

DLR-IB-BT-AU-2023-165

LuFo6.1 Projekt HoTStufF

Jahresbericht 2022

Stefan Jarka



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**



LuFo6.1
Verbundvorhaben HoTStufF
DLR - Vorhaben ÖKTHEST
Ökonomische thermoplastische Strukturbauteile

Jahresbericht 2022

Zusammengefasst von Stefan Jarka

DLR - Projektleitung

1. Wissenschaftliche/technische Ergebnisse

Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentliche Ereignisse im Berichtszeitraum.

HAP 1 Bauweisen

In HAP 1 wurden keine weiteren Ergebnisse im Berichtszeitraum generiert.

HAP 3

Thermoformprozess bei starker, doppelter Krümmung (BT BGF, Stuttgart)

Zur Analyse der Grenzen des Thermoformens bei starker, doppelter Krümmung werden Schikane-Bauteile einer angedeuteten Flugzeug-Türumgebungsstruktur (DSS für Door Surround Structure) analysiert und gepresst.

Für die Pressfertigung des DSS-Bauteils wurde zunächst eine Prozesssimulation zur Bestimmung des Spring-in in Ansys 2020 durchgeführt. Dazu wurde ein von Convergent Inc. entwickeltes und am DLR modifiziertes Materialmodell für teilkristalline Werkstoffe verwendet. Als Lagenaufbau diente zunächst ein generischer quasiisotroper Lagenaufbau. Die Simulation startet bei dem Punkt in dem Prozess, an dem das Tooling in der Presse komplett geschlossen wurde und simuliert die Abkühlung und Kristallisierung des Bauteils. Auf Basis dieser Simulation wurden durch mehrere iterative Optimierungen eine Geometrievariation berechnet, die dafür sorgt, dass durch den Spring-in die Geometrie in die Wunschform deformiert wird, der Spring-in also nach der Fertigung ausgeglichen ist.

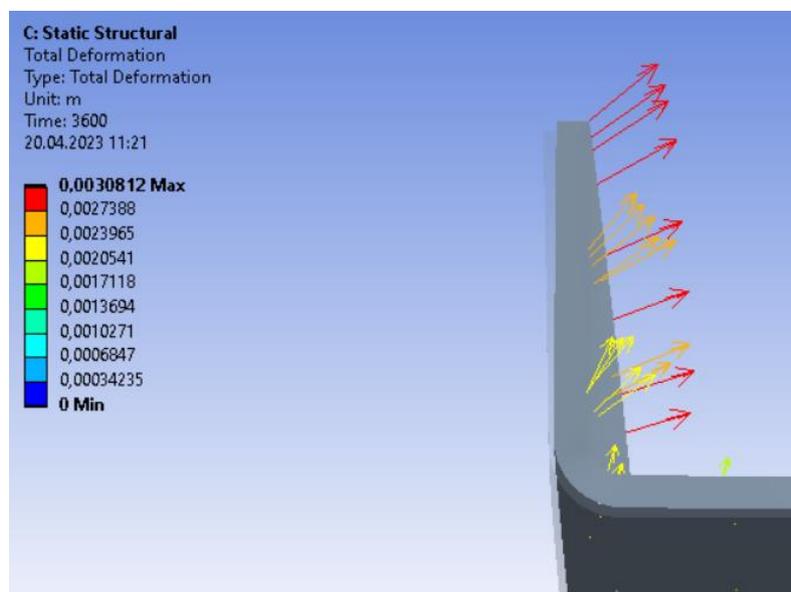


Abbildung 1: Berechnete Spring-in-Verformung eines Ausschnitts des DSS-Bauteils

Nach der Optimierung der Geometrie zur Kompensierung des Spring-in wurde das Bauteil in Umformsimulationen weiter untersucht. Dabei wurde der generische quasiisotrope Lagenaufbau in PamForm als Organosheet implementiert und in die gewünschte Form gepresst. Die Scherung während der Umformung führt dabei zu lokalen Aufdickungen und Verdünnungen, die abhängig von der Lagenorientierung ermittelt wurden.

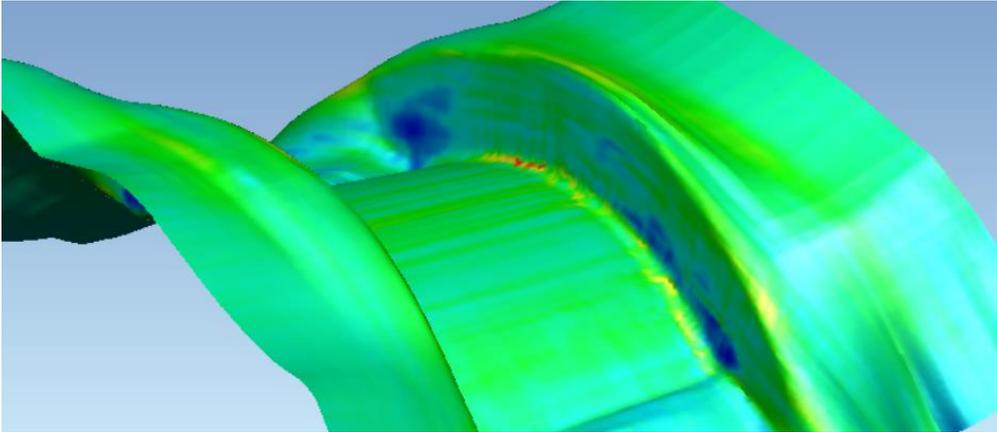


Abbildung 2: Lokale Aufdickungen (rot) und Verdünnungen (blau) durch Verscherung bei der Umformung einer 45°-Lage

Thermoformen mit integrierter Co-Konsolidierung (BT ZLP, Augsburg)

In AP3.4 wurde die Entwicklung des kombinierten Thermoformens und Co-Konsolidierens am ZLP in Augsburg abgeschlossen. Analysen des Probekörperbauteils zeigen hohen Konsolidierungsgrad, jedoch geringe oberflächliche Abzeichnungen. Dies könnte auf Degradationseffekte beim lokalen und oberflächlichen Vorheizen im geöffneten Tooling hinweisen.



Abbildung 3: Probekörper aus dem kombinierten Thermoform- und Co-Konsolidierungsprozess

Die Bewertung der Oberflächendefekte erfolgte mittels Messung des Reflexionsverhaltens auf der betreffenden Fläche, und wurde im Zusammenhang mit den Prozessparametern abgeglichen.

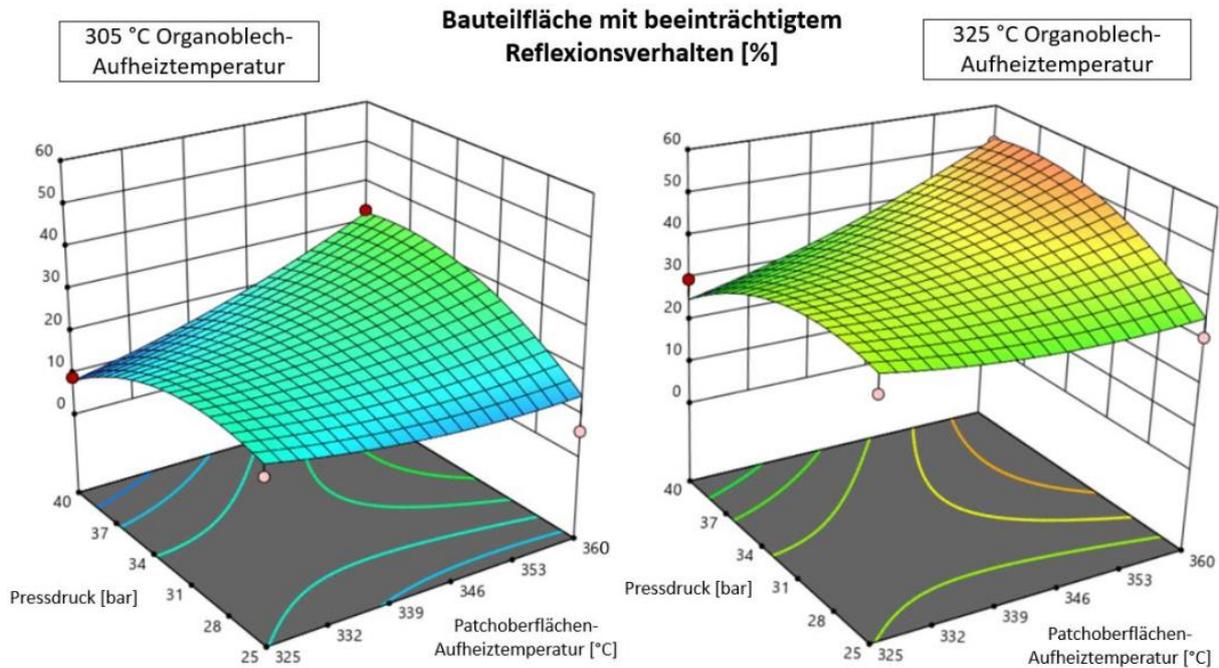


Abbildung 4: Prozentuale Bauteilfläche mit beeinträchtigtem Reflexionsverhalten innerhalb des Faktorraums bei konstanter Organoblech-Aufheiztemperatur

Das Ziel, einen automatisierten Thermoformprozess inkl. integrierter Co-Konsolidierung umzusetzen, wurde erreicht. Dabei wurden die Prozessparameter (Prozesszeiten, Temperaturen, Drücke) mittels Umformsimulation und Versuchsreihen zur Verbesserung der Anbindungsqualität optimiert.

Im Zusammenhang mit den Analysen konnte die Masterarbeit von Niklas Dornstädter entstehen und im November 2022 abgeschlossen werden.

HAP 4

AP4.1

Elektrisches Widerstandsschweißen bei großen Strukturen

Für das elektrische Widerstandsschweißen wurde die Übertragung auf eine Versuchsanlage zum Schweißen von Druckschott-Segmenten durchgeführt, begleitet und unterstützt.

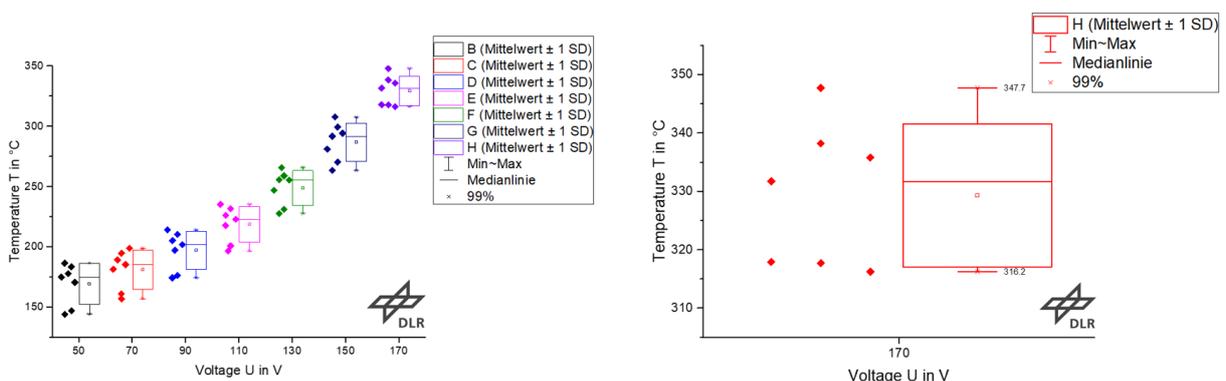


Abbildung 5: Definition von Aufheizverhalten und Prozessfenster auf der PAG TZA Schweißspinne



Abbildung 6: eWS-Anlage in letzter Ausbaustufe am DLR (links) und Anlage zum Schweißen von Druckschottsegmenten bei der PAG (rechts)

Dazu wurden letzte Versuchsreihen im hochskalierten Maßstab durchgeführt (siehe Abbildung 7, 1500mm Schweißnahtlänge, S-Schlag-Schikane und durch I-Stringer angedeuteter Z-Stringer).

