



## Sachbericht zum Verwendungsnachweis

### zum Vorhaben

Thema:

**Vorhabenbezeichnung:**

Verbundvorhaben: RICA - Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emission durch Erhöhung der Werkstoffausnutzung mit Hilfe des 3D-Digitalen Zwillings;  
Teilvorhaben: Tiefergehende Untersuchung und Kennwertbestimmung von Matrixharzen auf Basis von Polyurethanen und Epoxiden

Zuwendungsempfänger:

**Henkel AG&Co. KGaA**

Förderkennzeichen:

**03LB3009D**

Laufzeit:

**01.12.2020 bis 31.05.2024**

Monat der Erstellung:

**11/2024**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
Teil 1: Kurzbericht (wird veröffentlicht).....	3
1.1. Aufgabenstellung und Voraussetzungen.....	3
1.2. Planung und Ablauf des Vorhabens.....	3
1.3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse .....	3
1.3.1. Wissenschaftlichem und Technischen Stand .....	3
1.3.2. Arbeitspakete und Meilensteine .....	3
1.3.3. Zusammenfassung mit anderen Stellen .....	4
Teil II: Eingehende Darstellung der Ergebnisse (wird veröffentlicht).....	5
2.1. Erzielte Ergebnisse.....	5
2.2. die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	5
2.3. die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....	5
2.4. Voraussichtlichen Nutzens – Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des Fortgeschriebenen Verwertungsplan.....	5
2.5. Erkenntnisse von Dritten.....	6
2.6. Veröffentlichungen des Ergebnisses.....	6
Teil III: Erfolgskontrollbericht (ausschließlich interne Verwendung durch BMBF, wird <b>nicht veröffentlicht</b> ).....	7
3.1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen .....	7
3.2. Erzielte Ergebnisse.....	8
Demonstratorbauteil.....	8
3.3. Fortschreibung des Verwertungsplans.....	15
3.3.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte .....	15
3.3.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende.....	15
3.3.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende.....	15
3.4. Angaben zu Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	16
3.5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer.....	16
3.6. Angaben über die Einhaltung der Ausgaben- und der Zeitplanung .....	16
Anlage 1: RICA - Reduktion der CO <sub>2</sub> -Emission durch Erhöhung der Werkstoffausnutzung mit Hilfe des 3D-Digitalen Zwillinges – „Report Table of Content“: .....	18



## Teil 1: Kurzbericht (wird veröffentlicht)

### 1.1. Aufgabenstellung und Voraussetzungen

Eine zunehmend prekäre Belastung der Natur durch z.B. Treibhausgase sowie deren Einflüsse auf die Lebensqualität verursachen ein wachsendes Bewusstsein für nachhaltige Kreislaufwirtschaft. Dies führt zu gesetzlichen Bestrebungen eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft zu etablieren sowie zu ambitionierten Klimazielen verschiedener Industrieunternehmen. Der European Green Deal 2020 der europäischen Kommission hat das Ziel, Europa bis zum Jahr 2050 zum klimaneutralen Kontinent zu wandeln. Durch verschiedene Maßnahmen soll eine Kreislaufwirtschaft angestrebt werden. Ein Beispiel ist einen substanziellen Beitrag zum Technologietransfer-Programm Leichtbau zu liefern durch die Reduzierung von klimaschädlicher Treibhausgase durch eine bessere Werkstoffausnutzung, die Entwicklung einer digitalisierten Prozesskette und neuer Produkte für die Ermittlung von Werkstoffkennwerten und die simulationsgestützte Entwicklung (verbunden mit einer konsequenten Anwendung digitaler Zwillinge) und schlussendlich eine verminderte Ressourcennutzung durch virtuelle Werkstofftests und standardisierte Coupon-Tests zur Werkstoffcharakterisierung. Neben Nachhaltigkeits- und Klimazielen zielte RICA auch darauf ab, Mehrwert in mehreren Interessensbereichen der Projektpartner durch die Digitalisierung der Prozesskette im Allgemeinen und die Entwicklung neuer Technologien zu schaffen, um branchenübergreifende Lösungen und einen Wissens- und Technologietransfer aus der Luftfahrt, die sehr stark vom Leichtbau dominiert wird, in jede andere Branche oder jeden anderen Anwendungsbereich zu etablieren. Insgesamt führte RICA zu Entwicklungen zur Stärkung der deutschen Wirtschaft beispielsweise im Leichtbau sowie zur CO<sub>2</sub>-Einsparung durch Ressourceneffizienz und Materialsubstitution.

