

Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Teilvorhaben: Kabinensystemintegration

Schlussbericht

Technische Universität Hamburg
Institut für Flugzeug-Kabinensysteme
Prof. Dr. Ralf God Tel.: +49 (40) 42878 – 8293
Hein-Saß-Weg 22 E-Mail: ralf.god@tuhh.de
21129 Hamburg URL: www.tuhh.de/fks



Förderkennzeichen (FKZ): 20X1727A
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2019 – 30.11.2021
Berichtszeitraum: 01.06.2019 – 30.11.2021

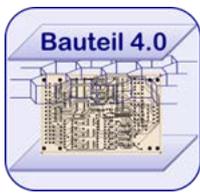
Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des nationalen zivilen Luftfahrtforschungsprogramms V, Dritter Programmaufruf 2017–2021 (LuFo V-3) gefördert.



Hamburg, März 2022

Projektleitung

Prof. Dr. Ralf God



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:

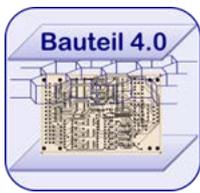


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Verbundführer des Vorhabens: Technische Universität Hamburg,
Institut für Flugzeug-Kabinensysteme (FKS)

Partner des Verbundes: IMA Materialforschung und Anwendungs-
technik GmbH Dresden

Technische Universität Dresden,
Zentrum für mikrotechnische Produktion (ZMP)



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

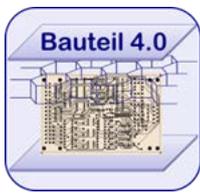
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Berichtsblatt

| | | |
|--|---|--|
| 1. ISBN oder ISSN | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht | |
| 3. Titel Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse (Bauteil 4.0); Teilvorhaben: Kabinensystemintegration | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] God, Ralf Heckert, Marc | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.11.2021 | |
| | 6. Veröffentlichungsdatum März 2022 | |
| | 7. Form der Publikation Broschüre | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Technische Universität Hamburg (TUHH) Institut für Flugzeug-Kabinensysteme, Hein-Saß-Weg 22, D-21129 Hamburg | 9. Ber. Nr. durchführende Institution | |
| | 10. Förderkennzeichen 20X1727A | |
| | 11. Seitenzahl 35 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie D-11019 Berlin | 13. Literaturangaben 14 | |
| | 14. Tabellen 1 | |
| | 15. Abbildungen 18 | |
| 16. Zusätzliche Angaben Das Teilvorhaben „Kabinensystemintegration“ wurde im Rahmen des Gesamtvorhabens „Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse (Bauteil 4.0)“ durchgeführt. | | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) | | |
| 18. Kurzfassung Ziel des Vorhabens war der Entwurf von funktionsintegrierten, intelligenten und datenverarbeitenden Sandwichbauteilen für die Kabine (so genannte Bauteile 4.0). Solche Bauteile stellen eine wichtige Voraussetzung für die intelligente Produktion und für innovative MRO-Prozesse dar. Der Schwerpunkt des Vorhabens lag bei der Integration von Elektronik- und IT-Funktionalität in Sandwichbauteile. Mit solchen funktionsintegrierten Kabinenbauteilen werden ganzheitliche, digitale Fertigungs-, Betriebs- und Wartungsstrategien grundsätzlich erst ermöglicht. Weiterhin bieten die Bauteile mit Elektronik- und IT-Funktionalität verbesserte Eigenschaften für die Nutzung und Integration von Sensorik, Aktuatorik, für die Datenübertragung und Datenspeicherung sowie für die Identifikation und die drahtlose Kommunikation. Eine Steigerung der Leistungsfähigkeit und Effizienz bei „end-to-end“-Produktentwicklungs- und Produktionsprozessen mit digitaler Dokumentation mit Bauteilverfolgung in einer Fabrik der Zukunft wird damit möglich. | | |
| 19. Schlagwörter Funktionsintegration, Elektronikintegration, Leichtbau, Sandwichbauteile, Flugzeugkabine | | |
| 20. Verlag | 21. Preis | |



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

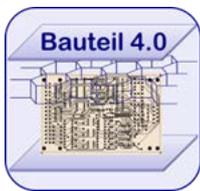
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

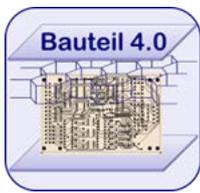
Document Control Sheet

| | | |
|---|--|-----------------------------------|
| 1. ISBN or ISSN | 2. Type of document (e.g. report, publication) Final report | |
| 3. Titel Multifunctional sandwich components for the aircraft cabin as a prerequisite for Industry 4.0 and innovative operational and MRO processes (Bauteil 4.0); Sub-project: cabin system integration | | |
| 4. Author(s) (family name, first name(s)) God, Ralf Heckert, Marc | 5. End of project 30.11.2021 | 6. Publication date March 2022 |
| | 7. Form of publication Brochure | |
| | 8. Performing organization(s) (name, address) Technische Universität Hamburg (TUHH) Institut für Flugzeug-Kabinensysteme, Heins-Saß-Weg 22, D-21129 Hamburg | |
| 12. Sponsoring agency (name, address) Federal Ministry for Economic Affairs and Energy D-11019 Berlin | 9. Originator's report no. | 10. Reference no. 20X1727A |
| | 11. No. of pages 35 | |
| | 13. No. of references 14 | 14. No. of tables 1 |
| 15. No. of figures 18 | | |
| 16. Supplementary notes The sub-project "cabin system integration" has been conducted within the scope of the overall project "Multifunctional sandwich components for the aircraft cabin as a prerequisite for Industry 4.0 and innovative operational and MRO processes (Bauteil 4.0)". | | |
| 17. Presented at (title, place, date) | | |
| 18. Abstract The aim of the project was to design multifunctional, intelligent and data-processing sandwich components for the cabin (so-called Components 4.0). Such components represent an important prerequisite for intelligent production and for innovative MRO processes. The project focused on integrating electronics and IT functionality into sandwich components. With such functionally integrated cabin components, holistic digital production, operation and maintenance strategies are made possible. Furthermore, the components with electronics and IT functionality offer improved properties for the use and integration of sensors, actuators, for data transmission and data storage as well as for identification and wireless communication. An increase in performance and efficiency in "end-to-end" product development and production processes with digital documentation with component tracking in a factory of the future thus becomes possible. | | |
| 19. Keywords Functionally integrated lightweight structures, electronics, sandwich components, aircraft cabin | | |
| 20. Publisher | 21. Price | |



Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| KURZDARSTELLUNG | 6 |
| 1 Aufgabenstellung | 6 |
| 2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde | 7 |
| 3 Planung und Ablauf des Vorhabens | 8 |
| 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde | 9 |
| 4.1 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die benutzt wurden | 9 |
| 4.2 Verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste | 11 |
| 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen | 12 |
| | |
| EINGEHENDE DARSTELLUNG | 13 |
| 6 Verwendung der Zuwendung, Ergebnisse im Einzelnen und Gegenüberstellung der Ziele | 13 |
| 6.1 Vorgegebene Ziele | 13 |
| 6.2 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen | 14 |
| 6.2.1 HAP 1 – Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum, Konzeptextraktion | 14 |
| 6.2.2 HAP 2 – Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Versuchsentwurf | 19 |
| 6.2.3 HAP 3 – Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten | 23 |
| 6.3 Zusammenfassende Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen | 25 |
| 7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises | 27 |
| 8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit | 28 |
| 9 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans | 28 |
| 10 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen ... | 30 |
| 11 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen | 31 |
| | |
| LITERATURVERZEICHNIS | 32 |
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS | 33 |
| TABELLENVERZEICHNIS | 35 |



KURZDARSTELLUNG

1 Aufgabenstellung

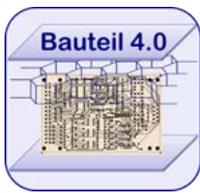
Gesamtziel des Vorhabens war der Entwurf von funktionsintegrierten, intelligenten und datenverarbeitenden Sandwichbauteilen für die Kabine – so genannte Bauteile 4.0. Bei Flugzeugbauteilen geht man bisher traditionell aus Sicherheits- und Zuverlässigkeitsgründen strikt von einer Funktionstrennung aus: Eine Funktion, ein Bauteil. Diese hierarchische System- und Funktionseinteilung steht dem Streben nach multifunktionalen hochintegrierten und damit gewichtsoptimierten Bauteilen hindernd gegenüber. Der Automobilbau hat bewiesen, dass gerade die Integration von weiteren Funktionen, wie Energie- und Datenübertragung in Bauteile zur Gewichtsverminderung des Gesamtsystems bei mindestens gleicher Zuverlässigkeit und Sicherheit führt. Stets ist die Funktionsintegration auch mit einem Gewinn an Komfort für die Insassen verbunden und führt zu intelligenteren Produktions- und/oder einfacheren Montage- und Wartungsprozessen.

Der Schwerpunkt des Gesamtvorhabens lag bei der Integration von Elektronik- und IT-Funktionalität in Sandwichbauteile. Mit solchen funktionsintegrierten Kabinenbauteilen werden ganzheitliche, digitale Fertigungs-, Betriebs- und Wartungsstrategien grundsätzlich erst ermöglicht. Weiterhin bieten die Bauteile mit Elektronik- und IT-Funktionalität verbesserte Eigenschaften für die Nutzung und Integration von Sensorik, Aktuatorik, für die Datenübertragung und Datenspeicherung sowie für die Identifikation und die drahtlose Kommunikation. Eine Steigerung der Leistungsfähigkeit und Effizienz bei „end-to-end“-Produktentwicklungs- und Produktionsprozessen mit digitaler Dokumentation mit Bauteilverfolgung in einer Fabrik der Zukunft werden damit möglich.

Ziel des Teilvorhabens der TUHH war die Gestaltung neuartiger funktionsintegrierter Leichtbauteile für die Flugzeugkabine. Dabei sollen die zu integrierenden Funktionen sowohl bei der Herstellung und der Wartung des Produkts Kabine genutzt werden können (z.B. als Identifikationsmerkmal oder für ein Datenlogging), als auch beim Betrieb der Kabine (z.B. als Beleuchtungs-, Sensorik- oder Kommunikationsschnittstelle für die Passagiere). Für den Entwurf solcher multifunktionaler, intelligenter und datenverarbeitender Sandwichbauteile werden bereits bekannte elektronische Komponenten mit bereits bekannten Leichtbaukomponenten zusammengeführt. Die Herausforderungen bestehen primär also nicht bei den Teilsystemen, sondern hinsichtlich der Integration und den dazu geeigneten Verfahren, d.h. beim Entwurf von Konzepten zur Herstellung und Zusammenführung von Leichtbau- und Elektronikfunktionen inklusive der erforderlichen Anschlusstechnik und der Kommunikationsschnittstellen, welche im späteren Bauteil kumulativ die luftfahrtspezifischen Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllen müssen. Gelöst werden diese Herausforderungen gemeinsam mit den Partnern aus den Bereichen der Elektronikintegration und der Aufbau- und Verbindungstechnik sowie der Bauteilprüfung, -simulation und dem Test.

Als Ergebnis des Vorhabens wurden u.a. zwei Versuchsaufbauten geplant:

- (a) ein Sandwichpaneel mit Energieversorgung, Beleuchtungsfunktionalität, Identifikationsmerkmal und elektronischer Ansteuereinheit und
- (b) ein intelligentes Tray-Table am Sitz mit PC-Funktionalität zur Interaktion der Passagiere mit dem Infotainment- und Kommunikationssystem des Flugzeugs.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zur Zielerreichung übernahm das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme (FKS) an der Technischen Universität Hamburg (TUHH) im Vorhaben die Projektkoordination (AP 0). Darüber hinaus leitete es auch alle Hauptarbeitspakete HAP 1 bis HAP 3 an. Diese waren

- HAP 1 – Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum, Konzeptextraktion,
- HAP 2 – Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Versuchsentwurf und
- HAP 3 – Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten.

Das Hauptarbeitspaket HAP 1 – *Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum, Konzeptextraktion* sollte der Aufnahme, Analyse und Spezifikation der Anforderungen für die zwei im Projekt verfolgten Versuchsaufbauten (a) und (b) dienen.

Das Hauptarbeitspaket HAP 2 – *Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Versuchsentwurf* war für die Erprobung der in HAP 1 entworfenen technischen Lösungskonzepte vorgesehen. Jeweils bezogen auf die Teilbereiche Leichtbaustrukturen, Elektronik und Systemintegration sollten erste Entwürfe, Umsetzungen und Tests mit den Partnern durchgeführt werden.

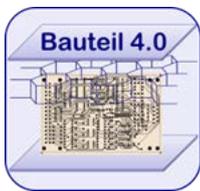
Das dritte und letzte Hauptarbeitspaket HAP 3 – *Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten* sollte die in HAP 2 und HAP 3 erzielten Ergebnisse aller Partner zusammenführen, um die beiden spezifizierten Versuchsaufbauten (a) und (b) herzustellen und gemäß des in HAP 1 erstellten Prüfkonzepts zu testen.

2 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben verfolgte mit funktionsintegrierten, intelligenten und datenverarbeitenden Sandwichbauteilen für die Kabine im Luftfahrtforschungsprogramm das Ziel 3, d.h. eine leistungsfähige und effiziente Luftfahrt. Solche Bauteile stellen eine wichtige Voraussetzung für die intelligente Produktion, für einen optimierten Betrieb und für innovative MRO-Prozesse dar. Der Schwerpunkt des Vorhabens liegt bei der Integration von Elektronik- und IT-Funktionalität in Sandwichbauteile. Mit solchen funktionsintegrierten Kabinenbauteilen werden ganzheitliche, digitale Fertigungs-, Betriebs- und Wartungsstrategien grundsätzlich erst befähigt und ermöglicht. Weiterhin bieten die Bauteile mit Elektronik- und IT-Funktionalität verbesserte Eigenschaften für die Nutzung und Integration von Sensorik, Aktuatorik, für die Datenübertragung und Datenspeicherung sowie für die Identifikation und die drahtlose Kommunikation. Eine Steigerung der Leistungsfähigkeit und Effizienz bei „end-to-end“-Produktentwicklungs- und Produktionsprozessen mit digitaler Dokumentation und Bauteilverfolgung in einer Fabrik der Zukunft wird damit erreichbar und möglich.

