

Titel:

Schlussbericht der INVENT GmbH

(Teil I und Teil II)

ACTion

Verbundvorhaben: "Advanced Shaped Sandwich Composites for Mechanical, Thermal and Acoustic Applications" – Teilprojekt D

Laufzeit: 01.01.2020 - 30.06.2023

Beschreibung:

Der vorliegende Sachbericht beschreibt die wesentlichen Arbeiten und Ergebnisse der INVENT GmbH im Verbundvorhaben ACTion.

Der Projektzeitraum erstreckt sich vom 01.01.2020 bis 30.06.2023.

Verteiler (alphabetisch):

INVENT GmbH

Technische Informationsbibliothek (TIB)

Projektträger PTJ (Jülich)

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

Vers.	Datum:	Änderung	Seiten	Verfasser
A	20.10.2023	Ursprungsfassung	alle	OPMA, HUOL

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzbericht.....	4
1.1	Aufgabenstellung	4
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
1.4	Stand der Technik und Wissenschaft zu Beginn des Vorhabens.....	7
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	8
2	Eingehende Darstellung	9
2.1	Erzielte Ergebnisse	9
2.1.1	Luftfahrtspezifische Leichtbauschublade	9
2.1.2	Auszugversuche.....	19
	Quellen	23
3	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	25
4	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	25
5	Nutzen, Verwertbarkeit (fortgeschriebener Verwertungsplan).....	25
5.1	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	25
5.2	Wissenschaftliche / technische Erfolgsaussichten.....	26
5.3	Wissenschaftliche / technische Anschlussfähigkeit	27
6	Externer Fortschritt auf dem Gebiet.....	28
7	Veröffentlichungen der Ergebnisse nach Nr. 5 der NKBF	28

1 Kurzbericht

1.1 Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der Reduktion von Treibhausgasemissionen können neuartige multifunktionale Leichtbaustrukturen einen wesentlichen Beitrag leisten. Für mobile Anwendungen ergeben sich dabei mehrfache Wirkmechanismen. Einerseits die Massereduktion von Einzelkomponenten. Zum anderen das Downsizing von in Wechselwirkung stehenden Komponenten. Beides führt zu einem verringerten Gesamtfahrzeuggewichtes und damit zu einem geringeren Verbrauch im Betrieb. Der Einsatz neuer Materialklassen und Bauweisen ermöglicht darüber hinaus neue Funktionen zu integrieren sowie deren Fertigung selbst effizienter zu gestalten. Einen besonders vielversprechenden Ansatz liefern Sandwichstrukturen. Sie zeichnen sich durch eine Kombination aus einem leichten Kernmaterial und steifen, hochfesten Deckschichten aus. Neben der hervorragenden mechanischen wie Leistungsfähigkeit, können weitere Funktionen wie akustische oder thermische Isolation integriert werden. Dies ermöglicht die Auslegung von Sandwichstrukturen im Hinblick auf unterschiedliche funktionale Entwicklungsziele.

Aktuell werden Sandwich-Strukturen jedoch im großtechnischen Fahrzeugbau kaum eingesetzt. Bei den bisherigen Ansätzen werden große, flächige Kerne durch unterschiedliche Fügeverfahren mit massiven Deckschichten verbunden. Im Gegensatz dazu benötigt die Automobilindustrie komplexe geformte Teile, die dann nur durch arbeitsintensive Prozesse realisiert werden können, was zu hohen Kosten führt.

Um die Nachteile bei der Herstellung komplex geformter Sandwichstrukturen zu überwinden, hat Volkswagen das IQ-Foam-Verfahren entwickelt. Mit Hilfe des Vorhabens soll die grundlegende Eignung der neuen Materialklasse für industrielle Anwendungen und deren Möglichkeit zur Funktionsintegration untersucht werden. Weiterhin sind die fertigungstechnischen Einflussgrößen vollständig zu verstehen und die Eignung des Prozesses für die Großserienfertigung von Automobilteilen zu ermitteln. Im Konsortium sollen darüber hinaus alternative Herstellungsverfahren unter Verwendung von Pressen und Autoklaven für die künftige industrielle Produktion kleiner und mittlerer Stückzahlen erforscht werden sowie ein Entwurfswerkzeug (Design-Tool) zur Planung, Auslegung und Bewertung der neuen Materialklasse entwickelt und dessen Übertragbarkeit auf andere Anwendungsbereiche, insbesondere auf die Luft- und Raumfahrtindustrie, geprüft werden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Verbundvorhaben wurde initiiert, um ein praktikables Produktionsverfahren für die großtechnische Herstellung komplex geformter Sandwichstrukturen auf der Basis thermoplastischer Materialien zu entwickeln. Zu diesem Zweck wird das vom Projektpartner VW patentierte und modifizierte Spritzgussverfahren namens IQ-Foam mit einem derzeitigen TRL von 3-4 untersucht. Das IQ-Foam-Verfahren verwendet eine speziell entwickelte Einheit, um das Polymer mit einem Gas unter hohem Druck zu imprägnieren. Um seine Vorteile für die

 INVENT	Sachbericht: ACTION Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Großserienproduktion zu demonstrieren, wird eine Weiterentwicklung auf einen TRL von 5 angestrebt.

Hauptvoraussetzung für die Vorhabensdurchführung war die Fusion der einzelnen und vor allem branchenübergreifenden Fachkompetenzen der am Projekt beteiligten Partner. Diese reichen von der experimentellen Charakterisierung der Materialklasse, deren Funktionsprüfung und numerischen Simulation sowie digitaler Abbildung bis hin zur Umsetzung geeigneter industriell anwendbarer Formwerkzeuge und Fertigungsverfahren. Die finale Eignung wurde einerseits durch die Herstellung generischer Teststrukturen in verschiedenen Maßstäben und andererseits durch eine umfangreiche Modellierung von Energie- und Ressourcenflüssen für innovative Fertigungsprozesse und Prozessketten bewertet.

Für die erfolgreiche Bearbeitung des Vorhabens waren die Verteilung, Bearbeitung und Koordinierung der Aufgaben entsprechend den jeweiligen Kompetenzfeldern nötig sowie ein intensiver Austausch zwischen den Partnern über die Anforderungen der jeweils branchenüblichen Werkstoffe und Prozesse hinweg. Das Konsortium wurde somit aus einer sinnvollen und erfolgsorientierten Kombination innovativer Partner gebildet.

Einen weiteren Aspekt bildeten die Internationalisierungsaktivitäten der OHLF im Rahmen des BMBF-Programms "Internationalisierung von Spaltenclustern, Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken" ab. Hierzu wurden in einem ersten Schritt Partnerschaften mit dem Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech) und der University of New South Wales (UNSW) aufgebaut, um von der starken Kompetenz auf dem Gebiet der Materialwissenschaften sowie dem hohen Marktpotenzial des asiatisch-pazifischen Raum zu partizipieren.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Für die Umsetzung des Vorhabens wurde das Projekt in sieben Arbeitspakete aufgeteilt (Abbildung 1). Ausgehend von der Definition der Anforderungen und der grundlegenden Prozessdefinition in Bezug auf die Automobilindustrie (WP1), wurde der Herstellungsprozess entwickelt und umgesetzt. Dies beinhaltete die Definition eines generischen Demonstrators, die Konstruktion und Fertigung der Formwerkzeuge sowie die Erfassung zugehöriger Fertigungsdaten. Parallel dazu wurde im Technikum der Open Hybrid LabFactory ein Laborprozess im kleinen Maßstab zur Herstellung von Probekörpern für die experimentelle Charakterisierung von geschäumten Thermoplasten (WP3) aufgebaut. Die Ergebnisse bildeten die Grundlage der numerischen Simulationen zur Formfüllung sowie der mechanischen und physikalischen Eigenschaften in WP5 und wurden mit Ergebnissen der Prozesscharakterisierung des Spritzgießprozesses aus WP2 verifiziert. WP4 fokussierte sich auf industrielle Anwendungen weiterer Märkte mit kleinen und mittleren Stückzahlen sowie geeigneter Verfahren. Parallel dazu wurden Modelle zur Bewertung der Umwelt- und Kostenauswirkungen der Herstellung in WP6 entwickelt. Abschließend erfolgte der Aufbau eines Design-Tool für funktional integrierte Sandwich Verbundwerkstoffe (WP7).

	Sachbericht: ACTION Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

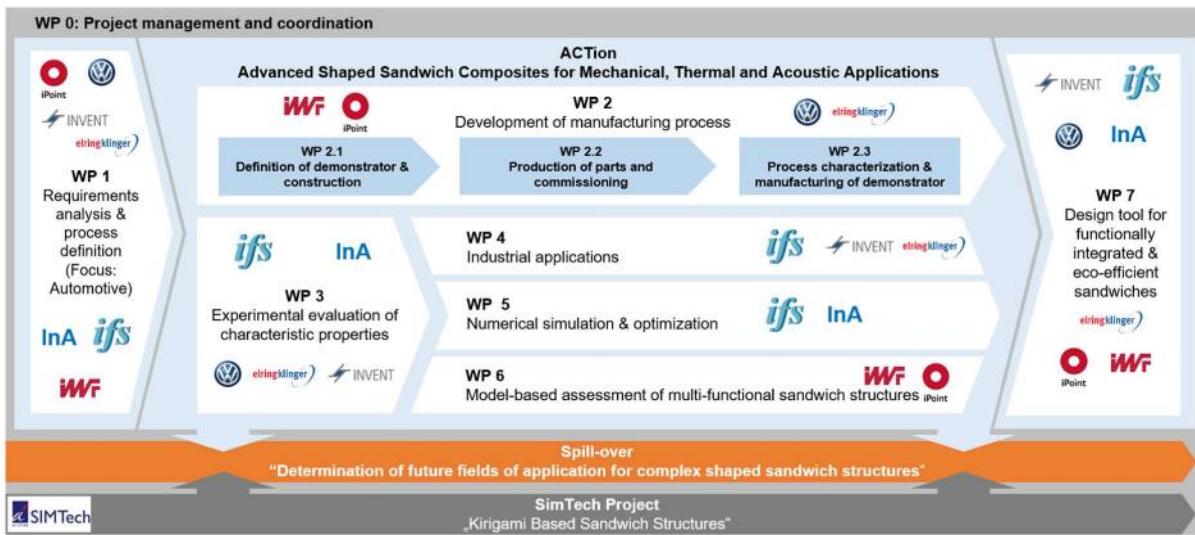


Abbildung 1: Ablauf und Arbeitsplanung im Vorhaben

Die INVENT GmbH engagierte sich anhand eines abgestimmten Arbeitsplans und der Inhalte laut Vorhabensbeschreibung. In regelmäßigen Telefonkonferenzen und Projekttagen erfolgte ein kontinuierlicher Austausch sowie eine Konkretisierung der Inhalte (HAP0). Die INVENT GmbH unterstützte bei der Anforderungsanalyse und Lastenheftdefinition (HAP1) sowie der Umsetzung des Design-Tools (HAP7). Hauptverantwortlich übernahm INVENT in HAP3 die Materialcharakterisierung sowie in HAP4 die Arbeiten zu alternativen Anwendungen der neuen Materialklasse.