Im Rahmen des Projektes sollten Composite auf Basis zweier Infusionsharze mit spezifischer Beteiligung von Henkel hergestellt und charakterisiert werden. Diese sollte zur Auslegung eines CFK-Bauteils dienen. Das Bauteil sollte im Hochdruck RTM verfahren hergestellt und dann auf Steifigkeit und Festigkeit geprüft werden.

### 1.2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Henkel hat die Versuchsplatten nach Bedarf des anderen Projektpartner gefertigt. Das final Bauteile wurde zum Projektabschluss nach erfolgreicher Auslegung durch die anderen Projekt hergestellt.

### 1.3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

Es konnten Prüfplatten vom LOCTIE MAX 3 Polyurethan Infusionsharz mittels Hochdruck RTM hergestellt werden. Die Infusion aller geplanten Faser Geometrien war erfolgreich.

Im Anschluss ist es ebenfalls gelungen das geplant Bauteil in der Form, die von Eckerle bereitgestellt wurde, hergestellt werden. Während der Versuche zur Herstellung wurden Kerngeometrie und Dichtungskonzept der Form mehrfach überarbeitet um eine vollständige Faserbenetzung ohne Fiberwashing zu erreichen.

#### 1.3.1. Wissenschaftlichem und Technischen Stand

Die Herstellung der Versuchsplatten sowie des finalen Bauteils wurde auf einer vorhanden Hochdruck-RTM Anlage durchgeführt. Zur Optimierung des Herstellprozesses erfolge auf Basis der Anwendungserfahrung des Maschinenführers. Die Form zur Herstellung der Versuchsplatten war bereits vorhanden und vor dem Vorhaben regelmäßig in Gebrauch. Die Form für die Bauteilherstellung wurde von der Firma Eckerle bereitgestellt und im Rahmen des Vorhabens optimiert.

#### 1.3.2. Arbeitspakete und Meilensteine

Der Projektplan begann gemäß der ursprünglichen Planung Ende 2020 und wurde im Mai 2024 fertiggestellt. Innerhalb dieses Zeitraums arbeitete das RICA-Konsortium an mehreren Arbeitspaketen mit eigenen Schwerpunkten und Zielen. Henkel war in kleinerem und größerem Umfang an den verschiedenen Arbeitspaketen beteiligt und konzentrierte sich auf Folgendes: In HAP 1 (Anforderungen): Henkel unterstützte bei der Erstellung von Anforderungen und Zielen für



die Arbeitspakete CO<sub>2</sub>-Reduktion (AP 1.1), Tests (AP 1.2), Produktion (AP 1.5) und Industrialisierung (AP 1.6). In HAP 2 (Tests): HENKEL unterstützte maßgeblich die physikalische und mechanische Untersuchung der Harzsysteme mit seiner breiten Erfahrung in der Charakterisierung von Polymermaterialien. In HAP 3 (Simulation): HENKEL hatte eine untergeordnete Rolle, unterstützte jedoch die Simulation der CO<sub>2</sub>-Reduktion. In HAP 4 (Design): HENKEL teilte sein Know-how, um die Durchführung der Materialtests und die Anpassung des Spritzwerkzeugs zu unterstützen. In HAP 5 (Produktion): HENKEL stellte Material (Harzsysteme) für die Probekörperherstellung und Charakterisierungen in den einzelnen Arbeitspaketen zur Verfügung und war maßgeblich beteiligt. In HAP 6 (Industrialisierung): HENKEL untersuchte die industrielle Nutzung der Ergebnisse und Erkenntnisse von RICA und integrierte sie – sofern anwendbar – in die eigenen Prozesse. In HAP 7: Ergebnisse wurden gesammelt und dokumentiert und anhand der Projektziele überprüft.

