



*Design & Assembly Concepts of Next Generation of Moveables*

## **Abschlussbericht**

für den Berichtszeitraum

01.01.2016 - 31.03.2020

zum Vorhaben

## **Strukturelle Kerne (LowCostCores)**

im Verbund

## **Next-Move**

***Gefördert in dem Luftfahrtforschungsprogramm LuFoV-2***

***durch das BMWi der Deutschen Bundesregierung***

***aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages.***

Zuwendungsempfänger: Institut für Verbundwerkstoffe GmbH  
Förderkennzeichen: 20W1512D  
Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2016 - 31.03.2019 **Verlängerung bewilligt bis  
31.03.2020**  
Erstellungsdatum: 10.06.2019  
Ref.-Nr.: LuFoV-2\_Next-Move\_LowCostCores\_IVW\_Schlussbericht

Förderprojektleiter: Dr.-Ing. Nicole Motsch



## Inhaltsverzeichnis

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Zusammenfassung .....   | 4  |
| 1.1 | Wissenschaftliche/technische Ergebnisse AP2300 .....                  | 4  |
| 1.2 | Stand des Vorhabens .....   | 6  |
| 1.3 | Aussicht auf Erreichung der Ziele des Vorhabens.....                  | 6  |
| 1.4 | Relevante Ergebnisse Dritter (Unteraufträge) .....                    | 7  |
| 1.5 | Relevante Ergebnisse von Verbundpartnern und von anderer Stelle ..... | 7  |
| 1.6 | Änderungen in der Zielsetzung .....                                   | 7  |
| 1.7 | Verwertung der Ergebnisse / Fortschreibung des Verwertungsplans ..... | 7  |
| 2   | Technischer Bericht.....  | 8  |
| 2.1 | AP2300 - <Maßgeschneiderte Produktionsprozesse> .....                 | 8  |
| 2.2 | Veröffentlichungen, Vorträge.....                                     | 26 |
| 2.3 | Zusammenstellung der verwendeten Fachliteratur.....                   | 27 |
| 2.4 | Liste der erstellten Dokumentation .....                              | 27 |
| 3   | Verzeichnisse .....   | 28 |
| 3.1 | Abbildungsverzeichnis .....   | 28 |

## 1 Zusammenfassung

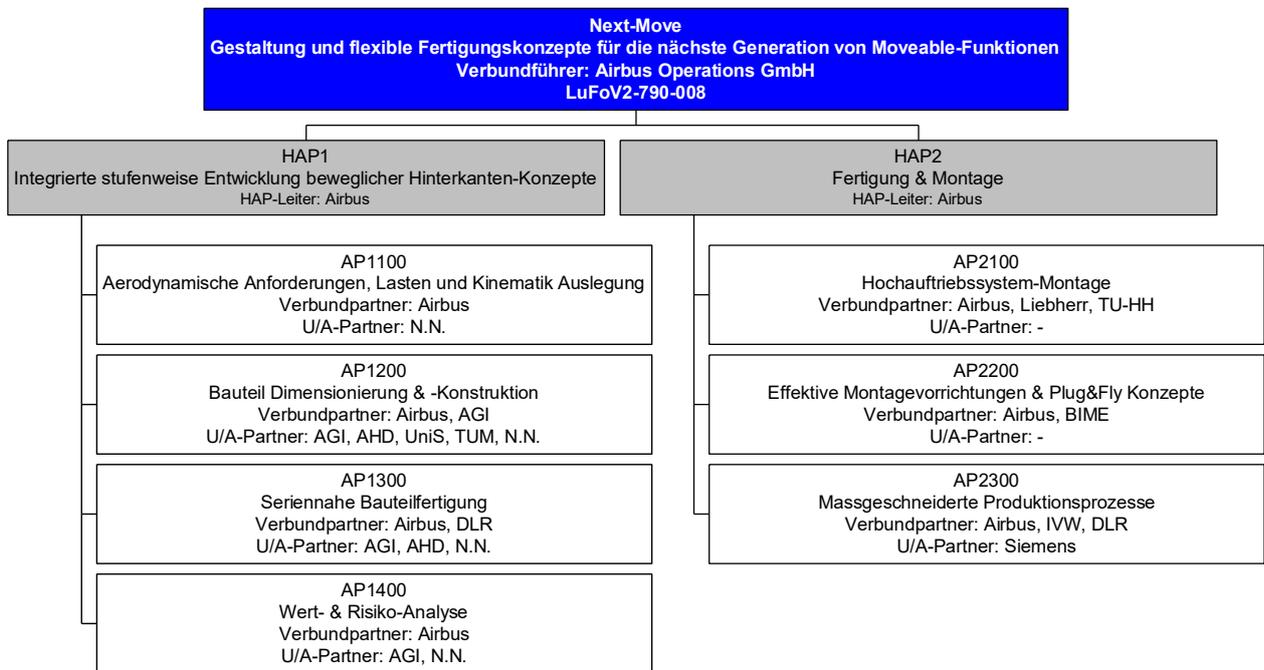
### 1.1 Wissenschaftliche/technische Ergebnisse AP2300

