

Hausadresse
IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH
Wilhelmine-Reichard-Ring 4 | 01109 Dresden | Germany
Postanschrift PF 80 01 44 | 01101 Dresden | Germany
Telefon +49(0)351 8837-0
Telefax +49(0)351 8837-530
E-Mail ima@ima-dresden.de
Internet www.ima-dresden.de

Geschäftsführer
Prof. Dr.-Ing. Thomas Fleischer (Sprecher),
Dr.-Ing. Ron Buchholz, Dr.-Ing. Toni Ehrig, Marcos Martija Ortiz

Sitz der Gesellschaft Dresden
Registergericht Amtsgericht Dresden | HRB 5995
USt.-IdNr. DE 155293995



Abschlussbericht

„Bauteil 4.0“

**„Funktionsintegrierte Sandwichbauteile für die Flugzeugkabine
als Voraussetzung für Industrie 4.0
und innovative Betriebs- und MRO-Prozesse (Bauteil 4.0)
Teilvorhaben: Kabinensystemintegration“**

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6

Auftrags-Nr.: 194109001

Herausgegeben von der Abteilung Aerospace

Labor für Statische und Dynamische Bauteilprüfung

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6



Prüfort(e): IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH
Wilhelmine-Reichard-Ring 4
D-01109 Dresden
Germany

Prüfgegenstand: Sandwichpanele mit integrierter Elektronik

Förderer: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Förderkennzeichen: 20X1727D

Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2019 – 30.11.2021

Berichtszeitraum: 01.06.2019 – 30.11.2021

Bearbeiter: Dr.-Ing. Dietmar Melzer

Verteiler: 1x IMA Dresden, Projektakte
1x PT Luftfahrt

genehmigt
Dresden, 11.03.2022
IMA Materialforschung und
Anwendungstechnik GmbH

gez. Nebel

Dr.-Ing. S. Nebel
Abteilungsleiter Aerospace

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand.
Gerundete Mess- oder Rechenergebnisse basieren auf der Regel nach ISO 80000-1 Anhang B Regel B.
Die auszugsweise Veröffentlichung des Prüfberichts und der Hinweis auf Prüfungen zu Werbezwecken bedürfen in jedem Einzelfall der schriftlichen Einwilligung der IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH.
Die in diesem Prüfbericht enthaltenen Ergebnisse dürfen nur mit Bezugnahme auf die IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH veröffentlicht oder anderweitig weitergegeben werden.

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6



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

Partner des Verbundes: IMA Materialforschung und Anwendungstechnik
GmbH Dresden

Technische Universität Dresden
Zentrum für mikrotechnische Produktion (ZMP)

Berichtsverlauf

Datum	Berichtsnummer	Berichtszeitraum	Autor:
09.08.2019	J016/19.1	01.06.2019 – 30.06.2019	Dr.-Ing. Dietmar Melzer
30.01.2020	J016/19.2	01.07.2019 – 31.12.2019	Dr.-Ing. Dietmar Melzer
30.06.2020	J016/19.3	01.01.2020 – 30.06.2020	Dr.-Ing. Dietmar Melzer
09.07.2020	J016/19.3A (ersetzt J016/19.3)	01.01.2020 – 30.06.2020	Dr.-Ing. Dietmar Melzer
03.02.2021	J016/19.4	01.07.2020 – 31.12.2020	Dr.-Ing. Dietmar Melzer
02.07.2021	J016/19.5	01.01.2021 – 30.06.2021	Dr.-Ing. Dietmar Melzer
11.03.2022	J016/19.6	01.06.2019 – 30.11.2021 (Gesamtzeitraum)	Dr.-Ing. Dietmar Melzer

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)] Melzer, Dietmar	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.11.2021	
	6. Veröffentlichungsdatum März 2022	
	7. Form der Publikation Broschüre	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Wilhelmine-Reichard-Ring 4 D-01109 Dresden Germany	9. Ber. Nr. durchführende Institution	
	10. Förderkennzeichen 20X1727D	
	11. Seitenzahl 45	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie D-11019 Berlin	13. Literaturangaben 1	
	14. Tabellen 0	
	15. Abbildungen 47	
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, 4-Punkt-Biegeversuche, Druckversuch		
20. Verlag	21. Preis	

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)) Melzer, Dietmar	5. End of project 30.11.2021	
	6. Publication date March 2022	
	7. Form of publication Brochure	
8. Performing organization(s) (name, address) IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Wilhelmine-Reichard-Ring 4 D-01109 Dresden Germany	9. Originator's report no.	
	10. Reference no. 20X1727D	
	11. No. of pages 45	
12. Sponsoring agency (name, address) Federal Ministry for Economic Affairs and Energy D-11019 Berlin	13. No. of references 1	
	14. No. of tables 10	
	15. No. of figures 47	
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, 4-point-bending tests, compression tests		
20. Publisher	21. Price	

Inhaltsverzeichnis

0	Übersicht.....	7
1	Kurze Darstellung.....	12
1.1	Aufgabenstellung	12
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	12
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	12
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand	12
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	12
2	Eingehende Darstellung	13
2.1	Erzielte Ergebnisse	13
2.1.1	HAP1 – Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum und Konzeptextraktion	13
2.1.2	HAP1 – Vorgehensweise und Ergebnisse.....	13
2.1.3	HAP2 – Teil 1 – Technologische Vorversuche, Anfertigung der Testcoupons und Demonstratorenentwurf.....	15
2.1.4	HAP2 – Teil 1 – Vorgehensweise und Ergebnisse	16
2.1.5	HAP2 – Teil 2 – Technologische Vorversuche, Anfertigung der Testcoupons und Demonstratorenentwurf.....	23
2.1.6	HAP2 – Teil 2 – Vorgehensweise und Ergebnisse	24
2.1.7	HAP2 – Teil 3 –Anfertigung der Testcoupons und Demonstratorenentwurf.....	33
2.1.8	HAP2 – Teil 3 – Vorgehensweise und Ergebnisse	34
2.1.9	HAP3 – Teil 1 – Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten, Vorgehensweise und Ergebnisse.....	37
2.1.10	HAP3 – Teil 2 – Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten, Vorgehensweise und Ergebnisse.....	40
2.1.11	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	43
2.2	Verwertbarkeit des Ergebnisses.....	44
2.3	Veröffentlichung der Ergebnisse	45
3	Forschungsergebnisse Dritter	45
4	Ziele des Vorhabens	45
5	Verwertungsplan	45

0 Übersicht

Dieser Abschlussbericht beschreibt den Arbeitsinhalt im Forschungsvorhaben Bauteil 4.0 für den genannten Berichtszeitraum, d.h. den kompletten Projektzeitraum. Um die Ziele des Vorhabens zu erreichen, wurden die Arbeiten wie geplant gestartet bzw. realisiert und abgeschlossen.

Im gesamten Projektzeitraum fanden div. Arbeitstreffen, sowie regelmäßige Web- und Telefonkonferenzen zwischen den beteiligten Partnern statt. Größere Arbeitstreffen waren dabei:

- Arbeitstreffen 1: 22.05.2019 TU Dresden
- Arbeitstreffen 2: 04.09.2019 TU Hamburg
- Arbeitstreffen 3: 13.11.2019 IMA Dresden
- Arbeitstreffen 4: 10.12.2019 IMA Dresden
- Arbeitstreffen 5: 01.07.2020 Web-Konferenz
- Arbeitstreffen 6: 19.08.2021 Web-Konferenz
- Abschlusstreffen: 16.11.2021 TU Dresden

Während der Projektlaufzeit wurden mehrere Zwischenberichte erstellt, die im Folgenden teilweise genannt werden und sich auf die Arbeitspakete beziehen, bei denen die IMA Dresden maßgeblich involviert war. Die Arbeitspakete wurden im Vorfeld definiert, siehe Bild 0.1 und Bild 0.2.

Projektstrukturplan zum Vorhaben Bauteil40			
AP 0 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA	HAP 1 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA	HAP 2 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA	HAP 3 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA
Projektmanagement und Dissemination	Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum, Konzeptextraktion	Technologische Vorversuche, Anfertigung von Testcoupons, Demonstratorentwurf	Demonstratoraufbau, Test des Demonstrators
AP 0.1 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA	AP 1.1 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA	AP 2.1 Partner: InnoMat , TU DD, <u>IMA</u>	AP 3.1 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA
Projektmanagement	Definition der technischen Anforderungen für Bauteil40-Lösungen	Entwurf und Entwicklung der integrationsgerechten Leichtbaustrukturen	Zusammenführen der Ergebnisse aus HAP 2
AP 0.2 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA	AP 1.2 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA	AP 2.2 Partner: <u>TU DD</u> , TU HH, <u>IMA</u> , InnoMat	AP 3.2 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, <u>IMA</u>
Dissemination	Erarbeitung der Spezifikationen für die Demonstratoren für Bauteil40	Entwurf, Entwicklung und Integration der Elektronik	Aufbau der Demonstratoren
	AP 1.3 Partner: <u>TU HH</u> , InnoMat , TU DD, IMA	AP 2.3 Partner: <u>TU DD</u> , TU HH, <u>IMA</u> , InnoMat	AP 3.3 Partner: <u>IMA</u> , TU DD
	Erarbeitung der Lösungskonzepte für die Demonstratoren für Bauteil40	Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik	Funktionstests der Demonstratoren
	AP 1.4 Partner: <u>IMA</u> , TU HH, InnoMat , TU DD	AP 2.4 Partner: InnoMat , <u>IMA</u>	
	Analyse der notwendigen Testprozeduren	Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupons	
	AP 1.5 Partner: <u>IMA</u> , TU HH, InnoMat , TU DD	AP 2.5 Partner: <u>IMA</u> , InnoMat	
	Erarbeitung des Prüfkonzepts für die Leichtbaustrukturen, die integrierte Elektronik und die Demonstratoren	Evaluierung der Testcoupons	

Bild 0.2: Projektstrukturplan des Vorhabens

1. und 2. Zwischenbericht für HAP 1

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag für den Berichtszeitraum des 1. und 2. Zwischenberichtes im Bereich des Hauptarbeitspaketes 1 (HAP 1), d.h. Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum und Konzeptextraktion. Diese verteilen sich auf die fünf Arbeitspakete:

- AP 1.1 – Definition der technischen Anforderungen für Bauteil 4.0-Lösungen
- AP 1.2 – Erarbeitung der Spezifikationen für die Demonstratoren für Bauteil 4.0
- AP 1.3 – Erarbeitung der Lösungskonzepte für die Demonstratoren für Bauteil 4.0
- AP 1.4 – Analyse der notwendigen Testprozeduren
- AP 1.5 – Prüfkonzept für die Leichtbaustrukturen, die integrierte Elektronik und die Demonstratoren

Infolge intensiver Diskussion ergaben sich durch iteratives und agiles Vorgehen eine Nutzung der Synergieeffekte aus HAP 1 und HAP 2. Dadurch wurden Teile aus dem HAP 2 vorgezogen, d.h. Entwurf, Herstellung und Aufbau eines Prüfstandes.

3. Zwischenbericht für HAP 2 – Teil 1

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag für den Berichtszeitraum des 3. Zwischenberichtes im Bereich des Hauptarbeitspaketes 2 (HAP 2) – Teil 1, d.h. Technologische Vorversuche, Anfertigung der Testcoupons und Demonstratorenentwurf. Diese verteilen sich auf die fünf Arbeitspakete:

- AP 2.1 – Entwurf und Entwicklung der integrationsgerechten Leichtbaustrukturen
- AP 2.2 – Entwurf, Entwicklung und Integration Elektronik
- AP 2.3 – Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik
- AP 2.4 – Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupons
- AP 2.5 – Evaluierung der Testcoupons

Infolge der Diskussion während HAP 1 ergaben sich Synergieeffekte aus HAP 1 und HAP 2. Dadurch wurden Teile aus dem HAP 2 vorgezogen, d.h. Entwurf, Herstellung und Aufbau eines Prüfstandes. Dadurch konnten im aktuellen Berichtszeitraum die Vorversuche zügig umgesetzt werden.

Anmerkung: Bedingt durch die Einschränkung infolge der CORONA-Pandemie waren im Zeitraum von März bis Mai 2020 (Monat 10 bis 12 im Projektzeitraum) nur sehr eingeschränkte Arbeiten möglich bzw. es konnte keine Labortätigkeiten durchgeführt werden.

4. Zwischenbericht HAP 2 – Teil 2

Der Schwerpunkt der Arbeiten lag für den Berichtszeitraum des 4. Zwischenberichtes im Bereich des Hauptarbeitspaketes 2 (HAP 2) – Teil 2, d.h. Technologische Vorversuche, Anfertigung der Testcoupons und Demonstratorenentwurf. Diese verteilen sich auf die fünf Arbeitspakete:

- AP 2.1 – Entwurf und Entwicklung der integrationsgerechten Leichtbaustrukturen
- AP 2.2 – Entwurf, Entwicklung und Integration Elektronik
- AP 2.3 – Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik
- AP 2.4 – Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupons
- AP 2.5 – Evaluierung der Testcoupons

Die Arbeiten, die im Berichtszeitraum für den 3. Zwischenbericht begannen, wurden weitergeführt.

Anmerkung: Bedingt durch die Einschränkung infolge der CORONA-Pandemie waren im Zeitraum von November bis Dezember 2020 (Monat 18 bis 19 im Projektzeitraum) nur sehr eingeschränkte Arbeiten möglich.

5. Zwischenbericht HAP 2 – Teil 3 und HAP 3 – Teil 1

Ein Schwerpunkt der Arbeiten lag für den Berichtszeitraum des 5. Zwischenberichtes im Bereich des Hauptarbeitspaketes 2 (HAP 2) – Teil 2, d.h. Technologische Vorversuche, Anfertigung der Testcoupons und Demonstratorenentwurf. Diese verteilten sich hauptsächlich auf drei der fünf Arbeitspakete:

- *AP 2.1 – Entwurf und Entwicklung der integrationsgerechten Leichtbaustrukturen*
- *AP 2.2 – Entwurf, Entwicklung und Integration Elektronik*
- AP 2.3 – Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik
- AP 2.4 – Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupons
- AP 2.5 – Evaluierung der Testcoupons

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten lag für den Berichtszeitraum des 5. Zwischenberichtes im Bereich des Hauptarbeitspaketes 3 (HAP 3) – Teil 1, d.h. Versuchsaufbauten und Test der Aufbauten. Diese verteilten sich hauptsächlich auf zwei der drei Arbeitspakete:

- AP 3.1 – Zusammenführen der Ergebnisse aus HAP 2
- AP 3.2 – Erstellung der Versuchsaufbauten
- *AP 3.3 – Funktionstests bei den Versuchsaufbauten*

Die Arbeiten, die im Berichtszeitraum für den 4. Zwischenbericht begannen, wurden weitergeführt.

Anmerkung: Bedingt durch die Einschränkung infolge der CORONA-Pandemie waren im Zeitraum von Januar bis April 2021 (Monat 20 bis 23 im Projektzeitraum) teilweise eingeschränkte Arbeiten möglich.

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Gesamtvorhabens war die Entwicklung und der Test von funktionsintegrierten Sandwichbauteilen für Flugzeugkabinen.

Inhalt des Teilvorhabens der IMA war es, eine spezifische Prüfmethode für die neu entwickelten integrierten Sandwichbauteile zu entwickeln und ihr Beanspruchungsverhalten unter mechanischer Beanspruchung zu untersuchen. Das erfolgte zuerst an vereinfachten Modellproben und dann an den realen Bauteil40-Technologiedemonstratoren. Die Belastungen sollten den realen Betriebsbeanspruchung nahekommen.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde unter den Voraussetzungen einer Zusammenarbeit mit Projektpartnern durchgeführt.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde entsprechend des Antrages im geplanten Zeitrahmen bearbeitet und abgeschlossen. Die jeweils definierten Arbeitspakete (Bild 0.1 und Bild 0.2) wurden umfangreich bearbeitet.

Corona-bedingte Anpassungen der Arbeiten waren notwendig, hatten aber keine signifikanten Auswirkungen auf das Gesamtvorhaben.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Es wurden keine Erfindungen gemacht, keine Schutzrechte erteilt und keine Schutzrechtsanmeldungen vorgenommen.

Das Vorhaben baute auf bekannte Versuchsprinzipien, wie z.B. Vier-Punkt-Biegung auf. Dieses Prinzip wurde für das Vorhaben entsprechend adaptiert.

Zur Umsetzung des IMA-Teilvorhabens kamen allgemein gültige Fachliteratur und Handbücher der Ingenieurwissenschaften zum Einsatz, z.B. „DUBBEL – Taschenbuch für den Maschinenbau“.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Außer mit den Projektpartnern und der Unterstützung durch die Fa. 3D ICOM GmbH & Co. KG kam es zu keiner weiteren Zusammenarbeit.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse bauten Schritt für Schritt auf der Bearbeitung der vordefinierten Arbeitspakete auf. Diese werden im Folgenden genannt.

