

# Abschlussbericht

## Elthepla - DEVANT

„Design und Validierung neuartiger thermoplastischer Bauweisen“

im Verbund ELTHEPLA

|                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| Zuwendungsempfänger: | Airbus Operation GmbH   |
| Förderkennzeichen:   | 20W1726B                |
| Projektdauer:        | 01.02.2019 - 30.04.2022 |

Erstellt von: Bernd Schwing

Freigabe: Uwe Kütemeier

Hamburg, Monat/Jahr 12/2022

Uwe Kütemeier  
- SIG

Digital unterschrieben von Uwe Kütemeier - SIG  
DN: c=DE, o=European Aeronautic Defence and  
Space Company, ou=Employees and Contractors,  
ou=DA GmbH, cn=Uwe Kütemeier - SIG,  
serialNumber=141070  
Ort:Toulouse/Hamburg/Bremen/Filton  
Datum: 2022.12.09 15:11:56 +01'00'

---

Rechtsverbindliche Unterschrift

# **Inhalt**

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 KURZDARSTELLUNG</b>                                        | <b>3</b>  |
| <b>1.1 AUFGABENSTELLUNG</b>                                     | <b>3</b>  |
| <b>1.2 VORAUSSETZUNGEN UND RANDBEDINGUNGEN</b>                  | <b>4</b>  |
| <b>1.3 PLANUNG UND ABLAUF / ZEITPLAN</b>                        | <b>6</b>  |
| <b>1.4 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND DER TECHNIK</b> | <b>6</b>  |
| <b>1.5 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN</b>                   | <b>8</b>  |
| <b>2. ERGEBNISSE</b>                                            | <b>9</b>  |
| <b>2.1 ERZIELTE ERGEBNISSE</b>                                  | <b>9</b>  |
| <b>2.2 NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE</b>             | <b>25</b> |
| <b>3. RELEVANTE ERGEBNISSE DRITTER</b>                          | <b>26</b> |
| <b>4. LITERATURVERZEICHNIS</b>                                  | <b>26</b> |

# 1 KURZDARSTELLUNG

Entwicklung und Fertigung von Strukturkomponenten für Zivilflugzeuge werden durch die Notwendigkeit bestimmt, Kosten- und Gewichtsziele dem zunehmenden Wettbewerb und den bestehenden Gewinnerwartungen anzupassen.

**Das Verbundvorhaben ELTHEPLA mit dem darin integrierten Airbus-Partnerprojekt DEVANT zielt auf den Einsatz der Overmolding-Technologie für Bauteile von Rumpfstrukturen.**

Kennzeichnendes Merkmal der Overmolding-Technologie ist die Möglichkeit, geometrisch komplexe und funktionsintegrierende Bauteile aus faserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen wie etwa kohlenstofffaserverstärkten PEEK (CF-PEEK) herzustellen. Das Automatisierungspotential, sowie bereits vorhandene Automatisierungsansätze aus der Automobilindustrie, lassen die Möglichkeit zu Kosteneinsparungen bei der Herstellung geometrisch komplexer CFK-Strukturbauteile im Vergleich zur RTM-Technologie erkennen. Im Vergleich zu metallischen Bauweisen ergeben sich neben den Kosteneinsparungen auch Ansätze für Gewichtseinsparungen.

## 1.1 AUFGABENSTELLUNG

**Ziele des Airbus-Vorhabens DEVANT sind neben der Werkstoffauswahl, die Entwicklung und Validierung geeigneter Konstruktions- und Auslegungsmethodens für die Entwicklung und Herstellung von Rumpfstrukturen in Overmolding-Technologie.**

**Dies beinhaltet im Einzelnen:**

- **Werkstoffauswahl** im Hinblick auf das Anforderungsprofil für Strukturbauteile im Rumpfbereich und die Eignung für eine Verarbeitung im Overmolding-Verfahren.
- **Materialcharakterisierung** der kurz- und endlosfaserverstärkten Materialkomponenten und deren Anbindungsbereiche. Die Arbeiten hierzu erfolgen in enger Arbeitsteilung mit dem Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE).
- **Definition geeigneter Konstruktions- und Auslegungsmethoden** für Hybridbauteile basierend auf einer Kombination kontinuierlich und diskontinuierlich verstärkter thermoplastischer Matrixbereiche unter Berücksichtigung von prozess- und geometriebedingter Anisotropie.
- **Herstellung eines Türrahmenbeschlags** aus den ausgewählten Werkstoffen unter Nutzung eines bereits vorhandenen Werkzeugs (vgl. Abbildung 2).
- **Mechanische Tests an einem Türrahmenbeschlag** zur Ermittlung des Verformungs- und Versagensverhaltens bei unterschiedlich Belastungen. Hinweis: Diese Versuche sollen bereits in einem frühen Stadium des Projektes stattfinden, um frühzeitig Daten für die nachfolgende Validierung von Konstruktions- und Auslegungsmethoden bereitstellen zu können. Zum anderen sollen diese

Versuchsergebnisse Eingang finden in die Auslegung der Notausstiegs-Klappe, als dem eigentlichen Demonstrator-Bauteil des Verbundvorhabens ELTHEPLA.

- **Validierung der definierten Auslegungs- und Konstruktionsmethoden** mittels eines auf den Türrahmenbeschlag anzuwendenden Re-Engineering Prozesses. Die Validierung erfolgt mittels Abgleich der Ergebnisse aus den vorangegangenen mechanischen Tests und den auf Simulation basierenden Ergebnissen des Re-Engineerings.
- **Technologiebewertung innerhalb des Verbundvorhabens ELTHEPLA** unter Zugrundelegung prozess- und bauteilspezifischer Kriterien zur Bestimmung eines sogenannten Technology Readiness Level's (TRL). Ziel ist das Erreichen eines Reifegrades entsprechend TRL3 – TRL4 bei Auslaufen des Verbundvorhabens.

## 1.2 VORAUSSETZUNGEN UND RANDBEDINGUNGEN

Im Unterschied zu klassischen, laminatbasierten Faserverbundbauweisen bei denen die Matrix durch (quasi-) Endlosfasern verstärkt ist, werden mittels Overmolding-Technologie kurz- und endlosfaserverstärkte Matrixbereiche innerhalb einer einzelnen Struktur erzeugt (vgl. Abbildung 1).

Ein zusätzlicher Achtungspunkt im Zusammenhang mit der Overmolding-Technologie ist außerdem das Vorliegen eines Grenz- oder Anbindungsbereiches zwischen kontinuierlich und diskontinuierlich verstärkten Matrixbereichen.



**Abbildung 1 Matrixbereiche einer Overmolding-Struktur**

Für Strukturbauteile werden seitens Airbus zwei Kategorien von Anwendung für die *Overmolding-Technologie* unterschieden. Diese Differenzierung ist zugleich Bestandteil und Basis für die Beschreibung typischer Hybridstrukturen (vgl. AP 1.1):

### 1. *Functional Overmolding*

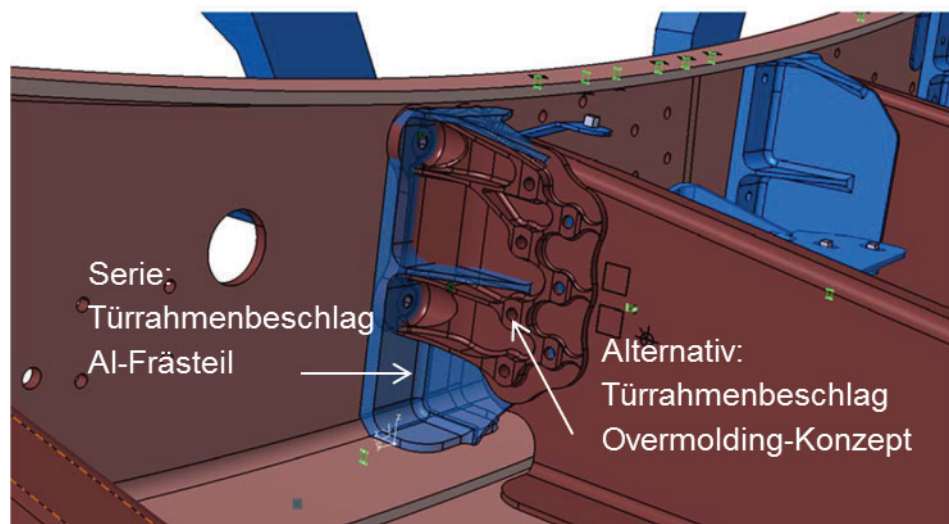
Hierzu zählen Anwendungen, bei denen durch Anspritzen/Überspritzen, ein endlosfaserverstärkten Strukturelements mit zusätzliche Eigenschaften/Funktionalitäten ausgestattet wird, die über dessen lastragende Funktion hinausgehen. So können etwa Kanten und Flächen mit einer zusätzlichen elektrisch nicht-leitenden Schicht (z.B. unverstärktes PEEK) versehen werden um galvanische Korrosion im Zusammenspiel mit in der Nähe befindlichen Aluminiumbauteilen zu verhindern. Weitere Beispiel wäre das Aufbringen einer lokalen Verschleißschicht oder die Integration einer Positionierungs- oder Montage-Funktion.

### 2. *Structural Overmolding*

In diesem Fall ergeben ein oder mehrere endlosfaserverstärkte Strukturelemente zusammen mit den diskontinuierlichen Bauteilbereichen ein Strukturbauteil. Es ergibt sich damit die Möglichkeit, geometrisch komplexe Bauteile zu gestalten. Lokale Verstärkungen (Rippen etc.) und Aufdickungen sowie Bereiche der Lastum- und Überleitung werden als diskontinuierliche Bereiche ausgebildet; endlosfaserverstärkte Strukturelemente übernehmen die flächige Lastverteilung und dienen ebenfalls als lokale Verstärkung wie etwa in zu vernietenden Bereichen.

ELTHEPLA-DEVANT fokussiert auf das beschriebene *Structural Overmolding*.

Vor diesem Hintergrund wurde als zu betrachtendes Demonstratorbauteil ein sogenannter *Corner Fitting* der *Door Surround Structure (DSS)* ausgewählt. Diese auch als Türrahmenbeschläge bezeichneten Bauteile verbindet in der Türumgebung den radial verlaufenden *Door Frame* mit lateral orientierten *Intercostals* und übernehmen gleichzeitig Lasten aus den ebenfalls am *Door Frame* befindlichen *Door Stops* (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 2: Türstruktur**

Der in Abbildung 3 dargestellte Türrahmenbeschlag basiert im wesentlichen auf einem spritzgussgerechten Design und beinhaltet lokale Struktureinleger aus

endlosfaserverstärktem CFK-Gewebe, die in einer kurzfaserverstärkten Spritzgussmatrix eingebettet sind.

