

Modifizierung von Holzoberflächen für klebstoff-reduzierte Holz-Kunststoff-Hybride

Modification of wood surfaces for adhesive-reduced wood-plastic hybrids

Projektleiter:

Project leader:

Dr. Daniel Hafner

Projektbearbeiter:

In-charge:

Franziska Harder,
Jens Gecks,
Benjamin Grohmann

Fördermittelgeber:

Co-funded by:

BMWE

Projekträger:

Project management:

EURONORM GmbH

Förderprogramm:

Funding programme:

INNO-KOM

Förderkennzeichen:

Funding code:

49VF220031

Laufzeit:

Term:

01.04.2023 - 30.09.2025

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Holz-Kunststoff-Hybridwerkstoffe und Hybridbauteile sind für Leichtbau, Möbel- und Innenausbau sowie Anwendungen im Fahrzeugbau attraktiv. Die Verbindung der sehr unterschiedlichen Werkstoffgruppen wird bislang jedoch überwiegend über konventionelle Klebstoffe und Bindemittel realisiert. Damit gehen ein hoher Klebstoffeinsatz, Prozesssensitivität (z. B. Luftfeuchte, kurze Offenzeiten), teilweise geringe Feuchtebeständigkeit sowie meist irreversible Fügeprozesse einher. Aus ökologischer Sicht sind solche Klebstoffsysteme zudem problematisch, da sie häufig auf erdölbasierten Rohstoffen beruhen und flüchtige organische Verbindungen (VOC) emittieren.

Ziel des Projekts war daher die Synthese oberflächengebundener Polymere, die direkt auf naturfaserbasierte Substrate (insbesondere Holz bzw. Holzwerkstoffe) aufgepfropft werden. Diese sollten als Haftvermittler zwischen Holz und Kunststoff wirken, um den Klebstoffeinsatz zu reduzieren bzw. perspektivisch in ausgewählten Anwendungen zu ersetzen. Gleichzeitig sollte die Skalierbarkeit der Synthese auf größere Flächen und die Eignung zur Herstellung belastbarer Holz-Kunststoff-Hybridmaterialien nachgewiesen werden.

AUSGANGSSITUATION UND ZIELSTELLUNG

Wood-plastic hybrid materials and hybrid components are attractive for lightweight design, furniture, interior design, and applications in vehicle construction. However, the bonding of these very different material groups has so far been achieved using conventional adhesives and binders. This involves high adhesive consumption, process sensitivity (e.g. air humidity, short open times), mostly irreversible jointing processes and in some instances weak moisture resistance. From an ecological point of view, such adhesive systems are problematic because they are often fabricated from petroleum-based raw materials and emit volatile organic compounds (VOCs).

The aim of the project was therefore to synthesise surface-bound polymers directly grafted onto natural fibre-based substrates (especially wood and wood-based materials). These polymers were to be used as bonding agents between wood and plastic in order to reduce the use of adhesives or, in the long term, replace them in selected applications. At the same time, the scalability of the synthesis to larger areas and its suitability for the production of wood-plastic hybrid materials with high stress capacity had to be demonstrated.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