Innerhalb des angesetzten Zeitrahmens (01.01.2020 bis 31.12.2022) wurde das Vorhaben einmalig kostenneutral bis zum 30.06.2023 verlängert. Die Gründe hierfür lagen in den maßgeblichen Auswirkungen der Coronapandemie.

Arbeitspaket	2020												2021												2022												2023										
	Kalendermonat		Projektkontrakt										Kalendermonat		Projektkontrakt										Kalendermonat		Projektkontrakt										Kalendermonat		Projektkontrakt								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42					
HAP 0 Project Management and Coordination	p																																														
HAP 1 Requirements analysis & process definition (automotive)																																															
AP 1.1 Requirement Analysis and Technology Screening	p																																														
AP 1.2 Definition of Production Process and Materials	p																																														
HAP 2 Development of manufacturing process																																															
AP 2.1 Definition of Demonstrator & Design																																															
AP 2.2 Production of Parts, Assembly and Commissioning																																															
AP 2.3 Process Characterisation & Manufacturing of Demonstrator																																															
HAP 3 Experimental evaluation of characteristic properties																																															
AP 3.1 Mechanical Characterisation																																															
AP 3.2 Rheological Behaviour																																															
AP 3.3 Mechanical Characterisation	r																																														
AP 3.4 Acoustic Characterisation																																															
AP 3.5 Thermal Characterisation																																															
HAP 4 Industrial applications																																															
AP 4.1 Technology Screening for Future Fields of Application	r																																														
AP 4.2 Tailored Production Techniques for Small & Medium Series	r																																														
HAP 5 Numerical simulation & optimization																																															
AP 5.1 Numerical Simulation of Mould Filling and Foaming Process																																															
AP 5.2 Numerical Simulation of Mechanical and Thermal Properties																																															
AP 5.3 Numerical Simulation of Acoustic Properties																																															
HAP 6 Model-based assessment of multi-functional sandwich structures																																															
AP 6.1 Model Based Assessment of Environmental and Cost Impacts of Sandwich Manufacturing																																															
AP 6.2 Automated Data Analytics Based on Live Manufacturing Data																																															
AP 6.3 Data-Driven Process Control																																															
AP 6.4 Scale Up Model for Automotive Manufacturing Scenario																																															
HAP 7 Design tool for functionally integrated & eco-efficient sandwiches	p																																														

Abbildung 2: Projektplan mit Beteiligung der INVENT GmbH (p = participating, r = responsible)

1.4 Stand der Technik und Wissenschaft zu Beginn des Vorhabens

Batteriebetriebene Fahrzeuge werden in Zukunft die derzeit dominierenden Verbrennungsmotoren ersetzen. Die Integration von Batteriemodulen in die Fahrzeuge wird jedoch zu einem höheren Gewicht führen, was die Reichweite begrenzt, und die Effizienz verringert. Es ist daher notwendig, das Gewicht der Fahrzeugstruktur zu reduzieren und damit das Gewicht der Batteriemodule durch großserientaugliche Leichtbaukonzepte zu kompensieren. Der Ansatz in diesem Projekt ist daher die großtechnische Herstellung von fortschrittlich geformten Sandwich-Verbundwerkstoffen für mechanische, thermische und akustische Anwendungen.

In der Luft- und Raumfahrt sind diese Sandwichstrukturen mit Honigwabenkern bereits weit verbreitet [1]. Allerdings ist die Formgebung begrenzt und deren arbeitsintensive Herstellungsverfahren stehen einer breiten Anwendung entgegen. In jüngster Zeit wurde eine Reihe thermoplastischer Sandwichstrukturen vorgeschlagen, die jedoch den Anforderungen der Automobilindustrie nicht gerecht werden [2–4]. Die im Rahmen des Stands der Technik identifizierten Herstellungsverfahren weisen bestimmte Nachteile auf, da sie zu komplex sind, hohe Investitionskosten erfordern und zu einer schlechten Oberflächenqualität führen [5–11].

Die Hauptvorteile von Polymerschäumen sind ihre Komprimierbarkeit, ihre geringe Wärmeleitfähigkeit und ihr Energieabsorptionsvermögen. Durch die Kombination von porösen Kernen und steifen Deckschichten können sie hohe Lasten tragen und weisen hervorragende thermische und akustische Eigenschaften auf. Insbesondere durch geschäumte Kerne bietet sich ein hohes Potenzial für die Integration verschiedener Funktionen.

Die Eigenschaften von Polymerschäumen werden durch die Polymermatrix, die Gaszusammensetzung, die Zellstruktur und die Schäumungstechnologie bestimmt. Die Herstellung von Schaumstoffen erfordert die Zugabe von Gas zu einer Polymermatrix entweder durch chemische Reaktionen oder auf physikalischem Wege. Der Schäumungsprozess kann in vier Hauptschritte unterteilt werden: Lösen des Gases im Polymer, Keimbildung von Zellen, Zellwachstum und Schaumstabilisierung in der Form.

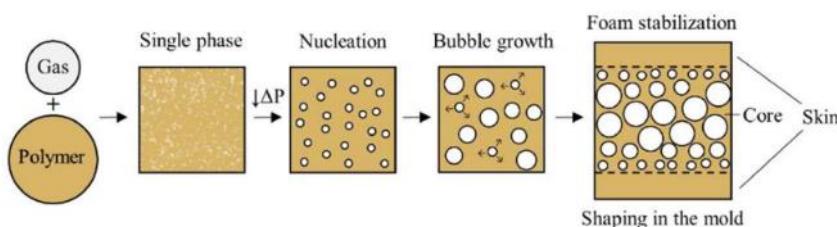


Abbildung 3: Arbeitsschritte des Thermoplast-basierenden Schäumungsprozesses

Das neuartige IQ-Foaming-Verfahren wird durch ein Inertgas ausgelöst, das im Extruder unter hohem Druck in dem geschmolzenen Thermoplast gelöst wird. Dadurch entsteht eine einphasige Flüssigkeit mit einer homogenen Gasverteilung im Polymer. Wenn diese Phase durch die Düse in das Werkzeug eingespritzt wird, löst der schnelle Druckabfall die Keimbildung des Gases aus, wodurch Millionen von gut verteilten Zellen entstehen. Hierbei

 INVENT	Sachbericht: ACTion Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

vereint das Verfahren die Möglichkeit der individuellen Schaumbildung, um sowohl die Komplexität des Auflösungsprozesses als auch die Investitionskosten zu reduzieren.

Die wichtigsten Produktionsparameter, die das Ergebnis des Schäumprozesses beeinflussen, wurden bereits ausgiebig untersucht. Dazu zählen Gehalt und Art des verwendeten Treibmittels, die Temperatur und der Druckverlauf [2, 12]. Die Eigenschaften der geschäumten Sandwiches wiederum hängen einerseits von den Materialeigenschaften des Grundmaterials und andererseits von der Zellbildung und Zellgröße ab [2]. Hier definieren sie die Dichte und damit die mechanischen, thermischen und akustischen Eigenschaften [13-18]. Es besteht eine direkte Korrelation zwischen den Herstellungsparametern und den resultierenden Eigenschaften [16]. Es gibt weiterhin vereinfachte Ansätze zur Vorhersage und Optimierung des akustischen [19-22], thermischen [23, 24] und mechanischen [25, 26] Verhalten von Sandwichstrukturen mit Schaumstoffkernen durch numerische Simulationen. Für eine exakte Vorhersage werden jedoch noch valide Simulationsmodelle benötigt. Insbesondere bei der Erweiterung von Sandwichstrukturen zu Metamaterialien mit einer gezielten Verbesserung der akustischen Eigenschaften in kritischen Frequenzbereichen und einem komplexeren Aufbau. Um die neue Materialklasse weiteren Anwendungen verfügbar zu machen, ist eine detaillierte Charakterisierung des Herstellungsprozesses sowie die Entwicklung numerischer Simulationen, die in das neuartige Entwurfswerkzeug für die Entwicklung von funktional integrierten Sandwichstrukturen münden, erforderlich.

Die INVENT GmbH verfügt über eine profunde Expertise in der Entwicklung und Realisierung von Sandwichstrukturen für unterschiedliche Anwendungen in der Bahn-, Automobil- und Luftfahrtindustrie. Im Rahmen des Projektes wird sich INVENT daher auf die Identifizierung und Erschließung zukünftiger Anwendungsfelder für funktionsintegrierte Sandwichstrukturen der neuen Materialklasse konzentrieren. Als ein zugelassener Hersteller von Serienbauteilen und Komponenten für den Luft- und Raumfahrtsektor ist INVENT nach DIN EN 9001 und DIN EN 9100 zertifiziert und nach NADCAP akkreditiert. Für die erforderlichen Materialcharakterisierungen kommen die kalibrierten Anlagen und Prüfmittel zum Einsatz.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt ACTion wurde in guter Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern durchgeführt. Durch die branchenübergreifenden Fachkompetenzen der Projektpartner konnten alle Aufgaben projektintern verteilt bearbeitet werden. Für INVENT war somit eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen nicht notwendig.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Erzielte Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Ergebnisse der INVENT GmbH im Rahmen des Projektes ACTion dargestellt.

2.1.1 Luftfahrtspezifische Leichtbauschublade

Innerhalb des Projektkonsortiums war INVENT verantwortlich, weitere industrielle Anwendungen für die zu entwickelnde Technologie zu identifizieren. Dazu wurde ein Anforderungskatalog aufgebaut, welcher die Kriterien:

- für Luftfahrtanwendungen qualifizierte Materialien
- mögliche Komponentengruppen
- mechanische Eigenschaften
- Abschätzung der wirtschaftlichen und technologischen Perspektiven

berücksichtigt und für die Anwendungen bewertbar macht. Die Auswertung im Konsortium ergab, dass aufgrund der sehr unterschiedlichen Anforderungsprofile der Branchen keine ausreichende Gemeinsamkeit gefunden werden konnte. Als Resultat wurde ein luftfahrtnaher Demonstrator spezifiziert und als generischer Demonstrator umgesetzt.