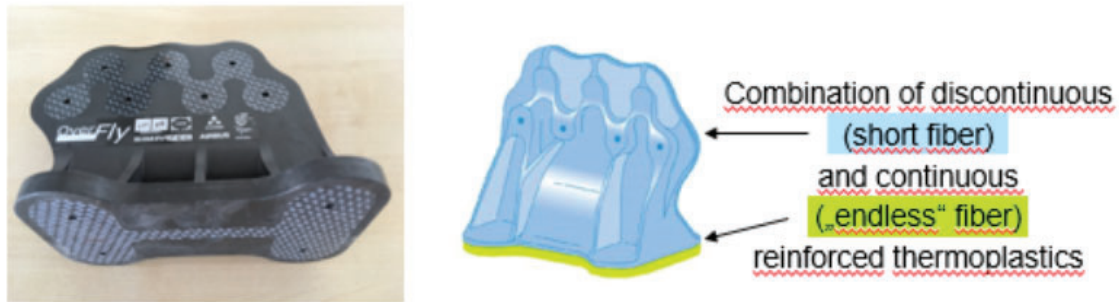


Abbildung 3: Türrahmenbeschlag

### 1.3 PLANUNG UND ABLAUF / ZEITPLAN

Infolge des *Corona*-Geschehens standen insbesondere in den Jahren 2020 und 2021 nur eingeschränkte personelle Kapazitäten zur Verfügung, ebenso waren strenge Auflagen im Zusammenhang mit der Nutzung von Laborkapazitäten einzuhalten. Beides bedingte zeitliche Verzögerungen im Projektablauf und erforderte eine Anpassung der Projektplanung.

Abbildung 4 zeigt den überarbeiteten Projektplan (Stand 01/2022), wie er dem Berichtszeitraum kurz vor Ende des Projektes zugrunde lag.

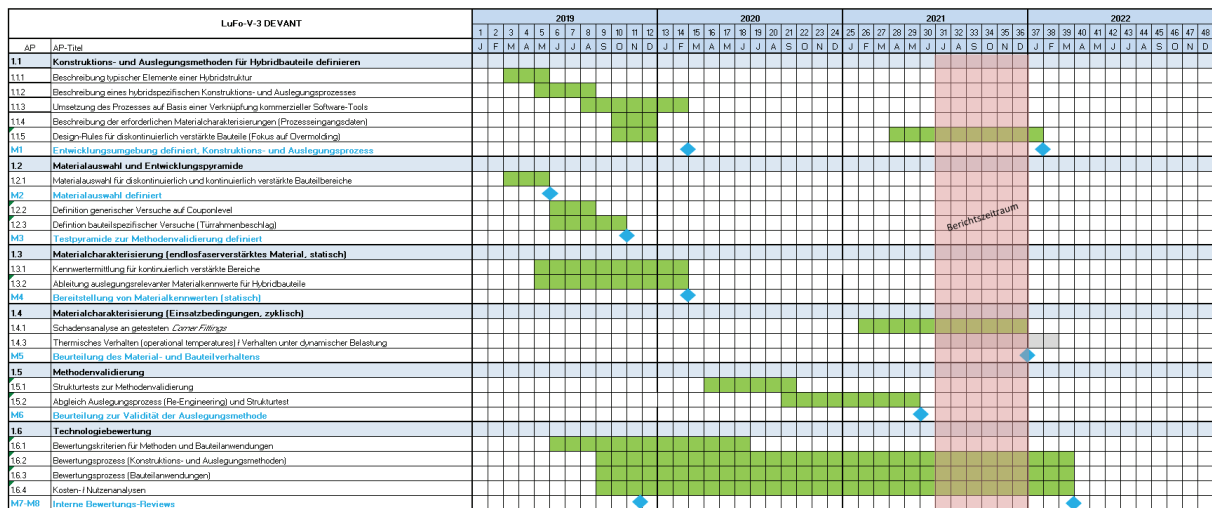


Abbildung 4: Aktualisierter Projektplan ELTHEPLA-DEVANT, Stand Januar 2022

### 1.4 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND DER TECHNIK

Der Stand der Technik hinsichtlich geometrisch komplexer Strukturbauteile in Flugzeugbau basiert zumeist auf dem Einsatz metallischer Werkstoffen (vorwiegend Aluminium- oder

Titan-Legierungen) aus denen die Bauteile auf Endmaß gefräst oder mittels Ur- oder Umformprozessen hergestellt werden.

Der Wunsch nach Kosten und Gewichtseinsparungen oder die Problematik der galvanischen Korrosion in CFK-Strukturen lässt aber auch immer wieder den Einsatz endlosfaserverstärkter Kunststoffe (zumeist CFK) für geometrisch komplexe Bauteile wünschenswert erscheinen.

Hierbei haben insbesondere zwei Ansätze Eingang in die heutige Serienfertigung von geometrisch komplexen Strukturbauteilen gefunden:

- Lösungen bei den vorkonsolidierte „Organosheets“ aus endlosfaserverstärkten Thermoplasten vorgefräst und zum Teil in mehrstufigen Prozessen zu Bauteilen umgeformt werden.
- Lösungen auf Basis endlosfaserverstärkte Duroplaste bei denen sog. Preforms mittels des „Resin-Transfer-Molding (RTM)“ - Verfahrens in einer geschlossenen Kavität imprägniert werden.

Für nichtstrukturelle bzw. gering belastete Bauteile existiert mit dem Spritzguss-Verfahren („Injection Molding“) ein Verfahren, das es erlaubt, geometrisch sehr komplexe Bauteile aus kurzfaserverstärkten Thermoplasten äußerst kostengünstig herzustellen.

Im Bereich der Automobilindustrie wurde, basierend auf dem „Injection Molding“ - Verfahren, in den letzten Jahren die Entwicklung des sogenannten „Overmolding“ - Verfahrens forciert.

Dieses Verfahren kombiniert besseren mechanischen (in-plane-) Eigenschaften endlosfaserverstärkter Thermoplaste mit der geometrischen Gestaltungsfreiheit kurzfaserverstärkter Thermoplast, in dem es beide Werkstoffe in lokal unterschiedlichen Bereichen eines Bauteils zu Einsatz bringt. Daraus ergeben sich als wesentliche Vorteile gegenüber Bauweisen, die auf rein endlosfaserverstärkten Materialien basieren:

- Größere geometrische Gestaltungsfreiheit
- Verbesserte Möglichkeiten zur Funktionsintegration und Topologieoptimierung

Aus der Verwendung einer thermoplastischen Matrix anstelle einer duroplastischen ergeben sich als weitere Vorteile:

- Einfachere Material-Logistik durch Entfall von Kühlketten
- Verbesserte Möglichkeiten des Recycling von Produktionsresten und ausgemusterten Bauteilen („Downcycling“ im Zusammenhang mit Struktur-Bauteilen)
- Kurze Zykluszeiten mit dem Potential für Fertigungskosteneinsparungen

Bei den eingesetzten thermoplastischen Matrixwerkstoffen handelt es sich dabei in der Automobilindustrie zumeist um Werkstoffe mit Verarbeitungstemperaturen im Bereich von etwa 100 – 200 °C. Für Luftfahrtanwendungen im Strukturbereich besteht dagegen die Notwendigkeit, teilkristalline Matrixwerkstoffe mit Eigenschaftsprofilen etwa von PPS, PEKK oder PEEK zu verwendenden, bei denen die Verarbeitungstemperaturen im Bereich von etwa 250 – 380 °C liegen.

Für die endlosfaserverstärkten (oder auch kontinuierlich verstärkten) Matrixbereiche, werden sowohl die Faserorientierung jeder Einzellage, als auch die Schichtung („stacking sequence“)

aller Einzellagen innerhalb des Verbundes im Zuge der Bauteilkonstruktion und -auslegung bestimmt. Dies geschieht u.a. auf Grundlage der sog. klassischen Laminattheorie und weiterentwickelten Strukturanalyse-Methoden, die das anisotrope Materialverhalten berücksichtigen.

In kurzfaserverstärkten (oder auch diskontinuierlich verstärkten) Matrixbereichen, wie sie in Spritzgussbauteilen und Overmolding-Bauteilen vorliegen, wird eine lokal unterschiedliche Faserorientierung ganz wesentlich durch Bauteilgeometrie, Werkzeuggestaltung, Prozessparameter und rheologische Eigenschaften des Materials bestimmt. Die Ausbildung lokaler Vorzugsrichtungen der Faserorientierung führt ebenfalls zu einem anisotropen, noch dazu lokal unterschiedlichen Materialverhalten.

Für strukturell weniger kritische Bauteile – wie etwa Spritzgussanwendungen im Kabinenbereich – wurde in der Vergangenheit zumeist vereinfachend ein isotropes Materialverhalten für die Bauteilauslegung angesetzt. Abweichungen von dieser Annahme und bestimmte spritzgusspezifische Effekte, wie etwa die im Vorfeld abschätzbare Ausbildung von aufeinandertreffenden Fließfronten ("weld lines") wurden dabei durch Abminderungsfaktoren für die Festigkeit berücksichtigt.

## **1.5 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN**

Das Airbus-Partnerprojekt DEVANT ist integraler Bestandteil des Verbundvorhabens ELTHEPLA und deckt im wesentlichen die Inhalte des Hauptarbeitspaketes 1 (HAP 1) dieses Verbundvorhabens ab. Im HAP 1 findet u.a. die Werkstoffauswahl statt - eine wesentliche Voraussetzung für die Arbeiten in den anderen Hauptarbeitspaketen und den entsprechenden Partnerprojekten.

Abbildung 5 zeigt den Projektstrukturplan von ELTHEPLA mit dem darin eingebetteten Projekt DEVANT.

Die einzelnen Hauptarbeitspakete von ELTHEPLA sind den beteiligten Partnern im Rahmen der Partnerprojekte wie folgt zugeordnet:

HAP 1 (Projekt DEVANT, Airbus Operations GmbH)

HAP 2 (Projekt FUTHEPLA, Airbus Helicopter)

HAP 3 (Projekt AMTHEPLA, Fraunhofer IWU)

HAP 4 (Projekt MOTHEPLA, Faserinstitut Bremen)

HAP 5 (Projekt SERV-FORCE, Neue Materialien Bayreuth)

