

# Entwicklung von Verfahren zum lastpfadgerechten Design textilverstärkter Furnierlagenverbundwerkstoffe

## Development of methods for the load-path-compliant design of textile-reinforced veneer ply composites

### Projektleiter

**Project leader:**  
Rodger Scheffler

### Projektbearbeiter

**Person in charge:**  
Jens Wiedemann,  
Stefan Feuersenger

### Fördermittelgeber

**Co-funded by:**  
BMWK (IGF)

### Projektpartner

**Project partners:**  
Technische Universität  
Chemnitz,  
Fraunhofer-Institut für  
Keramische Technologien  
und Systeme IKTS

### AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Die naturbedingten Schwankungen der Materialeigenschaften des Werkstoffes Holz stellen derzeit noch ein entscheidendes Hemmnis bezüglich eines breiteren Einsatzes von Furnier basierten Werkstoffen in hochbelasteten Strukturbauteilen dar. Art und Lage von Schwachstellen wie Ästen und Eigenschaftsschwankungen (Rohdichte) werden im Herstellungsprozess eines Furnierblattes zwar teilweise erfasst, aber nicht individuell gespeichert, um diese Informationen für die weitere Verarbeitung nutzen zu können. Solche Schwankungen wirken sich in Abhängigkeit des konkreten Belastungsfalls unterschiedlich stark auf das mechanische Verhalten von aus Furnierlagenwerkstoffen hergestellten Bauteilen aus.

Aufgrund dieser Unkenntnis real vorliegender Materialeigenschaften ist eine hinreichend genaue Berechnung oder Simulation des tatsächlich unter Belastung auftretenden Verhaltens holzbasierter Bauteile derzeit nicht möglich. Neben einer ineffizienten Materialausnutzung führt dies zu schweren sowie überdimensionierten Bauteilen (hohen Sicherheitsfaktoren) und somit zur Unattraktivität des Werkstoffes.

Um Furnierlagenverbundwerkstoffe dennoch erfolgreich in hochbelasteten Strukturen einsetzen zu können, bestand das Vorhabenziel in der Entwicklung von Verfahren, die eine anforderungsgerechte sowie ma-

### INITIAL SITUATION AND OBJECTIVE

Natural fluctuations in material properties of wood keep posing a decisive obstacle when looking at a wider use of veneer-based materials in highly stressed structural components. The type and location of weak points, such as knots and variations in properties (density), are partially captured during the manufacturing process of a veneer sheet, but their data is not individually saved for later use. Such fluctuations have different effects on the mechanical behaviour of components made from veneer ply materials depending on the specific load case.

Due to this lack of knowledge of material properties at hand, a sufficiently accurate calculation or simulation of the actual behaviour of wood-based components under load is currently not possible. Apart from inefficient material exploitation, this results in heavier and oversized components (high safety factors) and thus to the unattractiveness of the material.

To be able to use veneer ply composites successfully in highly loaded structures, the aim of the project was to develop methods that enable the design and dimensioning of veneer ply composites that meet the requirements and are optimised for the material.

terialoptimierte Auslegung und Bemessung von Furnierlagenverbunden ermöglichen.

#### **VORGEHENSWEISE**

Da der effiziente Einsatz von Furnierlagenverbunden entsprechend ihres tatsächlichen Leistungsvermögens eine genaue Kenntnis lokal vorliegender Materialeigenschaften erfordert, wurde zur Charakterisierung der Furniere ein zerstörungsfreies Prüfverfahren untersucht (IKTS), mit dem relevante Eigenschaften wie z. B. Dichte, E-Modul oder Faserwinkel auf Basis akustischer Messmethoden (Lamb-Wellen) orts aufgelöst ermittelt werden können. Durch anschließende Untersuchung der zuvor berührungslos charakterisierten Furniere mittels zerstörender Prüfmethode und Vergleich der Ergebnisse wurde das zerstörungsfreie Prüfverfahren validiert.