### 1.3.3. Zusammenfassung mit anderen Stellen

Henkel war hauptsächlich an den Arbeitspaketen der Versuche (AP2) und der Herstellung (AP5) beteiligt. Um diese Aufgaben und anfänglichen Ziele zu erfüllen, war eine solide Zusammenarbeit zwischen den Partnern erforderlich. Jeder brachte seine eigene Expertise ein. Die experimentellen Tests waren eine der drei Hauptkomponenten dieses Projekts (neben Simulation und Industrialisierung). Gemeinsame APPLUS+-Tests wurden mit bekannten Standards auf der 2D-Ebene durchgeführt. Getestet wurden die von TEIJIN, HENKEL und VORWERK verwendeten Matrixmaterialien, Kernmaterialien für Sandwichbauteile, aber auch die Laminatmaterialien von TEIJIN und HENKEL, die aus einem in eine Richtung gelegten Material bestehen. Auf der Elementebene der Testpyramide waren neben Schadenstoleranztests auch Tests zum Einfluss von Löchern (Lochleibung unter Zug und Druck) geplant. Die Testplatten werden von TEIJIN,

HENKEL und VORWERK hergestellt und den Partnern zur Verfügung gestellt. Parallel dazu wurden an der Universität der Bundeswehr München Untersuchungen zur Verbesserung bestehender Prüfnormen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion durch den Verzicht auf aufgeklebte Doppler, aber auch eine moderne Dehnungsmessung durchgeführt. Darüber hinaus werden die erzielten Neuerungen in einem eigenen Arbeitspaket von allen evaluiert. Zur Verbesserung der Materialausnutzung mussten genauere Kenntnisse über den tatsächlichen Zustand des Prüflings gewonnen werden, beispielsweise durch Messung der Querkontraktionsverhältnisse in Verbindung mit der 3. Richtung durch die Universität der Bundeswehr, der Ausrichtung der Fasern im Laminat durch TEIJIN, Lastkombinationen zur Ermittlung des Interaktionsfaktors durch die Universität der Bundeswehr oder des Aushärtungsgrades des Matrixsystems durch TEIJIN und HENKEL. Die aus AP2 gewonnenen Ergebnisse, die in Zusammenarbeit der Partner gewonnen wurden, wurden letztlich für die weiteren Aufgaben im Projekt genutzt.

Im Hauptarbeitspaket HAP 5 wurden die erforderlichen Prüfplatten für die verschiedenen eingesetzten Werkstoffe und Werkstoffkombinationen hergestellt. Diese Prüfplatten bestehen zum einen aus den jeweiligen reinen Matrixwerkstoffen (also: Epoxidharz, Polyesterharz, PEEK, PA) und zum anderen aus den Kombinationen dieses Matrixwerkstoffs und der Verstärkungsfasern zu sogenannten Faserverbundwerkstoffen (FVW). Aus den reinen Harzplatten und den faserverstärkten Platten wurden Proben hergestellt, an denen die Eigenschaften der Werkstoffe ermittelt wurden. Bestandteil des Aufgabenpakets zur Herstellung von Laminaten ist auch der Einsatz eines verbesserten Werkzeugkonzepts zum Verpressen von thermoplastischen Laminaten mit PEEK-Matrix. Darüber hinaus wurde in HAP 5 ein Strukturbauteil zur Durchführung eines 4-Punkt-Biegeversuchs hergestellt. Hierzu wurden ein Spritzwerkzeug, mehrere Prüfbauteile und die Prüfvorrichtung eingesetzt/erstellt. Auch für die Herstellung war die Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern erforderlich und wurde parallel durchgeführt. So wurden Platten aus den jeweiligen Matrixmaterialien hergestellt. Diese bestehen aus PEEK (verarbeitet von Teijin), Epoxidharz (Hersteller Henkel, LOCTITE RI 9501 Aero) und Polyurethan (Hersteller Henkel, LOCTITE MAX3).