Hierfür wurden zunächst potenziell geeignete Luftfahrtstrukturen gescreent. Als vielversprechende Komponenten kristallisierten sich Interieurbauteile heraus, welche in großen Stückzahlen benötigt werden und regelmäßig getauscht werden. Dazu gehören beispielsweise Klapptische für Sitze, Sitzverkleidungen oder Schubladen.



Abbildung 4: Klapptisch¹



Abbildung 5: Thermoplastische Sitzverkleidungen, Armlehnen²



Abbildung 6: Schublade³

Im nächsten Schritt wurde der Demonstrator weiter konkretisiert. Dabei wurde die Schublade für einen Flugzeugtrolley ausgewählt, da diese Modular aufgebaut ist, den Einsatz von Gleichteilen ermöglicht sowie verschiedene Varianten abbildbar sind. Für die Fertigung der Schublade stand jedoch kein Formwerkzeug zur Verfügung, sodass auf bestehende Werkzeuge im Konsortium zurückgegriffen werden musste. Mittels diesem wurden durch die

¹ The Smart Tray: <http://www.thesmarttray.com/>

² PriestmanGoode.; <https://www.priestmangoode.com/project/idea-air/>

³ EGRET: <http://egret.aero/en>

 INVENT	Sachbericht: ACTION Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Projektpartner Probekörper bzw. Halbzeuge im Ku–Fizz–Verfahren in verschiedenen Konfigurationen und auf Basis unterschiedlicher Prozessparametern hergestellt. Einer der beigestellten Halbzeuge ist in Abbildung 7 dargestellt. Die Halbzeuge weisen einen umlaufenden Absatz auf. Auf der Oberseite befindet sich eine Verrippung in Form eines „U“. Die Grundabmessungen der Halbzeuge beträgt ca. 400 mm x 103 mm x 5mm.



Abbildung 7: Durch die Projektpartner beigestellter Halbzeuge in Nahaufnahme.

Da keine direkte Verarbeitung der Halbzeuge möglich war, erfolgte in einem ersten Schritt die Spezifikation von Grundgeometrien aus den Halbzeugen sowie deren Optimierung hinsichtlich ihrer Leichtbaugüte. Es folgte die Auswahl und Konzeptionierung möglicher Verbindungstechniken sowie die Integration von Anbindungspunkten am Beispiel der Schublade.

Hinsichtlich der Fügung wurden verschiedene Fügekonzepte und -elemente evaluiert (Abbildung 9):

1. Exzenter
2. Steckdübel
3. Kunststoff-Steckverbindung
4. Direktverschraubung
5. Stoffschlussverbindung (Klebverbindung mit bspw. Fingerzinken)
6. Insert

Die optimale Fügetechnologie konnte zu diesem Zeitpunkt jedoch nicht bestimmt werden, da sie stark von den jeweiligen Wandstärken der zu betrachtenden Komponente abhängt. Eine Bewertung mittels vorläufigen CAD-Modell (Abbildung 8) hat ergeben, dass die Konzepte 1 bis 4 nur umsetzbar sind, wenn eine Wandstärke von mehr als 6 mm vorliegt. Unterhalb dieser Grenze würden die notwendigen Dübel, Schrauben oder Stecker zu klein ausfallen, um sinnvoll eingebracht zu werden. Wandstärken unterhalb von 6 mm müssen dementsprechend stoffschlüssig umgesetzt werden.

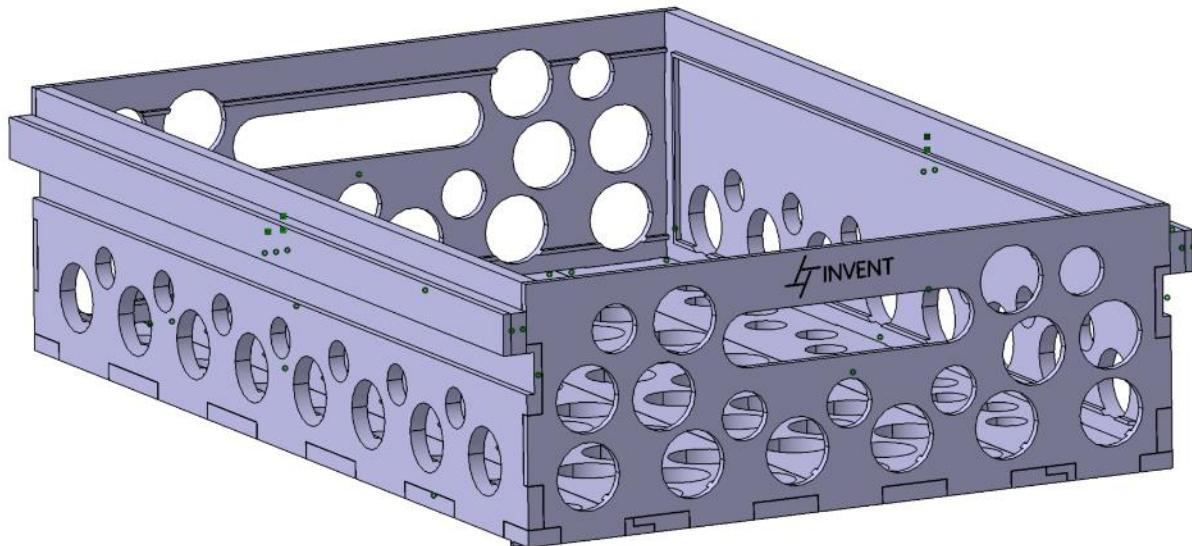


Abbildung 8: Erstentwurf Funktionsmuster Schublade. Einzelkomponenten über Fingerzinken verklebt.



Abbildung 9: Fügekonzepte für die Schublade. V.l.n.r.: Exzenterverbindung, Steckdübel, Kunststoff - Steckverbindung, Direktverschraubung, Klebverbindung, Insert.

Im nächsten Schritt wurde der luftfahrtbezogene Demonstrator definiert. Basierend auf den vorherigen Betrachtungen über Verbindungsmöglichkeiten der Einzelkomponenten wurde die stoffschlüssige Verbindung in Form der Vollverklebung ausgewählt. An ersten von den Projektpartnern beigestellten Halbzeugen wurden Klebetesten durchgeführt. Damit wurde die Prozesssicherheit nachgewiesen. Hieraus wurde die konstruktive Gestaltung der Schublade finalisiert, Zeichnungen erstellt, der Zerspanungs- und Fügeprozess entwickelt sowie die Fräodateien abgeleitet. Weiterhin wurden die Einzelteile der Schublade gefräst. Das CAD-Modell der gefertigten Schublade ist in Abbildung 10 dargestellt.

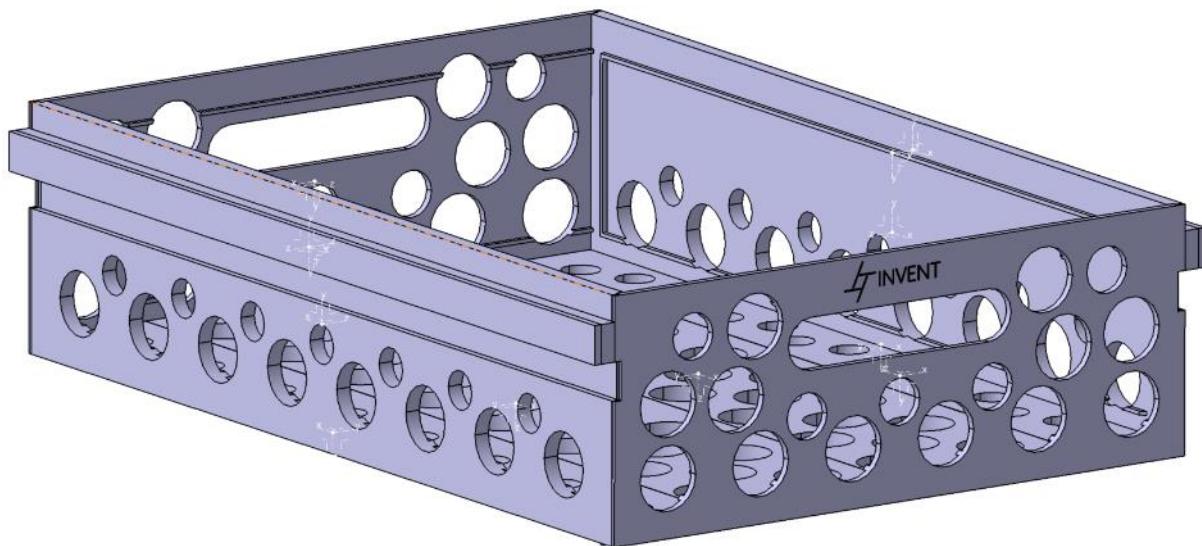


Abbildung 10: CAD - Modell der gefertigten Schublade.

Im späteren Projektverlauf wurden der INVENT GmbH weitere Platten für die Herstellung des Demonstrators beigestellt. Die Halbzeuge sind aus dem Werkstoff PP5030HC gespritzt. Die beigestellten Halbzeuge sind in Abbildung 11 und Abbildung 12 dargestellt. Gegenüber den Ursprungsplatten sind diese durch die Beimengung eines Rußanteiles von 2-5 % schwarz eingefärbt. Die Probenplatten zeigten ungleichmäßige Farbverläufe bzw. Schlieren auf der Oberfläche. Weiterhin deutlich erkennbar zeichneten sich der Anspritzpunkt, sowie die Vorzugsrichtung des einströmenden und aufschäumenden Materials ab. In der hinteren Plattenhälfte konnten Welligkeiten auf der Oberfläche festgestellt werden. In Längsrichtung zeigte sich eine Krümmung bzw. Aufwölbung der Platte von unter 1 mm.



Abbildung 11: Durch die Projektpartner beigestellte Halbzeuge der 2. Charge zur Fertigung einer Schublade. Schwarz eingefärbt mittels Rußpartikel.



Abbildung 12: Durch die Projektpartner beigestelltes Halbzeug in Nahaufnahme.