- Im Rahmen des Projekts wurde ein Fertigungskonzept für Strukturen mit integrierten tragenden FKV-Kernen entwickelt und umgesetzt. Das Fertigungskonzept ist dabei auf bestehende Werkzeuge anwendbar. Die Kerne werden mittels eines Blas-schlauchverfahrens gefertigt. Die Geometrie der Kerne ergibt sich dabei aus den an das Bauteil gestellten Anforderungen. Für eine gegebene Demonstratorstruktur ist ein entsprechendes Werkzeugkonzept umgesetzt worden, welche eine Fertigung mit strukturellen Kernen ermöglicht.
- Die Modellierung erfolgt mit Hilfe der FEM auf verschiedenen Ebenen, vom Kern während des Injektionsprozesses, über die Gesamtstruktur bis hin zu den T-Prüfkörpern die letztendlich unter Zug und Biegung geprüft wurden
- Die Teilaushärtung von Laminaten bzw. Harzen und deren Einflüsse auf die Festigkeit und die Anbindung zu nicht ausgehärteten Komponenten wurden ausführlich untersucht, auch unter Einbeziehung verschiedener Abreißgewebe oder Vorbehandlungsmethoden der Verbunde. Hieraus konnte ein optimiertes Prozessfenster für die teilausgehärteten strukturellen FKV-Kerne abgeleitet werden.
- Das Fertigungskonzept für FKV-Kerne, bei dem auf einem stabilisierten Blasschlauch Preforms erstellt werden und diese anschließend mit Innendruck beaufschlagt und unter Temperatur ausgehärtet werden, konnte für verschiedene Geometrien umgesetzt werden. Zusätzlich wurde das Verfahren für ein Prepreg- und ein VARTM-Verfahren umgesetzt und optimiert.
- Insgesamt neun teilausgehärtete FKV-Kerne wurden gefertigt. Mit diesen ist die Fertigung von drei Demonstratorstrukturen möglich. Die Qualitätssicherung der FKV-Kerne erfolgt mittels Thermografie zur Detektion interlaminarer Defekte und mittels DSC zur Ermittlung des Aushärtegrads der Kerne. Die Kerne weisen keine sichtbaren interlaminaren Defekte auf. Der Teilaushärtegrad liegt in dem vorangegangenen definierten Prozessfenster.
- Mit Hilfe der teilausgehärteten FKV-Kerne konnten insgesamt drei Landeklappendemonstratoren (auch Multicell-Boxen) hergestellt werden.
- Die strukturelle Integrität wird mittels T-Zug und T-Biege-Versuchen, bei denen die neue Bauweise mit integrierten strukturellen Kernen der Referenzbauweise gegenübergestellt wird, geprüft. Es zeigt sich kein verfrühtes Bauteilversagen der neuen Strukturen, womit die strukturelle Integrität nachgewiesen werden kann.

- Zur Bewertung des Versagensverhaltens wird die Bildkorrelation als Verfahren hinzugezogen. Mit dieser Methode kann ein Erstversagen detektiert und auch der weitere Versagensverlauf nachverfolgt werden.

## 1.2 Stand des Vorhabens

In der folgenden Abbildung ist die Arbeitspaketstruktur des Verbundes Next.Move unter Leitung von Airbus als Verbundführer dargestellt. Die Institut für Verbundwerkstoffe GmbH (IVW) liefert in ihrem zugehörigen Vorhaben „LowCostCores“ bzw. „Strukturelle Kerne“ in Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern wesentliche Beiträge in dem AP2300 „Maßgeschneiderte Produktionsprozesse“.



**Abbildung 1-1:** Projekt-Arbeitspaketstruktur des Airbus Vorhabens Next.Move in dem Verbund Next-Move (LuFoV.2)

## 1.3 Aussicht auf Erreichung der Ziele des Vorhabens

Die wirtschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten werden als hoch eingeschätzt.

## 1.4 Relevante Ergebnisse Dritter (Unteraufträge)

Es sind keine FuT-Ergebnisse von Dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind. Das IVW hat keine Unterbeauftragungen ausgelöst.

## 1.5 Relevante Ergebnisse von Verbundpartnern und von anderer Stelle

Die Zusammenarbeit im Verbund Next-Move erfolgt in enger Absprache mit dem Verbundführer Airbus.

In weiteren extern geförderten FuE-Projekten ist das IVW nicht involviert und es sind auch keine FuE-Ergebnisse von anderen Stellen bekannt geworden, die die Planung des IVW Vorhabens beeinflussen.

## 1.6 Änderungen in der Zielsetzung

Die Gesamtzielsetzungen haben sich gegenüber dem Antrag nicht geändert.

## 1.7 Verwertung der Ergebnisse / Fortschreibung des Verwertungsplans

Ergänzend zum Verwertungsplan des Förderantrags ergeben sich keine Veränderungen.

Im zu Grunde gelegten Berichtszeitraum sind keine Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen oder erteilte Schutzrechte von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen worden.

