

Abschlussbericht

ProPlug

| | |
|----------------------------------|--|
| Zuwendungsempfänger | Technische Universität Dresden Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik Holbeinstraße 3, 01307 Dresden Prof. Dr.-Ing. Niels Modler Tel.: +49 351 463-38156; niels.modler@tu-dresden.de |
| Förderkennzeichen | 16ME0154 |
| Projektkoordinator | Lätzsch GmbH Rathenaustraße 1 04567 Kitzscher OT Thierbach |
| Vorhabensbezeichnung | ProPlug – Entwicklung eines strukturintegrierten Steckverbindingssystem für die Elektrifizierung von funktionalisierten Faserverbundbauteilen |
| Teilvorhabensbeschreibung | Integrationskonzepte und -technologien und mechanische Charakterisierung |
| Laufzeit | 01.12.2020 bis 31.05.2024 |
| Berichtszeitraum | 01.12.2020 bis 31.05.2024 |
| Datum | 26.10.2024 |

Teil I: Kurzbericht

Aufgabenstellung und technischer Stand vor Projektbeginn

Für innovative Leichtbaustrukturen werden zunehmend Umsetzungen gefordert, die neben der Struktur auch weitere Funktionen, wie beispielsweise Lichtquellen, Sensoren oder Heizelemente integrieren. Die bisherigen praktischen Erfahrungen zeigten jedoch, dass die elektrischen Zuführungen zur Funktionsanbindung in Faserkunststoffverbund-Leichtbaustrukturen (FKV) nicht dauerhaft zuverlässig arbeiten. Konkret heißt das, dass zwar die Funktion in der Leichtbaugruppe anhand von Mustern nachgewiesen ist, aber die gesicherte elektrische und mechanische Anbindung und die Kabelführungen innerhalb der Komponente bis zur Steckverbindung an der Leichtbaustruktur ein bis dato schlecht funktionierendes System darstellt. Es mangelt an technisch ausgereiften, geprüften und einfach umsetzbaren Lösungen. Für die erfolgreiche Akzeptanz von funktionellen Leichtbaustrukturen über den Labormaßstab hinaus müssen diese jedoch robust, langlebig und dadurch nachhaltig sein.

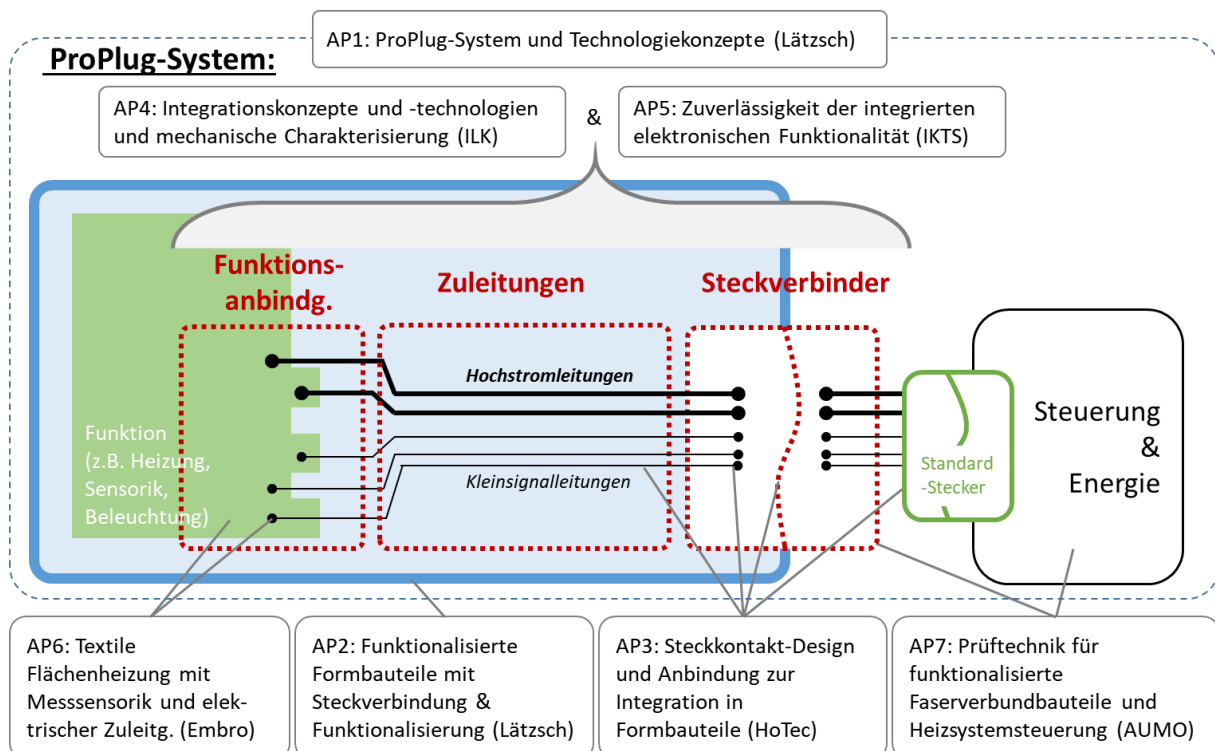


Abbildung 1: Schematische Darstellung des ProPlug-Systems mit den jeweiligen Teileinheiten und Zuordnung der Aufgabenpakete gemäß Arbeitsplan.

Entsprechend der dargestellten Abbildung 1 waren die Hauptaufgaben des Instituts für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) vor allem die Entwicklung von Konzepten und Technologien zur Integration des Gesamtsystems (Funktionsanbindung, Zuleitung, Steckverbinder) in Leichtbaustrukturen, sowie die mechanische Charakterisierung der Systembestandteile. Dazu wurden folgende wichtige Teilziele zur Erreichung des Gesamtziels definiert:

- Erarbeitung und Bewertung von Konzepten für wirtschaftliche und robuste Steckverbindungssysteme

- Technologische Umsetzung von Funktionsmustern mit integrierter Steckverbindung
- Werkstoffmechanischer Robustheitsnachweis integrierter Steckverbindungen an den Funktionsmustern sowie am Demonstrator
- Praxistaugliche Gestaltungsrichtlinien für integrierte Funktionselemente, im Besonderen für integrierte Flächenheizelemente

Kurzfassung der erreichten Projektergebnisse

Das ILK war in der Projektlaufzeit in den Arbeitspaketen AP1, AP2, AP3, AP4 und AP6 tätig. Die Ergebnisse sind nachfolgend stichpunktartig zusammengefasst:

AP1: ProPlug-System und Technologiekonzepte

- o Herstellungsverfahren (Handlaminat und Vakuum-RTM), Werkstoffe und Hilfsmittel definiert
- o Definition des Arbeitsschrittes an dem die Integration des Steckersystems stattfinden kann
- o Ausgearbeiteter Anforderungskatalog
- o Betrachtung und Bewertung von Verfahrensänderungen durch zusätzliche Handlingsysteme

AP2: Funktionalisierte Formbauteile mit Steckverbindung & Funktionalisierung

- o Planung mechanischer Bauteiluntersuchungen
- o Konzeption, Planung, Koordination und Fertigung der Prüfeinrichtungen zur Ermittlung der Bauteilfunktion

AP3: Steckkontakt design und Anbindung zur Integration in

- o Entwicklung und Fertigung von Hohlköpern für die Integration von innenfixierten Steckverbindern
- o Untersuchung der Tränkbarkeit verschiedener Funktionshalbzeuge
- o Konstruktion eines 3D-gedruckten Werkzeugs für erste Buchsenintegrationsversuche

AP4: Integrationskonzepte und -technologien und mechanische Charakterisierung

- o Konzepterarbeitung anhand morphologischer Entwicklungsansätze
- o Gegenüberstellung und Bewertung der von Funktionslagen
- o Erarbeitung einer Hüllkörpervariante, wodurch die Buchsengeometrie durch einen Besäumungsschritt freigelegt wird
- o Konzepterstellung einer außenfixierten Variante für einen Rundstecker
- o Zyklischer Dauerversuch am elektrodynamischen Shaker mit elektrischer Charakterisierung des ProPlug-Steckersystems

AP6: Textile Flächenheizung mit Messsensorik und elektrischer Zuleitung

- o Untersuchung der Formbeständigkeit und des Schwingverhaltens des Demonstrators unter dynamischen verschiedenen Lasten und Füllgraden

Abschlussbericht

ProPlug

| | |
|----------------------------------|--|
| Zuwendungsempfänger | Technische Universität Dresden Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik Holbeinstraße 3, 01307 Dresden Prof. Dr.-Ing. Niels Modler Tel.: +49 351 463-38156; niels.modler@tu-dresden.de |
| Förderkennzeichen | 16ME0154 |
| Projektkoordinator | Lätzsch GmbH Rathenaustraße 1 04567 Kitzscher OT Thierbach |
| Vorhabensbezeichnung | ProPlug – Entwicklung eines strukturintegrierten Steckverbindingssystem für die Elektrifizierung von funktionalisierten Faserverbundbauteilen |
| Teilvorhabensbeschreibung | Integrationskonzepte und -technologien und mechanische Charakterisierung |
| Laufzeit | 01.12.2020 bis 31.05.2024 |
| Berichtszeitraum | 01.12.2020 bis 31.05.2024 |
| Datum | 05.11.2024 |

Teil II: Eingehende Darstellung

1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse ausführlicher Darstellung

AP1: ProPlug-System und Technologiekonzepte

| AP1.2 Definition und Konzeptionierung nötiger Schnittstellen für das Handling und Integrieren der Zuleitungen, AVT und Steckverbindung im Formbauteil-Herstellungsprozess | | |
|--|------------|--------|
| Start | Ende | Umfang |
| 01.12.2020 | 31.05.2021 | 3 PM |

Die ersten Arbeitsergebnisse im Projektvorhaben bestanden in der Analyse der Fertigungsverfahren. Die Firma Lätzsch GmbH fertigt großflächige Bauteile mit geringer Stückzahl im Handlaminierverfahren. Dieses Fertigungsverfahren zeichnet sich durch einen hohen manuellen Arbeitsaufwand aus. Dabei werden Fasermaterialien unterschiedlicher Art auf eine mit Gelcoat beschichtete Formhälfte drapiert und im Nachhinein mit einem Matrixmaterial benetzt. Ein Verdichten und Kompaktieren des nassen Faser-Matrix Bauteils erfolgt durch das Überrollen der Flächen mit der Faserrolle. Dadurch werden Lufteinschlüsse reduziert, was eine deutlich verbesserte Bauteilqualität ermöglicht. Das 2K-Polyesterharz (Laminierharz Norsodyne H 73233) ist ein kaltaushärtendes Harz, wodurch beim Handlaminat keine Temperaturbelastungen im Fertigungsprozess zu erwarten sind.

