



Ulrich Riedel\*  
(Vortragender)  
Jörg Nickel  
Maik Wonneberger

## **BioVerbunde im Schienenfahrzeugbau**

Biocomposites in rail vehicle applications

### Charakterisierung des Referats

Der Beitrag beschreibt den aktuellen Stand von naturfaserverstärkten Polymeren im Schienenfahrzeugbau.

### Characterization of the paper

The paper represents the state-of-the-art of natural fibre reinforced plastics in rail vehicle applications

## **BioVerbunde im Schienenfahrzeugbau**

Angesichts immer knapper werdender Ressourcen und zunehmender Umweltbelastungen müssen über Energieeinspareffekte durch Leichtbauweisen hinaus zunehmend auch Aspekte der Rohstoffgewinnung und stofflichen Verwertung nach dem Ende von Produktlebenszeiten betrachtet werden. Bei der Verwendung konventioneller Kunststoffe und Faserverbunde sind Produktion, Nutzung und Entsorgung unter dem Gesichtspunkt der Umweltverträglichkeit oftmals sehr problematisch und mit erheblichem technischen Aufwand verbunden.

Einen Lösungsansatz bieten hier naturfaserverstärkte Polymere. Als Polymere eignen sich sowohl Duroplaste als auch Thermoplaste auf Basis nachwachsender Rohstoffe. Werden Pflanzenfasern wie z. B. Flachs, Hanf oder Ramie in biopolymere Matrices eingebettet, so können Faserverbunde hergestellt werden, die durch rohstoffliches Recycling oder durch thermische Verwertung umweltverträglich im Stoffkreislauf geführt werden können.

Gerade naturfaserverstärkte Kunststoffe haben sich im Automobilbau fest etabliert. Ihre Vorteile bei der Verarbeitung, die geringen Dichten und andere günstige Eigenschaften können auch im Schienenfahrzeugbau genutzt werden. Hierzu ist es notwendig, die brennbaren Naturfasern und Polymere flammhemmend so auszurüsten, dass sie die gültigen Normen erfüllen. Mit der Brandschutzzertifizierung wurde der Eintritt dieser Werkstoffe in den Schienenfahrzeugbau ermöglicht. Um ihren industriellen Einsatz voranzutreiben, waren und sind weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich, die sich mit der Anpassung der Ausgangskomponenten für die vorhandenen Fertigungsverfahren beschäftigen. Der Vortrag stellt die aktuellen Einsatzmöglichkeiten dar.

## **Biocomposites in rail vehicle applications**

In view of the increasing shortage of resources as well as growing ecological damage, the aspects of the exploitation of raw materials and the recovery after the end of the lifetime of products have to increasingly be taken into consideration. In addition, the aspect of saving energy by means of lightweight constructions must also be regarded. The use of conventional, i.e. petrochemically-based plastics and fibre-reinforced polymers, the production process, as well as usage and recovery are often very difficult and demand considerable technical resources.

An answer to solve all these problems may be provided by natural fibre-reinforced biopolymers based upon renewable resources. By embedding plant fibres, e.g. from flax, hemp, or ramie into biopolymeric (both thermosettings and thermoplastics), fibre-reinforced polymers are obtained that can be integrated into natural cycles in an environmentally-friendly manner, e.g. by classic recycling or by CO<sub>2</sub>-neutral incineration.

Natural fiber reinforced composites have definitively been established in the automobile industry. Their advantages in processing, their low densities and other favourable qualities can also be used in rail vehicle engineering. In order to fulfill the requirements of valid standards therefore it is necessary to reduce the flammability of natural fibers and polymers. Obtaining the fire protection certification was the admission of these materials for rail vehicle engineering. In order to further propagate the industrial usage research and development have been and are still required that deal with the adaptation of raw materials to be used with established manufacturing methods. The lecture represents the state-of-the-art in rail vehicle applications.

## 1 Einleitung

Faserverbundwerkstoffe verfügen über ein hervorragendes Leichtbaupotential bedingt 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 Ökologie und Ökonomie auswirken, z. B. durch Erhöhung der Nutzlast, Verringerung des Betriebsstoffverbrauchs oder höhere Reichweite.