Das IVW hat im Rahmen des Projekts ein vor Projektstart angemeldetes Patent umgesetzt (Referenznr. DE10 2015 107 281 A1 „Faserverbundwerkstoff-Hohlprofilstruktur mit verlore-nem Hohlkern“)

## 2 Technischer Bericht

### 2.1 AP2300 - <Maßgeschneiderte Produktionsprozesse>

Das Ziel des Vorhabens „Strukturelle Kerne“ ist die Entwicklung eines Herstellungsverfahrens für komplexe Hohlbauteile, das durch den Einsatz neuartiger Kerne den Herstellungsaufwand reduziert und gleichzeitig neue Freiheiten bei der Konstruktion eröffnet. Im Gegensatz zu aktuell eingesetzten Verfahren, bei denen ein metallischer Kern eingesetzt wird, der nach der Aushärtung des Hohlbauteils aufwändig entfernt werden muss, oder verlorene Kerne, die ebenfalls nach der Aushärtung aufwändig entfernt werden müssen, muss bei dem neuen Verfahren die Kernstruktur nicht entfernt werden und wird zum lasttragenden Teil der Bauteilstruktur. Herkömmliche, nicht entfernbare Kerne, wie z.B. Schaumkerne, verbleiben dagegen als mitfliegende (nicht lasttragende) Kerne nach der Aushärtung im Bauteil und erhöhen dadurch das Gewicht.

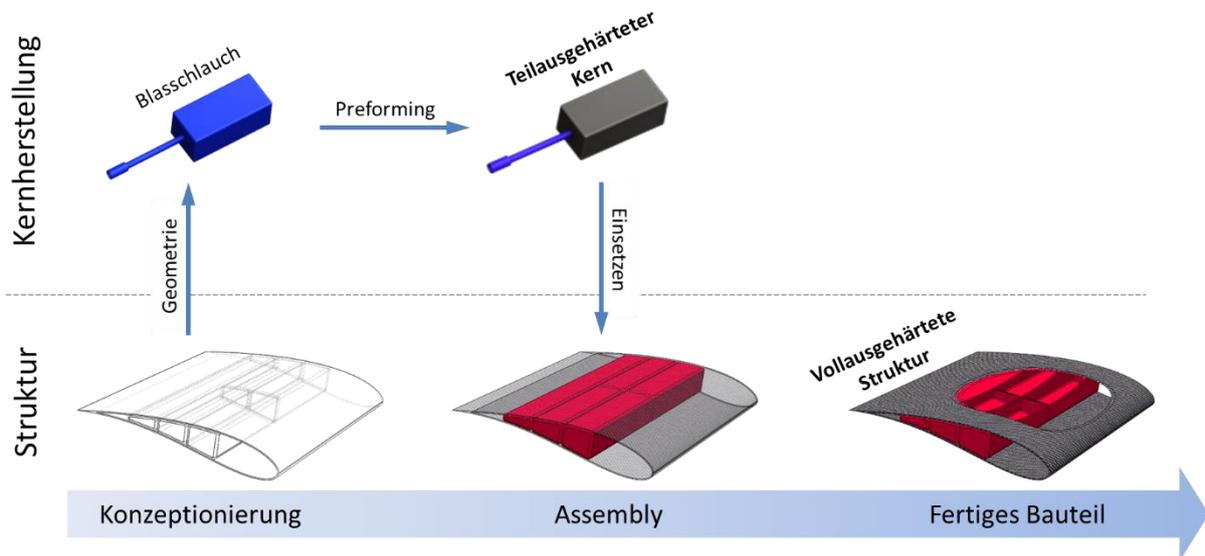
Im Berichtszeitraum wurden alle Hauptarbeitspakete bearbeitet:

- Prozess- und Modellentwicklung (HAP 1)
- Validierung der Herstellungskonzepte (HAP 2)
- Herstellung der FKV-Kerne (HAP 3)
- Herstellung des Klappendemonstrators (HAP 4)
- Experimentelle Untersuchungen Klappendemonstrator (HAP 5)
  - o AP 5.1 Test Klebungs-Qualität

Einzig nicht bearbeitet werden konnte das Arbeitspaket 5.2 Bestimmung der Biegefestigkeit nach Schädigung. Dies liegt in dem sehr hohen Aufwand bei der Fertigung der Strukturen begründet, wodurch für die Prüfungen keine Prüfkörper mehr zur Verfügung standen. Dies war bei Antragstellung in dem Maße nicht vorherzusehen und konnte daher nicht mehr berücksichtigt werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Arbeitspakete kurz dargestellt. Die Ergebnisse des Hauptarbeitspakets 1 wurden im Jahresbericht 2016, die des Hauptarbeitspakets 2 im Jahresbericht 2017, die des Hauptarbeitspakets 3 im Jahresbericht 2018 und die der Arbeitspakete 4 und 5 im Jahresbericht 2019 im Detail dargestellt. Dieser Bericht fasst die erhaltenen Ergebnisse zusammen und ergänzt für das Arbeitspaket 5 noch abschließend erarbeitete Ergebnisse.

