

Anwendungen von Faserverbundwerkstoffen in der Verkehrstechnik

Lars Herbeck, Axel S. Herrmann, Ulrich Riedel, Markus Kleineberg
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Strukturmechanik, Braunschweig

1 Technologietransfer

Ausgehend von zahlreichen Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt haben sich Faserverbundwerkstoffe (FVW) auch in anderen Bereichen der Technik etabliert und gewinnen weiter an Bedeutung. Dies ist zurückzuführen auf ihr hervorragendes Leichtbaupotential bedingt durch hohe spezifische Festigkeit und Steifigkeit, gute Korrosions- und Medienbeständigkeit und hohe Dämpfung sowie die Konstruierbarkeit von richtungsabhängigen Eigenschaften durch gezielte Orientierung der Fasern in Richtung der zu erwartenden Beanspruchungen.

Dieses Eigenschaftsprofil macht die Faserverbunde zu den Werkstoffen der Wahl für Anwendungen im Bereich der Verkehrstechnik, da sich hier die erzielbaren Masseinsparungen ganz entscheidend zugunsten von Ökonomie und Ökologie auswirken, z. B. durch Verringerung des Betriebstoffverbrauchs, Erhöhung der Nutzlast, Vergrößerung der Geschwindigkeit oder Reichweite.

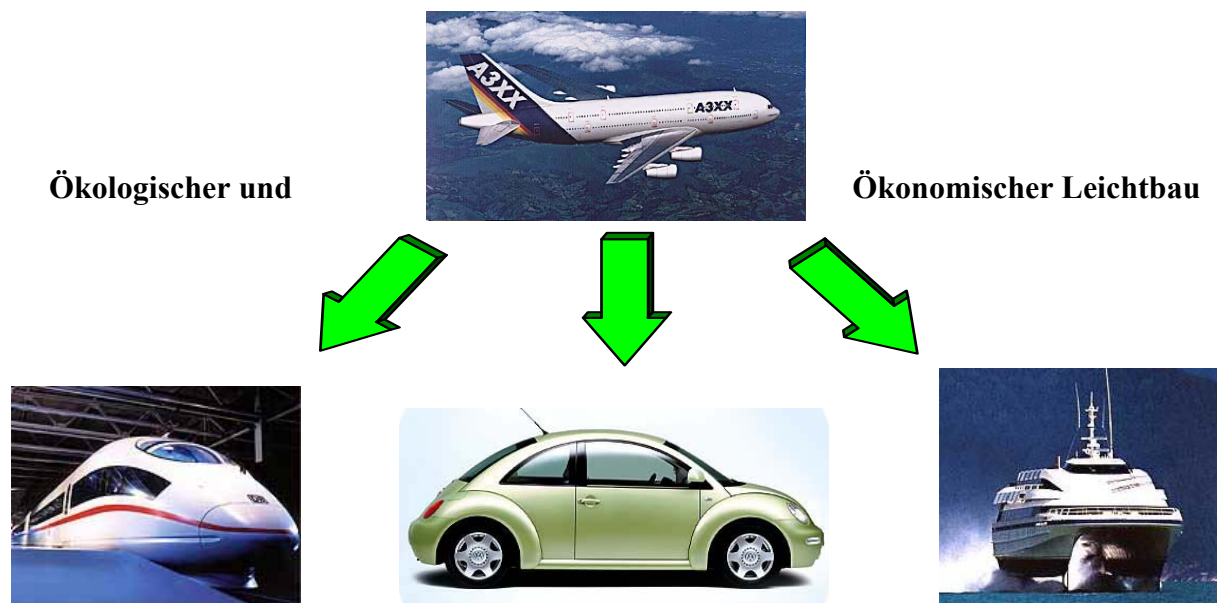


Abbildung 1: Technologietransfer in alle Bereiche der Verkehrstechnik

Dieses Konzept des Stoffleichtbaus, d. h. die Verwendung von Werkstoffen geringer Dichte und hohen spezifischen Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften, wird in der Luft- und Raumfahrt seit jeher angewandt und erfolgreich mit den Prinzipien des Formleichtbaus, z. B. versteifte Schalen- oder Sandwichbauweise, und mit Rechenverfahren zur optimalen

Ausnutzung der Leichtbaupotentiale kombiniert. Hier verfügt das Institut für Strukturmechanik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig über langjährige Erfahrung und umfangreiches know how, das für den Wissens- und Technologietransfer in alle Bereiche der Verkehrstechnik bereitsteht und genutzt werden kann.