Angesichts immer knapper werdender Ressourcen und zunehmender Umweltbelastungen müssen über Energieeinspareffekte durch Leichtbauweisen hinaus zunehmend auch Aspekte der Rohstoffgewinnung und stofflichen Verwertung nach dem Ende von Produktlebenszeiten betrachtet werden. Bei der Verwendung konventioneller Kunststoffe und Faserverbunde sind Produktion, Nutzung und Entsorgung unter dem Gesichtspunkt der Umweltverträglichkeit oftmals sehr problematisch und mit erheblichem technischen Aufwand verbunden.

Einen Lösungsansatz bieten hier naturfaserverstärkte Polymere. Als Polymere eignen sich sowohl Duroplaste als auch Thermoplaste, unabhängig von ihrer Rohstoffbasis, d. h. sie können petrostämmiger Natur sein aber auch aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. 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 Vergasung zu Methanol), durch thermische Verwertung oder u. U. durch Kompostierung umweltverträglich im Stoffkreislauf geführt werden können (Abb. 1-1).

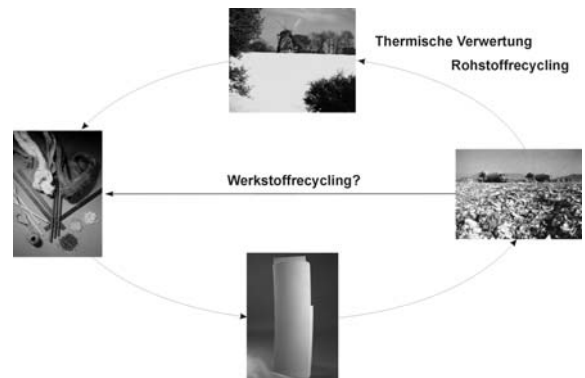


Abb. 1-1: Kreislauf der naturfaserverstärkten Polymere

## 2 Was können Naturfasern leisten?

Gerade Naturfasern eignen sich hervorragend als Verstärkung für Verbunde, da sie eine hohe Zugfestigkeit und Steifigkeit aufweisen, während die Matrix in der Regel ein zeit- und temperaturabhängiges Materialverhalten aufweist sowie eine deutlich geringere Zugfestigkeit und eine vergleichsweise höhere Dehnung besitzt. Das bedeutet, dass die mechanischen Eigenschaften der Faser das Steifigkeits- und Festigkeitsverhalten des Verbundes entscheidend prägen.

Zur Beschreibung dieses Leichtbaupotentials werden bei der Verwendung von Naturfasern in Verbundwerkstoffen deren spezifische mechanische Eigenschaften benötigt. Im folgenden Diagramm werden die absoluten und die spezifischen Festigkeiten der technisch interessantesten pflanzlichen Naturfasern mit denen von Glasfasern verglichen.

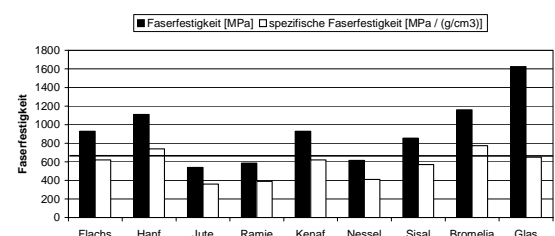


Abb. 2-1: Naturfasern im Vergleich mit Glasfasern

Es ist ersichtlich, dass die absoluten Werte der pflanzlichen Naturfasern etwa auf halbem Niveau der Glasfaserkennwerte liegen.

Auf das spezifische Gewicht bezogen, sind die Kennwerte der Pflanzenfasern mit denen der Glasfaser vergleichbar. Die Hanf- und Bromeliafaser liefern sogar höhere spezifische Kennwerte als die Glasfaser. Neben Produkten in denen reine Naturfasern verarbeitet werden (z. B. Dämmstoffe, Geotextilien), eröffnen sich damit vor allem bei der Anwendung von Pflanzenfasern in Verbundwerkstoffen neue Alternativen im technischen Leichtbau.

### 3 Was sind Biopolymere?

Biopolymere bezeichnen solche Polymere, deren Grundbausteine überwiegend aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen. Dabei können die Grundbausteine sowohl von der Polymerkette als auch von der Seitenkette oder von den zum Polymer zu verknüpfenden Monomeren gebildet werden. Hieraus resultiert eine Vielzahl von Bildungsmöglichkeiten. Abbildung 3-1 zeigt eine schematische Übersicht.