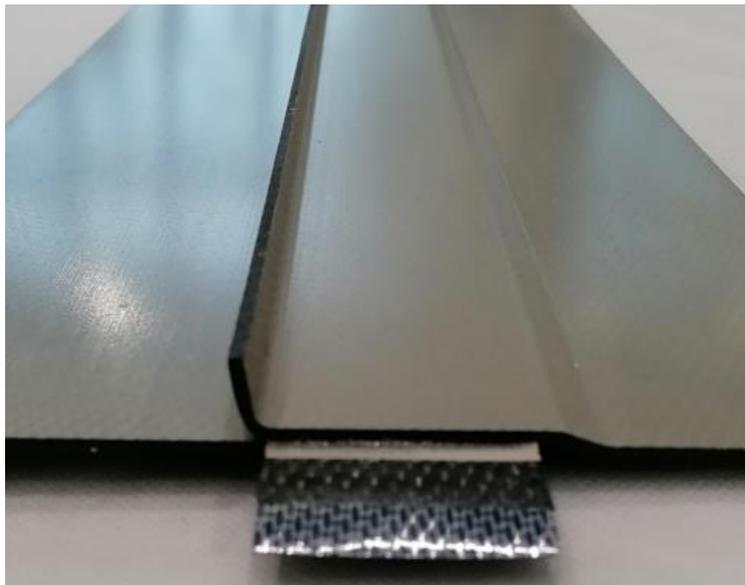
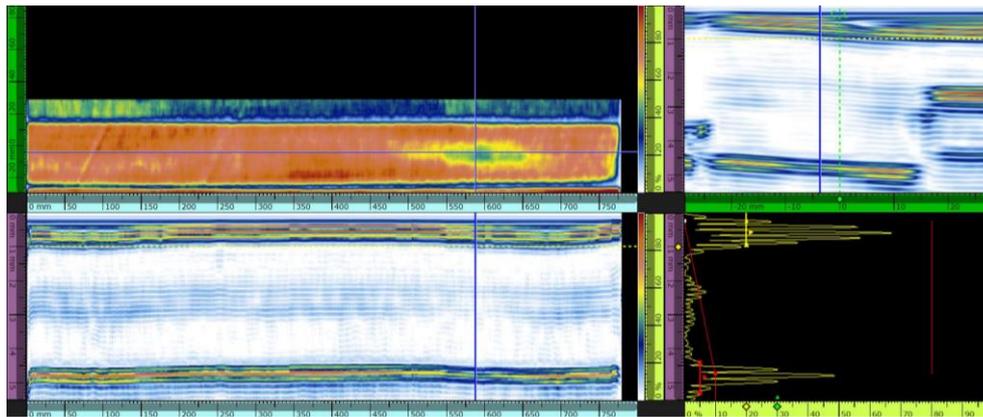


Abbildung 7: 1500mm-Schweißproben, CF PPS (rechts)

Weiterhin wurden zerstörungsfreie Prüfungen (100% Kontrolle per Wasserultraschall) durchgeführt und zur Verfügung gestellt.



Amplitude < -6.0206 dB

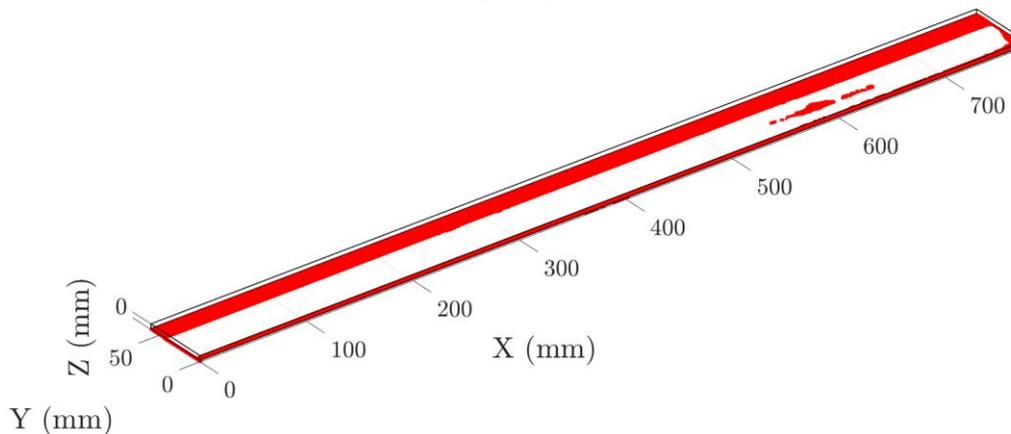


Abbildung 8: Exemplarische Darstellung der WUS Prüfergebnisse einer halben Schweißprobe (20220209_V2r)

Für die Übertragung wurden Versuchsreihen an der Anlage für die Schweißungen der Druckschott-Segmente prozessseitig ausgewertet und zusammengefasst folgendes Prozess-Rezept übergeben:

xxx

- Temperaturmaster für den Start des Schweißprozesses ist der kälteste Heizkreis (RK_4) → Temperierung der Schweißspitze bei 149,1°C abschalten
- 60s warten, für Temperausgleich/ Vermeidung von Hotspots an Heizpatronenpositionen
($T_{\text{Vorhersage_Schweißbeginn}} = 148,2^{\circ}\text{C}$)
- Schweißprozess: (170V_3s_1V_0,5s)_{20x} bei $p_{\text{Schweißnaht_heizen}} = 0,6\text{bar}$
- Druckanstieg auf $p_{\text{Schweißnaht_konsolidieren}} = 8\text{bar}$ im Anschluss an den Heizzyklus

→ $T_{\text{min_Schweißnaht_Vorhersage}} = 310^{\circ}\text{C}$ ($>T_K$)

→ $T_{\text{max_Schweißnaht_Vorhersage}} = 341,5^{\circ}\text{C}$ ($\ll T_{\text{Degradation}}$)

Xxx

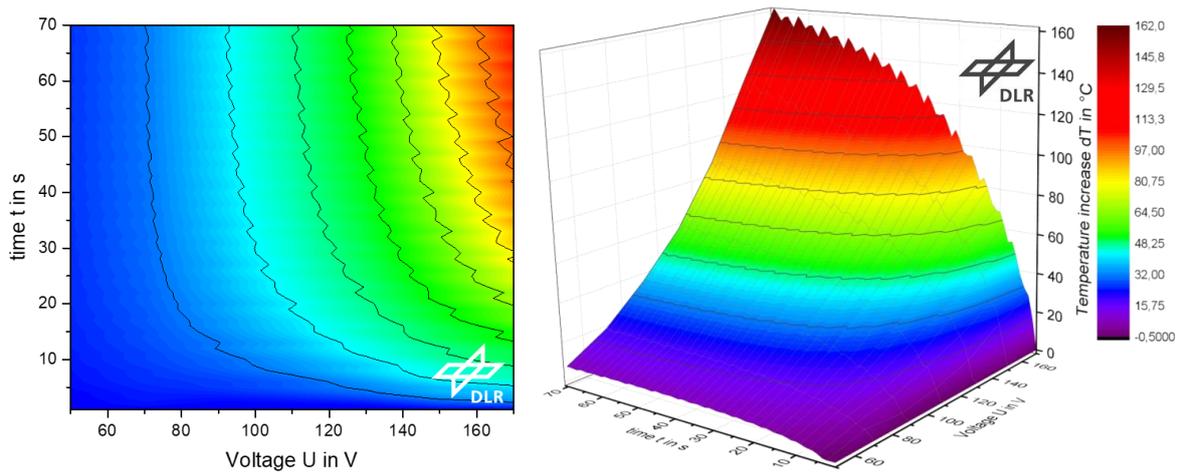


Abbildung 9: Zeit – Spannung – Temperatur – Zusammenhang, eWS-Anlage TZA, 1500mm-Schweißproben, CF PPS

Elektrisches Widerstandsschweißen bei komplexen Strukturen

Im vorherigen Berichtszeitraum wurden die ersten Schweißversuche mit den neuartigen Schweißelementen durchgeführt.

Der Aufbau für den Schweißversuch gestaltet sich wie folgt:

Versuchsvorbereitung:

- Einlegen der ersten Schweißplatte
- Einlegen des Schweißelements
- Einlegen der zweiten Schweißplatte
- Einlegen des oberen Fügetoolings

Versuchsdurchführung

- Aufbringung des Fügedrucks
- Aufbringung des Kontaktierungsdrucks
- Anlegen der elektrischen Leistung
- Aufheizprozess
- Abschalten der elektrischen Leistung
- Passiver Kühlprozess

Auf Abbildung 10 ist der Versuchsaufbau dargestellt.

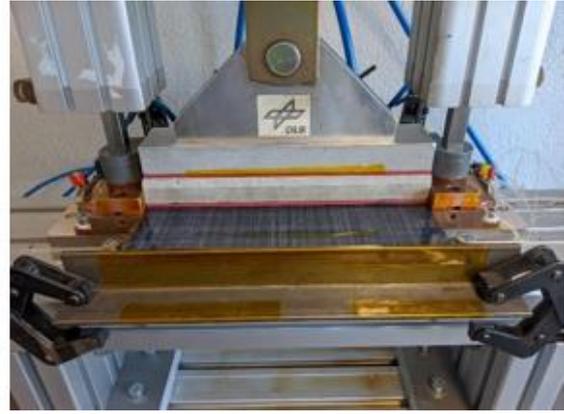
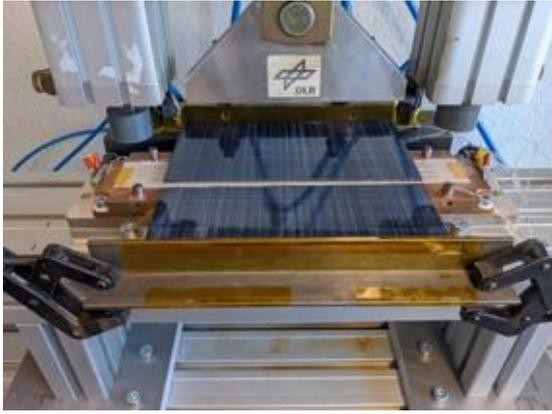


Abbildung 10: Versuchsaufbau mit Platten und Schweißelement (links), Oberes Fügetooling und angelegte Prozessdrücke (rechts)

Die verwendeten Prozessparameter lauten wie folgt:

- Stromstärke $I = 15 \text{ A}$
- Widerstand $R = 4,4 \ \Omega$
- Fügedruck $p_F = 0,2 \text{ MPa}$
- Kontaktierungsdruck $p_K = 1,0 \text{ MPa}$
- Prozessdauer $t = 56 \text{ s}$

Die Temperatur wurde mittels Thermoelementen des Typs K aufgezeichnet. Der Aufheizprozess wurde gestoppt, sobald zwischen den Rovings im Schweißelement $380 \text{ }^\circ\text{C}$ erreicht wurde. Auf den Rovings zeigte sich eine Temperatur von $430 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Aufheizkurve und die verschweißten Platten sind auf Abbildung 11 dargestellt:

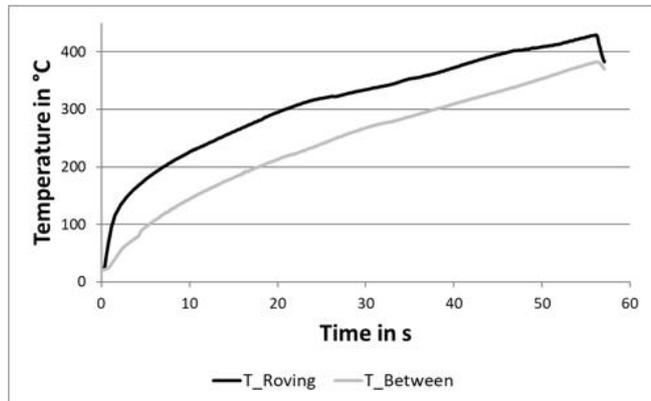
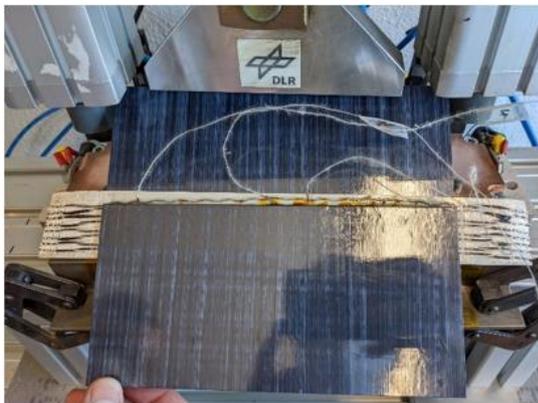


Abbildung 11: Verschweißte Probe (links), Aufheizkurven auf und neben den Rovings (rechts)

Aus den Fügungen wurden Schlibfbilder durch Mikroskopieaufnahmen erzeugt:

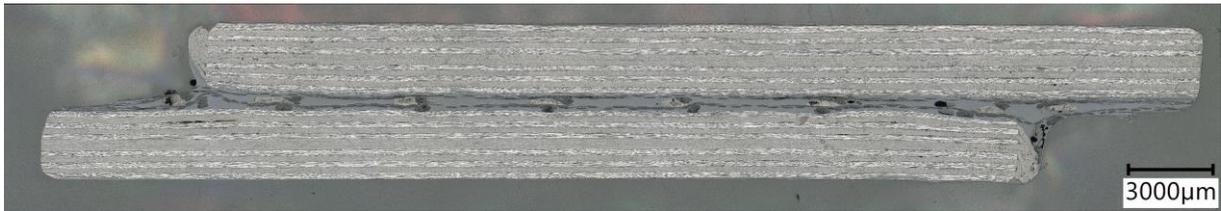


Abbildung 12: Schliffbild einer Fügung mit oberer Platte, Schweißelement (Mitte) und unterer Platte

Das Schliffbild zeigt eine vollflächige Fügung im Interface. In den Randbereichen sind vereinzelt Poren ersichtlich. Der Versuch wurde bei einem für Widerstandsschweißungen geringen Druck bei 0,2 MPa durchgeführt, wodurch sich die leichte Porosität erklären lässt. In folgenden Versuchen wird untersucht, ob sich die Porosität durch höhere Drücke verhindern lässt.