Für die Erstellung der Kontur - und Lochfräslungen sowie zur Erhöhung der Leichtbaugüte wurde auf das in der Raumfahrt übliche Zerspanungskonzept zurückgegriffen. Hierbei erfolgt eine Fixierung der Probenkörper durch Niederhalten mittels Vakuums. Damit kann auf zusätzliche Aufspannwerkzeuge verzichtet werden. Während der Umsetzung zeigte sich jedoch, dass der angestrebte Zerspanungsgrad die erforderliche Mindestansaugfläche unterschreitet. In Kombination mit sich lösenden Materialspannungen, bogen sich die Platten während des Fräsvorganges nach oben. Als Resultat entstanden Abweichungen an den Fügekanten. Ebenfalls ersichtlich wurden die durch den Spritzguss herbeigeführte porige Schaumstruktur im Inneren (mit einer Dichteänderung in Dickenrichtung der Platte). Eine Schnittkanne durch die Platte führt folglich zu einer ungleichmäßigen und offenporigen Fügekante.

Im Zuge einer ersten Teilmontage des Demonstrators wurde festgestellt, dass die auftretenden Deformationen nur unter nicht vernachlässigbaren Kraftaufwand zu kompensieren sind. In Kombination mit den ungleichmäßigen Oberflächen der zu fügenden Komponenten erfolgten daher erneut Testklebungen mit zwei unterschiedlichen Klebstoffsystmen. Für die Testklebungen wurden die Halbzeuge in geometrisch identische Probenkörper zerspant. Die Probenkörper wurden für die Testklebungen anwendungsnahe auf Stoß und in einem 90° Winkel verklebt. Der Testaufbau sowie die Geometrie der Testklebungen sind in Abbildung 13 dargestellt.



Abbildung 13: Ausgehärtete Klebverbindungen zur qualitativen Bewertung der Fügeverbindung

Gegenüber den ursprünglichen Testverklebungen der nicht mit Rußpartikeln versetzten Halbzeuge (vergleiche Abbildung 7 auf Seite 10) musste festgestellt werden, dass die

Verbindungen keine Kräfte in ausreichendem Maße übertragen. So löste sich ein Teil des Klebstoffes nach Entfernen der Fügevorrichtung aus dem Klebspalt. Weiterhin trennten sich die Fügepartner bereits unter geringer Krafteinwirkung.

Aus den zuvor beschriebenen Gründen wurden weitere potenziell für die Schublade geeignete Fügetechnologien erarbeitet. Eine Übersicht dazu ist in Tabelle 1 gegeben. Die gelb und grün markierten Fügetechnologien wurden qualitativ erprobt. Die Klebverbindung mit Cyanacrylatklebstoff des Typs Klebfix 2K ergab die vielversprechendsten Ergebnisse, sodass diese Fügetechnologie für die Fertigung des Demonstrators verwendet wurde. Die Verklebung erfolgt bei Raumtemperatur.

Tabelle 1: Qualitative Bewertung möglicher Stoffschlüssiger Fügeverbindungen im Kontext der Fertigung des Demonstrators. Grün – weiterverfolgt, Rot – verworfen

Variante	Verbindung	Verarbeitung	Vorbereitung der Fügefläche	Bemerkungen
Klebverbindung ScotchWeld 9323	--	o	Reinigen + Schleifen	
Klebverbindung ScotchWeld 9323	++	o	Laseraktivieren	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwendige Vorbereitung • Mehrstufiger Prozess • Laseraktivierung nicht ohne Umspannen und anpassen des Fokuspunktes möglich
Klebverbindung Sikaflex	--	-	Reinigen + Schleifen	
Klebverbindung Schmelzklebstoff	+	--	Reinigen + Schleifen	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichmäßige Fügen der Fügepartner nicht realisierbar
Klebverbindung Cyanacrylatklebstoff Klebfix 2K	++	++	Reinigen + Schleifen	<ul style="list-style-type: none"> • Schleifende Vorbehandlung
Laserschweißen	--	--	Reinigen	
Kunststoffschweißen	++	+	Reinigen	<ul style="list-style-type: none"> • Punktuelle Verbindung • Einfach einbringbar • Kein sprödes Bruchbild • Verstärkung durch beidseitiges Einbringen • Hohe Nachbearbeitung • Zugänglichkeit eingeschränkt

Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft die Untersuchungen zu den in Tabelle 1 aufgeführten Verbindungsvarianten:



Abbildung 14: Probekörper gefügt durch Kunststoffschweißen.



Abbildung 15: Probekörper gefügt mittels Cyanacrylatklebstoff

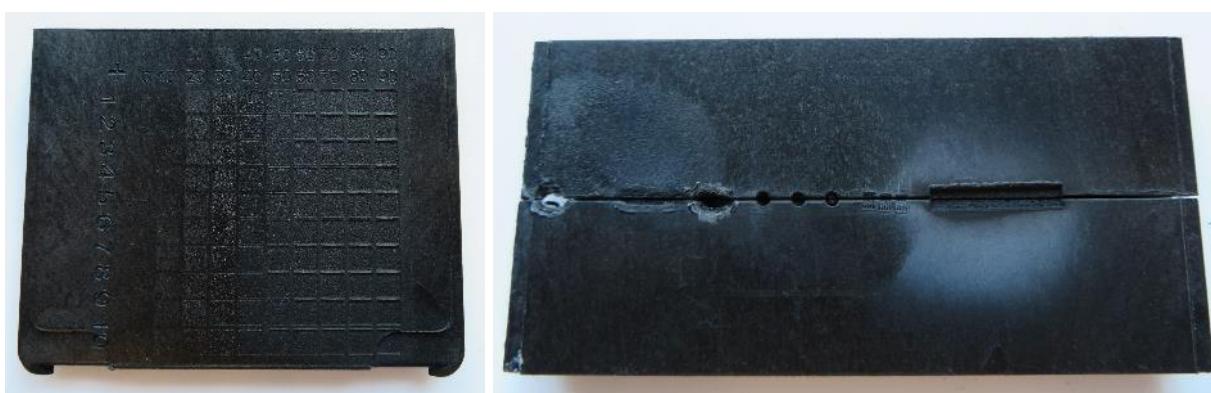


Abbildung 16: Probekörper gefügt mittels Laserschweißen. Links: Ermittlung der Laserschweißparameter. Rechts: Gefügte Probekörper.



Abbildung 17: Probekörper gefügt mittels Schmelzklebstoff

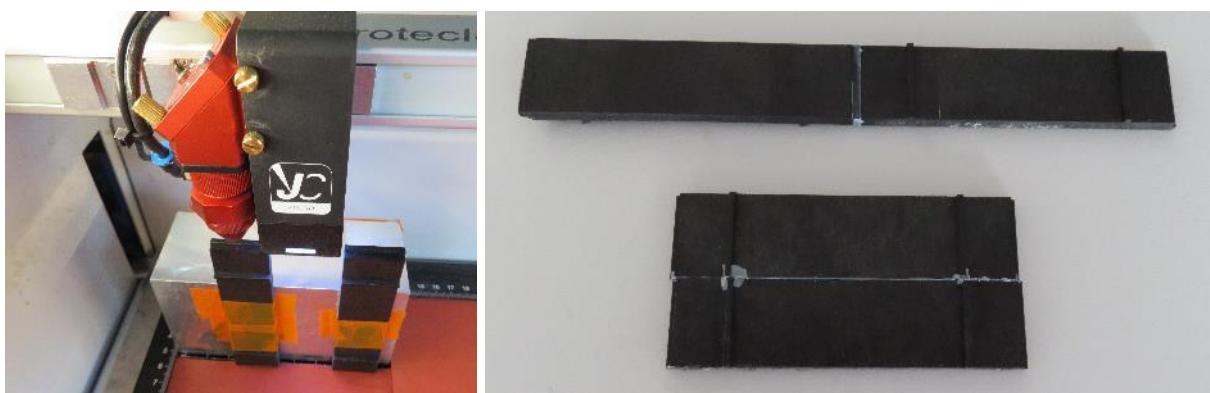
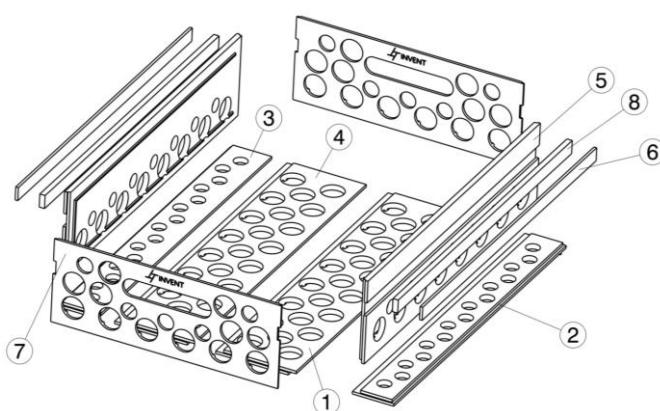


Abbildung 18: Probekörper gefügt mittels Laservorbehandlung und anschließender Verklebung mit ScotchWeld 9323. Links: Laserbehandlung der Fügeflächen. Rechts: Gefügte Probekörper.

In den folgenden Abschnitten wird der Fertigungsprozess zur Herstellung der Schublade beschrieben. Dazu sei in Abbildung 19 auf eine Explosionsdarstellung mit dazugehöriger Stückliste der Einzelkomponenten verwiesen. Zunächst wurden aus den in Abbildung 11 auf Seite 12 gezeigten Halbzeugen die Einzelkomponenten (Abbildung 20) für die Schublade hergestellt.



9	1	-	Klebstoff
8	2	Stck	Schienenverstärkung 6mm
7	2	Stck	Facepanel
6	2	Stck	Schienenverstärkung 3mm
5	2	Stck	Seitenplatte
4	1	Stck	Boden mittig links
3	1	Stck	Boden links
2	1	Stck	Boden rechts
1	1	Stck	Boden mittig rechts
Pos.	Menge	Einh.	Benennung
1	2	3	4

Abbildung 19: Explosionsdarstellung und dazugehörige Stückliste der Demonstratorschublade.