2.1.1 HAP1 – Anforderungsanalyse, Definition Lösungsraum und Konzeptextraktion

Für den Beginn der Untersuchungen, wurde im ersten Arbeitstreffen ein typischer Tray Table als Versuchsträger definiert.

Im zweiten Arbeitstreffen wurde der Versuchsumfang detaillierter definiert und spezifiziert. Die Diskussionen ergaben, dass ein Tray Table als Versuchsobjekt zu diesem Zeitpunkt des Vorhabens noch nicht geeignet war, um die Anforderungen des Projektes zu erfüllen.

Es wurde einvernehmlich entschieden, die Versuche mit sogenannten Testcoupons (inkl. integrierter Elektronik) zu beginnen.

Der Testcoupon wurde als flugzeugtypisches Panel, bestehend aus zwei Decklagen mit einer innenliegenden Wabenstruktur festgelegt. Solche Panels finden ihren Einsatz im Bereich des Fußbodens, aber hauptsächlich im Bereich der Trennwände bzw. im Lavatory-Bereich (z.B. als Tür).

Der Vorteil eines Testcoupons besteht aus seiner Einfachheit. Damit wird ein grundlegendes Verständnis für das Verhalten einer Kombination „Flugzeugstruktur – Elektronik“ erreicht. Diese Untersuchungen bzw. Ergebnisse können danach auf das Verhalten komplexerer Strukturen übertragen werden.

2.1.2 HAP1 – Vorgehensweise und Ergebnisse

Die fünf Einzelarbeitspakete dieses HAP ließen sich nur sehr bedingt trennen und wurden daher im HAP1 als Gesamtanforderungen bearbeitet, um effektive Lösungen zu erreichen. Dieser Ansatz erwies sich als günstig, da die Einzelarbeitspakete sehr eng miteinander verknüpft sind.

- AP 1.1 – Definition der technischen Anforderungen für Bauteil 4.0-Lösungen
- AP 1.2 – Erarbeitung der Spezifikationen für die Demonstratoren für Bauteil 4.0
- AP 1.3 – Erarbeitung der Lösungskonzepte für die Demonstratoren für Bauteil 4.0
- AP 1.4 – Analyse der notwendigen Testprozeduren
- AP 1.5 – Prüfkonzept für die Leichtbaustrukturen, die integrierte Elektronik und die Demonstratoren

Folgende Definitionen ergaben sich als Ausgangsbedingungen für die technischen Lösungen:

- Testcoupon: Größe ca. A4 (290 mm x 210 mm)
- Integrierte Elektronik: RFID-Chip unter der Decklage
- Standardversuche (siehe Bild 1.1)
 - 4-Punkt-Biegung
 - Druckversuch
 - Kalotte mit großem Radius $R = 37,5$ mm (vergleichbar mit Handballen eines Menschen)
 - Kalotte mit kleinem Radius $R = 5$ mm (vergleichbar mit Kofferecke o.ä. spitzen Gegenstand)
- Definition der Ausgangslasten: 500 – 1.000 N (entspricht ca. 50 – 100 kg)

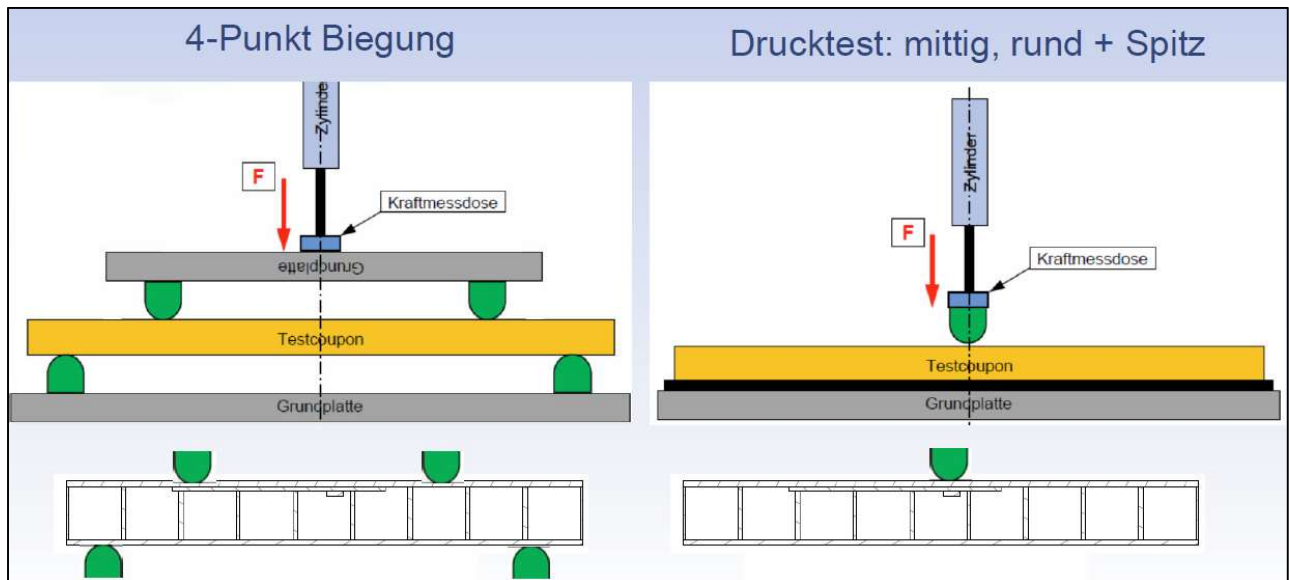


Bild 1.1: Versuchskonzepte

Basierend auf den Ausgangsbedingungen wurde ein Prüfstand (inkl. Mess- und Regelungsequipment) bereitgestellt, siehe Bild 1.2 bis Bild 1.5. Vorteile des Prüfstandes waren/sind:

- Einfache Verstellung der Höhe
- Einfacher Wechsel der Belastungsequipments (Biegung bzw. Druck)
- Unkomplizierte Adaptierung des Aufbaus an Anforderungen im späteren Projektverlauf

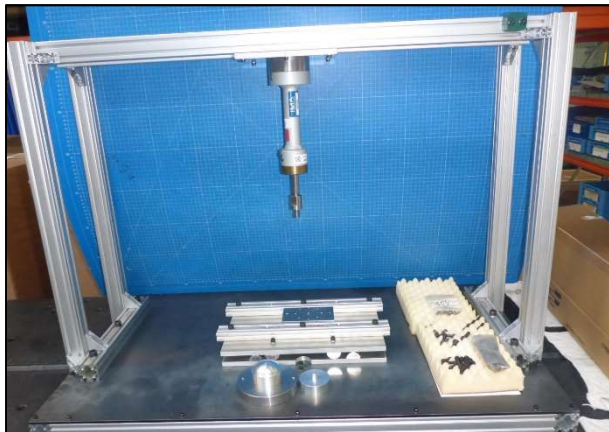


Bild 1.2: Prüfstand (im Aufbau)

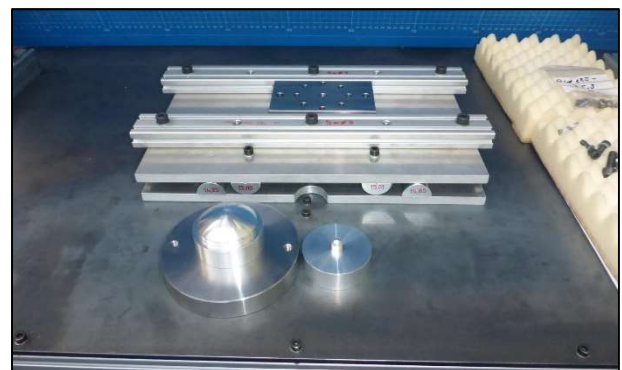


Bild 1.3: Prüfstand, Lastenleitungen (im Aufbau)

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6



Bild 1.4: Prüfstand, (final)



Bild 1.5: Prüfstand, Lasteinleitung Druckversuch mit Kalotte R = 37,5mm (final)

2.1.3 HAP2 – Teil 1 – Technologische Vorversuche, Anfertigung der Testcoupons und Demonstratorenentwurf

Im zweiten Arbeitstreffen (während HAP1) wurde einvernehmlich entschieden, die Versuche mit sogenannten Testcoupons (inkl. integrierter Elektronik) zu beginnen.

Für die Arbeiten war ein sehr vereinfachter Testcoupon verfügbar (siehe Bild 1.6), mit den Dimensionen [mm]: Länge x Breite x Dicke: 330 x 200 x 10

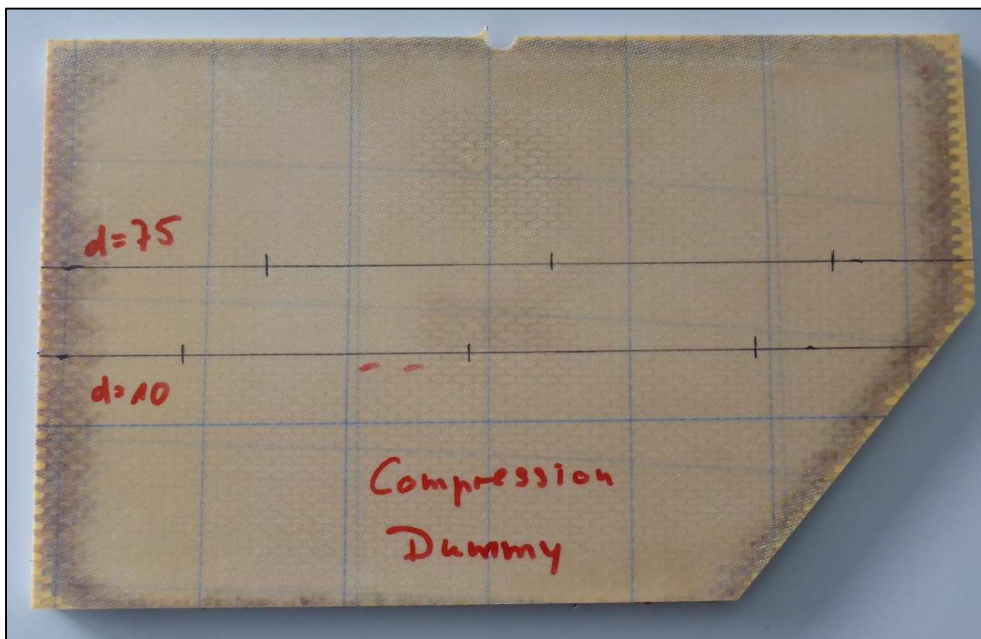


Bild 1.6: Vereinfachter Testcoupon – Dummy Panel

2.1.4 HAP2 – Teil 1 – Vorgehensweise und Ergebnisse

Die fünf Arbeitspakete ließen sich nur sehr bedingt trennen und wurden daher im HAP2 als Gesamtanforderungen bearbeitet, um effektive Lösungen zu erreichen. Der Hauptanteil lag in den grundlegenden Vorarbeiten für das AP2.5, bedingt durch die genannten CORONA-Einschränkungen.

- AP 2.1 – Entwurf und Entwicklung der integrationsgerechten Leichtbaustrukturen
- AP 2.2 – Entwurf, Entwicklung und Integration Elektronik
- AP 2.3 – Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik
- AP 2.4 – Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupons
- AP 2.5 – Evaluierung der Testcoupons

Folgende Arbeiten ergaben sich als Ausgangsbedingungen für die Umsetzung:

- Bereitstellung und Commissioning für zwei Testaufbauten für Druck- und Biegeversuche
- Testreihen

Bereitstellung und Commissioning der Set-ups

Zum Erreichen wurden 2 Set-ups bereitgestellt. Bild 1.7 zeigt den Versuchsaufbau V0 für die Druckversuche mit den Sandwich Panels inkl. Druckkalotte R = 37,5 mm.

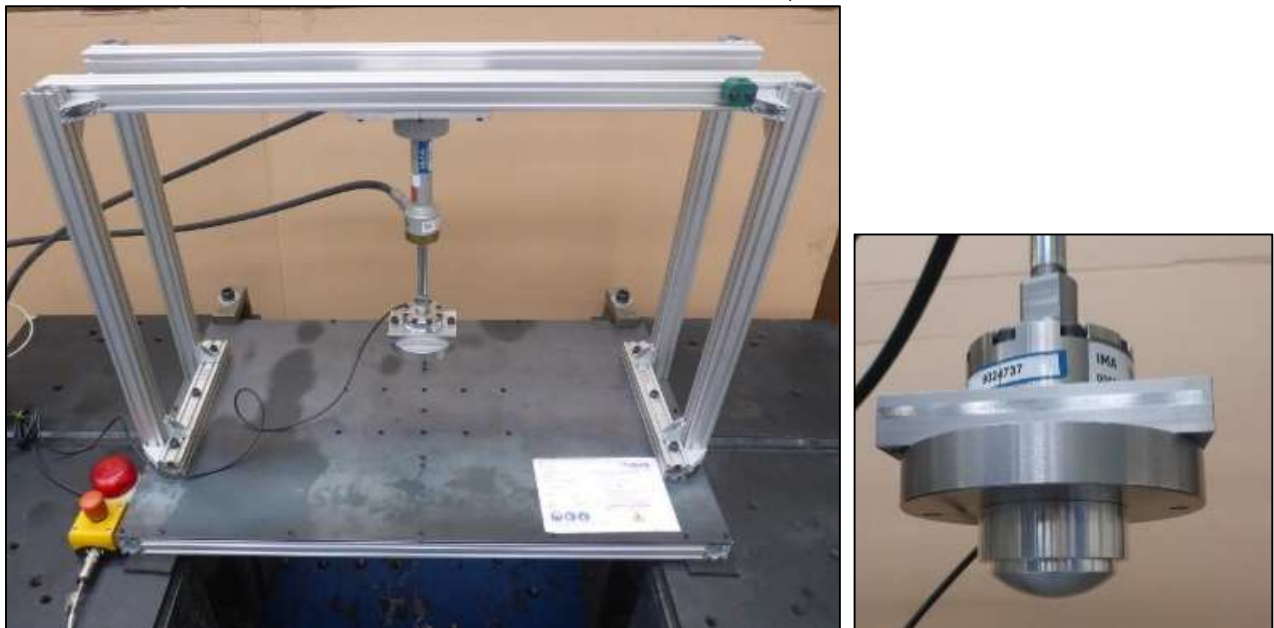


Bild 1.7: Versuchsaufbau V0, Druck

Bild 1.8 zeigt den Versuchsaufbau V0 für die Biegeversuche mit den Sandwich Panels. Für diesen Versuch wurde der Versuchsaufbau mit zwei Wegsensoren, sogenannten LVDTs (Linear Variable Displacement Transducer) ausgerüstet.

Der obere LVDT diente im Wesentlichen zur Wegregelung des Zylinders. Der untere LVDT war über einen Magnethalter an der steifen Grundplatte fixiert und zur Bestimmung der Durchbiegung des Prüfteils vorgesehen. Anhand der Messwerte für Kraft und Durchbiegung konnten in einem späteren Projektstatus die Simulationsergebnisse validiert werden.



Bild 1.8: Versuchsaufbau V0, Biegung

Testreihe - Vorversuche für Druck mit Dummy-Panel

Für die ersten Versuchsreihen wurde das Dummy-Panel verwendet, siehe Bild 1.6. Dieser wurde von einem Projektpartner bereitgestellt.

