

5.6 *Thermoplastische Prepregs für den Hochleistungsbereich*

Referent: Dipl.-Ing. Martin Kausch,
 Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Kroll,
 Technische Universität Chemnitz, Institut für Allgemeinen
 Maschinenbau und Kunststofftechnik
 Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Heinrich, Dipl.-Ing. Jan Grünert
 Cetex Institut für Textil- und Verarbeitungsmaschinen gemeinnützige
 GmbH an der TU Chemnitz

1 Einführung

Bei komplexen Anwendungen im Fahrzeug- und Maschinenbau, in der Luft- und Raumfahrt sowie bei Sportgeräten bieten Leichtbaustrukturen in Faserverbundbauweise besondere Vorteile, da hier hohe Festigkeiten und Steifigkeiten bei gleichzeitig niedrigem Gewicht erzielt werden können. Bei vielen Hochleistungsbauteilen wird zusätzlich zu den besonderen Leichtbaueigenschaften eine gute Impact- und Crashbeständigkeit der einzusetzenden Verbundwerkstoffe verlangt [1]. Um diesen konträren Anforderungen für stückzahlorientierte Bauteile gerecht zu werden, ist ein neues Verfahren entwickelt worden, bei dem hochfeste und -steife Verstärkungsfasern in thermoplastischen Folien in unidirektionaler Ausrichtung faserschonend eingebettet werden.

Die Herstellung der thermoplastisch vorimprägnierten UD-Faserhalbzeuge erfolgt dabei mit Hilfe einer UD-Faserfolien-Anlage auf Basis des kontinuierlichen Verfahrens der Faser-Bändchen-Technologie, welche die direkte Verarbeitung von Faserfilamenten ohne Drehung in einem Prozessschritt zu einem Verbundhalbzeug erlaubt. Dadurch sind die Fasern gleichzeitig für alle weiteren Arbeitsschritte gegen Filamentbrüche geschützt. Die Vermeidung der textilen Flächenbildung verhindert dabei die übliche Welligkeit und Maschenbildung in den Faserkreuzungsbereichen, so dass die Fasern vollkommen gestreckt und schädigungsfrei im Halbzeug vorliegen. Damit lassen sich in einem derartigen Verbund deutliche Steigerungen der mechanischen Eigenschaften bei gleichzeitiger Reduzierung der Herstellungskosten im Vergleich zu marktüblichen thermoplastischen Hybridhalbzeugen und Prepregs durch Einsparung klassischer Prozessschritte erzielen. Die in Abb. 1 dargestellten neuartigen thermoplastischen Prepregs mit dem Markennamen Ce-Preg[®] sind damit prädestiniert für alle endlosfaserverstärkten Kunststoffbauteile, die in thermoplastischen Verarbeitungsprozessen wie Spritzgießen oder Pressen hergestellt werden. Durch den gestreckten UD-Lagenaufbau lassen sich verschiedene Faserorientierungen schichtweise und belastungsgerecht aufbauen und lokale Verstärkungen erzielen. Darüber hinaus können mit den neuen thermoplastischen Faserverbunden im Vergleich zu duroplastischen Faser-Kunststoff-Verbunden (FKV) wirtschaftliche Verbindungstechniken, z. B. Ultraschallreibschweißen, Warmbohren angewendet werden.

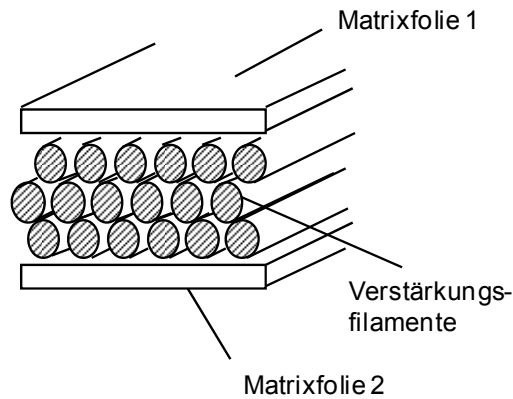


Abb. 1: Neue thermoplastische Prepregs (Ce-Preg[®]); rechts: Aufbau der Faserbändchen; links: UD-Faserbändchen und Mehrschichtverbund