## Hauptarbeitspaket 1: Prozess- und Modellentwicklung

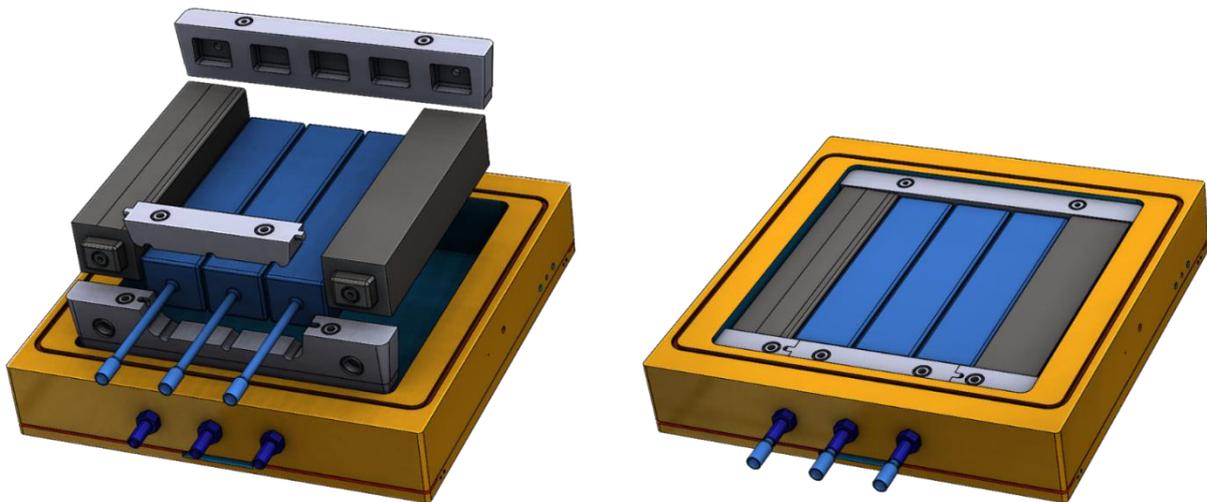


**Abbildung 2-1:** Geplanter Prozess zur Herstellung des Demonstrators

Im Fokus des HAP 1 steht die Prozess- und Modellentwicklung. Abbildung 2-1 stellt den geplanten Fertigungsprozess für ein Bauteil mit integrierten strukturellen Kernen dar. Von der Geometrie leitet sich die Form der einzusetzenden strukturellen Kerne ab. Die Kerne sollen dabei mit einem Blasschlauchverfahren hergestellt werden. Aus der Konzeptionierung ergibt sich damit durch die Innengeometrie der Kerne die Kontur des Blasschlauchs. Der Blasschlauch wird während der Fertigung zur Stabilisierung im Injektionsprozess verwendet und soll nach erfolgter Injektion wieder entfernt werden. Ein wichtiger Aspekt des Fertigungsprozesses ist das Erstellen des Vorformlings (Preforming) auf dem Blasschlauch. Dies erfordert die Stabilisierung des Blasschlauchs. Hierfür wurden verschiedene Konzepte bewertet, mit dem Ergebnis, den Blasschlauch mit einem rieselfähigen Material zu füllen und anschließend Vakuum zu applizieren. Mit Fertigstellung der Preform wird das rieselfähige Material wieder entfernt und der Blasschlauch während des anschließenden Injektionsprozesses mit Innendruck beaufschlagt werden. Beim Reaktionsprozess des Harzsystems wird die Reaktion allerdings bewusst nicht vollständig abgeschlossen und somit ein teilausgehärteter FKV-Kern hergestellt. Hierbei dient die Teilaushärtung zum einen der mechanischen Stabilität beim Kernhandling und andererseits einer optimierten Anbindung zu den umgebenden Strukturen (bspw. den Decklagen). Die teilausgehärteten Kerne können anschließend in das Werkzeug der Gesamtstruktur eingesetzt, in einem zweiten Schritt überinjiziert und mit den restlichen nicht vorausgehärteten Komponenten vollständig ausgehärtet werden. Somit kann ein Hohlkörperbauteil, wie bspw. eine Landeklappenbauteil, mit hochkomplexen Innengeometrien, die maximierten Leichtbau ermöglichen, gefertigt werden.

Als Beispielbauteil dient ein vereinfachter Landeklappendemonstrator (auch Multicell-Box genannt). Das hierfür notwendige Werkzeug wurde von AIRBUS zur Verfügung gestellt. Vorteil

des Werkzeugs ist, dass baugleiche strukturelle Kerne verwendet werden können, da die Decklagen keine Krümmungen aufweisen. Während in der Referenzbauweise fünf metallische Kerne verwendet werden zeigt Abbildung 2-2 das Werkzeugkonzept bei dem drei strukturell tragende FKV-Kerne eingesetzt werden können. Durch die Modifikation des vorderen Kernträgers (hellgrau in Abbildung 2-2) können die Blasschläuche mit eingesetzt werden. Durch Öffnungen im Werkzeugrahmen werden diese dann nach außen geführt. In Position gehalten werden die FKV-Kerne durch die außenliegenden metallischen Kerne. Somit steht neben dem allgemeinen Fertigungskonzept auch ein konkretes Fertigungskonzept für die Demonstratorstruktur zur Verfügung.



**Abbildung 2-2** Werkzeugkonzept des Landeklappendemonstrators (Multicell-Box), modifiziert für die Verwendung von drei benachbarten strukturellen Kernen (in Blau dargestellt), Explosionsdarstellung links, Zusammenbau rechts

Für die Kerngeometrie wurde ein Werkzeug entwickelt, was zum einen Kerne in der geforderten Geometrie abbilden kann, aber zudem auch Kerne mit halber Länge bei denen mit weniger Materialaufwand und gleichen geometrischen Komplexitäten Fertigungskonzepte optimiert werden können.

Zusätzlich werden Finite Elemente Modelle aufgebaut, um Struktursimulationen durchführen zu können. Abbildung 2-3 zeigt dabei links ein Modell eines strukturellen Kerns bei dem durch Variation des Lagenaufbaus bspw. die Stabilität während eines Injektionsprozesses optimiert werden kann. Zusätzlich besteht ein Modell der gesamten Demonstratorstruktur (in Referenzkonfiguration gezeigt) bei dem Prüfmethodeiken für die Gesamtstruktur rechnerisch überprüft werden können.