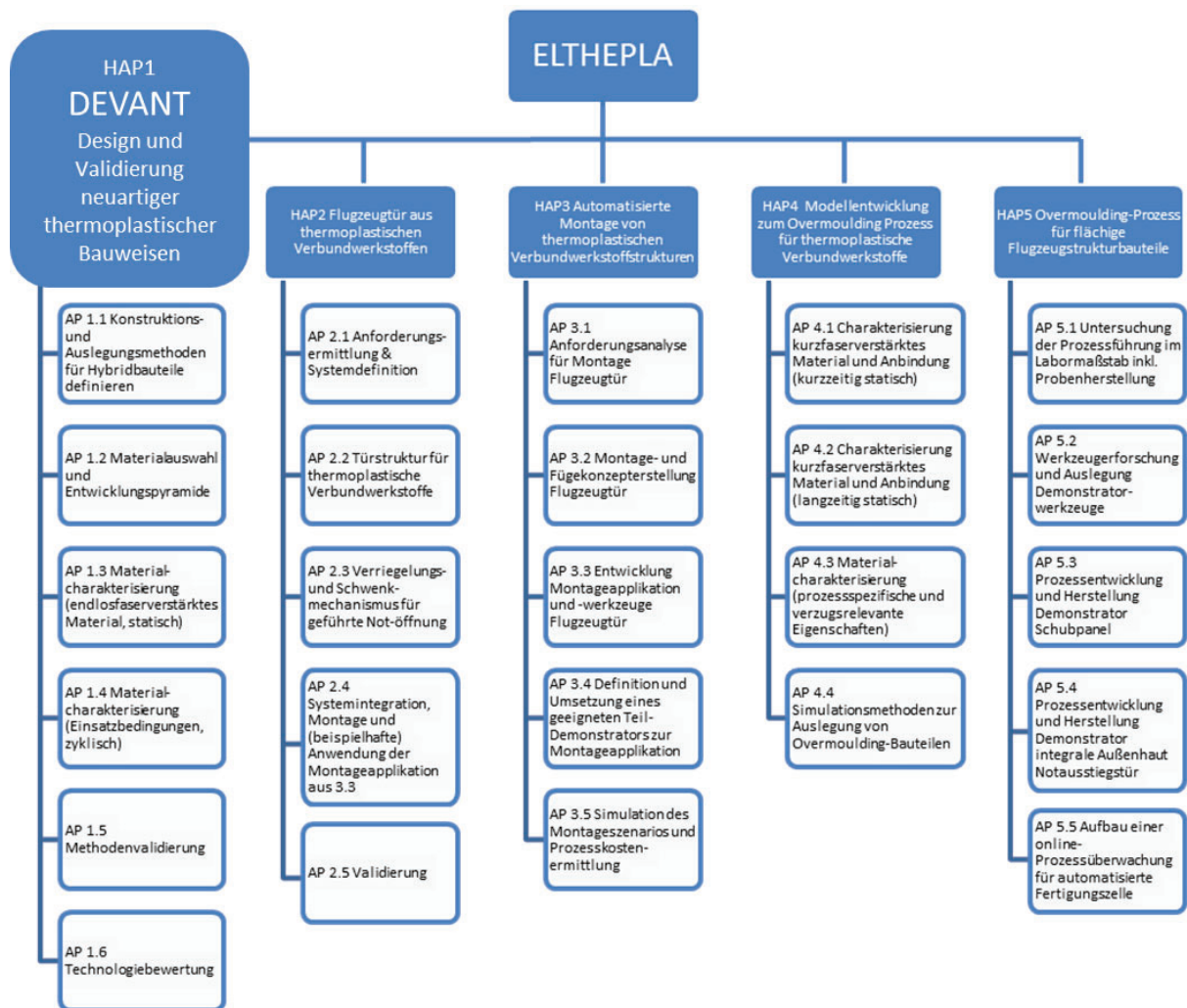


Abbildung 5: Arbeitspaketstruktur des Verbundvorhabens ELTHEPLA und des darin eingebetteten Partnervorhabens DEVANT

## 2. ERGEBNISSE

### 2.1 ERZIELTE ERGEBNISSE

#### Werkstoffauswahl und Materialcharakterisierung

Die im Rahmen DEVANT betrachteten Hybridbauteile basierend auf der Kombination von diskontinuierlichen (kurz- oder langfaserverstärkt bzw. unverstärkt) und kontinuierlich verstärkten (endlosfaserverstärkten) Matrixbereichen innerhalb eines Bauteils. Die Verbindung dieser beiden Bereiche findet im Prozess des Überspritzens („Overmoulding“) statt. Um eine hinreichende Anbindung zu gewährleisten, muss die thermoplastische Matrix in beiden Bauteilbereichen im Zuge dieses Prozesses aufschmelzen.

Zugleich erweist es sich als vorteilhaft, wenn die endlosfaserverstärkten Bauteilbereiche nicht vollständig, sondern nur lokal aufschmelzen, da nur so eine Stabilität/Beibehaltung der definierten Faserorientierung gewährleistet ist.

In vorangegangenen Untersuchungen (u.a. ZIM-Projekt „Overfly“) hat es sich als vielversprechend erwiesen, wenn das Temperaturniveau der diskontinuierlichen Matrix während des Überspritzens ausreicht, um die kontinuierlich verstärkten Bereiche lokal aufzuschmelzen.

Auf Basis dieses Prinzips fand die Auswahl einer geeignet erscheinenden Materialkombination statt. Unter Berücksichtigung einer möglichen zukünftigen Materialstrategie auf Seiten AIRBUS ist vorgesehen, das Projekt somit im Wesentlichen auf folgenden Materialien basieren zu lassen:

Die im Rahmen DEVANT betrachteten Hybridbauteile basierend auf der Kombination von diskontinuierlichen (kurz- oder langfaserverstärkt bzw. unverstärkt) und kontinuierlich verstärkten (endlosfaserverstärkten) Matrixbereichen innerhalb eines Bauteils.

Die Verbindung dieser beiden Bereiche findet vorzugsweise im Prozess des Überspritzens („Overmolding“) statt. Um eine hinreichende Anbindung zu gewährleisten, muss die thermoplastische Matrix in beiden Bauteilbereichen im Zuge dieses Prozesses aufschmelzen.

Zugleich erweist es sich als vorteilhaft, wenn die endlosfaserverstärkten Bauteilbereiche nicht vollständig, sondern nur lokal aufschmelzen, da nur so eine Stabilität/Beibehaltung der definierten Faserorientierung gewährleistet ist. Auf Basis dieses Zusammenhanges wurde im Rahmen von DEVANT die folgende Materialkombination ausgewählt:

Diskontinuierliche Matrixbereiche (Overmolding):

VICTREX 90HMF40

kurzfaserverstärktes PEEK

40 Gew.-% Kohlenstofffaser (C-Faser)

Schmelztemperatur: ca. 345 °C

Es handelt sich hierbei um ein Material das bereits für allgemeine Spritzgussanwendungen qualifiziert ist. Besondere Aspekte im Hinblick auf strukturelle Anwendungen wurden durch eine Erweiterung der bestehenden Qualifikationsdatenbasis abgedeckt.

Kontinuierlich verstärkte Bereiche:

TORAY/TENCATE TC1225 T700/LMPAEK 194 gsm

Unidirektional (UD) kohlenstofffaserverstärktes LM-PAEK („low-melt“ PAEK)

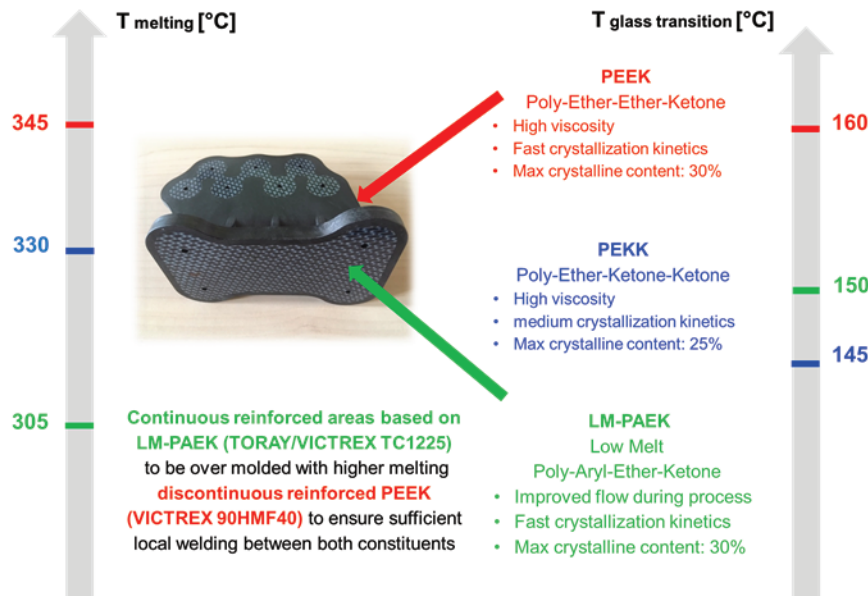
194 g/m<sup>2</sup> Faserflächengewicht

Schmelztemperatur: ca. 305 °C

Das Screening der unidirektionalen, endlosfaserverstärkte Materialkomponente (TORAY/TenCate, TC1225) erfolgte in Zusammenarbeit von Airbus Operations und TORAY außerhalb des Projektperimeters von ELTHEPLA fortgesetzt und wird auch nach Beendigung des Projektes fortgesetzt.

Alternativ zu diesem UD-Material kann je nach Anwendung auch ein gewebeverstärktes Material auf Basis der gleichen Matrix (LM-PAEK) eingesetzt werden.

Abbildung 6 zeigt eine vergleichende Darstellung unterschiedlich thermoplastischer Materialien, die seitens Airbus für Strukturanwendungen betrachtet werden.



**Abbildung 6: Betrachtete Hochleistungs-Thermoplaste für Strukturanwendungen**

Im Laufe des Projektes erwies es sich als sinnvoll, auch die Verbindung von kontinuierlichen und diskontinuierlichen verstärkten Matrixbereichen mittels geeigneter Schweißverfahren zu berücksichtigen. Dieser Technologieansatz zielt insbesondere auf die Effizienzsteigerung bei nachgeschalteten Montageprozessen. Hier erweist es sich im ersten Ansatz und im Gegensatz zu der o.g. Overmolding-Technologie als sinnvoll, in den unterschiedlichen Matrixbereichen gleiche Verarbeitungseigenschaften (Schmelzpunkt, Viskosität) zu realisieren. Vor diesem Hintergrund wurde im zweiten Halbjahr die Materialauswahl für diskontinuierliche verstärkte (und unverstärkte) Matrixbereiche im Hinblick auf ein Verschweißen mit kontinuierlich verstärkten Matrixbereichen (basierend auf LM-PAEK) wie folgt ergänzt:

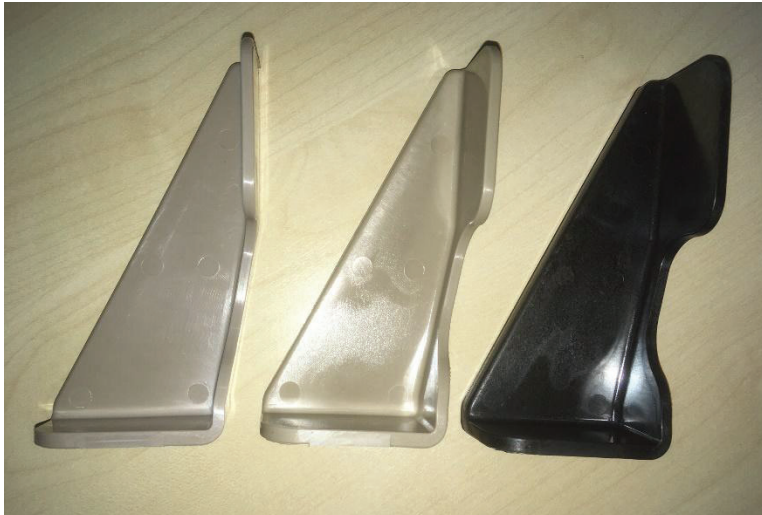
Diskontinuierliche Matrixbereiche (Thermoplast-Schweißen):

VICTREX AE250 LM-PAEK (kurzfaserverstärkte und unverstärkte LM-PAEK Varianten)

1. AE250 PWD, Batch V034138  
*LM-PAEK un-filled*
2. VEG316, Batch GPB0603  
*LM-PAEK compound with 30 weight-% C-fiber*
3. VEG317, Batch GPB0604  
*LM-PAEK compound with 20 weight-% Glas-fiber*

Schmelztemperatur: ca. 305 °C

Die drei genannten Materialvarianten sind kommerziell nicht verfügbar, wurden aber jeweils in einer ersten Batch von VICTREX produziert. Aus jeder Materialvariante wurde in einem vorhandenen Spritzgusswerkzeug sog. Cleats produziert und für erste Schweißversuche bereitgestellt (vgl. Abbildung 7).