## Teil II: Eingehende Darstellung der Ergebnisse (wird veröffentlicht)

### 2.1. Erzielte Ergebnisse

Es konnten erfolgreich Prüfplatten auf Basis des LOCTITE MAX 3 Polyurethaninfusionsharzes hergestellt werden. Hier waren insbesondere für UD Gelege Anpassungen der Prozess Parameter für die Infusion erforderlich.

Zur Herstellung der Preform für das Zielbauteil wurden verschiedene Lagenaufbauten manuell auf einen Wickelkern aufgelegt und mit Sprühkleber fixiert. Während der ersten Infusionsversuche wurden deutliche Schwächen am Dichtungskonzept der Infusionsform festgestellt. In Zusammenarbeit mit der Firm ECKELRE wurden neue Dichtungen in das Werkzeug integriert. Abschließend wurden die Applikationsparameter so angepasst, dass es gelungen ist ausreichend Zielbauteile für die Steifigkeits- und Festigkeitstest herzustellen.

Eine detailliertere Beschreibung der Henkel-Ergebnisse ist im Erfolgskontrollbericht enthalten, der Zeichnungen und Ergebnistabellen enthält. Außerdem erstellt das Konsortium einen vollständigen (vertraulichen) Bericht über die im Rahmen des RICA-Projekts erzielten Ergebnisse mit einem Umfang von 250 Seiten. Der Inhalt dieses Berichts ist in Anhang 1 aufgeführt.

### 2.2. die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Henkel hat mehrere wissenschaftliche Forscher und Laboringenieure für die Durchführung seiner Aufgaben im RICA-Projekt eingesetzt. Die Projektkosten wurden ebenfalls hauptsächlich durch Personalkosten bestimmt. Obwohl einige Materialien für RICA verwendet wurden, wurden keine signifikanten Kosten separat ausgewiesen und auch für Reisen wurden nur geringe Kosten gegen das Projekt verbucht.

Die ursprüngliche Prognose oder Schätzung der erforderlichen Ressourcen wurde von Henkel überschritten. Einige zusätzliche Personalkosten waren erforderlich. Diese zusätzlichen Kosten werden von Henkel übernommen, da keine weiteren Mittel verfügbar waren. Dennoch lagen diese Kosten und Aktivitäten im Interesse von Henkel und dem Konsortium und wurden daher einbezogen.

Hinweis: Die genauen Kosten (Zahlen) werden in Teil III (Erfolgskontrollbericht) aufgeführt.

### 2.3. die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die durchgeführten Arbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie der im Projektantrag detailliert dargelegten Planung entsprachen und die im Arbeitsplan formulierten Aufgaben erfolgreich bearbeitet wurden. Darüber hinaus mussten keine zusätzlichen Ressourcen zur Durchführung des Vorhabens aufgewandt werden.

### 2.4. Voraussichtlichen Nutzens – Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des Fortgeschriebenen Verwertungsplan

Die Erfahrung in der Herstellung des Demonstratorbauteils mit dem RI 9501 Infusionsharz wird die Optimierung der Herstellung andere Serienbauteile für den Luftfahrtmarkt deutlich beschleunigen. Die Materialkennwerte die sowohl für das Harz auf den darauf basierenden Faserverbund gesamt wurden, werden per Abaqus einer großen Benutzergruppe zugänglich gemacht. Diese ermöglicht die schnelle und erfolgreiche Auslegung weiterer Bauteile in Faserverbund, was mittelfristig zur Gewichtsreduzierung von Lauffahrzeugen beitragen wird. Dies hat dann eine Einsparung von Treibstoff und somit reduzierte Treibhausgasemissionen zur Folge.



## 2.5. Erkenntnisse von Dritten

Während der Durchführung des Projektes sind keine arbeiten dritter auf dem relevanten Gebiet bekannt geworden.

## 2.6. Veröffentlichungen des Ergebnisses

-