Ein weiteres potenzielles Verfahren, zur Fertigung des Demonstratorbauteils, ist das vakuumunterstützte RTM-Verfahren (Resin-Transfer-Moulding), welches in Abbildung 1 dargestellt ist. Das Werkzeug besteht hier aus zwei beschichteten Formhälften. Nachdem die trockenen Fasermaterialien auf die untere Form drapiert wurden, erfolgt das vakuumdichte Verschießen des Werkzeugs. Durch den Injektionsdruck von 2 Bar und dem zusätzlichen Vakuum von ca. 400 mBar wird die Kavität schnell mit 2K-Polyesterharz (Injektionsharz VE6520) geflutet. Aufgrund der beidseitigen Formhälften aus Kunststoff kann die Prozesswärme, welche beim Vernetzen des Harzes entsteht, schlecht abgeleitet werden. Beim vakuumunterstützten RTM-Verfahren sind dadurch Prozesstemperaturen von max. 120°C zu erwarten.

Aufgrund des hohen manuellen Arbeitsaufwandes bei der Erstellung des Lagenaufbaus in der Fertigung und der geringen Stückzahl war ein Handlingsystem nach Meinung des ILKs nicht unbedingt notwendig.

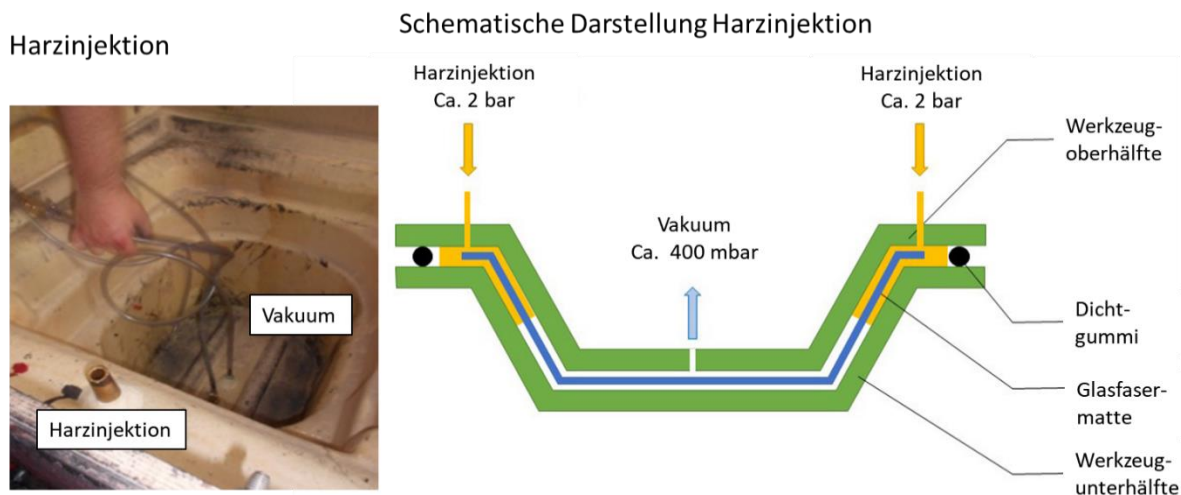


Abbildung 1: Links: Darstellung des Prozessaufbaus bei der Firma Lätzsch; Rechts: Schema und Aufbau des vakuumunterstützten RTM-Verfahrens. (Quelle: Lätzsch)

Im Projektvorhaben wurde die Funktionalisierung des Demonstrators durch eine bauteilintegrierte Heizstruktur hergestellt. Die Funktionsschicht wurde vom Projektpartner EMBRO hergestellt. Diese besteht aus einem Vlies, einem Heizdraht, welcher auf das Vlies gestickt ist sowie aus einer Anschlussleitung mit Stecker bzw. Buchse. Eine Integration in das Bauteil erfolgte im weiteren Projektverlauf aber ebenfalls mit einer e-Preform des ILK mit gleicher Funktion und Ausstattung. Eine Integration der Funktionslage erfolgte in den beiden Herstellungsprozessen (Handlaminat und Vakuum-RTM) beim Auflegen der einzelnen Faserlagen. Je nach Auslegung wurde die Funktionslage in dem Lagenaufbau positioniert.

AP2: Funktionalisierte Formbauteile mit Steckverbindung & Funktionalisierung

AP2.2 Integration verschiedener Stecksystemvarianten in Muster-Formbauteile zur mechanischen und elektrischen Bewertung der Konzepte

| Start | Ende | Umfang |
|------------|------------|-------------------|
| 01.08.2021 | 31.05.2022 | 5 PM WM & 3 PM TM |

Im AP2.2 erfolgte vorwiegend die Konzeption, Planung, Koordination und Fertigung der Prüfeinrichtungen zur Ermittlung der Bauteilfunktion sowie die Fertigung erster Funktionsmuster für die Validierung der Konzepte aus dem AP4.3. Abbildung 2 zeigt als Beispiel eine Vorversion der innenfixierten Variante mit integriertem Hüllkörper im ersten Intergationsversuch mit einem 3D-gedrucktem Werkzeug in a) und in einem einfachen Sandwichbauteil in b).

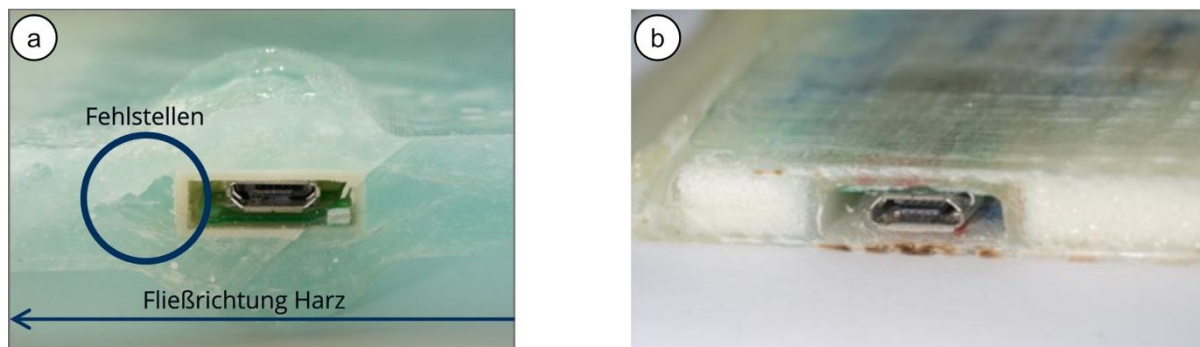


Abbildung 2: Darstellung erster Integrationsversuche in a) Integrationsversuch mit Fehlstellen und b) Integrationsversuch in einfachem Sandwichbauteil.

Zu dem Zweck der Funktionsprüfung wurden zunächst spezielle Prüfvorrichtungen konstruiert und angepasst, einschließlich der Entwicklung maßgeschneiderter Adapter und Halterungen für die Teile des späteren ProPlug-Systems. Diese Anpassungen ermöglichten eine gezielte Prüfung der makromechanischen Festigkeit, insbesondere in den kritischen Bereichen der Stecker- und Zuleitungsverbindungen, um die Belastbarkeit der Bauteile zu bewerten (Abbildung 3).

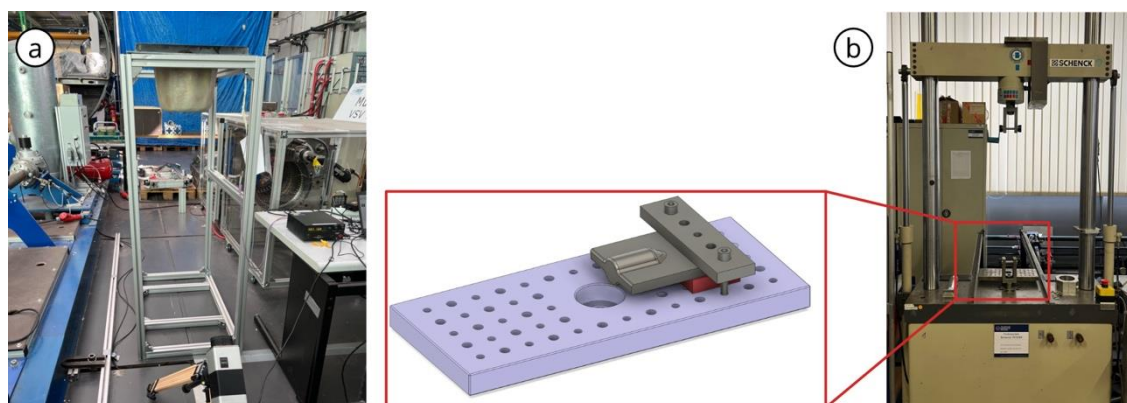


Abbildung 3: Darstellung der Prüfaufbauten zur Bewertung der Heiz- bzw. Isolierfunktion in a) und zur Prüfung der mechanischen Festigkeit der Steckerverbindung in b). Der Ansatz in b) wurde allerdings verworfen, weil im späteren Projektverlauf geeignetere Prüfmethoden ermittelt wurden.

Dies umfasste unter anderem den Aufbau einer Bauteilhalterung für Thermografie Untersuchungen. Mithilfe der Thermografie konnten Hot-Spots, die grundlegende Funktion aber auch potenzielle Schwachstellen der Funktionslagen in den Bauteilen erkannt werden. Für die Bewertung der Dauerfestigkeit wurde, wie in Abbildung 4 eine Bauteil- und Leitungshalterung für den Einsatz im elektrodynamischen Shaker entwickelt, um die Stabilität und Kontinuität der Leitungsverbindungen bei Vibrationen und Erschütterungen zu untersuchen.

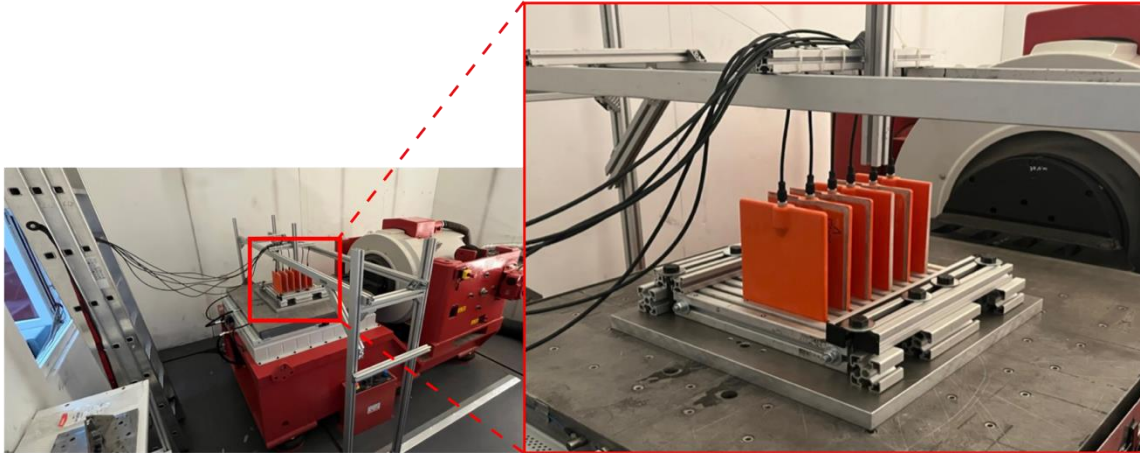


Abbildung 4: Darstellung der Bauteilaufspannung im Elektrodynamischen Shaker mit einer Leitungshalterung zur Entkopplung der Schwingungen.

