

Der kleinste Verbundwerkstoff der Welt The world's smallest composite

Von Sandesh Shirke, Robert Brüll, Richard Haas und Alexander Lüking, Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen University, sowie Thomas Exlager Coatema Coating Machinery GmbH, Dormagen
By Sandesh Shirke, Robert Brüll, Richard Haas and Alexander Lüking, Institut für Textiltechnik of RWTH Aachen University, as well as Thomas Exlager, Coatema Coating Machinery GmbH, Dormagen

Faserverbundwerkstoffe vereinen die Eigenschaften zweier Materialien, die zu einem Faser-Matrix-Verbund kombiniert werden können. Beide Materialien ergänzen sich in ihren Eigenschaften. Die Matrix schützt die Faser vor mechanischen Beschädigungen und überträgt die aufgebrachtten Kräfte auf die Fasern. Die Kombination beider Komponenten führt zu Materialien, die aufgrund der erreichten Eigenschaften in unterschiedlichen Anwendungen eingesetzt werden. So können im Mobilitätsbereich Gewichtsreduzierungen und in der Medizintechnik hohe Festigkeiten bei Prothesen realisiert werden.

Insbesondere endlose glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) gewinnen in vielen Bereichen der Industrie aufgrund ihrer leichten Eigenschaften, die bei niedrigen Preisen erreicht werden, zunehmend an Bedeutung. Aufgrund ihrer hohen Festigkeits- und Steifigkeitswerte, kombiniert mit einer geringen Dichte im Vergleich zu Stahl (GFK: $\sim 1,74 \text{ g/cm}^3$, Stahl: $\sim 7,85 \text{ g/cm}^3$), bieten GFKs ein hohes Potenzial im Leichtbau. [AVK13, Fri13]

Jährlich werden in Europa 1,1 Millionen Tonnen Glasfasern für den Einsatz in thermoplastischen Verbundwerkstoffen verarbeitet, die etwa die Hälfte des Marktes ausmachen. Der Markt für endlos verstärkte Thermoplaste, auch Organobleche genannt, weist ein Wachstumspotenzial von bis zu 6 % pro Jahr auf. [Wit17]

Organobleche, die mit modernsten Fertigungstechniken und -verfahren hergestellt werden, weisen einen gewissen Nachteil auf, aufgrund dessen ihre Einsatzmöglichkeiten begrenzt sind. Bei der Konsolidierung sollten idealerweise alle Glasfilamente mit einer Thermoplastmatrix kombiniert werden, um die gewünschten mechanischen Eigenschaften zu erhalten. Dies wird jedoch nicht erreicht, da die Glasfasern nicht vollständig von der Thermoplastmatrix imprägniert sind. Diese schlechte und inhomogene Verteilung von Faser und Matrix führt zu einem geringen Faservolumengehalt von 40 - 60 Vol.-% im Verbundwerkstoff. Das theoretisch, maximale Potenzial von 91 % an Faservolumengehalt ist erreichbar. Da die Fasern die Kräfte aufnehmen, steht die Imprägnierung eines Organoblechs und dessen Faservolumengehalt in direktem Zusammenhang mit der potentiell maximalen Belastung. Die inhomogene Verteilung von Fasern und Matrix sowie der geringe Faservolumengehalt bieten ein hohes Forschungspotenzial auf dem Gebiet der Produktion von Organoblechen.

Daher ist das Potenzial für eine Steigerung des Faservolumengehalts im Verbundwerkstoff hoch. Schon ein Anstieg um etwa 10 % würde zu Verbundwerkstoffen führen, die bessere mechanische Eigenschaften aufweisen als der konventionell hergestellte Ver-

FRP combine properties of two materials, which are combined to form a fibre-matrix composite. Both materials complement each other in their properties. The matrix protects the fibre from mechanical damage and transfers the applied forces to the fibres. The fibre absorbs the structure and applied forces. The combination of both components results in materials that are used in different applications due to the properties achieved. Thus, weight reductions can be achieved in the mobility sector and high strength in prostheses in medical technology can be realized.

In particular, endless glass fibre reinforced plastics (GFRP), are becoming increasingly important in many sectors of the industry because of their lightweight properties achieved at a low price. Due to their high strength and stiffness values, combined with low density compared to steel (GRP: $\sim 1.74 \text{ g/cm}^3$, steel: $\sim 7.85 \text{ g/cm}^3$), GFRPs offer high potential in the lightweight construction sector. [AVK13, Fri13]

Each year, 1.1 million tons of glass fibres for usage in thermoplastic composite materials are processed in Europe, making up about half of the market. The market for endless reinforced thermoplastics also called organo sheets, offers growth potential of up to 6% per year. [Wit17]

Organo sheets which are manufactured with current manufacturing techniques and processes possess a certain disadvantage, due to which their applications are limited. When the organo sheets are consolidated, ideally all the glass filaments should be covered with matrix in order to obtain the desired mechanical properties. However, this is not being achieved, as the glass fibres are not completely covered with the matrix. This poor and inhomogeneous distribution of fibre and matrix results in a low fibre volume content of 40 - 60 vol.% in the composite material. The maximum potential of 91% fibre volume content is achievable.