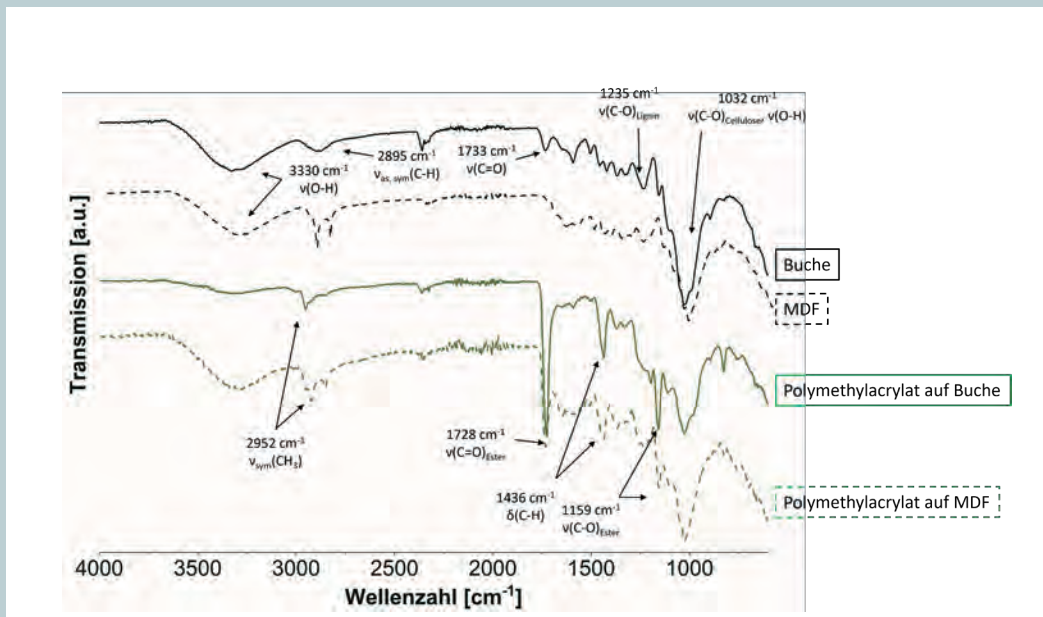


Abb. 1: Exemplarische FTIR-Spektren von gebundenem Polymethylacrylat auf holzbasierten Substraten

Fig. 1: Exemplary FTIR spectra of bonded polymethyl acrylate on wood-based substrates

VORGEHENSWEISE

Verfahren der oberflächeninitiierten Polymerisation wurden zunächst auf glatten Modellsubstraten (SiO_2 -Wafer) etabliert und anschließend schrittweise auf Holzoberflächen übertragen. Untersucht wurden u. a. Self-Initiated PhotoGrafting und Photopolymerization (SIPGP) sowie kupfervermittelte, kontrollierte radikalische Polymerisationen (SI-CuCRP, SI-ARGET-ATRP). Für die anspruchsvollen Holzsubstrate (Vollholz, MDF) wurden geeignete Vorgehensweisen zur Substratvorbehandlung und Initiatorbindung erarbeitet und die Polymere mit kombinierten Analytikmethoden (u. a. FTIR, Kontaktwinkelmessung, REM/EDX) charakterisiert.

Ein zentraler Entwicklungsfokus lag auf ressourcenschonenden Reaktionsführungen, um Monomer- und Lösungsmittelmengen deutlich zu reduzieren und die Übertragbarkeit auf größere Substratflächen zu ermöglichen. Abschließend wurden Holz-Kunststoff-Hybridproben hergestellt und mechanisch geprüft. Ergänzend erfolgten Untersuchungen zur thermischen und klimatischen Beständigkeit der modifizierten Oberflächen.

APPROACH

Surface-initiated polymerisation processes were first established on smooth model substrates (SiO_2 wafers) and subsequently transferred to wood surfaces. Among other methods, Self-Initiated PhotoGrafting and Photopolymerization (SIPGP) as well as copper-mediated, controlled radical polymerisations (SI-CuCRP, SI-ARGET-ATRP) were investigated. For wood substrates (solid wood, MDF), suitable procedures for substrate pretreatment and initiator binding were developed and the polymers were characterised using combined analytical methods (including FTIR, contact angle measurement, SEM/EDX).

A central focus of development was put on resource-saving reaction control in order to significantly reduce monomer and solvent quantities and enable transferability to larger substrate areas. Finally, wood-plastic hybrid samples were produced and mechanically tested. In addition, investigations were carried out on the thermal and climatic stability of the modified surfaces.

ERGEBNISSE

Im Projekt konnten mehrere robuste Synthesewege für verschiedene (Meth-)Acrylpolymere auf Oberflächen identifiziert und erfolgreich von Modellsubstraten auf naturfaserbasierte Substrate übertragen werden. Die erfolgreiche Pfropfung der Polymere auf Holzarten wie Buche und Birke sowie auf MDF wurde insbesondere über FTIR-Spektroskopie eindeutig nachgewiesen (Abb. 1). Als besonders geeignet erwiesen sich kupfervermittelte Polymerisationsverfahren (SI-CuCRP), die eine kontrollierte, schnelle und reproduzierbare Modifizierung der Holzoberflächen erlauben und zugleich eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Sauerstoff aufweisen.