Während in der Automobilindustrie am Prinzip der Funktionsintegration bei Verbundwerkstoffen schon intensiv geforscht wird ^[1], ist dieses in der Luftfahrtindustrie nur wenig untersucht. Studien des BDLI zu so genannten „Active Surfaces“ bei multifunktionalen Kabinenbauteilen (siehe dazu Abbildung 3 auf Seite 10) belegen allerdings, dass Leichtbauteile in der Kabine ein hohes Potential zur Funktionsintegration aufweisen und dass es diesen Weg auch in der Luftfahrtindustrie zu beschreiten gilt. Die Innovation im Teilvorhaben „Kabinensystemintegration“ des luftfahrttechnischen Instituts

^[1] siehe z.B. A. Weder et al.: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812042117> (abgerufen am 15.02.2022)



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

für Flugzeug-Kabinensysteme an der Technischen Universität Hamburg liegt daher bei einem gemeinsamen Vorgehen mit Forschungspartnern aus komplementären Wissenschaftsbereichen der Elektronikintegration und Aufbau- und Verbindungstechnik (vgl. Technische Universität Dresden) und der Materialforschung und Anwendungstechnik inklusive Modellierung, Simulation und Test (vgl. IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH) zur Lösung der Herausforderung Elektronikintegration in Leichtbauteile für Anwendungen in der Flugzeugkabine.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben war von Anfang an auf eine Bearbeitungszeit von 30 Monaten (01.06.2019 bis 30.11.2021) ausgelegt. Trotz pandemiebedingter Laborschließungen (Verlauf der Inzidenzwerte und Zeitpunkte der Schließungen: siehe Einblendungen in Abbildung 1), die zu manchen Herausforderungen bei der Projektbearbeitung und zu gewissen zeitlichen Verzögerungen bei der Erledigung der praktischen Arbeiten führten, wurde an dieser Planung festgehalten. Entsprechend konnte die Abschlusspräsentation zum Projekt am 16.11.2021 in Präsenz an der TU Dresden durchgeführt werden. Das Projekt endete daher plangemäß am 30.11.2021. Abbildung 1 liefert einen Überblick über den Projektverlauf und die Aufteilung in das Projektmanagement und die drei Phasen der Hauptarbeitspakete HAP 1 (Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum, Konzeptextraktion), HAP 2 (Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Versuchsentwurf) und HAP 3 (Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten).

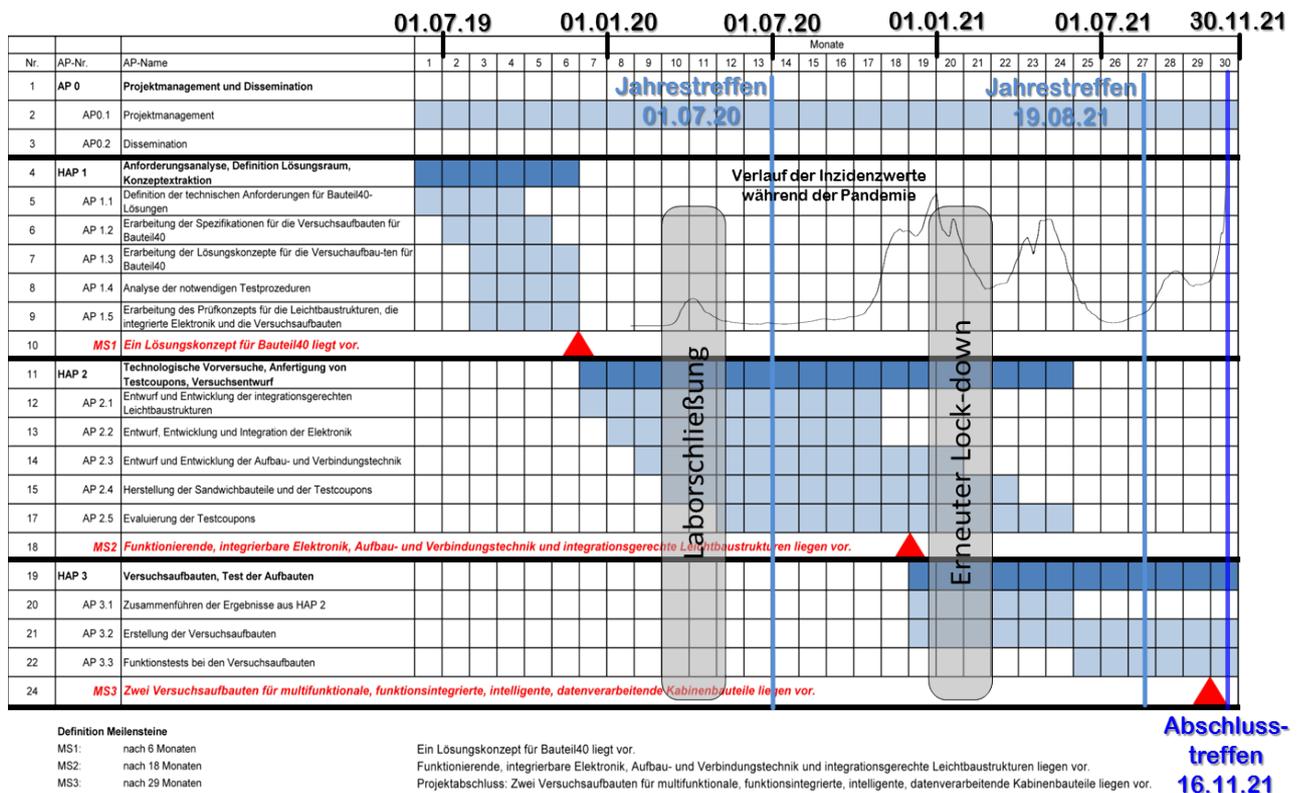
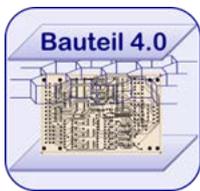


Abbildung 1: Zeitplanung im Projekt und Abfolge der Haupt- und Teilarbeitspakete.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Im Projekt waren drei Meilensteine definiert worden: M1 – Ein Lösungskonzept Bauteil40 liegt vor (nach 6 Monaten), M2 – Funktionierende, integrierbare Elektronik, Aufbau und Verbindungstechnik und integrationsgerechte Leichtbaustrukturen liegen vor (nach 18 Monaten) und zum Projektabschluss M3 – Zwei Versuchsaufbauten für multifunktionale, funktionsintegrierte, intelligente, datenverarbeitende Kabinenbauteile liegen vor (nach 29 Monaten). Eine Darstellung des Projektstrukturplans mit den zugehörigen Arbeitspaketen ist in der nachfolgenden Abbildung 2 gegeben.

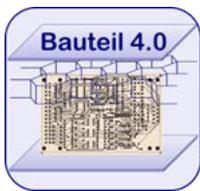
| Projektstrukturplan zum Vorhaben Bauteil40 | | | |
|---|---|---|---|
| AP 0 Partner: TU HH , TU DD, IMA Projektmanagement und Dissemination | HAP 1 Partner: TU HH , TU DD, IMA Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum, Konzeptextraktion | HAP 2 Partner: TU HH , TU DD, IMA Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Versuchsaufbauentwurf | HAP 3 Partner: TU HH , TU DD, IMA Versuchsaufbau, Test des Versuchsaufbaus |
| AP 0.1 Partner: TU HH , TU DD, IMA Projektmanagement | AP 1.1 Partner: TU HH , TU DD, IMA Definition der technischen Anforderungen für Bauteil40-Lösungen | AP 2.1 Partner: IMA , TU DD Entwurf und Entwicklung der integrationsgerechten Leichtbaustrukturen | AP 3.1 Partner: TU HH , TU DD, IMA Zusammenführen der Ergebnisse aus HAP 2 |
| AP 0.2 Partner: TU HH , TU DD, IMA Dissemination | AP 1.2 Partner: TU HH , TU DD, IMA Erarbeitung der Spezifikationen für die Versuchsaufbauten für Bauteil40 | AP 2.2 Partner: TU DD , TU HH, IMA Entwurf, Entwicklung und Integration der Elektronik | AP 3.2 Partner: TU HH , TU DD, IMA Aufbau der Versuche |
| | AP 1.3 Partner: TU HH , TU DD, IMA Erarbeitung der Lösungskonzepte für die Versuchsaufbauten für Bauteil40 | AP 2.3 Partner: TU DD , TU HH, IMA Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik | AP 3.3 Partner: IMA , TU DD Funktionstests der Versuche |
| | AP 1.4 Partner: IMA , TU HH, TU DD Analyse der notwendigen Testprozeduren | AP 2.4 Partner: IMA , TU HH, TU DD Herstellung und Modellierung der Sandwichbauteile und der Testcoupons | |
| | AP 1.5 Partner: IMA , TU HH, TU DD Erarbeitung des Prüfkonzepts für die Leichtbaustrukturen, die integrierte Elektronik und die Versuchsaufbauten | AP 2.5 Partner: IMA Evaluierung der Testcoupons | <i>Einbindung aller Projektpartner zur Verknüpfung des Simulationsmodells und der Testcoupons</i> |

Abbildung 2: Projektstrukturplan des Vorhabens Bauteil40. Das TUHH-Institut für Flugzeug-Kabinensysteme übernahm in AP 0 die Gesamtkoordination und leitete die Hauptarbeitspakete HAP 1 bis HAP 3 an.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

4.1 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die benutzt wurden

Die Vision des BDLI zur Zukunft von Flugzeugkabinen wurde in Zusammenarbeit von Airbus mit dessen Zulieferern entworfen. Eines von vier dort betrachteten Themen, nämlich der so genannte Bereich aktiver Oberflächen, benötigt künftig massiv elektronische und datenverarbeitende Funktionalität in bislang lediglich als Verkleidung genutzten Kabinenbauteilen. Die folgende Abbildung 3 aus dem Jahr 2012 zeigt ein solches visionäres Bauteil für die Flugzeugkabine mit integrierten elektronischen Systemen, Versorgungssystemen und Sensornetzwerken.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



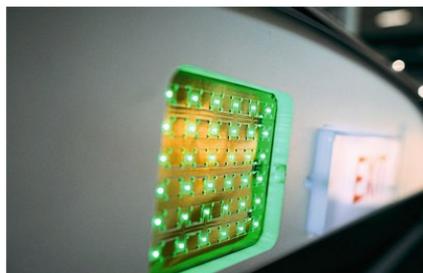
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Abbildung 3: Darstellung aus dem Video ^[2] „Imagine Innovations Flying Tomorrow“ des BDLI zu so genannten aktiven Oberflächen.

Bis heute jedoch sind solche Bauteile nicht einsatzfähig entwickelt und verfügbar gemacht worden. Neuere Forschungsberichte aus dem Jahr 2019 (vgl. Abbildung 4) zeigen bekannte, so genannte gedruckte Elektronik und deren Einsatzmöglichkeiten im Flugzeugbau.

Geringes Gewicht, Verzicht auf Kabel und eine hochautomatisierte Fertigung maximal individualisierter Bauteile: Die gedruckte Elektronik bietet der Luftfahrtbranche viele Vorteile – und ist jetzt reif für den Einsatz in der Luftfahrt.



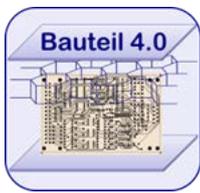
Zusammen mit zwei Fraunhofer-Instituten haben Airbus und Altran Demonstratoren entwickelt. Gemeinsam weisen die Unternehmen nach, dass die gedruckte Elektronik reif ist für Anwendungen in der Luftfahrt. (Bild: Airbus)

Die gedruckte Elektronik bietet der Luftfahrtbranche viele Vorteile. Auf dem LOPEC Kongress 2019 geben Dennis Hahn vom Flugzeugbauer Airbus und Max Seißler vom Beratungs- und Technologieunternehmen Altran einen Überblick über die besonderen Anforderungen an fliegende Bauteile. Gemeinsam arbeiten sie am Standort Hamburg mit gedruckter Elektronik für die Flugzeugkabine. Im Interview erläutern sie die Herausforderungen und Visionen.

Abbildung 4: Bericht aus der Elektronik Praxis ^[3] zum internationalen Kongress LOPEC 2019 für gedruckte Elektronik: Gedruckte Elektronik hebt ab!

^[2] Bundesverband der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie; BDLI-Konzept „Imagine Innovations Flying Tomorrow“ <https://www.youtube.com/watch?v=WNpVHj8WiM8> (abgerufen am 15.02.2022)

^[3] Elektronik Praxis, Dr. Anna-Lena Gutberlet; LOPEC 2019: gedruckte Elektronik hebt ab. <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/lopec-2019-gedruckte-elektronik-hebt-ab-a-800843/> (abgerufen am 15.02.2022)



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Hierbei wurden die zur Versorgung der in klassischer Elektronik ausgeführten LEDs erforderlichen Leiterbahnen als passive Bauelemente mittels Druck von Leitpaste erzeugt. Hingegen sind druckbare aktive Halbleiterbauteile bis heute Gegenstand der Forschung. Die Performanz gedruckter elektronischer Bauelemente bleibt oft hinter klassischer Elektronik zurück. So handelt es sich beim in Abbildung 4 gezeigten Demonstrator um einen hybriden Aufbau aus passiven gedruckten und aktiven klassischen Bauelementen, also ein Mix aus klassischer und gedruckter Elektronik. Dieser bekannte Stand der Technik und die hier gezeigten Visionen und Konstruktionen machen deutlich, dass das Thema Elektronikintegration in Leichtbauteile bis heute nicht in Form von Produkten umgesetzt werden konnte und dass hier weiterhin ein großer Forschungsbedarf besteht.

