessert werden. Angestrebt wurde eine gelegeartige Gewebestruktur mit hoher Schiebefestigkeit, guter Randstabilität und Drapierbarkeit. Erreicht wurde dies mit einem dreilagigen Gewebeaufbau. Damit die Kettrovings nicht gebündelt werden, sind die Glasfaserrovings der drei Fadenlagen mittels der feinen Multiaxialfäden in 1/1 abzubinden. Der beste Gewebeausfall wird dabei erzielt, wenn in der oberen Schussfadenlage die Glasfaserrovings gegen feine PES-Multifilamentgarne ausgetauscht werden (Abb. 2 links). Um isotrope Gewebeeigenschaften zu erreichen, ist dann die Schussdichte auf 12 Fäden/cm einzustellen. 12 Schussfäden/cm sind auch erforderlich, wenn eine geschlossene Gewebefläche gewünscht wird, und im Schuss nur Glasfaserrovings verwendet werden (Abb. 2 Mitte). Der Nachteil dieser Gewebekonstruktion ist, aufgrund des im Vergleich zur Kette doppelt so hohen Faseranteils im Schuss, die anisotrope Gewebearchitektur. Werden in die 1/1-Abbindung Dreherabbindepunkte integriert, so kommt es zu einer Bündelung der drei in einer Rietlücke eingezogenen Kettrovings. Bei einer reinen Dreherabbindung führt dies zu einer offenen gitterartigen Gewebestruktur mit einer ausgeprägten Rippigkeit in Kettrichtung (Abb. 2 rechts).



*Dreilagiges Gewebe mit PES-Multifilament in der oberen und Glasroving in der unteren Schussfadenlage
12 Schussfäden/cm*



*Dreilagiges Gewebe mit Glasroving in der oberen und unteren Schussfadenlage
12 Glasrovings/cm im Schuss*



*Zweilagiges Gewebe mit Einfachdreher
6 Schussfäden/cm*

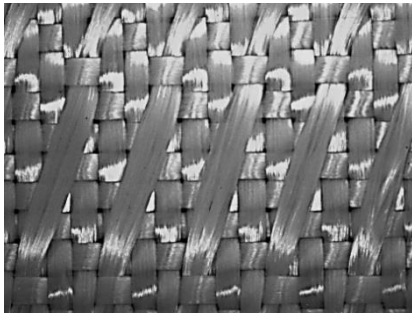
Abbildung 2: Zwei- bzw. dreilagige biaxial verstärkte ORW-Gewebe

2.3 Tri- bzw. tetraxial verstärkte ORW-Gewebe

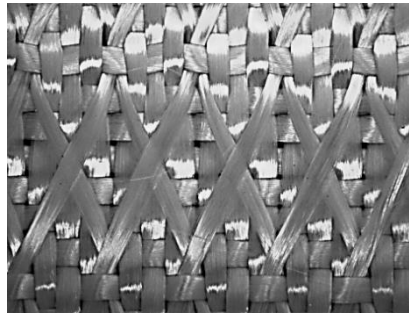
Um ein dichtes, bidirektionales Grundgewebe aus Glasfasern mit zusätzlicher Verstärkung in $\pm 45^\circ$ Richtung zu erhalten, reichte es nicht aus, nur die feinen PES-Multifilamentfäden im Multiaxialbereich gegen 300 tex Glasrovings auszutauschen. Für einen störungsfreien Webmaschinenlauf war es notwendig, die Zuführung der Multiaxialfäden neu zu gestalten. Bereits zu Beginn der Webversuche zeigte sich, dass die bei der Multiaxialkette anstelle eines Streichbaums eingesetzten federelastischen Umlenkbügel nicht für Glasfaserrovings geeignet sind. Sie führten zu einer starken Bündelung bzw. Verkreuzung der Glasfaserrovings und damit zu Spannfäden und Rovingbrüchen. Um dies zu vermeiden, wurden die Umlenkbügel gegen ein über die gesamte Webmaschinenbreite durchgehendes Federblech ausgetauscht. Eine weitere Maßnahme zur Vermeidung verdrehter Multiaxialrovings war die Separierung der Rovings zwischen Federblech und Verlegenadel mittels Teilstäben und Fadenkreuz.

Die unterschiedlichen Gewebekonstruktionen bauen jeweils auf ein Grundgewebe mit der Körperbindung K 2/1 S auf. Variiert wurde der Verlegewinkel, der Verlegehub und die Verlegeart der Multiaxialrovings. Bei der Verlegeart wird dabei zwischen stehenden, in gleicher (Z) bzw. in entgegengesetzter Richtung (X) bewegten Legeschienen differenziert. Auf den Einsatz von Dreherbindungen wurde wegen der Bündelung der Ketrovings verzichtet.