Für die Druckversuche wurden zwei Druckkalotten gewählt:

- Radius [mm]: 37,5 (zur Nachbildung eines Handballens), siehe Bild 1.9
- Radius [mm]: 5 (zur Nachbildung eines spitzen Gegenstandes, z.B. eines Stöckelschuhs oder der Ecke eine Trolleys) , siehe Bild 1.10

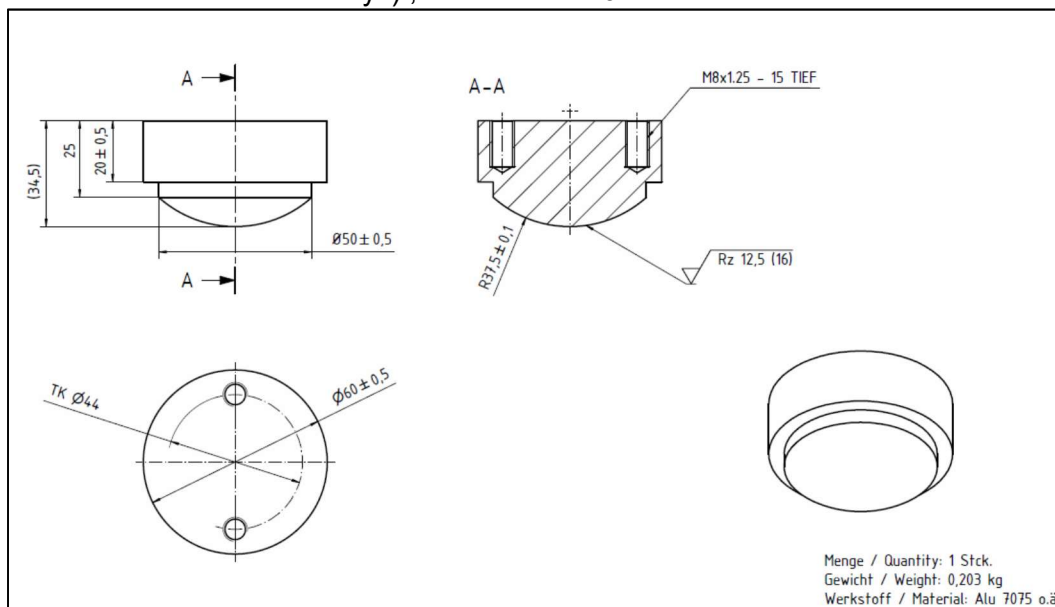


Bild 1.9: Druckkalotte R = 37,5mm

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6

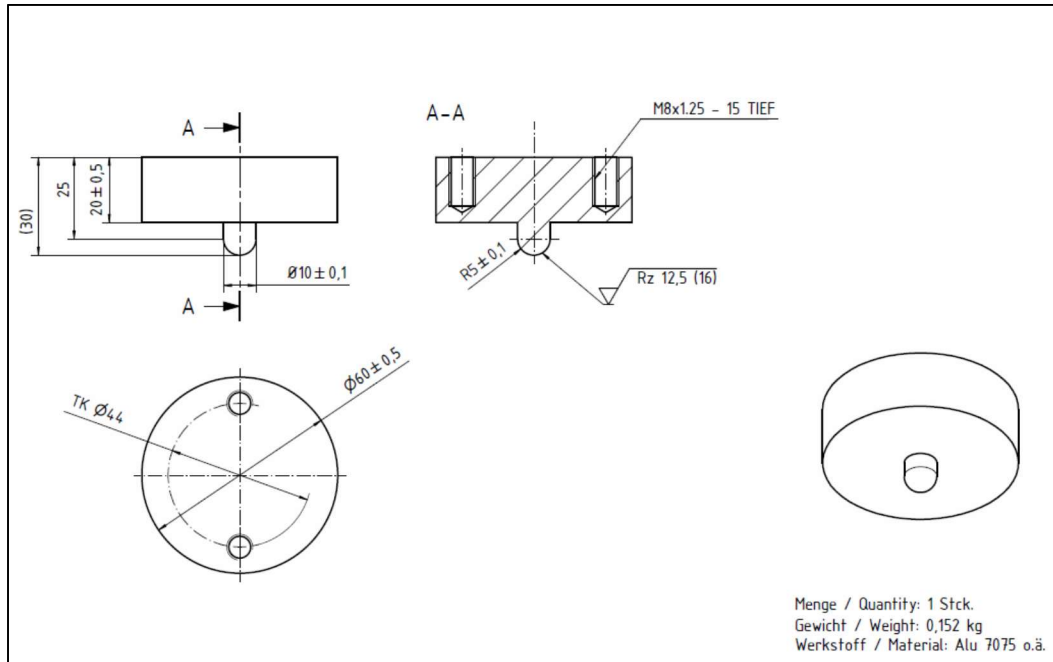


Bild 1.10: Druckkalotte R = 5mm

Druckkalotte Radius [mm]: 37,5

Mit der Druckkalotte Radius [mm]: 37,5 wurde eine Reihe von 3 Tests gemacht:

- Test #1: Druckkraft F [N]: 100, siehe Bild 1.11
- Test #2: Druckkraft F [N]: 250, siehe Bild 1.12
- Test #3: Druckkraft F [N]: 500, siehe Bild 1.13

Erst nach Test #3 war ein leichter Abdruck erkennbar, siehe Bild 1.14.

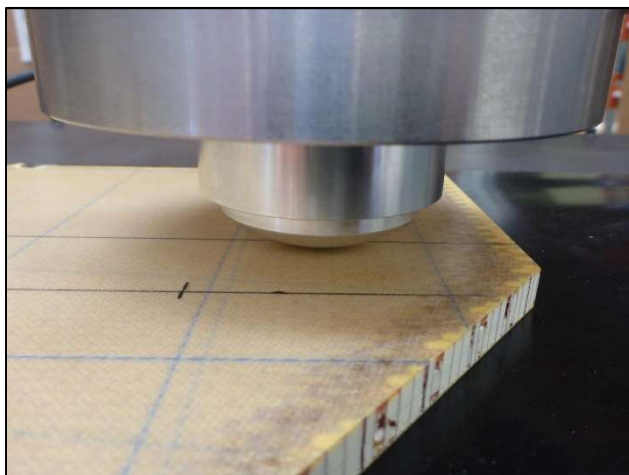


Bild 1.11: Test #1: Druckkraft F [N]: 100

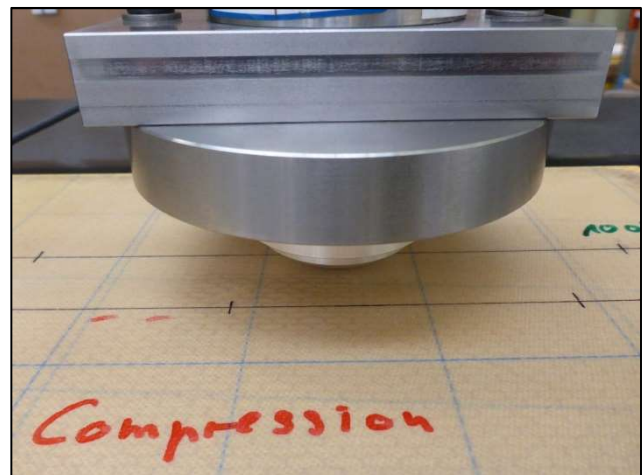


Bild 1.12: Test #2: Druckkraft F [N]: 250

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6

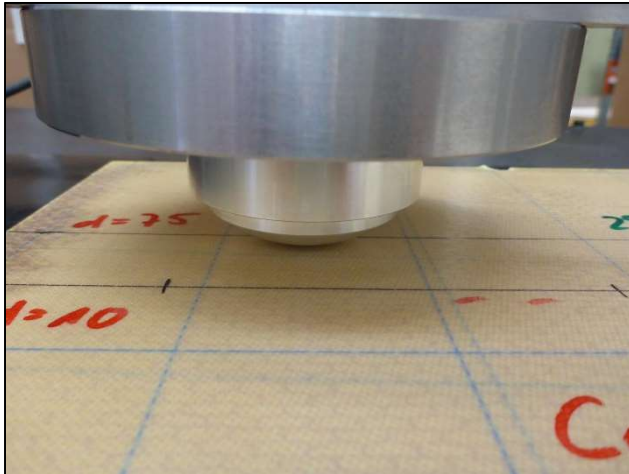


Bild 1.13: Test #3: Druckkraft F [N]: 500



Bild 1.14: Test #3: Abdruck bei Druckkraft F [N]: 500

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6

Druckkalotte Radius [mm]: 5

Auf Grund dieses Ergebnisses, wurden die Testreihe mit der Druckkalotte $R = 5\text{mm}$ gestartet.

- Test #4: Druckkraft F [N]: 200, siehe Bild 1.15
- Test #5: Druckkraft F [N]: 400, siehe Bild 1.16
- Test #6: Druckkraft F [N]: 100, siehe Bild 1.17

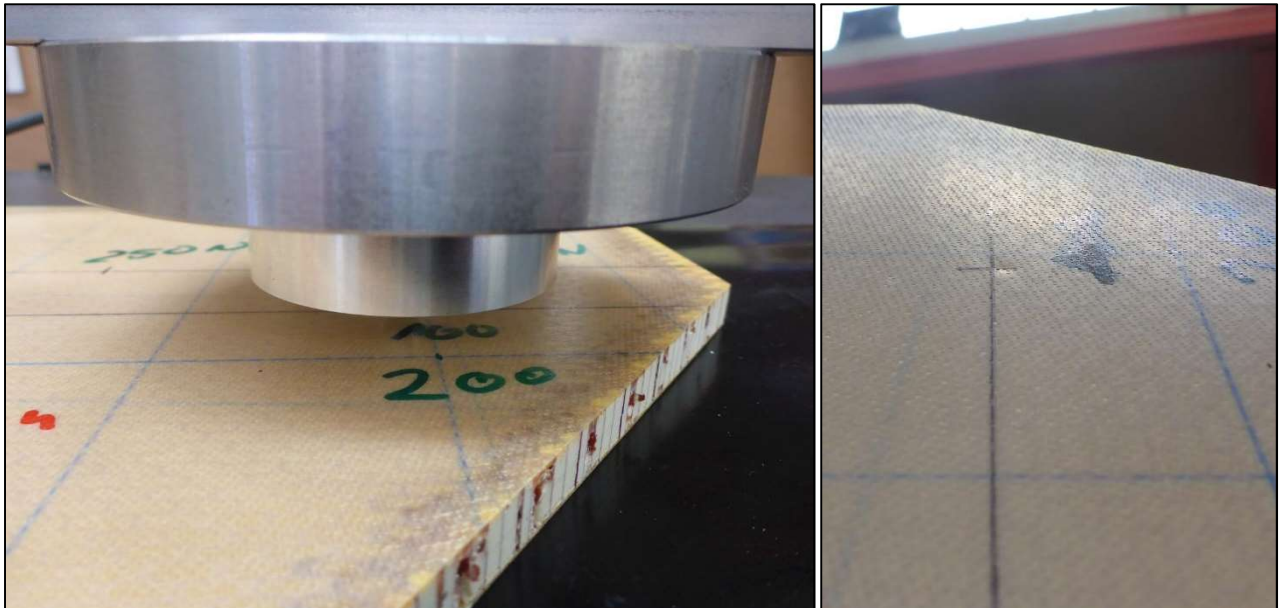


Bild 1.15: Test #4: Druckkraft F [N]: 200, inkl. Abdruck

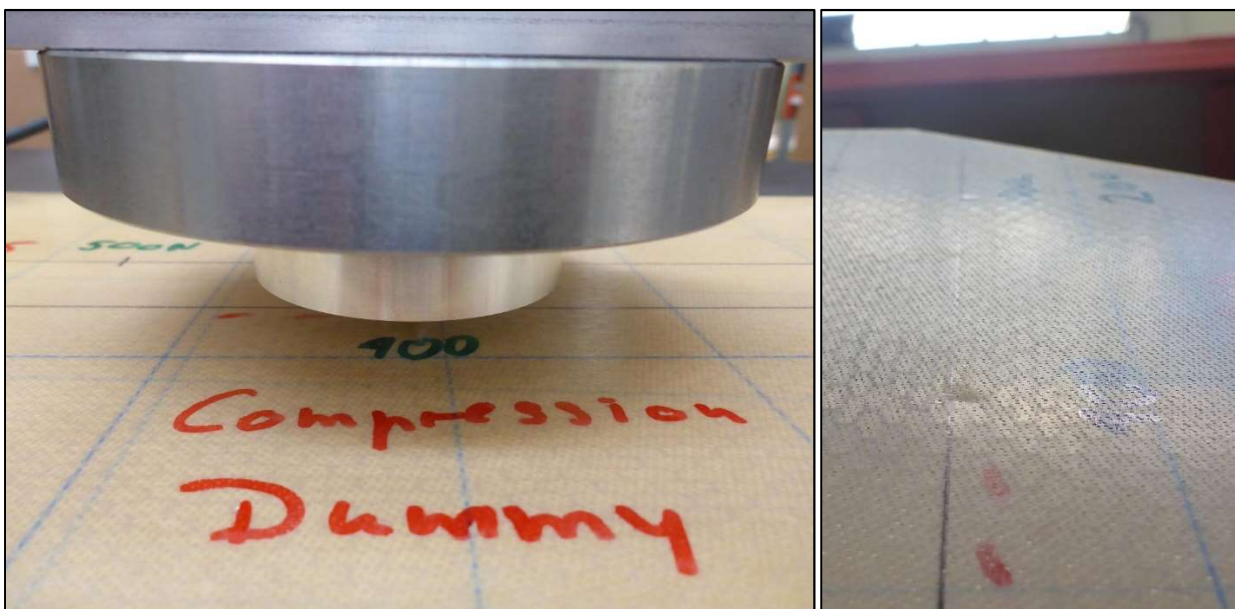


Bild 1.16: Test #5: Druckkraft F [N]: 400, inkl. Abdruck

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6

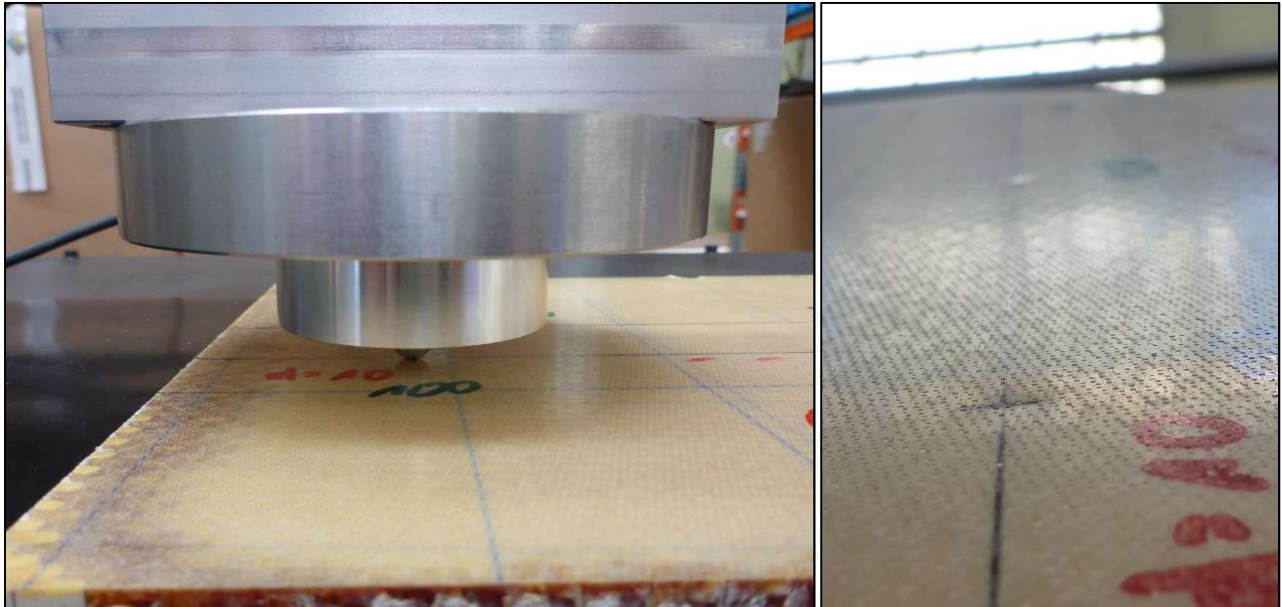


Bild 1.17: Test #6: Druckkraft F [N]: 100, inkl. Abdruck

Bereits die geringste Kraft von 100N führte zu einem sichtbaren Eindruck.

Gegenüberstellung Druckkalotte Radius [mm]: 37,5 und 5

Mit der Druckkalotte $R = 37,5\text{mm}$ sind vergleichsweise hohe Lasten ohne sichtbare Beschädigungen möglich.

Mit der Druckkalotte $R = 5\text{mm}$ sind bereits bei vergleichsweise kleinen Lasten sichtbare Beschädigungen möglich.

Bild 1.18 zeigt das Dummy-Panel nach Beendigung der Versuchsreihen.

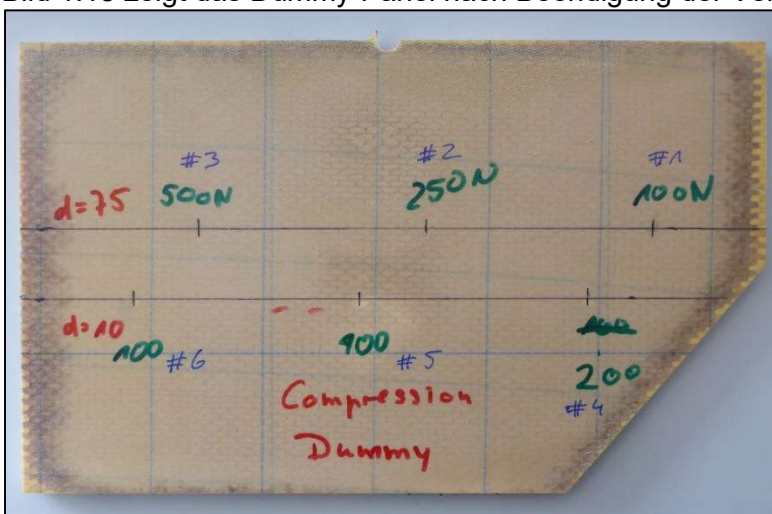


Bild 1.18: Dummy-Panel, nach Realisierung der Testreihen

FE-Modellierung Sandwich Panel

Im Laufe des Forschungsprojektes waren neben den mechanischen Versuchen ebenfalls FE-Simulationsrechnungen vorgesehen.