AP4.2

In Route B, eine Sandwichbauteil-Ausschnitt mit mehreren Fügstellen, wird das Ultraschallschweißen eingesetzt. Dafür wurde die Bauweise und die Fügereihenfolge sowie die einzusetzende Prozessführung festgelegt. Diese erfolgt mit einzelnen statischen Schweißpunkten sowie in kontinuierlicher Art.

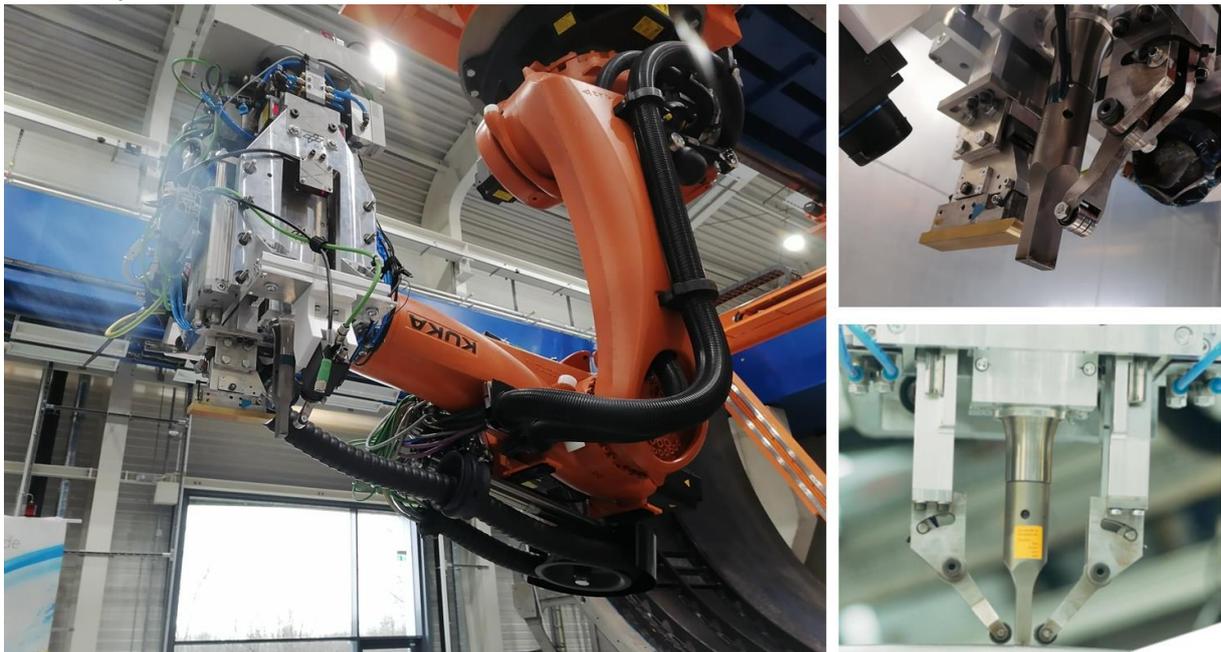


Abbildung 13: USS-Anlage am DLR ZLP Süd mit Konfiguration cUS (rechts oben) und Punktschweißen (rechts unten)

Die Bauweise wurde ausdetailliert und alle Fertigungsschritte, hierzu gehören das statische und kontinuierliche Ultraschallschweißen als finale Prozesse, festgelegt.

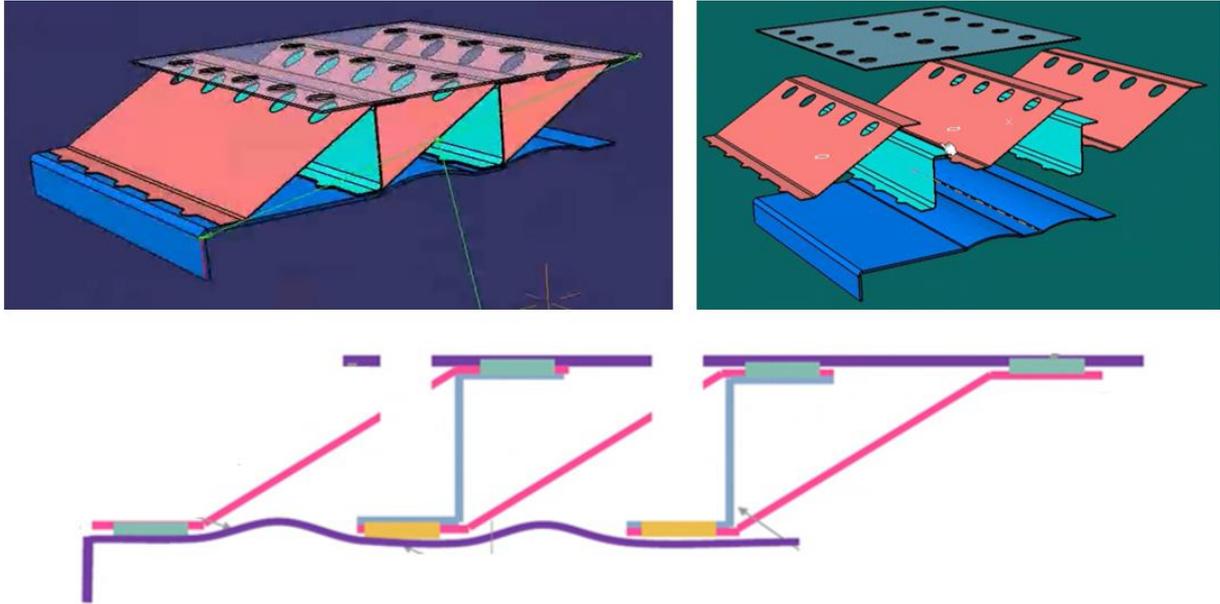


Abbildung 14: im Konsortium geplanter Demonstrator einer Sandwich-Struktur, Explosionszeichnung (rechts) und Fügstellen (unten)

Es wurde eine Testmatrix zur Durchführung von Vorversuchen (Prozessfindung) und Überprüfung der Fügenahteigenschaften (Testing bei der PAG) erstellt. Mit ersten Schweißversuchen wurden noch Ende 2022 gestartet.



Abbildung 15: Schweißversuchsaufbau für Proben mit vollständigem Überlapp, Halbzeuge (rechts oben) und Schweißproben (rechts unten)

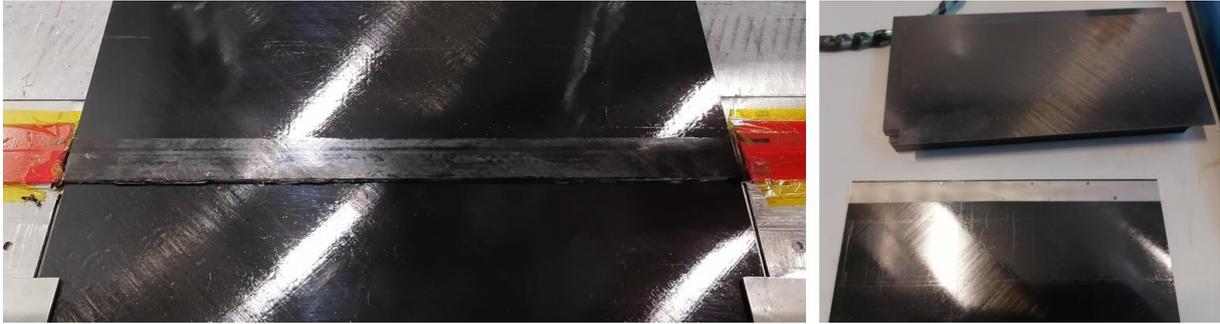


Abbildung 16: Schweißversuchsaufbau für Proben mit Single lapp Konfiguration (links), verwendete Halbzeuge (rechts)

AP4.3

Beim Induktionsschweißen konnten folgende Ziele erreicht werden:

- Konstruktion & Herstellung eines Endeffektors: zunächst wurden statische Versuche und dann Versuche an einer Linearachse durchgeführt. Nun ist der Prozess robotergeführt und weist eine pneumatische Druckaufbringung auf.

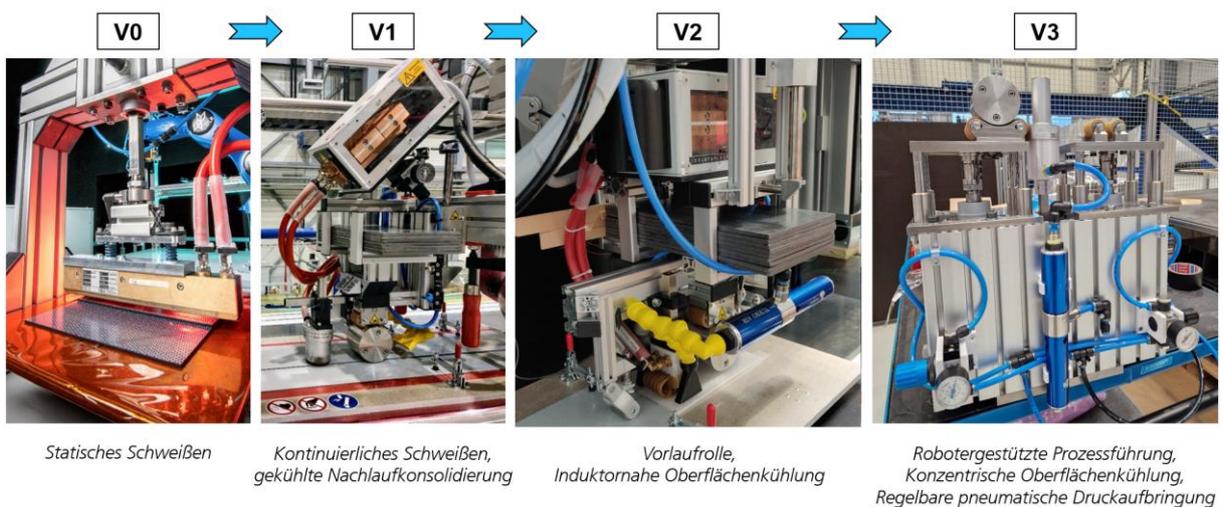


Abbildung 17: Entwicklungsstufen des Induktionsschweißens im Projekt bis Ende 2022 (Bild rechts Berichtszeitraum 2023)

- Identifikation relevanter Messgrößen → Datenakquise mit integrierter Messtechnik zur Inline-Erfassung von:
 - Temperatur → Fügezone: Thermoelemente
→ Oberfläche: Pyrometer x2 (vor- und nachläufig)
 - Elektrische Größen → Induktorstrom: Stromwandler + Oszilloskop
→ Maschinenleistung (U, I, P) über Ethernet-Schnittstelle