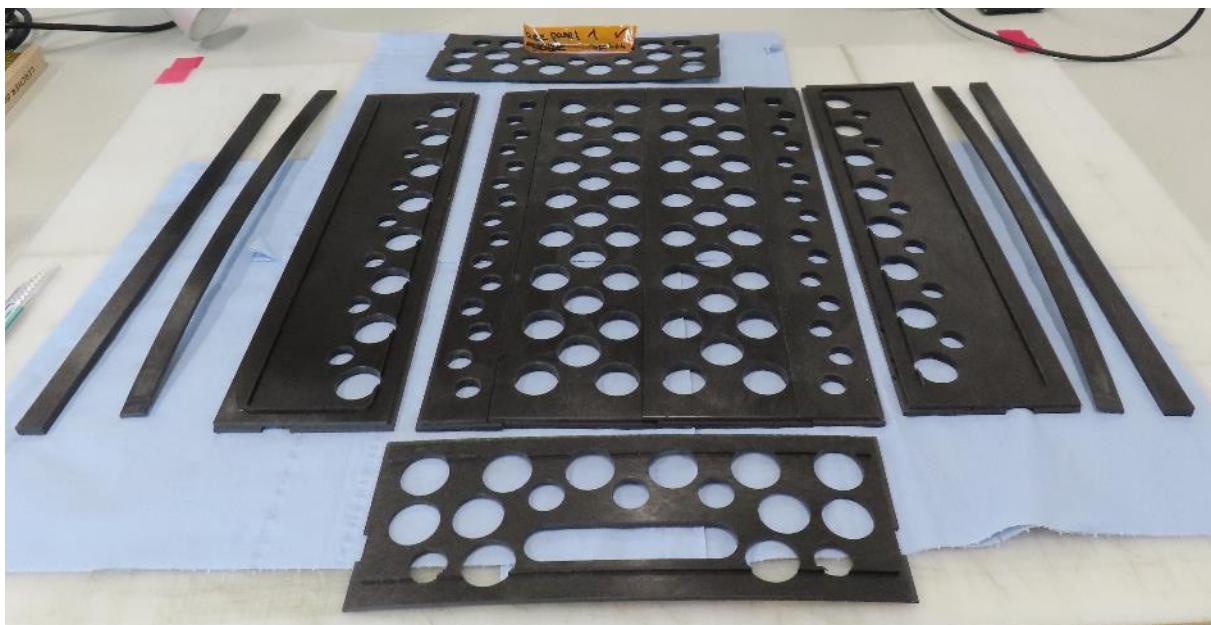


Abbildung 20: Gefräste Einzelteile für die Demonstratorschublade.

Im zweiten Schritt wurden die fugennahen Bereiche auf den Einzelkomponenten maskiert. Dadurch kann das Anhaften von überschüssigem Klebstoff vermieden werden. Im nächsten Schritt wurden die Schienenverstärkungen zueinander verklebt (Abbildung 21). Im dritten Fertigungsschritt wurden die mittleren Bodenplatten zueinander gefügt (Abbildung 22) und danach die äußeren Bodenplatten zu den inneren Bodenplatten gefügt (Abbildung 23). Die Seitenplatten wurden im vierten Fertigungsschritt mit den Bodenplatten gefügt (Abbildung 24). Zur Ausrichtung wurden dabei Hilfswinkel verwendet. Im letzten Fertigungsschritt wurde das hintere Facepanel gefügt (Abbildung 25). Das vordere Facepanel wies Risse auf, sodass dieses nicht mehr gefügt wurde.



Abbildung 21: 1) Fügen der Schienenverstärkungen

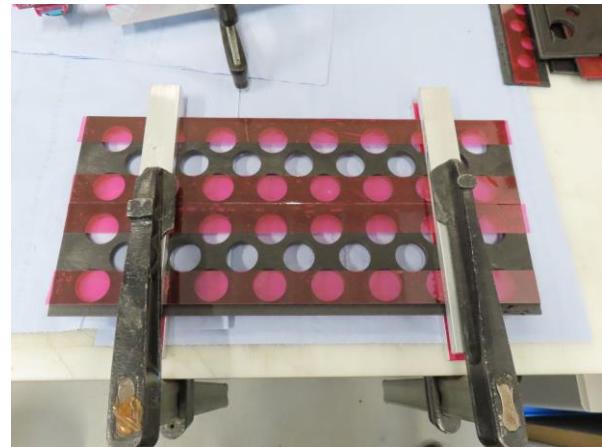


Abbildung 22: 2) Fügen der mittleren Bodenplatten

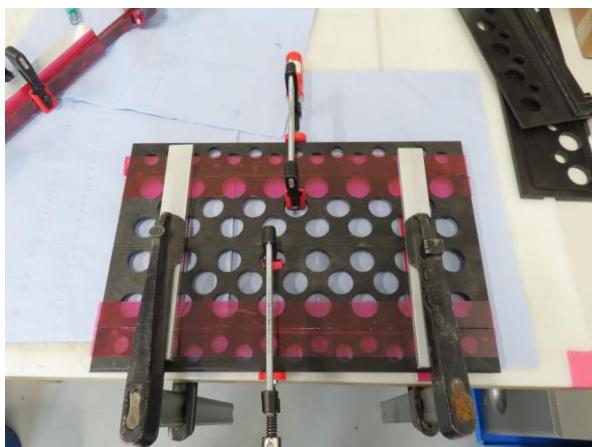


Abbildung 23: 3) Fügen der Bodenplatte

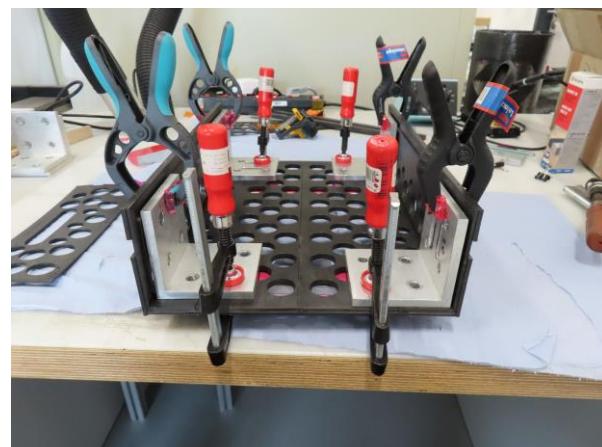


Abbildung 24: 4) Fügen der Seitenplatten



Abbildung 25: 5) Fügen des Facepanels



Abbildung 26: Ergebnis der gefügten Demonstratorschublade.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich das Verkleben durch den hohen Verzug der Facepanels als äußerst schwierig erwies. Als besondere Herausforderung zeigten sich erhöhte Spaltmaße. Es wurde versucht diese mittels Klemmen und Winkel zu minimieren sowie mit einer erhöhten Menge Klebstoff auszugleichen. Abbildung 26 zeigt, dass eine handfeste Verklebung dennoch möglich war. Der Verzug des Facepanels ist hier ebenfalls sichtbar.

2.1.2 Auszugversuche

Die im Projekt entwickelte Fertigungstechnologie wurde beim Projektpartner VW für die Herstellung eines Tankdeckels (Abbildung 27) an Elektrofahrzeugen ausgewählt. Die Konsortialpartner haben hierfür ein Werkzeug hergestellt und Tankdeckelklappen gefertigt.

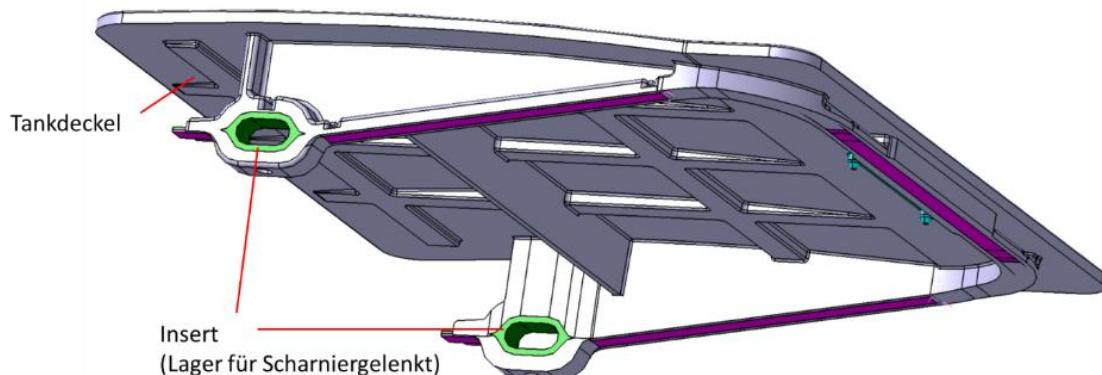


Abbildung 27: CAD-Modell des Tankdeckels

Im nächsten Schritt wurden Auszugversuche mit den Tankdeckelklappen durch die INVENT GmbH durchgeführt. Ziel der Untersuchung war die Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes im Kontext der Fertigungstechnologie und den integrierten Inserts. Im ersten Schritt wurden auftretende Lastfälle auf mechanische Einzelprüfungen übertragen und die erforderlichen Probengeometrien und -abmaße bestimmt:

- Überdrücken der Ladeklappe horizontal
 - Entspricht In-Plane Auszugsversuch der Hülse
 - oder 3-Punkt-Biegung der Klappe
- Überdrücken der Ladeklappe vertikal
 - Entspricht: Biegeversuch der Ladeklappe
 - oder Out-of-plane Auszugsversuch der Hülse
- Steifigkeit in Z-Richtung
 - Entspricht 3-Punkt-Biegung der Klappe
- Torsionssteifigkeit
 - Entspricht In-Plane Auszugsversuch der Hülse

Der Tankdeckel wurde in zwei verschiedenen Konfigurationen hergestellt. Zum einen in einer mittels Ku-Fizz-Verfahren hergestellten geschäumten Variante. Ergänzend wurde eine ungeschäumte Variante mit veränderten Prozessparametern gefertigt. Unabhängig vom Fertigungsverfahren wurden je Tankdeckel zwei Inserts zur Aufnahme eines Scharniergelekes integriert.

Die Probekörper selbst wurden mittels Säge aus dem Tankdeckel herausgelöst. In Abbildung 28 sind exemplarisch 5 der Probekörper dargestellt. Bei der Versuchsmatrix wurden 8 verschiedene Konfigurationen unterschieden. Zum einen die Ladeklappe in der geschäumten und in der ungeschäumten Variante. Um mögliche Einflüsse seitens des Fertigungsprozesses wie bspw. Abstand zum Anspritzpunkt etc. zu erfassen, wurde zum anderen das linke und das rechte Insert unterschieden. Als weiterer Parameter wurde die Belastungs- beziehungsweise die Zugrichtung nach Innen und Außen unterschieden. Vergleiche hierzu Abbildung 29. Zur hinreichenden Absicherung gegen eine Streuung der Messergebnisse wurden je Konfiguration 5 Probekörper untersucht. In Summe ergeben sich damit 40 Probekörper und Versuche.