Im ersten Schritt wurde anhand von Materialdaten ein Modell für ein Sandwichpanel erarbeitet, siehe Bild 1.19.

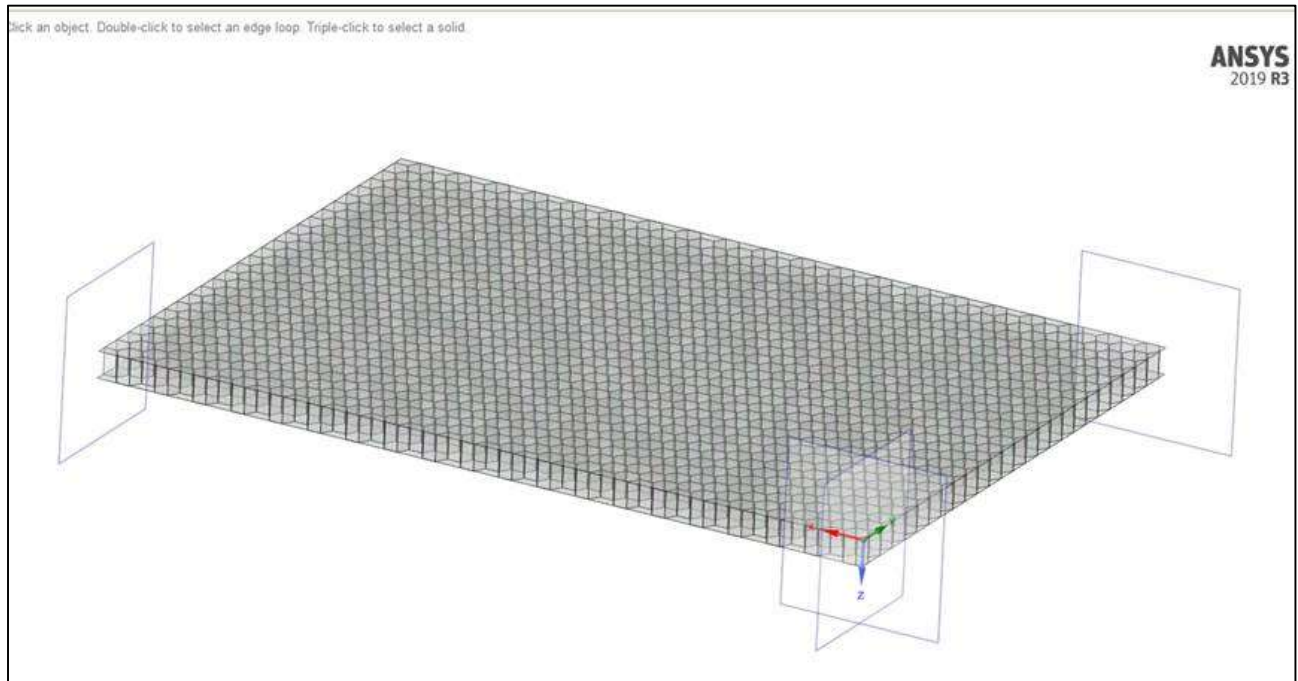


Bild 1.19: FE-Modell eines Sandwich-Panels

2.1.5 HAP2 – Teil 2 – Technologische Vorversuche, Anfertigung der Testcoupons und Demonstrenentwurf

Im Verlauf des Berichtszeitraums wurde zwischen den Projektpartnern einvernehmlich entschieden, die Versuche mit sogenannten Testcoupons (mit und ohne integrierter Elektronik) weiterzuführen.

Für die Arbeiten waren verschiedene Testcoupons verfügbar:

- Testcoupon (dick) mit den Dimensionen [mm]: 352 x 102 x 25 (Beispiel siehe Bild 1.20)
- Testcoupon (dünn) mit den Dimensionen [mm]: 350 x 100 x 11 (Beispiel siehe Bild 1.21)

Die Testcoupons waren jeweils mit und ohne integrierten Elektronikbauteilen (RFID-Chips) ausgestattet.

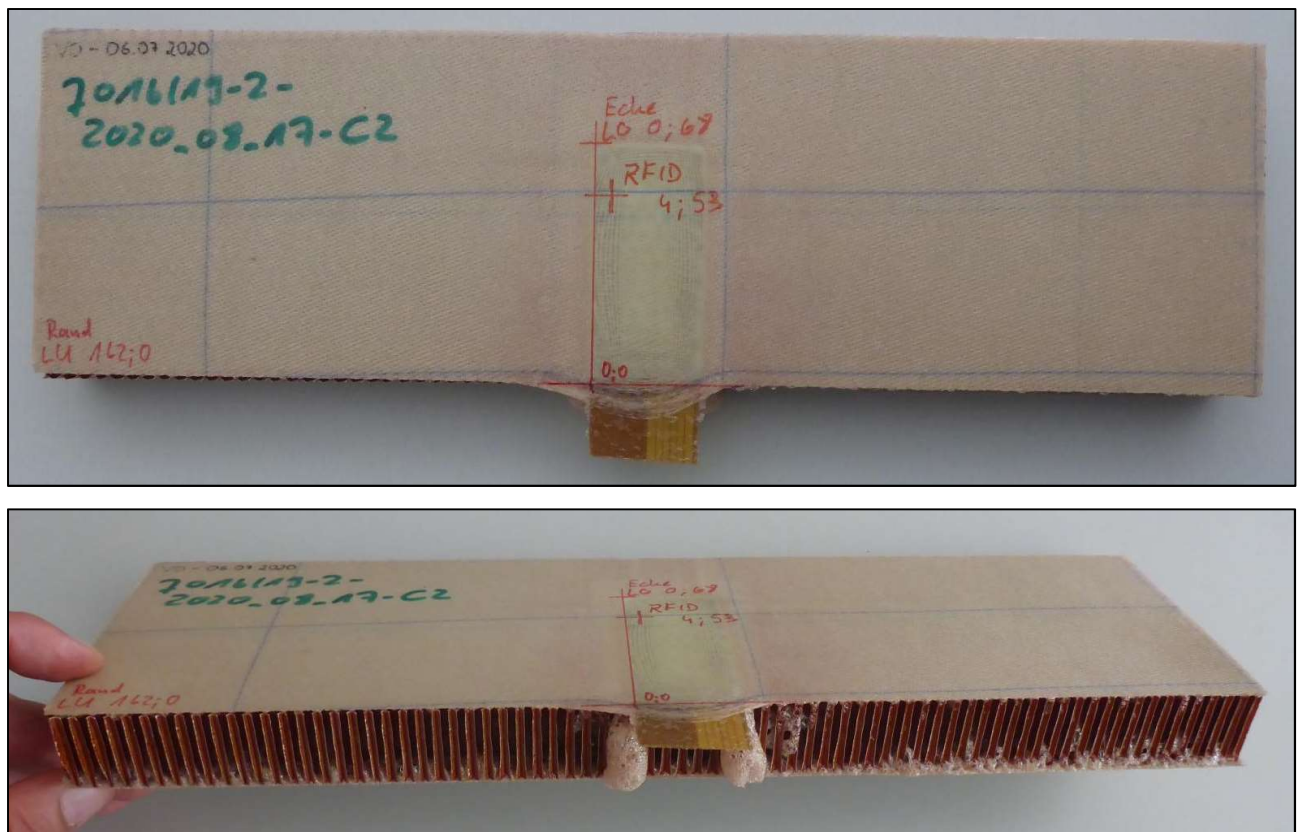


Bild 1.20: Testcoupon (dick)



Bild 1.21: Testcoupon (dünn)

2.1.6 HAP2 – Teil 2 – Vorgehensweise und Ergebnisse

Die fünf Arbeitspakete ließen sich nur sehr bedingt trennen und wurden daher im HAP2 als Gesamtanforderungen bearbeitet, um effektive Lösungen zu erreichen. Der Hauptanteil lag in der Bearbeitung des AP2.5.

- AP 2.1 – Entwurf und Entwicklung der integrationsgerechten Leichtbaustrukturen
- AP 2.2 – Entwurf, Entwicklung und Integration Elektronik
- AP 2.3 – Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik
- AP 2.4 – Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupons
- AP 2.5 – Evaluierung der Testcoupons

Folgende Arbeiten ergaben sich als Ausgangsbedingungen für die Umsetzung:

- Weitere Nutzung bzw. Modifikation der Set-ups für Druck- und Biegeversuche aus dem vorherigen Berichtszeitraum 3
- Durchführung verschiedener Testreihen

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6

Testreihe 1 - Versuche für Biegung mit Testcoupon (dick) ohne integrierte Elektronik

Für diese Versuchsreihe wurde ein Testcoupon (dick) ohne integrierte Elektronik verwendet, vergleichbar mit Bild 1.20. Dieser wurde von einem Projektpartner bereitgestellt.

Die Versuche dienten zu einer ersten Bewertung der Probengeometrie bzw. des Probenaufbaus.

Für die Versuche wurden der Aufbau, siehe Bild 1.22, verwendet. Folgende Versuche wurden durchgeführt.

- Statische Biegeversuche bis 500 N
- Dynamische Biegeschwellversuch mit 50 Zyklen im Bereich von 0 N bis 500 N

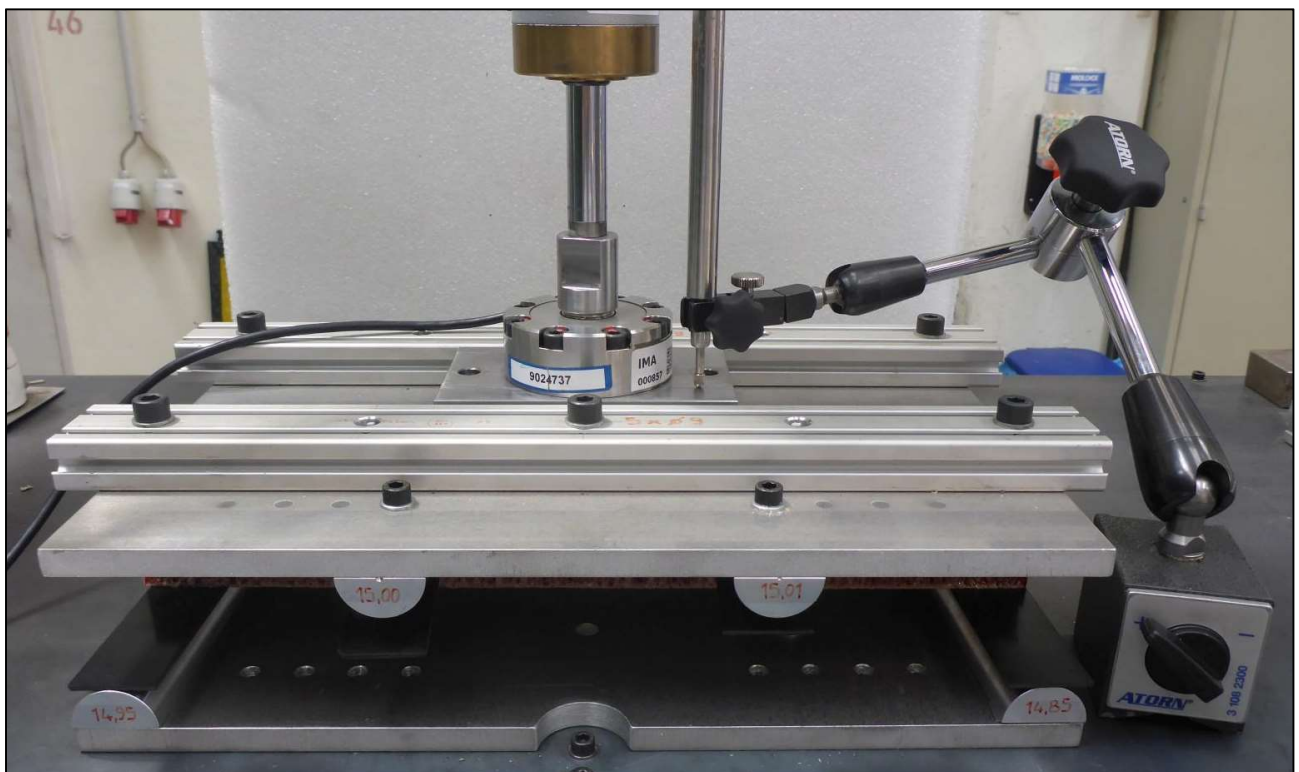


Bild 1.22: Biegeversuch mit Testcoupon (dick)

Die Versuche waren erfolgreich und zeigten die Anwendbarkeit des Versuchstandes.

Testreihe 2.1 - Versuche für Biegung mit Testcoupon (dick) mit integrierter Elektronik

Für diese Versuchsreihe wurde ein Testcoupon (dick) mit integrierter Elektronik verwendet, vergleichbar mit Bild 1.20. Dieser wurde von einem Projektpartner bereitgestellt.

Die Versuche dienten zu Untersuchung der Auswirkungen von integrierter Elektronik bei Biegeversuchen.

Für die Versuche wurden der vorherige Aufbau, siehe Bild 1.22, verwendet. Folgende Versuche wurden mit der Konfiguration „RFID low“ durchgeführt.

- Dynamische Biegeschwellversuch mit 4.000 Zyklen im Bereich von 0 N bis 500 N, Bild 1.23



Bild 1.23: Biegeversuch mit Testcoupon (dick)

Die Versuche waren erfolgreich und zeigten die keine Beeinträchtigung und volle Funktionsfähigkeit des RFID-chips während und nach den Tests.

Testreihe 2.2 - Versuche für Druck mit Testcoupon (dick) mit integrierter Elektronik

Für diese Versuchsreihe wurden zwei Testcoupons (dick) mit integrierter Elektronik verwendet, vergleichbar mit Bild 1.20. Diese wurden von einem Projektpartner bereitgestellt. Die Versuche dienten zu Untersuchung der Auswirkungen von integrierter Elektronik bei Druckversuchen.

Für die Versuche wurde der Aufbau, siehe Bild 1.7, verwendet. Folgende Versuche wurden durchgeführt.

- Statische Druckversuche mit Kalotte $d = 75 \text{ mm}$ mit unterschiedlichen Laststufen bis zu einer maximalen Drucklast von 1.000 N , siehe Bild 1.24
- Statische Druckversuche mit Kalotte $d = 10 \text{ mm}$ mit unterschiedlichen Laststufen bis zu einer maximalen Drucklast von 750 N , siehe Bild 1.25