**Abbildung 7: Spritzgussbauteile basierend auf LM-PAEK Matrix**

Alle drei Varianten der auf LM-PAEK basierenden Spritzgussmaterialien erwiesen sich als geeignet für das Fügen mittels Schweißtechnologie in Verbindung mit dem ebenfalls auf LM-PAEK basierenden endlosfaserverstärkten Grundwerkstoff.

Im Zuge von DEVANT wurde ein intensiver Austausch zwischen den beteiligten Projektpartnern und den Materialherstellern (TORAY/VICTREX) etabliert. Da einige der Materialien nicht grundsätzlich kommerziell verfügbar sind, wurde seitens Airbus sichergestellt, dass die Projektpartner Zugriff auf die entsprechenden Materialien erhalten.

Die zwischen Airbus und den Materialherstellern kommunizierten Informationen, wie etwa *Processing Guidelines*, wurden den Partner weitestgehend verfügbar gemacht.

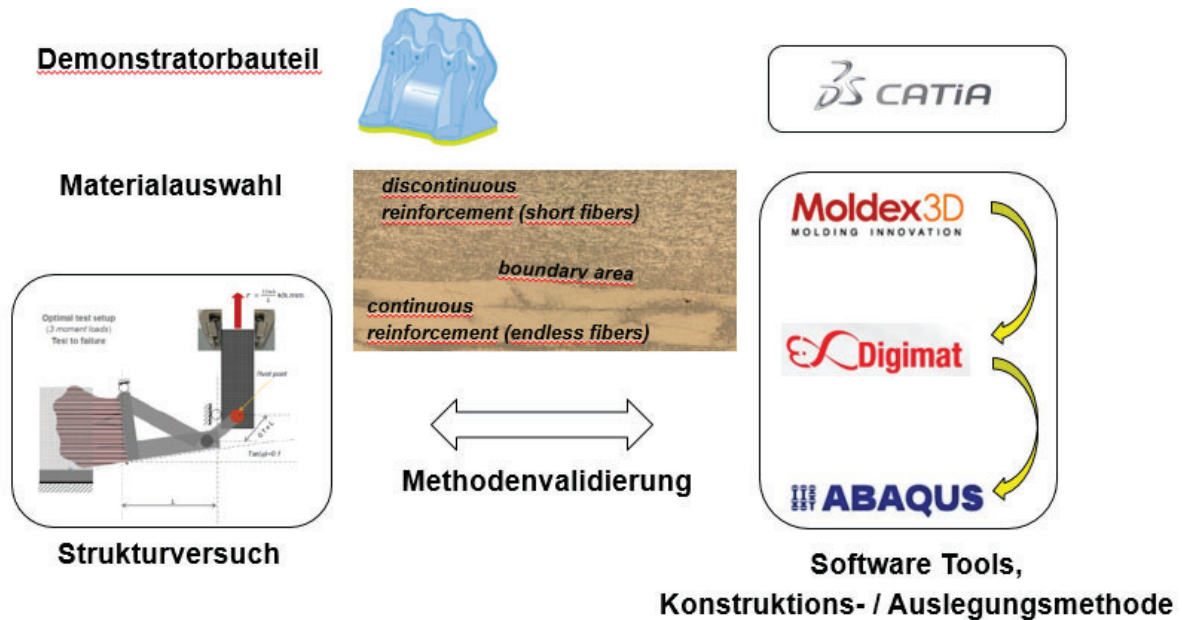
### **Definition geeigneter Konstruktions- und Auslegungsmethoden**

In einem ersten Schritt wurden der für eine Bauteilauslegung notwendige Auslegungsansatz beschrieben und die zu verwendenden Software-Tools definiert. Diese Tools sind im Rahmen des Verbundvorhabens auch von den beteiligten Partner einzusetzen, wobei die Möglichkeit zum Vergleich mit alternativen Software-Tools den Partner freigestellt ist. Abbildungen 8 zeigt die favorisierten Software-Tools und deren Verknüpfung im Sinne einer Kopplung von Prozesssimulation und Strukturanalyse unter Berücksichtigung prozessbedingter, anisotroper Materialeigenschaften (gekoppelte Simulation).

Den Abbildungen ebenfalls zu entnehmen ist der Zusammenhang zwischen wesentlichen Arbeitsinhalten von AP1.1 (Software Tools, Konstruktions-/Auslegungsmethode), AP1.2 (Materialauswahl, Demonstratorbauteil, Strukturversuch) und AP1.5 (Methodenvalidierung). Die vorgeschlagenen Software-Tools und deren Verknüpfung ermöglicht die Berücksichtigung einer prozess- und geometriebedingten Anisotropie von diskontinuierlich,

kurzfaserverstärkten Bereichen und ist auf Basis von Erfahrungen aus dem Spritzgussbereich abgeleitet.

Es handelt sich um kommerzielle Software-tools, die als Eingangsdaten u.a. auf materialspezifische Kennwerte zurückgreifen. Diese müssen entsprechend der Materialauswahl (vgl. AP1.2) bereitgestellt bzw. generiert werden.



**Abbildung 8: Software-Tools und Zusammenspiel wesentlicher Arbeitsinhalte von DEVANT**

Basierend auf den von Airbus definierten Software-Tools, wurden insbesondere im Partnerprojekt des Faserinstituts Bremen e.V. (FIBRE) Untersuchungen zur Optimierung ausgewählter geometrischer Details (Rippenausbildung und -anbindung) untersucht. Die daraus abgeleiteten Ergebnisse, sowie weitere Ergebnisse (u.a. Auswertung erster Strukturversuche anhand von Corner Fittings) dienen als Basis für das Design von typischen Overmolding Bauteilen (u.a. Overwing Emergency Exit Hatch).

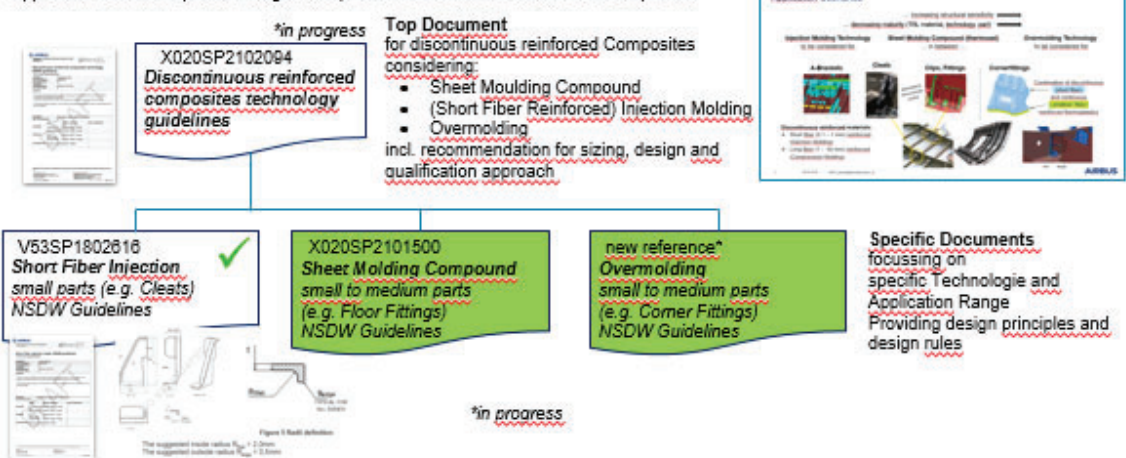
Kennzeichnendes Merkmal für potentielle Anwendungen ist die für Faserverbundbauteile vergleichsweise hohe geometrische Komplexität gepaart mit einer limitierten Bauteilgröße, bedingt durch ein geschlossenes, die äußere Geometrie bestimmendes Werkzeugkonzept. Durch die diskontinuierliche Faserverstärkung, bei der die Faserorientierung durch prozess und geometriebedingte Fließvorgänge bestimmt wird, wird das Problem der eingeschränkten Drapierbarkeit von kontinuierlich faserverstärkten Halbzeugen („Endlosfaserverstärkung“) überwunden. Ein ähnliches potentielles Anwendungsspektrum ergibt sich für andere Technologien, die ebenfalls auf einer diskontinuierlichen Faserverstärkung beruhen. Zu nennen sind hier insbesondere *Short Fiber Injection (SFI) Molding* („kurzfaserverstärkter Spritzguss“) und *Sheet Molding Compound (SMC)* bzw. *Bulk Molding Compound (BMC)* („Fließpressverfahren“). Sowohl SFI, als auch SMC werden derzeit für Anwendungen im Strukturbereich in Erwägung gezogen. BMC könnte im Zuge der Entwicklung von Ansätzen zur Weiterverwendung von Produktionsabfällen (Verschnitt von Prepregmaterialien bzw. Faserhalbzeugen) ebenfalls an Bedeutung gewinnen. Vor diesem Hintergrund erscheint es

notwendig, den Konstrukteur bzw. Bauteilentwickler mit den typischen Merkmalen, Potentialen und Achtungspunkten der Technologien vertraut zu machen und Entscheidungshilfen für die Technologieauswahl, sowie sowie *Design-Rules* an die Hand zu geben.

Vor diesem Hintergrund wurde ein Konzept für die Strukturierung und Implementierung von Design Rules und deren Anwendung im Konstruktionsprozess für die Technologien Overmolding, SFI und SMC erarbeitet (vgl. Abbildung 9). Hierbei besteht eine natürliche Schnittmenge zwischen Overmolding und SFI, da die diskontinuierlich faserverstärkten bzw. unverstärkten Matrixbereiche eines Overmolding-Bauteils durch „Überspritzen“ (gleichzusetzen mit Spritzguss) entstehen.

## Design principles and sizing approach

Approach: Establish Specific Design Principles for Discontinuous Reinforced Composites



AIRBUS

Abbildung 9: Implementierung von *Design Principles/Rules* für Bauteile basierend auf diskontinuierlich faserverstärkten Kunststoffen

## Mechanischer Untersuchung von Türrahmenbeschlägen

Für Strukturversuche standen unterschiedliche Varianten von Türrahmenbeschlägen (*Corner Fittings*) zur Verfügung.

Die getesteten Bauteile unterscheiden sich in der Kombination aus Struktureinleger-Geometrie in den kontinuierlich verstärkten Bauteilbereichen und dem Material in den diskontinuierlich verstärkten Bauteilbereichen. Darüber hinaus wurde eine Variante getestet, die nur aus diskontinuierlich verstärktem Material besteht; es handelt sich dabei also um ein reines Spritzgussbauteil.