**Abbildung 2-3** FE-Modell eines strukturellen Kerns (links) und eines Landeklappendemonstrators in alter Konfiguration (rechts)

## Hauptarbeitspaket 2: Validierung der Herstellungskonzepte

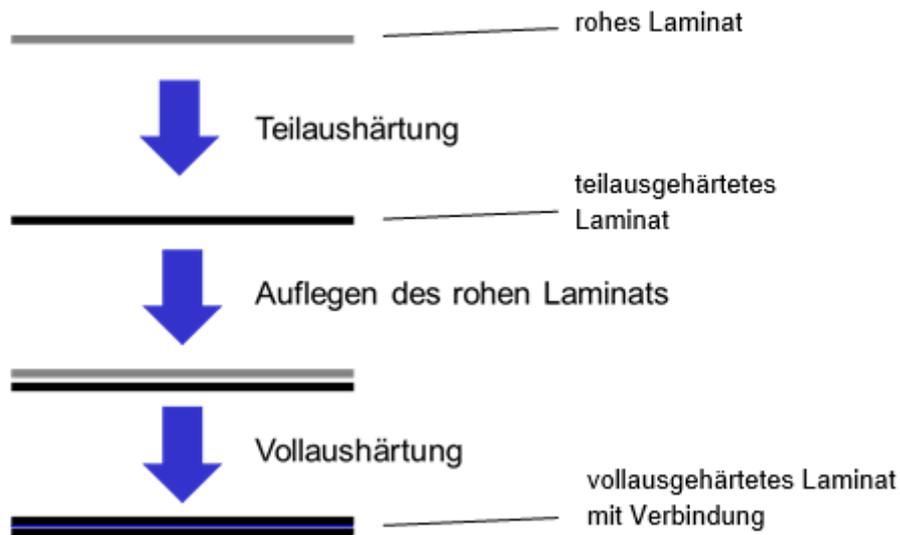
Bei der Validierung der Herstellungskonzepte geht es um zwei wesentliche Aspekte: Zum einen der Umsetzung der Herstellung von strukturellen Kernen und zum anderen der Charakterisierung teilausgehärteter Laminats hinsichtlich ihrer mechanischen Eigenschaften.

Das Herstellungskonzept für FKV-Kerne wird zunächst an kurzen Kernen mit vorimprägnierten Faserhalbzeugen (Prepregs) umgesetzt. Von der Herstellung der Blasschläuche aus einem Zwei-Komponenten-Silikon, über die Stabilisierung der Schläuche, das Preforming und die Aushärtung kann gezeigt werden, dass das Fertigungskonzept umsetzbar ist. Ein struktureller Kern in Prepreg-Bauweise ist in Abbildung 2-4 dargestellt. Die Qualitätsuntersuchung wird mit Hilfe von Ultraschall sichergestellt, bei der keine interlaminaren Defekte zu erkennen sind. Mit der Umsetzung in kurzer Bauweise wird auch das Konzept für lange Kerne in Prepreg-Bauweise erfolgreich umgesetzt.

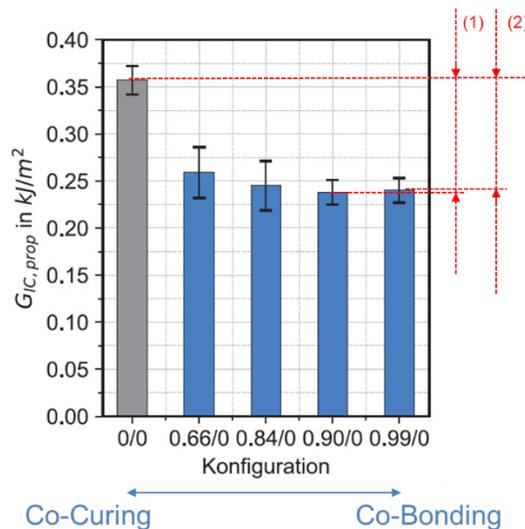


**Abbildung 2-4:** Struktureller Kern in Prepreg-Bauweise

Für die Charakterisierung der Festigkeit und der Anbindungsfähigkeit teilausgehärteter Strukturen werden umfassende Versuche auf Coupon-Ebene durchgeführt. Diese Prüfungen werden einerseits an teilausgehärteten Laminaten durchgeführt (bspw. Zugversuche am Reinharz) und andererseits an Verbunden aus teilausgehärtetem und nicht ausgehärtetem Material (Energiefreisetzungsrate Mode I und Mode II). Diese Prüfung stellt zum Beispiel die Anbindung eines teilausgehärteten Kerns an die Decklage dar. Abbildung 2-5 stellt den Herstellprozess für diese Prüfkörper dar.