4.2 Verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste

Als Fachliteratur zu Grundlagen dieses immer noch wenig untersuchten Forschungsgebiets dienten u.a. die Standardwerke, Artikel, Dissertationsschriften und Standards

- Campbell, F.C.: Manufacturing technology for aerospace structural materials, 1st edn. Aerospace engineering materials science. Elsevier, Amsterdam (2006) ^[a]
- Gibson, L.J., Ashby, M.F.: Cellular solids. Structure and properties, 2nd edn. Cambridge solid state science series. Cambridge Univ. Press, Cambridge (2001) ^[b]
- Barnett, D.M., Rawal, S., Rummel, K.: Multifunctional Structures for Advanced Spacecraft. Journal of Spacecraft and Rockets (2001). <https://doi.org/10.2514/2.3674> ^[c]
- Seemann, R.: A Virtual Testing Approach for Honeycomb Sandwich Panel Joints in Aircraft Interior, 1st edn. Springer eBooks, vol. 16. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg (2020) ^[d]
- ASTM D7249/D7249M-20: Standard Test Method for Facesheet Properties of Sandwich Constructions by Long Beam Flexure, ASTM International (2020) ^[e]

Weiterhin wurden zur Durchführung der Arbeiten Material- und Produktdatenangaben (teils auch als mündliche Mitteilungen) herangezogen, z.B.:

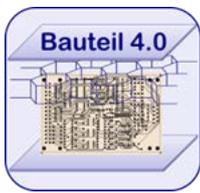
- Herstellerspezifikationen für Fußbodenpaneele
- Herstellerangaben für Kabinenseitenwandbauteile
- Angaben für Belastungstests bei Tray Tables bei Fluggastsitzen
- Technisches Datenblatt der Fa. Schütz GmbH & Co. KGaA ^[4]

Die Arbeiten im Vorhaben waren begleitet von Recherchen im Internet, beispielsweise zu aktuellen und neuen Materialien und Technologien und deren Wirkungsweise und zu aktuellen Geschehnissen und zu Fragestellungen innerhalb der Branche. Wissenschaftliche Fachliteratur wurde hauptsächlich über den digitalen Bibliotheksservice der Technischen Universität Hamburg recherchiert. Für Patentrecherchen wurden die Datenbanken DEPATISnet ^[5] des Deutschen Patent- und Markenamtes und Espacenet ^[6] des Europäischen Patentamtes genutzt.

^[4] Leichtbauwerkstoff CORMASTER C 1, Technisches Datenblatt der Fa. Schütz GmbH & Co. KGaA: <https://www.schuetz-composites.net/downloads/datenblaetter/datenblatt-schuetz-cormaster-c1/datasheet-schuetz-cormaster-c1-de.pdf?cid=79a> (abgerufen am 15.02.2022)

^[5] Deutsches Patent- und Markenamt DPMA; DEPATISnet Patentrecherche: <https://www.dpma.de/recherche/depatisnet/index.html> (abgerufen am 15.02.2022)

^[6] Europäisches Patentamt EPO; Espacenet Patentrecherche: https://www.epo.org/searching-for-patents/technical/espacenet_de.html (abgerufen am 15.02.2022)



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zur Erzielung einer hohen Anwendungsnahe bei den Versuchsaufbauten war im Vorhaben die enge Zusammenarbeit mit den assoziierten Partnern (ohne Förderung) Safran Cabin Germany GmbH (ehemals Sell GmbH, Dr.-Siegfried-Straße, D-35745 Herborn) und Collins Aerospace (ehemals B/E Aerospace Systems GmbH, Revalstraße 1, D-23560 Lübeck) vorgesehen. Jedoch stellte sich im Projektverlauf heraus, dass zur Funktionsintegration in Kabinenbauteile viele grundlegenden Forschungsarbeiten und Untersuchungen erforderlich waren, so dass sich die vollumfängliche Erreichung der zwei im Projekt geplanten produktnahen Versuchsaufbauten

- (a) ein Sandwichpaneel mit Energieversorgung, Beleuchtungsfunktionalität, Identifikationsmerkmal und elektronischer Ansteuereinheit und
- (b) ein intelligentes Tray-Table am Sitz mit PC-Funktionalität zur Interaktion der Passagiere mit dem Infotainment- und Kommunikationssystem des Flugzeugs

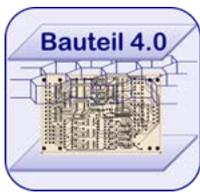
als sehr herausfordernd herausstellte. Entsprechend kam es hier mit der Safran Cabin Germany GmbH und der Collins Aerospace nur zu einer losen Zusammenarbeit, welche u.a. auch durch die Pandemiesituation und die Umfirmierung der assoziierten Partner erschwert war.

Hingegen konnte im Projektverlauf eine sehr gute Zusammenarbeit (ohne Förderung) und Unterstützung durch die 3D ICOM GmbH & Co. KG mit deren Standorten in Hamburg und in Großenhain bei Dresden etabliert werden. Der Herstellungsbetrieb 3D ICOM unterstützte dabei das Vorhaben Bauteil40 als Anforderungsgeber und stellte auch Halbzeuge aus der Produktion sowie Produktionsmittel unentgeltlich zur Verfügung. Entsprechend hat das Konsortium dieses für die Luftfahrtbranche produzierende Unternehmen sehr eng in den Fortgang der Arbeiten mit eingebunden.

Die Zusammenarbeit wurde zu Beginn des Vorhabens durch entsprechende Konsortialtreffen, welche in Hamburg und in Dresden in Präsenz durchgeführt werden konnten, gefestigt und verstetigt. Das Kick-off-Treffen zum Start des Vorhabens am 01.06.2019 erfolgte im Beisein des Projektträgers bereits am 22.05.2019 an der Technischen Universität Dresden ohne dass dadurch ein vorzeitiger Projektbeginn begründet wurde. Arbeitstreffen fanden am 13.11.2019 bei der IMA Materialforschung und Anwendungstechnik in Dresden, am 11.02.202 bei der 3D ICOM in Großenhain (nur mit den Partnern TU Dresden und TU Hamburg) statt.

Mit Eintritt der COVID-19 Pandemie und verstärkter Zunahme der Infektionszahlen ab 16. März 2020 musste das jährliche Konsortialtreffen von Präsenz auf ein digitales Online-Treffen umdisponiert werden. Dieses wurde dann schließlich am 01.07.2020 online per Videokonferenz abgehalten. Ebenso musste auch noch das Jahrestreffen am 19.08.2021 digital abgehalten werden. Umso erfreulicher war es, dass das Projektabschlusstreffen am 16.11.2021 unter Einhaltung aller Hygienevorschriften und Vorsichtsmaßnahmen an der TU Dresden in Präsenz erfolgen konnte.

Vor und während der Pandemie gelang die Projektkoordination sehr gut durch einen monatlichen und später durch einen 14-tägigen Austausch der Partner per Telefon- und Videokonferenz. Die Zusammenarbeit der Partner und mit Dritten war während der Pandemie zwar erschwert, jedoch nicht grundsätzlich blockiert. Unter diesen Randbedingungen war die Zusammenarbeit der Partner untereinander und mit Dritten sehr gut.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

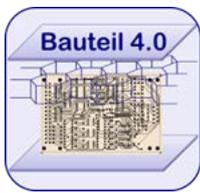
EINGEHENDE DARSTELLUNG

6 Verwendung der Zuwendung, Ergebnisse im Einzelnen und Gegenüberstellung der Ziele

6.1 Vorgegebene Ziele

In der Luftfahrttechnik werden Komponenten und auch ganze Systeme traditionell hierarchisch nach dem Grundsatz „eine Funktion = ein Bauteil“ konzipiert. Ein jedoch stetig steigender Funktionsumfang, der heute insbesondere zur Erhöhung des Passagierkomforts in der Kabine realisiert werden muss, ohne gleichzeitig das Volumen und vor allem die Masse der Bauteile überproportional zu erhöhen, verlangt neue Konzepte. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Bauteil 4.0“ wurde ein Aufbaukonzept für eine hochintegrierte und funktionalisierte Leichtbaukomponente für die Flugzeugkabine entwickelt. Für dieses Konzept wurde ein Testvehikel einer solchen Leichtbaukomponente entworfen, wobei zunächst eine einfache Energie- und Datenversorgung betrachtet wurde. Die Aufbau- und Verbindungstechnik für die Elektronik wurde nah an industriellen Standards entwickelt unter der Berücksichtigung, dass dieses Elektronikmodul in die Leichtbaugruppe integriert werden muss. Zur Bewertung der Zuverlässigkeit und Sicherheit der Leichtbaukomponente insgesamt, aber auch der Elektronik, wurde ein Testprinzip erarbeitet und umgesetzt. Diese Tests wurden mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) nachgebildet und simuliert, so dass auch durch virtuelle Simulationstests eine Abschätzung der Zuverlässigkeit bzw. des Bauteilversagens bei modellierten Leichtbaugruppen mit integrierten Elektronikmodulen vorgenommen werden kann.

Im zurückliegenden Jahrzehnt hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter anderem mit dem Förderprogramm „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ die überregionale Kooperation und Vernetzung zwischen Kompetenzzentren in Deutschland unterstützt. Speziell wurden auch Kompetenzen aus der Luft- und Raumfahrtentwicklung mit dem Schwerpunktgebiet „Elektronik und Halbleitertechnik“ gebündelt. In einem gemeinsamen Projekt „Energy Efficient Aviation Solutions (EEAS)“ der Standorte Hamburg und Dresden ging es dabei nicht nur um die inhaltlich-fachliche Projektarbeit, sondern um insbesondere um die Vernetzung der Standorte mit den Unternehmen in den Regionen und den Forschungsreinrichtungen aus den bis dahin separat agierenden Netzwerken „Berlin-Brandenburg Aerospace Allianz (BBAA e.V.)“, „Hamburg Aviation e.V.“ und „Luft- und Raumfahrttechnik Sachsen/Thüringen e.V. (LRT)“ zum Thema Luftfahrtforschung und -technik einerseits und dem Netzwerk „Silicon Saxony“ zum Thema „Elektronik und Elektronikintegration“ andererseits. Beteiligt war am Vorläufervorhaben EEAS auch das Zentrum für mikrotechnische Produktion der TU Dresden, das bereits erste Machbarkeitsstudien zur Integration von Elektronik durchgeführt hatte. Darauf aufbauend wurde die Idee für das hier berichtete Projekt „Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse“ (Akronym „Bauteil 4.0“) geboren und schließlich als Kooperationsprojekt der drei Einrichtungen IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Dresden, Technische Universität Hamburg, Institut für Flugzeug-Kabinensysteme, und Technische Universität Dresden, Zentrum für mikrotechnische Produktion, im 3. Aufruf des Luftfahrtforschungsprogramms V (LuFo V-3;



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

2017 - 2021) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi, heute Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz BMWK) genehmigt.

Entsprechend war es beim dritten Aufruf des Luftfahrtforschungsprogramms V das Ziel des Teilvorhabens der TUHH neuartige funktionsintegrierte Leichtbauteile für die Flugzeugkabine zu konzipieren. Für den Entwurf solcher multifunktionaler, intelligenter und datenverarbeitender Sandwichbauteile werden bereits bekannte elektronische Komponenten mit bereits bekannten Leichtbaukomponenten zusammengeführt. Die Herausforderungen bestehen hier hinsichtlich der Integration und den dazu geeigneten Verfahren, d.h. beim Entwurf von Konzepten zur Herstellung und Zusammenführung von Leichtbau- und Elektronikfunktionen inklusive der erforderlichen Anschlusstechnik und der Kommunikationsschnittstellen, welche im späteren Bauteil kumulativ die luftfahrtspezifischen Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllen müssen. Gelöst wurden diese Herausforderungen gemeinsam mit den Partnern aus den Bereichen der Elektronikintegration und der Aufbau- und Verbindungstechnik sowie der Bauteilprüfung, -simulation und dem Test.

Die seitens der TUHH im Projekt erledigten Arbeitspakete mit deren Inhalt, Zielen und Ergebnissen werden in den Unterabschnitten 6.2.1 bis 6.2.3 dieses Kapitels 6 Verwendung der Zuwendung, Ergebnisse im Einzelnen und Gegenüberstellung der Ziele beschreiben.

6.2 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen

Die Zuwendung umfasste Mittel für die Beschäftigung von wissenschaftlichen und studentischen Mitarbeitenden zur inhaltlichen Bearbeitung des Vorhabens, Mittel für Reisen zu Projekttreffen und Mittel für Verbrauchsmaterialien und für Gegenstände zur Validierung der entworfenen Konzepte.

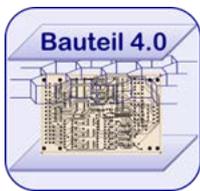
Personaltechnisch erfolgte die inhaltliche Bearbeitung des Teilvorhabens im gesamten Projektzeitraum, d.h. von Juni 2019 bis November 2021, durch einen wissenschaftlichen Mitarbeiter (E13 TV-L). Dieser wurde in geringem Umfang durch eine studentische Hilfskraft unterstützt.

Aufgrund der ab März 2020 eingetretenen Pandemie-Situation musste das Vorhaben unter neuen Randbedingungen entsprechend angepasst durchgeführt werden. Beispielsweise fanden projektbezogene Reisen und Arbeitstreffen kaum mehr in Präsenz, sondern überwiegend online statt. Studentische Hilfskräfte konnten nicht wie ursprünglich geplant beschäftigt werden. Die Zusammenarbeit mit Anwendern erfolgte mit hoher Konzentration auf die 3D ICOM GmbH in Hamburg und Großenhain bei Dresden, von der auch die original in der Produktion eingesetzten Halbzeuge zur Verfügung gestellt wurden. Dadurch ergaben sich reduzierte Mittelverbräuche bei der Beschäftigung von Hilfskräften, bei den geplanten Reisen und bei den im Projekt geplanten Verbrauchsmaterialien.

Die vom Institut erledigten Arbeiten sowie die dabei erzielten Ergebnisse sind im Folgenden ausführlich beschrieben.