Abbildung 10 beinhaltet die vier unterschiedlichen Konfigurationen von *Corner Fittings*, die im Berichtszeitraum getestet wurden.

| LuFo-V-3 ELTHEPLA DEVANT: Door Corner Fittings made by Overmolding / Injection Molding |                                                                                                                                        |                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Type of specimen                                                                       | Material                                                                                                                               | Specimen                   |
| CF-PEEK with CF-fabric (dog bone = "Hundeknochen")                                     | CF-PEEK: VICTREX 90HMF40<br>CF-fabric: TORAYCETEC 1225 (FAW 277 g/m <sup>2</sup> )<br>t flange insert : 1,6 mm; t foot insert : 4,8 mm | AC_7.4<br>AC_7.3<br>AC_9.2 |
| CF-PEEK with CF-fabric (dumb bell = "Hantel")                                          | CF-PEEK: VICTREX 90HMF40<br>CF-fabric: TORAYCETEC 1225 (FAW 277 g/m <sup>2</sup> )<br>t flange insert : 1,6 mm; t foot insert : 4,8 mm | BC_1.1                     |
| CF-PEEK                                                                                | CF-PEEK: VICTREX 90HMF40<br>no inserts = injection molded                                                                              | CC_0.1                     |
| GF-PEEK with CF-fabric (dumb bell = "Hantel")                                          | CF-PEEK: VICTREX 90GL60<br>CF-fabric: TORAYCETEC 1225 (FAW 277 g/m <sup>2</sup> )<br>t flange insert : 1,6 mm; t foot insert : 4,8 mm  | BG_15.1                    |

**Abbildung 10: Auflistung von *Corner Fittings* nach Material und Art der Struktureinleger**

Abbildung 11 zeigt die unterschiedliche<sup>n</sup> Geometrien bzw. Konturen von Struktureinlegern im Fuß- und Kopfbereich der Bauteile („Hantel“ bzw. „Hundeknochen“). Ebenso lassen sich die unterschiedlichen Matrixsysteme anhand der Färbung unterscheiden: kurzfaserverstärkte Bereiche aus 90HMF40 erscheinen schwarz, Bereiche aus 90GL60 dagegen beige.



**Abbildung 11: Unterschiedliche Typen von *Corner Fittings***

Bereits in der Anfangsphase des Projektes wurde entschieden, die erforderlichen strukturmechanischen Tests nicht in der realen Umgebung eines vorhandenen A350 Test-Barrels durchzuführen. Stattdessen sollen *Corner Fittings* unter Zug- und Biegebeanspruchung auf einer einachsigen Prüfvorrichtung statisch getestet werden. Dazu wurde zunächst im Rahmen des Arbeitspaketes 1.2 zunächst eine Prüfvorrichtung für Zugbeanspruchung entsprechend der Darstellung in Abbildung 12 konzipiert und bereitgestellt. Die Belastung entspricht einem sog. Kopfzugversuch, bei dem die Zugbelastung im Stegbereich des Bauteils eingeleitet und im Fußbereich abgetragen wird. Die Nietverbindung im Kopfbereich wird dabei wesentlich auf Scherung beansprucht, während die Nietverbindung im Fußbereich auf Zug beansprucht wird. In Verbindung mit dem Vorliegen von Grenzflächen zwischen diskontinuierlichen und kontinuierlich verstärkten Bauteilbereichen sowohl im Fuß, als auch im Steg, scheint dieser Versuch besonders geeignet um kritische Bereiche für die Bauteilauslegung zu charakterisieren.

Abbildung 12 zeigt den Versuchsaufbau und die Aufzeichnung des Kraft-/Weg-Signals während der Durchführung eines Zugversuches.

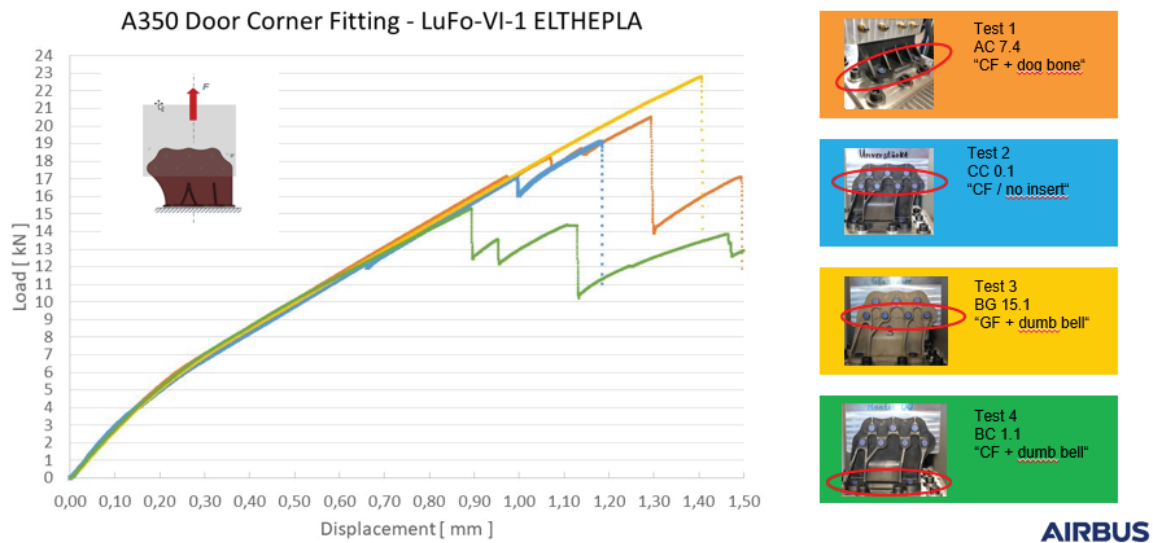


**Abbildung 12: Corner Fitting im Zugversuch**

Die zuvor erläuterten vier unterschiedlichen Bauteilvarianten von wurden in quasi-statischen Zugversuchen getestet.

Abbildung 13 zeigt die zugehörigen Kraft-Wegverläufe, aus denen sich folgende Erkenntnisse gewinnen lassen:

1. Der Bauteilsteifigkeit – entsprechend dem Anstieg des Kraft/Weg-Verlaufs bis zum ersten Kraftabfall – ist für alle Bauteile nahezu gleich. Dies erklärt sich u.a. dadurch, dass Struktureinleger nur im Bereich der Lasteinleitung, d.h. im Bereich der Vernietung vorhanden sind. Der Kraftfluss im Übergangsbereich zwischen Steg und Fuß findet rein über das kurzfaserverstärkte PEEK statt. Ein signifikanter Einfluss der Kurzfasern (C-Fasern bzw. G-Fasern) in Verbindung mit dem jeweiligen Füllgehalt (40 Gew.-% bzw. 60 Gew.-%) auf die Steifigkeit ist nicht feststellbar. Die Bauteilsteifigkeit wird somit überwiegend durch die Geometrie bestimmt.
2. Überraschend erscheint zunächst, dass das Bauteil basierend auf Glasfaserverstärkung (BG15.1) die höchsten Versagenslasten aufweist und der Versagensbeginn  
 - gekennzeichnet durch einen ersten signifikanten Abfall im Kraft-/Weg-Verlauf - mit dem endgültigen Bauteilversagen zusammenfällt.



**Abbildung 13: Kraft-/Weg-Verläufe unterschiedlicher *Corner Fittings***

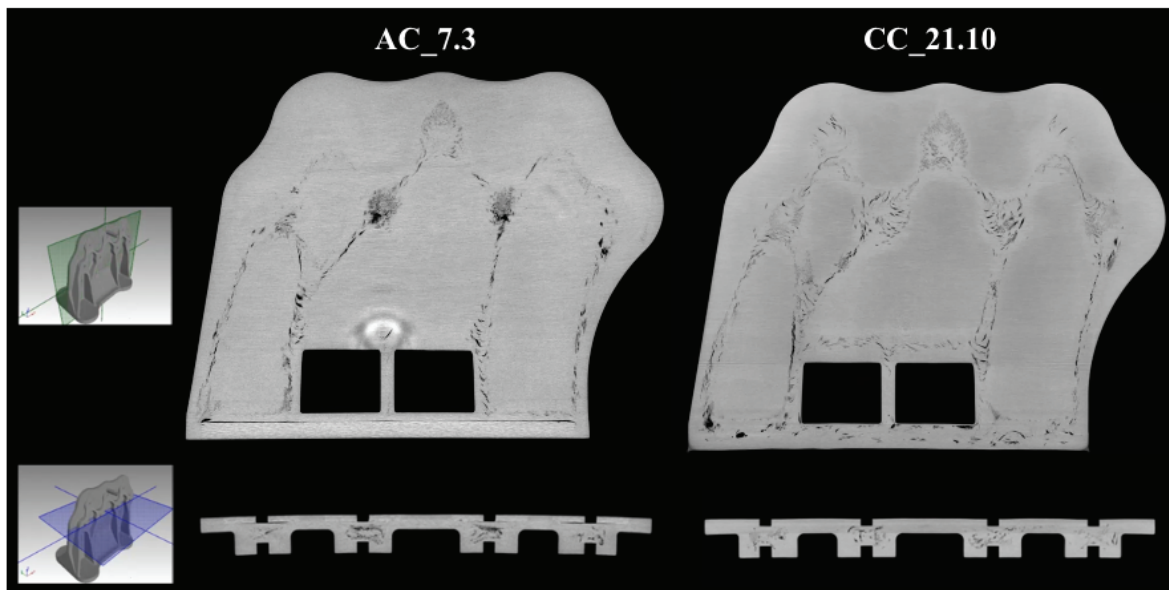
Die durchgeführten mechanischen Bauteiltests und erste Untersuchungen zur Inneren Qualität der Bauteile legten die Vermutung nahe, dass das Bauteilversagen u.a. durch fertigungsinduzierte Defekte und durch große Unterschiede im thermischen Ausdehnungsverhalten von kurz- und endlosfaserverstärkten Bereichen und den daraus folgenden Eigenspannungen und Bauteilverzügen beeinflusst wird.

Vor diesem Hintergrund wurde die Untersuchungen der inneren Qualität an noch vorhandenen ungeprüften Bauteilen verstärkt fortgesetzt und auf geplante Untersuchungen zum dynamischen Verhalten (mechanische Belastung, thermische Zyklierung) zunächst verzichtet.

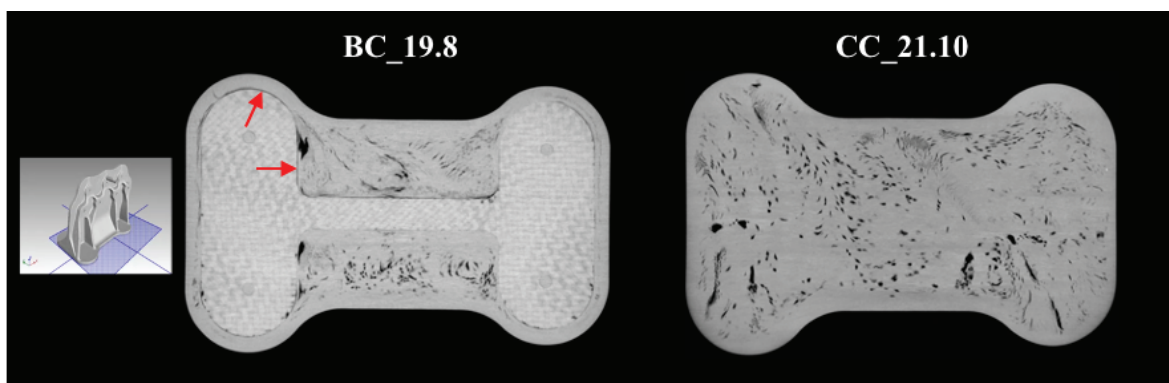
Nachfolgend sind die in Untersuchungen zur Inneren Qualität festgestellten typischen Defekte / Mängel dargestellt. Die unterschiedlichen Konfigurationen und entsprechende Nomenklatur der *Corner Fitting's* sind der Abbildung 10 zu entnehmen.