**Abbildung 2-5:** Probekörperherstellung von Verbunden aus teilausgehärteten Laminaten mit rohen Laminaten zur Überprüfung der interlaminaren Eigenschaften

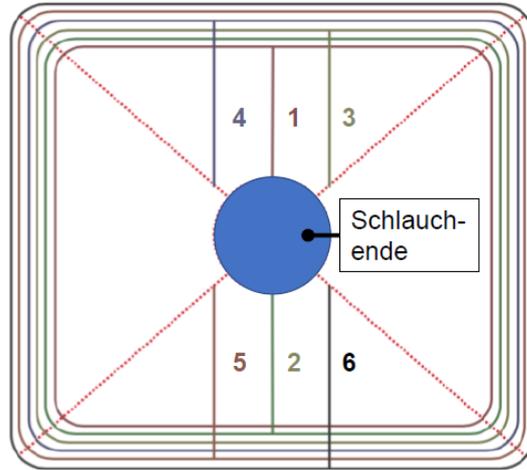


**Abbildung 2-6** Abhängigkeit der Mode I Energiefreisetzungsrate vom Teilaushärtegrad einer Verbindungskomponente für das RTM-System

Ein Prüfergebnis dieser Prüfungen ist in Abbildung 2-6 exemplarisch dargestellt, bei dem die Energiefreisetzungsraten Mode I für Prüfkörper mit verschiedenen Teilaushärtegraden gezeigt ist. Dabei wird zwischen Co-Curing (beide Bindungspartner unausgehärtet) und Co-Bonding (ein Bindungspartner vollständig ausgehärtet) unterschieden. Verbindungen mit teilausgehärteten Laminaten werden unter dem Begriff des modifiziertem Co-Curing geführt. Hierbei zeigt sich, dass mit zunehmendem Aushärtegrad die Energiefreisetzungsraten sinken und zwar um bis zu 33 % bei einem Teilaushärtegrad  $\alpha$  von 0,90 ((1) in Abbildung 2-6). Damit unterscheidet die Energiefreisetzungsraten sich für das verwendete RTM6-Harz für diesen hohen Teilaushärtegrad kaum von der des Co-Bonding, was sogar (im Rahmen der statistischen Schwankung) um einen Prozentpunkt bessere Kennwerte liefert (2). In diesem Rahmen wird deutlich, dass ein niedriger Aushärtegrad wichtig für eine gute Anbindung ist. Auf der anderen Seite zeigt sich, dass für die mechanische Festigkeit der Gelpunkt wichtig ist, der als unteres Limit für den zu erreichenden Aushärtegrad definiert wird. Detaillierte Ergebnisse sind hierzu in [1, 2] und den vorangegangenen Zwischenberichten zu finden. Diese beinhalten die Einflüsse verschiedener Vorbehandlungsmethoden sowie den Einfluss von verschiedenen Abreißgeweben auf die Verbindungsfestigkeiten sowie weitere Ergebnisse auch zu Reinharzproben und Prepreg-Material.

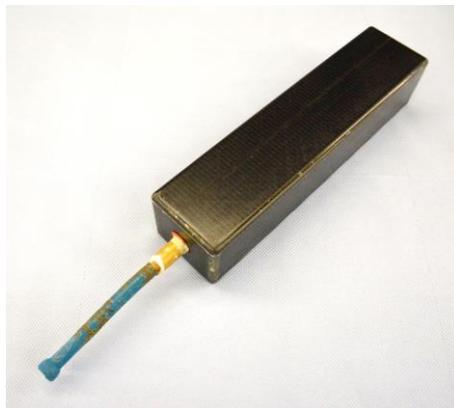
### **Hauptarbeitspaket 3: Herstellung von FKV-Kernen**

Mit den vorher entwickelten Grundlagen stehen die Werkzeuge für die Fertigung von teilausgehärteten Kernen, die später in die Demonstratorstruktur integriert werden können bereit. Allerdings werden diese Kerne, anstatt wie vorher in der Konzeptphase nicht im Prereg-Verfahren, sondern im RTM-Injektionsverfahren hergestellt. Hierbei wird ein NCF Biaxial-Gelege verwendet welches mit RTM6 Harz in einem VARTM-Prozess infiltriert wird. Hinsichtlich des Preformings wird darauf geachtet, dass es bei den Zuschnitten der Einzellagen zu keinem Überlapp kommt, um passgenaue Teile mit einer gleichmäßigen Wandstärke zu erhalten. Zudem werden die Schnittkanten wie in Abbildung 2-7 beim Auflegen verteilt, sodass sich keine Sollbruchstelle über die Laminatdicke ergibt. Das Preforming erfolgt mit Hilfe eines zuvor auf das Gelege aufgetragenen thermoplastischen Bindervlies, wodurch die Einzellagen mittels Temperatur und Druck miteinander verbunden werden können. Nach der Fertigstellung der Preform kann auch hier das zur Stabilisierung verwendete Material entfernt werden und die Preform ist in sich formstabil. Insgesamt werden, analog zur Decklage, sechs Lagen Biaxialgelege verarbeitet.