2 Umsetzungsbeispiele für FVW in der Verkehrstechnik

Das Leistungsspektrum des Instituts für Strukturmechanik bei der Realisierung innovativer Faserverbundanwendungen umfaßt dabei alle Bereiche von der Idee über Konstruktion und Berechnung bis zum fertigen Prototypen. Dazu ist neben einer qualifizierten rechnergestützten Strukturanalyse ein voll ausgestattetes Prüffeld für statische und dynamische Material- und Bauteiluntersuchungen vorhanden. Die wichtigsten Fertigungstechnologien, z. B. Wickeltechnik, Prepregverarbeitung in Vakuum- und Autoklavtechnologie, Preßtechnik und hochentwickelte RTM-Verfahren, werden angewendet und ständig weiterentwickelt.

Schiffbau

Ausgehend von diesem know how im Leichtbau mit Faserverbunden gibt es bereits erfolgreiche Aktivitäten auf dem Verkehrssektor. So werden in Zusammenarbeit mit Schiffswerften und Klassifikationsgesellschaften im Rahmen eines BMFT-Vorhabens „Schnelle und unkonventionelle Schiffe“ derzeit dynamische Strukturuntersuchungen an GFK-Sandwichplatten durchgeführt, um diese für den Einsatz in Hochgeschwindigkeits-SES- (surface effect ships)-Schiffen zu qualifizieren. Die Abbildung 1 zeigt ganz rechts eine solche SES-Hochgeschwindigkeitsfähre (bis zu 90 km/h) in Faserverbundbauweise. Es handelt sich dabei um ein Verkehrskonzept, das durch den Einsatz der Faserverbundtechnologie überhaupt erst sinnvoll wird.

In mehreren Kooperationen mit der Werftindustrie wurde überdies bewiesen, wie sinnvoll der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen im Schiffbau, z. B. für Rumpfstrukturen, Aufbauten, Masten etc. sein kann. Im einzelnen handelt es sich dabei um Beratung bei Entwurf und Konstruktion, Material- und Bauteilprüfungen sowie Expertisen zu Schadensfällen an schiffbaulichen Leichtbaustrukturen aus Faserverbundwerkstoffen.

Automobilbau

Auch in der Automobilbranche wird der Leichtbau zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen, denn Energieeinsparungen sind zur Minderung des CO₂-Ausstoßes zwingend erforderlich. Verbesserungen in der Motoren- und Antriebstechnik sind vor allem durch Leichtbauweisen zu erreichen. In enger Zusammenarbeit mit der Automobilindustrie wird deshalb am Institut für Strukturmechanik die Substitution metallischer Komponenten durch Faserverbundbauteile vorangetrieben. Dies betrifft insbesondere Bauteile wie Verkleidungselemente aber auch Motorträger, Kardanwellen, Schraubenfedern etc., die erfolgreich in Faserverbundbauweise umgesetzt wurden und werden. Masseeinsparungen bei bewegten Teilen ermöglichen darüber hinaus meist weitere Einsparungen, da Lager und tragende Elemente durch die verringerten dynamischen Beanspruchungen ebenfalls leichter gestaltet werden können.

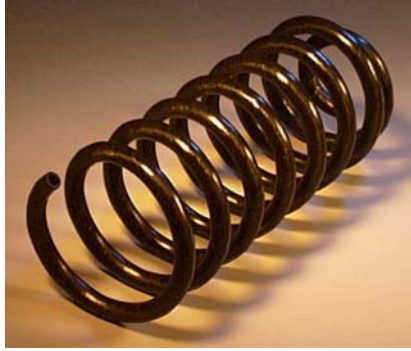
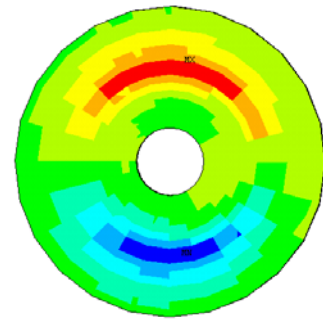