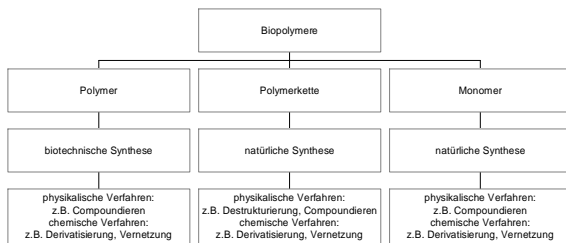


Abb. 3-1: Gliederung der Biopolymere

Im DLR wurden die nachfolgend aufgeführten Biopolymersysteme

- Zelluloseester
- Polyhydroxybutyrate
- Polymilchsäure
- Stärke Blends und Derivate
- Holz und verschiedene Naturmaterialien
- Polyurethane
- Epoxidharze
- Acrylate
- Schellack

hinsichtlich ihres Einsatzes für hochbelastbare Faserverbundwerkstoffe analysiert. Insbesondere wurden dabei:

- die Verarbeitbarkeit

- die Stabilität
- die Wärmeformbeständigkeit und
- der Preis

bewertet. Bei der Analyse handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess, d. h. auch neue Entwicklungsprodukte werden untersucht.

Es hat sich gezeigt, dass insbesondere die Duroplaste auf Pflanzenölbasis (Polyurethane, Acrylate und Epoxidharze) sich hervorragend für den Faserverbundeinsatz eignen.

### 4 Werkstoffeigenschaften von BioVerbunden

In Abb. 4-1 werden am Beispiel der Biegeeigenschaften ausgewählte BioVerbunde mit glasfaserverstärkten Verbunden (GFK) verglichen. Dabei 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<sup>3</sup> deutlich unterhalb der der Glasfasern mit ca. 2500 kg/m<sup>3</sup> liegen, so kann bei gleichem Bauteilgewicht in einem gewissen Rahmen ein höherer Faservolumenanteil bei den BioVerbunden eingestellt werden, der eine größere Verstärkung bewirkt.

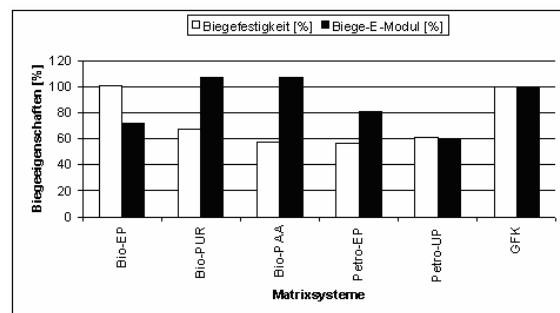


Abb. 4-1: Biegeeigenschaften ausgewählter naturfaservliesverstärkter Verbunde

In Anlehnung an die bewährten Verfahren in der Faserkunststofftechnik werden beim DLR Fertigungstechnologien zur Herstellung von BioVerbunden entwickelt, untersucht und optimiert. Dabei handelt es sich insbesondere um die Presstechnik, die La-

minier- und die Wickeltechnologie sowie die Pultrusion.

## 5 Fertigungsverfahren

Glasfaserverstärkte Kunststoffe nehmen aufgrund ihrer guten Gebrauchseigenschaften sowie der vergleichsweise günstigen und anerkannten Fertigungstechnologien im Bereich der Verkehrstechnik eine herausragende Stellung bei der Realisierung von Kunststoffbauteilen ein. Zu den mengenmäßig bedeutendsten Fertigungsverfahren zählen dabei das Handlaminieren, für das im Jahr 2001 in Europa ein Umsatz von 194.000 to verzeichnet wurde, und das SMC-Verfahren (Sheet-Molding-Compound) mit 186.000 to.

### 5.1 Handlaminat

Aufgrund der überwiegend manuell durchzuführenden Arbeitsschritte zählt die Handlaminierertechnologie eher zu den einfacheren Verfahren zur Herstellung von Faserverbundbauteilen. Mit Hilfe meist einteiliger Formwerkzeuge eignet sie sich insbesondere für kleinere Stückzahlen und Prototypen sowie zur Herstellung von großflächigen Bauteilen.