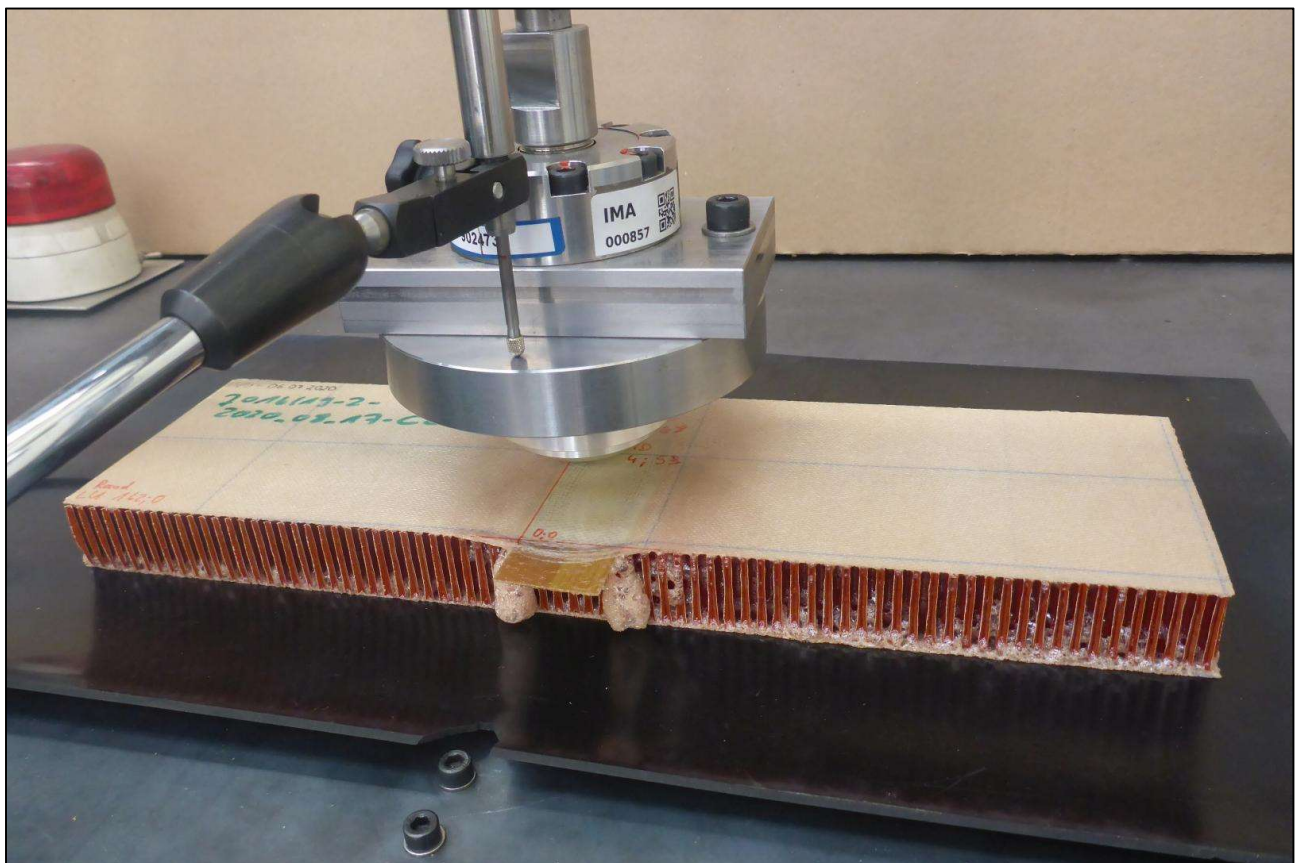


Bild 1.24: Druckversuch mit Testcoupon (dick), Kalotte $d = 75 \text{ mm}$

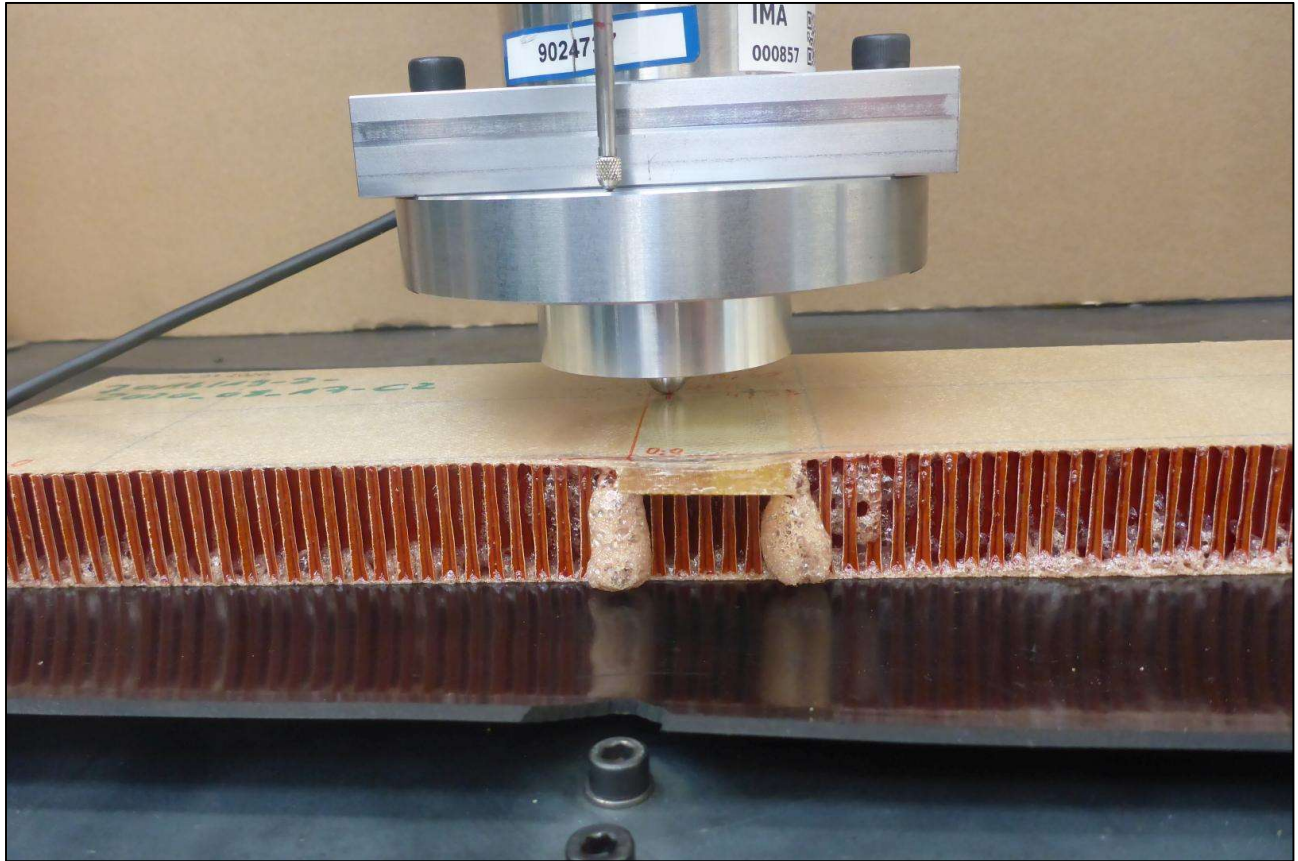


Bild 1.25: Druckversuch mit Testcoupon (dick), Kalotte d = 10mm

Die Versuche waren erfolgreich und zeigten

- Statische Druckversuche mit Kalotte d = 75 mm: volle Funktionsfähigkeit des RFID-chips während und nach den Tests
- Statische Druckversuche mit Kalotte d = 10 mm: Ausfall des RFID-chips bei ca. 650N

Testreihe 3 - Versuche für Biegung mit Testcoupon (dünn) mit integrierter Elektronik

Für diese Versuchsreihe wurden Testcoupons (dünn) mit integrierter Elektronik verwendet, vergleichbar mit Bild 1.21. Diese wurden von einem Projektpartner bereitgestellt.

Die Versuche dienten zu Untersuchung der Auswirkungen von integrierter Elektronik bei Biegeversuchen mit dem Augenmerk auf:

- Testcoupon ohne Elektronik
- Testcoupon mit Elektronik - Konfiguration „RFID low“, d.h. der RFID war im unteren Bereich (Zugseite) platziert
- Testcoupon mit Elektronik - Konfiguration „RFID high“, d.h. der RFID war im oberen Bereich (Druckseite) platziert

Für den ersten Versuch wurde der ursprüngliche Aufbau, siehe Bild 1.26, verwendet. Folgender Versuch wurde durchgeführt.

- Statische Biegeversuche bis ca. 700 N mit Prüfteil ohne integrierter Elektronik

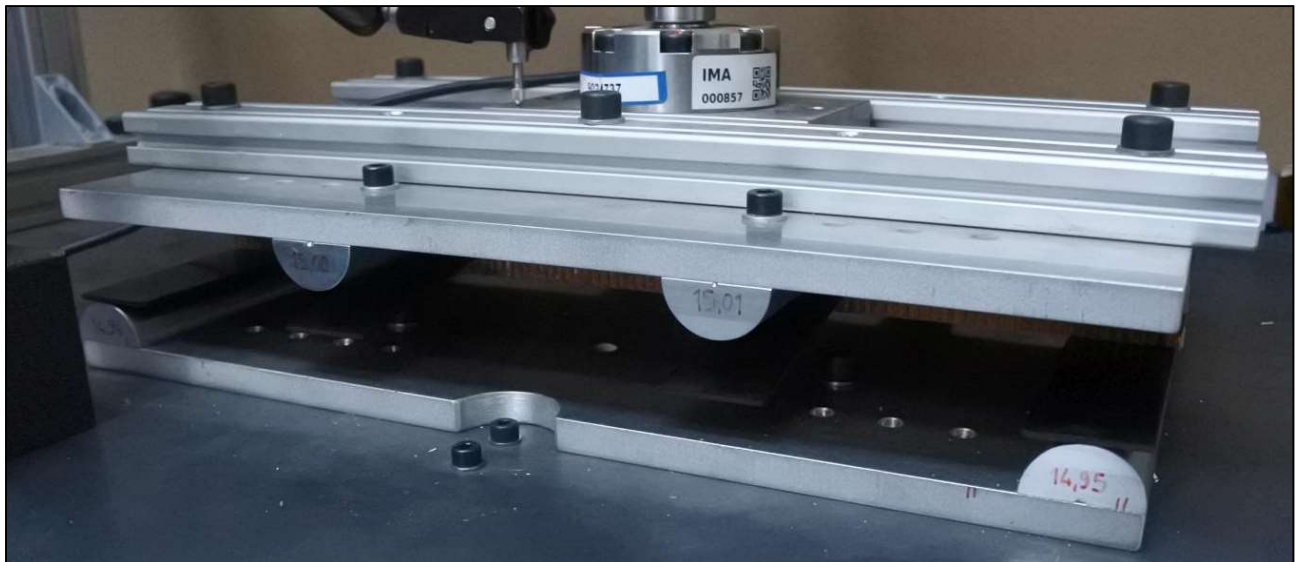


Bild 1.26: Biegeversuch mit Testcoupon (dünn), ursprünglicher Aufbau

Der Versuch musste vorzeitig abgebrochen werden, da ein Aufsetzen des Prüfteils bevorstand siehe Bild 1.27. Ein Schaden am Prüfteil trat nicht auf.

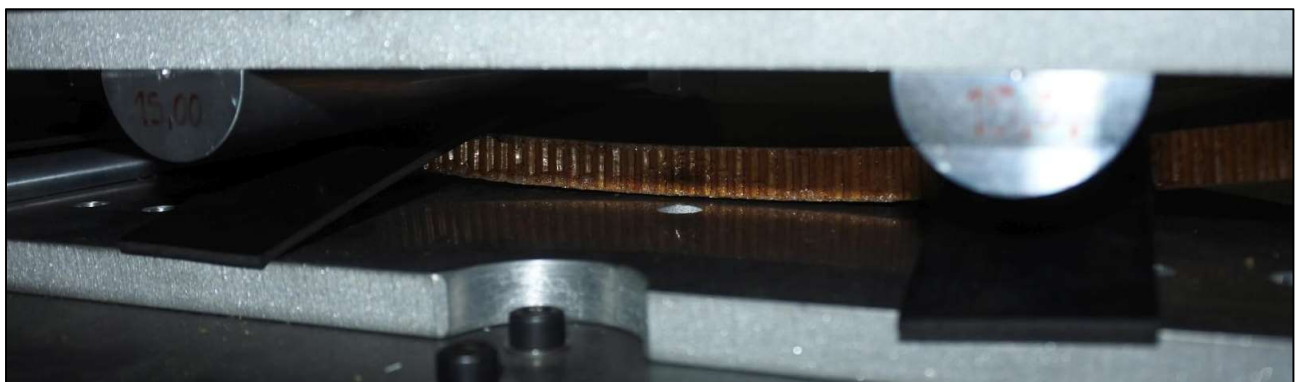


Bild 1.27: Aufsetzen des Prüfteils

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6

Basierend auf den vorherigen Tests wurde der Prüfstand modifiziert, d.h. es wurden zusätzliche Aluminiumprofile (40 mm x 40 mm) integriert, um eine größere Durchbiegung zu ermöglichen, siehe Bild 1.28 und Bild 1.29. Ebenso wurden andere Wegsensoren mit einem größeren Bereich integriert.

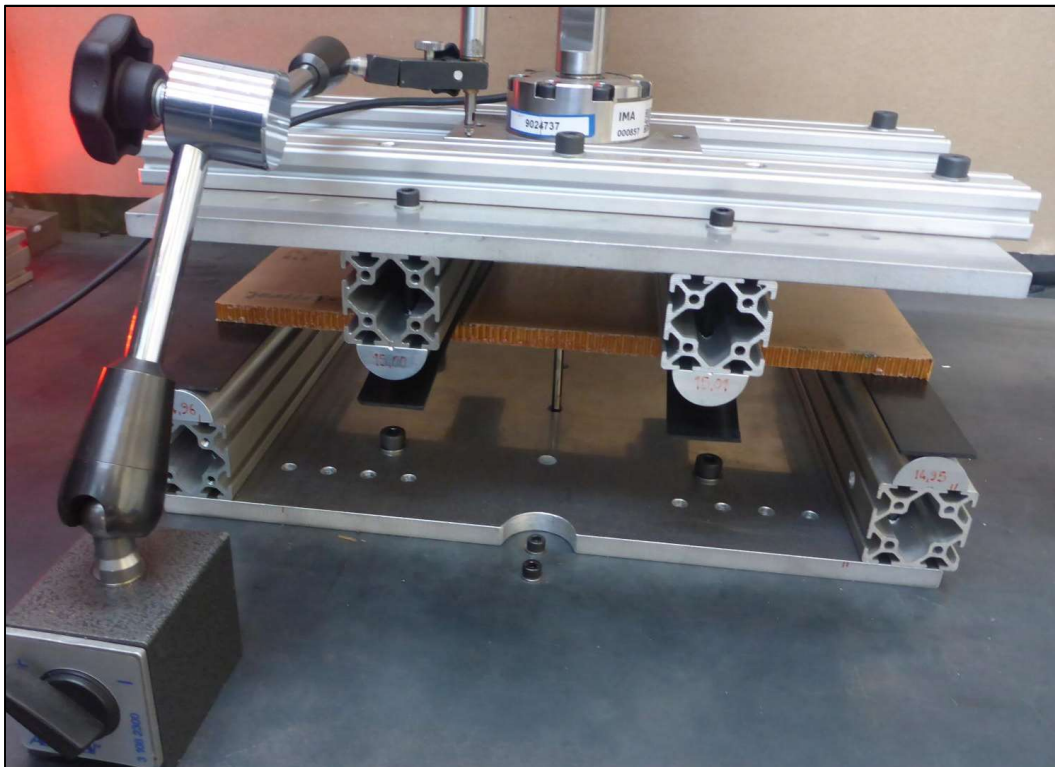


Bild 1.28: Biegeversuch mit Testcoupon (dünn), modifizierter Aufbau



Bild 1.29: Biegeversuch mit Testcoupon (dünn), modifizierter Aufbau, Detail

Abschlussbericht

Bauteil 4.0

Prüfberichts-Nr.: J016/19.6

Für die nachfolgenden Versuche wurde der modifizierte Aufbau, siehe Bild 1.28, verwendet. Folgende Versuche wurden durchgeführt.

- Testcoupon J016/19-TS-A-1: Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID low“
=> Schaden bei Drucklast von -876 N, siehe Bild 1.30 und Bild 1.31
- Testcoupon J016/19-TS-A-2: Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID high“
=> Schaden bei Drucklast von -1.096 N, siehe Bild 1.32 und Bild 1.33
- Testcoupon J016/19-TS-A-3: Prüfteil ohne integrierter Elektronik
=> Schaden bei Drucklast von -1.149 N, siehe Bild 1.34

Bei allen Versuchen wurde die Grundstruktur der Testcoupons massiv beschädigt. Die RFID-Chips waren jedoch weiterhin in Funktion. Die Versagenslast ist abhängig von der Position des RFID-Chips (Zug- oder Druckseite).