Abbildung 28: Exemplarische Darstellung von 5 Probekörpern

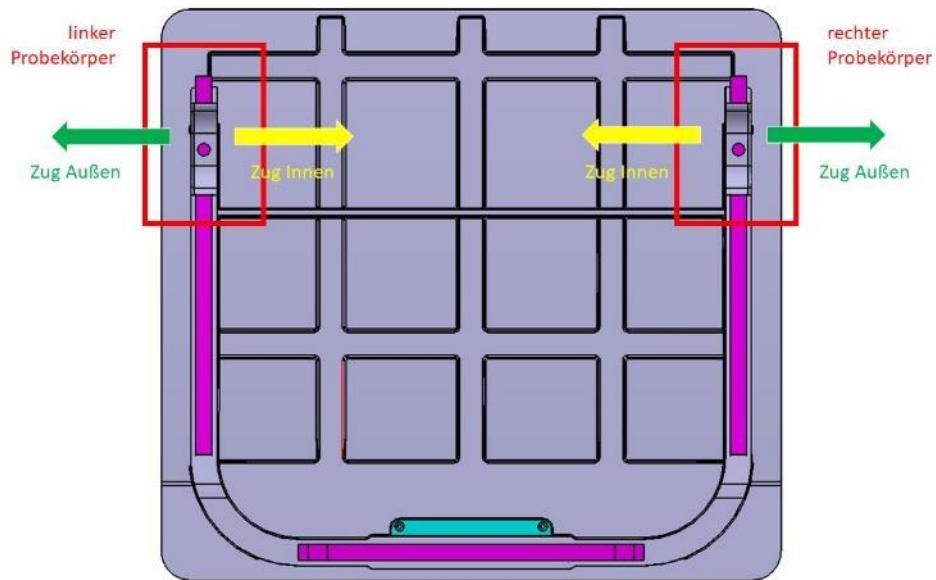


Abbildung 29: Probekörperkonfigurationen mit unterschiedlichen Belastungszuständen.

Für die spezifizierten Lastfälle und durchzuführenden Untersuchungen wurde ein Versuchsaufbau für eine Universalprüfmaschine des Typs Zwick / Roell BZ1 konzeptioniert und aufgebaut. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 30 dargestellt. Die Probe wurde mit einem Niederhalter zur unteren Einspannung gelagert. Mittels gelenkiger Krafteinleitung wurde das Insert nach oben aus der Probe herausgezogen. Als Versuchsgrößen wurden Kraft und Traversenweg aufgezeichnet.

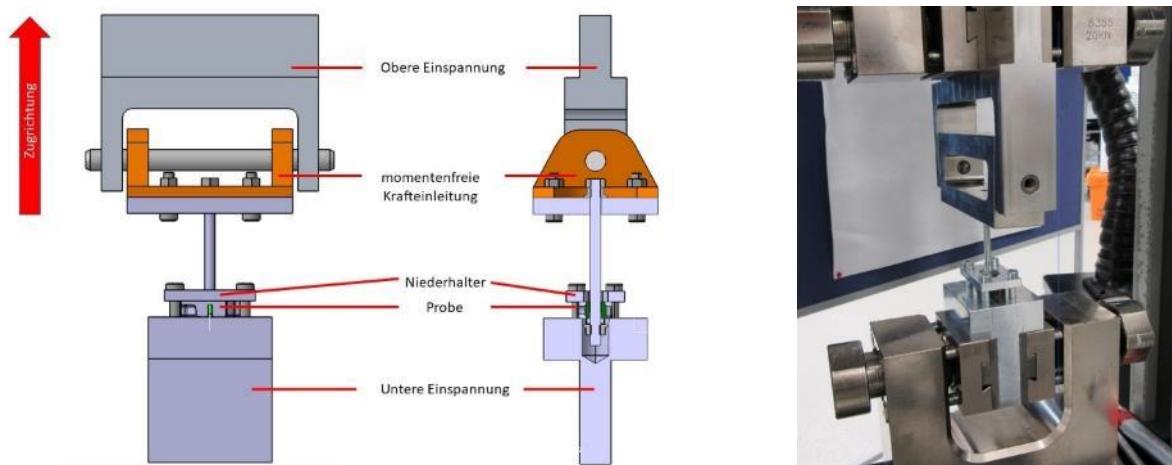


Abbildung 30: Versuchsaufbau für Auszugversuche (links) und Einbau in Zugprüfmaschine (rechts)

Einige der Komponenten des Versuchsaufbaus mussten zuvor hergestellt werden. Dies beinhaltet sowohl die Konstruktion der Bauteile als auch die Anfertigung der Fertigungsunterlagen sowie das Fräsen der Komponenten. Hierzu zählen die Komponenten

mit den Bezeichnungen Grundkörper, Niederhalter und Scheibe. In Abbildung 31 sind die Komponenten dargestellt.

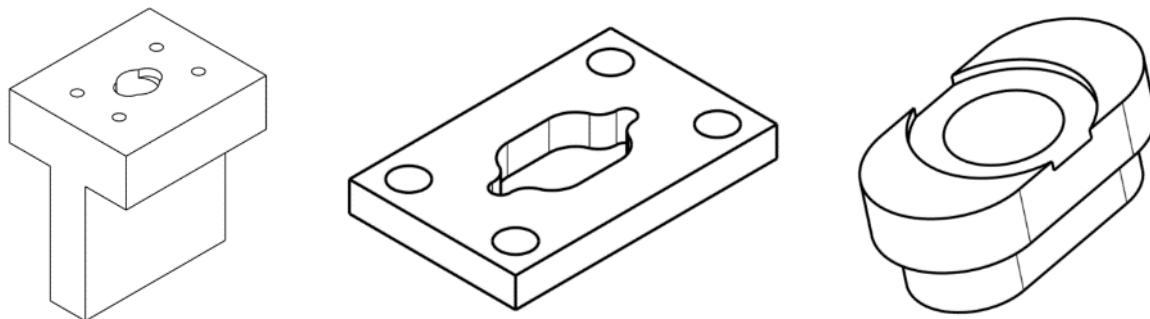


Abbildung 31: isometrische Darstellung der für den Versuchsaufbau hergestellten Komponenten. v.l.n.r.: Grundkörper, Niederhalter, Scheibe

Die Versuchsergebnisse sind in Abbildung 32 dargestellt. Erkennbar ist, dass die Belastungsrichtung nach Innen tendenziell geringe Lastübertragungen ermöglicht. Die Belastungsrichtung nach außen zeigt tendenziell höhere Kräfte. In drei von vier Fällen zeigt sich, dass die geschäumte Variante mehr Last übertragen kann als die ungeschäumte Variante. Dies entspricht nicht den Erwartungen, da die geschäumte Variante lokal weniger Material erwarten lässt und damit eine geringere Festigkeit aufweisen. Dem entgegen spricht, dass die Schäumung lokal einen höheren Druck erzeugt und damit eine höhere Festigkeit. Dies konnte nicht abschließend geklärt werden, sodass hierfür weitere Arbeiten durchgeführt werden müssen.

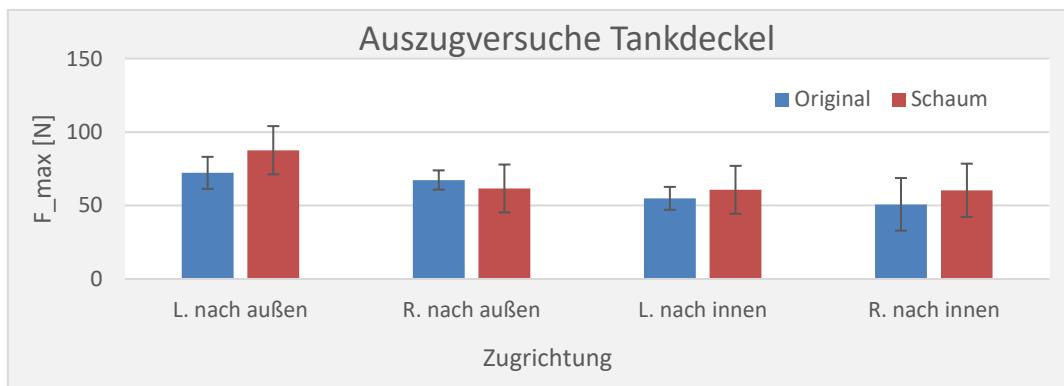


Abbildung 32: Versuchsergebnisse der Auszugversuche

Auffällig über alle Messungen ist die hohe Streuung. Erwartungsgemäß liegen für Standardmaterialien und die zugehörigen Prüfszenarien die Streuungen unter 5%. Eine abschließende Ursachenanalyse sowie Bewertung war bis zum Zeitpunkt der Berichterstellung nicht möglich, da die erwarteten Zielgrößen durch das Konsortium nicht abschließend quantitativ benannt wurden.

 INVENT	Sachbericht: ACTION Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Quellen