Zur Erfassung und Bewertung der Leitungsunterbrechung unter mechanischer Belastung wurden Messkonzepte erarbeitet, die den Widerstand der integrierten Steckverbinder im Shaker messen. Hierzu wurde eine aufwändige Recherche zu benötigten Messgeräten/-karten durchgeführt. Die Anforderungen bestanden in der Erfassung von kurzen Widerstandsanstiegen von 7 Ohm in einem Zeitfenster von 1 μ s. Eine hohe Messeffizienz wird hierbei durch eine Mehrkanaligkeit erreicht. Zu Auswahl standen das PCIe-6374 der Firma National Instruments, das Keysight InfiniiVision DSOX2000A und das PC-USB-Oszilloskop PicoScope 4000A der Firma Pico Technology. Nach dem Gegenüberstellen und Bewerten der Messgeräten/-karten wurde sich für die Verwendung des Digitaloszilloskop InfiniiVision DSOX2004A entschieden. Dieses wurde anschließend für Testmessungen zur Erfassung der extrem kurzen Spannungsunterbrechungen in eine Brückenschaltung mit den Prüfbauteilen eingebunden. Eine finale Prüfung anhand von Funktionsmustern erfolgte im AP4.5.

AP3: Steckkontaktdesign und Anbindung zur Integration in Formbauteile

| AP3.2 Technologische Erstumsetzung der Konzepte aus AP3.1 unter Berücksichtigung der Prozessführung zur Formteilintegration | | |
|--|------------|--------|
| Start | Ende | Umfang |
| 01.06.2021 | 30.11.2021 | 1,5 PM |

Im Rahmen des AP3.1 führte das ILK unterstützende und beratende Tätigkeiten für die Partner aus. Hierzu wurden in einer Literaturrecherche Konstruktionsrichtlinien für Faserverbundbauteile aufgearbeitet, welche direkten Einfluss auf die Konzeptfindung des AP4.1 hatte.

| AP3.4 Bereitstellung von Musterbaugruppen der Steckverbinder zur mechanischen und elektrischen Prüfung | | |
|---|------------|--------|
| Start | Ende | Umfang |
| 01.09.2021 | 30.08.2022 | 2,9 PM |

In AP3.4 wurden Musterbaugruppen mit dem entwickelten ProPlug-System hergestellt und für mechanische und elektrische Tests zur Verfügung gestellt.

Zur Überprüfung der Integrationsfähigkeit und mechanischen Stabilität der Hüllkörpervariante (V1) wurden diese an einer Ersatzstruktur, welche einem Teilausschnitt der finalen Demonstratorgeometrie entspricht, validiert. Diese Ersatzstruktur ist in Abbildung 5 dargestellt.

Anhand der Bauraumrestriktionen wurde eine angepasster Hüllkörper (siehe Abbildung 5) entwickelt und drucktechnisch hergestellt. Die finale Integration erfolgte dann beim Partner Lätzsch GmbH, wo die Ersatzstruktur gefertigt wird. Die Ersatzstruktur wurde mit einem Trägertextilien mit einem Heizleiter oder einer Leiterschleife funktionalisiert.

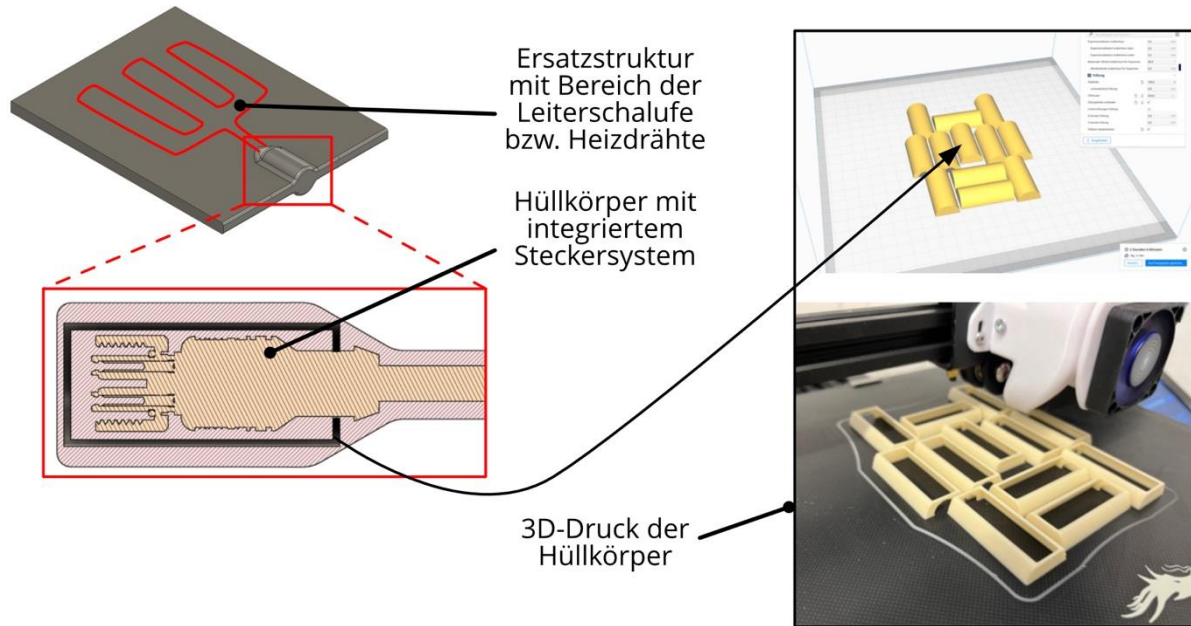


Abbildung 5: Darstellung des Hüllkörper-Designs und dem Bereich der Integration in der Ersatzstruktur auf der linken Seite. Die rechte Seite der Abbildung zeigt die Fertigung der Hüllkörper auf dem 3D-Drucker im FDM-Verfahren.

| AP3.5 Erforschung von Möglichkeiten zum Transfer der priorisierten Varianten in den Formbauteilprozess | | |
|---|------------|--------|
| Start | Ende | Umfang |
| 01.06.2022 | 31.05.2023 | 5,6 PM |

Das AP3.5 enthielt die Entwicklung von Konzepten zur fertigungsgerechten Integration der Vorzugsvarianten in dem Faserverbund. Im AP wurden deshalb Möglichkeiten zur Integration der Heizleiter und/ oder der Sensoren in den Formteilherstellungsprozess untersucht. Hierzu wurde die ePreforming-Technologie genutzt. Bei der ePreforming-Technologie wird eine textile oder folienbasierte Funktionslage als Trägermaterial für elektronische Bauteile verwendet und in den Lagenaufbau eingelegt. Um möglichst viele Rückschlüsse auf das Tränkungsverhalten und mögliche strukturelle Defekte zu erkennen, wurde eine Vielfalt an Trägermaterialien durch Tränkungsversuche untersucht. Die in Abbildung 6 dargestellten Trägermaterialien waren ein PA6-Vlies, eine perforierte PET Folie, eine PA-Polie und eine PP-Folie. Zum Zeitpunkt der Tränkungsversuche war der Lagenaufbau im späteren Bauteil noch nicht final festgelegt. Da jedoch der konkrete Lagenaufbaus einen geringen Einfluss auf die Tränkung der Funktionslage hat, wurde ein

Aufbau (siehe Abbildung 6) aus Glasfasergeweben, einer Funktionslage und einem PET-Schaum (zur potenziellen Isolation) gewählt.

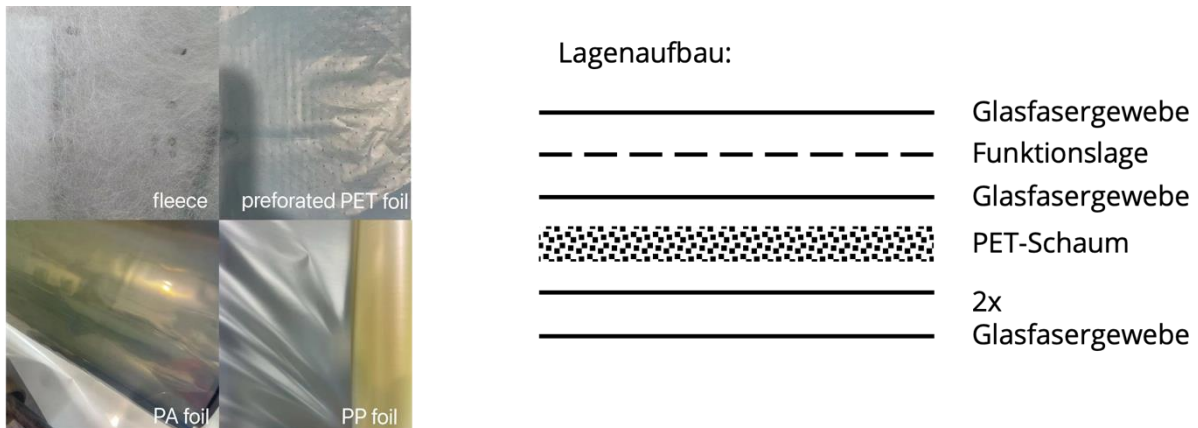


Abbildung 6: Darstellung der untersuchten, verschiedenen Trägermaterialien (=Basis der Funktionslage) und Lagenaufbau zur Untersuchung des Tränkungsverhaltens.

Anschließend an die Integration der Funktionslagen und den Formgebungsprozess wurden zur Analyse der Tränkungsfähigkeit Schliffproben (siehe Abbildung 7a) erstellt und bewertet. In der Bewertung der Schliffproben unter dem Auflichtmikroskop (Abbildung 7b) erwiesen sich die Folienhalbzeuge als Sperrschicht, wodurch Luftblasen in das Bauteil eingetragen wurden. Die perforierte Folie führte zu leichten Verbesserungen. Ein optimales Ergebnis ist erst durch den Einsatz von Vlieshalbzeugen erreicht worden.