Bei der Fertigung von Bauteilen im Handlaminierverfahren wird auf eine, ggf. mit Trennmittel versehene, einfache Negativform lagenweise das Fasermaterial gelegt und schichtweise mit einem kalthärtenden Harz getränkt. Um die Luft aus dem Verbund zu entfernen und somit eine vollständige Benetzung des Fasermaterials zu erreichen, wird während des Fertigungsprozesses durch kontinuierliches Streichen oder Rollen das Material an die Form gedrückt. Dieses Ausrollen wird durch den Einsatz möglichst dünnflüssiger Harze wesentlich erleichtert, weshalb bei den derzeit am Markt befindlichen Harzsystemen zu den ohnehin vorhandenen Lösungsmitteln zusätzlich noch Styrol hinzugesetzt werden.

Als Bettungsmasse für die als Verstärkungskomponente eingesetzten Glasfasern werden petrochemisch basierte, flüssige Harzsysteme, meist Polyester- oder Epo-

xydharze, verwendet. Die Aushärtung erfolgt in der Regel drucklos bei Raumtemperatur, die üblicherweise erreichbaren Faser volumengehalte liegen bei Verwendung von Mattenlaminaten bei ca. 15-20 Vol.-% bzw. bei Geweben ca. 40-50 Vol.-%.

Für Einsatzbereiche wie den Schienenfahrzeugbau erscheint dieses Werkstoffkonzept bzw. Herstellungsverfahren prädestiniert, da es die besonderen Anforderungen, wie z.B. Chemikalien- und Feuchtigkeitsbeständigkeit, Strukturfestigkeit etc. bei gleichzeitig wirtschaftlicher Fertigung gut erfüllt.

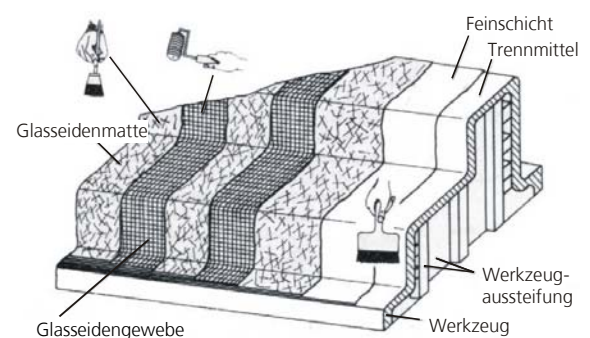


Abb. 5-1: Handlaminieren

### 5.2 Faserspritzen

Als automatisiertes Handlaminieren wird das Faserspritzen angesehen. Dabei ist es für kleine bis mittlere Serien geeignet. Es wird eine Faserspritzpistole verwendet, wie sie beispielhaft in der nächsten Abbildung dargestellt ist. Die Aufgabe der Pistole ist dabei, Harz, Härter, Beschleuniger und Langfasern kontinuierlich bereitzustellen, zu mischen und auf eine Form aufzutragen. Mittels Schneidwerk werden die Rovings auf die gewünschte Länge geschnitten und mittels der Pressluft ausgetragen.

Das innige Vermischen des Harzes mit der Faser sowie die Entlüftung erfolgt erst durch das Rakeln auf der Form. Dazu wird üblicherweise eine Laminierrolle verwendet oder es wird eine Folie auf die oberste Lage aufgebracht und so evakuiert, das Luftblasen entweichen können. Um eine gute Oberfläche zu erzeugen, wird auch hier wie beim Handlaminieren zuerst ein Gelcoat vorgelegt.

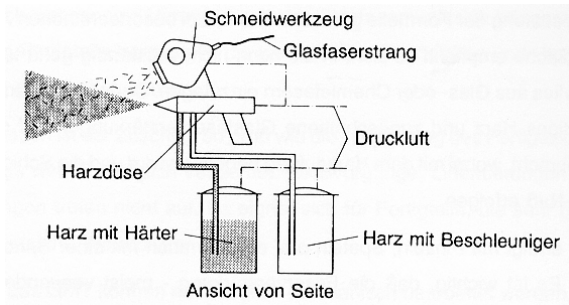


Abb. 5-2: Faserspritzpistole

### 5.3 SMC

SMC sind Pressmassen, die im wesentlichen aus den Komponenten ungesättigtes Polyesterharz, Härter, mineralischer Füllstoff, Verstärkungsfasern und einigen Hilfs- und Zuschlagstoffen bestehen. Neben den Hilfsstoffen, die die Masse eindicken und so die Verarbeitbarkeit erleichtern, werden auch thermoplastische Materialien zugefügt, die die Reaktionsschwindigkeit verringern (Low-Profile-Systeme). Diese Formmasse hat zur Zeit die größte wirtschaftliche Bedeutung erreicht.