2 Fertigung vorimprägnierter thermoplastischer UD-Faserhalbzeuge mittels prototypischer UD-Faserfolien-Anlage

Die großserientaugliche Herstellung von unidirektionalen Folien-Faser-Bändchen stellt den Ausgangspunkt in der Prozesskette der Technologie von Mehrschichtverbunden mit thermoplastischen UD-GFK- und UD-CFK-Halbzeugen dar. In diesem Ausgangsprozess werden bereits die wesentlichen, im späteren Verbund resultierenden Werkstoff- und Struktureigenschaften grundlegend beeinflusst und eingestellt. Die Ausprägung definierter Faserverbundeigenschaften ergibt sich vornehmlich aus der Wirkung der Verstärkungseigenschaften der Faser, dem Matrixverhalten des Kunststoffes, der Verbundcharakteristik und der Faser-Matrix-Kompatibilität [2].

Die Herstellung der thermoplastisch vorimprägnierten UD-Faserhalbzeuge mit Hilfe der prototypischen UD-Faserfolien-Anlage auf Basis des kontinuierlichen Verfahrens der Faser-Bändchen-Technologie (Abb. 2) erlaubt die direkte Verarbeitung von Faserfilamenten und Kunststofffolien in einem faserschonenden Prozessschritt zu einem Verbundhalbzeug. Dabei liegen die Verstärkungsfasern exakt gestreckt, parallel und schädigungsfrei zwischen den Thermoplastfolien. Über die sehr dünne Ausbreitung der Verstärkungsfasern kann zudem ein hoher Imprägnierungsgrad eingestellt werden.

Das Prinzip der Technologie für die Ce-Preg[®]-Herstellung ist in Abb. 2 dargestellt. Die Faser-Rovings werden in einem Gatter aufgenommen, das über die Abarbeitung jedes Rovings eine konstante Fadenspannung garantiert. Mittels Teilungsstäben und der entsprechender Einstellung an der Ausbreitstelle lässt sich das gewünschte Flächengewicht in Abhängigkeit der Rovingvorlage in einem großen Bereich realisieren. Entsprechend des Faservolumengehalts wird die Foliendicke dimensioniert. Die ausgebreiteten UD-Faserbänder werden anschließend zwischen zwei Folien thermisch konsolidiert. Der Faser-Folienverbund wird anschließend abgekühlt und aufgewickelt. Die Einzelfilamente sind in den bis zu 600 mm breiten thermoplastischen Prepregs zwischen den Folien eingebettet. Dies hat den Vorteil, dass es in alle weiteren Verarbeitungsschritten zu keinen Filamentbrüchen mehr kommen kann.