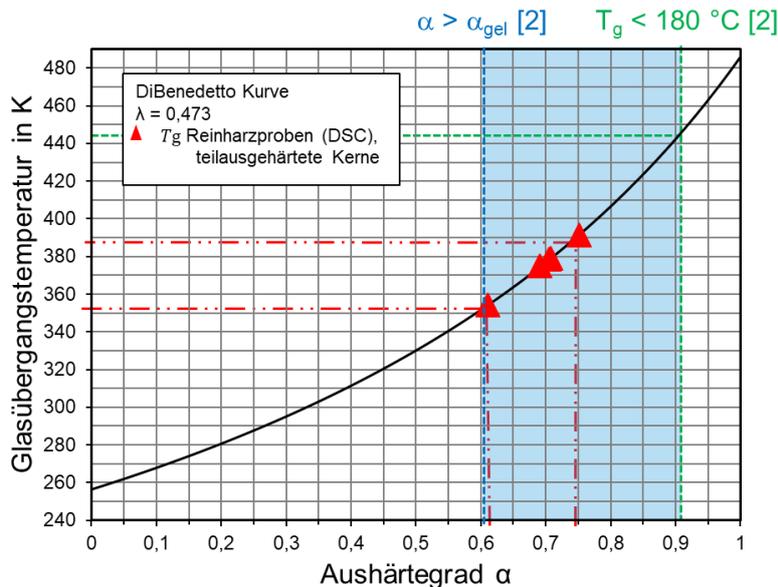
**Abbildung 2-7** Verteilung der Stumpfstoße der Einzellagen zur Vermeidung einer Sollbruchstelle

Das Prozessfenster für die Injektion ist durch die Vorarbeiten aus dem vorangegangenen Arbeitspaket definiert. Während des Injektionsprozesses kam es jedoch immer wieder zu trockenen Stellen am Bauteil, vor allem in den Radienbereichen der Kerne. Hierfür mussten verschiedene Optimierungsschleifen durchlaufen werden. Letztendlich konnte aber das Verfahren unter anderem durch die Anpassung von Injektions- zu Blasschlauch-Innendruck stabilisiert werden. Zusätzlich wurden Dichtigkeits-Prüfungen durchgeführt. Die mit dem optimierten Prozess hergestellten teilausgehärteten Kerne weisen diese Fehlstellen kaum noch auf. Durch Überprüfung der Laminatqualität durch Schnittbilder und Thermografie konnte zudem nachgewiesen werden, dass die Kerne keine interlaminaeren Defekte aufweisen und insgesamt eine sehr hohe Bauteilqualität bei sehr guter Maßhaltigkeit gegeben ist. Die Thermografie bietet zudem die Möglichkeit teilausgehärtete Kerne zu überprüfen, da sie im Unterschied zum Ultraschall kein Kopplungsmedium benötigt. Hierdurch wird eine Kontamination der Anbindungsoberfläche vermieden. Abbildung 2-8 zeigt einen hergestellten teilausgehärteten Kern.



**Abbildung 2-8** Nach HAP3 optimiertem Prozess im VARTM-Verfahren hergestellter teilausgehärteter Kern

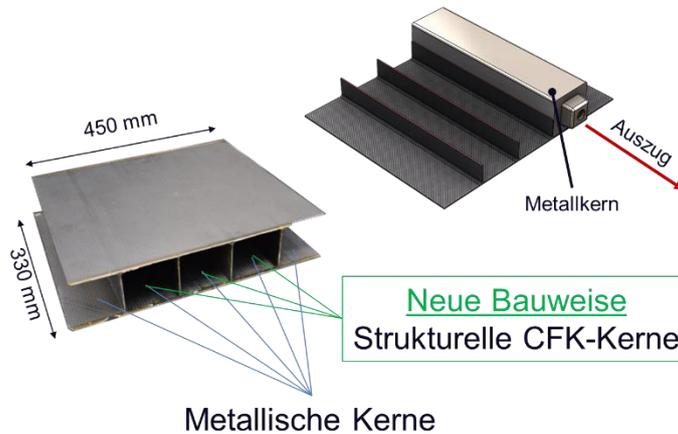
Zusätzlich wird der Aushärtegrad der Kerne mittels der Differential Scanning Calorimetry (DSC) überprüft. Hierfür werden Harzreste vom Injektionsprozess aus dem Werkzeug entnommen und hinsichtlich ihrer Glasübergangstemperatur überprüft. Durch die vorangegangene ausführliche Charakterisierung des Aushärteprozesses konnte ein Di-Benedetto Modell [1] für das Harzsystem umgesetzt werden, welches es erlaubt von der Glasübergangstemperatur auf den Aushärtegrad zurückzuschließen. Das definierte Prozessfenster liegt oberhalb des Gelpunkts des Harzsystems, da sich erst ab hier eine mechanische Belastbarkeit des Harzes ergibt und unterhalb 180 °C, da sich ab hier kein Vorteil mehr für die Verbindungsfestigkeit ergibt. Abbildung 2-9 zeigt, dass alle geprüften Kerne in diesem Prozessfenster liegen. Zusätzlich zeigt sich, dass sich trotz gleicher Prozessführung bei der Fertigung der FKV-Kerne, Unterschiede im Teilaushärtegrad ergeben. Insgesamt wurden für die zu fertigenden Multicell-Boxen neun teilausgehärtete Kerne gefertigt.



**Abbildung 2-9** DiBenedetto-Modell RTM-Prozess mit Teilaushärtegrad struktureller Kerne, Untersuchung über die Glasübergangstemperatur und Prozessfenster in hellblau

## Hauptarbeitspaket 4: Herstellung des Klappendemonstrators

Die Umsetzung der Bauweise mit integrierten strukturellen Kernen erfolgt durch den Austausch von drei metallischen Kernen im Demonstrator-Werkzeug. Die entsprechenden Werkzeugmodifikationen sind hierfür schon entsprechend des Konzepts aus Abbildung 2-2 erfolgt. Die Modifikationen bestehen dabei aus einem neuen Kernträger, der die Durchführung der Blasschläuche der strukturellen Kerne ermöglicht. Zusätzlich wurden Bohrungen in den Rahmen eingebracht und entsprechende Anschlüsse für die Applikation der Druckluft angebracht. Wie in Abbildung 2-10 dargestellt werden die mittleren drei Kerne durch strukturelle CFK-Kerne ersetzt.