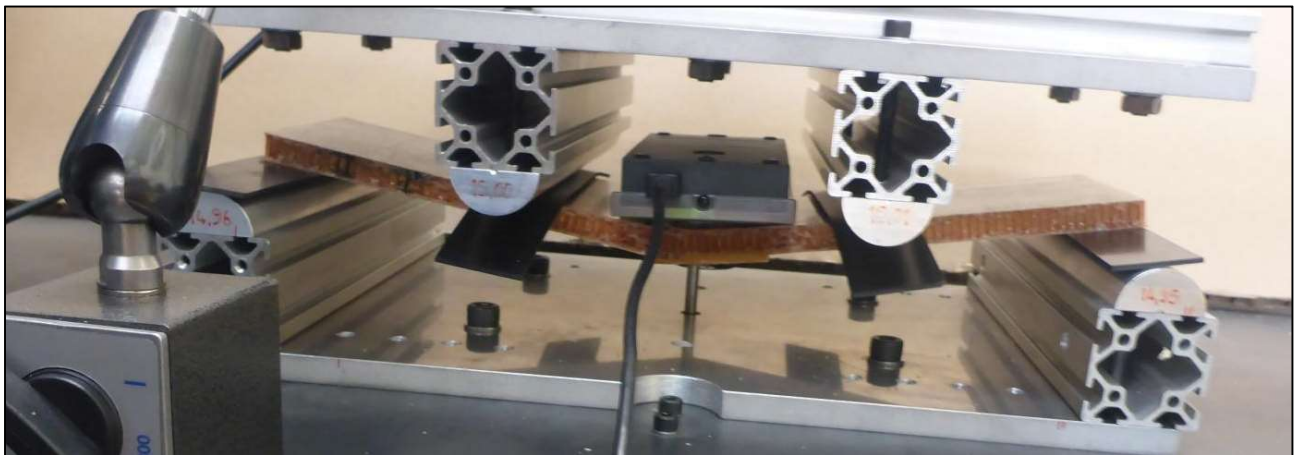


Bild 1.30: Biegeversuch mit Testcoupon J016/19-TS-A-1

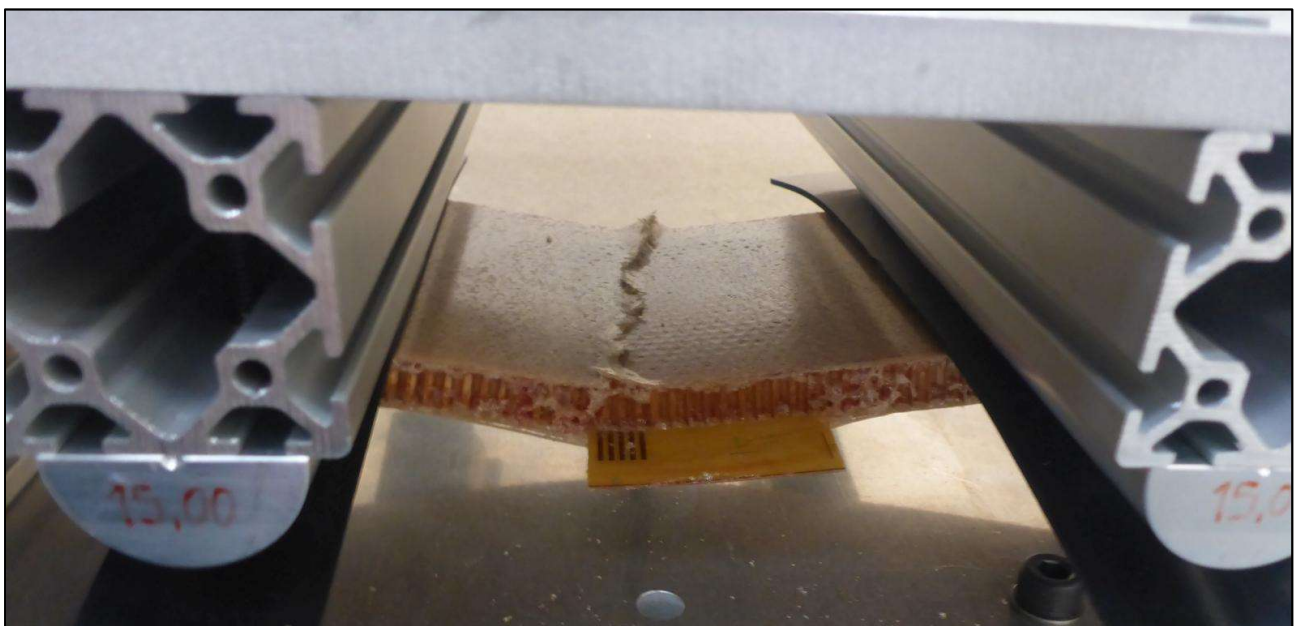


Bild 1.31: Biegeversuch mit Testcoupon J016/19-TS-A-1, Detail



Bild 1.32: Biegeversuch mit Testcoupon J016/19-TS-A-2

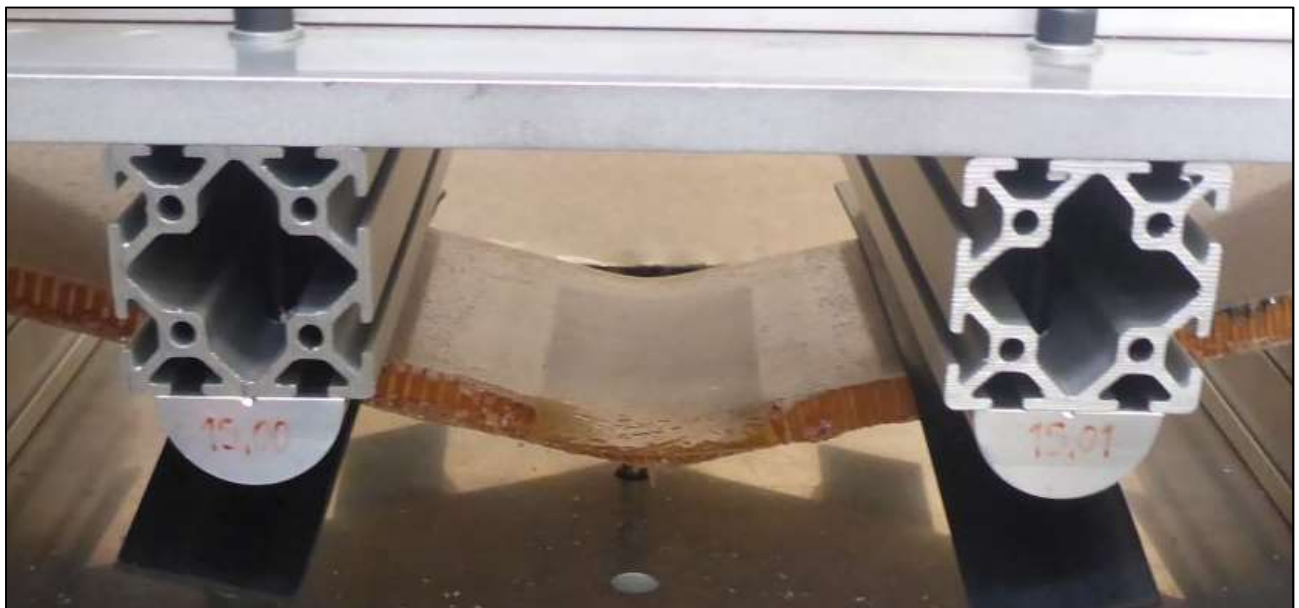


Bild 1.33: Biegeversuch mit Testcoupon J016/19-TS-A-2, Detail



Bild 1.34: Biegeversuch mit Testcoupon J016/19-TS-A-3

2.1.7 HAP2 – Teil 3 –Anfertigung der Testcoupons und Demonstratorenentwurf

Für die Arbeiten waren verschiedene Testcoupons mit integrierten Elektronikbauteilen (RFID-Chips) verfügbar:

- Testcoupon (dünn) mit den Dimensionen [mm]: 350 x 100 x 11 (Beispiel siehe Bild 1.21)
- Testcoupon, modifiziert (dünn) mit den Dimensionen [mm]: 320 x 95 x 10 (Beispiel siehe Bild 1.35) => Modifikation der Abmessungen und des RFID-Typs

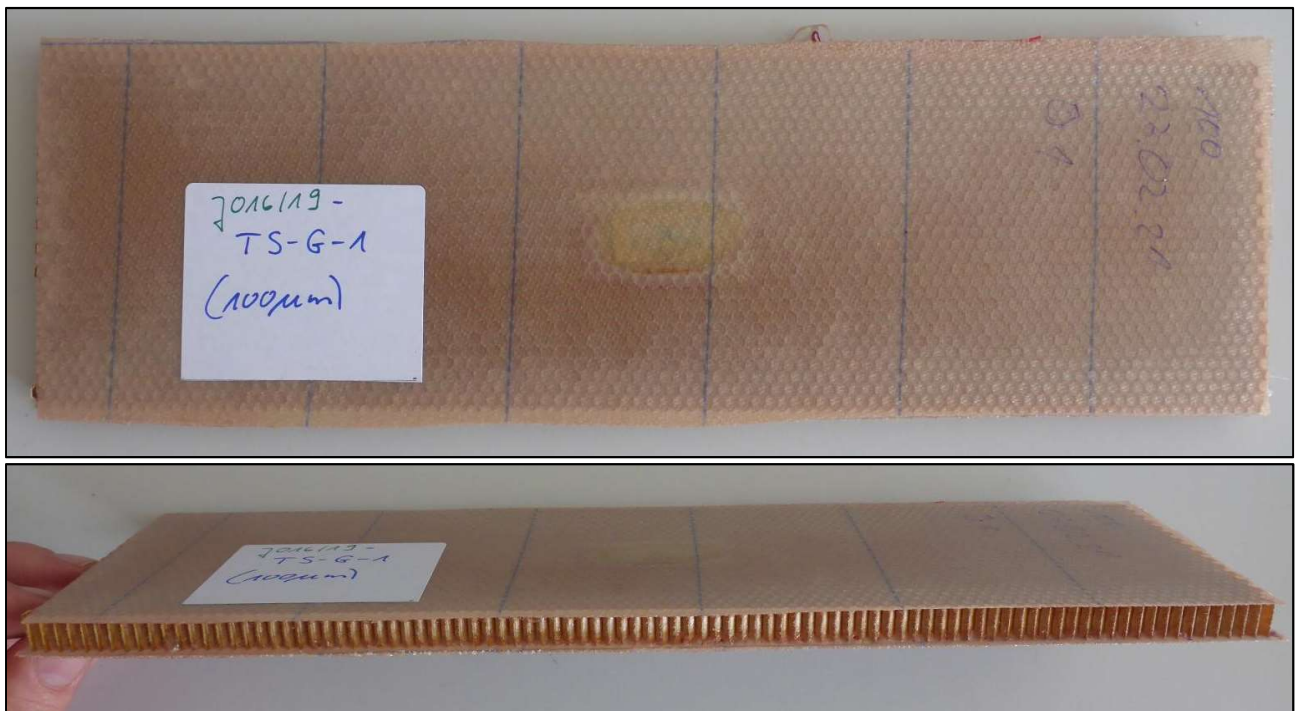


Bild 1.35: Testcoupon, modifiziert (dünn)

2.1.8 HAP2 – Teil 3 – Vorgehensweise und Ergebnisse

Die fünf Arbeitspakete ließen sich nur sehr bedingt trennen und wurden daher im HAP2 als Gesamtanforderungen bearbeitet, um effektive Lösungen zu erreichen. Der Hauptanteil lag in der Bearbeitung des AP2.5.

- *AP 2.1 – Entwurf und Entwicklung der integrationsgerechten Leichtbaustrukturen*
- *AP 2.2 – Entwurf, Entwicklung und Integration Elektronik*
- AP 2.3 – Entwurf und Entwicklung der Aufbau- und Verbindungstechnik
- AP 2.4 – Herstellung der Sandwichbauteile und der Testcoupons
- AP 2.5 – Evaluierung der Testcoupons

Folgende Arbeiten ergaben sich als Ausgangsbedingungen für die Umsetzung:

- Weitere Nutzung bzw. Modifikation der Set-ups für Biegeversuche aus dem vorherigen Berichtszeitraum 4
- Durchführung verschiedener Testreihen

Testreihe 4 – Statische Vergleichsversuche für Biegung mit Testcoupon (dünn) mit integrierter Elektronik

Zu Beginn des Testzeitraums wurden mit verfügbaren Testcoupons Biegeversuche wiederholt, um eine Vergleichbarkeit der bisherigen Ergebnisse zu ermitteln.

- Testcoupon ohne Elektronik
- Testcoupon mit Elektronik - Konfiguration „RFID low“, d.h. der RFID war im unteren Bereich (Zugseite) platziert
- Testcoupon mit Elektronik - Konfiguration „RFID high“, d.h. der RFID war im oberen Bereich (Druckseite) platziert

Folgende Versuche wurden durchgeführt.

- Testcoupon J016/19-TS-C-1: Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID low“
=> Schaden bei Drucklast von -840N
=> Vergleichbarer Schaden für J016/19-TS-A-1 bei Drucklast von -876N
- Testcoupon J016/19-TS-C-2: Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID high“
=> Schaden bei Drucklast von -1.012N
=> Vergleichbarer Schaden für J016/19-TS-A-2 bei Drucklast von -1.096N
- Testcoupon J016/19-TS-C-3: Prüfteil ohne integrierter Elektronik
=> Schaden bei Drucklast von -1.270N
=> Vergleichbarer Schaden für J016/19-TS-A-3 bei Drucklast von -1.149N
- Testcoupon J016/19-TS-F-3: Prüfteil ohne integrierter Elektronik (mit anderer Wabenausrichtung)
=> Schaden bei Drucklast von -1.431N
=> Vergleichbarer Schaden für J016/19-TS-A-3 bei Drucklast von -1.149N
=> Vergleichbarer Schaden für J016/19-TS-C-3 bei Drucklast von -1.270N

Die Versuche zeigten eine sehr gute Übereinstimmung der Versagenslasten.

Die höhere Schadenslast von Probe J016/19-TS-F-3 beruht auf der anderen Wabenausrichtung).

Bei allen Versuchen wurde die Grundstruktur der Testcoupons massiv beschädigt. Die RFID-Chips waren jedoch weiterhin in Funktion. Die Versagenslast ist abhängig von der Position des RFID-Chips (Zug- oder Druckseite).

Testreihe 5 – Dynamischer Versuch für Biegung mit Testcoupon (dünn) mit integrierter Elektronik

Nach Abschluss der Testreihe 4 wurde ein dynamischer Biegeschwellversuch realisiert. Folgender Versuch wurde durchgeführt, siehe Bild 1.36 und 1.37.

- Testcoupon J016/19-TS-B-1: Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID low“
=> Biegeschwelllast bei Drucklast von -600 N

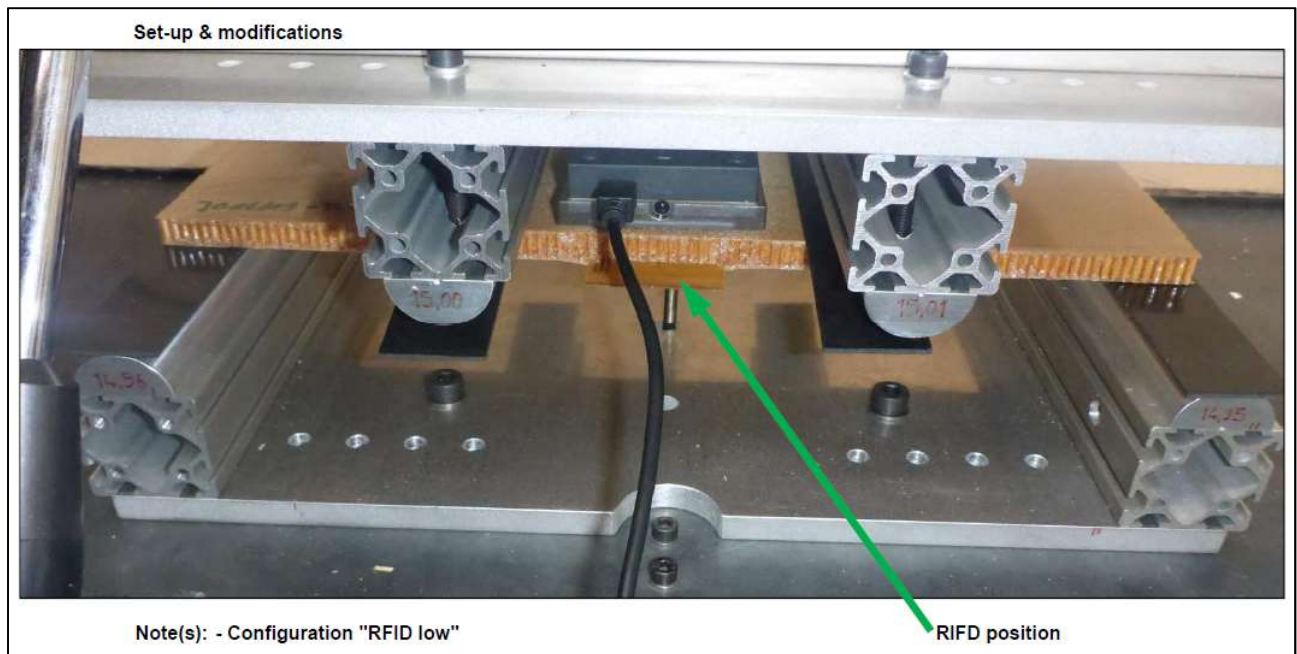


Bild 1.36: Testcoupon Biegung – Set-up

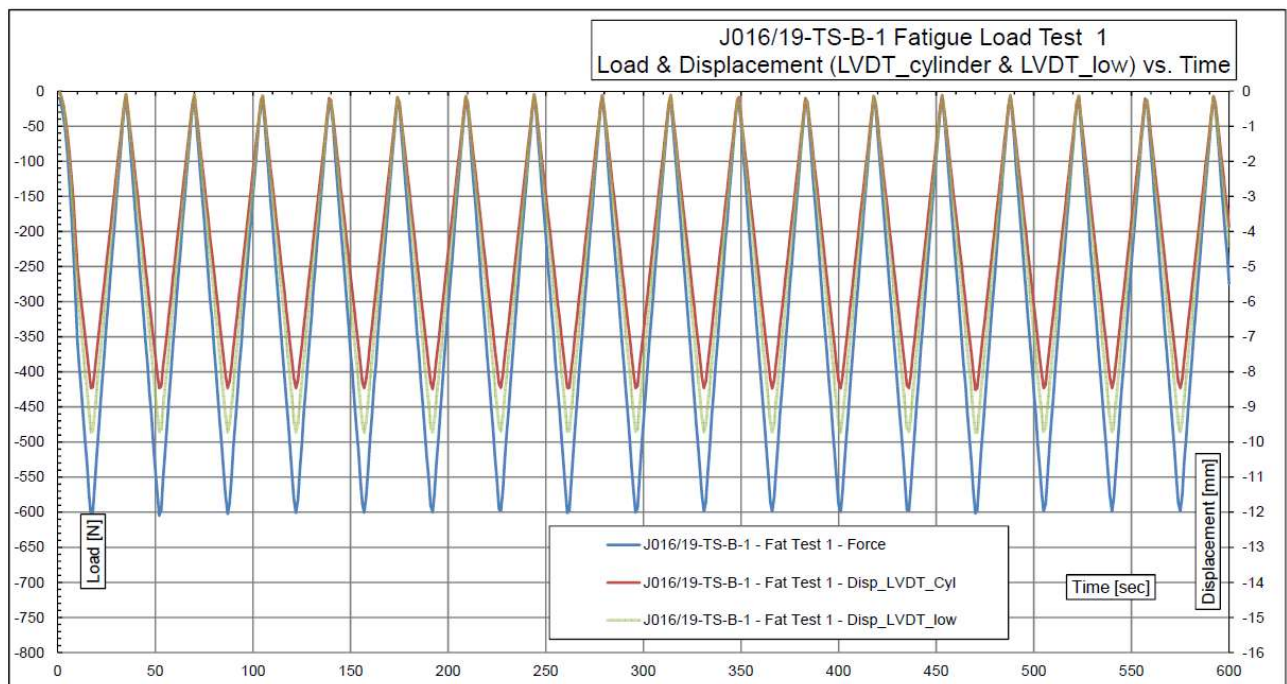


Bild 1.37: Lastprofil Biegung (Ausschnitt)

Insgesamt wurden 10.000 Zyklen mit einer Testfrequenz von 0,029 Hz realisiert.