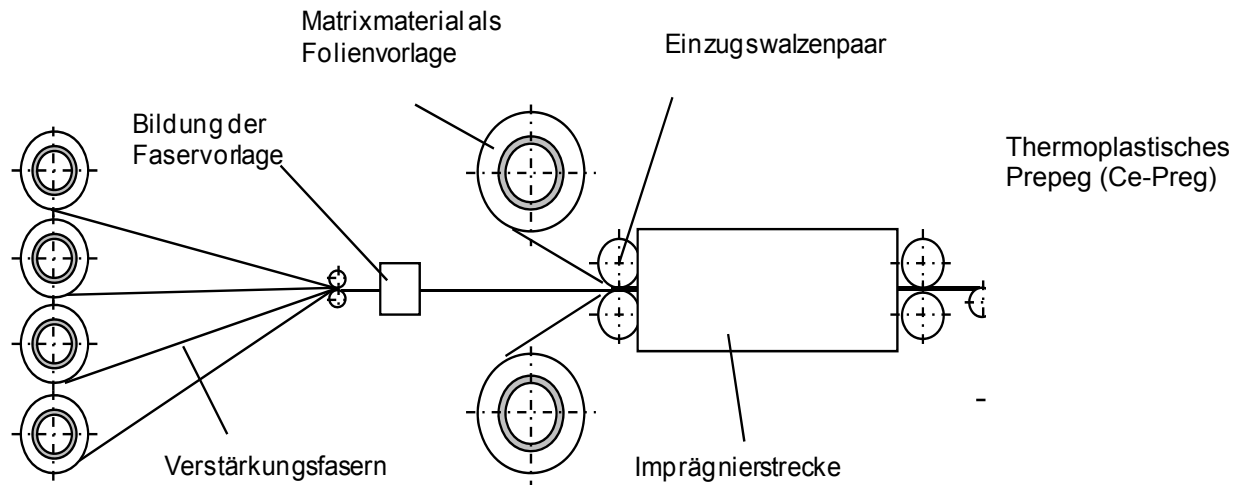


Abb. 2: Technologie der Folien-Faser-Bändchenherstellung

Abbildung 3 zeigt den Aufbau der Prototypanlage. Die Länge der Anlage beträgt je nach Spezifikation 15 bis 20 m.