Abbildung 2: Gebaute CFK Schraubenfeder



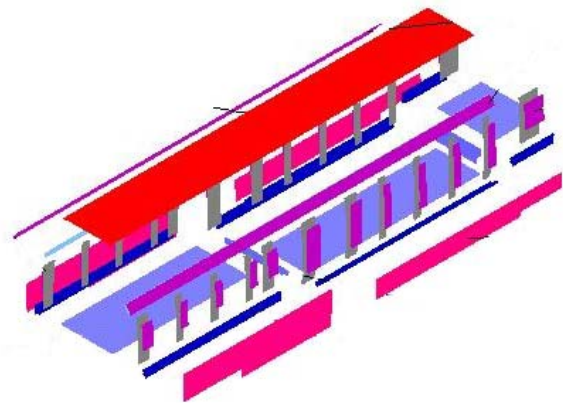
CFK Schraubenfeder FE Modellierung

Schienenfahrzeugbau

Die bei Faserverbunden vorherrschende Integralbauweise und Funktionsintegration wie z. B. integrierte Flanschkupplungen an einer Kardanwelle, die den Winkelversatz ausgleichen, bringen zusätzliche Vorteile durch Teile-, Massen- und nicht zuletzt Kostenreduktion. Ähnlich wie für schnelle und unkonventionelle Schiffe sowie in der Automobilindustrie gilt auch im Schienenfahrzeugbau das Leichtbauprinzip als Grundlage für zukünftige Weiterentwicklungen und Verbesserungen. Andernfalls wären immer höhere Beschleunigungen z. B. beim ICE und seinen Nachfolgeentwicklungen gar nicht realisierbar oder wirtschaftlich vertretbar. Aufgrund ihres Eigenschaftsprofils drängt sich auch hier der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen geradezu auf. So ist es beispielsweise bei der Realisierung einer Hochgeschwindigkeitslokomotive nur durch die Verwendung einer Faserverbund-Sandwich-Konstruktion für die Führerstände gelungen, neben den notwendigen Gewichtseinsparungen auch die Anforderungen hinsichtlich der Impactbeanspruchbarkeit zu erfüllen. Diese ist vereinfacht ausgedrückt ein Maß für den Widerstandsfähigkeit, den eine Struktur plötzlichen Stoßbeanspruchungen entgegensetzt, wie sie bei Kollisionen mit Vögeln, bei Steinschlag oder Unfällen ganz allgemein auftreten.



Abbildung 3: Beispiel einer ICE-Seitenwand aus CFK



Modul-Bauweise Quelle (Duewag AG)

Das bereits geschilderte Prinzip der Integralbauweise mit einer hohen Funktionsintegration läßt sich im Schienenfahrzeugbau besonders erfolgreich bei der Konstruktion von Wagenkästen bzw. Waggonseitenwänden, -dächern und ähnlichen Großbauteilen von komplexer Gestalt anwenden und verspricht weitere bauweisen- und werkstoffbedingte

Masseneinsparungen. Damit wird eine Entwicklung fortgesetzt, die ausgehend von beblechten Stahlrahmenkonstruktionen über ebensolche Leichtmetallbauweisen mit zunehmendem Einsatz von Stangpreßprofilen zu einem Übergang auf eine komplette Faserverbundbauweise mit hohem Integrationsgrad führen wird. Die Abbildung 3 zeigt die Umsetzung dieser Idee.

3 Kostengünstige Fertigungsverfahren

Die überwiegend in der Luft- und Raumfahrt angesiedelte, industrielle Fertigung von hochwertigen Faserverbundbauteilen erfolgt zur Zeit im sehr kostenintensiven Prepregverfahren da der hohe geforderte Qualitätsstandard bisher nicht anders eingehalten werden konnte. Doch auch in der Luft- und Raumfahrt soll für zukünftige Leichtbaustrukturen neben einer Gewichtsreduzierung um 30 % auch eine Kostenreduktion von 40% erreicht werden, was aus heutiger Sicht ein konsequentes Umdenken bei der Fertigung notwendig macht. Als Folge des gestiegenen Drucks auf die Fertigungskosten werden in jüngster Zeit verstärkt Verfahren untersucht, die durch günstigere Halbzeuge eine Reduktion der Fertigungskosten ermöglichen. Der Kostenvorteil dieser sogenannten Naßverfahren, die auf der Durchtränkung einer trockenen Faserpreform mit niedrigviskosem Harz basieren konnte jedoch bisher nicht ohne eine deutliche Verschlechterung der Bauteilqualität erzielt werden.

Ziel der am Institut für Strukturmechanik durchgeführten Verfahrensentwicklung war konsequenter Weise die Entwicklung von Fertigungsverfahren, die aller höchste Faserverbundqualität mit deutlich reduzierten Kosten verbinden, da dieses auch einer Ausweitung der Faserverbundtechnologie auf andere Bereiche der Verkehrstechnik zu Gute kommt.