Since the fibres absorb the forces, the load capacity of an organo sheet and its fibre volume content are directly related. The inhomogeneous distribution of fibre and matrix, as well as the low fibre volume content, offer a high research potential in the field of organo sheet production.

Therefore, the potential for increasing fibre volume content in the composite material is high. Even a small increase by about 10% would result in composites material with better mechanical properties than the conventionally manufactured composite material. Also, the glass fibre consumed to manufacture these composites would be low resulting in much lighter composite components.

bundwerkstoff. Außerdem wäre weniger Masse an Glasfasern für die Herstellung dieser Verbundwerkstoffe notwendig, was zu wesentlich leichteren Verbundbauteilen führt. Dies ist möglich, da bei gleichem Faservolumengehalt bessere mechanische Eigenschaften erreicht werden könnten. Bei der Kombination von Matrix und Faser in aktuellen Prozessketten zur Herstellung von Organoblechen können thermoplastische Schmelzen nicht in das Innere der Fasern eindringen. In Abb. 1 ist ein handelsübliches Organoblech dargestellt. Die inhomogene Verteilung der Glasfilamente und der Polymermatrix ist gut zu erkennen.

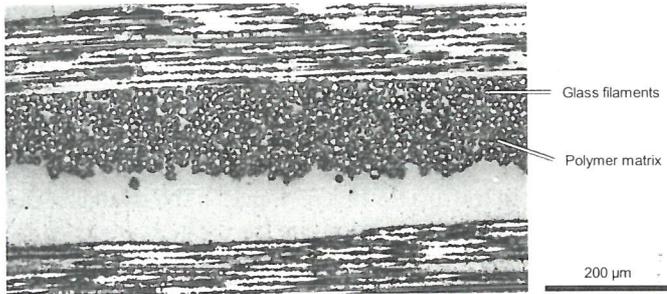


Abb. 1: Mikroskopisches Bild des Filmstapelprozesses.

Fig. 1: Microscopy image of film stacking process

Nur die äußeren Filamente werden mit dem Matrixmaterial benetzt. Die inneren Filamente sind nicht mit der Matrix benetzt und können daher keine oder nur bedingt Kräfte in der Endanwendung aufnehmen. Die inneren Filamente bilden dabei einen inhomogen imprägnierten Kern, der das Gewicht erhöht, aber nicht zu den mechanischen Eigenschaften des Organoblechs beiträgt. Damit ist auch die Gefahr von Defekten im Bauteil erhöht. Eine weitere Möglichkeit, ein Organoblech herzustellen ist das sogenannte Commingling bzw. Hybridgarn (Abb. 2). Glasfilamente und Polymerfilamente werden zu einem Garn zusammengeführt. Dies führt zu einem engeren Kontakt des Polymers mit den Glasfilamenten und vermeidet damit Luft einschlüsse. Auch bei diesem Ansatz entstehen Bereiche, die inhomogen sind. Außerdem ist der Preis für den Mischprozess höher als für das Filmstacking, da eine Polymerfaser hergestellt werden muss.

Ziel dieses Projektes ist es, ein Verfahren zur Herstellung von beschichteten Filamenten zu entwickeln. Dabei sollen Luft einschlüsse verhindert und eine homogene Verteilung von Glasfilamenten und Kunststoff gewährleistet werden. Dies wird durch die Beschichtung der einzelnen Glasfasern mit der Polymermatrix im Spinnprozess erreicht. Alle Filamente sind vollständig mit der Matrix beschichtet, um Kräfte im Verbundwerkstoff aufzunehmen. Dadurch wird sichergestellt, dass im fertigen Bauteil jedes Filament zu den mechanischen Eigenschaften des Verbundes beiträgt.

Zu diesem Zweck wird eine Prozesskette zur Beschichtung einzelner Filamente im Glasspinnprozess entwickelt. Eine neuartige Beschichtungsauftragseinheit wird entwickelt und, je nach Endanwendung, ein geeigneter Thermoplast als Beschichtung ausgewählt. Anschließend wird der Prozess in das institutseigene Glasfaserspinnsystem des ITA, RWTH Aachen, integriert, um ein vollständig imprägniertes Glasroving zu erzeugen.