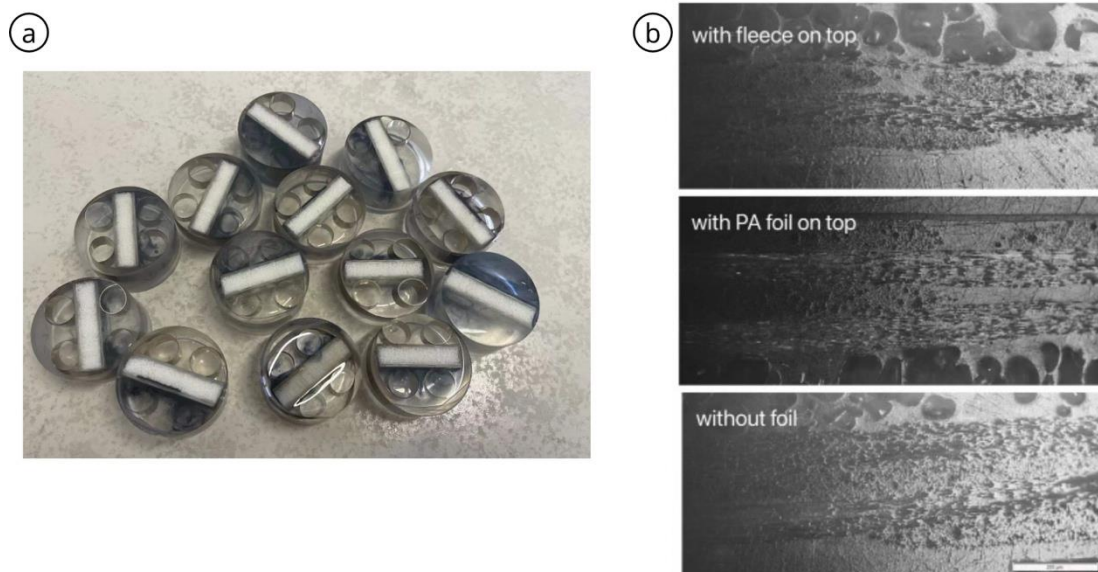


Abbildung 7: Darstellung der Schliffprobekörper in a) und dem Vergleich verschiedener Funktionslagen bei der Analyse im Auflichtmikroskop in b).

AP4: Integrationskonzepte und -technologien und mechanische Charakterisierung

Im Projektstrukturplan starten und enden die Arbeitspakete 4.1 und 4.3 als auch 4.2 und 4.4 jeweils zum gleichen Zeitpunkt. Weil sie auch thematisch miteinander interagieren, werden diese paarweise zusammengelegt beschrieben.

AP4.1 Methodenentwicklung zur Realisierung integrierter Steckverbindungen und AP4.3 Erarbeitung und Bewertung von Konzepten für integrierte bestückte Flächenheizungen

| Start | Ende | Umfang |
|------------|------------|---------------|
| 01.03.2021 | 31.08.2021 | 2,4 PM & 3 PM |

Folgende Themen wurden in den AP4.1 und AP4.3 bearbeitet:

- Entwicklung von Methoden zur faserverbundgerechten Integration des ProPlug-Systems
- Erarbeitung von verschiedenen Varianten, a) mit einem zu entformenden Kernelement für die Ausformung der mechanischen Buchsengeometrie, sowie b) bei der ein eigens hergestelltes Buchsenelement in der Verbundstruktur verbleibt
- Erarbeitung von Konzepten für thermisch angepasste Verbundaufbauten zur optimierten Wärmeverteilung im Bauteil und einer erhöhten Isolationswirkung nach außen für eine gezielte Wärmeübertragung aus den Flächenheizelementen zur Behältermitte, z. B. durch den Einsatz eines sandwichartigen Werkstoffverbundes mit thermisch isolierenden Zwischenschichten
- Zusammentragen von Bewertungskriterien, wie Wirtschaftlichkeit, Umsetzbarkeit und Robustheit
- Wichtung der Kriterien und Bewertung der Konzepte

Die Methodenentwicklung zur Konzepterstellung für eine funktionsintegrierte Steckverbindung wird im Nachfolgenden mit Hilfe eines morphologischen Kastens dargestellt. Die Eigenschaften der integrierten Steckverbindung sind in Abbildung 8 dargestellt.

| Leiterbahnführung | Steckerausgang | Material des Steckergundkörpers | Fixierung im Verbund | Verbundaufbau | Kontaktierung Leitung - Stecker | Pinanzahl | |
|-------------------|----------------|---------------------------------|--|--|---------------------------------|-------------|---|
| LCP Boards | In-plane | Metall und Kunststoff | Fixierung von außen durch das Werkzeug | Flacher Verbund (d < 2mm) | Federklemme | Einzelpin | Insertansatz Integrierte Variante mit Einleger und Schneidklemme |
| Flexleitung | Out-of-plane | Kunststoff | Fixierung im inneren | Mittlerstarker Verbund (2 < d < 10 mm) | Löten | Mehrfachpin | |
| Flachbandkabel | | Metall | Einlegen im Sandwichaufbau | Dicker Verbund (d > 10 mm) | Kleben mit Leitklebstoff | | Außenfixierter Ansatz |
| Dispensing | | | | Sandwichaufbau | Stecken | | |
| | | | | | Crimpen | | Innenfixierter Hüllkörperansatz |
| | | | | | Schneidkontakte | | |
| | | | | | Wickeln | | |

Abbildung 8: Darstellung des morphologischen Kastens mit den wichtigsten Eigenschaftsgruppen für die Konzeptionierung eines funktionsintegrierten Steckkontakts.

Nach der Konzeptbewertung und eingehender Diskussion im Konsortium wurden die Ansätze „Außenfixierter Ansatz“ und der „Innenfixierter Hüllkörperansatz“ für den weiteren Projektverlauf priorisiert.

Mit dem Ziel der möglichst gleichmäßigen Wärmeverteilung innerhalb der Struktur und einer Isolation von äußeren Temperatureinflüssen, wurde die Ersatzstruktur durch eine Funktionsschicht erweitert. Diese Funktionsschicht besteht aus einer Isolationsschicht

und einer Wärmeleitungsschicht und nimmt im Lagenaufbau (siehe Abbildung 6) die Position des Schaumstoffs ein. Die Grundfunktion und dazugehörige Materialbeispiele der integrierten Funktionsschicht sind nachfolgend dargestellt.

Isolation

Schaumkern, Wabenkern, Balsa, Abstandswebe, Isolationsvlies

Wärmeleitung

Drahtgitter, Silbervlies, Aluminiumfolie, Kohlenstofffaservlies

Für eine sinnvolle Eingrenzung wurden alle Funktionsschichten gegenübergestellt und hinsichtlich der Anforderungen Montage, Funktion und Wertschöpfung sowie deren Unterpunkte bewertet. Tabelle 1 zeigt den Vergleich der Isolationsschichten und in Tabelle 2 werden die wärmeleitenden Funktionsschichten beurteilt.

Tabelle 1: Vergleich und Bewertung der wärmeisolierenden Funktionsschicht.

| Kriterium | Faktor | Schaumkern | Wabenkern | Balsakern | Abstandgestrick | Isolationsvlies |
|-----------------------|------------|-------------|------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Montage | 0,3 | | | | | |
| Vorbereitung | 0,1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| Montageaufwand | 0,15 | 1 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| Prozesssicherheit | 0,05 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Funktion | 0,5 | | | | | |
| Funktionsgüte | 0,3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| Strukturbeeinflussung | 0,2 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Wertschöpfung | 0,2 | | | | | |
| Herstellungsaufwand | 0,1 | 3 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| Belastung Umwelt / MA | 0,05 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Recycling | 0,05 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Summe | 1 | 1,95 | 2,8 | 1,85 | 2,1 | 2,3 |

Tabelle 2: Vergleich und Bewertung der wärmeleitenden Funktionsschicht.

| Kriterium | Faktor | Drahtgitter | Silbervlies | Alufolie | Kohlenstoff-faservlies |
|------------------------|------------|-------------|-------------|------------|------------------------|
| Montage | 0,3 | | | | |
| Vorbereitung | 0,1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| Montage-aufwand | 0,15 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Prozess-sicherheit | 0,05 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Funktion | 0,5 | | | | |
| Funktionsgüte | 0,3 | 1 | 3 | 3 | 3 |
| Struktur-beeinflussung | 0,2 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| Wertschöpf-ung | 0,2 | | | | |
| Herstellungs-aufwand | 0,1 | 3 | 3 | 3 | 1 |
| Belastung Umwelt / MA | 0,05 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Recycling | 0,05 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Summe | 1 | 1,4 | 2,9 | 2,9 | 2,35 |

Die Gesamtbewertung führt zu den Vorzugsvarianten Wabenkern als Isolationslage sowie Silbervlies und Aluminiumfolie als Wärmeleitungsschicht, weshalb diese im Projektverlauf eingehend untersucht wurden.

AP4.2 Technologische Umsetzung von Funktionsmustern mit integrierten Steckverbindungen

AP4.4 Auswahl von Vorzugsvarianten und Übertragung auf Funktionsmuster mit Integration von textilen Heizsystemen

| Start | Ende | Umfang |
|------------|------------|-----------------|
| 01.09.2021 | 30.02.2022 | 1,5 PM & 1,5 PM |

Folgende Themen wurden in den AP4.2 und AP4.4 fokussiert:

- Überprüfung der technologischen Machbarkeit der in AP 4.1 entwickelten Methoden und Varianten
- Auswahl von Vorzugsvarianten aus den zusammen mit den Projektpartnern erarbeiteten Konzepten für die Teilsystemlösungen anhand einer zu definierenden Bewertungsmatrix
- Entwurf, Konstruktion und Fertigung von Funktionsmustern der Vorzugsvarianten für folgende Teilaspekte:

Im Projektvorhaben wurden zwei wesentliche Steckkontakt-Designs und Integrationsmethoden entwickelt, welche im weiteren Projektverlauf noch angepasst und optimiert wurden.

Variante 1 – Innenfixiert Hüllkörper

Diese Variante besteht aus einem angepassten, flachen Hüllkörper und einem Buchsenelement mit Kontaktstellen, an die Leitungen aus dem Bauteil gefügt werden können. In einem vorgelagertem Fertigungsschritt wurde ein Hüllkörper konstruiert und mit einem 3D-Drucker im FDM-Verfahren gedruckt. Wie in Abbildung 9 dargestellt, erfolgte als nächstes die Komplettierung der gedruckten Hüllkörperhälften mit dem Buchsenelement (hier Micro-USB-Breakoutboard) und die Verklebung zum dichten Hüllkörper. Der Vorteil dieser Variante besteht in der hohen Flexibilität bei der Auswahl der Buchsenformen durch eine einfache Anpassung der Hüllkörper. Weiterhin besteht die Möglichkeit, den Hüllkörper geometrisch an den Lagenaufbau anzupassen und so die Infiltrationseigenschaften zu beeinflussen. Aufgrund der flachen Bauweise wird diese Variante hauptsächlich für Flachbuchsen (z. B.: USB, RAST-Stecker, nebeneinander gelagerte Kontakte) verwendet. Bei dem Fertigungsverfahren Handlaminieren werden die Fasermaterialien üblicherweise über den späteren Bauteilrand hinaus verlegt und laminiert. Das heißt, dass die finale Bauteilgeometrie erst durch einen Besäumungsprozess erstellt wird. Wie in Abbildung 10 zu sehen, wird dieser Schritt in der Variante „Innenfixierte Hüllkörpervariante“ genutzt, um die Buchse bzw. die Steckkontakte freizulegen.