6.2.1 HAP 1 – Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum, Konzeptextraktion

Geplante Ressourcen der TUHH in HAP 1 gesamt: 6 Personenmonate; Laufzeit: Monate 1 bis 6



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Das Hauptarbeitspaket HAP 1 diente der Aufnahme, Analyse und Spezifikation der Anforderungen für die zwei im Projekt verfolgten Versuchsaufbauten. Das waren (a) ein Sandwichpaneel mit Energieversorgung, Beleuchtungsfunktionalität, Identifikationsmerkmal und elektronischer Ansteuereinheit und (b) ein intelligentes Tray-Table am Sitz mit PC-Funktionalität zur Interaktion der Passagiere mit dem Infotainment- und Kommunikationssystem des Flugzeugs.

Hierbei sollten die klassischen mechanischen und geometrischen Anforderungen, die Materialanforderungen aber auch die Anforderungen hinsichtlich erwarteter elektronischer Funktionalität (Energieversorgung, Kommunikation, Steuerung, Datenverarbeitung, Identifikation) und Anforderungen an die Herstellungsprozesse herausgearbeitet werden. Zeitgleich zur Anforderungsspezifikation für die Versuchsaufbauten sollte auch die Spezifikation der späteren Prüfkonzepte und Testprozeduren erfolgen.

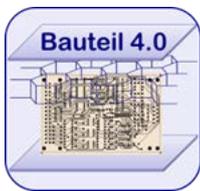
Das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an der Technischen Universität Hamburg koordinierte und leitete dieses Hauptarbeitspaket HAP1 und bearbeitete auch die nachfolgend aufgeführten Teilarbeitspakete. Zur Abstimmung der Zusammenarbeit fanden am 26.06.2019 an der TU Dresden, am 04.09.2019 bei der TU Hamburg und am 13.11.2019 bei der IMA in Dresden jeweils Arbeitstreffen statt. Das Jahrestreffen mit allen Projektpartnern und dem Projektträger erfolgte am 10.12.2019. Hierbei wurde auch der Meilenstein 1 (ein Lösungskonzept für Bauteil40 liegt vor) im Vorhaben erreicht.

AP 1.1 Definition der technischen Anforderungen für Bauteil40-Lösungen

Geplante Ressourcen der TUHH: 2 Personenmonate

Die TUHH leitete dieses AP1.1. Pro Versuchsaufbau (a) und (b) sollten die Anwendungsfälle und die entsprechenden Anforderungen erhoben werden. Zu den Anforderungen gehören grundlegende mechanische und geometrische Anforderungen und/oder Materialanforderungen. Hinzu kommen die Anforderungen bzgl. der neu zu integrierenden Bauteil40-Funktionen wie z.B. der Beleuchtungstechnik oder der Kommunikationstechnik, Steuerung und Datenverarbeitung. Weiterhin müssen Anforderungen zur späteren Herstellbarkeit herausgearbeitet werden.

Die inhaltliche Abstimmung erfolgte beim Arbeitstreffen am 26.06.2019 an der TU Dresden und die Bearbeitung innerhalb der ersten beiden Projektmonate. Zur Integration einfacher elektronischer Komponenten wurden von der TU Hamburg beim Leichtbaupaneel-Hersteller 3D ICOM erste Vorversuche durchgeführt. Abbildung 5 zeigt beispielhaft ein Bauteil aus der realen Produktion, bei welchem in einem freizustellenden und daher für das spätere Bauteil unkritischen Bereich ein RFID-Transponder integriert wurde. Dieser ist in der Mitte des Bildes zu erkennen und besteht aus einem Mikrochip, der auf ein FR4-Substrat mit Kupferantenne aufgelötet ist. Aufgrund der hier bereits bei diesem einfachen Aufbau erkennbaren Herausforderungen wurde herausgearbeitet, dass für aussagekräftige Bauteiltests zunächst möglichst gut beschreibbare Aufbauten von geringer Komplexität herangezogen werden sollten. Bevor also die o.g. komplexen Versuchsaufbauten (a) und (b) hergestellt und getestet werden, sollte zunächst ein so genannter Versuchsaufbau V0 erarbeitet werden, bei welchem die Ergebnisse späterer Test leicht und gut mit dem entsprechenden Aufbau korreliert werden können.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

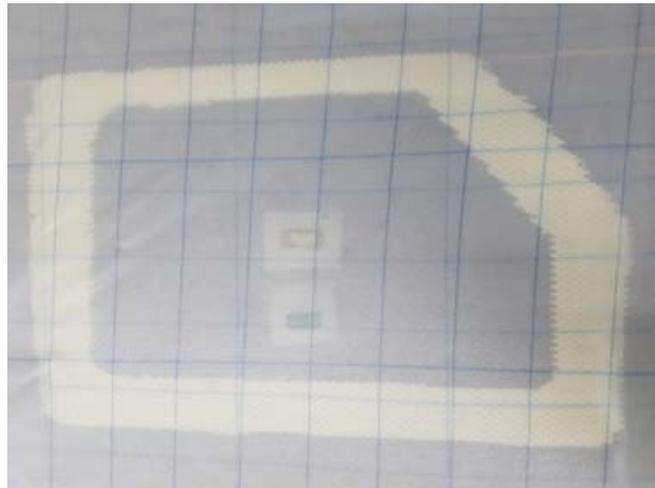


Abbildung 5: Leichtbauteil aus der Produktion, bei welchem in einem später freizustellenden mittigen Bereich ein RFID-Transponder integriert wurde.

Als Versuchsaufbau V0 mit geringer Komplexität wurde daher die Integration dünner und flächiger Elektronikkomponenten in Form eines RFID-Transponders und einer Daisy Chain definiert (siehe folgende Kapitel AP 1.2 Erarbeitung der Spezifikationen für die Versuchsaufbauten für Bauteil40 und AP 1.3 Erarbeitung der Lösungskonzepte für die Versuchsaufbauten für Bauteil40).

AP 1.2 Erarbeitung der Spezifikationen für die Versuchsaufbauten für Bauteil40

Geplante Ressourcen der TUHH: 1 Personenmonat

Unter Leitung der TUHH sollten in diesem AP1.2 pro Versuchsaufbau (a) und (b) die im Vorhaben in HAP 3 nachzuweisenden Anwendungsfälle festgelegt und hinsichtlich des dazu erforderlichen Funktionsumfangs spezifiziert werden. Zugunsten des weniger komplexen und damit besser beschreibbaren und in Tests untersuchbaren Versuchsaufbaus wurden jedoch hier zunächst die Spezifikationen für Aufbau V0 definiert. Abbildung 6 zeigt die für den Versuchsaufbau V0 zur Integration vorgesehene Elektronik. Diese Elektronikaufbauten a) und b) ermöglichen eine gute Untersuchbarkeit der Elektronikkomponente in einem funktionsintegrierten Bauteil nach Belastungs- und Ermüdungstests. In Abbildung 7 ist beispielhaft ein Auszug der gesichteten Dokumente und der für das Projekt erhobenen und erstellten Anforderungen zu sehen.

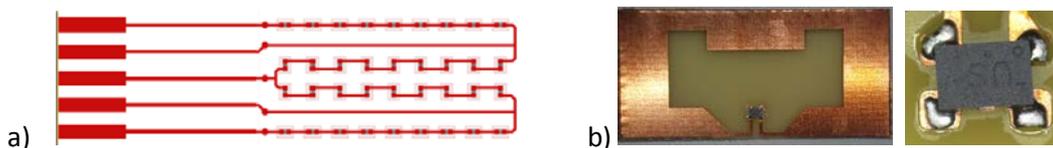
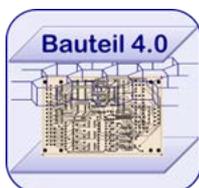


Abbildung 6: Darstellung der in einem Versuchsaufbau V0 zu integrierenden Elektronik. Links a) Reihenschaltung von Widerständen, sog. Daisy Chain und rechts b) RFID-Transponder mit einem auf Kupferantenne aufgelöteten RFID-Chip, vgl. auch vergrößerter Bildausschnitt.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

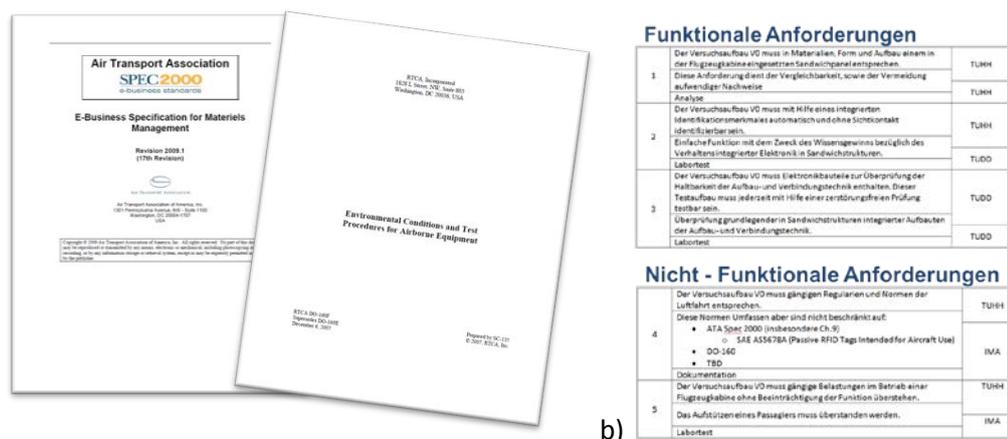


Abbildung 7: a) ATA SPEC 2000 als Grundlage zur Erhebung der Bauteilanforderungen bei der Integration von RFID-Transpondern und b) Auszug aus den Anforderungslisten für funktionsintegrierte Leichtbauteile.

AP 1.3 Erarbeitung der Lösungskonzepte für die Versuchsaufbauten für Bauteil 4.0

Geplante Ressourcen der TUHH: 1 Personenmonat

Die TUHH leitete dieses AP1.1. Für die spezifizierten Anwendungsfälle und Funktionen sollten mögliche Lösungskonzepte entworfen werden, mit denen sich die für Versuchsaufbauten (a) und (b) spezifizierten Anwendungsfälle und Funktionen fertigungstechnisch und funktional umsetzen lassen.

Aufgrund der Fokussierung auf den weniger komplexen Versuchsaufbau V0 mit Daisy Chain und RFID-Transponder wurden in diesem Arbeitspaket Lösungskonzepte zur Herstellung von Sandwichpaneelen erarbeitet. Hierbei galt es insbesondere den Sandwichpaneelaufbau und die dazu verwendeten Materialien zu definieren und die Integrationskonzepte für die Elektronikkomponenten festzulegen. Auch mussten entsprechende Produktionsmittel (z.B. eine zur Testcoupon-Herstellung geeignete Versuchspresse) und die anzuwendenden Produktionsfaktoren (z.B. Drucke, Temperaturen, Formen, etc.) definiert werden. Zur Herstellung erster Proben wurde die TUHH von der Fa. 3D ICOM mit Halbzeugen und einer entsprechenden Laborumgebung unterstützt. Die zu integrierenden Elektronikkomponenten wurden von der TU Dresden angefertigt und beigestellt. Die Abbildung 8 zeigt beispielhaft ein entworfenes Aufbaukonzept für den Versuchsaufbau V0 zur Integration eines RFID-Transponders.

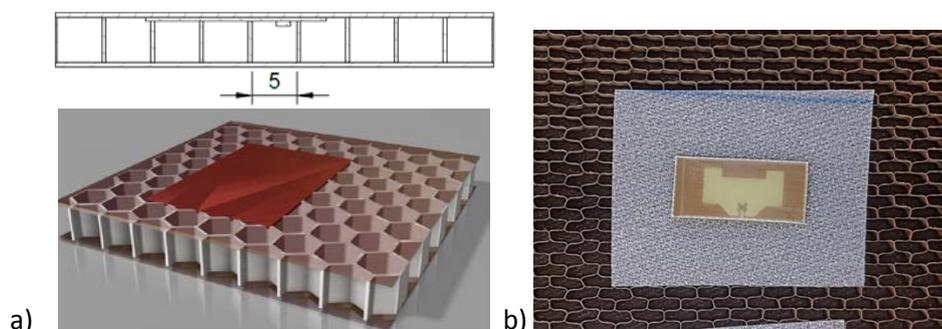
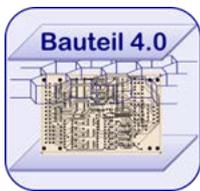


Abbildung 8: a) CAD-Zeichnung für ein Aufbaukonzept zur Integration eines RFID-Transponders zwischen Wabenkern und Decklage und b) Foto eines entsprechend gelegten Aufbaus vor Aufbringung der oberen Decklage.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

AP 1.4 Analyse der notwendigen Testprozeduren

Geplante Ressourcen der TUHH: 1 Personenmonat

Die TUHH war in diesem Arbeitspaket 1.4 begleitend tätig. Unter Leitung des Partners IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH wurden für die Versuchsaufbauten V0 die zur Validierung der Proben erforderlichen Testprozeduren ausgearbeitet. Als Testkategorien wurden einerseits Druckbelastungstests mit punktueller Krafteinleitung auf die Elektronik mittels zweier Druckkalotten (Durchmesser $d = 10\text{ mm}$ und $d = 75\text{ mm}$) und andererseits Vier-Punkt-Biegetests festgelegt. Weiterhin wurden Ermüdungstests in einer Vier-Punkt-Biegevorrichtung vorgesehen. Abbildung 9 zeigt schematisch die mit dem Partner IMA entworfenen Testprozeduren zur Durchführung von Punktbelastungstests und Vier-Punkt-Biegeversuchen und Ermüdungstests.