#### Vakuolen / Porositäten

In den Abbildungen 14 und 15 werden CT-Schnitte durch verschiedene Bauteile gezeigt. Insbesondere in den Rippen und im Bereich der Aufdickung für die Bohrungen sind zahlreiche Vakuolen erkennbar. Weiterhin sind im Fuß des *Corner Fittings* mit Hanteleinleger und des *Corner Fittings* ohne Einleger viele Vakuolen erkennbar (vgl. Abbildung 15). Es wird angenommen, dass durch zeitiges Abfrieren des Angusspunktes ungenügend Nachdruck vorhanden war.



**Abbildung 14: Anhäufung von Vakuolen / Porositäten im Bereich der Rippen und Bohrungen**



**Abbildung 15: Vakuolen / Porositäten im Fußbereich des Cornerfittings;  
Ablösung des Hanteinlegers an der Stirnseite (rote Pfeile)**

### Faserauswaschungen

In Abbildung 16 sind die *Corner Fittings* BG\_15.3 und BC\_19.8 in einer CT-Aufnahme zu sehen. Die Schichten an der Grenzfläche des oberen Einlegers werden stark ausgewaschen und die Fasern wurden verschoben. Dies ist gut in beim glasfaserverstärkten *Corner Fitting* BG\_15.3 zu erkennen, kommt aber genauso in kohlenstofffaserverstärkten Bauteilen, wie zum Beispiel BC\_19.8, vor.

Ursachen für das Auswaschen von Einlegern können ein zu starkes Aufschmelzen und ein langanhaltender Schmelzefluss im Prozess sein. Ersteres könnte durch eine zu hohe Vorwärmtemperatur und eine hohe Massetemperatur im Angusspunkt verursacht worden sein. Ein langanhaltender Schmelzefluss mit hoher Fließgeschwindigkeit ist gerade in der Umgebung des Angusspunktes vorhanden. Hier strömt ständig neues Material nach. So steht auch die Einlegergeometrie in der Angussumgebung unter kontinuierlicher Belastung während des Spritzgießens.

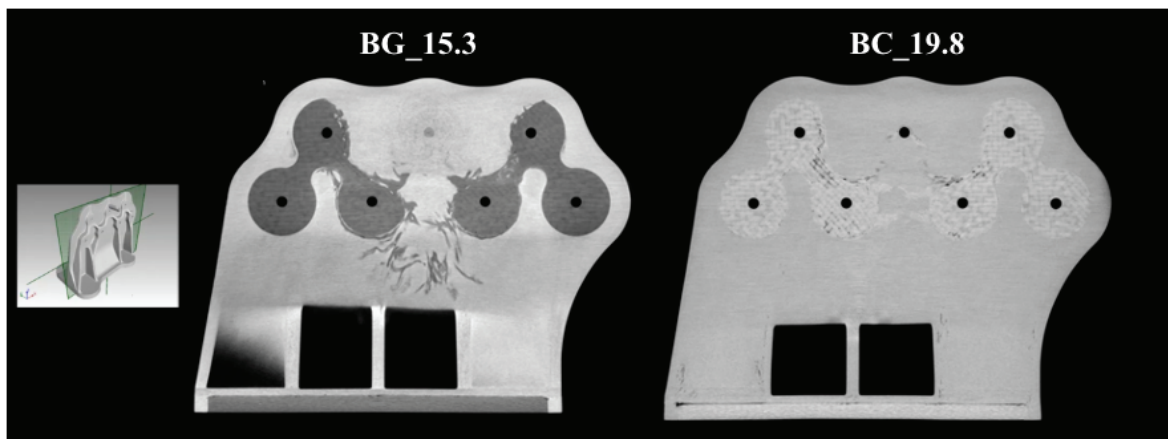


Abbildung 16: Einleger mit Ausgewaschungen

#### Bauteilverzug

In Abbildung 17 sind die *Corner Fitting's* CC\_21.10 (ohne Einleger), BG\_15.3 und AC\_7.3 in einer CT-Aufnahme dargestellt. Bei den Bauteilen mit Einleger ist ein deutlicher Verzug des Flansches zu erkennen. Im Vergleich dazu verzieht sich das Bauteil ohne Einleger kaum. Dies gilt analog zum unteren Einleger. Auch die Überlagerung von CT-Scans mit dem CAD-Modell des entsprechenden Bauteils (vgl. Abbildung 18) zeigt diesen Bauteilverzug deutlich (farbliche Inhomogenität). Die unterschiedliche thermische Ausdehnung und Schwindung des Spritzgussmaterials zeigen sich hier nicht wie im unteren Einleger in einer großflächigen Ablösung des Einlegers, sondern in dem Verzug des Flansches durch hervorgerufene Eigenspannungen. Dadurch lässt sich rückschließen, dass der obere

Einleger besser mit dem Spritzgussmaterial verbunden ist. Wie bereits erläutert ist der obere Einleger stark aufgeschmolzen und die oberen Schichten des Einlegers haben sich

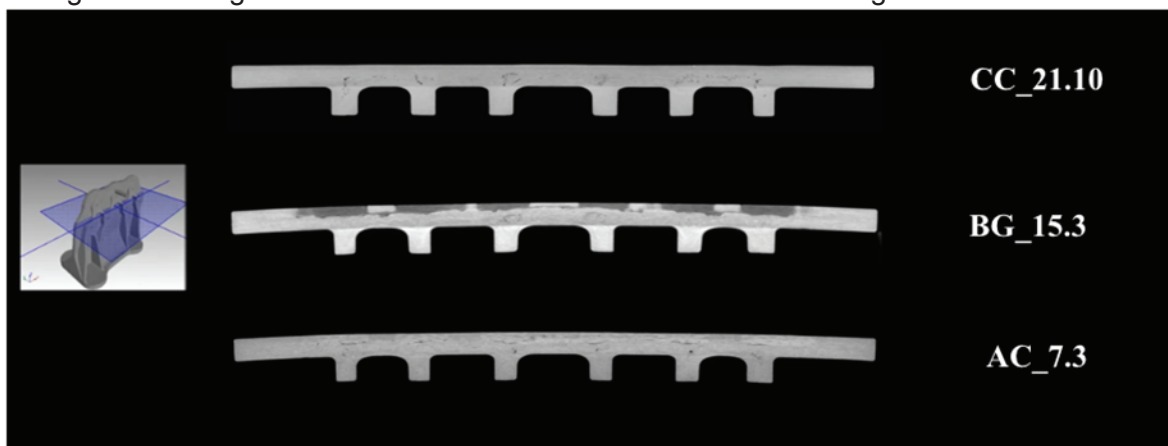


Abbildung 17: Verzug im Flanschbereich

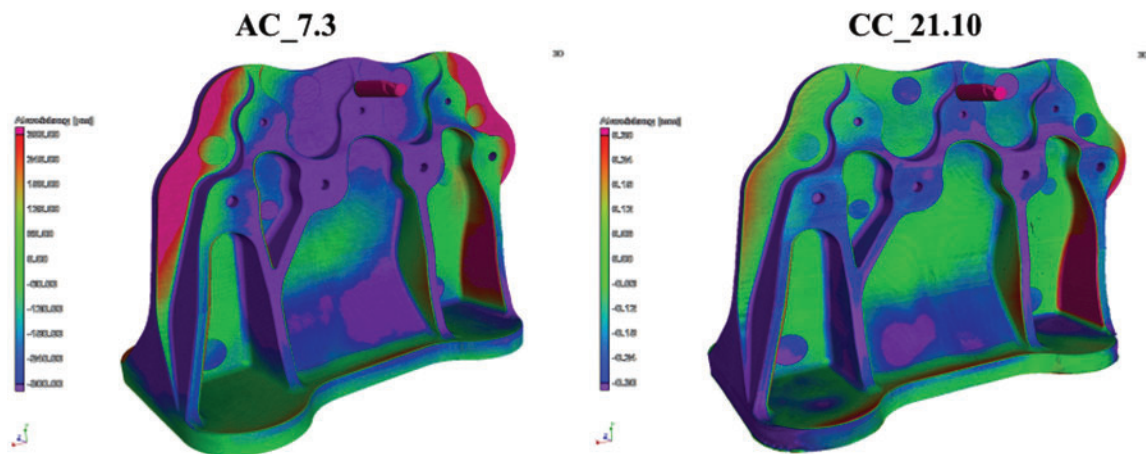


Abbildung 18: Soll/Ist-Vergleich durch Überlagerung von CT-Scan und CAD-Modell

### Eigenspannungen

In Abbildung 19 ist der Fußbereich der Probe AC\_7.3 in einer CT-Aufnahme und Fotografie dargestellt. Im Randbereich des Fußes ist ein Riss erkennbar. Teilweise sind auch Risse an der Fußoberfläche vorhanden. Es ist davon auszugehen, dass Risse bevorzugt im Bereich von Bindenähten an der Grenzfläche zwischen kurz- und endlosfaserverstärkten Matrixbereichen entstehen. Ursache hierfür sind zum einen die stark unterschiedlichen Temperatúrausdehnungskoeffizienten der unterschiedlichen Materialien, infolge derer sich lokale Eigenspannungen ausbilden, die bei Abkühlung zunehmen. Zum anderen ist bekannt, dass im Bereich einer BindeNaht durch das Aufeinandertreffen von Schmelzfronten eine weniger strukturierte Faserorientierung und damit einhergehend eine lokale Schwächung im Material auftritt.

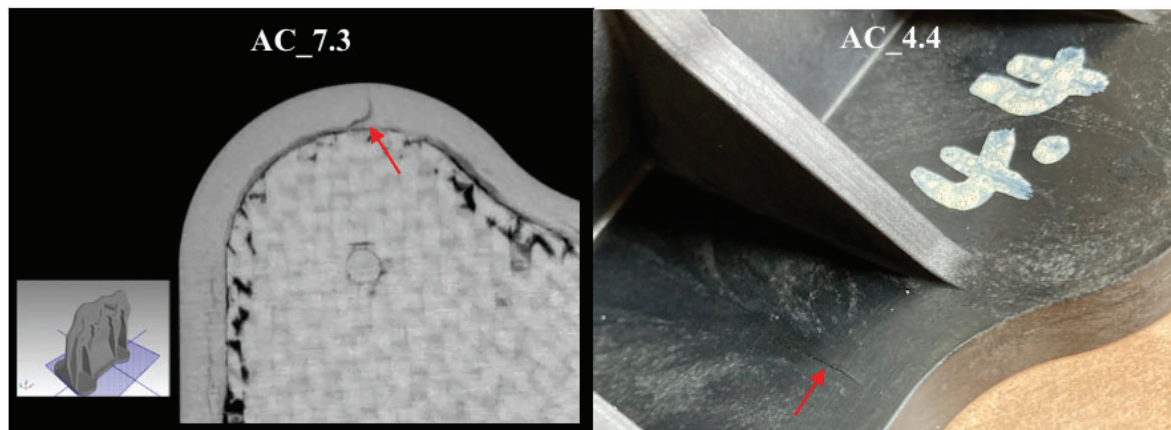


Abbildung 19: Risse im Fußbereich eines Bauteils

Zusammenfassend lassen sich somit im Wesentlichen vier Arten von Qualitätsmängeln und deren Ursachen unterscheiden:

- 1) Vakuolen / Porositäten bedingt Schwindung (Teilkristallisation thermoplastischer Matrix) und unzureichenden Nachdruck. Letzteres ließe sich durch eine Optimierung

von Werkzeuggestaltung und Prozessführung verbessern.