Das Entwicklungsergebnis ist ein als Single-Line Injection (SLI) bezeichnetes Verfahren, welches eine gesteuerte und vordefinierte Durchtränkung des Fasermaterials ermöglicht und gleichzeitig die notwendige Kompaktierung des Laminates während der Aushärtung beinhaltet.

Die in diesem Verfahren hergestellten Faserverbundbauteile zeichnen sich durch ein porenfreies Laminat aus, welches in dieser Beziehung sogar die Qualität der Prepreg-Laminat übertrifft. Als Folge dieser Porenfreiheit sind auch die erzielbaren Bauteiloberflächen von allerhöchster Qualität, so daß auch ein Einsatz als direktes Sichtlaminat möglich ist.

Der für die Belastbarkeit der Bauteile entscheidende Anteil der Verstärkungsfasern ist ebenfalls optimal und kann durch die Variation der Prozeßparameter direkt eingestellt werden. Über den Erwartungen lag die Anpassungsfähigkeit des Verfahrens an unterschiedliche Harzsysteme, wodurch das mögliche Anwendungsspektrum noch größer wird. Erfolgreich nachgewiesen wurde bisher die Infiltration mit "LOW COST" Harzsystemem aus dem Bereich der Polyester und Vinylester sowie die Verarbeitung hochwertiger Epoxidharze. Bei Spezialharzen aus dem Bereich der Hochtemperatur und des Brandschutzes konnten in ersten Versuchen ebenfalls über den Erwartungen liegende Ergebnisse erzielt werden. Ein für das verarbeitende Personal wesentlicher Vorteil ist die systembedingte, konsequente Abschottung der zumeist gesundheitsgefährdenden Harzsystemkomponenten während des Fertigungsprozesses. Die Fertigung ist so konzipiert,

daß erst das ausgehärtete und damit gänzlich unbedenkliche Bauteil nach dem Entformen in Kontakt mit den Mitarbeitern gerät.

Der auf der Nutzung eines Autoklaven basierende Fertigungsprozeß ist für die flexible Fertigung von Kleinserien- und Prototypenbauteilen mit einer jährlich Stückzahl von ca. 500 Stück optimiert, da sich hier ein großes Marktpotential im Bereich Flugzeugbau, Eisenbahnbau, und Fahrzeugprototypenbau entwickelt.

4 Bio-Verbund-Werkstoffe

Wie bereits eingehend erläutert stellt der Leichtbau im Bereich der Verkehrstechnik eine der grundlegenden Voraussetzungen dar, um die Mobilität als entscheidenden Faktor für Wirtschaft und Gesellschaft auch in Zukunft unter verschärften ökonomischen und ökologischen Bedingungen zu erhalten. Angesichts immer knapper werdender Ressourcen und zunehmender Umweltbelastungen müssen über Energieeinspareffekte durch Leichtbauweisen hinaus jedoch zunehmend auch Aspekte der Rohstoffgewinnung und stofflichen Verwertung nach dem Ende von Produktlebenszeiten betrachtet werden. Bei der Verwendung konventioneller Kunststoffe auf petrochemischer Basis sind Produktion, Nutzung und Entsorgung unter dem Gesichtspunkt der Umweltverträglichkeit oftmals sehr problematisch und mit erheblichem technischen Aufwand verbunden.

Zur Lösung dieser Problematik leistet das Institut für Strukturmechanik der DLR in Braunschweig einen entscheidenden Beitrag mit der Entwicklung von Faserverbundwerkstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe (kurz: BioVerbunde). Als Polymere eignen sich sowohl Duroplaste als auch Thermoplaste. Werden Pflanzenfasern wie z. B. Flachs, Hanf oder Ramie (Zellulosefasern) in polymere Matrices eingebettet, so können Faserverbunde hergestellt werden, die durch rohstoffliches Recycling (z. B. durch Pyrolyse zu Methanol), durch „CO₂-neutrale“ thermische Verwertung oder u. U. durch Kompostierung umweltverträglich im Stoffkreislauf geführt werden können (Abbildung 4).