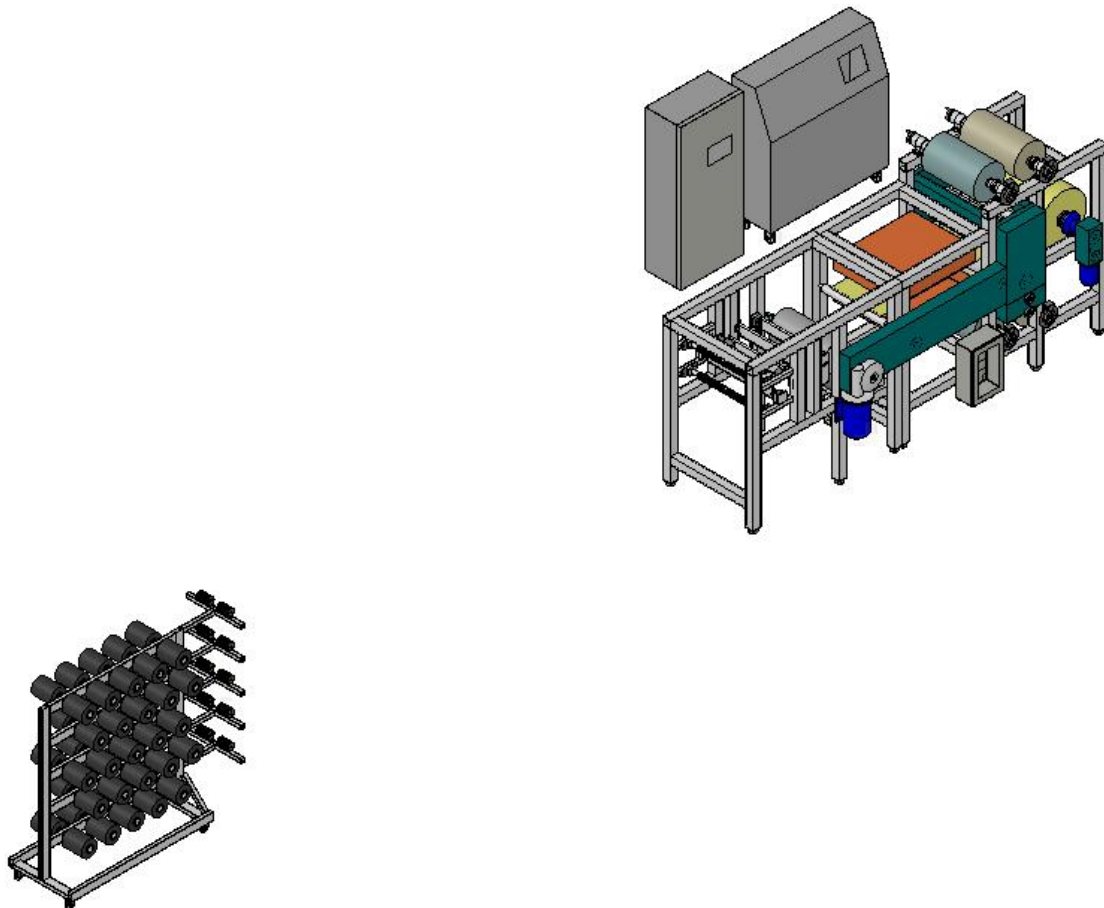


Abb. 3: Prototyp der Anlage für die Folien-Faser-Bändchenherstellung

Der bisher nur für Glasfaser-Folien-Verbunde entwickelte Herstellungsprozess kann auf die Verarbeitung von Kohlenstofffasern übertragen werden. Neben der Kapselung aller elektronischen Anlagenbereiche sind vor allem die faserführenden Wirkstellen auf die im Vergleich zu Glasfasern wesentlich festeren und spröderen Kohlenstofffasern auszulegen. Zudem ist eine gute flächige Ausbreitung der Einzelfilamente mit wenigen Filamentlagen umzusetzen, um kurze Fließwege der

Kunststoffschmelze beim Konsolidierungsprozess zu gewährleisten. Ein weiterer Schwerpunkt der Forschungsarbeiten an der Professur SLK in Zusammenarbeit mit dem An-Institut ist die Abstimmung und Anpassung der Faser- und Matrixmaterialien. Durch Einsatz von Fasern mit auf die Matrix eingestellter Oberflächenschicht sollen sowohl hohe mechanische Eigenschaften als auch eine reproduzierbare Verarbeitung erzielt werden. Hierzu sind verschiedene Werkstoffkombinationen auf ihre Verarbeitbarkeit und resultierenden Verbundeigenschaften zu testen und zu bewerten.

Die Prozessführung des Imprägniervorganges kann mit der UD-Faserfolien-Anlage exakt eingestellt werden. Dabei werden die Zeiten der Erwärmung, Imprägnierung sowie Solidifikation für einen hohen Imprägniergrad bei geringer Belastung der Komponenten für unterschiedliche eingesetzte Polymere optimiert, wie in Abb. 4 exemplarisch dargestellt. Die prototypische UD-Faserfolien-Anlage zur Herstellung der neuen Faser-Kunststoff-Halbzeuge erfüllt die o. a. Anforderungen hinsichtlich dem Einsatz der ausgewählten Verbundkomponenten (GF, CF-HT, CF-IM, PP, PA- und PEEK-Folien). Die Kennwerte der ersten hergestellten Mehrschichtverbunde übersteigen die mechanischen Eigenschaften der vergleichbaren marktüblichen Halbzeuge um ca. 20 % [3]. Die geschätzten Herstellungskosten werden dabei um ca. 25 % reduziert.

