

## DELIGHT

DEbonding of LightweiGht Hybrid parTs

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Mobilität der Zukunft, Mobilität der Zukunft, MdZ - 15. Ausschreibung (2020) FT, PM, AM	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.03.2021	<b>Projektende</b>	28.02.2022
<b>Zeitraum</b>	2021 - 2022	<b>Projektlaufzeit</b>	12 Monate
<b>Keywords</b>	Lösbare Klebeverbindungen; Recycling; Vitrimere; Hybride Verbindungen; Leichtbau		

### Projektbeschreibung

In nahezu allen Industriesparten gewinnt das Kleben als Fügeverfahren einen immer größeren Stellenwert. Im Automobilbau ist es ein attraktives Verfahren, da es das Fügen unterschiedlicher Materialien und somit Leichtbau beim Fügen ermöglicht. Ein Nachteil von Klebeverbindungen besteht jedoch darin, dass sie Recycling- bzw. Reparaturvorgänge erschweren, da ein Wiederlösen der Verklebung zurzeit vorwiegend thermisch oder mechanisch erfolgt und die gefügten Bauteile dabei in der Regel nicht ohne Beschädigung getrennt werden. Im Sinne der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung knüpft hier das vorliegende Sondierungsprojekt an, indem es das Konzept des „debonding on demand“ zum gezielten Lösen von Klebeverbindungen adressiert. Hierzu kommen Polymere mit kovalenten adaptiven Netzwerken, im speziellen Polyurethan-basierende Vitrimere, zum Einsatz. Diese besitzen dynamische (d.h. reversible) kovalente Bindungen, die dazu führen, dass Vitrimere Eigenschaften vergleichbar mit Duromeren besitzen und gleichzeitig wie thermoplastische Materialien (wieder) verarbeitbar sind. Polyurethanklebstoffe sind im Automobilbau stark vertreten, dementsprechend bieten Vitrimere auf Polyurethanbasis ein hohes Potential für die Anwendung im Fahrzeugbau. Ihre Einsatzfähigkeit als Klebstoff zum Fügen von Fahrzeug-Bauteilen wurde jedoch bisher nicht untersucht. Im gegenständlichen Projekt soll folglich die Einsatzfähigkeit von Polyurethan-basierten Vitrimern als Klebstoff für den Automobilbau validiert werden. Dazu soll ihre Haftung auf im Fahrzeugbau zum Einsatz kommenden, für den Leichtbau typischen Werkstoffen und sich daraus ergebenden hybriden Kombinationen sowie ihre Beständigkeit in für den Fahrzeugbau relevanten Alterungs- bzw. Korrosionstests untersucht werden. Des Weiteren wird die gezielte Trennbarkeit von Klebeverbindungen mit diesem Polymertyp bewertet, im Speziellen nach erfolgten Alterungs- bzw. Korrosionsuntersuchungen. Da Polyurethan-basierte Vitrimere bisher für den Einsatz als Klebstoff nicht optimiert sind, werden die in diesem Projekt generierten Ergebnisse die aktuellen Einsatzgrenzen des untersuchten Polymers aufzeigen sowie Ansatzpunkte für zukünftige Weiterentwicklungen für die Anwendung als reversibler Klebstoff im Automobilbau liefern. Somit wird die Basis für eine neue Fügemethode mit Recyclingpotential gelegt.

### Abstract

Adhesive bonding is gaining importance as joining method in various industrial sectors. It is of high importance for the automotive sector, as it enables joining of different materials, thereby increasing the potential for lightweight construction. However, beside its merits, adhesive bonding does have challenging aspects, as it complicates recycling or repair,

respectively. Currently, debonding is achieved via thermal processes or the introduction of force, which typically result in adherent damage. Consequently, this proposal addresses “deboning on demand” in order to increase sustainability as well as resource efficiency of bonding processes. Hereby, polymers with covalent adaptable networks, in particular polyurethane-based vitrimers, will be used. Vitrimers are a class of polymers that possess dynamic (i.e. reversible) covalent bonds leading to thermoset-like properties while at the same time to thermoplastic-like (re)processability. Polyurethane-based adhesives are a widespread type of adhesives in the automotive industry, hence polyurethane-based vitrimers are expected to offer high potential in this industrial sector. However, these vitrimers have not been widely investigated as adhesives for the automotive industry. In this research project, polyurethane-based vitrimers will be validated for this area of operation. In particular, their adhesion to materials typical for automotive lightweight design, including hybrid joints, will be studied. Special emphasis will be laid on durability in aging and corrosion tests. Another aspect studied will be the ability to debond on demand, especially after conditioning. As polyurethane-based vitrimers have not been optimized to function as adhesives, the results gained from this project will demonstrate their current limitations and will at the same time provide guidance for further project work, thereby laying the foundations for a reversible, recycling-friendly joining method.