- [1] PFLUG, J.: Sandwich Materials Selection Charts. In: *Journal of Sandwich Structures and Materials* vol. 8 (2006), Nr. 5, pp. 407–421
- [2] SCHREIER, P. ; MÜHLBACHER, M. ; FAFARA, M.: Multi-Materialsysteme im Automobil: Sandwichkonzepte auf Basis thermoplastischer Partikelschaume. Bayreuth, plastverarbeiter.de (2017)
- [3] GRÜNEWALD, JONAS ; PARLEVLIET, PATRICIA ; ALTSTÄDT, VOLKER: Manufacturing of thermoplastic composite sandwich structures. In: *Journal of Thermoplastic Composite Materials* vol. 30 (2017), Nr. 4, pp. 437–464
- [4] DIE BIBLIOTHEK DER TECHNIK ; SIKA ; DOW ; HENKEL ; PECOLIT (eds.): *Sandwichelemente für den Fahrzeugbau*. Band 279. : verlag moderne industrie, 2006 — ISBN 978-3-937889-21-4
- [5] Gendron, R.: Thermoplastic foam processing: principles and development 2004
- [6] Throne, J. L.: Thermoplastic foam extrusion. An introduction. Munich 2004
- [7] Blowing agents and foaming processes 2004. Shawbury 2004
- [8] Blowing agents and foaming processes 2007. Shawbury, 2007
- [9] Ergocell ermöglicht Spritzgießen von schwindungsfreiem Schaum Formteile leicht gemacht. URL: <https://industrieanzeiger.industrie.de/allgemein/formteile-leicht-gemacht/>. Abrufdatum 20.12.2018
- [10] Leicher, S.; Will, J.; Haugen, H.; Wintermantel, E.: MuCell® technology for injection molding: A processing method for polyether-urethane scaffolds. In: *Journal of Materials Science* 40 (2005) 17, S. 4613–18
- [11] Kutz, M.: *Applied Plastics Engineering Handbook. Processing and Materials*, 1. Aufl. s.l. 2011 Framework „ACTION“ Page 18 / 57
- [12] Reverchon, E.; Cardea, S.: Production of controlled polymeric foams by supercritical CO₂. In: *The Journal of Supercritical Fluids* 40 (2007) 1, S. 144–52
- [13] Steeves, C. A.; Fleck, N. A.: Collapse mechanisms of sandwich beams with composite faces and a foam core, loaded in three-point bending. Part II: experimental investigation and numerical modelling. In: *International Journal of Mechanical Sciences* 46 (2004) 4, S. 585–608
- [14] Saint-Michel, F.; Chazeau, L.; Cavaillé, J.-Y.; Chabert, E.: Mechanical properties of high density polyurethane foams: I. Effect of the density. In: *Composites Science and Technology* 66 (2006) 15, S. 2700–08
- [15] Thirumal, M.; Khastgir, D.; Singha, N. K.; Manjunath, B. S.; Naik, Y. P.: Effect of foam density on the properties of water blown rigid polyurethane foam. In: *Journal of Applied Polymer Science* 108 (2008) 3, S. 1810–17
- [16] Ashby, M. F.; Medalist, R. F. M.: The mechanical properties of cellular solids. In: *Metallurgical Transactions A* 14 (1983) 9, S. 1755–69

 INVENT	Sachbericht: ACTION Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

- [17] Liu, S.; Duvigneau, J.; Vancso, G. J.: Nanocellular polymer foams as promising high performance thermal insulation materials. In: European Polymer Journal 65 (2015), S. 33–45
- [18] Zhang, C.; Li, J.; Hu, Z.; Zhu, F.; Huang, Y.: Correlation between the acoustic and porous cell morphology of polyurethane foam: Effect of interconnected porosity. In: Materials & Design 41 (2012), S. 319–25
- [19] Droz, C.; Zergoune, Z.; Boukadia, R.; Bareille, O.; Ichchou, M. N.: Vibro-acoustic optimisation of sandwich panels using the wave/finite element method. In: Composite Structures 156 (2016), S. 108–14
- [20] Franco, F.; Cunefare, K. A.; Ruzzene, M.: Structural-Acoustic Optimization of Sandwich Panels. In: Journal of Vibration and Acoustics 129 (2007) 3, S. 330
- [21] Lind-Nordgren, E.; Göransson, P.: Optimising open porous foam for acoustical and vibrational performance. In: Journal of Sound and Vibration 329 (2010) 7, S. 753–67
- [22] Chen, S.; Zhu, W.; Cheng, Y.: Multi-Objective Optimization of Acoustic Performances of Polyurethane Foam Composites. In: Polymers 10 (2018) 7, S. 788
- [23] Placido, E.; Arduini-Schuster, M. C.; Kuhn, J.: Thermal properties predictive model for insulating foams. In: Infrared Physics & Technology 46 (2005) 3, S. 219–31
- [24] Delgado-Sánchez, C.; Santiago-Medina, F.; Fierro, V.; Pizzi, A.; Celzard, A.: Optimisation of “green” tannin-furanic foams for thermal insulation by experimental design. In: Materials & Design 139 (2018), S. 7–15
- [25] Yuan, C.; Bergsma, O.; Koussios, S.; Zu, L.; Beukers, A.: Optimization of Sandwich Composites Fuselages Under Flight Loads. In: Applied Composite Materials 19 (2012) 1, S. 47–64
- [26] Li, X.; Li, G.; Wang, C. H.: Optimisation of Composite Sandwich Structures Subjected to Combined Torsion and Bending Stiffness Requirements. In: Applied Composite Materials 19 (2012) 3-4, S. 689–704

 INVENT	Sachbericht: ACTION Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

3 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Den größten Umfang haben die Personalkosten eingenommen. Material- und Reisekosten stellten den geringeren Anteil dar. Fremdleistungen wurden nicht beauftragt.

4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Projekt wurde die Anwendbarkeit von Materialien und Prozessen, die aus dem Kontext der Großserienfertigung im Automobilbau heraus entstanden sind, auf Anwendungen aus der Luft- und Raumfahrt übertragen. Ziel dieser Entwicklung war das Erschließen neuer Verfahren und Materialien für eine zukünftig wirtschaftlichere Fertigung von Bauteilen. Außerdem sollten durch den Einsatz von Thermoplasten neue Recyclingmöglichkeiten geschaffen und die Kreislaufwirtschaft gefördert werden. Ein weiterer Aspekt ist die Untersuchung von Möglichkeiten zur Funktionsintegration, die im Projekt durchgeführt wurde. Alle genannten Aktivitäten leisten einen Beitrag zur Stärkung der Wirtschaftskraft am Standort Deutschland und zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Produkten.

Die genannten Arbeiten waren allerdings mit einem hohen Risiko versehen, weshalb für die Durchführung eine Projektförderung notwendig war. Das Eigenschaftsspektrum der neuartigen Sandwichmaterialien deckt sich nicht vollumfänglich mit den Anforderungen aus der Luft- und Raumfahrt, weshalb die Anwendbarkeit auch für andere Märkte in Betracht gezogen werden musste. Weiterhin haben beispielsweise Anfangs die vorgesehenen Fügeverfahren sowie die eingesetzten Klebstoffe keine befriedigenden Ergebnisse geliefert. Zwar konnte ein geeigneter Fügeprozess etabliert werden, allerdings unter dem Risiko, kein geeignetes Verfahren zu finden.

Durch die Zusammenarbeit mit den Partnern im Rahmen des Verbundprojekts konnten Synergien gebildet und Aufgaben gemeinsam bearbeitet werden. INVENT hätte bei eigenständiger Bearbeitung keine Möglichkeit gehabt, die für die Versuche erforderlichen Sandwichhalbzeuge zu produzieren, so dass hier die Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern zwingend erforderlich war.

5 Nutzen, Verwertbarkeit (fortgeschriebener Verwertungsplan)

5.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

1. Reduktion der Herstellungskosten von Sandwichbauteilen in der Luft- und Raumfahrt durch optimierte Fertigungsprozesse und Nutzung von vorgefertigten Komponenten
2. Neuartige Sandwichbauteile mit Funktionsintegration (Integralbauweise)

Die INVENT GmbH liefert verschiedene Sandwichpaneele an Kunden hauptsächlich aus der Luft- und Raumfahrt. Neue Sandwichmaterialien auf Basis von thermoplastischen Schäumen oder maßgeschneiderten vorgeformten Kernen können bei der Erschließung neuer Anwendungen behilflich sein und stehen deshalb im Fokus des Interesses. Im Rahmen des

 INVENT	Sachbericht: ACTion Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Projekts konnten Bauteile untersucht werden, welche aus Halbzeugen aufgebaut wurden, die in einem für INVENT bisher neuartigem Verfahren hergestellt wurden. Die Herstellung von Sandwichpanelen ist bisher mit einem hohen Aufwand verbunden, da die Deckschichten separat gefertigt werden und in einem zweiten Prozessschritt mit dem Kern verklebt werden müssen. Durch die Verwendung vorgefertigter Sandwichhalbzeuge, wie sie im Projekt entwickelt und hergestellt wurden, steht je nach Anwendungsfall ein Verfahren zur Verfügung, das geeignet ist, Produktionskosten einzusparen. Dadurch, dass ein luftfahrtrelevanter Demonstrator konzipiert wurde, ist eine anwendungsnahe Fortführung der Entwicklung der Materialklasse für INVENT möglich. Allerdings hat die Charakterisierung der Materialien ergeben, dass das Anforderungsprofil für viele Anwendungen aus der Luft- und Raumfahrt zu hoch ist und von den neuartigen Sandwichmaterialien nicht erreicht werden kann. Allerdings hat INVENT bislang häufig bei Anfragen für industrielle Anwendungen von Sandwichbauteilen kein attraktives Angebot erstellen können, da die Anforderungen hier niedriger sind und die standardmäßig eingesetzten Materialien und Prozesse aus der Luft- und Raumfahrt keine wirtschaftlich zufriedenstellende Lösung ergeben haben. Hier könnte das neuartige Sandwichmaterial durch die Reduktion der Herstellkosten zukünftig neue Möglichkeiten eröffnen und den Zugang zu neuen Märkten ebnen. Hier sehen wir beispielsweise den Bereich der Nutzfahrzeuge oder des Maschinenbaus als relevante mögliche Märkte. INVENT ist an einem in naher Zukunft beginnenden FuE-Projekt beteiligt, welches die Entwicklung von Leichtbausandwichkomponenten für Fahrzeugaufbauten von Wohnmobilen zum Thema hat. Hier können Synergien gezogen werden, da zu Beginn des neuen Projekts das Anforderungsprofil der Sandwichkomponenten ermittelt wird. Auf Basis der im Projekt ACTion gewonnen Ergebnisse kann hier die Eignung der entwickelten Materialien für die Anwendung im Bereich der Fahrzeugaufbauten festgestellt werden. Im positiven Fall können die Ergebnisse somit in eine weitere Anwendung übernommen werden. Auf der Grundlage der weiteren Ergebnisse kann INVENT mögliche Märkte im Bereich der Fahrzeugaufbauten mit kleinen und mittleren Stückzahlen untersuchen und einen Prozess mit kleinen/mittleren Stückzahlen ausarbeiten. Weiterhin steht auch die Suche nach neuen Anwendungen und Märkten im Fokus.

Zukünftige Entwicklungen zielen auf intelligente Sandwich-Lösungen wie z. B. Paneele mit integrierten Funktionen und innovative Verbindungstechnologien wie integrierte Einsätze ab. Prozessseitig kann durch die Integralbauweise auf die Prozessschritte der nachträglichen Fräsbearbeitung und Insertintegration verzichtet werden. Auch den Herausforderungen hoher Positionsgenauigkeiten kann entgegengewirkt werden. Durch die Untersuchung des Tankdeckels mit integrierten Inserts wurden Ergebnisse erzielt, die für die zukünftige Entwicklung entsprechender Anwendungen genutzt werden können.