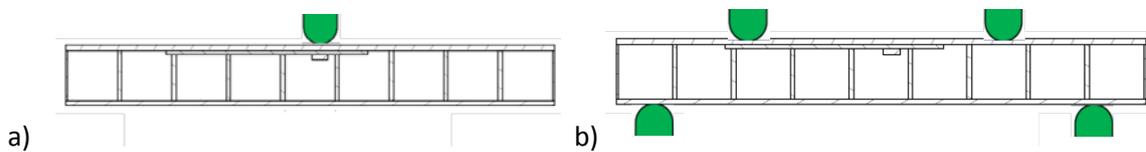


Abbildung 9: Entworfen Testprozeduren zur Durchführung von a) Druckbelastungstests und b) Vier-Punkt-Biege- und Ermüdungstests.

AP 1.5 Erarbeitung des Prüfkonzepts für die Leichtbaustrukturen, die integrierte Elektronik und die Versuchsaufbauten

Geplante Ressourcen der TUHH: 1 Personenmonat

Die TUHH arbeitete in diesem Arbeitspaket 1.5 begleitend mit. Wiederum unter Leitung des Partners IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH wurde zusammen mit den anderen Partnern ein Prüfkonzept für die Versuchsaufbauten V0 erarbeitet. Dieses Konzept deckt insbesondere den Testaufbau zur Untersuchung der Leichtbaustrukturen mit integrierter Elektronik ab. Zur Formulierung so genannter Means of Compliance (MoCs) für die Nachweisführung wurde vordergründig die Norm ASTM D7249 (vgl. Abbildung 10) zur Durchführung von Biegeversuchen herangezogen.

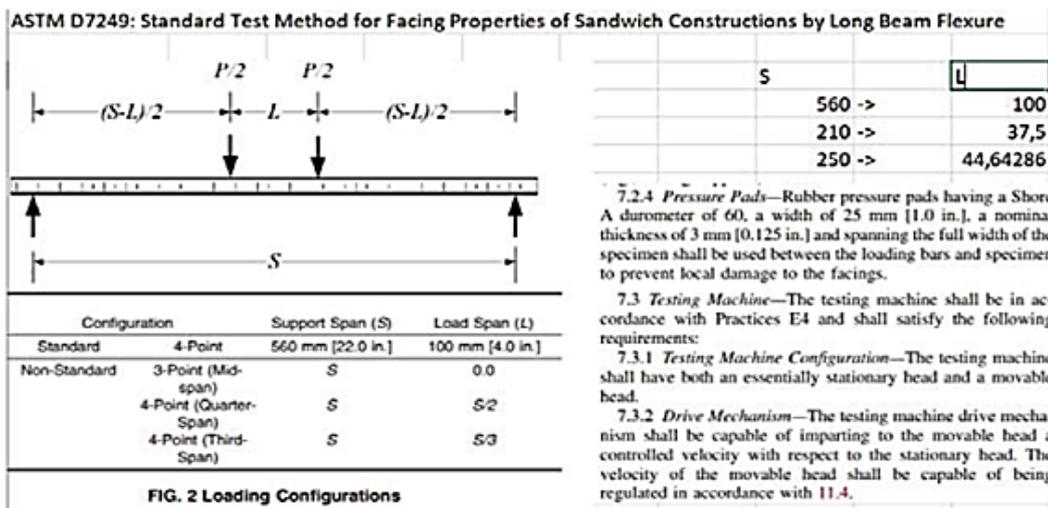
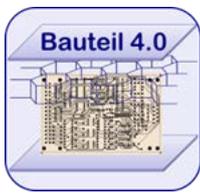


Abbildung 10: Ausschnitt aus der Norm ASTM D7249 [e] zur Durchführung von Biege- und Ermüdungsversuchen.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

6.2.2 HAP 2 – Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Versuchsentwurf

Geplante Ressourcen der TUHH in HAP 2 gesamt: 14 Personenmonate; Laufzeit: Monate 7 bis 24

Das Hauptarbeitspaket HAP 2 diente Erprobung des in HAP 1 entworfenen technischen Lösungskonzepts. Jeweils bezogen auf die Teilbereiche Leichtbaustrukturen, Elektronik und Systemintegration wurden erste Entwürfe, Umsetzungen und Tests von den Partnern durchgeführt. Diese Arbeiten bezogen sich konkret auf die Versuchsaufbauten V0 mit integrierter Daisy Chain und RFID-Transponder. In Vorversuchen wurden von den Partnern in deren jeweiligem Verantwortungsbereich Entwürfe ihrer Teilsysteme als Versuchsaufbauten realisiert und daraufhin untersucht und getestet, wie eine Zusammenführung der Teilsysteme dann in HAP 3 gelingen kann.

Das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an der Technischen Universität Hamburg koordinierte und leitet dieses Hauptarbeitspaket HAP 2 und begleitete oder bearbeitete auch die nachfolgend gelisteten Teilarbeitspakete.

AP 2.1 Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Versuchsentwurf

Geplante Ressourcen der TUHH: - keine -

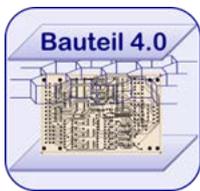
In diesem Teilarbeitspaket waren für die TUHH ursprünglich nur begleitende Arbeiten vorgesehen. Allerdings ergab sich im Projektverlauf das Erfordernis, dass erste Testcoupons durch die TUHH bereitgestellt werden. Dazu übernahm die TUHH eine erste Produktion von Testcoupons, welche sie in den von der Fa. 3D ICOM zur Verfügung gestellten Produktionsumgebung unter Einsatz entsprechender Produktionsmaterialien ledigen konnte. Da für diese notwendig gewordene Aufgabe in AP 2.1 für die TUHH keine Ressourcen geplant waren, wurden Ressourcen aus den APs 2.2. und 2.3 genutzt. Die geleisteten Arbeiten sind entsprechend dort beschrieben.

AP 2.2 Entwurf, Entwicklung und Integration der Elektronik

Geplante Ressourcen der TUHH: 7 Personenmonate

Für die TUHH war in diesem Arbeitspaket AP 2.2 die Mitarbeit geplant. Unter Leitung der TU Dresden sollte in Zusammenarbeit mit der TUHH integrationsfähige Elektroniksysteme, welche die funktionalen Anforderungen für später zu realisierenden beiden Versuchsaufbauten (a) und (b) aus HAP 1 erfüllen können. Um erste Testcoupons für die Evaluierung in AP 2.5 zur Verfügung zu haben, stellte die TUHH solche im Labor der Fa. 3D ICOM her und lieferte diese zur Charakterisierung und zum Test an die TU Dresden und die IMA zurück.

Zur Herstellung der Coupons erhielt die TUHH für die Integration die von er TU Dresden hergestellten Elektronikkomponenten. Abbildung 11 zeigt die von der TUHH entsprechend konfigurierten Produktionsmittel mit den zu fertigenden Versuchsaufbauten V0.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse



Abbildung 11: Von links nach rechts: Zeichnung der Rahmenkonstruktion zur Herstellung von jeweils drei Testcoupons in einem Pressenzyklus, 3D-Rendering des Rahmens mit drei Testaufbauten und Foto des verwendeten Rahmens mit den Testaufbauten vor Auflage der Deckschicht und vor dem Verpressen.

Wie bereits in HAP 1 festgestellt wurde, wäre es nicht zielführend gewesen, sofort in einem ersten Schritt komplexe und daher wenig gut beschreibbare Versuchsaufbauten (a) und (b) herzustellen und zu testen. Entsprechend wurden hier von der TUHH zusammen mit den Partnern TU Dresden und IMA in HAP 2 insbesondere in den Unterarbeitspaketen AP 2.2 und 2.3 zusätzliche Arbeiten zur Modellierung und Simulation der Testcoupons geplant. Dabei war es das Ziel, die Simulationsergebnisse mit den realen Testergebnissen zu vergleichen, um dann bei guter Übereinstimmung von Simulation und Test, für komplexere Versuchsaufbauten deren Verhalten im Beanspruchungstest vorhersagen zu können. Diese Arbeiten wurden von den Partnern gemeinsam geplant, unterstützt und dann modellierungstechnisch im Wesentlichen von der IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH durchgeführt.

Die nachfolgende Abbildung 12 zeigt dieses zusätzlich geplante Vorgehen, bei dem für die hergestellten Testcoupons V0 eine Simulationsmodell erarbeitet werden sollte, welches dann, bei guter Übereinstimmung von Simulation und Test künftig Vorhersagen zum Verhalten von Versuchsaufbauten zulässt.

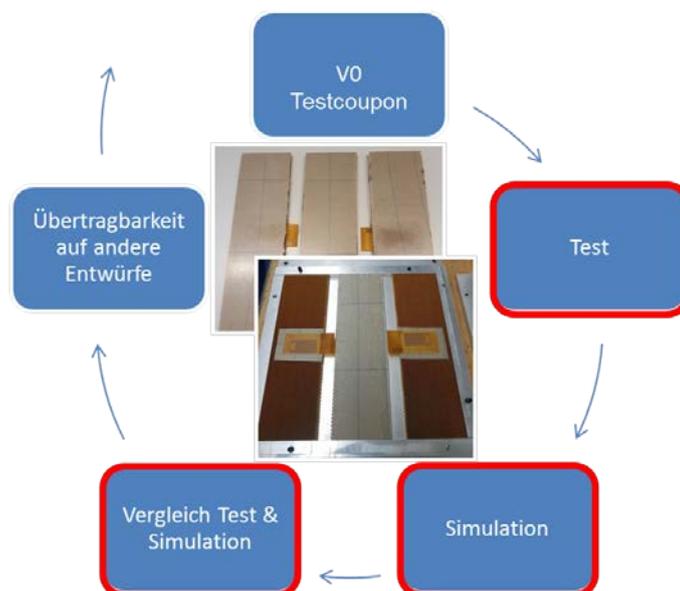
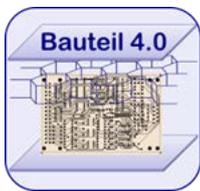


Abbildung 12: Hier sind die zusätzlich durchgeführten Arbeiten zur Modellierung und Simulation der an der TUHH hergestellten Testcoupons gezeigt, welche dann, bei guter Übereinstimmung von Modell und Realität zur Vorhersage des Verhaltens anderer, komplexerer Entwürfe genutzt werden können.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

AP 2.3 Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik

Geplante Ressourcen der TUHH: 7 Personenmonate

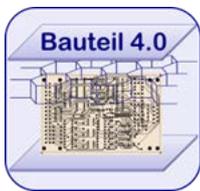
Auch in diesem Arbeitspaket AP 2.3 arbeitete die TUHH mit. Unter Leitung der TU Dresden erfolgte hier der Entwurf von Konzepten zur Aufbau- und Verbindungstechnik, so dass sich die funktional realisierten Systeme zu einem multifunktionalen Bauteil integrieren lassen. Das in AP 2.2 ausgearbeitete Herstellungs- und Integrationsverfahren wurde von der TUHH dazu genutzt, um eine größere Zahl von Testcoupons des Versuchsaufbaus V0 herzustellen. Abbildung 13 zeigt beispielhaft eine Auswahl der von der TUHH hergestellten Coupons.



Abbildung 13: Eine Auswahl der von der TUHH hergestellten ersten Testcoupons, welche die von der TU Dresden beigestellten Elektronikkomponenten integriert haben. Diese so hergestellten Proben wurden zur Charakterisierung und zum Test an die TU Dresden und an die IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH geliefert.

Damit im weiteren Projektverlauf auch komplexere Elektronik integriert werden konnte, wurde das Integrations- und Produktionsverfahren in die Labors der TU Dresden übertragen. Dort wurde zur Produktion eine Leiterplattenpresse verwendet. Gemeinsam haben die TU Hamburg und die TU Dresden sichergestellt, dass Testcoupons sowohl in Hamburg, als auch in Dresden von exakt derselben Qualität produziert werden können. Dazu wurden die in den verschiedenen Laboren hergestellten ungestörten Kontrollproben bei der IMA dem Vier-Punkt-Biegeversuch unterzogen. Die Herstellung von Proben gleicher Qualität wurde anhand der bei der IMA ermittelten identischen Versagenslasten verifiziert.

Auch wurden in diesem Arbeitspaket die Arbeiten zu Modellierung, Simulation und Test der Coupons weiter unterstützt. In der nachfolgenden Abbildung 14 ist exemplarisch ein bei der MA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH erhaltenes Ergebnis dargestellt. Hieraus geht hervor, dass das experimentell ermittelte Verhalten der Proben im Teststand sehr gut mit den vom Modell gelieferten Simulationsdaten übereinstimmt. Dieses gewählte Vorgehen eröffnete nun den Weg zur Verfeinerung des Modells und zur Vorhersage des Verhaltens anderer Versuchsaufbauten.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

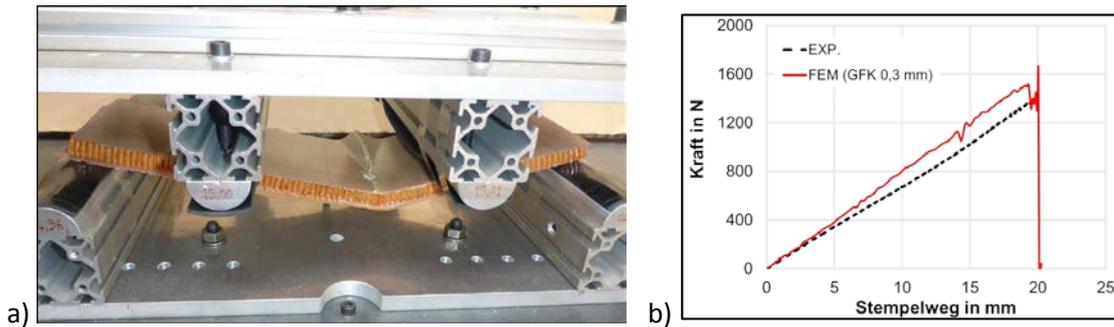


Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung der bei der IMA mit den Testcoupons erhaltenen Ergebnis. a) zeigt einen von der IMA durchgeführten Vier-Punkt-Biegeversuch und b) den experimentell und mittels Simulation ermittelten Kraftverlauf bis zum Versagen des Testcoupons mit sehr guter Übereinstimmung.