Aus den durchgeführten Tests und Experimenten geht hervor, dass eine Imprägnierung einzelner Glasfasern durch Schmelzen

This can be achieved, as better mechanical properties can be obtained with the same fibre volume content used in conventional manufacturing techniques. When combining matrix and fibre in current process chains for the production of organo sheets, thermoplastic melts cannot penetrate the interior of the fibres. In fig. 1, a commercial organo sheet is shown. The inhomogeneous distribution of glass filaments and the polymer matrix can be easily seen. Only the outer fibres are wetted with the matrix material. The internal fibres are not wetted with matrix and therefore cannot absorb any forces in the end application. The inside of the fibres creates a non-viable core, which increases the weight but does not contribute to the stability of the organo sheet and thus represents a defect in the organo sheet. Another possibility in order to produce an organo sheet is the so-called commingling process,

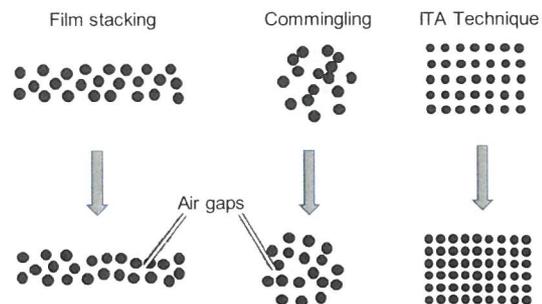
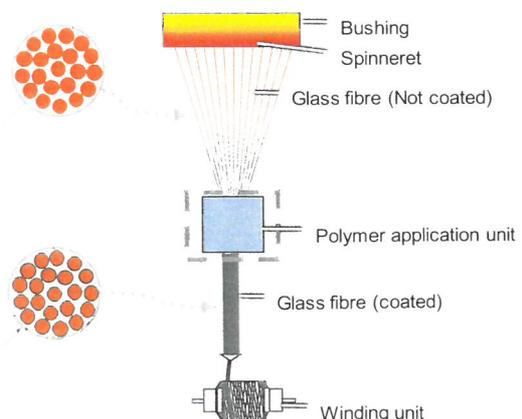


Abb. 2: Unterschiedliche Herstellungsverfahren von Verbundwerkstoffen im Vergleich

Fig. 2: Comparison of different composite manufacturing techniques

or hybrid yarn (fig. 2). Glass filaments and polymer filaments are brought together to form a part of the same yarn. This leads to closer contact of the polymer to the glass filaments thereby closing the gap or voids and avoiding air pockets. However, the gaps are not completely closed. This means there are still some gaps present in the yarn that is being made in using this technique, leading to inhomogeneous areas. Also, the price of the commingling process is much higher than the price for the film stacking, because a polymer fibre needs to be produced.

This project aims to develop a process for the production of pre-pregs, which avoids the formation of voids of current manufac-



Schematische Darstellung der Glasfaserbeschichtung, ITA, RWTH Aachen. (Bushing = Durchführung; Spinneret = Spinnndüse; Glass fibre (Not coated) = (unbeschichtete) Glasfaser; Polymer application unit = Polymerauftragseinheit; Glass fibre (coated) = (beschichtete) Glasfaser; Winding unit = Aufwickeleneinheit)

Fig. 3: Schematic diagram of glass fibre coating, ITA, RWTH Aachen University

von Polymerpartikeln möglich ist. Basierend auf diesen Tests wurde ein Verbund (Abb. 4) gepresst. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die Beschichtung um die Glasfaser mit dem Polymer. Die so hergestellten Prepregs wurden mit einem Elektronen Mikroskop (SEM) untersucht. Die Abbildungen wurden auf das Muster sowie die Homogenität der Beschichtung hin überprüft. Dabei werden Anteile von 74 Vol. % gemessen. Kommerziell erhältliche Organobleche weisen dahingegen einen Anteil von ca. 55 Vol. % auf.

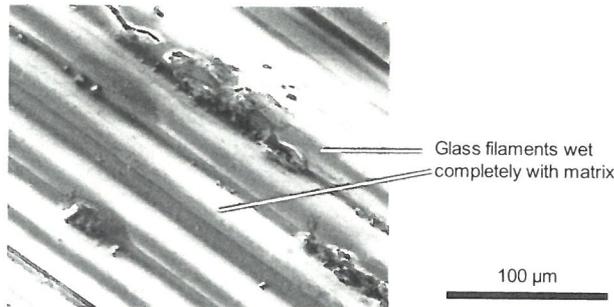


Abb. 4: REM-Aufnahme der beschichteten Glasfaser in Verbundwerkstoff. (Glass filaments wet completely with matrix = Glasfilamente, die vollständig mit der Matrix durchtränkt sind.)