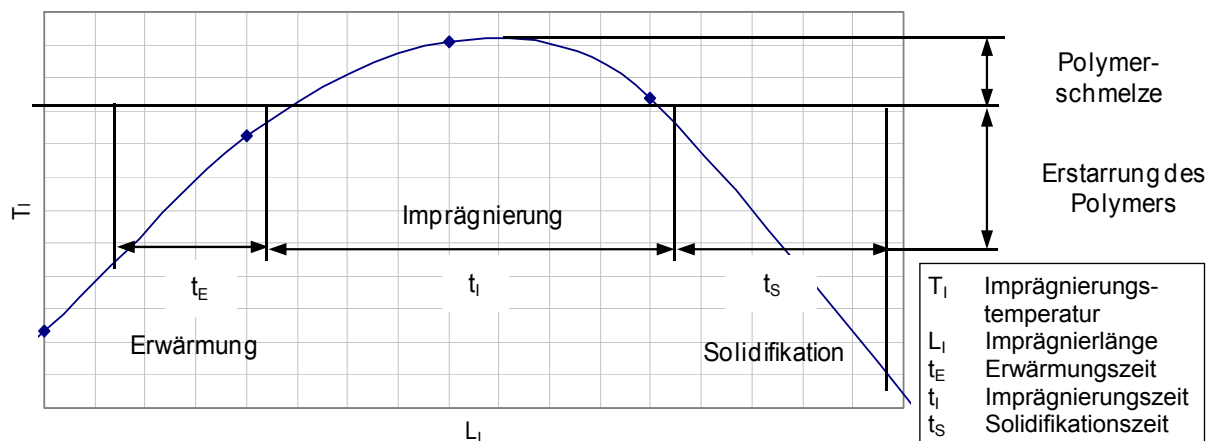


Abb. 4: Prozessführung zur Imprägnierung der gestreckten Faserbänder

3 Werkstoffmechanische Charakterisierung der Ce-Pregs®

Faserverbundstrukturen weisen aufgrund ihrer Anisotropie und Heterogenität ein komplexes werkstoffmechanisches Verhalten auf. Um den Faserverbund an die herrschenden mechanischen und prozessbedingten Beanspruchungsregime anzupassen, wurden die unidirektionalen Faser-Folien-Bändchen zunächst mit Hilfe überschlägiger Berechnungen ausgelegt. Die hierfür notwendigen anisotropen Materialkennwerte sind in werkstoffangepassten Belastungsversuchen ermittelt worden. Die Basiskennwerte, die den Ausgangspunkt für weitere Berechnungen bilden, konnten ebenfalls vergleichend mit Hilfe der gängigen mikromechanischen Näherungsformeln berechnet werden. Von besonderem Interesse bei den Untersuchungen waren dabei die Eigenschaften in Richtung der Werkstoffhauptachsen in Bezug auf Zug-, Druck- und Schubbeanspruchung, wobei hier die übliche Homogenisierungstechnik zur Anwendung kam.

Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen in Abb. 5 und 6 bestätigen die hohen Festig- und Steifigkeitswerte im Vergleich zu thermoplastischen Hybridhalbzeugen. Erste Fertigungsversuche zur Einbettung von Hochfesten-Kohlenstofffaser (CF-HTS) führten bereits auf Zugfestigkeiten von ca. 800 MPa und einen Elastizitätsmodul in Faserlängsrichtung von ca. 85 GPa. In Abb. 4 und 5 sind die experimentell und theoretisch ermittelten Kennwerte sowie Werte aus Datenblättern handelsüblicher thermoplastischer Gewebe dargestellt. Die Ergebnisse zeigen die hohen spezifischen Eigenschaften von Ce-Preg®.