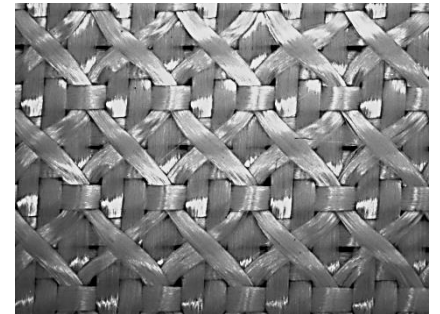
Mit der gewählten Konstruktion des Grundgewebes lassen sich Verlegewinkel zwischen 0° und 69° realisieren (Abb. 3). Bei den tri- bzw. tetraxial verstärkten ORW-Gewebemustern ergab sich jeweils eine geschlossene Gewebefläche. Unterschiede zeigten sich in der Ondulation der Glasfaserrovings sowie in der Oberflächenstruktur der Gewebe. Die Ondulation der Glasfaserrovings sowie die Oberflächenstruktur des Gewebes sind umso ausgeprägter, je größer der Verlegewinkel ist. Außerdem führt eine kreuzweise Verlegung der Multiaxialrovings zu einer strukturierteren Gewebeoberfläche als eine zickzackförmige. Bei der Herstellung der tri- bzw. tetraxial verstärkten Gewebemuster bereiteten weder die unterschiedlichen Verlegewinkel noch die verschiedenen Verlegearten Probleme. Auch Gewebe mit einem stufenweisen Übergang des Verlegewinkels von 0° bis 69° und umgekehrt konnten ohne jegliche verfahrenstechnische Störungen gefertigt werden.



*Verlegewinkel 21°
Bewegung der Legeschiene in
gleicher Richtung (Z)*



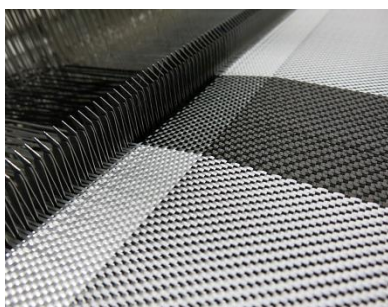
*Verlegewinkel 21°
Bewegung der Legeschiene in
entgegengesetzter Richtung (X)*



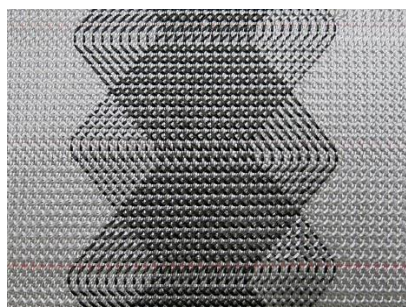
*Verlegewinkel 41°
Bewegung der Legeschiene in
entgegengesetzter Richtung (X)*

Abbildung 3: Unterschiedliche tri- und tetraxiale ORW-Gewebestrukturen

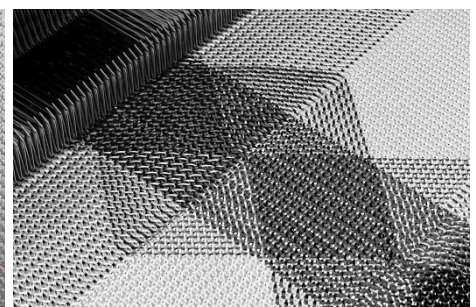
Eine belastungskonforme Erhöhung der Festigkeit des konsolidierten Bauteils lässt sich erreichen, indem die Glasrovings im Gewebe z. B. lokal durch Carbonrovings ersetzt werden. Die Gewebekonstruktion kann dabei so gewählt werden, dass die lokale Verstärkung sowohl unidirektional als auch bi-, tri oder tetraxial in die Gewebearchitektur integriert wird (Bild 4).