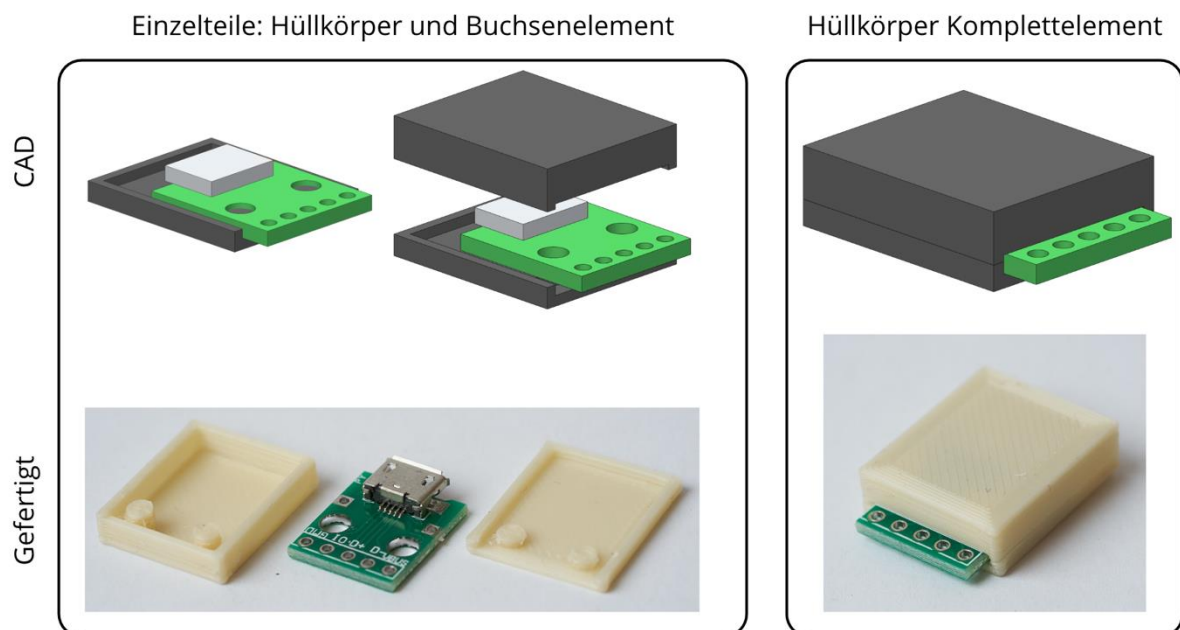


Abbildung 9: Darstellung Variante „Innenfixierte Hüllkörpervariante“. Links: Einzelteile Hüllkörper und Buchsenelement; Rechts: Zusammengebauter Zustand vor der Integration.

Draufsicht vor
Bauteilbesäumung
(Schnittdarstellung)

Lasche für vollflächige
Abdeckung des
Bauteils, Decklagen
werden
zusammengeführt

Schnittbereich für
nachfolgenden
Besäumungsprozess

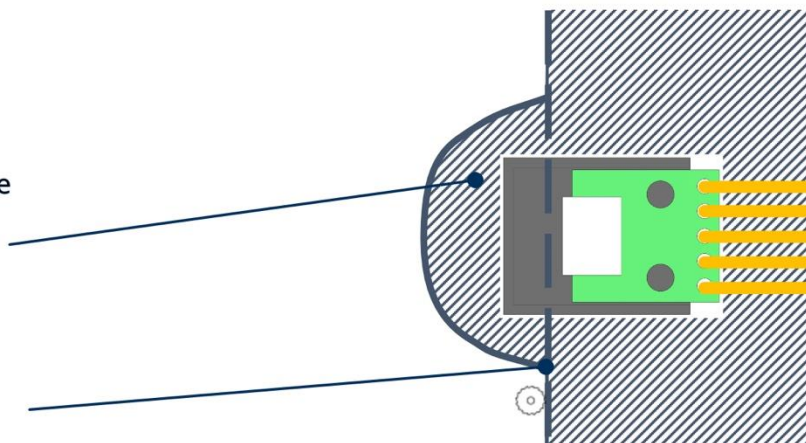


Abbildung 10: Draufsicht des Bauteilausschnitts mit integriertem Buchsenelement "Innenfixierte Hüllkörpervariante". Nach dem Besäumungsprozess entlang der gestrichelten Linie wird die Buchse freigelegt.

Variante 2 – Außenfixierter Ansatz

Mit dieser Variante wurde ein Konzept verfolgt, welches bei der Fertigung mit geschlossenen Formhälften Einsatz finden kann. In der Werkzeughälfte ist eine Durchgangsbohrung mit Gewinde vorgesehen. Durch eine druckdichte Verschraubung von außen wird das Buchsenelement fixiert. Diese Variante ist auf Buchsenelemente für Rundstecker begrenzt. Weiterhin muss das Buchsenelement mit einem Gewinde versehen sein. Ein Besäumungsprozess zur Freilegung der Buchse wird jedoch nicht benötigt.

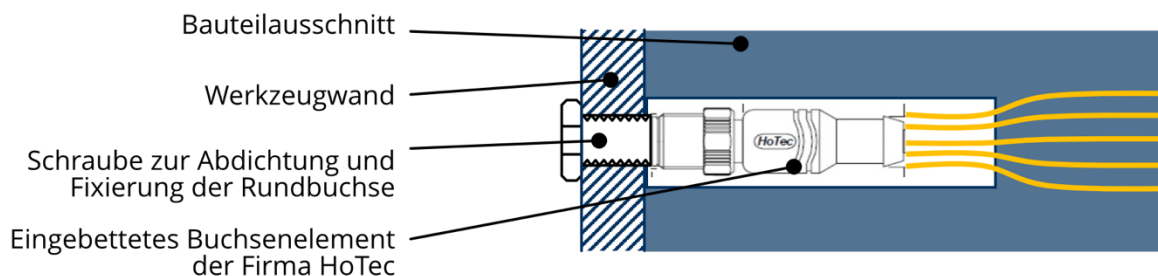


Abbildung 11: Darstellung der Variante "Außenfixierter Ansatz".

Versuchswerkzeug zur Integration der Varianten „Innenfixierter Hüllkörperansatz“ und „Außenfixierter Ansatz“

Für mechanische Untersuchungen der Buchsenvarianten wird ein Teilausschnitt des Bauteils verwendet. Dieser hatte die Abmaße eines $210 \times 150 \text{ mm}^2$ und soll beide Buchsenvarianten abbilden. Hierfür konstruierte der Projektpartner Lätzsch ein Teilausschnitt des Demonstratorbauteils mit einer Aufdickung, welches am ILK als Vorlage für ein 3D-gedrucktes Werkzeug verwendet wurde. In Abbildung 12 ist die CAD des Werkzeugs dargestellt.

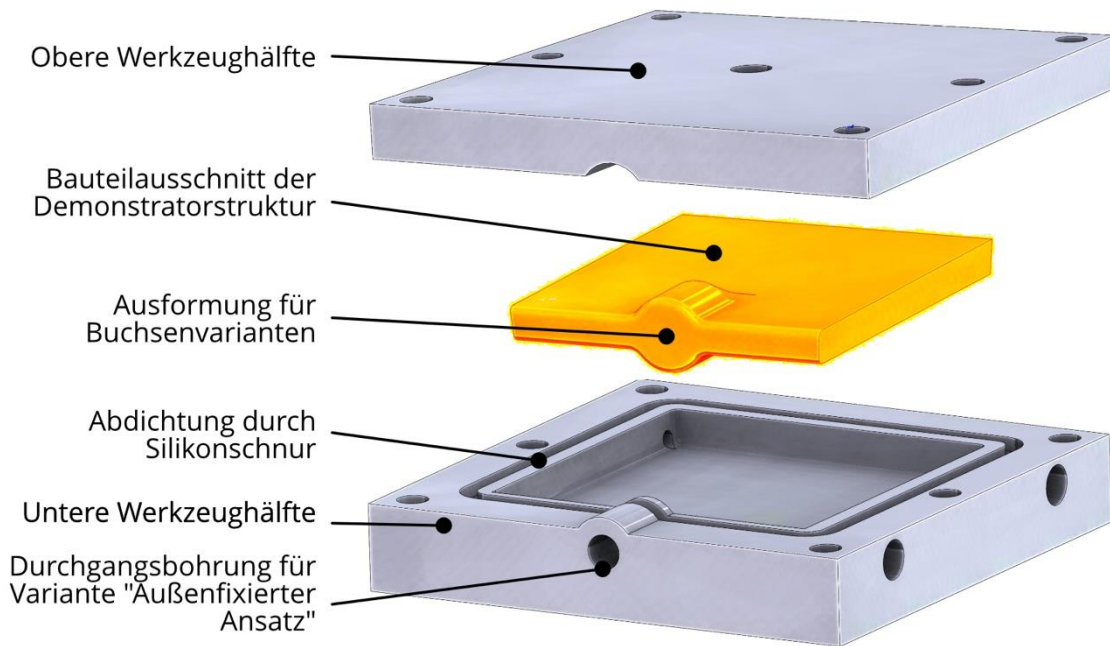


Abbildung 12: CAD-Darstellung des 3D-gedruckten Formwerkzeugs für Integrationsversuche und spätere mechanische Untersuchungen.

In Abbildung 13 sind Integrationsversuche mit dem 3D-gedruckten Werkzeug dargestellt. Dabei konnten auch erste Erkenntnisse zur Methodik der vorgestellten Buchsenintegration gewonnen werden. Das Werkzeug ist für die Innenfixierung von Hohlkörpern mit integrierter Steckkontaktlösung, als auch für die Außenfixierung durch eine Verschraubung entwickelt worden.