Die Funktion des RFID-Chips wurde regelmäßig mit Hilfe des RFID-Readers überprüft.

Während der gesamten Versuchszeit trat weder ein Schaden am Bauteil noch am RFID-Chip auf.

Testreihe 6 – Statische Versuche für Biegung mit Testcoupon, modifiziert (dünn) mit integrierter Elektronik

Nach Abschluss der dynamischen Versuche wurden von den Projektpartnern modifizierte Testcoupons bereitgestellt. Die Modifikationen betrafen Anpassungen der Größe und des RFID-Chips, siehe Bild 1.35.

- Testcoupon mit Elektronik - Konfiguration „RFID low“, d.h. der RFID war im unteren Bereich (Zugseite) platziert

Folgende Versuche wurden durchgeführt.

- Testcoupon J016/19-TS-G-1 (100 µm): Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID low“
=> Schaden bei Drucklast von -784 N
- Testcoupon J016/19-TS-G-2 (100 µm): Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID low“
=> Schaden bei Drucklast von -1156 N
- Testcoupon J016/19-TS-H-1 (300 µm): Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID low“
=> Schaden bei Drucklast von -1.156 N
- Testcoupon J016/19-TS-H-2 (300 µm): Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID low“
=> Schaden bei Drucklast von -1.058 N

Alle Versuche wurden auf dem vorhandenen Prüfstand (Bild 1.38) durchgeführt. Auf Grund der leicht verringerten Länge wurden die Positionen der äußeren Auflagen modifiziert.

Die realisierten Schadensbilder und Lastniveaus entsprachen den Erwartungen.

- Leicht geringere Schadenslast auf Grund der geringeren Dicke
- RFID-Chip ohne Beeinträchtigung

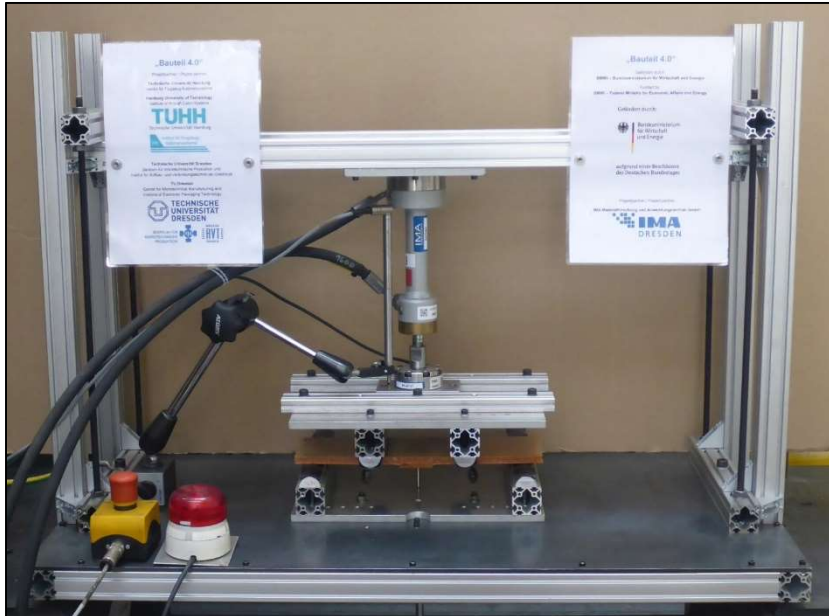


Bild 1.38: Biegeprüfstand

2.1.9 HAP3 – Teil 1 – Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten, Vorgehensweise und Ergebnisse

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Versuche und Ergebnisse (vor allem die Testreihen 3, 4 und 6) aus dem HAP 2 zeigten in den Zusammenführungen der Ergebnisse einen klaren Trend für die erstellten Versuchsaufbauten.

- Druckversuche: Der Kalottenradius hat starken Einfluß auf die Funktionalität der integrierten Elektronik
 - $R = 37,5 \text{ mm}$ (stumpfe Kalotte => vergleichbar mit Handballen) führte bei den aufgebrachtten Lasten von 1.00 N zu keinem Schaden RFID-Chip
 - $R = 5 \text{ mm}$ (spitze Kalotte) führte zum Schaden am Bauteil und dem RFID-Chip ab einer Last von 650 N
- Biegeversuche: Die Lastniveaus beim Versagen sind für die Testcoupons in ähnlichen Größenordnungen angesiedelt. Die integrierten RFID-Chips zeigten während und nach den Versuchen volle Funktionalität.

Simulation / FE-Berechnung

Ein weiterer wichtiger Punkt im Zeitraum des 5. Zwischenberichtes war die Ausweitung der Simulationsrechnungen. Die zu Beginn des Vorhabens erstellten einfacheren FE-Modelle wurden an Hand verfügbarer Materialdaten wesentlich verfeinert.

Die realisierten ANSYS-Simulationsrechnungen zeigten eine sehr gute Korrelation zu den realisierten Versuchen (Bild 1.39 und Bild 1.40).

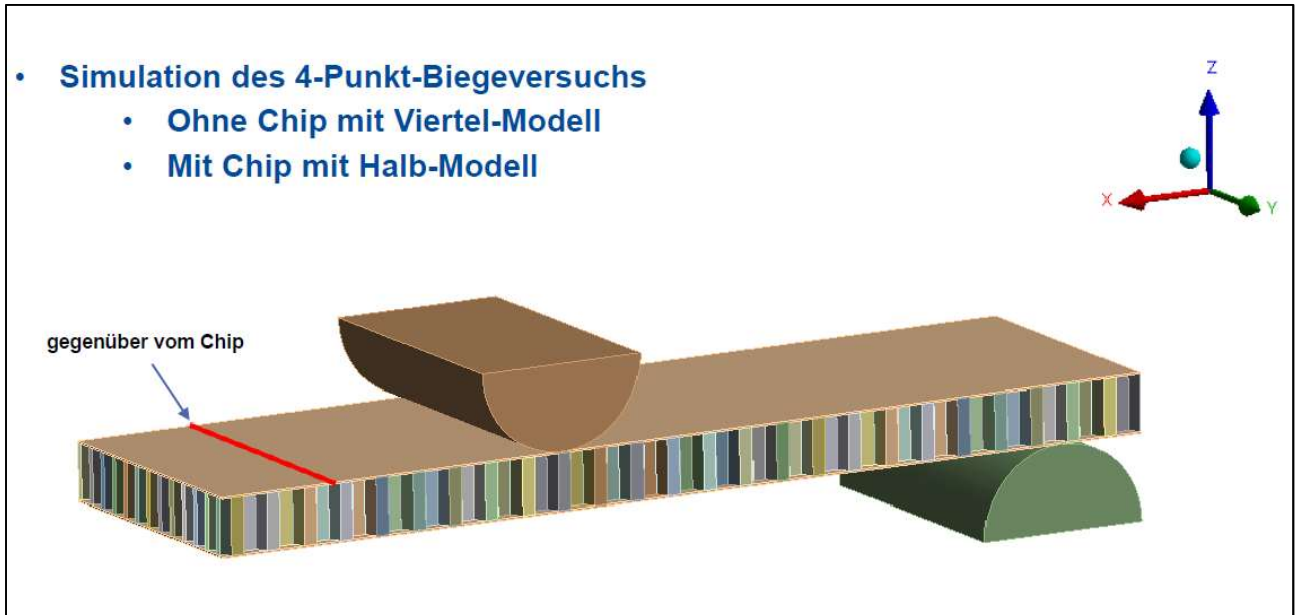


Bild 1.39: ANSYS-Simulationsmodell

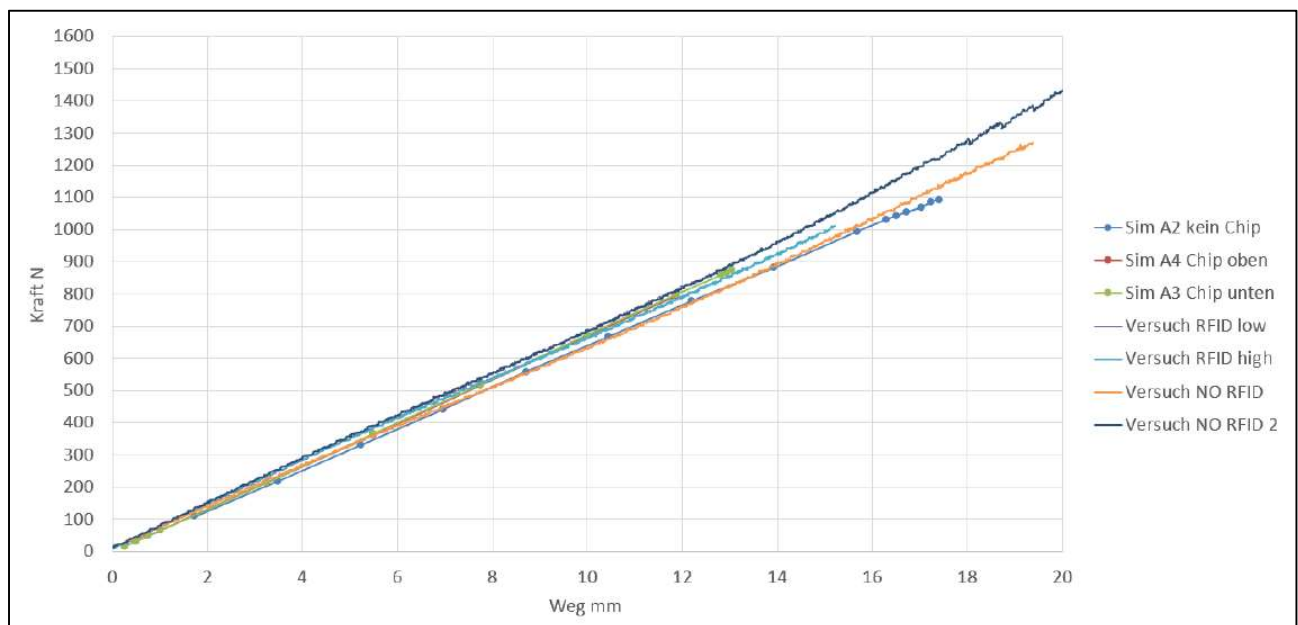


Bild 1.40: ANSYS-Simulationsergebnisse

Im Zuge der weiteren Bearbeitung wurde das Modell im System ABAQUS modifiziert, Bild 1.41. Mit diesen Modellen konnte der Schaden am Bauteil (Lösen der Deckschicht) sehr gut nachgebildet werden, Bild 1.42.

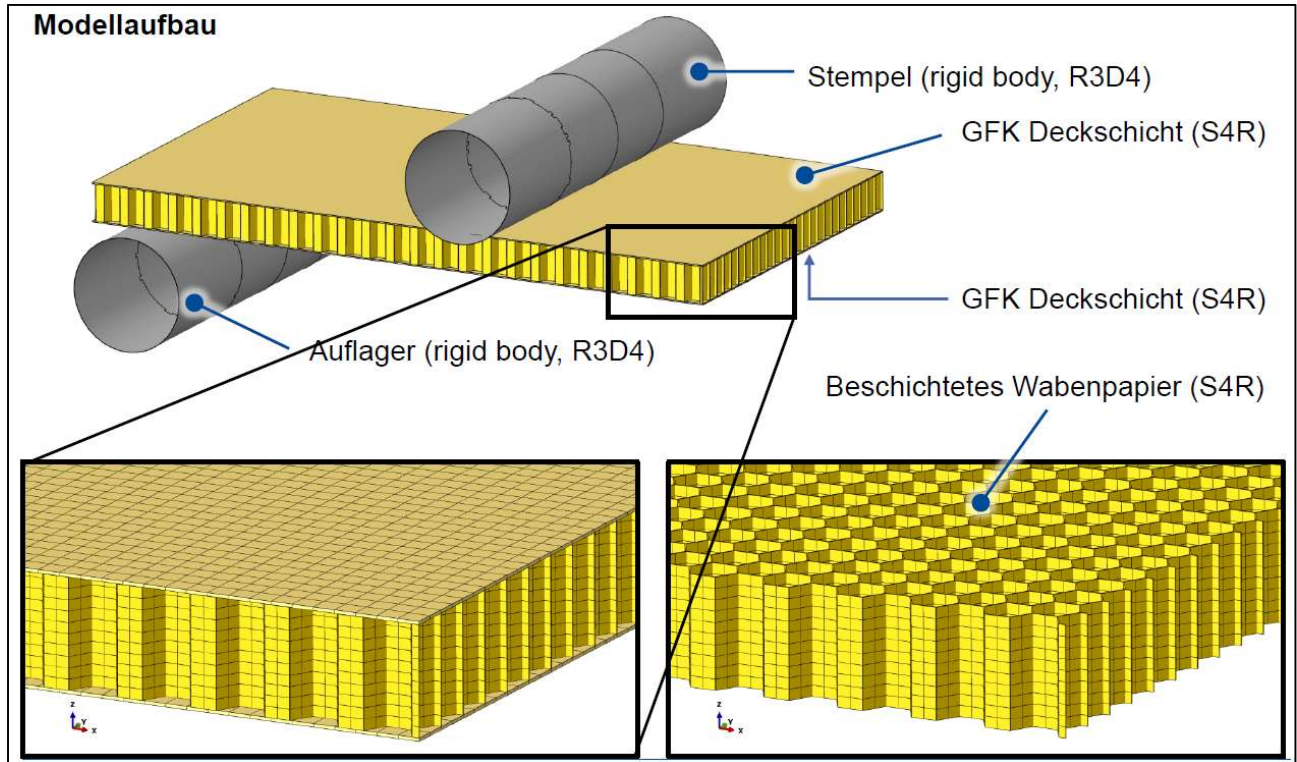


Bild 1.41: ABAQUS-Simulationsmodell

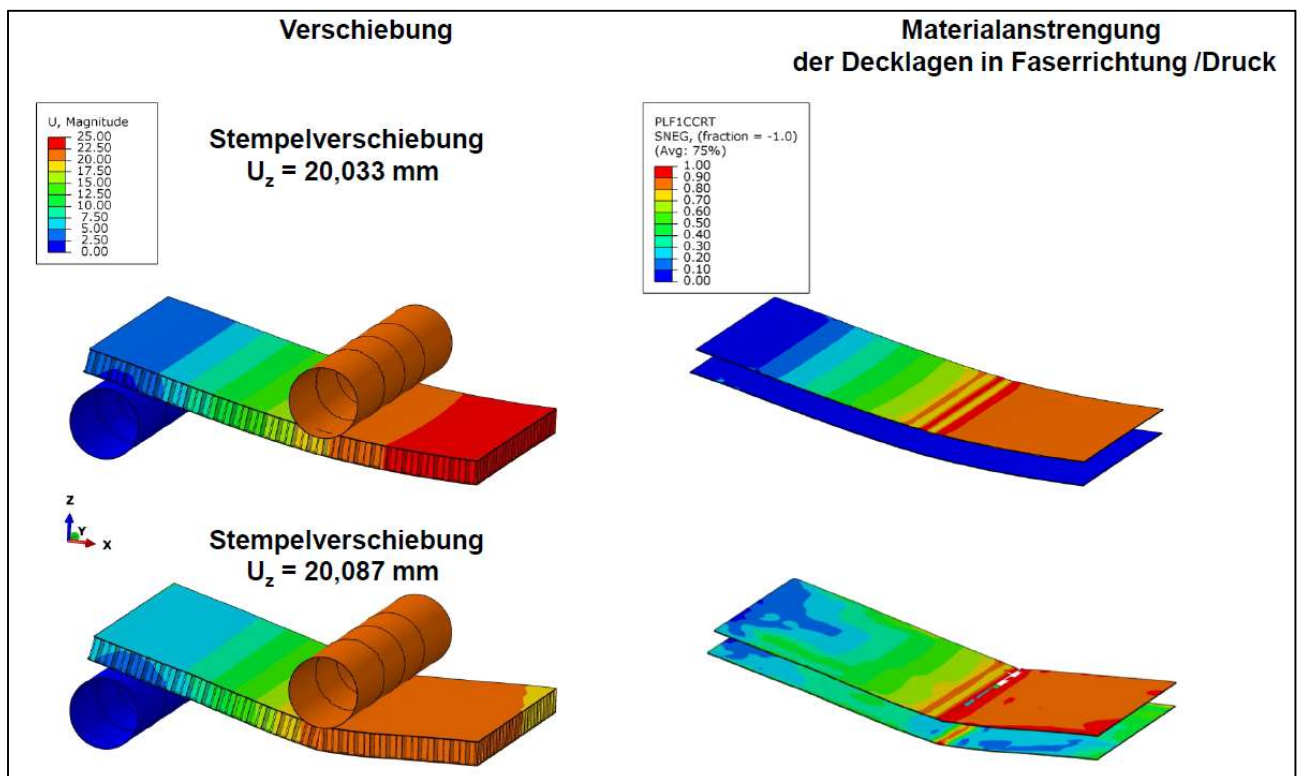


Bild 1.42: ABAQUS-Simulationsergebnisse

Zusammenfassung der Ergebnisse

Der 5. Zwischenbericht beinhaltete Arbeiten aus dem HAP2 und HAP3. Während des Bearbeitungszeitraumes wurde der Prüfstand für die Versuche genutzt und mechanisch modifiziert.