5.2 Wissenschaftliche / technische Erfolgsaussichten

1. Erkenntnisgewinn und Kompetenzerweiterung im Bereich Sandwichherstellung mit neuartigen Kernmaterialien

 INVENT	Sachbericht: ACTION Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

2. Wissensvorsprung im Falle einer Industrialisierung der Technologie

Die INVENT GmbH wird die Ergebnisse des Projekts in neue Fertigungsverfahren für Sandwichmaterialien umsetzen. Die gewonnenen Erkenntnisse über die Materialeigenschaften und das Bauteilverhalten kann zukünftig im Unternehmen angewendet werden und bei der Auslegung zukünftiger Sandwichbauteile angewendet werden. Insbesondere werden die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse auf neue Montageverfahren für Sandwichbauteile und neue Technologien zur Funktionsintegration angewendet. Hier konnten viele neue Erkenntnisse gewonnen werden, die auch auf konventionelle Sandwichmaterialien übertragbar sind und daher anwendungs- und materialunabhängig genutzt werden können.

Weiterhin ist INVENT momentan an FuE-Aktivitäten beteiligt, die das Ziel verfolgen, duroplastische und thermoplastische Bauteile durch eine Oberflächenfunktionalisierung des Duroplasten zu verbinden. Da die Sandwichbauteile aus dem Projekt ACTION thermoplastisch sind, ergeben sich hier ggf. weitere Anwendungsmöglichkeiten durch die Bündelung der gewonnenen Erkenntnisse aus beiden Projekten.

5.3 Wissenschaftliche / technische Anschlussfähigkeit

1. Bilaterale Entwicklungsaufträge und F&E-Verbundvorhaben zur Entwicklung einer höheren Technologiereife
2. Bilaterale Entwicklungsaufträge und F&E-Verbundvorhaben zum Transfer der Technologie auf weitere Märkte

Der Schwerpunkt des IQ-Foam-Verfahrens liegt auf der Großserienproduktion für die Automobilindustrie, wie beim Projektpartner Volkswagen AG, der als OEM an dem Projekt beteiligt ist. Die INVENT GmbH, als KMU, zeichnet sich verantwortlich für die Identifizierung zukünftiger Anwendungsfelder in anderen Industriebereichen. Die Übertragung der Ergebnisse auf die Luftfahrt- und Raumfahrt wurde durch die Materialcharakterisierung und Umsetzung eines Funktionsdemonstrators nachgewiesen. Darüber hinaus wird die INVENT GmbH bilaterale Forschungs- und Entwicklungsprojekte mit möglichen Kunden und Endanwendern der Technologie starten, sowie über nachfolgende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten die Technologie auf einen höheren TRL heben. Eine Möglichkeit dazu ergibt sich aus dem bereits weiter oben genannten Projekt im Bereich der Wohnmobilaufbauten, welches voraussichtlich 2024 starten wird.

Die innerhalb des Projektes umgesetzte Schublade inklusive diverser integrativer Komponenten kann zur Präsentation der Technologie selbst sowie deren mögliche Anwendungen im Luftfahrtbereich auf Messen genutzt werden.

Durch aktive Mitarbeit in der OHLF wird INVENT die Möglichkeiten ausschöpfen, in diesem Kontext die Ergebnisse weiterzuentwickeln und mit den Erkenntnissen aus anderen Projekten zu kombinieren. Beispielsweise wird das Thema der Kreislaufwirtschaft zukünftig eine größere Rolle spielen. Durch die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse über thermoplastische Sandwichkomponenten ist hierfür eine gute Grundlage gelegt, da die Thermoplaste durch die Wiederaufschmelzbarkeit gute Recyclingmöglichkeiten bieten.

 INVENT	Sachbericht: ACTION Förderkennzeichen: 03INT711AD	Dok-Nr.: 300404-TB-04 Datum: 15.12.2023 Verfasser: OPMA / HUOL Version.: A
------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

Es wurden keine Erfindungen oder Schutzanmeldungen vom Zuwendungsempfänger angemeldet.

6 Externer Fortschritt auf dem Gebiet

Relevante F&E-Ergebnisse von Seiten Dritter sind hieraus im Berichtszeitraum nicht bekannt geworden.

7 Veröffentlichungen der Ergebnisse nach Nr. 5 der NKBF

Seitens des Teilvorhabens wurden bis dato die Projektergebnisse nicht eigenständig durch die INVENT GmbH publiziert. Die Präsentation der Ergebnisse soll weiterführend über Messen (z.B. Hannover Messe) einem breiten Publikum zugänglich gemacht werden. Bei der INVENT GmbH sowie der OHLF liegen für potenzielle Anwender und Interessenten alle Funktionsmuster sowie erzeugte Prozesstechnologien und Qualitätssicherungsmethoden bereit.

Darüber hinaus konnte die INVENT GmbH mit ihren Arbeiten einen Beitrag zu folgenden Veröffentlichungen bei Partnern des Konsortiums leisten:

- DAGA2022 (Konferenzbeitrag mit Vortrag und Paper)
 - Titel: Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften von Thermo-plasten mittels Resonanzkurven-Verfahren und dynamisch-mechanischer Analyse
 - Autoren: Arne Rotermund, Steffen Hoffmann, Alessandra Kummerow, Sven Hartwig und Sabine Langer
 - Konferenz: Fortschritte der Akustik - DAGA 2022, 48. Jahrestagung für Akustik, 21.-24. März 2022 in Stuttgart
- ICA2022 (Konferenzbeitrag mit Vortrag und Paper)
 - Titel: Vibroacoustic characterization of foamed and fiber reinforced plastic parts
 - Autoren: Arne Rotermund, Steffen Hoffmann, Jörg Hain und Sabine Langer
 - Konferenz: 24th International Congress on Acoustics - ICA 2022
 - Ort: Gyeongju
- DAGA2023 (Konferenzbeitrag mit Poster und Paper)
 - Titel: Vergleich der Verfahren in ISO 6721-3 zur Bestimmung dynamisch-mechanischer Eigenschaften von Kunststoffen
 - Autoren: Arne Rotermund, Steffen Hoffmann, Philipp Heck und Sabine Langer
 - Konferenz: Fortschritte der Akustik - DAGA 2023, 49. Jahrestagung für Akustik, 6.-9. März 2023 in Hamburg
- Dönmez, J. et al. – Life Cycle Engineering of Composite Materials - Reference Module in Materials Science and Materials Engineering; Encyclopedia of Materials: Composites, Volume 3, 2021 Pages 235-244; DOI:10.1016/B978-0-12-819724-0.00050-1

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Nicht anwendbar	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Schlussbericht Verbundprojekt „ACTion – Advanced Shaped Sandwich Composites for Mechanical, Thermal and Acoustic Applications“; Teilprojekt: D	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Opitz, Mark Huxdorf, Olive	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2023
	6. Veröffentlichungsdatum 15.12.2023
	7. Form der Publikation Document Control Sheet
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) INVENT Innovative Verbundwerkstoffe Realisation und Vermarktung neuer Technologien GmbH	9. Ber.-Nr. Durchführende Institution 300404-TB-04
	10. Förderkennzeichen 03INT711AD
	11. Seitenzahl 28 pages
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) BMBF	13. Literaturangaben 26
	14. Tabellen 1 Tabelle
	15. Abbildungen 32 Abbildungen
16. DOI (Digital Object Identifier) Keine zusätzlichen Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Keine zusätzlichen Angaben	
18. Kurzfassung Der vorliegende Schlussbericht fasst die wesentlichen Ergebnisse der INVENT GmbH, die im Verbundvorhaben „ACTion – Advanced Shaped Sandwich Composites for Mechanical, Thermal and Acoustic Applications“; Teilprojekt: D erarbeitet wurden, zusammen. Der Projektzeitraum begann am 1.Januar 2019 und endete am 30. Juni 2023. Die INVENT GmbH hatte folgende zentrale Aufgaben: 1. Entwicklung von Fertigungstechnologien auf Basis neuer im Ku-Fizz – Verfahren hergestellter Halbzeuge und Materialien für den Einsatz von Luftfahrt-Strukturen 2. Mechanische Charakterisierung der neuen im Ku-Fizz-Verfahren hergestellten Halbzeuge und Strukturen 3. Identifikation von Luftfahrtbauteilen die für den Einsatz der neuen Fertigungstechnologie potentiell geeignet sind 4. Herstellung eines luftfahrtrelevanten Demonstrator unter Anwendung der entwickelten Materialien und Fertigungsprozesse	
19. Schlagwörter Ku-Fizz, Spritzguss, Luftfahrt, Leichtbau	
20. Verlag Nicht anwendbar	21. Preis Nicht anwendbar

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2164322-3

Document control sheet

1. ISBN or ISSN Not applicable	2. type of document (e.g. report, publication) Veröffentlichung (Publikation)
3. title Schlussbericht Verbundprojekt „ACTion – Advanced Shaped Sandwich Composites for Mechanical, Thermal and Acoustic Applications“; Teilprojekt: D	
4. author(s) (family name, first name(s)) Opitz, Mark Huxdorf, Olive	5. end of project 30.06.2023
	6. publication date 13.12.2023
	7. form of publication Document Control Sheet
8. performing organization(s) name, address INVENT Innovative Verbundwerkstoffe Realisation und Vermarktung neuer Technologien GmbH	9. originators report no. 300404-TB-04
	10. reference no. 03INT711AD
	11. no. of pages 28 pages
12. sponsoring agency (name, address) BMBF	13. no. of references 26
	14. no. of tables 1 table
	15. no. of figures 32 figures
16. DOI (Digital Object Identifier) No supplementary notes.	
17. presented at (title, place, date) -	
18. abstract This final report summarizes the main results of INVENT GmbH, which were developed in the researching project „ACTion – Advanced Shaped Sandwich Composites for Mechanical, Thermal and Acoustic Applications“; Teilprojekt: D erarbeitet wurden, zusammen. The project period began on January 1, 2019 and ended on June 30, 2023. INVENT was responsible for the following tasks: 1. Development of manufacturing technologies based on new semi-finished products and materials produced by the Ku-Fizz process for use in aerospace 2. Mechanical characterization of the new semi-finished products and structures produced using the Ku-Fizz process 3. Identification of aerospace components which are potentially suitable for the use of the developed manufacturing technology 4. Production of a demonstrator using the developed materials and manufacturing processes	
19. keywords Ku-Fizz, Injection molding, Aviation, lightweight structures	
20. publisher Not applicable	21. price Not applicable

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2164309-3