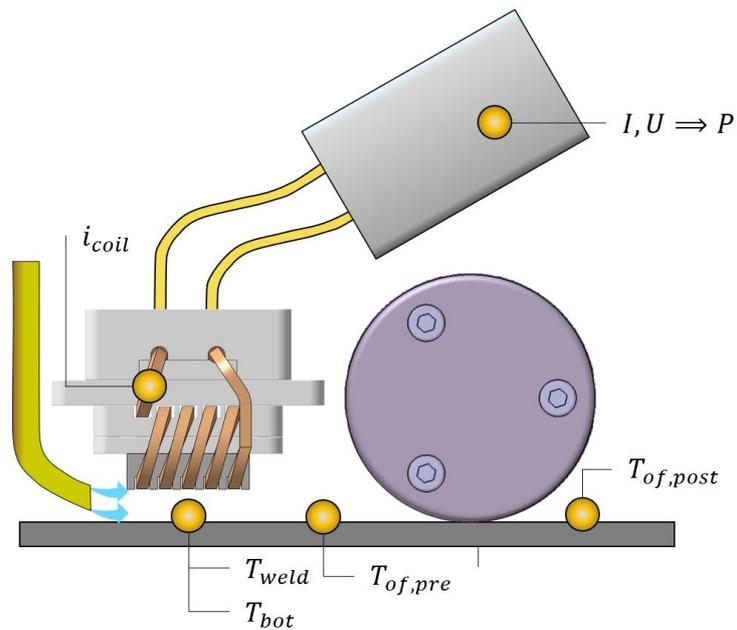


Abbildung 18: Messtechnik des Induktionsschweißwerkzeugs

Bewertung des Wechsels von Horizontal- auf Vertikalwicklung:

- + Vermeidung von Überhitzung an Kanten
- + Gleichmäßigere Heizbildbreite
- + Bessere Zugänglichkeit für Oberflächenkühlung
- Geringere Temperatur im Induktor Zentrum

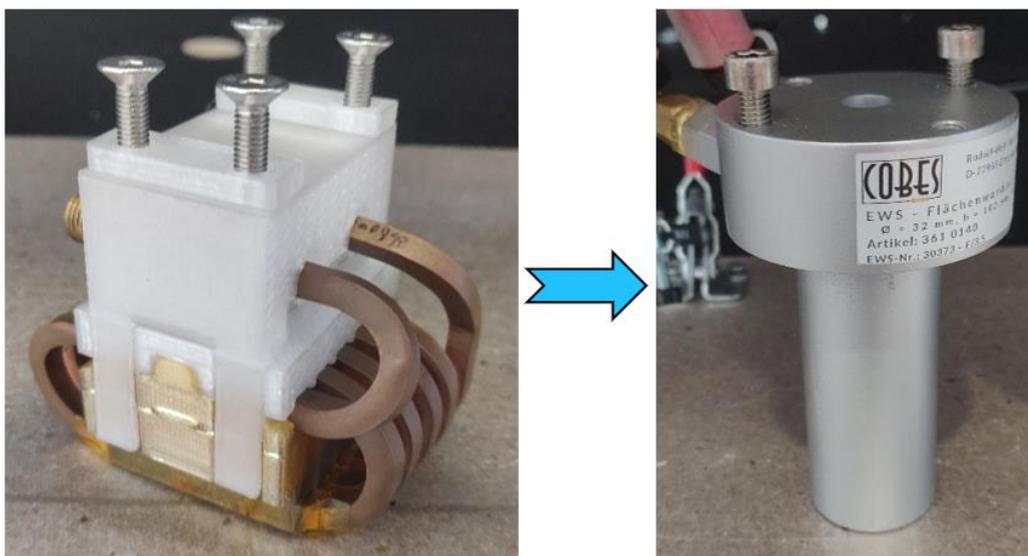


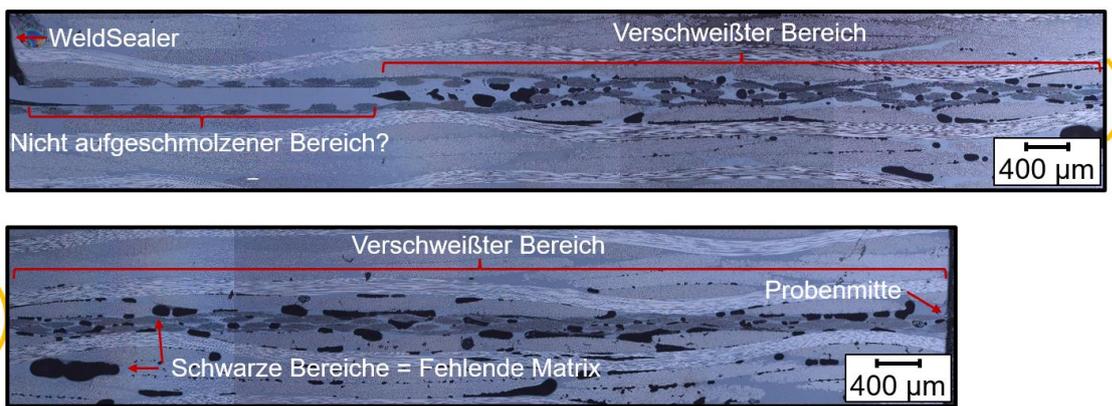
Abbildung 19: Induktor-Varianten mit Horizontal- (links) und Vertikalwicklung (rechts)



Abbildung 20: Schweißergebnisse mit Horizontal- (links) und Vertikalwicklung (rechts)

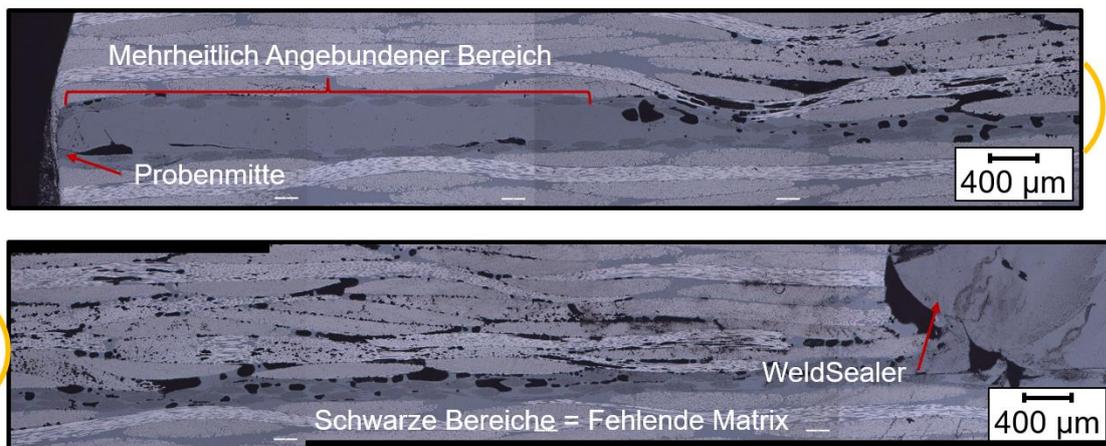
Werkstoffliche Analysen von Schweißproben

Mikroskopische Analysen zeigen die Anbindung von additive aufgetragenem Zusatzwerkstoff, zum einen im Bereich der Fügezone beim Ultraschallschweißen (Energierichtungsgeber, Referenz Folien-Energierichtungsgeber) und zum andern zur stoff- und formschlüssigen Versiegelung der Fügenahtkanten.



Analysierter Bereich:

Abbildung 21: USS-geschweißte Probe aus CF PPS, Folien-Energierichtungsgeber, mit deutlicher Porosität in der Fügezone



Analysierter Bereich:

Abbildung 22: USS-geschweißte Probe aus CF PPS, WeldSealer-Energierichtungsgeber, mit deutlicher Porosität in der Fügezone, aber kompakt im Bereich des ED-Auftrags

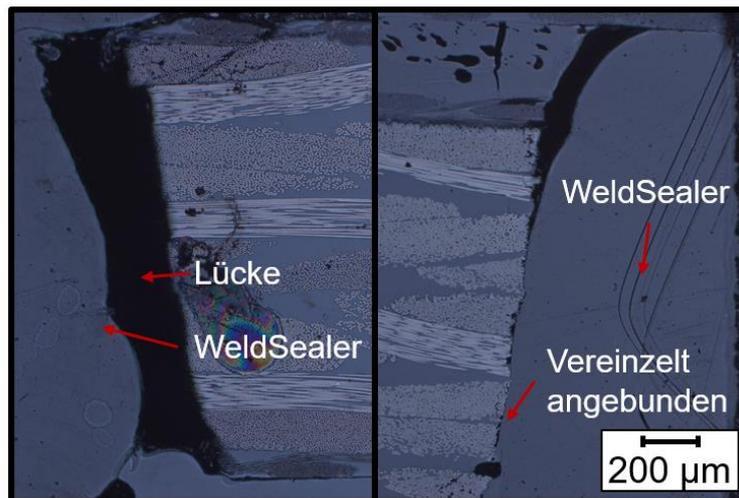


Abbildung 23: Anbindungsbereich des per WeldSealer aufgetragenen PPS-Zusatzwerkstoffs mit deutlichen Fehlstellen

Es zeigt sich, dass der WeldSealer Prozess einsetzbar ist. Hohe Potentiale im Zusammenhang mit der Erstellung des Energierichtungsgebers für das Ultraschallschweißen und als Versiegelung von Laminat-Fügeverbindungen konnten nachgewiesen werden (auch mechanisch, in 2021). Es zeigen sich aber auch noch zu verbessernde Gefügeausprägungen, in der Fügezone sowie beim Versiegeln. Strategien sind eine andere Energierichtungsgebergeometrie (z.B. dreiecksförmig) und eine alternative Oberflächenvorwärmung (z.B. IR-Bestrahlung anstatt Heißluft).

HAP 5

Die im letzten Jahresbericht vorgestellten Methoden zur Qualitätssicherung werden fortan zur Prozessentwicklung genutzt. Die Möglichkeiten des Transfers zu den bei der PAG laufenden Prozessen wurden abgestimmt.

Das betrifft zum einen die online-Prozesskontrolle und zum andern die Datenerfassung und dessen Weiterverarbeitung.

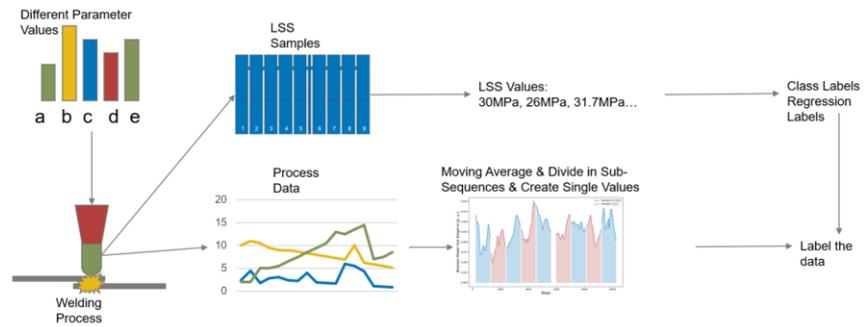
Die Prozess-Bewertung und Qualitätssicherung mittels KI wird nicht im Rahmen des Projekts aufgebaut, sondern kann nur konzeptionell betrachtet werden. Denn dafür sind besonders umfangreiche Versuchsreihen erforderlich, um große Datenmengen erheben zu können.

Nichtsdestotrotz zeigt sich das Ultraschallschweißen als geeigneter Prozess, um aus den Prozess-Einstellgrößen, den messbaren Prozessdaten und den Fügenahteigenschaften ein System zu erzeugen, bei dem nach dem Schweißen Vorhersagen zur erzeugten Qualität getroffen werden können.

Grundsätzlich wird bei den eingesetzten Verfahren immer bedacht, möglichst alle relevanten Prozessverhältnisse (z.B. Drücke, Temperaturen) zu erfassen, um Qualität und Wiederholbarkeit, somit Robustheit zu gewährleisten.