Versuchsaufbau

- Zwei Lagen Vorzugsmaterial
- Hüllkörper V1 mit integrierter Micro-USB-Buchs, welche mit Sprühklebstoff fixiert wurde
- Materialien: Verstärkungsmaterial + L-Harz

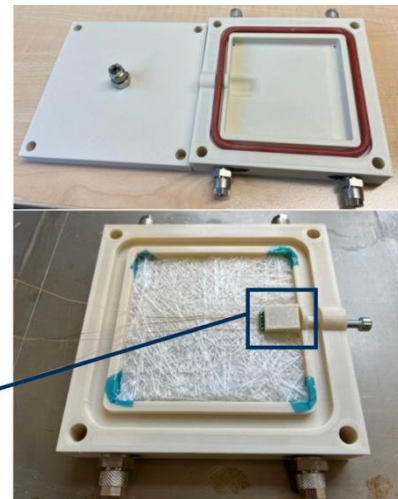
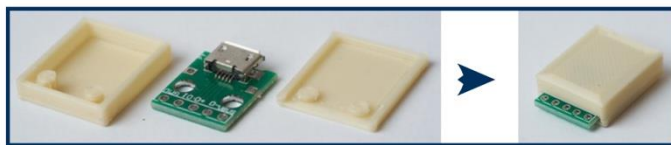


Abbildung 13: Darstellung eines Integrationsversuchs mit einem innenfixierten Hohlkörper.

AP4.5 Bewertung der makromechanischen Bauteilfestigkeit insbesondere in den Stecker- und Zuleitungsbereichen

| Start | Ende | Umfang |
|------------|------------|--------|
| 01.03.2022 | 31.05.2023 | 6 PM |

Laut Projektantrag sollte im AP4.5 die mechanische Prüfung von Funktionsmustern stattfinden. Dies sollte unter Zug-, Druck- und Biegebeanspruchung als auch durch Langzeituntersuchungen erfolgen. Nach einer aufwändigen Recherche und Nachfrage bei

Industriekontakten konnte keine allgemeingültige Prüfvorschrift oder Prüfregime für die ursprünglich geplanten Untersuchungen bei Landmaschinen ermittelt werden. Daher wurde auf den *Technischen Leitfaden zur Validierung von Steckverbindern im Automobilbereich* zurückgegriffen. Dieser beschreibt ein Prüfregime unter hoher zyklischer Belastung in verschiedene Raumrichtungen. Da die Zug-, Druck- und Biegebelastung bei diesem Prüfregime in kombinierter Form erfolgt, wurde von einer einzelnen Prüfung dieser Belastungen abgesehen. Für diese kombinierte Untersuchung wurden Ersatzstrukturen mit integrierten Steckern sowie Leiterschlaufen bzw. Heizelementen mit einer betriebsartigen, zyklischen Dauerbelastung beansprucht. Die Prüfparameter sind nachfolgend kurz zusammengefasst und können vollständig dem Technischen Leitfaden¹ entnommen werden. Aufgrund des Anforderungsprofils wurde mit einer Kombination der Vibrationsklasse V1 und V2 geprüft.

PG 17 „Dynamische Beanspruchung“

- Vibrationsklasse V2: Karosserie gedichtet, Motorraum, Radkästen; Profil Rauschen mit überlagertem Temperaturwechsel (TWT wurde nachgelagert am IKTS realisiert)
- Schwingungsprüfung des Prüflings in drei Achsrichtungen
- Prüfdauer: 8h (aus Vibrationsklasse V1)
- Schwingprüfung nach Schärfegrad V2 mit Rauschanregung nach DIN EN 60068-2-64 (siehe Tabelle 3)
- Messen des Durchgangswiderstands vor und nach jedem Prüfdurchlauf

Anforderungen nach ¹:

- Es dürfen keine funktionsrelevanten Schäden auftreten.
- Die Handhabung (Stecken und Ziehen) muss nach dem Test gegeben sein.
- Während der Prüfung dürfen keine Stromunterbrechungen auftreten. Eine Stromunterbrechung ist vorhanden, wenn der Widerstand über einen Zeitraum von größer 1 μ s und größer 7 Ω ist.

Tabelle 3: Auflistung der Anlagenparameter zur Einstellung des Rauschens nach DIN EN 60068-2-64.

| Frequenz [Hz] | Spektrale Leistungsdichte [(m/s ²) ² /Hz] |
|---|--|
| 10 | 20,00 |
| 55 | 6,50 |
| 180 | 0,25 |
| 300 | 0,25 |
| 360 | 0,14 |
| 1000 | 0,14 |
| Effektiver Beschleunigungswert: 27,8 m/s ² | |

In Abbildung 14 ist in hellgrün das geforderte Profil der spektralen Leistungsdichte (siehe Tabelle 1), die obere und untere Grenze (rot) sowie die tatsächliche Prüfbeanspruchung (dunkelblau) dargestellt.

¹ Technischer Leitfaden – TLF 0214 (2021): Validierung von Automotive-Niedervolt-Steckverbinder, ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., 2021

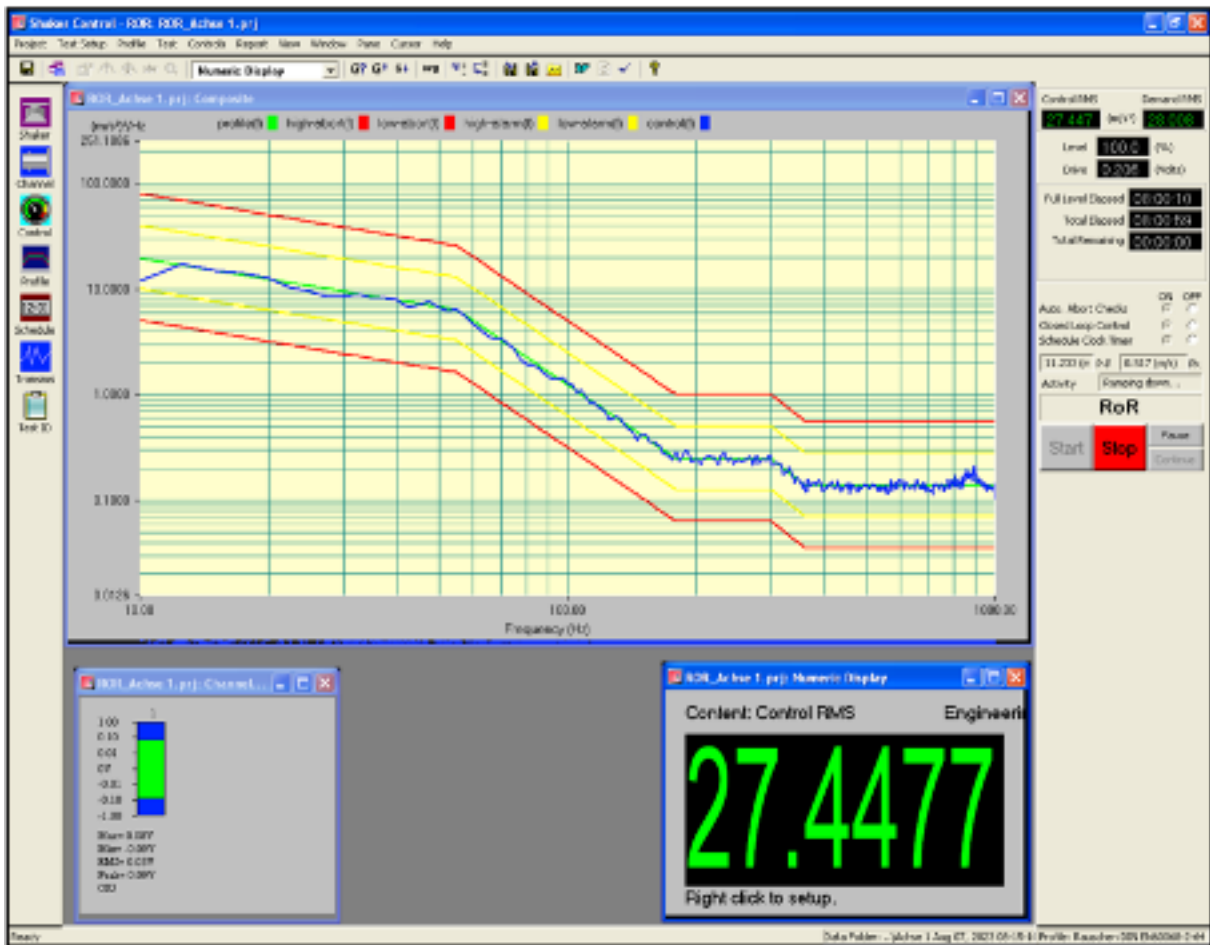


Abbildung 14: Darstellung des Profils des Breitbandrauschens in der Software Shaker Control.

In Abbildung 4 ist der Versuchsaufbau für die zyklischen Langzeituntersuchungen der Funktionsmuster mit dem elektrodynamischen Shaker zu sehen. Es wurden immer sechs Proben in einem Prüfdurchlauf pro Raumrichtung geprüft. Der Messaufbau bestand aus einem Spannungsteiler und einer hoch genau geregelten Konstantspannungsquelle. Mit einem Oszilloskop (DSOX2004A, Fa. Keysight) konnten Schwellwertüberschreitungen im MHz-Bereich aufgezeichnet werden.

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind die geprüften Strukturen und deren Eigenschaften der Prüfungen auf dem Schwingtisch aufgelistet.

Tabelle 4: Darstellung der Prüfstrukturen und deren Eigenschaften. Rot dargestellt sind nicht kontaktierbare Proben.

| Probenbezeichnung | Integrationsvariante | Kontaktierbarkeit | Zuleitung | Steckerumspritzung | Versuch bestanden |
|-------------------|----------------------|-------------------|-----------|--------------------|-------------------|
| 1-1-1 bis 1-1-3 | Außenfixiert | Gegeben | FEP | Ja | Ja |
| 1-2-1 bis 1-2-3 | Außenfixiert | Gegeben | FEP | Nein | Ja |
| 1-3-1 bis 1-3-3 | Außenfixiert | Gegeben | Silikon | Ja | Ja |
| 1-4-1 bis 1-4-3 | Außenfixiert | Gegeben | Silikon | Nein | Ja |
| 1-5-1 bis 1-5-3 | Innenfixiert | Gegeben | FEP | Ja | Ja |
| 1-6-1 bis 1-6-3 | Innenfixiert | Nicht gegeben | FEP | Nein | Nein |

| | | | | | |
|-----------------|--------------|----------------------|---------|------|------|
| 1-7-1 bis 1-7-3 | Innenfixiert | Gegeben | Silikon | Ja | Ja |
| 1-8-1 bis 1-8-3 | Innenfixiert | Nicht gegeben | Silikon | Nein | nein |

Bei der Prüfung ist folgendes Problem aufgetreten:

- Die Proben 1-6-1 bis 1-6-3 und 1-8-1 bis 1-8-3 fielen durch vermehrte Kontaktierungsfehler auf. Bei dem Einlegen des Hülsenkörpers in den Lagenaufbau kam es zu einem Versatz des Steckerelements, wodurch der Abstand zur Besäumungsebene variierte. Die Steckerlage war demnach schräg oder zu weit im Bauteil, wodurch eine Kontaktierung mit dem Steckergegenstück nicht möglich war. Die untersuchten Varianten legen nahe, dass für die Integrationsvariante „innenfixiert“ eine Steckerumspritzung erforderlich ist um eine Kontaktierbarkeit zu gewährleisten (Tabelle 4).