*Grundgewebe in K 2/1 S mit
biaxialer Carbonverstärkung in
Kette und Schuss*



*Tetraxiales ORW Gewebe mit
lokaler Carbonverstärkung im
Multiaxialbereich*



*Tetraxiales ORW Gewebe mit lokaler
tetraxialer Carbonverstärkung in allen
4 Webachsen*

Abbildung 4: Bi- und tetraxiale ORW-Gewebestrukturen mit lokaler Carbonverstärkung

2.4 Entwicklung eines Demonstrators

Um das Leistungspotenzial der ORW-Webtechnologie eindrucksvoll aufzeigen zu können, wurde am Ende des Projekts ein mit Carbonfasern lokal verstärktes Gewebe für einen Demonstrator mit komplexen Bauteilstrukturen gefertigt. Es handelt sich dabei um einen „Lampentopf“, der Bestandteil eines Heckdeckels von einem Fahrzeug ist und die Heckleuchte aufnimmt (Abb. 5). In einem vom Fraunhofer ICT Pfinztal bereits abgeschlossenen Projekt wurde dieser Lampentopf aus einem körperbindigen Carbongewebe gefertigt. Diese Überdimensionierung erfolgte, um in den lastaufnehmenden Bereichen des Lampentopfs die geforderten Festigkeits- und Steifigkeitswerte zu erreichen. Mit der ORW-Webtechnologie konnte das Bauteil so realisiert werden, dass nur die lastaufnehmenden Bereiche lokal mit Carbonfasern verstärkt wurden. Für die lastunkritischen Bereiche wurden Glasfasern eingesetzt.



Endkontur eines carbonfaserverstärkten Heckdeckels mit integriertem Lampentopf



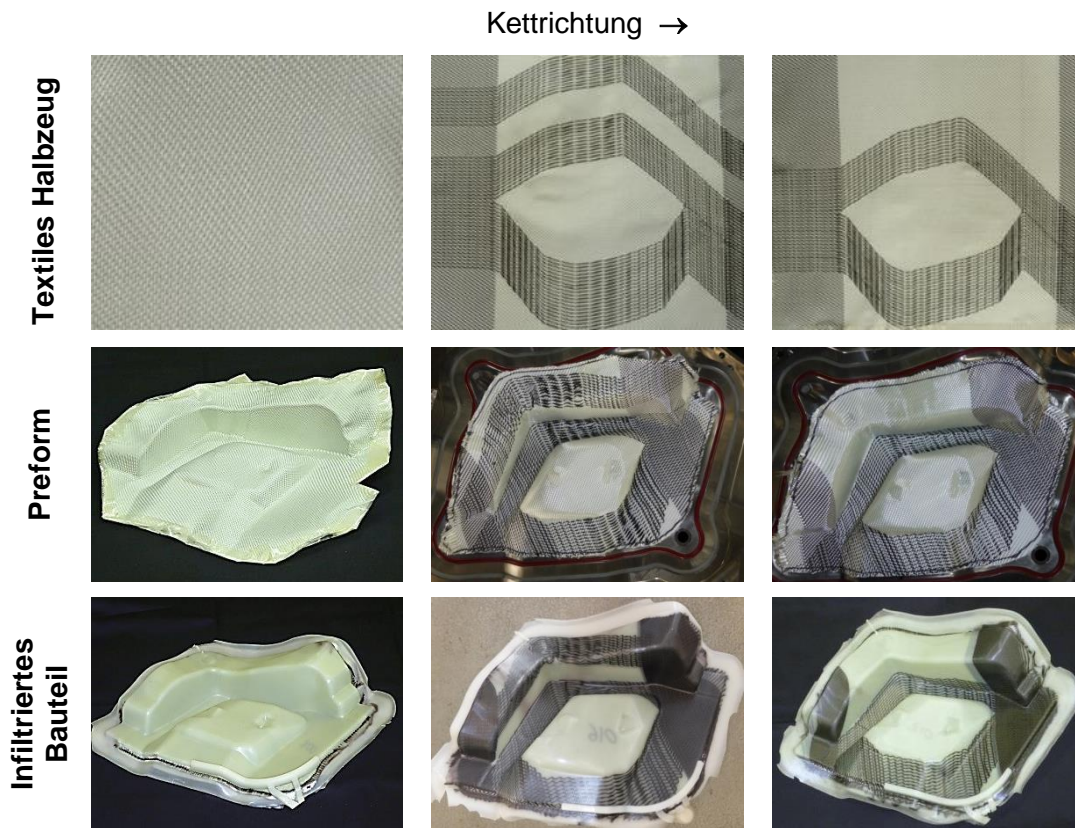
Pregeformter Lampentopf in Carbonausführung

Abbildung 5: Lampentopf eines Heckdeckels

Mit Hilfe der am ICT vorhanden Preform aus Carbongewebe wurde zunächst die dreidimensionale Bauteilform in den zweidimensionalen Ausgangszustand der Gewebelage zurückgeführt. Es waren mehrere Anpassungen der Gewebelage notwendig, bis die Konturen der lokalen Verstärkung im Gewebe deckungsgleich mit denen des Bauteils waren. Bindungsanpassungen waren auch erforderlich, um sowohl „Out-of-plane Welligkeiten“ als auch „In-plane Ondulation“ zu vermeiden. „Out-of-plane Welligkeiten“ entstanden bei zu langen

Flottungen der Multiaxialrovings. Die Gefahr von „In-plane Ondulation“ war vor allem in Verbindung mit hohen Umformgraden gegeben.