AP 4.2 Ultraschallschweißen

- Datenerfassung:
 - Einstellparameter
 - Prozess-Messwerte
 - Proben-Eigenschaften



- KI:
 - Sequentielle Daten
 - Einzelwerte

- Ergebnisvorhersage
 - Klassifikation
 - Konkrete Eigenschaften

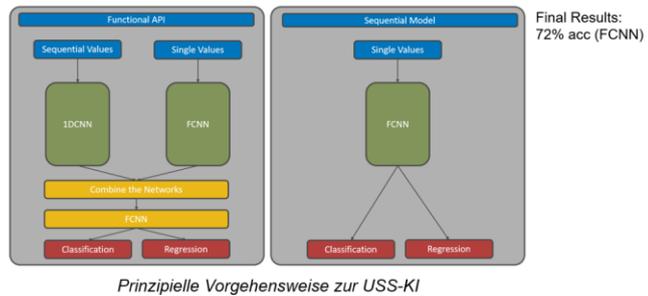


Abbildung 24: Übersichtdarstellung des Konzepts zur KI beim Ultraschallschweißen

HAP 6

Das elektrische Widerstandsschweißverfahren konnte bis zur industrialisierten Anwendung beim Projektpartner PAG (Standort Augsburg, TZA) entwickelt werden. Dafür wurden gemeinsame Versuchsreihen und eine Demonstratorfertigung auf der Anlage im TZA unterstützt (vgl. AP4.1).

Zusammenfassung bisheriger Veröffentlichungen seit Projektstart bis Ende 2022

Konferenzen:

- Menke, N., Dhondt, M. C.: Focused Inductive Heat Generation in Weld Zones of Carbon Fibre Laminates by Magnetic Field Manipulation and Carbon Fibre Susceptors, 5th International Conference & Exhibition on Thermoplastic Composites ITHEC Bremen, 2020
- Endrass, M. et al.: Towards an increased reliability of resistance welded joints for aircraft assembly, ITHEC, Bremen, 2020
- Jarka, S et al.: Thermoplastic processing technologies towards Industrialization, SAMPE Europe, Hamburg, 2022

Fachartikel:

- Composites World: Automated aerocomposites production: Liquid molding or welded thermoplastic?, Interview, 16.10.2020
- *in Vorbereitung: Endrass, M. et al.: Towards Maturation of Resistance Welding Process for Structural Composite Applications in Aviation, SAGE Journal (Composites and Advanced Materials – Welding of Thermoplastic Composites)*

Promotionen:

- Manuel Endraß, laufende Promotionsarbeit, Arbeitstitel: Industrialisierung des elektrischen Widerstandsschweißprozesses, geplante Fertigstellung: 2024
- Simon Bauer, laufende Promotionsarbeit, Arbeitstitel: Erhöhung der geometrischen Komplexität beim elektrischen Widerstandsschweißprozess, geplante Fertigstellung: 2025
- Alexander Sänger, laufende Promotionsarbeit, Arbeitstitel: Thermische Simulation beim statischen Widerstandsschweißprozess, geplante Fertigstellung: 2024

Studentische Arbeiten:

- Weng, C.: Weiterentwicklung eines automatisierten Prozesses zum Modifizieren von Fügestellen faserverstärkter, thermoplastischer Strukturbauteile durch Materialzugabe mit stoffschlüssiger Anbindung, Bachelorarbeit, DLR BT ZLP, HS München, 2021
- Böck, S.: Further development of an automated process for applying thermoplastic material onto fiber reinforce thermoplastics as pre- and postprocessing of joints, Masterarbeit, DLR BT ZLP, Uni Augsburg MRM, 2021
- Singer, N.: Untersuchung von Einflussgrößen auf die Kristallisation bei Fügeprozessen thermoplastischer Faserverbundwerkstoffe, DLR BT ZLP, RWTH Aachen, 2021
- Dornstädter, N.: Erweiterung des Thermoformprozesses mittels automatisierter Co-Konsolidierung von CF/PPS Organoblechen, DLR BT ZLP, Uni Augsburg MRM, 2022
- *Ulmer, A.: Kontinuierliches und MultiSpot-Ultraschallschweißen von CF LM PAEK Laminaten mit WeldSealer – Vor- und Nachbehandlung, Masterarbeit, DLR BT ZLP, Uni Augsburg MRM, 2023*

Einbindung in die Lehre:

- Dr. J. Haubrich – Werkstoffe der Luft- und Raumfahrt (H-BRS), Eingebundene Inhalte aus HoTStufF: Fügeverfahren für CFK, Gefügeeinfluss von Schweißprozessen
- Prof Dr.-Ing. M. Kupke: Faserverbundkunststoffe für Ingenieure (Uni Augsburg), Eingebundene Inhalte aus HoTStufF: praktische Anwendungsfälle für Flugzeugstrukturen
- Dr.-Ing. S. Jarka – Fügetechnik für Faserverbundkunststoffe, Eingebundene Inhalte aus HoTStufF: Schweißtechnologien, Presstechnologien, Qualitätskriterien von Laminatfügungen, Luftfahrt-Anwendungen

2. Stand des Vorhabens

Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung. Der Zeitplan sollte die Arbeitspakete/-schritte mit ihren Sollterminen wiedergeben und ihnen den aktuellen Stand der Arbeiten gegenüberstellen.

Kurzzusammenfassung Gesamtvorhaben:

- Keine umfänglichen Änderungen bei der Zielsetzung
- Geringer Impact durch verspäteten Projektstart und Minimalbetrieb-Zeiten konnte bereits im Verlauf des Projekts kompensiert werden
- Geringe Anpassungen bei der DLR-Schwerpunktausrichtung in den Bereich A1-Demonstrator
- Praktische Hauptarbeiten bei Route B Demonstrator zum Jahreswechsel 2022/2023 gestartet und Weiterführung und Abschluss für 2023 geplant

HAP 1 Bauweisen

Das Vorhaben weist aktuell keine Abweichung zur vorherigen Planung auf. Es sind praktisch alle Arbeiten in HAP 1 abgeschlossen.

Projektplan in der Übersicht und vergrößert:

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben	Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022											
					Q1	Q2	Q3	Q4								
HoT Stuff					26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
AP 1.3 Demonstrator Bauweisen: Detail-Design und Stress																
M1.3.1 Stand der Technik und vorhandene Technologie-Konzepte bezgl. RPB Bauweisen zusammengestellt	01.03.2020	01.03.2020	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.3.2 Konzepte für neuartige, innovative RPB Bauweisen entwickelt (Ziel insgesamt min. 3 unterschiedliche Bauweisen)	01.03.2021	01.03.2021	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.3.3 Konstruktion und Auslegung Full-Scale Demonstrator A abgeschlossen (inkl. FR70)	01.12.2020	01.12.2020	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.3.4 Konstruktion von Schikanebauteil und Dimensionierung Testbauteile abgeschlossen	01.02.2022	01.02.2022	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.3.5 Konstruktion und Dimensionierung Funktions-Demonstrator B Loop-1 (Grobkonstruktion der Konzepte)	01.12.2021	01.03.2022	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.3.6 Konstruktion und Dimensionierung Funktions-Demonstrator B Loop-2 (Auskonstruktion ausgewähltes Konzept)	01.06.2022	01.06.2022	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.3.7 Konstruktion und Dimensionierung Funktions-Demonstrator B abgeschlossen	01.02.2023	01.02.2023	PAG	AIRBUS, DLR												
AP 1.4 Konzeptbewertung und Auswahl der Demonstratoren (Down-Selection der Bauweisen und Konzepte zur Validierung mit Demonstratoren)																
M1.4.1 Technologiescreening und Potentialabschätzung erfolgt	01.03.2020	01.03.2020	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.4.2 Morphologischer Kasten zur Gesamtprozesskettenentwicklung erstellt (Bewertung hinsichtlich Reife und Verwertung abgeschlossen)	01.11.2020	01.11.2020	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.4.3 Morphologischer Kasten zur Gesamtprozesskettenentwicklung aktualisiert	01.11.2021	01.11.2021	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.4.4 Auswahl der Technologie-Bausteine umzusetzender Prozessroute A und Demonstrator-Bauweise A	01.06.2020	01.06.2020	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.4.5 Bewertung der Technologie-Bausteine Loop-1 (vgl. down-selection shortlist)	01.09.2021	01.09.2021	PAG	AIRBUS, DLR												
M1.4.6 Auswahl der Technologie-Bausteine umzusetzender Prozessroute B und Demonstrator-Bauweise B	01.09.2022	01.09.2022	PAG	AIRBUS, DLR												

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben

HoT Stuff

AP 1.3 Demonstrator Bauweisen: Detail-Design und Stress

M1.3.1	Stand der Technik und vorhandene Technologie-Konzepte bezgl. RPB Bauweisen zusammengestellt
M1.3.2	Konzepte für neuartige, innovative RPB Bauweisen entwickelt (Ziel insgesamt min. 3 unterschiedliche Bauweisen)
M1.3.3	Konstruktion und Auslegung Full-Scale Demonstrator A abgeschlossen(inkl. FR70)
M1.3.4	Konstruktion von Schikanebauteil und Dimensionierung Testbauteile abgeschlossen
M1.3.5	Konstruktion und Dimensionierung Funktions-Demonstrator B Loop-1 (Grobkonstruktion der Konzepte)
M1.3.6	Konstruktion und Dimensionierung Funktions-Demonstrator B Loop-2 (Auskonstruktion ausgewähltes Konzept)
M1.3.7	Konstruktion und Dimensionierung Funktions-Demonstrator B abgeschlossen

AP 1.4 Konzeptbewertung und Auswahl der Demonstratoren (Down-Selection der Bauweisen und Konzepte zur Validierung)

M1.4.1	Technologiescreening und Potentialabschätzung erfolgt
M1.4.2	Morphologischer Kasten zur Gesamtprozesskettenentwicklung erstellt (Bewertung hinsichtlich Reife und Verwertung abgeschlossen)
M1.4.3	Morphologischer Kasten zur Gesamtprozesskettenentwicklung aktualisiert
M1.4.4	Auswahl der Technologie-Bausteine umzusetzender Prozessroute A und Demonstrator-Bauweise A
M1.4.5	Bewertung der Technologie-Bausteine Loop-1 (ggf. down-selection shortlist)
M1.4.6	Auswahl der Technologie-Bausteine umzusetzender Prozessroute B und Demonstrator-Bauweise B

Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022														
				Q1			Q2			Q3			Q4					
				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36			
01.03.2020	01.03.2020	PAG	AIRBUS, DLR	[Green bar]														
01.03.2021	01.03.2021	PAG	AIRBUS, DLR	[Green bar]														
01.12.2020	01.12.2020	PAG	AIRBUS, DLR	[Green bar]														
01.02.2022	01.02.2022	PAG	AIRBUS, DLR															
01.12.2021	01.03.2022	PAG	AIRBUS, DLR															
01.06.2022	01.06.2022	PAG	AIRBUS, DLR															
01.02.2023	01.02.2023	PAG	AIRBUS, DLR															
Validierung mit Demonstratoren)				[Green bar]														
01.03.2020	01.03.2020	PAG	AIRBUS, DLR	[Green bar]														
01.11.2020	01.11.2020	PAG	AIRBUS, DLR	[Green bar]														
01.11.2021	01.11.2021	PAG	AIRBUS, DLR	[Green bar]														
01.06.2020	01.06.2020	PAG	AIRBUS, DLR	[Green bar]														
01.09.2021	01.09.2021	PAG	AIRBUS, DLR	[Green bar]														
01.09.2022	01.09.2022	PAG	AIRBUS, DLR															

Status und Änderungen auf einen Blick:

- Arbeiten im Zusammenhang Route A abgeschlossen
- Arbeiten im Zusammenhang Route B im Zeitplan

HAP3 Einzelkomponentenfertigung

Projektplan in der Übersicht und vergrößert:

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben	Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022											
					Q1	Q2	Q3	Q4								
HoT Stuff					25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
AP 3.2 (Kalt-)Umformen																
M3.2.1 (A+B) Evaluierung aller zur Zeit für (Kalt-)Umformprozesse in Frage kommender Halbzeuge und Versuche zu deren Umformverhalten	#NV	#NV	PAG	DLR												
M3.2.2 B: Durch Umformprozess erzeugte Preform für 3D- Small Scale Demonstrator an AP3.4 geliefert	#NV	#NV	PAG	DLR												
M3.2.3 B: Einsatzreife des Verfahrens zur Preformherstellung für Neuprogramm-Demonstrator	#NV	#NV	PAG	DLR												
AP 3.3 Press-Thermoformen																
M3.3.1 (A+B) Vorevaluierung des Technologie-Bausteins anhand Stand der Technik verfügbar	01.02.2020	01.02.2020	PAG	DLR												
M3.3.2 A: Bereitstellung von vermessenen Einzelteilen mit Key Feature-Elementen aus AP3.3	01.09.2020	01.09.2020	PAG	DLR												
M3.3.3 A: Einsatzreife eines Press-Thermoform Verfahrens zur Herstellung von Bauteilen für einen Substitutions-Demonstrator	01.05.2021	01.05.2021	PAG	DLR												
M3.3.4 A: Bereitstellung von vermessenen Full-Scale Einzelteilen aus AP3.3	01.02.2021	01.02.2021	PAG	DLR												
M3.3.5 A: Bereitstellung vermessener Full-Scale Einzelteile für den Demonstrator A aus AP3.3	01.06.2021	01.03.2022	PAG	DLR												
M3.3.6 A2: Bereitstellung von konsolidierten Test-Coupons aus AP3.3	01.12.2020	01.05.2021	PAG	DLR												
M3.3.7 A2: Bereitstellung vermessener Full-Scale Einzelteile aus AP3.3	01.08.2021	01.08.2021	PAG	DLR												
M3.3.8 B: Einsatzreife eines innovativen Press-Thermoform Verfahrens zur Herstellung von Bauteilen für einen Neuprogramm-Demonstrator	01.06.2022	01.06.2022	PAG	DLR												
M3.3.9 B: Bereitstellung von Coupons und [Key Feature-Elementen] aus HAP3	01.09.2022	01.09.2022	PAG	DLR												
M3.3.10 B: Bereitstellung der Einzelteile aus HAP3	01.12.2022	01.02.2023	PAG	DLR												
AP 3.4 Konsolidierungs-verfahren und Co-Konsolidieren																
M3.4.1 (A+B) Evaluierung aller zur Zeit für Konsolidierungs in Frage kommender Prozesse und Versuche mit ausgewählten Prozessen, inklusive	01.03.2020	01.03.2020	PAG	mSquare, DL												
M3.4.2 B: 1. Optimierungloop für (Induktions-)Konsolidierungsprozess abgeschlossen	01.12.2020	01.12.2020	PAG	mSquare, DL												
M3.4.3 B: Konsolidierung eines (oder ggf. mehrerer) 3D- Small Scale Demonstrator(en)	01.06.2021	01.06.2021	PAG	mSquare, DL												
M3.4.4 B: 2. Optimierungloop für (Induktions-)Konsolidierungsprozess abgeschlossen	#NV	#NV	PAG	mSquare, DL												
M3.4.5 B: Einsatzreife des Verfahrens zur Konsolidierung des Neuprogramm-Demonstrators	01.06.2022	01.06.2022	PAG	mSquare, DL												
M3.4.6 (A+B) Evaluierung des Co-Konsolidierungsprozesses anhand Stand der Technik	01.11.2020	01.11.2020	PAG	mSquare, DL												
M3.4.7 A: Einsatzreife eines Co-Konsolidierungs Verfahrens für Machbarkeitsdemonstrator	01.04.2021	01.04.2021	PAG	mSquare, DL												
M3.4.8 (A+B) Integration eines Co-Konsolidierungs Verfahrens direkt in einen Umformprozess	01.06.2021	01.01.2022	PAG	mSquare, DL												
M3.4.9 (A+B) Optimierungloop für den Co-Konsolidierungsprozess abgeschlossen	01.12.2021	01.03.2022	PAG	mSquare, DL												
M3.4.10 B: Einsatzreife eines hoch innovativen Co-Konsolidierungsprozesses zur Anbindung von Bauteilen an einen Neuprogramm-Demonstrator	#NV	#NV	PAG	mSquare, DL												

HoT Stuff

AP 3.2 (Kalt-)Umformen

M3.2.1	(A+B) Evaluierung aller zur Zeit für (Kalt-)Umformprozesse in Frage kommender Halbzeuge und Versuche zu deren Umformverhalten
M3.2.2	B: Durch Umformprozess erzeugte Preform für 3D- Small Scale Demonstrator an AP3.4 geliefert
M3.2.3	B: Einsatzreife des Verfahrens zur Preformherstellung für Neuprogramm-Demonstrator

AP 3.3 Press-Thermoformen

M3.3.1	(A+B) Vorevaluierung des Technologie-Bausteins anhand Stand der Technik verfügbar
M3.3.2	A: Bereitstellung von vermessenen Einzelteilen mit Key Feature-Elementen aus AP3.3
M3.3.3	A: Einsatzreife eines Press-Thermoform Verfahrens zur Herstellung von Bauteilen für einen Substitutions-Demonstrator
M3.3.4	A: Bereitstellung von vermessenen Full-Scale Einzelteilen aus AP3.3
M3.3.5	A: Bereitstellung vermessener Full-Scale Einzelteile für den Demonstrator A aus AP3.3
M3.3.6	A2: Bereitstellung von konsolidierten Test-Coupons aus AP3.3
M3.3.7	A2: Bereitstellung vermessener Full-Scale Einzelteile aus AP3.3
M3.3.8	B: Einsatzreife eines innovativen Press-Thermoform Verfahrens zur Herstellung von Bauteilen für einen Neuprogramm-Demonstrator
M3.3.9	B: Bereitstellung von Coupons und [Key Feature-Elementen] aus HAP3
M3.3.10	B: Bereitstellung der Einzelteile aus HAP3

AP 3.4 Konsolidierungs-verfahren und Co-Konsolidieren

M3.4.1	(A+B) Evaluierung aller zur Zeit für Konsolidierungs in Frage kommender Prozesse und Versuche mit ausgewählten Prozessen, inklusive
M3.4.2	B: 1. Optimierungsloop für (Induktions-)Konsolidierungsprozess abgeschlossen
M3.4.3	B: Konsolidierung eines (oder ggf. mehrerer) 3D- Small Scale Demonstrator(en)
M3.4.4	B: 2. Optimierungsloop für (Induktions-)Konsolidierungsprozess abgeschlossen
M3.4.5	B: Einsatzreife des Verfahrens zur Konsolidierung des Neuprogramm-Demonstrators
M3.4.6	(A+B) Evaluierung des Co-Konsolidierungsprozesses anhand Stand der Technik
M3.4.7	A: Einsatzreife eines Co-Konsolidierungs Verfahrens für Machbarkeitsdemonstrator
M3.4.8	(A+B) Integration eines Co-Konsolidierungs Verfahrens direkt in einen Umformprozess
M3.4.9	(A+B) Optimierungsloop für den Co-Konsolidierungsprozess abgeschlossen
M3.4.10	B: Einsatzreife eines hoch innovativen Co-Konsolidierungsprozesses zur Anbindung von Bauteilen an einen Neuprogramm-Demonstrator

Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022												
				Q1			Q2			Q3			Q4			
				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
#NV	#NV	PAG	DLR													
#NV	#NV	PAG	DLR													
#NV	#NV	PAG	DLR													
01.02.2020	01.02.2020	PAG	DLR													
01.09.2020	01.09.2020	PAG	DLR													
01.05.2021	01.05.2021	PAG	DLR													
01.02.2021	01.02.2021	PAG	DLR													
01.06.2021	01.03.2022	PAG	DLR													
01.12.2020	01.05.2021	PAG	DLR													
01.08.2021	01.08.2021	PAG	DLR													
01.06.2022	01.06.2022	PAG	DLR													
01.09.2022	01.09.2022	PAG	DLR													
01.12.2022	01.02.2023	PAG	DLR													
01.03.2020	01.03.2020	PAG	mSquare, DL													
01.12.2020	01.12.2020	PAG	mSquare, DL													
01.06.2021	01.06.2021	PAG	mSquare, DL													
#NV	#NV	PAG	mSquare, DL													
01.06.2022	01.06.2022	PAG	mSquare, DL													
01.11.2020	01.11.2020	PAG	mSquare, DL													
01.04.2021	01.04.2021	PAG	mSquare, DL													
01.06.2021	01.01.2022	PAG	mSquare, DL													
01.12.2021	01.03.2022	PAG	mSquare, DL													
#NV	#NV	PAG	mSquare, DL													

Status und Änderungen auf einen Blick:

- Thermoformen mit erhöhter doppelter Krümmung fertig geplant und bereits in praktischer Umsetzung, Vertiefung in 2023
- Versuchsreihen zum Thermoform-Co-Konsolidieren konnten abgeschlossen werden.

HAP4 Fügetechnologie

Projektplan in der Übersicht und vergrößert:

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben	Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022											
					Q1	Q2	Q3	Q4								
HoT Stuf					25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
AP 4.1 Widerstandsschweißen																
M4.1.1 Vorevaluierung des Technologie-Bausteins anhand Stand der Technik verfügbar	01.03.2020	01.03.2020	DLR	PAG												
M4.1.2 Bewertungsgrundlage des Technologiebausteins durch Versuchsreihen erstellt	01.06.2020	01.06.2020	DLR	PAG												
M4.1.3 A: Fügen der Halbzeuge/Preforms (Joggle Platten mit Stringeransatz) aus AP4.1	01.10.2020	01.10.2020	DLR	PAG												
M4.1.4 A: Fügen auf (Sub-)Komponenten-Level (2 Segmente) in AP4.1	01.03.2021	01.03.2022	PAG	DLR												
M4.1.5 A: Fügen der Einzelteile in AP4.1	01.07.2021	01.03.2022	PAG	DLR												
M4.1.6 Technologiestatus-Entwicklung für Einsatzszenario abgeschlossen (inkl. Automatisierungskonzept)(WF: Ausprägung, Eigenschaften, Sch	01.12.2020	01.11.2021	DLR	PAG												
M4.1.7 A2: Fügen auf (Sub-)Komponenten-Level (2 Segmente) in AP4.1	01.09.2021	01.03.2022	DLR	PAG												
M4.1.8 Gemäß Auswahl AP1.4 Bau Demonstratoren und Technologiebewertung abgeschlossen	01.12.2021	01.04.2022	DLR	PAG												
AP 4.2 US-Schweißen																
M4.2.1 Vorevaluierung des Technologie-Bausteins anhand Stand der Technik verfügbar	01.12.2020	01.12.2020	DLR	PAG												
M4.2.2 Bewertungsgrundlage des Technologiebausteins durch Versuchsreihen erstellt	01.07.2021	01.10.2021	DLR	PAG												
M4.2.3 Technologiestatus-Entwicklung für Einsatzszenario abgeschlossen(WF: Ausprägung, Eigenschaften, Schädigungsverhalten Schweißnaht	01.10.2022	01.04.2023	DLR	PAG												
M4.2.4 B: Fügen der Einzelteile in HAP4	01.02.2023	01.11.2023	DLR	PAG												
M4.2.5 Gemäß Auswahl AP1.4 Bau Demonstratoren und Technologiebewertung abgeschlossen	01.06.2023	01.12.2023	DLR	PAG												
AP 4.3 Induktionsschweißen																
M4.3.1 Vorevaluierung des Technologie-Bausteins anhand Stand der Technik verfügbar	01.12.2020	01.12.2020	DLR	PAG												
M4.3.2 Bewertungsgrundlage des Technologiebausteins durch Versuchsreihen erstellt	01.07.2021	01.09.2023	DLR	PAG												
M4.3.3 Technologiestatus-Entwicklung für Einsatzszenario abgeschlossen(WF: Ausprägung, Eigenschaften, Schädigungsverhalten Schweißnaht	01.10.2022	01.12.2023	DLR	PAG												
M4.3.4 B: Fügen der Einzelteile in HAP4	01.02.2023	01.02.2023	DLR	PAG												
M4.3.5 Gemäß Auswahl AP1.4 Bau Demonstratoren und Technologiebewertung abgeschlossen	01.06.2023	01.06.2023	DLR	PAG												