- 2) Faserauswaschungen aus den endlosfaserverstärkten Struktureinlegern infolge einer thermischen Erweichung und Umströmung durch das Spritzgussmaterial. In einigen Bereichen kann dieser Effekt durchaus positiv wirken, wenn dadurch die Grenzfläche zwischen den kurz- und endlosfaserverstärkten Matrixbereichen verstärkt wird. Da dieser Effekt jedoch sehr stochastisch ist, kann dieser bei einer Bauteilauslegung nicht berücksichtigt werden. In einer gesteigerten Ausprägung kann der Effekt sogar zu einer ungewollten Verschiebung des Struktureinlegers führen.
- 3) Bauteilverzug bedingt durch Schwindung (s.o. 1.) und unterschiedliche CTE's der Materialkomponenten (s.u. 4.).
- 4) Thermische Eigenspannungen hervorgerufen durch die Kombination von kurz- und endlosfaserverstärkten Bauteilbereichen mit voneinander stark abweichenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten (CTE = Coefficient of Thermal Expansion) in Verbindung mit hohen Verarbeitungstemperaturen (ca. 250 – 300 °C) und nachfolgender Abkühlung auf Raumtemperatur.

Die Untersuchungen zur inneren Qualität bestätigten die Notwendigkeit den unterschiedlichen Temperatúrausdehnungskoeffizienten (CTE) von kurz- und endlosfaserverstärkter Materialkomponenten im Sinne der Modellierung des anisotropen Materialverhaltens ausreichend Rechnung zu tragen. Es ist davon auszugehen, dass thermisch induzierte Eigenspannungen insbesondere zwischen kurz- und endlosfaserverstärkten Bereichen das Bauteilversagen maßgeblich beeinflussen. Ebenfalls ist davon auszugehen, dass der beobachtete Bauteilverzug darüber hinaus das Auftreten weiterer Spannung beim Montieren der Bauteile (in der Prüfvorrichtung, aber auch in einer realen Strukturumgebung) verursacht. Dem wäre nur durch einen geometrieausgleichenden, aufwendigen *Shim*-Prozess zu begegnen.

Auf Basis der Ergebnissen aus der Schadensanalyse wird als besonders kritischer Aspekt für das Bauteil Design das unterschiedlichen Temperatúrausdehnungsverhalten von kurz- und endlosfaserverstärkter Materialkomponenten herausgestellt.

Darauf aufbauende Betrachtungen führen zu zwei unterschiedlichen Ansätzen für das Design von Overmoulding-Bauteilen:

- 1) Ansatz basierend auf der Auslegung eines kurzfaserverstärkten Spritzgussbauteils mit lokalen endlosfaserverstärkten „Struktureinlegern“. Beispiel: *Corner Fitting*
- 2) Ansatz basierend auf der Auslegung eines endlosfaserverstärkten Faserverbundbauteils mit lokalen kurzfaserverstärkten Anspritzungen. Beispiel: *Overwing Exit Door*

## **Validierung von Konstruktions-/Auslegungsmethoden**

Am Beispiel der Bauteilvariante AC (90HMF40 + „Hundeknochen“) des *Corner Fittings* wurden Simulationsrechnungen unter Zugrundelegung der beschriebenen Methodik und unter Verwendung der favorisierten Software-Tools durchgeführt und mit dem experimentell ermittelten mechanischen Bauteilverhalten verglichen.

Abbildung 20 zeigt die Gegenüberstellung von realem Bauteil und dem zugehörigen Simulationsmodell. Die Kopplung von Prozesssimulation (MOLDEX3D) und Strukturanalyse (ABAQUS) mittels einer geeigneten Schnittstelle (DIGIMAT) erlaubt es, den kurzfaserverstärkten Bauteilbereichen prozessbedingte anisotrope Eigenschaften entsprechend den lokal vorliegenden Faserorientierungen zuzuweisen.

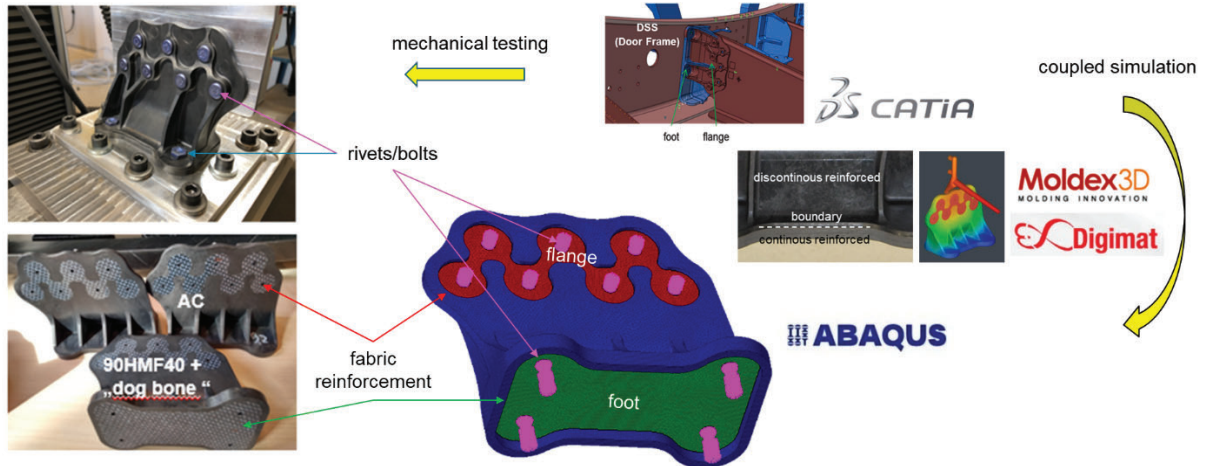
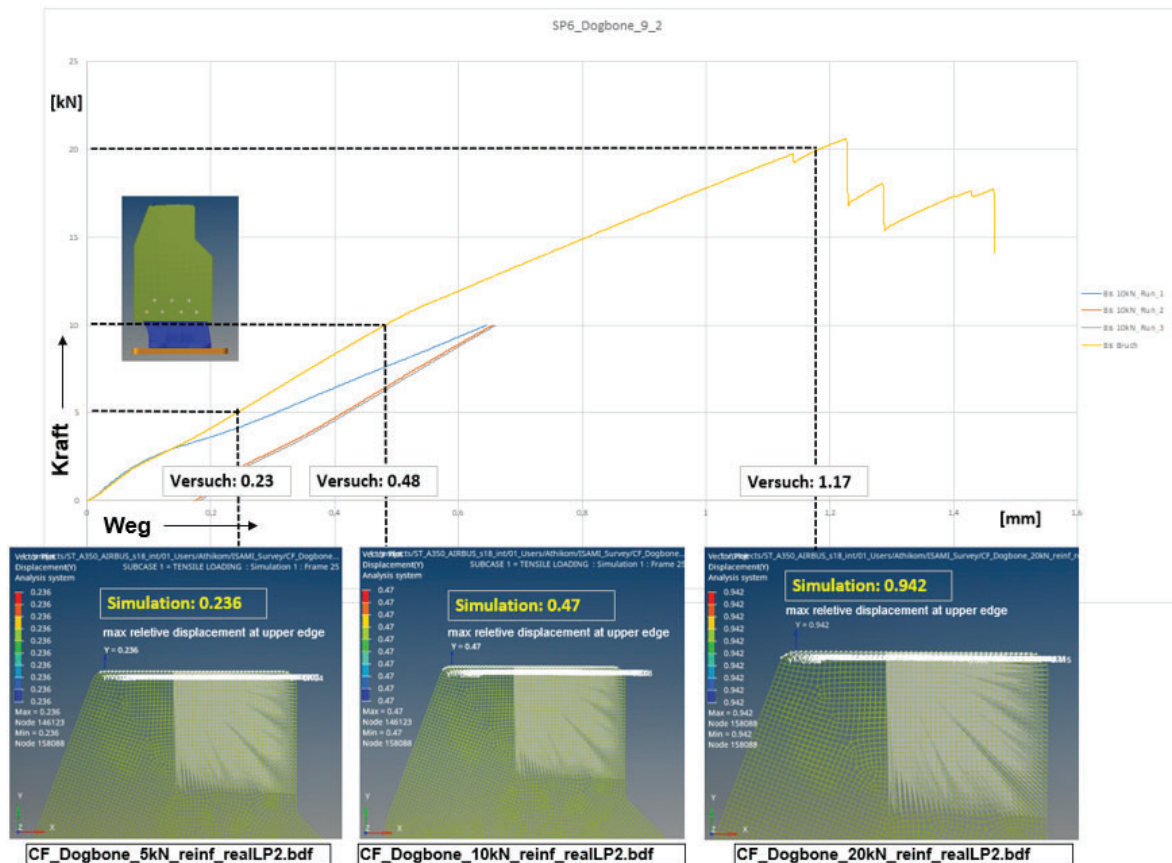


Abbildung 20: Strukturmechanischer Test und gekoppelte Simulation des Corner Fittings

Abbildung 21 zeigt am Beispiel des *Corner Fittings* AC 9.2 den experimentell ermittelten Kraft-Weg Verlauf in Gegenüberstellung zu den entsprechenden Simulationsergebnissen..

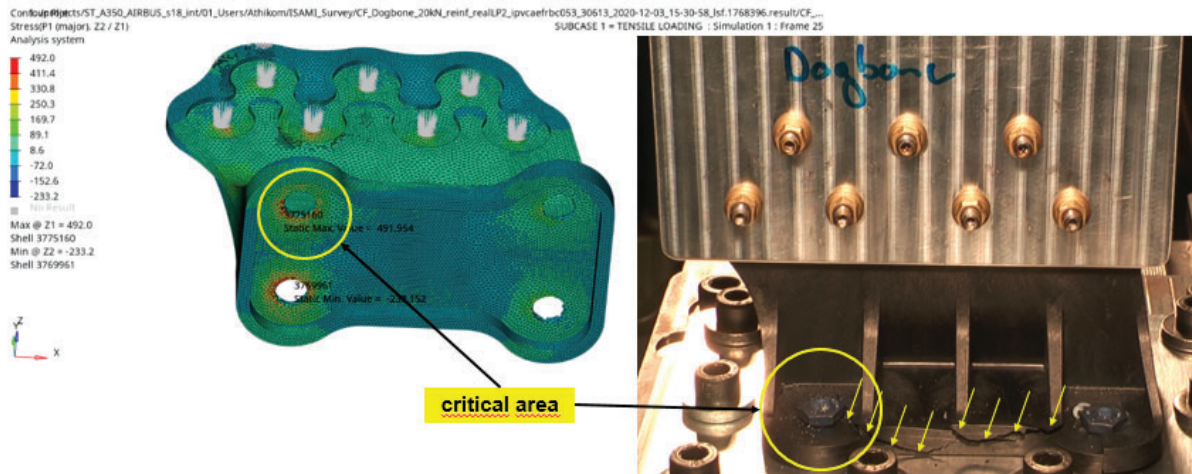


**Abbildung 21: Gegenüberstellung der Kraft-Weg Korrelation für 5 kN, 10 kN, 20 kN aus Versuch und Simulationsrechnung**

Diese Gegenüberstellung von Versuch und Simulation für die Lastniveaus 5 kN und 10 kN liefert nahezu eine Übereinstimmung der Ergebnisse des resultierenden Weges.