Für die Verbundbildung wurden drei unterschiedliche Preforms hergestellt. Neben einer nur aus einem Glasfasergewebe bestehenden Referenzpreform wurden noch zwei mit unterschiedlicher lokaler Carbonverstärkung gefertigt (Abb. 6). Trotz der teilweise relativ großen Verlegewinkel sowie der komplexen Strukturen der lokalen Carbonverstärkung konnte das Demonstratorgewebe ohne prozessbedingte Webmaschinenstillstände hergestellt werden.



**Abbildung 6: Hergestellte Demonstratoren als textiles Halbzeug (oben),
Preform (Mitte) und infiltriertes Bauteil (unten)**

3 Zusammenfassung und Ausblick

Mit Hilfe der ORW-Webtechnologie der Lindauer Dornier GmbH ist es durch die beiden zusätzlichen frei programmierbaren Fadenachsen möglich, eine Vielzahl unterschiedlicher Verstärkungsstrukturen in die Gewebefläche zu integrieren. Dies beginnt bei in 90° unidirektional verstärkten Drehergeweben und endet bei Geweben mit komplexen tetraxialen Verstärkungsstrukturen. Die Verstärkungen können dabei sowohl flächig als auch lokal im Gewebe angeordnet sein. Anhand des am Ende des Projekts gefertigten Demonstrators konnte die Leistungsfähigkeit und Flexibilität der ORW-Webtechnologie eindrucksvoll aufgezeigt werden. So gelang es, die komplexen Bauteilstrukturen eines Lampentopfs belastungskonform mit Carbonfasern zu verstärken.

Obwohl es sich bei der am ITV vorhandenen ORW-Webmaschine noch um einen Prototyp handelt, konnte bei nahezu allen Webversuchen ein gutes Laufverhalten der Webmaschine erreicht werden. Voraussetzung war, dass die Webmaschineneinstellung der jeweiligen Verstärkungsart angepasst wurde. So musste z. B. bei den tri- bzw. tetraxial verstärkten ORW-Geweben der Fadenlauf der Multiaxialrovings optimiert werden.

Mit der ORW-Webtechnologie steht somit dem Weber ein Webverfahren zur Verfügung, das ein hilfreiches Instrument für die Entwicklung und Fertigung neuartiger Gewebekonstruktionen für den textilen Leichtbau ist.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Danksagung

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF Vorhaben 462 ZN der Forschungsvereinigung
DECHEMA e.V., Theodor-Heuss-Allee 25, 60486 Frankfurt
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.

Für diese Förderung danken wir.

Unser Dank für die freundliche und tatkräftige Unterstützung gilt außerdem folgenden Firmen:

- ✓ PD-Interglas Technologies AG, Benzstraße 14, 89155 Erbach
- ✓ Lindauer Dornier GmbH, Rickenbacherstraße 119, 88129 Lindau
- ✓ Gustav Gerster GmbH & Co. KG, Memminger Str. 18, 88400 Biberach
- ✓ Amann Nähgarne GmbH & Co. KG, Fabrikstrasse 11, 86199 Augsburg
- ✓ Spinnweberei Uhingen GmbH, Ulmer Str. 27-31, 73066 Uhingen
- ✓ Heytex Bramsche GmbH, Heywinkelstraße 1, 49565 Bramsche
- ✓ Rühl AG, Hugenottenstr. 105, 61381 Friedrichsdorf
- ✓ Albert Handtmann ELTEKA GmbH & Co. KG, Arthur-Handtmann.Str. 9, 88400 Biberach
- ✓ WFS Sontra GmbH, Im Seegel 13, 36205 Sontra
- ✓ BrüggemannChemical L. Brüggemann KG, Salzstr. 131, 74076 Heilbronn
- ✓ ACE GmbH, Graf-von Soden-Straße, 88090 Immenstadt

Der Abschlussbericht des Forschungsvorhabens (IGF-Nr. 462 ZN) ist am Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal sowie am Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, Denkendorf erhältlich.

Ansprechpartner

Herr Dr. Hans-Jürgen Bauder (hans-juergen.bauder@itv-denkendorf.de)