Die Widerstandsmessung vor und nach dem Versuch wurde als Relativwert im Oszilloskop gespeichert. Eine Abweichung konnte bei keinen Proben festgestellt werden. Die Handhabung (Stecken und Ziehen) der Stecker waren vor und nach den zyklischen Versuchen unverändert. Alle kontaktierbaren Proben haben somit die zyklische Langzeituntersuchung ohne eine messbare Schädigung des Steckverbindungskontaktes überstanden.

Nach den ersten Temperaturwechseltests beim Partner IKTS, wurden zusätzlich Funktionsmuster mit einem Heizleiter geprüft. Da bei diesen Probekörpern aufgrund des Heizleiters jedoch der Grundwiderstand sehr hoch ist, konnte hier keine Untersuchung des Unterbrechungswiderstandes durchgeführt werden.

| AP4.6 Werkstoffmechanischer Robustheitsnachweis integrierter Steckverbindungen am Demonstrator | | |
|---|------------|--------|
| Start | Ende | Umfang |
| 01.06.2023 | 31.05.2024 | 5,6 PM |

Im AP4.6 erfolgte die Überprüfung der mechanischen Bauteilintegrität und Funktionalität des Demonstrators sowie der Funktionsnachweis. Die getätigten Langzeitmessungen werden im AP4.6 beschrieben und in AP7.4 bewertet. In Abbildung 15 ist der Messaufbau beim Projektpartner AUMO dargestellt. Im Hintergrund der Abbildung 15a ist die Prüfeinrichtung mit den Impactgebern (Motor, Stoßgeber) dargestellt, mit denen verschiedene Belastungsszenarien abgebildet werden konnten. In Abbildung 15b ist eine Skizze mit den jeweiligen Messpunkten für die Triaxial-Beschleunigungsaufnehmer dargestellt. Die Beschleunigungen wurden mit einem hochpräzisen Messsystem (Fa. Brüel&Kjaer) aufgezeichnet.

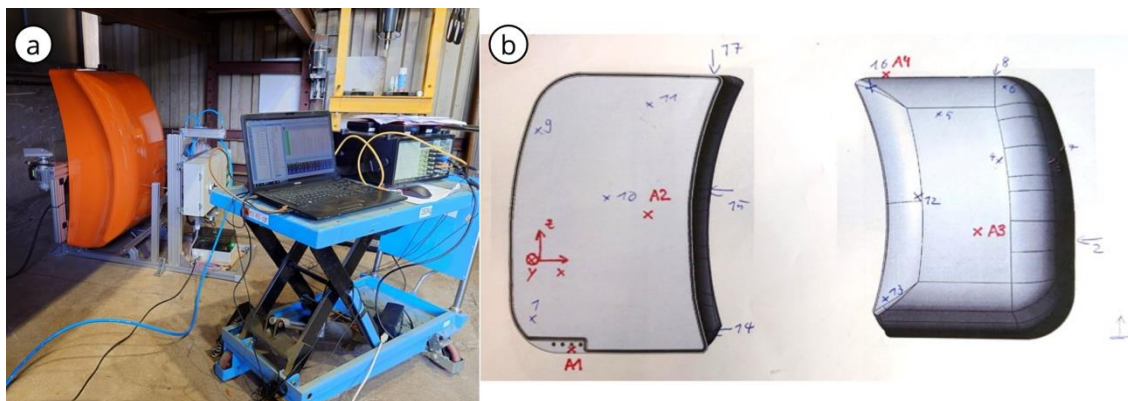


Abbildung 15: a) Darstellung des Messaufbaus beim Projektpartner AUMO und b) Illustration der Messpunkte für die triaxiale Beschleunigungsmessung.

AP6: Textile Flächenheizung mit Messsensorik und elektrischer Zuleitung

AP6.3 Robuste Integration und Kontaktierung von Sensorik an Funktionstextilien zur Temperaturmessung im Formbauteil

| Start | Ende | Umfang |
|------------|------------|--------|
| 01.09.2021 | 30.11.2022 | 5 PM |

Im Projektvorhaben wurden unterschiedliche Lagenaufbauten thermografisch untersucht. In Abbildung 16 ist der Versuchsaufbau beispielhaft dargestellt.

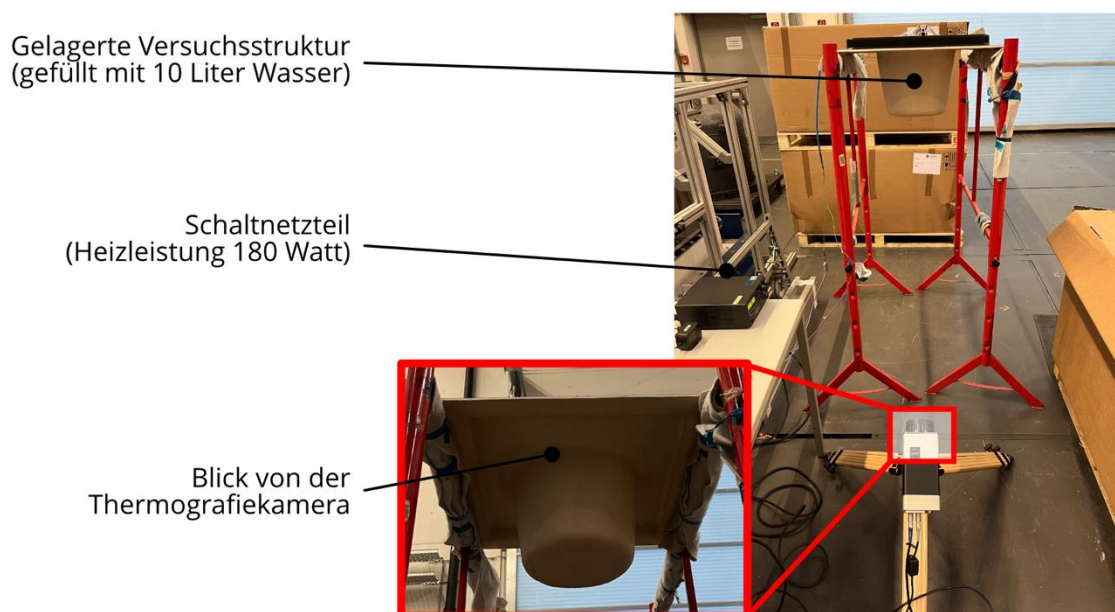


Abbildung 16: Versuchsaufbau der thermografischen Untersuchungen.

Ziel der Untersuchungen waren zum einen der Abgleich der Simulationsergebnisse des Projektpartners Fraunhofer IKTS und zum anderen eine Bewertung verschiedener Lagenaufbauten hinsichtlich der Wärmeverteilung im Bauteil. In Abbildung 17 sind die ersten Messungen mit der Thermokamera *VarioCAM HD head* dargestellt, welche mit der Software *IRBIS Professional* ausgewertet wurden. Dabei ist eine weitgehend homogene Wärmeverteilung durch eine mit Wasser gefüllte Struktur zu erkennen.

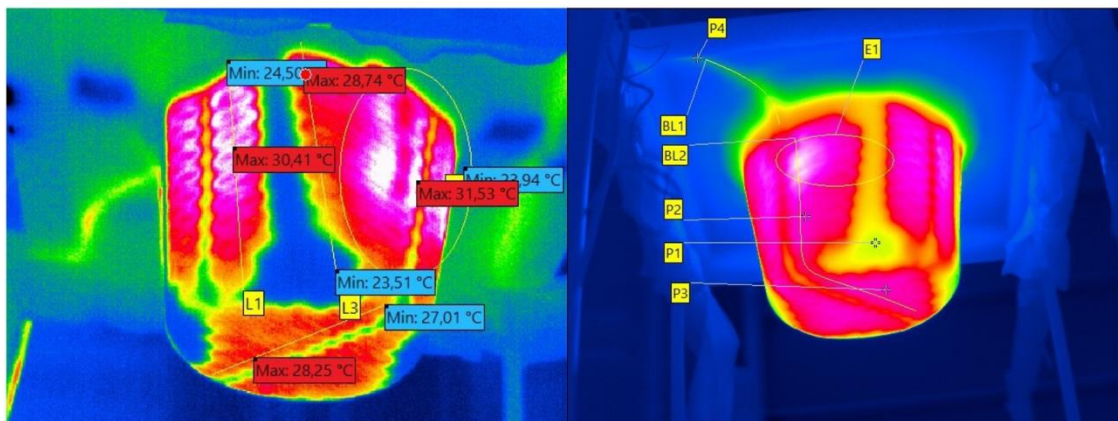


Abbildung 17: Links: Thermografiebild einer ungefüllten Struktur bei Raumtemperatur; Rechts: Thermografiebild einer mit 10 Liter Wasser gefüllten Struktur.

Im weiteren Projektverlauf wurden mehrere Strukturen mit Wabenkern und mit Silber- bzw. Kohlenstofffaservlies untersucht. Diese Varianten sollen äußeren Umwelteinflüssen entgegenwirken und die Wärme durch die Funktionslage weiter verteilen. In Abbildung 18 ist ein Vergleich der Lagenaufbauten mit Aluminiumfolie, mit einem Wabenkern und mit einem Silbervlies dargestellt. Zusammen mit den Erkenntnissen aus AP3.5 zur Tränkbarkeit von Funktionslagen und den Messergebnissen ist eine sehr gute Wärmeverteilung und Speicherung mit einem Silbervlies zu erwarten.

Lagenaufbau mit Alufolie

- höchster Temperaturunterschied zwischen Zone mit Heizleiter und ohne ($T = 16K$)
- Wärmeverteilung wirkt difus
- Heizleiter nicht zu erkennen

Lagenaufbau mit Wabenkern

- Geringste Temperatur auf der Strukturaußenfläche
- Geringer Temperaturunterschied zwischen Zone mit Heizleiter und ohne ($T = 14K$)
- Isolationswirkung stellt sich ein

Lagenaufbau mit Silbervlies

- Geringster Temperaturunterschied zwischen Zone mit Heizleiter und ohne ($T = 12K$)
- Wärme wird im Vergleich zu anderen Varianten am besten verteilt

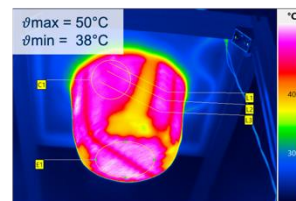
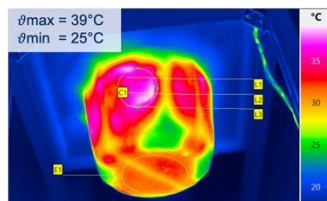
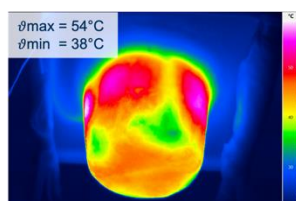


Abbildung 18: Darstellung der Wärmeverteilung mit verschiedenen Arten von Funktionslagen.