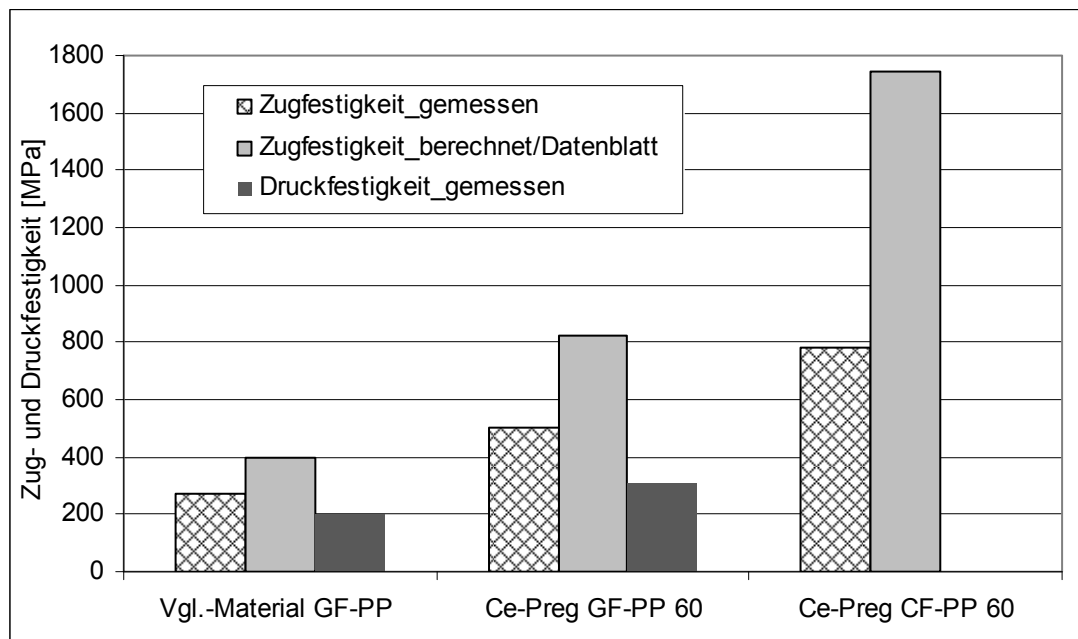


Abb. 5: Zugfestigkeit von thermoplastischen Faserverbunden im Vergleich

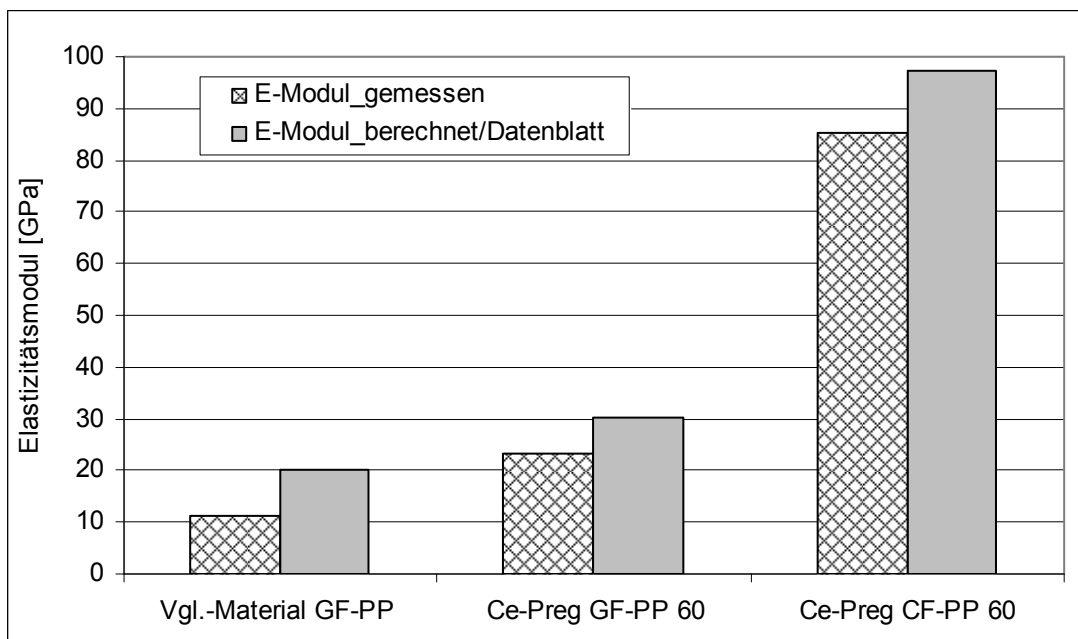


Abb. 6: Elastizitätsmodul von thermoplastischen Faserverbunden im Vergleich

4 Herstellung multidirektionaler Gelege aus thermoplastischen Prepregs

Für die Herstellung von Faserverbundbauteilen mit gerichteter Faserablage kommen überwiegend textile Verstärkungsstrukturen wie Gewebe oder Gelege zum Einsatz. Gelege werden in unidirektionalen oder multidirektionalen Faserausrichtungen verwendet. Multidirektionale Gelegestrukturen bieten dabei den Vorteil der Vorkonfektionierung der Faserablage in unterschiedlichen, vordefinierten Einzellagenwinkeln.

Bei einem neuen Faltwickel-Verfahren stand die Entwicklung eines textilen Verfahrens zur Herstellung multidirektionaler Gelegebahnen im Vordergrund der konstruktiv-technologischen Arbeiten [4]. Bei diesem Verfahren soll in einem kontinuierlichen Gelegebildungsprozess eine oder mehrere, in einem Legewinkel α orientierte Materialbahnen um mindestens eine zweite, in Produktionsrichtung, der 0° -Richtung, orientierten und kontinuierlich transportierten Materialbahn (0° -Bahn) gewickelt werden. Die α -Bahn wird dabei vor dem Ablegen auf der 0° -Bahn um deren Bahnkanten gefaltet, auf der 0° -Bahn abgelegt und zwischen einem Druckwalzenpaar mittels Druck und Wärme durch einen chemischen Binder fixiert. Das entstandene Multidirektionalgelege hat damit einen Lagenaufbau von $[\pm\alpha/0/\pm\alpha]$.