Ein zentraler Erfolg des Projekts war die Skalierung der Synthese bei gleichzeitig stark reduziertem Chemikalieneinsatz. Durch einen zweistufigen Ansatz zur Initiatoranbindung direkt auf der Holzoberfläche in Kombination mit Varianten der SI-CuCRP konnten Substratflächen bis zu 225 cm² zuverlässig mit Reaktionsvolumina im Milliliter-Bereich modifiziert werden. Dabei waren für 100 cm² lediglich etwa 5–10 ml Reaktionslösung erforderlich. Dies stellt eine deutliche Reduktion gegenüber klassischen Polymerisationsansätzen dieser Art dar und belegt die grundsätzliche Eignung der Verfahren von Polymerverschlaufungen auf Holz für eine flächenhafte Anwendung.

Die modifizierten Oberflächen zeigten eine gute thermische und klimatische Beständigkeit. Nach thermischer Belastung und Wechselklimauntersuchungen blieben die charakteristischen Polymersignale in der

RESULTS

In the project several robust synthesis routes for various (meth)acrylic polymers on surface were identified and successfully transferred from model substrates to natural fibre-based substrates. The successful grafting of the polymers onto wood species such as beech and birch as well as onto MDF was demonstrated. In particular, FTIR spectroscopy was used for verification (Fig. 1). Copper-mediated polymerisation processes (SI-CuCRP) proved to be especially suitable, as they allow controlled, rapid and reproducible modification of wood surfaces and exhibit weak sensitivity to oxygen.

A key success of the project was the scaling of the synthesis while significantly reducing the use of chemicals. Using a two-step approach to bind the initiator directly to the wood surface in combination with variants of SI-CuCRP, substrate areas of up to 225 cm² were reliably modified with reaction volumes in the milliliter range. Only about 5 – 10 ml of reaction solution was required for 100 cm². This represents a significant reduction compared to classic polymerisation approaches of this type and demonstrates the fundamental suitability of polymer binding processes on wood for large-area application.

The modified surfaces showed excellent thermal and climatic stability. After thermal stress and alternating climate tests, the characteristic polymer signals in infrared spectroscopy were retained, and stable contact angle values in the expected target range between 50° and 100° were measured. This indicates a durable bonding between the thin polymer layers and the wood surface.

Infrarotspektroskopie erhalten, und es konnten stabile Kontaktwinkelwerte im erwarteten Zielbereich zwischen 50° und 100° gemessen werden. Dies weist auf eine dauerhafte Bindung der Polymer-Dünnschichten an die Holzoberfläche hin.

Die Herstellung von Holz-Kunststoff-Hybridmaterialien gelang reproduzierbar. In mechanischen Prüfungen wurden Abhebefestigungen von bis zu ca. 2,4 N/mm² erreicht, die im Bereich kommerzieller Sekundenkleber liegen. Auch Zugscherprüfungen bestätigten die prinzipielle Eignung der Systeme zur Haftvermittlung. Gleichzeitig zeigte sich, dass die Wahl des Monomers die erzielbare Verbundfestigkeit maßgeblich beeinflusst – ein wesentlicher Hebel für die weitere Optimierung in Richtung spezifischer Kunststoffsysteme und Prozessbedingungen.

Insgesamt konnte damit nachgewiesen werden, dass polymermodifizierte Holzoberflächen eine leistungsfähige Alternative zu konventionellen Klebstoffsystemen darstellen.

The production of wood-plastic hybrid materials was reproducible. In mechanical tests, peel-off strengths of up to approx. 2.4 N/mm² were achieved, which is in the range of commercial instant adhesives. Tensile shear tests also confirmed the fundamental suitability of the systems for adhesion promotion. Furthermore, it became apparent that the choice of monomer affects the achievable bond strength – an important lever for further optimisation towards specific plastic systems and process conditions.

Overall, it was demonstrated that polymer-modified wood surfaces represent a high-performance alternative to conventional adhesive systems.