AP 2.4 Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupons

Geplante Ressourcen der TUHH: - keine -

In diesem AP 2.4 waren seitens der TUHH ursprünglich keine Ressourcen geplant. Mit erfolgreichem Transfer der Herstellung der Testcoupons von Hamburg nach Dresden bei gleicher Qualität hat hier die TU Hamburg die TU Dresden vor allem mit Wissen zur Fertigung und mit Produktionsmaterialien für Sandwichbauteile unterstützt. Diese Transferleistung an die TU-Dresden konnte nun im weiteren Projektverlauf dazu genutzt werden, in den Labors der TU-Dresden komplexere Versuchsaufbauten für weitergehende Tests herzustellen.

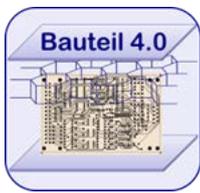
AP 2.5 Evaluierung der Testcoupons

Geplante Ressourcen der TUHH: - keine -

Unter Leitung der IMA erfolgte in Vorversuchen mit den Versuchsaufbauten V0 erstmals ein Test der in AP2.4 hergestellten Material- und Bauteilkombinationen. Dies sollte dann später im Vorhaben auch mit komplexeren Testaufbauten wie z.B. (a) einem Sandwichpaneel mit Energieversorgung, Beleuchtungsfunktionalität, Identifikationsmerkmal und elektronischer Ansteuereinheit und (b) einem intelligentem Tray-Table am Sitz mit PC-Funktionalität zur Interaktion der Passagiere mit dem Infotainment- und Kommunikationssystem des Flugzeugs geschehen.



Abbildung 15: Prüfstand bei der Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH in Dresden.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zur Veranschaulichung zeigt Abbildung 15 den gemeinsam mit allen Partnern entworfenen und von der IMA angefertigten und betriebenen Prüfstand zur Evaluierung der Testcoupons.

6.2.3 HAP 3 – Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten

Geplante Ressourcen der TUHH in HAP 3 gesamt:: 10 Personenmonate; Laufzeit: Monate 19 bis 30

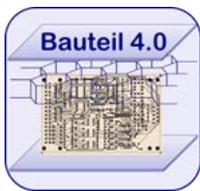
Dieses Arbeitspaket HAP 3 diente dazu, die in HAP 2 entworfen Teilbereiche und Verfahren zusammenzuführen und komplexere Versuchsaufbauten vom Typ (a) eines Sandwichpanels mit Energieversorgung, Beleuchtungsfunktionalität, Identifikationsmerkmal und elektronischer Ansteuereinheit und (b) eines intelligentem Tray-Table am Sitz mit PC-Funktionalität zur Interaktion der Passagiere mit dem Infotainment- und Kommunikationssystem des Flugzeugs herzustellen und gemäß des in HAP 1 erstellten Prüfkonzepts zu testen. HAP 3 sollte dazu beim Projektabschluss die im Vorhaben erzielten Ergebnisse zusammenzuführen und damit als Ausgangspunkt für die Verbreitung der Ergebnisse, den Technologietransfer und die Umsetzung und Verwertung in zu entwickelnden Produkten dienen.

Das Institut für Flugzeug-Kabinensysteme an der Technischen Universität Hamburg koordinierte und leitete dieses Hauptarbeitspaket HAP 3 und arbeitete auch in den nachfolgend beschriebenen Teilarbeitspaketen mit den Partnern zusammen.

AP 3.1 Zusammenführen der Ergebnisse aus HAP 2

Geplante Ressourcen der TUHH: 3 Personenmonate

Die TUHH leitete dieses AP3.1. und führte die Teilergebnisse mit den Projektpartnern zusammen. Im Rahmen von AP3.1 galt es nun erstmals komplexere Elektronik vom Typ der beiden geplanten Versuchsaufbauten a) und b) verfahrenstechnisch zu planen und zu integrieren. Da sich die Herstellung der ursprünglich geplanten Versuchsaufbauten, d.h. (a) eines Sandwichpanels mit Energieversorgung, Beleuchtungsfunktionalität, Identifikationsmerkmal und elektronischer Ansteuereinheit und für ein (b) eines intelligenten Tray-Table am Sitz mit PC-Funktionalität zur Interaktion der Passagiere mit dem Infotainment- und Kommunikationssystem des Flugzeugs als zu wenig erfolgversprechend und aussagekräftig herausgestellt hatte, wurde von der TU Dresden und der TUHH die Integration eines Raspberry Pi Zero-Minicomputers vorgeschlagen. Die TU Dresden erarbeitete dazu passende Einbettungskonzepte und Anschlussstechniken und stellte auch die entworfenen Versuchsträger her. Abbildung 16 zeigt exemplarisch zwei von der TU Dresden erarbeitete und durchgeführte Verkapselungs- und Einbettungskonzepte, welche zur Integration komplexerer Elektronik vorgesehen wurden.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

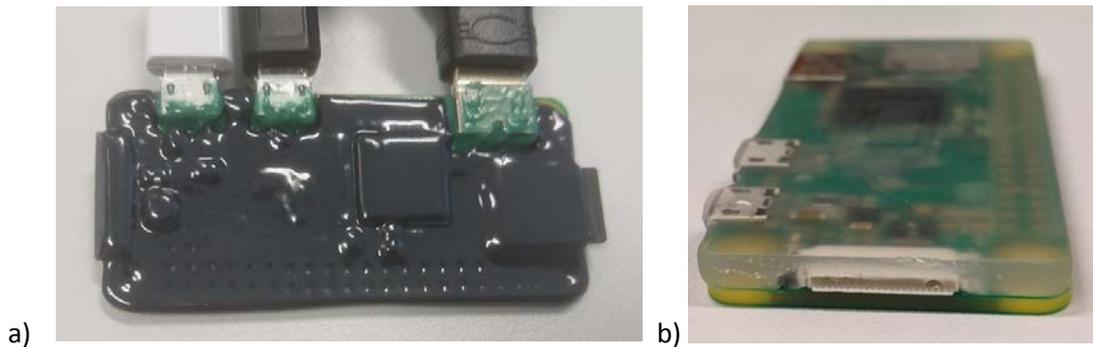


Abbildung 16: Von der TU Dresden entworfene und hergestellte Proben zur Integration komplexerer Elektronik in Sandwichpaneele.

Die in Abbildung 16 a) zu sehende Sheet-Mold-Technik stellte sich später bei den Einbettungsversuchen leider als nicht erfolgreich heraus. Mit der in Abbildung 16 b) gezeigten, sog. KONEKT-Technologie hingegen konnten erfolgversprechende Versuchsaufbauten hergestellt werden.

AP 3.2 Erstellung der Versuchsaufbauten

Geplante Ressourcen der TUHH: 7 Personenmonate

Die TUHH koordinierte dieses AP3.2. Es wurden in diesem Arbeitspaket von der TU Dresden Versuchsaufbauten mit einem integrierten Minicomputer vom Typ Raspberry Pi Zero hergestellt und beim Partner IMA in Dresden untersucht und getestet.

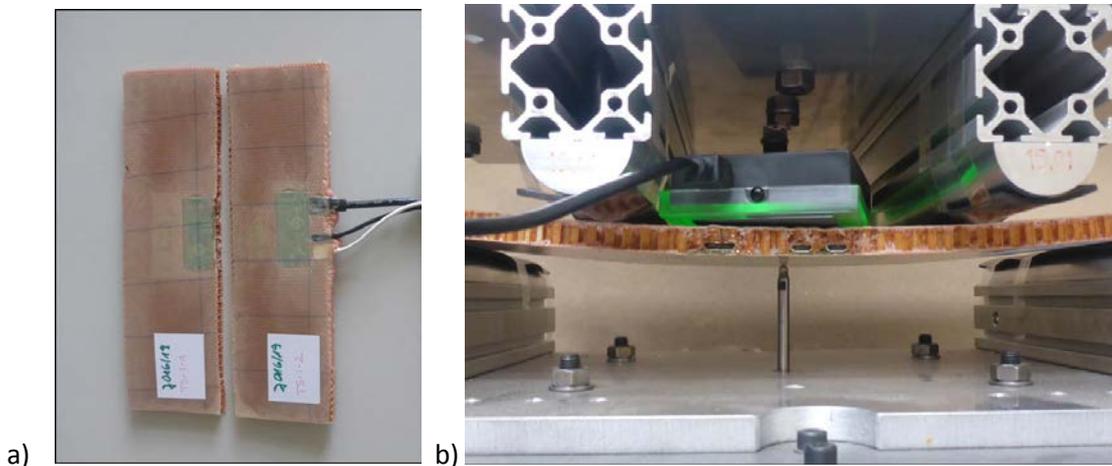
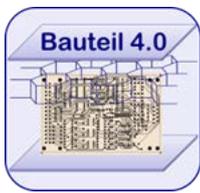


Abbildung 17: a) von der TU Dresden in Sandwichpaneele eingebetteter Minicomputer und b) Sandwichpaneel mit eingebettetem Minicomputer im Teststand im Vier-Punkt-Biegeversuch.

Die in Abbildung 17 a) zeigt zwei von der TU Dresden hergestellte Proben mit eingebettetem Minicomputer, wobei in Abbildung 17 b) gezeigt ist, wie eine solche Probe für Belastungs- und Ermüdungstests in den Prüfstand eingelegt ist und getestet wird.

Insgesamt konnten im Vorhaben die ursprünglich geplante Herstellung der beiden Versuchsaufbauten (a) und (b) nicht vollständig erreicht werden. Dies war dem Umstand geschuldet, dass diese Aufbauten eine sehr hohe Komplexität aufweisen, so dass sich deren Verhalten bei den spezifizierten und vorgesehenen Bauteilbelastungstests nicht hätte nachvollziehen bzw. hätte erklären lassen. Entsprechend wurden im Vorhaben zunächst weniger komplexe Elektronikaufbauten hergestellt und in-



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

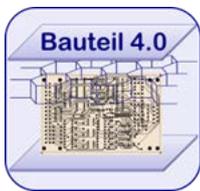
tegiert, anhand welcher sich Versagensmechanismen besser nachvollziehen lassen. Diese Untersuchungen wurden zusätzlich durch Modellierung der Bauteile und Simulation des Verhaltens der Bauteile ergänzt und untermauert. Aufgrund der guten Übereinstimmung von Simulationen und real durchgeführten Tests konnte so als Nebenergebnis im Vorhaben ein Vorhersagemodell für das Bauteilverhalten erarbeitet werden, welches sich in Zukunft auch auf komplexere Versuchsaufbauten adaptieren lässt. Als Beispiel für ein Leichtbauteil mit komplexerer integrierter Elektronik diente schließlich ein Sandwichpaneel mit integriertem Raspberry Pi Zero-Minicomputer, welches sich in den Belastungs- und Ermüdungstests entsprechend den aus der Simulation resultierenden Erwartungen verhielt. Die ursprünglich geplanten Versuchsaufbauten (a) und (b) konnten bis zum Projektabschluss nicht hergestellt werden.

Insgesamt mussten zwei Drittel des Vorhabens unter Pandemiebedingungen durchgeführt werden. Dies beeinflusste vor allem die praktischen Arbeiten in den Labors und auch das Zusammenkommen der Partner. Jedoch waren die durch die Verbreitung des COVID-19-Virus entstandenen Behinderungen gut korrigierbar, so dass das Vorhaben entsprechend Projektplan durchgeführt und termintreu abgeschlossen werden konnte. Eine nicht 100%ige Erreichung der ursprünglich geplanten Versuchsaufbauten ist aus Sicht des Konsortiums zugunsten der erreichten grundlegenden Einsichten hinnehmbar und wird von den im Vorhaben zusätzlich erzielten Ergebnissen bei der Modellierung, Simulation und beim Test vollständig ausgeglichen.

6.3 Zusammenfassende Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen

Basierend auf den in Kapitel 6.2 und den Unterkapiteln gegebenen Ausführungen und Erläuterungen folgt an dieser Stelle eine tabellarische Gegenüberstellung der im Teilvorhaben gesetzten Ziele und der erreichten Ergebnisse.

| Im Teilvorhaben vorgegebene Ziele | Im Teilvorhaben erzielte Ergebnisse |
|---|---|
| HAP 1 – AP1.1: Definition der technischen Anforderungen für Bauteil40-Lösungen | |
| <ul style="list-style-type: none"> Anwendungsfall- und Anforderungsdokumentation | <ul style="list-style-type: none"> Es wurden unter Anleitung der TUHH Anwendungsfälle und Anforderungen für Leichtbauteile mit integrierter Elektronikfunktionalität erarbeitet und dokumentiert. |
| HAP 1 – AP 1.2: Erarbeitung der Spezifikationen für die Versuchsaufbauten für Bauteil40 | |
| <ul style="list-style-type: none"> Spezifikation des Funktionsumfangs pro Versuchsaufbau (a) und (b) | <ul style="list-style-type: none"> Bei der Ausarbeitung der Spezifikationen für die Versuchsaufbauten (a) und (b) wurde festgestellt, dass sich diese Aufbauten als zu komplex darstellen, um später Versagensmechanismen nachvollziehen zu können. Daher wurde die Spezifikation für einen weniger komplexen Versuchsträger V0 aufgestellt. |
| HAP 1 – AP 1.3: Erarbeitung der Lösungskonzepte für die Versuchsaufbauten für Bauteil40 | |
| <ul style="list-style-type: none"> Dokumentation technischer Lösungen zur Erfüllung der spezifizierten Funktionen. | <ul style="list-style-type: none"> Aufgrund der unter AP 1.2 genannten angepassten Vorgehensweise wurden technische Lösungen und Elektronikfunktionen für einen Versuchsträger V0 |