Parallel hierzu erfolgte die Entwicklung eines geeigneten Simulationsansatzes für lastpfadgerecht verstärkte Furnierlagenverbunde. Hierfür wurden u. a. Möglichkeiten zur effizienten Modellimplementierung von lokalen Materialkennwerten und Faserwinkeln sowie zur simulationstechnischen Einbindung textiler Verstärkungsstrukturen untersucht. Um einen vertretbaren Kompromiss zwischen einerseits möglichst hoher Genauigkeit und dem andererseits dafür benötigten Rechen- und Modellerstellungsaufwand erzielen zu können, wurde anhand von Para-

#### **APPROACH**

As the efficient use of veneer ply composites according to their actual performance capacity requires precise knowledge of locally available material properties, a non-destructive testing method was investigated for characterising the veneers (by IKTS), with which relevant properties, such as density, E-modulus or fibre angle, can be determined with spatial resolution based on acoustic measurement methods (Lamb waves). The results from the examination following the non-destructive testing method, using destructive test methods, confirmed the results obtained in the non-destructive testing. At the same time, an appropriate simulation approach was developed for veneer ply composites reinforced according to the load path. For that purpose, possibilities for efficient model implementation of local material parameters and fibre angles as well as for the simulation-based integration of textile reinforcement structures were investigated, to name but a few.

For achieving an acceptable compromise between the highest possible accuracy on the one hand and the computational and modelling effort required for this on the other, parameter studies were used to investigate how sensibly the simulation results respond to changes in individual characterisation features (as a function of the number and position of layers).

meterstudien untersucht, wie sensitiv die Simulationsergebnisse auf Änderungen einzelner Charakterisierungsmerkmale (in Abhängigkeit der Schichtanzahl und -position) reagieren.

## ERGEBNISSE

Das FEM-Modell für den Furnierlagenverbund setzt sich aus einzelnen Schichten zusammen, wobei jede Schicht einzeln mittels hexagonaler Elemente vernetzt wird. Um Komplexität und Rechenaufwand zu reduzieren, wurde keine explizite Simulation der Klebefuge vorgenommen, sondern der Verbundaufbau über fest zusammenfallende Gitterverknüpfungsbedingungen betrachtet. Als Sonderfall der Orthotropie werden die Furniere als transversal isotropes Material modelliert, die eine Vorzugsrichtung (axial in Faserrichtung) besitzt und senkrecht zu dieser isotropes Materialverhalten zeigt, sodass holzanatomisch betrachtet nicht zwischen radialer und tangentialer Richtung unterschieden wird.

Anhand der numerischen Untersuchungen wurde festgestellt, dass mit zunehmender Lagenanzahl der Einfluss des Detaillierungsgrades abnimmt, da sich nicht berücksichtigte ungünstige Merkmalsausprägungen tendenziell ausgleichen. Für den in der Praxis häufig auftretenden Fall einer Biegebelastung profitierten die Simulationsergebnisse vor allem von einem hohen Detaillierungsgrad der äußeren Furnierschichten, während eine hohe räumliche Auflösung der innersten Schichten keine signifikanten Vorteile bot. Zudem sollten unabhängig von ihrer Lage Furnierblätter mit großen Merkmalsschwankungen (z. B. mit Aststellen) höher aufgelöst

## RESULTS

The FEM model for the veneer ply composite is composed of individual layers, with each layer being individually networked by means of hexagonal elements. To reduce complexity and computational effort, the glued joint was not explicitly simulated, but the composite structure was considered via the conditions of fixed coinciding lattice joints. As a special case of orthotropy, the veneers are modelled as a transversely isotropic material, which has a preferred direction (axial in the fibre direction) and exhibits isotropic material behaviour perpendicular to it, so, wood-anatomically, no distinction is made between radial and tangential directions.