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben

HoT Stuf

AP 4.1 Widerstandsschweißen

M4.1.1	Vorevaluierung des Technologie-Bausteins anhand Stand der Technik verfügbar
M4.1.2	Bewertungsgrundlage des Technologiebausteins durch Versuchsreihen erstellt
M4.1.3	A: Fügen der Halbzeuge/Preforms (Joggle Platten mit Stringeransatz) aus AP4.1
M4.1.4	A: Fügen auf (Sub-)Komponenten-Level (2 Segmente) in AP4.1
M4.1.5	A: Fügen der Einzelteile in AP4.1
M4.1.6	Technologiestatus-Entwicklung für Einsatzszenario abgeschlossen (inkl. Automatisierungskonzept)(WF: Ausprägung, Eigenschaften, Sch
M4.1.7	A2: Fügen auf (Sub-)Komponenten-Level (2 Segmente) in AP4.1
M4.1.8	Gemäß Auswahl AP1.4 Bau Demonstratoren und Technologiebewertung abgeschlossen

AP 4.2 US-Schweißen

M4.2.1	Vorevaluierung des Technologie-Bausteins anhand Stand der Technik verfügbar
M4.2.2	Bewertungsgrundlage des Technologiebausteins durch Versuchsreihen erstellt
M4.2.3	Technologiestatus-Entwicklung für Einsatzszenario abgeschlossen(WF: Ausprägung, Eigenschaften, Schädigungsverhalten Schweißnaht
M4.2.4	B: Fügen der Einzelteile in HAP4
M4.2.5	Gemäß Auswahl AP1.4 Bau Demonstratoren und Technologiebewertung abgeschlossen

AP 4.3 Induktionsschweißen

M4.3.1	Vorevaluierung des Technologie-Bausteins anhand Stand der Technik verfügbar
M4.3.2	Bewertungsgrundlage des Technologiebausteins durch Versuchsreihen erstellt
M4.3.3	Technologiestatus-Entwicklung für Einsatzszenario abgeschlossen(WF: Ausprägung, Eigenschaften, Schädigungsverhalten Schweißnaht
M4.3.4	B: Fügen der Einzelteile in HAP4
M4.3.5	Gemäß Auswahl AP1.4 Bau Demonstratoren und Technologiebewertung abgeschlossen

Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022												
				Q1			Q2			Q3			Q4			
				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
01.03.2020	01.03.2020	DLR	PAG													
01.06.2020	01.06.2020	DLR	PAG													
01.10.2020	01.10.2020	DLR	PAG													
01.03.2021	01.03.2022	PAG	DLR													
01.07.2021	01.03.2022	PAG	DLR													
01.12.2020	01.11.2021	DLR	PAG													
01.09.2021	01.03.2022	DLR	PAG													
01.12.2021	01.04.2022	DLR	PAG													
01.12.2020	01.12.2020	DLR	PAG													
01.07.2021	01.10.2021	DLR	PAG													
01.10.2022	01.04.2023	DLR	PAG													
01.02.2023	01.11.2023	DLR	PAG													
01.06.2023	01.12.2023	DLR	PAG													
01.12.2020	01.12.2020	DLR	PAG													
01.07.2021	01.09.2023	DLR	PAG													
01.10.2022	01.12.2023	DLR	PAG													
01.02.2023	01.02.2023	DLR	PAG													
01.06.2023	01.06.2023	DLR	PAG													

Status und Änderungen auf einen Blick:

- Widerstandsschweißen von Route A1 konnte abgeschlossen werden
- Versuchsreihen zum Ultraschallschweißen für Route B Ende 2022 gestartet
- Nahtversiegelung per WeldSealer wurde weiterentwickelt und ist auch für den Anwendungsfall Route A von Interesse
- Induktionsschweißen für robotergeführten Prozess im Aufbau

HAP5 Digitalisierung

Projektplan in der Übersicht und vergrößert:

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben	Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022											
					Q1			Q2			Q3			Q4		
HoT Stuff					25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
AP 5.2 Online NDI																
M5.2.1 Identifikation geeigneter und online-fähiger/automatisierbarer Messverfahren	01.03.2020	01.03.2020	PAG	DLR												
M5.2.2 Technische Bewertung der Prüfmethoden und Auswahl NDI (down-selection)	01.11.2020	01.11.2020	PAG	DLR												
M5.2.3 Automatisierungskonzept für die Datenaufnahme Online NDI	01.05.2021	01.12.2021	PAG	DLR												
M5.2.4 Konzept zur automatisierten Bewertung der NDT Daten	01.11.2021	01.06.2022	PAG	DLR												
M5.2.5 Online NDI in Prozesskette mit automatisierter Vor-Auswertung implementiert	01.06.2022	01.04.2023	PAG	DLR												
M5.2.6 Funktion und Umsetzbarkeit NDI Verfahren validiert	01.12.2022	01.12.2023	PAG	DLR												
AP 5.3 Prozessüberwachung (Online-QS / Digitale Bauteilakte)																
M5.3.1 Die digitale Infrastruktur für Prozessdatenerfassung ist implementiert; Online-QS Konzept entwickelt	01.05.2021	01.12.2021	DLR	PAG												
M5.3.2 Graphenorientierte Datenbank (z. B. neo4j) ist implementiert und wird mit Prozessdaten befüllt	01.07.2021	01.12.2021	DLR	PAG												
M5.3.3 Methoden aus der Künstlichen Intelligenz für echtzeitfähige Prozessüberwachung sind entwickelt und validiert	01.06.2022	01.07.2023	DLR	PAG												
M5.3.4 Methoden aus der Künstlichen Intelligenz für automatische Auswertung der NDI-Prüfung sind evaluiert	01.12.2022	01.07.2023	DLR	PAG												
M5.3.5 Korrelation Key Performance Parameter (KPP) zur Bauteilperformance (Test) analysiert	01.05.2021	01.10.2023	DLR	PAG												
M5.3.6 Digitale Bauteilakte für Demonstrator liegt vor; Konzept zur Online-QS implementiert	01.12.2021	01.04.2023	DLR	PAG												

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben

HoT Stuff

AP 5.2 Online NDI

- M5.2.1 Identifikation geeigneter und online-fähiger/automatisierbarer Messverfahren
- M5.2.2 Technische Bewertung der Prüfmethoden und Auswahl NDI (down-selection)
- M5.2.3 Automatisierungskonzept für die Datenaufnahme Online NDI
- M5.2.4 Konzept zur automatisierten Bewertung der NDT Daten
- M5.2.5 Online NDI in Prozesskette mit automatisierter Vor-Auswertung implementiert
- M5.2.6 Funktion und Umsetzbarkeit NDI Verfahren validiert

AP 5.3 Prozessüberwachung (Online-QS / Digitale Bauteilakte)

- M5.3.1 Die digitale Infrastruktur für Prozessdatenerfassung ist implementiert; Online-QS Konzept entwickelt
- M5.3.2 Graphenorientierte Datenbank (z. B. neo4j) ist implementiert und wird mit Prozessdaten befüllt
- M5.3.3 Methoden aus der Künstlichen Intelligenz für echtzeitfähige Prozessüberwachung sind entwickelt und validiert
- M5.3.4 Methoden aus der Künstlichen Intelligenz für automatische Auswertung der NDI-Prüfung sind evaluiert
- M5.3.5 Korrelation Key Performance Parameter (KPP) zur Bauteilperformance (Test) analysiert
- M5.3.6 Digitale Bauteilakte für Demonstrator liegt vor; Konzept zur Online-QS implementiert

Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022												
				Q1			Q2			Q3			Q4			
				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
01.03.2020	01.03.2020	PAG	DLR													
01.11.2020	01.11.2020	PAG	DLR													
01.05.2021	01.12.2021	PAG	DLR													
01.11.2021	01.06.2022	PAG	DLR													
01.06.2022	01.04.2023	PAG	DLR													
01.12.2022	01.12.2023	PAG	DLR													
01.05.2021	01.12.2021	DLR	PAG													
01.07.2021	01.12.2021	DLR	PAG													
01.06.2022	01.07.2023	DLR	PAG													
01.12.2022	01.07.2023	DLR	PAG													
01.05.2021	01.10.2023	DLR	PAG													
01.12.2021	01.04.2023	DLR	PAG													

Status und Änderungen auf einen Blick:

- Plangerechte Bearbeitung der anvisierten Themen
- KI-Themen können nur konzeptionell betrachtet werden

HAP6 Validierung

Projektplan in der Übersicht und vergrößert:

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben						2022										
HoT Stuff	Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022											
					Q1	Q2	Q3	Q4								
AP 6.2 Substitutions-Demonstrator (Standardtechnologien)					25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
M2.1.3 A: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2	#NV	#NV	PAG	IGCV												
M3.3.2 A: Bereitstellung von vermessenen Einzelteilen mit Key Feature-Elementen aus AP3.3	#NV	#NV	PAG	DLR												
M4.1.3 A: Fügen der Halbzeuge/Preforms (Joggle Platten mit Stringeransatz) aus AP4.1	#NV	#NV	DLR	PAG												
M6.2.1 A: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Coupon-/Element-Level)	01.11.2020	01.11.2020	PAG	AIRBUS, DLR												
M2.1.4 A: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2	#NV	#NV	PAG	IGCV												
M3.3.4 A: Bereitstellung von vermessenen Full-Scale Einzelteilen aus AP3.3	#NV	#NV	PAG	DLR												
M4.1.4 A: Fügen auf (Sub-)Komponenten-Level (2 Segmente) in AP4.1	#NV	#NV	PAG	DLR												
M6.2.2 A: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Subcomponent-Level)	01.04.2021	01.03.2023	PAG	AIRBUS, DLR												
M2.1.5 A: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2	#NV	#NV	PAG	IGCV												
M3.1.3 A: Bereitstellung teilautomatisierte Full Scale Schweiß-Vorrichtung aus AP3.1	#NV	#NV	PAG	O												
M3.3.5 A: Bereitstellung vermessener Full-Scale Einzelteile für den Demonstrator A aus AP3.3	#NV	#NV	PAG	DLR												
M4.1.5 A: Fügen der Einzelteile in AP4.1	#NV	#NV	PAG	DLR												
M6.2.3 A: Bereitstellung von 2 vermessenen Full-Scale RPB-Demonstratoren in Bauweise A	01.09.2021	01.02.2022	PAG	AIRBUS, DLR												
M6.2.4 A: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Komponenten-Level)	01.10.2021	01.08.2022	PAG	AIRBUS, DLR												
M2.2.3 A2: Bereitstellung von alternativen Halbzeugen/Preforms aus HAP2	#NV	#NV	IGCV	Coriolis												
M3.3.6 A2: Bereitstellung von konsolidierten Test-Coupons aus AP3.3	#NV	#NV	PAG	DLR												
M3.3.7 A2: Bereitstellung vermessener Full-Scale Einzelteile aus AP3.3	#NV	#NV	PAG	DLR												
M4.1.7 A2: Fügen auf (Sub-)Komponenten-Level (2 Segmente) in AP4.1	#NV	#NV	DLR	PAG												
M6.2.5 A2: Bereitstellung eines (Segment-)Funktionsdemonstrator A2	01.10.2021	01.10.2021	PAG	AIRBUS, DLR												
AP 6.3 Neuprogramm Demonstrator (hoch innovative Prozesse)																
M2.2.7 B: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2 an HAP6	#NV	#NV	IGCV	Coriolis												
M3.3.9 B: Bereitstellung von Coupons und [Key Feature-Elementen] aus HAP3	#NV	#NV	PAG	DLR												
M6.3.1 B: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Coupon-Level)	01.11.2022	01.04.2023	PAG	IGCV, DLR, A												
M2.2.8 B: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2 an HAP6	#NV	#NV	IGCV	Coriolis												
M2.2.9 B: Large Scale: Herstellung von Preforms für Funktions-Demonstratoren abgeschlossen, Skalierungseffekte bekannt	#NV	#NV	IGCV	Coriolis												
M3.3.10 B: Bereitstellung der Einzelteile aus HAP3	#NV	#NV	PAG	DLR												
M4.2.4 B: Fügen der Einzelteile in HAP4	#NV	#NV	DLR	PAG												
M6.3.2 B: Bereitstellung des Funktions-Demonstrators in Bauweise B	01.01.2023	01.12.2023	PAG	IGCV, DLR, A												
M6.3.3 B: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Coupon-/Element-Level)	01.08.2023	01.02.2024	PAG	IGCV, DLR, A												