Bauteil 4.0

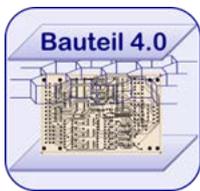
Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

| | |
|--|---|
| | erarbeitet. |
| HAP 1 – AP 1.4: Analyse der notwendigen Testprozeduren | |
| <ul style="list-style-type: none"> Wissensbeiträge zu RTCA-DO-160-Testbedingungen. | <ul style="list-style-type: none"> Es erfolgte die Unterstützung mit Wissen zu Testbedingungen im Luftfahrtumfeld. Entsprechende Literatur wurde dazu beschafft und zur Verfügung gestellt. |
| HAP 1 – AP 1.5: Erarbeitung des Prüfkonzpts für die Leichtbaustrukturen, die integrierte Elektronik und die Versuchsaufbauten | |
| <ul style="list-style-type: none"> Wissensbeiträge zu MoCs für die Nachweisführung. | <ul style="list-style-type: none"> Es erfolgte die Unterstützung mit Wissen zur Nachweisführung im Luftfahrtumfeld. Entsprechende Literatur wurde dazu beschafft und zur Verfügung gestellt. |
| HAP 2 – AP 2.1: Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Versuchsentwurf | |
| <ul style="list-style-type: none"> nur Mitarbeit der TUHH | <ul style="list-style-type: none"> Die TUHH schaffte hier die Voraussetzungen, um erste Testcoupons in den Labors der Fa. 3D ICOM am Standort Hamburg herstellen zu können. |
| HAP 2 – AP 2.2: Entwurf, Entwicklung und Integration der Elektronik | |
| <ul style="list-style-type: none"> Beigestellte Lösungen, insbesondere zur Integration von Elektronik. | <ul style="list-style-type: none"> Es erfolgte hier die Umsetzung einer Produktionsumgebung zur Herstellung von Versuchsträgern am Standort Hamburg. Eine entsprechende Zulieferung von erforderlichen Elektronikkomponenten wurde mit der TU Dresden gelöst. |
| HAP 2 – AP 2.3: Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik | |
| <ul style="list-style-type: none"> Beigestellte Lösungen, insbesondere zur Verbindungstechnik für Bauteile. | <ul style="list-style-type: none"> Es erfolgt hier die Herstellung von Versuchsträgern am Standort Hamburg und ein Austausch von Proben mit den Partnern in Dresden. Ein Transfer der Produktion vom Standort Hamburg an die Labors der TU Dresden wurde durchgeführt. |
| HAP 2 – AP 2.4: Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupon | |
| <ul style="list-style-type: none"> nur Mitarbeit der TUHH | <ul style="list-style-type: none"> Unterstützung der TU Dresden bei der weiteren Probenherstellung unter inzwischen eingetretenen Pandemiebedingungen. |
| HAP 2 – AP 2.5: Evaluierung der Testcoupons | |
| <ul style="list-style-type: none"> nur Mitarbeit der TUHH. | <ul style="list-style-type: none"> Koordination der Arbeitstreffen zum Austausch der Partner und von Proben und Material unter Pandemiebedingungen. |
| HAP 3 – AP 3.1: Zusammenführen der Ergebnisse aus HAP 2 | |
| <ul style="list-style-type: none"> Projektplan zur Erstellung der beiden Versuchsaufbauten (a) und (b). | <ul style="list-style-type: none"> Es wurden die Ergebnisse zum Versuchsaufbau V0 aus HAP 2 dazu genutzt, einen Versuchsaufbau mit komplexerer integrierter Elektronik zu entwerfen: ein Leichtbaupaneel mit integriertem Minicompu- |



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

| | |
|---|--|
| | ter vom Typ Raspberry Pi Zero. |
| HAP 3 – AP 3.2: Erstellung der Versuchsaufbauten | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Dokumentation über die Erstellung der beiden Versuchsaufbauten und Bericht über die Ergebnisse in Form einer Abschlusspräsentation. | <ul style="list-style-type: none"> • Es wurden die für eine öffentliche Abschlussveranstaltung an der TU Dresden erforderlichen Restarbeiten im Vorhaben organisiert und koordiniert. Am 16.11.2021 erfolgte beim Gastgeber TU Dresden die Präsentation der Ergebnisse im hybriden Format, d.h. mit den Partnern und dem Projektträger in Präsenz und externen Interessierten per Videoübertragung. |

Tabelle 1: Tabellarische Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen im Teilvorhaben

7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das Vorhaben verlief exakt innerhalb des geplanten Zeitrahmens. Trotz des Umstandes, dass zwei Drittel der Projektlaufzeit unter COVID-19-Pandemiebedingungen erfolgen musste, konnten alle dadurch beeinflussten Projektthemen gut umorganisiert und ausgeglichen werden. Im Teilvorhaben des Instituts für Flugzeug-Kabinensysteme wurde das bewilligte Gesamtbudget i.H.v. 200.000 € zu insgesamt 78,8 % zur Deckung der entstandenen Kosten genutzt. Entsprechend wurden 21,2 % der Mittel, das sind etwa 42.450 € des bewilligten Budgets, nicht eingesetzt. Trotzdem wurde die ursprüngliche Zeitplanung exakt eingehalten und alle wissenschaftlich-technischen Ziele im Vorhaben wurden dabei gut erreicht.

Zur Beschäftigung von Wissenschaftlichen Mitarbeitern (WiMi, E13 TV-L) und Studentischen Hilfskräften (HiWi) wurden Personalmittel i.H.v. insgesamt 77 % des bewilligten Gesamtbudgets (das sind 84 % der bewilligten Personalmittel) genutzt. Entsprechend wurden 16 % der bewilligten Personalmittel, dies sind etwa 29.570 €, nicht eingesetzt:

- Personalmittel für WiMi 83 % des Gesamtbudgets – zu 90 % eingesetzt
- Personalmittel für HiWi 9 % des Gesamtbudgets – zu 23 % eingesetzt

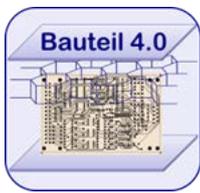
Die Nutzung der Mittel für Studentische Hilfskräfte zu nur etwa einem Viertel resultiert aus dem Umstand, dass Hilfskräfte während der Pandemie (fast 2/3 der Projektlaufzeit) nicht am Institut beschäftigt werden konnten.

Weitere finanzielle Mittel i.H.v. 3.223 € eines bewilligten Budgets von 5.600 € an Reisemitteln, das sind 3 % des bewilligten Gesamtbudgets, wurden für Reisen eingesetzt. Aufgrund der Pandemiebedingungen fanden Reisen und Konferenzen nur in der ersten Projekthälfte und zum Abschlusstreffen statt:

- Mittel für Reisen 3 % des Gesamtbudgets – zu 58 % eingesetzt

Für Investitionen oder Softwarelizenzen waren keine Mittel geplant. Für an der TUHH für Verbrauchsmaterialien geplante Mittel i.H.v. 10.500 €, das sind 5 % des bewilligten Gesamtbudgets, wurden zur Projektbearbeitung schließlich nicht benötigt. Kosten für diverse Kleinteile und Materialien zum Aufbau der Demonstratoren wurden vom Institut getragen und nicht geltend gemacht:

- Mittel für Verbrauchsmaterial 5 % des Gesamtbudgets – nicht eingesetzt



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Für die Projektbearbeitung war spezifisches Fachwissen zum Leichtbau in der Luftfahrt, zur Elektronikintegration und zur Simulation und zum Test von in der Luftfahrt eingesetzten Bauteilen erforderlich. Das besondere Merkmal des Vorhabens liegt bei der Zusammenarbeit zweier universitärer Partner und eines Unternehmens der Luftfahrtindustrie, welche von einem Hersteller luftfahrttechnischer Erzeugnisse unterstützt wurden. Eine derartige Zusammenarbeit wurde bereits in einem Vorläuferprojekt Energy Efficient Aviation Solutions (EEAS), „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ vorbereitet und war nun erstmals im Rahmen des Vorhabens Bauteil40 gelungen. Die fachliche Zusammenarbeit, auch unter Pandemiebedingungen, gelang deshalb besonders gut, weil die Partner sich bereits aus der Vergangenheit kannten und weil bereits eine gute Beziehung und Kooperation zwischen den beiden Universitäten in Dresden und Hamburg bestand. Alle erforderlichen Kompetenzen wären von nur einem Beteiligten alleine nicht aufbringbar gewesen. Mit einem Gesamtfördervolumen von insgesamt nur etwa 600.000 € konnte die Zusammenarbeit erreicht werden. Der Projektverlauf und die Ergebnisse zeigen, dass die in der Luftfahrtbranche immer wieder aufgezeigte Vorstellung einer Funktionsintegration im Leichtbau nicht ganz so einfach zu bewerkstelligen ist, wie vielfältig gedacht. Das Vorhaben Bauteil40 hat dazu beigetragen, dass ein kleiner und stark interdisziplinär zusammengesetzter Verbund praktische Erfahrungen sammeln und Ergebnisse zu bis heute relevanten Fragestellungen der Luftfahrtindustrie liefern konnte. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit ist aus Sicht des Projektkonsortiums daher sehr gut zu rechtfertigen. Die Ergebnisse des Vorhabens, die geleisteten Arbeiten und die damit verbundenen Aufwände stehen, gemessen am erzielten Erkenntnisgewinn und Erfolg in einem angemessenen Verhältnis.

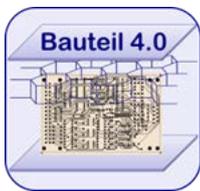
9 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die ursprüngliche Planung des Vorhabens und der Verwertungsplan sahen vor, das mit Abschluss des Vorhabens

- (a) ein Sandwichpaneel mit Energieversorgung, Beleuchtungsfunktionalität, Identifikationsmerkmal und elektronischer Ansteuereinheit und
- (b) ein intelligentes Tray-Table am Sitz mit PC-Funktionalität zur Interaktion der Passagiere mit dem Infotainment- und Kommunikationssystem des Flugzeugs

vorliegen sollten. Bereits zu Beginn des Vorhabens zeigte sich jedoch, dass die im Jahr 2012 vom BDLI zusammen mit Airbus und dessen Zulieferern im Video „Imagine Innovations Flying Tomorrow“ gezeigte Innovation einer interaktiven Kabinenverkleidung mit integrierter Elektronikfunktionalität (vgl. Abbildung 3 auf Seite 10) unter den Auflagen und Randbedingungen der Luftfahrtbranche deutlich schwieriger zu entwerfen und herzustellen ist, als dort vermutet. Auch neuere Forschungsergebnisse im Umfeld des Flugzeugherstellers aus dem Jahr 2019 (vgl. Abbildung 4 auf Seite 10) belegen, dass auch moderne, so genannte gedruckte Elektronik, nicht ohne Herausforderungen und intensive Forschungsarbeiten in Leichtbauteile integriert werden kann.

Jedoch zeigt sich anhand des Engagements des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), ab dem Jahr 2022 fortan Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), dass



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

der Leichtbau eine wichtige Schlüsseltechnologie darstellt^[7]: „Leichtbau bedeutet erst einmal: Weniger Masse. Aber Leichtbau kann noch mehr, denn gegenüber herkömmlichen Produkten weisen Leichtbauprodukte oft bessere Produkteigenschaften auf. Dank durchdachter Funktionsintegration, einer last- und werkstoffoptimierten Konstruktion sowie dem Einsatz leichterer Materialien vereint Leichtbau moderne Produktionsprozesse und geringere Kosten mit einem schonenden Umgang von Ressourcen und verbesserter Funktionalität.“ Dieses Zitat macht deutlich, dass es weiterer Aktivitäten und weiterer Forschung bedarf, um das Thema Leichtbau und Funktionsintegration für die verschiedenen Branchen, nicht nur für die Luftfahrt, in Zukunft weiter voranzubringen. Der Leichtbauatlas^[8] des BMWK gibt einen guten Überblick zur Verteilung der Kompetenzen innerhalb Deutschlands. Das Thema Funktionsintegration für Elektronik im Leichtbau ist dort nur wenig ausgeprägt.

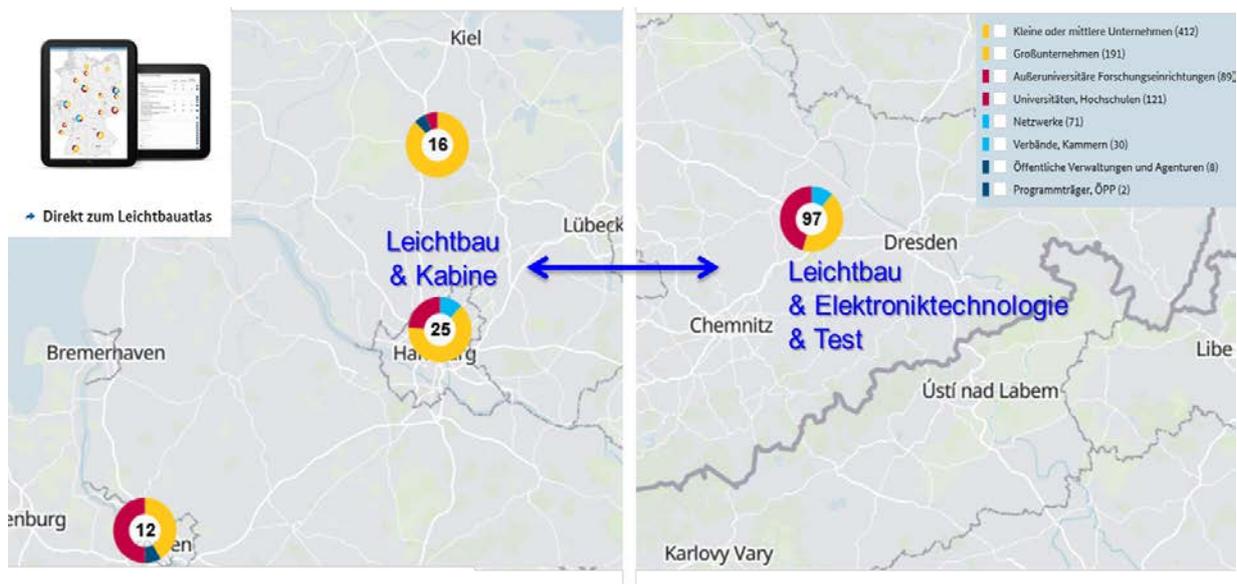
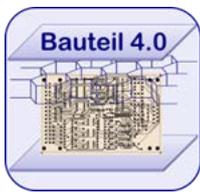


Abbildung 18: Anhand des Leichtbauatlas^[8] des BMWK erstellte Grafik, welche die im Projekt verstärkte Forschungsachse zwischen Hamburg (Leichtbau & Kabine) und Dresden (Leichtbau, Elektroniktechnologie & Test) verdeutlicht.