Für das Lastniveau 20 kN ergibt sich dagegen ein Unterschied zwischen Versuch und Simulation von etwa 20%. Dies ist im Wesentlichen auf die Nicht-Linearität des Kraft-Weg Verlaufs, einhergehend mit dem einsetzenden Bauteilversagen zurückzuführen.

Abbildung 22 zeigt das Bauteil nach dem Versagen. Zu erkennen ist der Bereich der Schadensausbreitung, vermutlich ausgehend von dem im Bild als kritisch markierten Bereich der FE-Analyse.



**Abbildung 22: Vergleich von FE-Analyse (Vergleichsspannung) und Bauteilversuch im Hinblick auf die Detektion kritischer Bauteilbereiche**

Für die Prozesssimulation wurde auf vorhandenen, materialspezifischen Eingangswerten für das kurzfaserverstärkte Material VICTREX 90 HMF40 beruhen. In der Diskussion mit dem Materialhersteller (VICTREX) und der Firma SIMPATECH, die Distribution und Softwareberatung für die Komponenten MOLDEX3D und DIGIMAT leistet, wurde die Notwendigkeit einer verbesserten Materialcharakterisierung im Zusammenhang mit der Prozesssimulation identifiziert. Arbeiten dazu sollen außerhalb dieses Projektes erfolgen.

#### *Zusammenfassung der Ergebnisse:*

Im Zuge der Methodenvvalidierung für die Auslegung von Overmoulding-Bauteilen wurden am Beispiel des *Corner Fittings* (Typ AC) strukturmechanische Versuche unter Zugrundelegung eines vereinfachten Lastfalls (Zuglastfall) durchgeführt. Die Versuchsergebnisse wurden mit Ergebnissen einer gekoppelten Simulation basierend auf kommerziell verfügbaren Software-Tools verglichen:

- Die Simulation lieferte eine sehr gute Vorhersage der Bauteilsteifigkeit und der einhergehenden Kraft-Weg Korrelation für den anfangs linearen Bereich.
- Die Simulation lieferte eine Vorhersage für den im Versuch beobachteten Ort erster Schadensentstehung.

Die Vorhersagequalität wird beeinflusst durch die Modellierung der Einspannbedingungen, und die Verfügbarkeit von Materialeingangsdaten. Im Hinblick auf die Berücksichtigung der prozessspezifischen Anisotropie ("gekoppelte Simulation") kommt insbesondere der Prozess-Modellierung (Werkzeuggestaltung, Prozessparameter) eine entscheidende Bedeutung zu.

## Technologiebewertung

Eine projektbegleitende Bewertung der Overmolding -Technologie erfolgte in Form einer Potentialanalyse im Hinblick auf Kosten- und Gewichtseinsparungen für *Corner Fittings*. Diese Analyse in Zusammenarbeit mit dem Materialhersteller VICTREX erarbeitet und u.a. dem A350 Programm vorgestellt (vgl. 23).

### Cornerfittings based on Overmolding Technology

Studies performed together with VICTREX:

- Replacing existing metal cornerfittings of A350 DSS by new design solution based on overmolding considering design changes (cornerfitting connecting only intercostal / frame flange)
- Initial weight estimations (VICTREX supported by Airbus)  
50 % weight reduction vs. Al (?)
- Initial cost estimations (VICTREX supported by Airbus)  
45 % cost savings vs. Al (?)
- First test samples produced
- Parts to be used as first demonstrators for LuFo VI-1 ELTHEPLA
- Overmolding for structure parts at TRL1 - 2

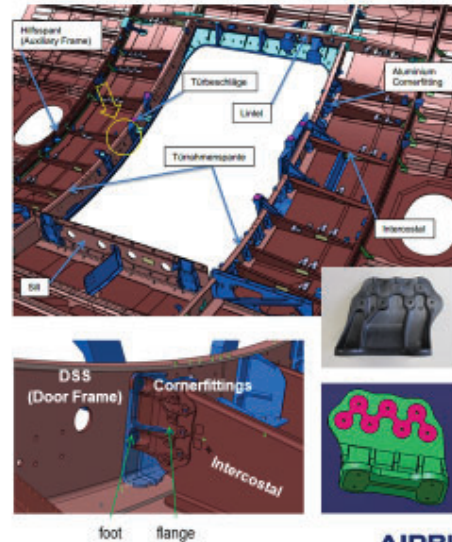


Abbildung 23: Erste Ergebnisse einer Potentialanalyse

## 2.2 NUTZEN UND VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE

Das Projekt DEVANT hat im Rahmen des Verbundprojektes ELTHEPLA zur Weiterentwicklung der Overmolding-Technologie und damit zum Einsatz dieser Technologie für Strukturanwendungen in der zivilen Luftfahrt beigetragen. Diese Technologie ermöglicht nunmehr die Herstellung geometrisch komplexer Bauteile aus faserverstärkten Kunststoffen und stellt, je nach betrachteter Anwendung, eine kosten- und gewichtsparende Alternative gegenüber der Resin-Transfer-Molding (RTM) Technologie oder einer metallischen Fräsbauweise dar. Eine Reduktion des Strukturgewichts ermöglicht wiederum Treibstoffeinsparungen einhergehend mit einer Verbesserung der Ökoeffizienz. Damit leistet das Projekt DEVANT den erhofften Beitrag zur Leistungs- und Effizienzsteigerung in der Luftfahrt.

Im Rahmen von ELTHEPLA-DEVANT wurden wichtige Bausteine im Hinblick des Einsatzes der Overmolding-Technologie für Strukturanwendungen im Luftfahrtbereich generiert, die sich für die zukünftige Anwendungen nutzen lassen:

- Auswahl und Charakterisierung eines thermoplastischen Materialsystems das sowohl eine kurzfaserverstärkte Komponente für den Spritzgussbereich, als auch eine langfaserverstärkte Komponente beinhaltet.
- Definition einer Auslegungsmethodik unter Berücksichtigung einer prozessbedingten Anisotropie lokaler kurzfaserverstärkter Bereiche innerhalb eines hybriden Overmolding-Bauteils. Damit einhergehend erfolgte eine Auswahl und Verknüpfung geeigneter Software-Tools, vorzugsweise basierend auf kommerziell verfügbaren Komponenten.
- Formulierung unterschiedlicher Ansätze für Gestaltung und Auslegung von Overmolding-Bauteilen:
  - a. Kurzfaserverstärktes Spritzgussbauteil mit lokalen, endlosfaserverstärkten Struktureinleger: Beispiel Corner Fitting
  - b. Endlosfaserverstärktes Faserverbundbauteil mit lokalen, kurzfaserverstärkten Spritzguss-Elementen (Features): Beispiel Hautfeld der Emergency Exit Door
- Im Zuge des Verbundprojektes ELTHEPLA und dem dazugehörigen Projekt DEVANT hat sich in Deutschland ein Netzwerk aus Forschungseinrichtungen, Fertigungsindustrie und Endanwendern etabliert und verstärkt, dass über die Kompetenz und Fähigkeiten verfügt, Bauteile in Overmolding-Technologie für den zivilen Flugzeugbau wettbewerbsfähig zu entwickeln und zu produzieren.

### **3. RELEVANTE ERGEBNISSE DRITTER**

Es wurden keine relevanten Ergebnisse Dritter berücksichtigt

### **4. LITERATURVERZEICHNIS**

Forschungsliteratur im engeren Sinne wurde bisher nicht verwendet. Airbus-interne Vorschriften, Dokumente, Daten-Pools und interne Technische Berichte kommen standardmäßig zum Einsatz.

## Berichtsblatt

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>1. ISBN oder ISSN</b>                                                                                                                                                                                                                                              | <b>2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)</b><br>Schlussbericht |  |
| <b>3. Titel</b><br>Elthepla - Devant                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                |  |
| <b>4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]</b><br>Bernd Schwing                                                                                                                                                                                                            | <b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b><br>30.04.2022                           |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>6. Veröffentlichungsdatum</b><br>09.12.2022                                 |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>7. Form der Publikation</b><br>Document Control Sheet                       |  |
| <b>8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)</b><br>Airbus Operations GmbH                                                                                                                                                                                     | <b>9. Ber.-Nr. Durchführende Institution</b>                                   |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>10. Förderkennzeichen</b><br>20W1726B                                       |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>11. Seitenzahl</b><br>26                                                    |  |
| <b>12. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b><br>BMWK                                                                                                                                                                                                              | <b>13. Literaturangaben</b>                                                    |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>14. Tabellen</b>                                                            |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>15. Abbildungen</b><br>23                                                   |  |
| <b>16. DOI (Digital Object Identifier)</b>                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                |  |
| <b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b><br>PTLF; Bonn 09.12.22                                                                                                                                                                                                   |                                                                                |  |
| <b>18. Kurzfassung</b><br>Ziele des Vorhabens ELTHEPLA - DEVANT sind neben der Werkstoffauswahl, die Entwicklung und Validierung geeigneter Konstruktions- und Auslegungsmethodens für die Entwicklung und Herstellung von Rumpfstrukturen in Overmolding-Technologie |                                                                                |  |
| <b>19. Schlagwörter</b><br>Structural Overmolding; ; faserverstärkten thermoplastischen Kunststoffen; Türrahmenbeschlag                                                                                                                                               |                                                                                |  |
| <b>20. Verlag</b>                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>21. Preis</b>                                                               |  |

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 1821849-3

## Document control sheet

|                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                         |                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>1. ISBN or ISSN</b>                                                                                                                                                                                                                   | <b>2. type of document (e.g. report, publication)</b><br>Veröffentlichung (Publikation) |                                          |
| <b>3. title</b><br>Elthepla -Devant                                                                                                                                                                                                      |                                                                                         |                                          |
| <b>4. author(s) (family name, first name(s))</b><br>Schwing, Bernd                                                                                                                                                                       | <b>5. end of project</b><br>30.04.2022                                                  | <b>6. publication date</b><br>09.12.2022 |
|                                                                                                                                                                                                                                          | <b>7. form of publication</b><br>Document Control Sheet                                 |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                          | <b>8. performing organization(s) name, address</b><br>Airbus Operations GmbH            |                                          |
| <b>12. sponsoring agency (name, address)</b><br>BMWK                                                                                                                                                                                     | <b>9. originators report no.</b>                                                        |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                          | <b>10. reference no.</b><br>20W1726B                                                    |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                          | <b>11. no. of pages</b><br>26                                                           |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                          | <b>13. no. of references</b>                                                            |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                          | <b>14. no. of tables</b>                                                                |                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                          | <b>15. no. of figures</b><br>23                                                         |                                          |
| <b>16. DOI (Digital Object Identifier)</b>                                                                                                                                                                                               |                                                                                         |                                          |
| <b>17. presented at (title, place, date)</b><br>PTLF, Bonn, 09.12.22                                                                                                                                                                     |                                                                                         |                                          |
| <b>18. abstract</b><br>Project objectives are:<br><br>- material selection<br>- development and validation of appropriate design - and design features for the manufacturing of fuselage structures by using the overmolding technology. |                                                                                         |                                          |
| <b>19. keywords</b><br>Structural Overmolding; Corner Fitting; Fibre Reinforced Thermoplastics                                                                                                                                           |                                                                                         |                                          |
| <b>20. publisher</b>                                                                                                                                                                                                                     | <b>21. price</b>                                                                        |                                          |

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 1821856-3