## **Endberichtkurzfassung**

Die im Projekt durchgeführten Arbeiten dienten der Bewertung der Einsatzfähigkeit eines Polyurethan-basierten Vitrimers als „deboning on demand“ Klebstoff im Fahrzeugbau. Der Vitrimer-Klebstoff wurde im Projekt selbst formuliert und funktionalisiert und mit Temperatur als Trigger wieder gelöst.

Nach detaillierter Charakterisierung und Anpassung der Formulierung wurde ein Isocyanat/Polyol-System mit Glycerin als zusätzlichem Vernetzer sowie einem kovalent gebundenen Katalysator als gut geeigneter Klebstoff gewählt, welcher Lösbarkeit und Wiederverschweißbarkeit ermöglicht. Der entwickelte Vitrimer-Klebstoff wurde in weiterer Folge für die Herstellung von Prüfkörpern verwendet.

Vergleiche mit einem kommerziell erhältlichen Polyurethan-basierten Klebstoffes (Benchmark) ergaben zwar geringere Festigkeitswerte für die Vitrimer-Variante (im ungealterten Zustand je nach Fügepart-Kombination (Al, Stahl, glasfaser- bzw. kohlenstofffaserverstärkte Epoxidharze) zwischen 0,1 und 2,2 MPa), da es sich hierbei jedoch um ein einfaches System ohne Füllstoffe oder Additivierung, welche in kommerziellen Klebstoffen enthalten sind und deren Performance steigern, war eine geringere mechanische Belastbarkeit zu erwarten und lieferte erste Anhaltspunkte für eine zukünftige Weiterentwicklung und Optimierung des Vitrimer-Klebstoffs.

Trotz der verminderten Festigkeit zeigte sich bereits jetzt eine gute Anbindung an die Fügepartoberflächen, vor allem an faserverstärkte Kunststoffe. Die Haftung zu metallischen Fügeparten war jedoch geringer. Dies war allerdings auch für den Benchmark-Klebstoff der Fall. Generell zeigten sich vergleichbare Trends im Haftungsverhalten beider Klebstoffe. Das spiegelte sich auch nach der Durchführung von automobilen Alterungs- bzw. Korrosionstests wider. Je nach Werkstoffkombination zeigten beide Klebstoffe nach Testende einen ähnlichen Versagensmodus oder versagten bereits während der Auslagerung.

Dass Werkstoffkombinationen aus Metall und CFK ein erhöhtes Korrosionspotential aufweisen konnte mit galvanische Korrosionsuntersuchungen festgestellt werden.

Wiederlösbarkeits-Untersuchungen zeigten das Potential des Vitrimers für „debonding on demand“ Anwendungen. Unter Temperatureinfluss ließen sich die Klebeverbindungen mit wenig Kraftaufwand händisch wieder lösen. Die Rückstände auf den Fügeoberflächen konnten mit steigender Temperatur zunehmend leichter mittels einer Klinge entfernt werden, was eine Wiederverwendung oder ein sortenreines Recycling des Fügebauteiles möglich macht.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass Vitrimere als „debonding on demand“-Klebstoffe im Fahrzeugbau einsetzbar sind. Je nach Anwendungsfall ist eine zukünftige Weiterentwicklung hinsichtlich der Einbringung von Füllstoffen und Additivierung auf jeden Fall notwendig. Ebenfalls müssen alternative Trigger zum Wiederlösen in Betracht gezogen werden, da eine erhöhte Temperaturbeaufschlagung für manche Bauteile kritisch sein kann.

### **Projektkoordinator**

- CEST Kompetenzzentrum für elektrochemische Oberflächentechnologie GmbH

### **Projektpartner**

- Polymer Competence Center Leoben GmbH