AP7: Prüftechnik für funktionalisierte Faserverbundbauteile und Heizsystemsteuerung

AP7.4 Bewertung der Messgrößen und Herstellung von Zusammenhängen zum Alterungsverhalten der formteilintegrierter Funktionalitäten und des ProPlug-Systems

| Start | Ende | Umfang |
|------------|------------|--------|
| 01.06.2022 | 31.05.2024 | 3 PM |

Im Rahmen des Projekts wurden zwei Demonstratorstrukturen aufgebaut. Ein Demonstrator verblieb für die Projektergebnispräsentation bei Lätzsch und ein

Demonstrator wurde beim Partner AUMO hinsichtlich seiner Robustheit untersucht. Die vom Projektpartner AUMO aufgebaute Prüfvorrichtung erzeugte dabei typische Stoß- und Vibrationsbelastungen, wie sie in Landmaschinen zu erwarten sind. Folgende Parameter wurden während der Prüfung ausgewertet

- Elektrischer Widerstand der Heizelemente und Temperatursensoren über die gesamte Testspanne (durch Partner AUMO)
- Beschleunigungsmessungen an charakteristischen Punkten auf der Struktur (siehe Abbildung 15)
- Tankverformung vor und nach Robustheitstest
- Temperaturverteilung auf der Außenseite der Demonstratorstruktur bei verschiedenen Füllständen (durch Partner AUMO)

Die Demonstratorstruktur wurde bei drei verschiedenen Füllständen (leer & unbeheizt, 1/3 gefüllt & beheizt, 2/3 gefüllt & beheizt) in wiederum drei verschiedenen, komplexen Prüfzenarios getestet. Dabei erfolgte eine zyklische Belastung mit wechselnden Phasen von ausschließlich Vibrationsbelastung, wie sie durch Motoren oder Pumpen an der Landmaschine auftreten, ausschließlich Stoßanregung, die beispielsweise durch Unebenheiten im Boden, überrollte Steine, Schwappbewegungen im Tank o.ä. auftreten können und einer Kombination dieser Belastungsarten.

Für jedes Szenario wurden mehrere Wiederholungsmessungen durchgeführt, welche eine sehr gute Signalübereinstimmung zeigten.

Für die Stoßanregung wurden zudem verschiedene zeitliche Verläufe der Belastung realisiert, indem die Druckstempel entweder mit viel Kraft oder mit viel Weg den Demonstrator anregten und diese sich entweder schnell oder langsam wieder von der Struktur lösten.

Die Vermessung der Tankverformung erfolgte mit einem hochpräzisen ROMER Messarm an 17 Punkten auf der Tankoberfläche vor und nach jedem Belastungszyklus (Abbildung 19). Erwartungsgemäß zeigte sich eine Verformung des Tanks durch die Befüllung, jedoch war kein Unterschied zwischen den Messungen vor und nach den jeweiligen Belastungszyklen sowie im Vergleich vor und nach dem kompletten Robustheitstest festzustellen.



Abbildung 19: Vermessung der Verformung des Tanks; a) Vorderansicht und b) Draufsicht auf den Demonstrator und die Prüfvorrichtung

Für die Beschleunigungsmessung wurden Triaxial-Beschleunigungsaufnehmern an vier charakteristischen Punkten auf der Struktur angebracht:

- A1: zwischen den Steckverbindungen, v.a. relevant für die Robustheit der Steckverbindung
- A2: auf der ebenen Rückseite des Tanks, d. h. an der Stelle, wo später die Befestigung auf der Landmaschine erfolgt und somit die stärksten Motorvibrationen eingeleitet werden
- A3: auf der Außenseite des Tanks
- A4: auf der Oberseite des Tanks

In Abbildung 20 sind die zeitlichen Verläufe der Beschleunigungen für die 3 Raumrichtungen beispielhaft für das komplexeste Belastungsszenario, die kombinierte Belastung aus Vibrations- und Stoßanregung, dargestellt.

Obwohl die Struktur dauerhaft einer effektiven, gemittelten Beschleunigung von $> 20 \text{ m/s}^2$ ausgesetzt wurde (Spitzenstoßanregungen bis 160 m/s^2) konnte keine Veränderung des Strukturverhaltens oder Schäden am Demonstrator festgestellt werden.

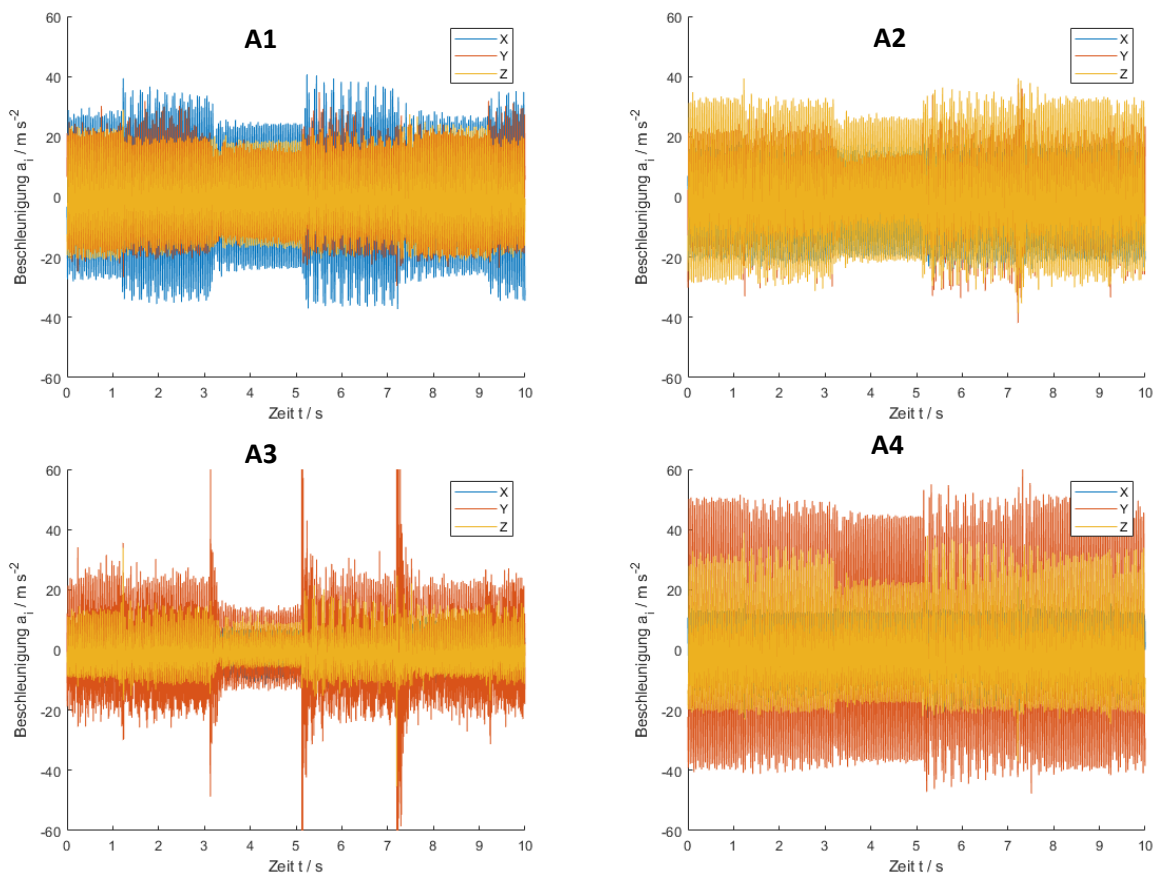


Abbildung 20: Zeitverläufe der Beschleunigung für die kombinierte Belastung mit Vibrations- und Stoßanregung gemessen an den vier Beschleunigungsaufnehmern (A1-A4)

Verwertung und Verwertbarkeit der Projektergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden neuartige Lösungen für die Integration von Stecker-Buchsen-Systemen in glasfaserverstärkten Leichtbau-Komponenten entwickelt. Durch die im Projekt durchgeführten Aktivitäten konnte das ILK seine Expertise im Bereich der strukturintegrierten Steckverbindungssysteme zur Elektrifizierung von funktionalisierten Verbundmaterialien erweitern. Das dabei gewonnene Know-how wird künftig zur

Schaffung neuer Produktansätze und zur Durchführung bilateraler Transferprojekte mit Industriepartnern sowie für weiterführende Forschungsvorhaben genutzt. Die Möglichkeit zur Optimierung geeigneter bauteilinhärenter Sensorkonzepte mit dem neuartigen ProPlug-System eröffnet dem Institut eine weitere Möglichkeit, sich im Bereich des funktionsintegrativen Strukturleichtbaus als eines der führenden nationalen und internationalen Institute zu positionieren. Die entwickelte Steckkontaktlösung für Faser-Kunststoffverbunde und die Herstellungsverfahren werden im Rahmen von Praktika für Studenten und Technologieschauen für Doktoranden und Gästen vorgeführt und fördert zu anderen Herangehensweisen und zum Umdenken im ganzheitlichen Entwicklungsprozess. Im Zuge des Projektverlaufs hat Frau Xiaojuan She ihre Diplomarbeit mit dem Titel „Entwicklung eines Prozessablaufs zur Herstellung sensorintegrierter Sandwichbauteile im Nasspressverfahren und Analyse der strukturellen Einflüsse von integrierter Elektronik“ durchgeführt und erfolgreich verteidigt.

In der Projektlaufzeit wurden die Zusammenarbeit mit allen Partnern, insbesondere mit dem Fraunhofer Institut für keramische Technologien und Systeme (IKTS) in Dresden und dem Konsortialführer Lätzsch GmbH gestärkt, wodurch neue Netzwerke erschaffen wurden, die zu weiteren Forschungsvorhaben führen.

Der Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse in praxisorientierte Industrielösungen stärkt nicht nur das Ansehen des Instituts als führende Forschungseinrichtung, sondern unterstützt auch die Akquise neuer Projekte. In diesem Zusammenhang sind künftig Erweiterungen in komplexeren geometrischen Strukturen und weiteren Leichtbauwerkstoffsystemen geplant. Gespräche hierzu fanden bereits auf verschiedenen Messen und Fachkongressen statt, darunter die Transfer- und Netzwerkveranstaltung „Kreislauf.Lichtbau.Erleben“ in Dresden, die „K-Messe“, die „Smart Production Solutions - Internationale Fachmesse der industriellen Automation“ sowie die „BMBF-Mittelstandskonferenz 2023 – KMU stärken durch digitale Innovationen“.