By means of numerical investigations, it was found that the influence of the level of detail decreases with numbers of layers increasing, as unfavourable feature characteristics that are not taken into account tend to offset each other. For the case of a bending load that frequently occurs in practice, the simulation results benefited above all from a high level of detailing the outer veneer layers, while a high spatial resolution of the innermost layers did not render any significant advantages. Furthermore, regardless of their position, veneer sheets with large feature variations (e.g., with knots) should be resolved higher than those with only minor variations (e.g., slight fibre angle deviation within the veneer plane).

Pressing tests for the production of textile-reinforced veneer ply composites showed that cold-curing adhesive systems and wood species of high raw density (such as beech) required high pressing pressures so that the textile patch (basalt fibre rovings stitched onto the web) blended into the wood struc-

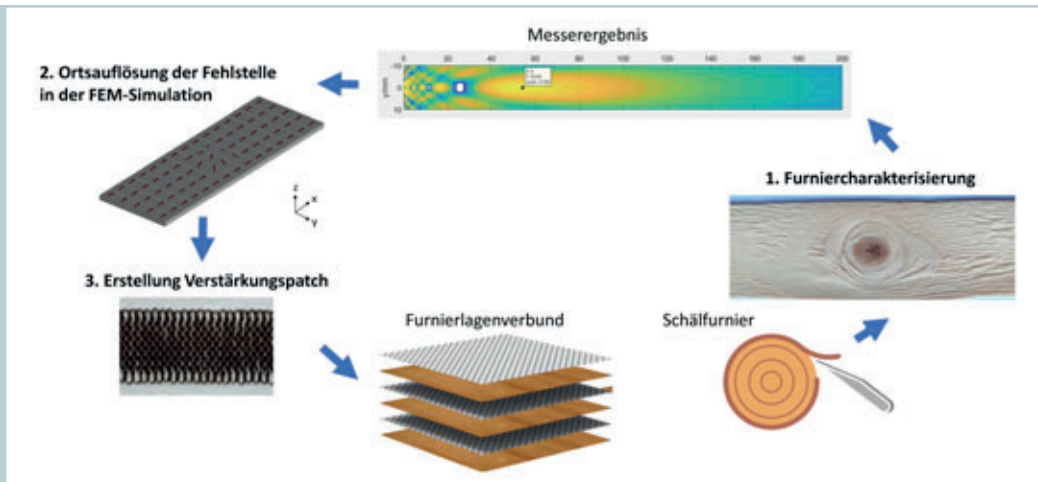


Abb. 1: Prozesskette zur Reduzierung der Schwankungen im Furnierlagenverbund

Fig. 1: Process chain to variations in properties of the veneer ply composite

werden als solche mit nur geringen Schwankungen (z. B. leichte Faserwinkelabweichung innerhalb der Furnierebene).

Pressversuche zur Herstellung textilverstärkter Furnierlagenverbunde zeigten, dass bei kalt härtenden Klebstoffsystemen und Holzarten mit hoher Rohdichte (wie z. B. Buche) hohe Pressdrücke nötig waren, damit sich der Textilpatch (Basaltfaserrovings auf Vlies gestickt) in die Holzstruktur einfügte und somit eine ausreichende Verklebungsqualität erzielt wurde. Anfangs führten die eingebrachten Textilpatche noch zu hohen Kerbspannungen (Übergang Patch zu Furnier) und schnellerem Versagen gegenüber Proben ohne Textilpatch. Durch dünnere Vliese und Reduktion der Filamente pro Roving konnte dieses Problem jedoch gelöst werden.

In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden die Grundlagen für ein Fertigungsverfahren für lastpfadgerecht verstärkte Furnierlagenverbunde erarbeitet (Abb. 1).

ture and thus a sufficient bonding quality was achieved. Initially, the inserted textile patches led to high notch stresses (transition from patch to veneer) and faster failure compared to samples without textile patches. However, this problem was solved by using thinner webs and reducing the number of filaments per roving.

In cooperation with the project partners, the basics for a manufacturing process for load-path-appropriate reinforced veneer ply composites were developed (Fig. 1).