Fig. 4: SEM image of coated glass fibre in composite material.

In Abbildung 5 ist ein einzelnes beschichtetes Glasfilament dargestellt. Es wurde sorgfältig aus dem Organoblech (Abb.5) entnommen. Das Filament weist einen Glasdurchmesser von 10 µm mit einem Kern von ~0,9 µm auf.

Die Defizite aktueller Herstellungsverfahren werden durch die neue Beschichtungstechnologie behoben. Am Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen, Universität Paderborn, Paderborn, wird dabei weiter an dem Beschichtungsmaterial geforscht. Die Komponentenentwicklung wird von der Firma Coatema Coating Machinery GmbH, Dormagen, entwickelt. Die Faserbeschichtung wird sicherlich einen Durchbruch bringen um die von der Automobil und Luftfahrt Industrie gestellten Anforderungen zu erfüllen. Ziel ist die neuartige Beschichtung zu kommerzialisieren. Dieser Prozess wird in Zukunft nach VDI 2221 entwickelt, um ihn für die Industriebedürfnisse zu erweitern. Damit werden künftig bei gleichem Bauteilgewicht höhere mechanische Belastungen von Organoblechen ermöglicht. ↙

Quellen:

- [AVK13] AVK-Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V. (Hrsg.) (2013): Handbuch Faserverbundkunststoffe/Composites. 4. Aufl. Wiesbaden:Springer Vieweg.
- [Fri13] Friedrich, Horst E. (2013): Leichtbau in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [Wit17]Witten, D. (Januar 2017). Der GFK-Markt Europa 2016. GAK Fachmagazin für die Polymerindustrie, S. 19-21.

turing techniques and ensures homogenous distribution of glass filaments and polymer. This is achieved by coating the individual glass fibres with the polymer matrix in the spinning process. All fibres are completely coated with the matrix in order to absorb force in the composite material. This will ensure that every fibre in the finished component can withstand higher loads into the composite components manufactured with conventional techniques.

For this purpose, a process chain for coating individual glass filaments inside a drawing/production process is being developed. A novel new coating application unit is being developed and a suitable coating material is selected according to the end application. Subsequently, the process is integrated into the institute's own glass fibre spinning system of the ITA, RWTH Aachen, to produce individual impregnated glass fibres.

From the performed tests and experiments, it can be seen that the impregnation of individual glass fibres by melting polymer particles is possible. Based on these tests on the monofilament, a composite was generated. In the images (figure 4 and 5), the coating of the polymer around the glass fibre is shown. The prepregs produced are examined using a scanning electron microscope (SEM). The images are examined for both pattern and the uniformity of the coating. In doing so, 74 vol.% were measured. In comparison, commercially available organo sheets merely display approximately 55 vol.%. In figure 5, one single-coated glass filament is shown. It was carefully pulled out of the composite which is shown in figure 4. A core diameter of 10 µm with a core of ~0.9 µm could be achieved.

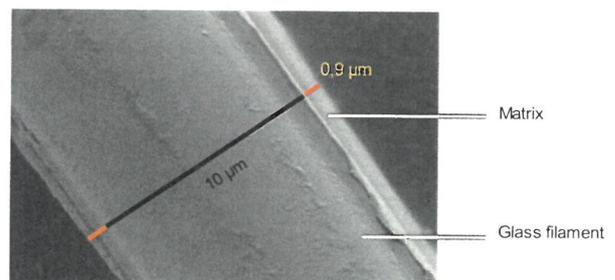


Abb. 5: REM-Aufnahme von Glasfasern, die mit einer Polymermatrix beschichtet sind.

Fig. 5: SEM image of glass fibre coated with polymer matrix

The shortcomings of the current manufacturing process and techniques are being overcome by technology and the process that is being developed for composite manufacturing at ITA, RWTH Aachen University, Institute for Lightweight Design with Hybrid Systems, University of Paderborn and Coatema Coating Machinery GmbH, Dormagen. Fibre coating will be a breakthrough process to fulfil the requirements of the automotive and aerospace industry. The goal is to commercialize this novel coating. In the future, this process will be developed in accordance with VDI 2221 to scale it up for the industry. In doing so, in the future higher mechanical load for organo sheets will be possible at an identical construction weight. ↘

Sources:

- [AVK13] AVK-Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V. (Hrsg.) (2013): Handbuch Faserverbundkunststoffe/Composites. 4. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- [Fri13] Friedrich, Horst E. (2013): Leichtbau in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- [Wit17] Witten, D. (Januar 2017). Der GFK-Markt Europa 2016. GAK Fachmagazin für die Polymerindustrie, p. 19-21.