Hergestellt wird das SMC auf so genannten Mattenanlagen, wie sie in der folgenden Abbildung dargestellt ist. In diesen Anlagen wird zunächst der fertig gemischte und nicht dünnflüssige Harzansatz auf Trägerfolien aufgetragen. Eine der Folien läuft dabei unter einem Schneidwerk entlang. Hier fallen geschnittene Rovings auf die berakelte Trägerfolie, um eine gleichmäßige Verteilung der statistisch orientierten Fasern (vornehmlich Glasfasern) zu erreichen. In einem zweiten Schritt wird die ebenfalls berakelte zweite Trägerfolie aufgebracht. In der folgenden Walkstrecke wird eine intensive Durchmischung der Fasern mit der Harzmasse sichergestellt.

Die Matte hat eine typische Dicke von 2 – 3 mm und wird aufgewickelt. An diesen eigentlichen Herstellungsprozess schließt sich dann eine mehrtägige Reifezeit an, in der die Zuschlagstoffe ein Eindicken der ursprünglich dünnflüssigen Harzmasse bewirken. In die Produktionsstätte gelangt das SMC dann als lederartige und klebrige, nicht fädenziehende Matte.

Das SMC wird mit einfachen Messern rechteckig zugeschnitten, die Trägerfolien entfernt und entsprechend der Arbeitsanweisung übereinander gestapelt. Durch leichtes Andrücken der Lagen wird ein Fixierung erreicht. Anschließend wird der Stapel in das heiße Werkzeug eingebracht und die Presse zugefahren. Zufahrtgeschwindigkeit, Haltezeiten etc. werden durch ein Programm fest vorgegeben. Dabei müssen hierzu die Bauteilform und -dicke sowie andere wichtige Prozessparameter berücksichtigt werden.

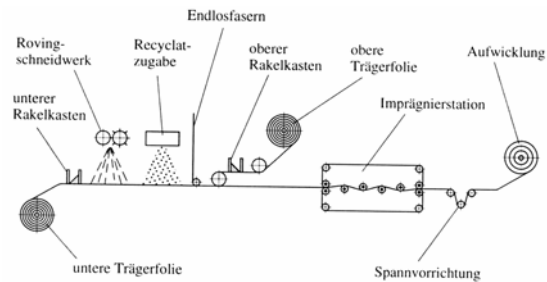


Abb. 5-3: Prinzipielle Herstellung von SMC-Halbzeugen

## 6 Brandschutz

### 6.1 Theorie

Flammschutzmittel werden Kunststoffen zugesetzt, um den Verbrennungsprozess zu hemmen, oder im günstigsten Fall, zu unterbinden. Die Wirkung beruht, je nach Beschaffenheit der Flammschutzmittel, auf physikalischen und / oder chemischen Vorgängen in bestimmten Phasen der thermischen Zersetzung. Die Flammschutzmittel können in der Fest-, Flüssig- oder Gasphase ihre Wirkung entfalten. Sie greifen bei der Erwärmung, Zersetzung, Zündung oder Flammenausbreitung in den Verbrennungsvorgang ein.

Die verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Flammschutzmittels treten nie einzeln auf, sondern sind als komplexer Vorgang bei der Verbrennung zu verstehen, bei der viele Einzelvorgänge gleichzeitig ablaufen. Es dominiert zwar meist eine Reaktion, aber die Wirkungsschwerpunkte können sich ändern. So ist es nur schwer möglich, endgültige Aussagen über den Wirkungsmechanismus eines Flammschutzmittels zu

treffen. Die Wirkung ist außerdem sehr stark vom chemischen Aufbau der Kunststoffe abhängig, denen diese Mittel zugesetzt werden.

Die wichtigsten zur Zeit industriell verwendeten Flammenschutzmittel werden in folgende Kategorien aufgeteilt:

- halogenhaltige Flammenschutzmittel
- phosphorhaltige Flammenschutzmittel
- anorganische Flammenschutzmittel

## 6.2 Auswahl geeigneter Flammenschutzmittel für BioVerbunde

Für die BioVerbunde wird nur die Verwendung phosphorhaltiger oder anorganischer Flammenschutzmittel in Betracht gezogen, da halogenhaltige Flammenschutzmittel ökologisch nicht unbedenklich sind. Diese können beispielsweise bei einer Verbrennung störende toxische Gase (z. B. Chlorwasserstoff) bilden. Im speziellen eignen sich die folgenden Systeme

- Aluminiumhydroxide
- Magnesiumhydroxide
- Ammoniumpolyphosphate
- Gemische aus Ammoniumphosphaten und stickstoffhaltigen Verbindungen
- Gemische aus Ammonium- und Alkalisalzen anorganischer Säuren.