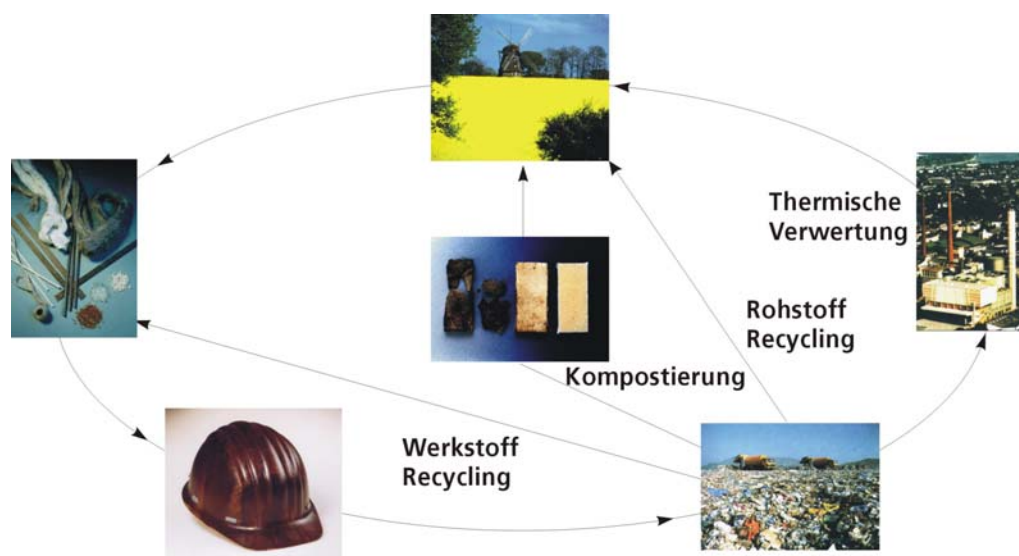


Abbildung 4: Kreislauf der naturfaserverstärkten Polymere

Beim Vergleich der Biegeeigenschaften ausgewählter BioVerbunde mit glasfaserverstärkten Verbunden (GFK) zeigt sich deutlich, dass bei gleichem Faservolumengehalt die Eigenschaften von GFK bereits jetzt annähernd erreicht werden können. Wird berücksichtigt, dass die Dichten der Naturfasern mit ca. 1500 kg/m^3 deutlich unterhalb der der Glasfasern mit ca. 2500 kg/m^3 liegen, so kann bei gleichem Bauteilgewicht ein höherer Faservolumenanteil bei den BioVerbunden eingestellt werden, der eine größere Verstärkung bewirkt.



Abbildung 5: Türseitenverkleidung und Luftsäulenverkleidung des LIREX aus Bio-Verbund

Demnach können die Bioverbunde in geeigneten Anwendungsfällen die bewährten Glasfaserverbundwerkstoffe ersetzen. Zu denken ist hier insbesondere an Verkleidungselemente in Fahrzeugen aber auch an tragende Strukturen wie Arm- und/oder Rückenlehnen für Fahrgastsitze, Ablagefächer, Armaturen Bretter, Möbel und ähnliches (Realisierungsbeispiele Türseitenverkleidung und Luftsäulenverkleidung s. Abbildung 5)

In der Automobilindustrie werden z. T. bereits naturfaserverstärkte Kunststoffe z. B. für Hutablagen verwendet. Jedoch sind hierbei in der Regel die Fasern in Matrices aus konventionellen Kunststoffen wie Polypropylen oder Epoxidharz eingebettet, so dass derartige Verbundwerkstoffe zur Zeit noch keinen Beitrag zu den in der EU-Altautorichtlinie geforderten Recyclingquoten leisten.

Grundsätzlich können für die Herstellung von Bauteilen aus BioVerbunden die bewährten Fertigungstechnologien für Faserverbunde angewendet werden. Insbesondere die Presstechnik sowie Laminier- und Wickeltechnologien werden im Institut für Strukturmechanik im Hinblick auf die Verarbeitung von BioVerbunden untersucht, weiterentwickelt und optimiert. Mit den gewonnenen Erfahrungen lassen sich bereits auch sehr komplexe Bauteile fertigen. Zur Zeit werden in Zusammenarbeit mit Industriepartnern Anwendungen für die BioVerbunde u. a. auch im Automobilbereich für Verkleidungselemente etc. realisiert und erprobt.

5 Zusammenfassung

Diese kurze Darstellung kann naturgemäß nur einen kleinen Überblick über die zahlreichen Aktivitäten in der Faserverbundtechnologie unter dem Aspekt der Verkehrstechnik vermitteln. Aber sie macht deutlich, daß sich das Institut für Strukturmechanik der DLR in Braunschweig ausgehend von Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt seit langen intensiv

mit Leichtbauweisen befaßt und daraus ein beträchtliches verkehrsspezifisches know how erworben hat. Ziel ist es, dieses Wissen für alle Bereiche der Verkehrstechnik nutzbar zu machen und mit innovativen Faserverbundanwendungen ein wichtigen Beitrag für den Erhalt und die Weiterentwicklung der Mobilität unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten zu leisten.