LuFo VI -Verbundprojektvorhaben

HoT Stuff

AP 6.2 Substitutions-Demonstrator (Standardtechnologien)
M2.1.3 A: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2
M3.3.2 A: Bereitstellung von vermessenen Einzelteilen mit Key Feature-Elementen aus AP3.3
M4.1.3 A: Fügen der Halbzeuge/Preforms (Joggle Platten mit Stringeransatz) aus AP4.1
M6.2.1 A: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Coupon-/Element-Level)
M2.1.4 A: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2
M3.3.4 A: Bereitstellung von vermessenen Full-Scale Einzelteilen aus AP3.3
M4.1.4 A: Fügen auf (Sub-)Komponenten-Level (2 Segmente) in AP4.1
M6.2.2 A: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Subcomponent-Level)
M2.1.5 A: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2
M3.1.3 A: Bereitstellung teilautomatisierte Full Scale Schweiß-Vorrichtung aus AP3.1
M3.3.5 A: Bereitstellung vermessener Full-Scale Einzelteile für den Demonstrator A aus AP3.3
M4.1.5 A: Fügen der Einzelteile in AP4.1
M6.2.3 A: Bereitstellung von 2 vermessenen Full-Scale RPB-Demonstratoren in Bauweise A
M6.2.4 A: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Komponenten-Level)
M2.2.3 A2: Bereitstellung von alternativen Halbzeugen/Preforms aus HAP2
M3.3.6 A2: Bereitstellung von konsolidierten Test-Coupons aus AP3.3
M3.3.7 A2: Bereitstellung vermessener Full-Scale Einzelteile aus AP3.3
M4.1.7 A2: Fügen auf (Sub-)Komponenten-Level (2 Segmente) in AP4.1
M6.2.5 A2: Bereitstellung eines (Segment-)Funktionsdemonstrator A2
AP 6.3 Neuprogramm Demonstrator (hoch innovative Prozesse)
M2.2.7 B: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2 an HAP6
M3.3.9 B: Bereitstellung von Coupons und [Key Feature-Elementen] aus HAP3
M6.3.1 B: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Coupon-Level)
M2.2.8 B: Bereitstellung von Halbzeugen/Preforms aus HAP2 an HAP6
M2.2.9 B: Large Scale: Herstellung von Preforms für Funktions-Demonstratoren abgeschlossen, Skalierungseffekte bekannt
M3.3.10 B: Bereitstellung der Einzelteile aus HAP3
M4.2.4 B: Fügen der Einzelteile in HAP4
M6.3.2 B: Bereitstellung des Funktions-Demonstrators in Bauweise B
M6.3.3 B: Auswertung und Interpretation der Testergebnisse zusammen mit AP1.1 (Coupon-/Element-Level)

Plan-Datum	FC-Datum	Verantwortlicher	Partner	2022													
				Q1			Q2			Q3			Q4				
				25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		
#NV	#NV	PAG	IGCV														
#NV	#NV	PAG	DLR														
#NV	#NV	DLR	PAG														
01.11.2020	01.11.2020	PAG	AIRBUS, DLR														
#NV	#NV	PAG	IGCV														
#NV	#NV	PAG	DLR														
#NV	#NV	PAG	DLR														
01.04.2021	01.03.2023	PAG	AIRBUS, DLR														
#NV	#NV	PAG	IGCV														
#NV	#NV	PAG	0														
#NV	#NV	PAG	DLR														
#NV	#NV	PAG	DLR														
01.09.2021	01.02.2022	PAG	AIRBUS, DLR														
01.10.2021	01.08.2022	PAG	AIRBUS, DLR														
#NV	#NV	IGCV	Coriolis														
#NV	#NV	PAG	DLR														
#NV	#NV	PAG	DLR														
#NV	#NV	DLR	PAG														
01.10.2021	01.10.2021	PAG	AIRBUS, DLR														
				iv-Segmente													
#NV	#NV	IGCV	Coriolis														
#NV	#NV	PAG	DLR														
01.11.2022	01.04.2023	PAG	IGCV, DLR, A														
#NV	#NV	IGCV	Coriolis														
#NV	#NV	IGCV	Coriolis														
#NV	#NV	PAG	DLR														
#NV	#NV	DLR	PAG														
01.01.2023	01.12.2023	PAG	IGCV, DLR, A														
01.08.2023	01.02.2024	PAG	IGCV, DLR, A														

Status und Änderungen auf einen Blick:

- Enge Zusammenarbeit mit der PAG als industrieller Anwender der Produktionstechnologie
- Fertigstellung eines vollständigen Substitutionsdemonstrators in 2022 erfolgt
- Arbeiten zur Erstellung des Route B Demonstrators haben in 2022 begonnen, sind aber der Schwerpunkt erst in 2023

3. Aussicht auf Erreichung der Ziele des Vorhabens

Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert (Begründung)?

Durch das Kompensieren vereinzelter Verzögerungen im bisherigen Projektverlauf wird zum aktuellen Zeitpunkt von der Erreichung aller ursprünglich definierten Ziele des Vorhabens ausgegangen. Die ursprüngliche Ausrichtung der Themen und die geplanten Ziele bleiben bestehen und sind nach wie vor von besonderem Interesse im Konsortium und darüber hinaus.

In HAP1 bis HAP6 sind zum aktuellen Zeitpunkt keine Änderungen der Ziele des Vorhabens zu erwarten

4. Relevante Ergebnisse Dritter

Sind inzwischen von dritter Seite Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind (auch Darstellung aktueller Informationsrecherchen)?

HAP 1 bis HAP 6

Es sind keine FE-Ergebnisse Dritter bekannt geworden, die die Arbeiten im Projekt beeinflussen.

Die regelmäßigen Recherchen, die Teilnahmen der beteiligten Mitarbeiter an internationalen Konferenzen (z.B. SAMPE 2022, ECCM 2022, ITHEC 2022), die Netzwerkaktivitäten in den betroffenen Themenfeldern und die wissenschaftlichen Recherchen, etwa bei Abschlussarbeiten und Promotionsvorhaben, zeigen keine Hinweise auf Ergebnisse von dritter Seite, die für die Arbeiten im Projekt von besonderer Relevanz sind oder die Arbeiten im Projekt beeinflussen.

Der wissenschaftliche Fortschritt zu den behandelten Themen wird berücksichtigt. Dies erfolgt auch durch den Wissensaustausch zwischen Kollegen aus themenverwandten Projekten, etwa dem EU Clean Sky 2 Multi-Functional Fuselage Demonstrator Projekt, bei dem vor allem auch die Fügetechnologien weiterentwickelt werden.

5. Änderungen in der Zielsetzung

Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

HAP 1 bis HAP 6

Es wird keine Notwendigkeit einer Änderung in der Zielsetzung gesehen.

6. Verwertung der Ergebnisse / Fortschreibung des Verwertungsplans

Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans:

6.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom ZE oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren Verwertung (Lizenzen u. a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten.

Patentanmeldung beim DPMA am 31.03.2021: Werkzeugtechnik beim Widerstandsschweißen, Erfinder hierbei sind DLR und PAG, Die weitere Verwertung liegt beim Einsatz der Schweißtechnologie.

Erfindungsmeldung in 08/2022: Konduktions-Element-Schweißen: Thermoplastschweißverfahren für Laminate durch konduktives Erwärmen von funktionellen Kohlenstofffaserzwischen-schichten

Erfindungsmeldung in 09/2022: Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von Schweißleiter- und Verbindungsqualität mittels Widerstandsthermografie

Weitere Erfindungen und Schutzrechtsanmeldungen zu den gewonnenen Erkenntnissen bei der Durchführung und Anpassung der Umform- und Fügeprozesse werden angestrebt und im weiteren Projektverlauf abgeschlossen.

6.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - z. B. auch funktionale/ wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-industrien in Deutschland oder dem EWR, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt).

Da das Thermoformen bereits bei Projektpartnern und in vielen weiteren Industriebereichen zum Einsatz kommt, ist die Hürde für die integrative Erweiterung um den Co-Konsolidierungsprozess gering und aufgrund der zahlreichen denkbaren Anwendungsfelder naheliegend.

Hervorzuheben ist das elektrische Widerstandsschweißen mit der besonders hohen Technologiereife, etwa zu sehen in der Umsetzung in industriellem Umfeld (HAP6).

Die den Entwicklungen beim US-Schweißen können Anwendungen im 1:1-Maßstab unmittelbar realisiert werden, weitere Optimierungen führen hier auch zu einem für die Industrie unmittelbar einsetzbaren Verfahren mit besonderer Flexibilität.

Das Induktionsschweißen erfordert die umfangreichsten Weiterentwicklungen, auch nach Projektende. Nichtsdestotrotz ist es für bestimmte Anwendungen eine vielversprechende Technologie.

6.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) - u. a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z. B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt

werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u. a. einzubeziehen.

Die steigende Expertise im Bereich des Thermoformens und der Schweißverfahren unter Berücksichtigung produktionstechnischer Anforderungen kann für die kommenden Kooperationsprojekte, etwa mit der Luftfahrtindustrie, genutzt werden. Es wird erwartet, dass deutliche Steigerungen der Technologiereife erreicht wird und es zu noch anwendungsnäher ausgerichteten Projektarbeiten führt.

Durch die Hochskalierung der Technologien (Press- und Fügeverfahren betreffend) ist die Hürde für einen zeitnahen industriellen Einsatz besonders gering. Zu erwähnen sind bereits aktuell parallellaufende Aktivitäten zur Erreichung von Technologiereifegraden beim Projektpartner PAG (elektrisches Widerstandsschweißen betreffend).

6.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse.

HAP 1 Bauweisen

Die Betrachtung neuartiger Konzepte für Flugzeugstrukturen eröffnet denkbare neue verfahrens- und strukturkomponentenseitige Entwicklungsbedarfe.

HAP3 Einzelkomponentenfertigung

Das kombinierte Thermoformen und Co-Konsolidieren bringt das Potential der schnellen Prozessführung beim Umformen und Fügen von thermoplastischen Strukturen zusammen. Darüber hinaus kann das aufgebaute Prozesswissen auf anstehende Forschungsbedarfe im Bereich der hybriden Verbindungen genutzt werden.

HAP 4 Füge-technologie

Das aufgebaute Prozesswissen kann für anstehende Forschungsbedarfe im Bereich der hybriden Verbindungen genutzt werden. Die Grundlagenentwicklung zu komplexen Fügegeometrien ermöglicht weitere Projekte welche die Maturität der Technologie erhöhen. Synergien können zum Beispiel in den Projekten MORPHEUS (LuFo6.3/LuFoKlima, Hybridverbindungen), in ZEUS (LuFo6.2, Thermoplastrumpf) oder in NATUR (LuFo6.3/LuFoKlima, Thermoplast/Thermoset-Rumpfstrukturen) genutzt werden.

Im Anschluss an die im Projekt zunächst erfolgende Verschweißung von gewebeverstärktem CF-PPS bieten sich Untersuchungen zur Verschweißbarkeit von Laminaten aus unidirektionalem Material an. Weiterhin gilt es, Unterschiede im Prozessverhalten verschiedener Thermoplaste zu erforschen. Der Austausch zu anderen laufenden Projekten wird außerdem genutzt, z.B. BayLu LIGHT oder EU Clean Sky MFFD.

Aufbauend auf die Arbeiten zur Fügung der einfach gekrümmten Schweißnaht der Druckkalotte soll die Technologie zur Realisierung beliebig komplexer Schweißnahtgeometrien eingesetzt werden. Weiterhin fallen Untersuchungen zur Verschweißbarkeit von Halbzeugen mit aufgebrachtem Blitzschutz an. Nach Proof of

Concept der komplexen Fügegeometrien müssen Parameteroptimierungen erfolgen, sowie eine Optimierung zur industriellen Prozessgestaltung umgesetzt werden.

HAP 5 Digitalisierung

Um die Qualität der erzeugten Schweißnaht im Prozess beurteilen zu können, ist die Weiterentwicklung und Implementierung einer sensorbasierten Inline QS erforderlich.

HAP 6 Validierung

Vereinfachungen der Serienprozesstechnik zur automatisierten Umsetzung der Füge Technologien durch integrative Werkzeugtechnik und weitere Prozessanpassungen sind anzustreben.