Es wurden verschiedene Testreihen für statische und dynamische Biegeversuche realisiert.

Ebenso wurden Simulationsrechnungen im System ANSYS und ABAQUS realisiert. Diese Rechnungen dienten zu Modellvalidierung und zu potentiellen Simulationen von möglicher weiterer Testcoupons bzw. komplexeren Prüfkörpern.

Haupterkennnis der Biegeversuche:

- Testcoupon (dünn) und Testcoupon, modifiziert (dünn): Keine Schaden RFID-Chip aufgetreten, trotz Strukturversagen des Testcoupons => Die strukturelle Versagenslast ist aber abhängig von der Lage des RFID-Chips (Zug- oder Druckseite)
- Biegeversuche: Das Prüfteil versagt strukturell, bevor ein Schaden am RFID-Chip auftreten konnte.

Haupterkennnis der Simulation:

- Die erstellten Modelle konnten sehr gut validiert werden.
- Die Modelle eignen sich zur Vorhersage von möglichen Schäden

2.1.10 HAP3 – Teil 2 – Versuchsaufbauten, Test der Aufbauten, Vorgehensweise und Ergebnisse

Das HAP 3 – Teil 2 enthielt hauptsächlich diesen Unterpunkt.

- AP 3.3 – Funktionstest bei den Versuchsaufbauten

Die Arbeiten fanden nach dem Ende der 5 Zwischenberichtes und Abschluss des Vorhabens statt. Auf Grund der bisher erzielten Ergebnisse und Erfahrungen wurden nun konkrete Versuchsaufbauten (Demonstratoren) getestet, d.h. es waren neben RFID-Chips auch Raspberry Pis integriert, siehe Bild 1.43. Die Funktionalität der Raspberry Pis konnte nicht überprüft werden. Im Fertigungsprozess traten Harz bzw. Kleber in des Speicherkartenslot ein.

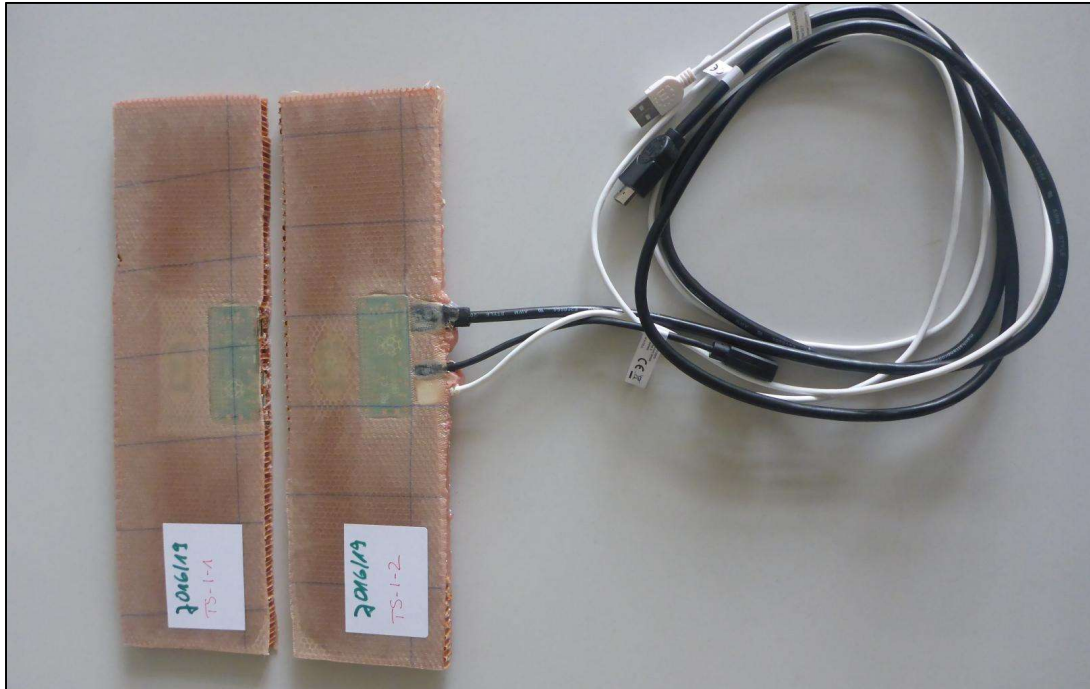


Bild 1.43: Demonstratoren mit RFID-Chip und Raspberry Pi

Testreihe Demonstratoren – Dynamische Versuche für Biegung mit Testcoupon, modifiziert mit integrierter Elektronik

Die Lastannahmen (Schwelllast 0 N – 600 N) beruhen auf den Ergebnissen und Erfahrungen der Testreihen 5 und 6, aufgeführt im vorangegangenen Kapitel 2.1.7.

Im Vorfeld der geplanten dynamischen Tests wurden FE-Simulationen mit den Lastannahmen vorgenommen. Die Ergebnisse wiesen auf keine Gefährdung des Prüfteils hin.

Folgende Versuche wurden durchgeführt.

- Testcoupon J016_19-TS-I-1: Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID & Raspberry Pi low“ ; dynamische Schwelllast 0 N – 600 N
=> Schaden nach 8 Zyklen am Prüfteil, aber RFID noch funktionsfähig, siehe Bild 1.45
- Testcoupon J016_19-TS-I-2: Prüfteil mit integrierter Elektronik, Konfiguration „RFID & Raspberry Pi low“ ; dynamische Schwelllast 0 N – 450 N
=> KEIN Schaden und RFID funktionsfähig

Es wird vermutet, dass bei einem ideal gefertigtem Prüfkörper die Ergebnisse aus Test und Simulation deutlich besser übereinstimmen, als bei dem hand-made Prototypen.

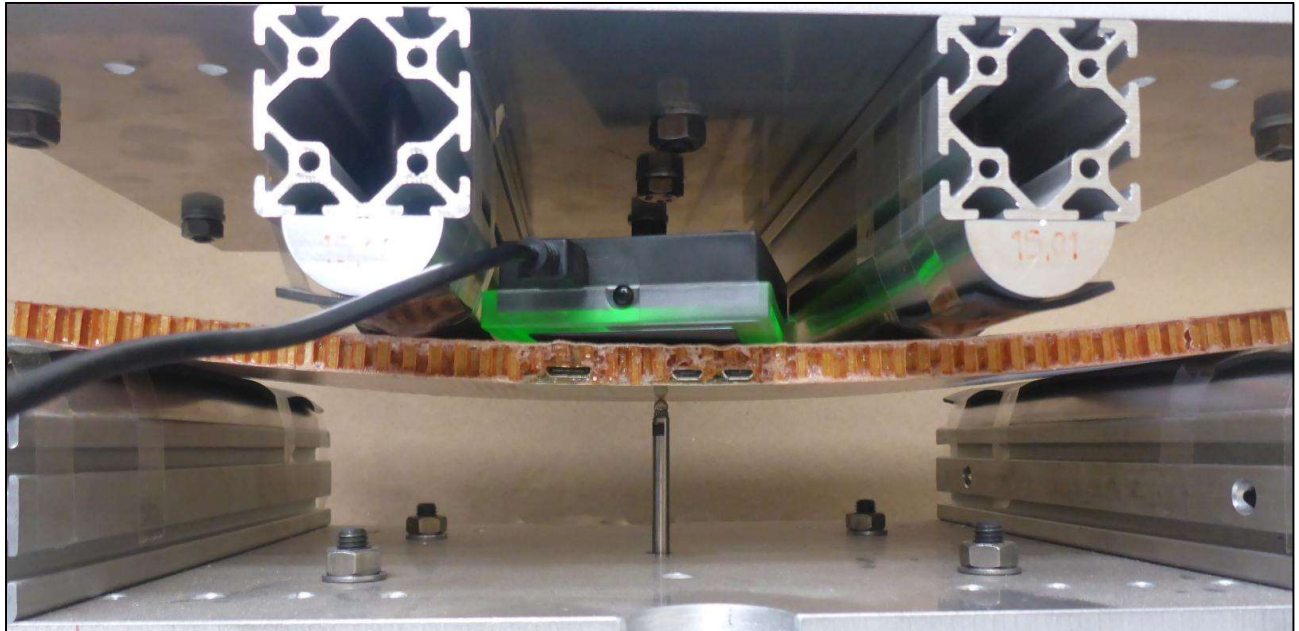


Bild 1.44: Test mit J016_19-TS-I-1



Bild 1.45: Schaden an J016_19-TS-I-1

2.1.11 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Vorhaben wurde in enger und ergebnisorientierter Zusammenarbeit mit den Projektpartnern im geplanten Zeitraum realisiert.

Die Hauptaufgabe der definierten Arbeitspaketen für die IMA Dresden war zusammengefasst:

- Definition von Definition von Testkonzepten und -methoden
- Entwicklung und Aufbau von agilen und hochgradig modifizierbaren Testprüfständen und -aufbauten
- Durchführung von statischen und dynamischen Tests und Aufbereitung der Ergebnisse
- Erstellung und Validierung von FE-Modellen zur Testsimulation

Die Aufgaben wurden mit Prüfkörpern realisiert, die von den Projektpartnern bereitgestellt wurden. Erzielte Ergebnisse wurden in regelmäßigen Absprachen diskutiert und bewertet. Entsprechend der Ergebnisse wurde der Projektfortschritt sehr agil modifiziert.

Im Nachfolgenden werden die Hauptpunkte der Testreihen und deren Ergebnisse aufgeführt

Druckversuche:

- Tests mit kleineren Radien ($R = 5\text{mm}$) führten zu frühzeitigen Schäden am Prüfteil und der integrierten Elektronik (RFID-Chip)
- Tests mit größeren Radien ($R = 37,5\text{mm}$) führten erst bei signifikant höheren Lasten zu Schäden am Prüfteil, wobei die integrierte Elektronik (RFID-Chip) nicht immer beeinträchtigt wurde

Biegeversuche (4-Punkt-Biegung)

- Verfügbare Prüfteile mit unterschiedlichen Dicken
- Statische Versuche mit funktionsintegrierter Elektronik auf Druck- oder Zugseite
 - o Alle Versagenslasten lagen in vergleichbaren Bereichen
 - o Tests, bei denen der RFID-Chip während der Belastung nach unten ausgerichtet in der Probe eingebettet war (Zugbelastung), erreichten geringfügig geringere Versagenslasten als solche, bei denen das RFID-Tag oberliegend eingebettet war (Druckbelastung)
 - o Alle RFID-Chips waren nach dem Versagen der Probe immer noch funktionsfähig
 - o Das Strukturversagen der Proben zeigte sich durch Ablösen der Klebung der Deckschicht an unterschiedlichen Stellen mit anschließendem Bruch der Probe
- Dynamische Versuche mit funktionsintegrierter Elektronik auf Zugseite
 - o Die Versuche (Prüfteile nur mit RFID-Chip) wurden mit ca. 70% der statischen Versagenslast realisiert. Es kam es zu keinem Strukturversagen der Proben. Die RFID-Chips waren während der gesamten Lastzyklen funktionsfähig.
 - o Die Demonstratorenversuche (Prüfteil mit Raspberry Pi und RFID-Chip) waren
 - Des erste Prüfteil wurde mit 600N (ca. 70% der statischen Versagenslast) gestartet. Es kam es nach wenigen Zyklen zu einem Strukturversagen der Probe. Die Bewertung ergab eine Überlagerung von minderer Fertigungsqualität und unterschätztem Steifigkeitssprung, obwohl eine vorherige Simulation keinen Schaden prognostizierte

- Die zweite Probe wurde mit weiter reduzierter Last (450N) erfolgreich getestet.
- Die RFID-Chips waren während der gesamten Lastzyklen funktionsfähig.
- Die Funktionalität des jeweiligen Raspberry Pi konnte nicht überprüft werden, da Harz bzw. Kleber in den Kartenslot bei der Fertigung eingedrungen war.

Im Laufe des Projektes wurde der Anteil der Simulation deutlich größer, als im Vorfeld geplant. Die geschaffenen Berechnungsmodelle wurden mit den Testergebnissen validiert und zeigten sehr gute Übereinstimmungen. Daraus kann geschlossen werden, dass zukünftig die Simulation sehr gute Vorhersagen bringt, die dann mit deutlich weniger Proben nachzuweisen sind.

2.2 Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die IMA gewinnt durch das Vorhaben einen Vorsprung gegenüber Wettbewerbern, was die Testkombination von Sandwichbauteilen mit funktionsintegrierten Elektronikbauteilen betrifft. Die Steigerung des spezifischen Know-hows führt

- Zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit durch Ausbau bestehender und Erschließung neuer Geschäftsfelder,
- Zur stärkeren Kundenausrichtung, Umsatzsteigerungen und Verbesserung der Ertragslage,
- Zur Sicherung bzw. Erweiterung der Beschäftigtenzahlen,
- Zur Erschließung neuer nationaler bzw. internationaler Märkte sowie
- Zur Umsetzung von Ideen für neue Produkte bzw. Dienstleistungen.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

IMA Dresden wird die Projektergebnisse wirtschaftlich verwerten, besonders im Bereich des Tests von Luftfahrtbauteilen und -komponenten einsetzen und Bestands- und Neukunden anbieten. Mit der Neuentwicklung und den im Projekt gesammelten Erfahrungen im Bereich des von funktionsintegrierten Sandwichbauteilen wird die Wettbewerbsfähigkeit der IMA gestärkt und neue Prüffelder erschlossen.

Weitere Branchen mit Einsatz von vergleichbaren Aufbauten sind zum Beispiel Schienenfahrzeughersteller. Diese funktionsintegrierten Bauteile können dort schon ebenfalls mit vergleichbaren Verstärkungsstrukturen hergestellt und eingesetzt werden. Im Anschluss an das Vorhaben wird der Einsatz der neuen Testverfahren für diesen Industriezweig geprüft.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Besonders durch die Zusammenarbeit mit den wissenschaftlichen Partnern der TU Hamburg und der TU Dresden erfolgte ein intensiver Erfahrungsaustausch und ein Kompetenzaufbau zum Thema funktionsintegrierte Sandwichbauteile und deren Tests. Eine weitere Zusammenarbeit über das Forschungsprojekt hinaus ist geplant und wird intensiv vorangetrieben.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Das Projekt hat eine sehr gute Anschlussfähigkeit. Es eröffnet der IMA signifikante Synergien zwischen Simulation und Test. Die Simulation mit FEM oder vergleichbaren Methoden wird in Zukunft einen sehr großen Einfluss und ein erhebliches Potential bei der Entwicklung von Baugruppen haben.

2.3 Veröffentlichung der Ergebnisse

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.

3 Forschungsergebnisse Dritter

Es sind keine grundsätzlichen, neuen Forschungsergebnisse Dritter bekannt geworden.

4 Ziele des Vorhabens

Die Ziele des Vorhabens haben sich, verglichen mit dem Antrag, nicht verändert und wurden erreicht.

5 Verwertungsplan

Der Verwertungsplan ist unverändert zum Antrag.

Geprüft

Dr.-Ing. Silvio Nebel
Abteilungsleiter Aerospace

Erstellt

Dr.-Ing. Dietmar Melzer
Projektleiter