## 6.3 Brandschachttest für Schienenfahrzeuge

Im Brandschachttest werden Werkstoffe und Bauteile gemäß DIN 54 837 (E 1/1991) geprüft. Die DIN 5510 Teil 2 klassifiziert das Brennverhalten, die Brandnebenerscheinungen (Rauchbildung, Tropfverhalten) sowie die zugehörigen Prüfverfahren. Aus Gründen des vorbeugenden Brandschutzes werden die Anforderungen, die an Bauteile und Werkstoffe beim Bau von Schienenfahrzeugen gestellt werden, in dieser Norm festgelegt.

Der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe wird im ersten Ansatz im Innenbereich der Schienenfahrzeuge gesehen. Für diese

Bauteile gelten die Brennbarkeitsklassen mit der Bezeichnung S 1 bis S 5. Kleinteile müssen der Klasse S 1 genügen, während die Klassen S 2 bis S 5 für platten-, bahnen- und profilmäßige Werkstoffe, Bauteile und Bauteilabschnitte sowie für Beschichtungen Gültigkeit besitzen. Materialien und Bauteile im Innenausbau müssen dabei die Brennbarkeitsklasse S 3 - S 4 erreichen.

Es konnte bereits ein BioVerbund mit S 3, SR 2 und ST 2 zertifiziert werden. Dabei hat sich gezeigt, dass auch noch eine höhere Brennbarkeitsklasse erreichbar ist.

## 7 Projekte

### 7.1 Lirex

Für die Konzeptstudie „LIREX“ (leichter innovativer Regionalexpress, der erstmalig auf der Innotrans 2000 in Berlin der Öffentlichkeit präsentiert wurde) der Firma Alstom LHB wurden mit Mitteln des niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Luftsäulenverkleidungen (Abb. 7-1 und 7-2) entwickelt, die sich als Verbindungselemente zwischen zwei Seitenfenstern im Sichtbereich des Zuges befinden.

Ziel dabei war es, die Einsatzfähigkeit von BioVerbundwerkstoffen für Innenverkleidungsteile im Schienenfahrzeugbau zu prüfen. Die im Verbund notwendigerweise integrierten Additive wurden dabei nach der Werkstoffphilosophie „BioVerbund“ ausgewählt, um eine größtmögliche ökologische Nachhaltigkeit zu erreichen.

Im Rahmen der Komponentenauswahl standen Wirrfaservliese zur Verfügung, die abhängig vom beabsichtigten Lagenaufbau, entsprechend in ihrer Vernadelungsdichte und dem Flächengewicht ausgelegt werden können. Das ermöglicht, den Verbund aus einer oder mehreren Faserlagen aufzubauen. Trotz Zugabe von Flammenschutzmitteln konnte die Verbunddichte unter der vergleichbarer GFK-Verbunde gehalten werden. Die dadurch erreichte Gewichtseinsparung kann so zu einer Kraftstoffeinsparung oder Erhöhung der Nutzlast beitragen.

Neben der brandhemmenden Ausrüstung des BioVerbundes ist es gelungen, die Bauteile mit Pigmenten einzufärben. Die erreichte Deckkraft und das Farbvermögen stehen dabei in einem guten Verhältnis zur anvisierten Erkennbarkeit der eigentlichen Faserstruktur auf der Bauteiloberfläche. Durch die Verwendung spezieller Vliese ist es gelungen, das geforderte Lichtgrau in Abstimmung mit dem Designer zu realisieren. Vom Designer bestätigt, setzt die Farbgebung von BioVerbunden mit Pigmenten neue Maßstäbe im Design und eröffnet zahlreiche neue Möglichkeiten.

Die Ergebnisse zeigen, dass BioVerbundwerkstoffe auf spezielle Anforderungen auslegbar sind. Dabei können sie in ihren Eigenschaften so ausgelegt werden, das z. B. durch die Pigmentierung, neue Einsatzgebiete und Designmöglichkeiten für Produkte eröffnet werden. Durch die erhaltenen Ergebnisse wird sichtbar, dass sich nachwachsende Werkstoffe hervorragend für Innenverkleidungsteile eignen.