Das Forschungsvorhaben Bauteil40 lieferte für die Funktionsintegration von Elektronik im Bereich der Luftfahrt erstmals wichtige Grundlagen und Ergebnisse zum Verhalten, zur Belastbarkeit und zum Versagen von funktionsintegrierten Sandwichpaneelen. Diese Ergebnisse konnten durch weiterführende Arbeiten zur Modellierung und Simulation untermauert und gestützt werden, so dass hier künftig auch Vorhersagen möglich sind. Auch wenn die geplanten Versuchsaufbauten (a) und (b) letztendlich nicht im vollen Umfang realisiert werden konnten, so sind die im Projekt erhaltenen Ergebnisse und gestärkten Partnerschaften doch sehr wertvolle Grundlagen für weitere Arbeiten zur Schlüsseltechnologie Leichtbau und zur Elektronik-Funktionsintegration in der Luftfahrt. Das Konsortium stellt sich künftig mit diesem Wissen interessierten Unternehmen aus der Luftfahrtindustrie für weiterführende Forschungsarbeiten zur Verfügung.

^[7] Artikel des Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) zur Schlüsseltechnologie Leichtbau: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/leichtbau.html> (abgerufen am 15.02.2022)

^[8] Leichtbauatlas des Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): <https://leichtbauatlas.de> (abgerufen am 15.02.2022)



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Verwertungsaufgaben des Instituts für Flugzeugkabinensysteme an der Technischen Universität Hamburg stellen sich im Zuwendungsbescheid [9] wie folgt dar:

Das Institut für Flugzeugkabinensysteme wird die Erkenntnisse spätestens ab dem Jahr 2022 in einschlägigen wissenschaftlichen Publikationen veröffentlichen, auf Symposien vorstellen, in die relevanten Lehrveranstaltungen einbeziehen, bzw. seine erweiterte Expertise in sich anschließende anwendungsorientierte Forschungsprojekte einbringen:

- (a) ein Sandwichpaneel mit Energieversorgung, Beleuchtungsfunktionalität, Identifikationsmerkmal und elektronischer Ansteuereinheit und
- (b) ein intelligentes Tray-Table am Sitz mit PC-Funktionalität zur Interaktion der Passagiere mit dem Infotainment- und Kommunikationssystem des Flugzeugs

Die im Vorhaben angestrebten Testaufbauten (a) und (b) wurden zu Projektende nicht vollumfänglich erreicht. Hier sind zur Zielerreichung, ggf. in Anschlussvorhaben, weitere Forschungsaktivitäten erforderlich. Eventuelle müssen hier auch die ursprünglich definierten Testaufbauten neu definiert werden. Vor allem im Bereich der so genannten aktiven Oberflächen in der Luftfahrt ergeben sich hier Anwendungspotenziale.

Eine gemeinsame Publikation des Konsortiums, welche das Vorhaben und die erzielten Ergebnisse in der Fachzeitschrift PLUS-Elektronik eingereicht. Die Veröffentlichung ist ab dem ersten Quartal 2022 vorgesehen.

Eine gemeinsame Bewerbung des Konsortiums mit einem Abstract, für eine Vorstellung erzielter Ergebnisse auf einer Fachtagung, erfolgte für das 23. Symposium für Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde, welches am 20. Juni 2022 in Leoben in Österreich stattfinden soll.

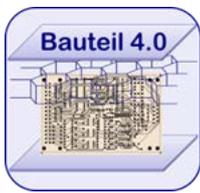
Eine Einbindung des Themas und der Ergebnisse in die Vorlesung des Instituts „Flugzeug-Kabinensysteme“ war bereits zum Wintersemester 2021 erfolgt.

Eine Bewerbung des Konsortiums zur Einbringung der erzielten Expertise in weiterführende Forschungsvorhaben soll u.a. im kommenden Forschungsauftrag des BMWK zu LuFo VI-3 erfolgen.

10 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt anderer Stellen

Es sind keine FE-Ergebnisse und Schutzrechtsanmeldungen von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Teilvorhabens relevant waren.

^[9] Zuwendungsbescheid des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) vom 17.06.2019, Technische Universität Hamburg, LuFo V-3, Bauteil40, FKZ: 20X1727A, Verwertungsplan, Seite 4.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



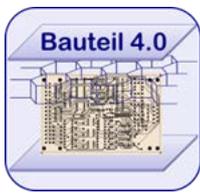
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

11 Erfolge oder geplante Veröffentlichungen

Eine Veröffentlichung zur Durchführung des Vorhabens wurde im Juli 2019 in Form einer Pressemitteilung herausgegeben. Alle wichtigen erarbeiteten Projektergebnisse sollen im Rahmen der Verwertungsaufgaben in Form von Publikationen und Fachvorträgen auf nationalen und internationalen Konferenzen veröffentlicht werden. Im Vorhaben entstandene und geplante Veröffentlichungen sind hier aufgeführt:

- Pressemitteilung; Bauteil 4.0 – Forschungsprojekt gestartet – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine. Herausgegeben am 09.07.2019.
- Themenbeitrag im Hamburg Aviation Newsletter; Bauteil 4.0 – Forschungsprojekt gestartet – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine
- D. Ernst, M. Heckert, R. Koschichow, D. Melzer, R. God, T. Zerna; Elektronik trifft Leichtbau – Bericht aus dem Projekt „Bauteil 4.0“, Fachzeitschrift PLUS – Elektronikfertigung, Eugen G. Leuze Verlag KG, eingereicht.
- D. Ernst, M. Heckert, D. Melzer, R. Koschichow, R. God, T. Zerna; Bauteil 4.0: Verfahrensentwicklung und Festigkeitsbewertung von Bauteilen in Sandwichbauweise mit integrierter Elektronik für die Luftfahrtanwendung, eingereicht.

Im Sinne der Verwertung der Projektergebnisse sind Anschlussvorhaben, weitere Präsentationen und Veröffentlichungen geplant.



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

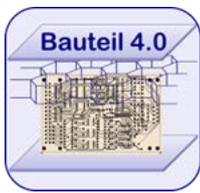
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

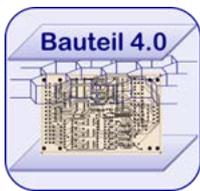
LITERATURVERZEICHNIS

- [1] A. Weder, S. Geller, A. Heinig, T. Tyczynski, W. Hufenbach, W.-J. Fischer: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812042117> (abgerufen am 15.02.2022)
- [2] Bundesverband der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie; BDLI-Konzept "Imagine Innovations Flying Tomorrow" <https://www.youtube.com/watch?v=WNpVHj8WiM8> (abgerufen am 15.02.2022)
- [3] Elektronik Praxis, Dr. Anna-Lena Gutberlet; LOPEC 2019: gedruckte Elektronik hebt ab. <https://www.elektronikpraxis.vogel.de/lopec-2019-gedruckte-elektronik-hebt-ab-a-800843/> (abgerufen am 15.02.2022)
- [a] Campbell, F.C.: Manufacturing technology for aerospace structural materials, 1st edn. Aero-space engineering materials science. Elsevier, Amsterdam (2006)
- [b] Gibson, L.J., Ashby, M.F.: Cellular solids. Structure and properties, 2nd edn. Cambridge solid state science series. Cambridge Univ. Press, Cambridge (2001)
- [c] Barnett, D.M., Rawal, S., Rummel, K.: Multifunctional Structures for Advanced Spacecraft. Journal of Spacecraft and Rockets (2001). <https://doi.org/10.2514/2.3674>
- [d] Seemann, R.: A Virtual Testing Approach for Honeycomb Sandwich Panel Joints in Aircraft Interior, 1st edn. Springer eBooks, vol. 16. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg (2020)
- [e] ASTM D7249/D7249M-20: Standard Test Method for Facesheet Properties of Sandwich Constructions by Long Beam Flexure, ASTM International (2020)
- [4] Leichtbauwerkstoff CORMASTER C 1, Technisches Datenblatt der Fa. Schütz GmbH & Co. KGaA: <https://www.schuetz-composites.net/downloads/datenblaetter/datenblatt-schuetz-cormaster-c1/datasheet-schuetz-cormaster-c1-de.pdf?cid=79a> (abgerufen am 15.02.2022)
- [5] Deutsches Patent- und Markenamt DPMA; DEPATISnet Patentrecherche: <https://www.dpma.de/recherche/depatisnet/index.html> (abgerufen am 15.02.2022)
- [6] Europäisches Patentamt EPO; Espacenet Patentrecherche: https://www.epo.org/searching-for-patents/technical/espacenet_de.html (abgerufen am 15.02.2022)
- [7] Artikel des Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) zur Schlüsseltechnologie Leichtbau: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/leichtbau.html> (abgerufen am 15.02.2022)
- [8] Leichtbauatlas des Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK): <https://leichtbauatlas.de> (abgerufen am 15.02.2022)
- [9] Zuwendungsbescheid des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) vom 17.06.2019, Technische Universität Hamburg, LuFo V-3, Bauteil40, FKZ: 20X1727A, Verwertungsplan, Seite 4.



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Zeitplanung im Projekt und Abfolge der Haupt- und Teilarbeitspakete..... | 8 |
| Abbildung 2: Projektstrukturplan des Vorhabens Bauteil40. Das TUHH-Institut für Flugzeug-Kabinensysteme übernahm in AP 0 die Gesamtkoordination und leitete die Hauptarbeitspakete HAP 1 bis HAP 3 an. | 9 |
| Abbildung 3: Darstellung aus dem Video ^[1] „Imagine Innovations Flying Tomorrow“ des BDLI zu so genannten aktiven Oberflächen. | 10 |
| Abbildung 4: Bericht aus der Elektronik Praxis ^[1] zum internationalen Kongress LOPEC 2019 für gedruckte Elektronik: Gedruckte Elektronik hebt ab! | 10 |
| Abbildung 5: Leichtbauteil aus der Produktion, bei welchem in einem später freizustellenden mittigen Bereich ein RFID-Transponder integriert wurde. | 16 |
| Abbildung 6: Darstellung der in einem Versuchsaufbau V0 zu integrierenden Elektronik. Links a) Reihenschaltung von Widerständen, sog. Daisy Chain und rechts b) RFID-Transponder mit einem auf Kupferantenne aufgelöteten RFID-Chip, vgl. auch vergrößerter Bildausschnitt. | 16 |
| Abbildung 7: a) ATA SPEC 2000 als Grundlage zur Erhebung der Bauteilanforderungen bei der Integration von RFID-Transpondern und b) Auszug aus den Anforderungslisten für funktionsintegrierte Leichtbauteile. | 17 |
| Abbildung 8: a) CAD-Zeichnung für ein Aufbaukonzept zur Integration eines RFID-Transponders zwischen Wabenkern und Decklage und b) Foto eines entsprechend gelegten Aufbaus vor Aufbringung der oberen Decklage..... | 17 |
| Abbildung 9: Entworfen Testprozeduren zur Durchführung von a) Druckbelastungstests und b) Vier-Punkt-Biege- und Ermüdungstests..... | 18 |
| Abbildung 10: Ausschnitt aus der Norm ASTM D7249 ^[e] zur Durchführung von Biege- und Ermüdungsversuchen. | 18 |
| Abbildung 11: Von links nach rechts: Zeichnung der Rahmenkonstruktion zur Herstellung von jeweils drei Testcoupons in einem Pressenzyklus, 3D-Rendering des Rahmens mit drei Testaufbauten und Foto des verwendeten Rahmens mit den Testaufbauten vor Auflage der Deckschicht und vor dem Verpressen. | 20 |
| Abbildung 12: Hier sind die zusätzlich durchgeführten Arbeiten zur Modellierung und Simulation der an der TUHH hergestellten Testcoupons gezeigt, welche dann, bei guter Übereinstimmung von Modell und Realität zur Vorhersage des Verhaltens anderer, komplexerer Entwürfe genutzt werden können. | 20 |
| Abbildung 13: Eine Auswahl der von der TUHH hergestellten ersten Testcoupons, welche die von der TU Dresden beigestellten Elektronikkomponenten integriert haben. Diese so hergestellten Proben wurden zur Charakterisierung und zum Test an die TU Dresden und an die IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH geliefert..... | 21 |
| Abbildung 14: Beispielhafte Darstellung der bei der IMA mit den Testcoupons erhaltenen Ergebnis. a) zeigt einen von der IMA durchgeführten Vier-Punkt-Biegeversuch und b) den experimentell und mittels Simulation ermittelten Kraftverlauf bis zum Versagen des Testcoupons mit sehr guter Übereinstimmung. | 22 |
| Abbildung 15: Prüfstand bei der Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH in Dresden. | 22 |



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Abbildung 16: Von der TU Dresden entworfene und hergestellte Proben zur Integration komplexerer Elektronik in Sandwichpaneele 24

Abbildung 17: a) von der TU Dresden in Sandwichpaneele eingebetteter Minicomputer und b) Sandwichpaneel mit eingebettetem Minicomputer im Teststand im Vier-Punkt-Biegeversuch..... 24

Abbildung 18: Anhand des Leichtbauatlas ^[8] des BMWK erstellte Grafik, welche die im Projekt verstärkte Forschungsachse zwischen Hamburg (Leichtbau & Kabine) und Dresden (Leichtbau, Elektroniktechnologie & Test) verdeutlicht. 29



Bauteil 4.0 – Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine als Voraussetzung für Industrie 4.0 und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Tabellarische Gegenüberstellung von Zielen und Ergebnissen im Teilvorhaben 27