Das Faltwickeln der einlaufenden α -Bahnen um die Bahnkanten der in 0° -Richtung orientierten Ce-Preg[®]-Materialbahn erfolgt dabei durch ein Führungssystem, das die Faltung der α -Bahn, die Führung der gefalteten Materialkante bei Rotation der 0° -Bahn um die Rotationsachse des Systems sowie die Transportfunktion während des Transports des unverfestigten Geleges zur Verfestigung ausführt. Dieses Führungssystem ist konstruktiv als außenliegendes Faltwickelsystem (FWS) ausgeführt und ersetzt die bisher bei Wickelverfahren verwendeten innenliegenden Hilfseinrichtungen zur Gelegeablage. Das Ablegen der $\pm\alpha$ -Lagen auf der 0° -Lage erfolgt in einem definierten, technologisch reproduzierbaren Prozess (Abb. 7).

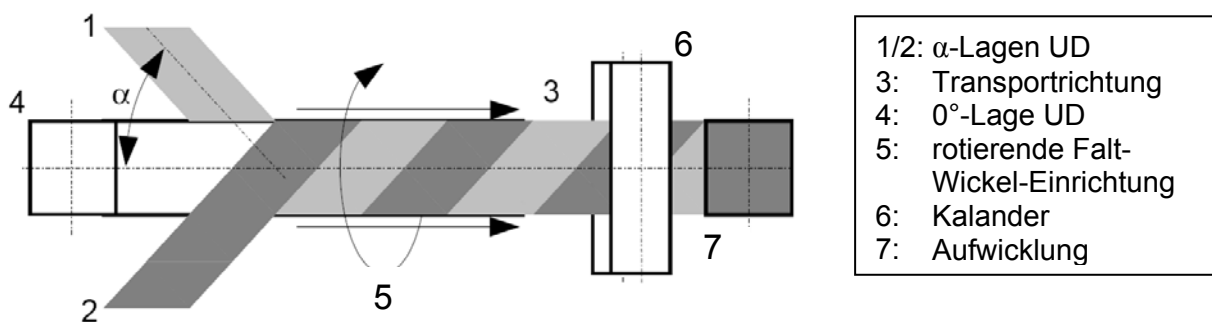


Abb. 7: Prinzip des Faltwickelns

5 Zusammenfassung

Das neuartige Faltwickelsystem gewährleistet mit den neuen thermoplastischen Prepregs (Ce-Preg[®]) die Herstellung des angestrebten Gelegeaufbaus in der geforderten hohen Qualität bezüglich Schichtdicke, Lagenaufbau, Einhaltung der Winkellagen, Flächengewicht und Oberflächenqualität. Für die Gelegeherstellung ergeben sich völlig neue Aspekte sowohl im Hinblick auf Produktivität und Gelegequalität, als auch den möglichen Aufbau der Gelegestrukturen mit verschiedensten Materialien und Lagewinkeln der Einzelfaserlagen.

Literatur

- [1] Kroll, L.: Textilverstärkte Leichtbaustrukturen und -systeme. mtex, 2. Internationale Fachmesse & Symposium für Textilien und Verbundstoffe im Fahrzeugbau, Chemnitz, 2008.
- [2] Ermanni, P.: Die Verarbeitung von FV-Thermoplasten. Composites Technologien, Zentrum für Strukturtechnologien, ETH Zürich, 2007.
- [3] Schürmann, H.; Fleischhauer, M.: Qualifizierung und Erprobung eines thermoplastischen Matrixsystems für Strukturbauteile in der Verkehrstechnik. 11. Nationales Symposium SAMPE Deutschland e.V. 2005.
- [4] Heinrich, H.-J.; Grünert, J.; Zeidler, G.: "Neues Verfahren zur Herstellung von multidirektionalen Gelegen", Technische Textilien, 3/2008, S.128-129