Abb. 7-1: Luftsäulenverkleidungen: Einzeldarstellung



Abb. 7-2: Luftsäulenverkleidungen: Eingebaut

## 7.2 Fertigung von Nasspressbauteilen

Für die Firma Alstom LHB werden zur Zeit Prototypen einer Sitzkastenverkleidungen für den DT4 der Hamburger Hochbahn in Kooperation mit der Firma Invent gefertigt und eingebaut. Es zeichnet sich aber ab, dass die Fertigung aus wirtschaftlicher Sicht noch Entwicklungsbedarf aufweist. Insbesondere die zu erreichten Taktzeiten genügen zur Zeit nicht den industriellen Anforderungen. Ein entsprechendes Fertigungskonzept, um diesen Mangel beheben zu können, wurde bereits erarbeitet.



Abb. 7-3: Sitzkastenverkleidung DT4: Einzeldarstellung



Abb. 7-4: Sitzkastenverkleidung DT4: Eingebaut

### 7.3 Handlaminat

Ein Ansatz wurde bereits gemeinsam mit den Firmen Alstom LHB und Invent verfolgt. Ziel des Forschungs- und Entwicklungsprojekts, gefördert durch das niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten war es, einen handlaminierfähigen BioVerbund verfügbar zu machen.

Insbesondere das Biopolymer so einzustellen, dass es bei Raumtemperatur aushärtet war Kernstück. Die folgende Grafik verdeutlicht die wesentlichen Entwicklungsschritte:

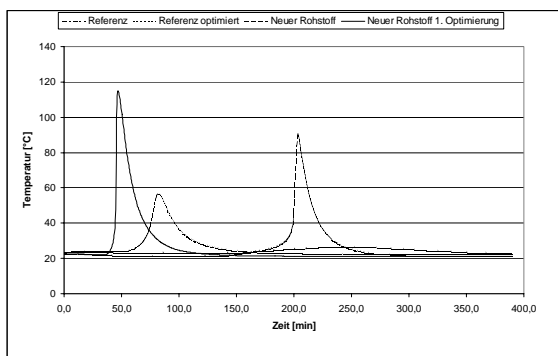


Abb. 7-5: Optimierung des Härtingssystems

Es wurden für verschiedene Harzrohstoffe auf der Basis von Pflanzenölacrylaten Härtingssystemen entwickelt. Dazu wurden in die entsprechenden Rezepturen Thermo-elemente eingebracht und die entstehende Reaktionstemperatur über der Zeit kontinuierlich aufgezeichnet. Es zeigte sich, dass der Harzrohstoffs einen wesentlichen Einfluss auf den Temperaturverlauf hat. Dieser

Effekt kann noch zusätzlich durch ein optimiertes Härtingssystem verstärkt werden. Erst die frühen Peaks, die Temperaturen von über 80 °C erreichen ermöglichen eine gute Durchhärtung bei Raumtemperatur.

Daneben musste ein neues Naturfaservlies entwickelt werden, welches nur wenig Harz aufnimmt (bis zu maximal 70 Massenprozent). Es muss ohne wirksamen äußeren Umgebungsdruck eine hohe Dichte aufweisen, trotzdem aber gut mit dem Harz imprägnierbar sein.

Konventionelle Nadelvliese sind deshalb weniger für das Handlaminieren geeignet, da durch den Vernadelungsprozess anteilig Fasern in Dickenrichtung im Vlies orientiert werden. Sie sind voluminöser, so dass zur Erreichung eines hohen Faseranteils im Verbund das Vlies verdichtet werden muss.

Bei der Neuentwicklung des Faserhalbzeugs wurde das Prinzip der Papierherstellung genutzt. Hierbei werden aus einer wässrigen Fasersuspension die Fasern auf einem Sieb abgeschieden und somit nur zweidimensional ausgerichtet.

Aus diesen beiden neu entwickelten Komponenten konnten dann erste Prototypen wie in Abbildung 7-6 dargestellt gefertigt werden.



Abb. 7-6: Fahrerstandstürinnenbekleidung DT 4

## 8 Zusammenfassung

Die gewonnenen Ergebnisse haben gezeigt, dass sich der BioVerbund in hervorragender Weise zu Konstruktionsbauteilen verarbeiten lässt. Die gewichtsbezogenen mechanischen Eigenschaften lassen es zu, Anwendungsbereiche anzustreben, die heute von glasfaserverstärkten Kunststoffen beherrscht werden. Einschränkungen müssen zur Zeit noch in Bereichen mit extremen Umweltbedingungen akzeptiert werden. Wesentliche Zielgruppe sind somit z. B. Verkleidungselemente im Automobil- und Waggonbau, die Möbelindustrie sowie der gesamte Markt der Freizeitindustrie. Speziell für den Schienenfahrzeugbau erschließen sich interessante neue Einsatzgebiete.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die langjährige Entwicklung unter Beibehalt des hochgesteckten Ziels, nämlich die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen mit einem Anteil von mindestens 80 % nicht zwingend zu Werkstoffunterschieden führen muss. Es wird erwartet, dass sich in naher Zukunft die Marktakzeptanz deutlich durch die Einführung der ersten Produkte aus BioVerbundwerkstoffen erhöhen wird und neue Märkte erschlossen werden können.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] DIN 60 001. (1990). *Textile Faserstoffe – Naturfasern*. Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [2] Wagner, E. (1961). *Teil T 12: Die textilen Rohstoffe (Natur- und Chemiefaserstoffe)*. *Handbuch für Textilingenieure und Textilpraktiker* (1. Aufl.). Wuppertal-Elberfeld: Dr. Spohr-Verlag.
- [3] Flemming, M., Ziegmann, G. & Roth, S. (1995). *Faserverbundbauweisen, Fasern und Matrices* (1. Aufl.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [4] Satlow, G., Zaremba, S. & Wulfhorst, B. (1994). Faserstoff-Tabelle: Flachs sowie andere Bast- und Hartfasern. *Chemiefasern/Textilindustrie*, 96 (44), 765-785.
- [5] Haudek, H. W. & Viti, E. (1980). *Textilfasern*. Heidelberg, Wien: Verlag Johann L. Bondi & Sohn.
- [6] Riedel, U. & Nickel, J. (1999). Natural fibre-reinforced biopolymers as construction materials - new discoveries. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*, 272, 34-40.
- [7] Riedel, U. (1999). *Entwicklung und Charakterisierung von Faserverbundwerkstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe*. Düsseldorf: Publishing company VDI Fortschritt-Berichte 5, 575.
- [8] „Landolt-Börnstein“ Schmidt, E (Hrsg.) (1955). *Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie Astronomie, Geophysik und Technik, Bd. 4, Technik 1. Teil: Stoffwerte und mechanisches Verhalten von Nichtmetallen*, (6. Aufl.). Berlin: Verlag Springer-Verlag.
- [9] Nova-Institut, IAF/FH Reutlingen, ifeu-Institut Heidelberg (1996). *Das Hanfproduktlinienprojekt (HPLP)*. DBU-Projekt Nummer 07956 (S. 57). Hürth: Herausgeber nova-Institut.

- [10] Schlößer, Th., Knothe, J., 15. September 2000. Entwicklung naturfaserverstärkter Kunststoffbauteile für das Kfz-Interieur und –Exterieur. In *Biorohstoff Hanf, Tagungsband zum 3. Internationalen Symposium*. Wolfsburg: Veranstalter nova-Institut.
- [11] Wielage, B., Leonhardt, G. (2001). *Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde*. Weinheim: Verlag WILEY-VCH
- [12] AVK-TV (2002). Kurier, Ausgabe 01/01.
- [13] Ehrenstein, G. W. (1992). *Faserverbund-Kunststoffe* (1. Aufl.). München: Carl Hanser Verlag.
- [14] Michaeli, W. & Wegener, M. (1990). *Einführung in die Technologie der Faserverbundwerkstoffe* (1. Aufl.). München: Carl Hanser Verlag
- [15] Troitzsch J. (1982): *Brandverhalten von Kunststoffen*. München: Carl Hanser Verlag.
- [16] DIN 5510 Teil 2. (1991). *Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen*. Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [17] Riedel, U.; Nickel, J.: Applications of natural composites for constructive parts in aerospace, automobiles, and other areas. In: Steinbüchel, A. (ed.): *Biopolymers, Volume 10 General aspects and special applications*, Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, 2003.