**Abbildung 2-10** Alte und neue Bauweise im Vergleich: Ersatz der mittleren drei metallischen Kerne durch strukturelle Kerne, oben rechts Schnittansicht mit dargestelltem metallischen Kern

Insgesamt sollen mindestens drei Demonstrator-Strukturen hergestellt werden. Mit den vorangegangenen hergestellten teilausgehärteten Kernen kann das Preforming der Demonstratorstruktur der Multicell-Box durchgeführt werden. Da eine Struktur drei Kerne benötigt, werden die Kerne nach ihrer Fertigung tiefgekühlt gelagert, damit das Harzsystem nicht weiter ausreagiert. Für das Preforming werden drei Kerne nebeneinander im modifizierten Kernträger aus Abbildung 2-2 platziert und Zwickel zwischen die Kerne eingebracht. Wie auch bei den vorangegangenen Schritten, muss auch hierbei präzise gearbeitet werden damit die gesamte Preform einwandfrei in den Werkzeugrahmen eingesetzt werden kann. Nach dem Einsetzen der Preform in das Werkzeug können die Druckluftanschlüsse für das Werkzeug und Harzein- und auslass angebracht werden. Abbildung 2-11 zeigt das Demonstratorwerkzeug auf dem Werkzeugträger

Im Anschluss an die erfolgte Injektion kann ein fertiger Landeklappendemonstrator (Abbildung 2-12) entnommen werden. Das Bauteil zeigt eine gute Imprägnierung und eine gute Verbindung der einzelnen Segmente zwischen den strukturellen Kernen und auch zwischen den strukturellen Kernen und den Decklagen.

Insgesamt ist festzustellen, dass der Fertigungsaufwand für eine Demonstratorstruktur noch hoch ist. Alleine für die Fertigung eines Demonstrators müssen vier Arbeitswochen eingeplant werden, da zunächst drei Preforms für strukturelle Kerne hergestellt und injiziert werden müssen und anschließend die Fertigung der Multicell-Box eine weitere Woche benötigt. Hierbei sind Vorarbeiten wie z.B. die Schlauchherstellung oder das Bebindern und Zuschneiden des Materials noch nicht mit inbegriffen. Der Gesamtprozess bietet aber noch genügend Potenzial zur Optimierung des Fertigungsprozesses für größere Serien, z.B. durch Automatisierung einzelner Prozessschritte. Das Ziel im Rahmen des Projektes ist aber die Umsetzung einer Bauweise mit strukturell tragenden FKV-Kernen, die hiermit erfolgreich nachgewiesen werden kann.



**Abbildung 2-11** Klappendemonstratorwerkzeug mit Druckluftanschlüssen in rot auf Werkzeugträger



**Abbildung 2-12** Klappendemonstrator (Multicell-Box) in neuer Konfiguration mit drei strukturellen Kernen mittig, links Gesamtansicht, rechts Schnittansicht rückseitig

## **Hauptarbeitspaket 5: Experimentelle Untersuchungen Klappendemonstrator**

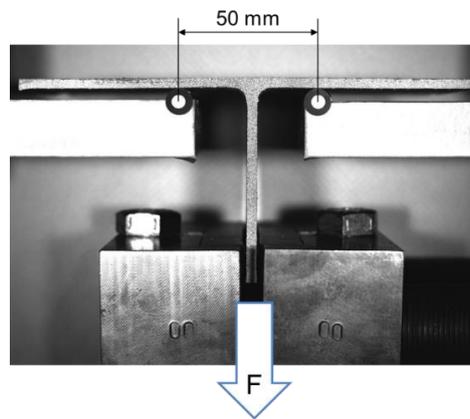
Die Prüfung der Demonstratoren erfolgt nicht an der Gesamtstruktur, sondern an T-Profilen, die aus den Demonstratoren extrahiert werden. Dies liegt hauptsächlich in dem hohen Aufwand der Fertigung begründet. T-Profil-Prüfungen bieten den Vorteil, dass bis zu acht Prüfkörper aus einem Demonstrator entnommen werden können. Zudem hängt das Versagensbild der Gesamtstruktur maßgeblich von der Anbindung zwischen Rippe und Decklage ab. Die Verbindungszone zwischen Decklage und Rippe wird durch T-Zug- und T-Biegeversuche in verschiedenen Spannungszuständen untersucht. Weiterhin wird eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die in AP2 und explizit in [1] untersuchte Co-Bondung Qualität gewährleistet

### T-Zug

Zunächst werden Versuche unter Zugbelastung an den T-Profilen durchgeführt. Dafür werden Prüfkörper aus den jeweiligen Demonstratoren extrahiert. Ein T-Profil hat eine Breite von ca.

180 Millimetern, bei einer Tiefe von 80 Millimetern. Die Steghöhe beträgt mindestens 70 Millimeter. Diese ist erforderlich für die Biegeversuche. Für die alte Konfiguration ergeben sich pro Demonstrator somit 12 Prüfkörper, bei der neuen Konfiguration nur 8, da nur die zwei mittleren Stege die gleiche Konfiguration aufweisen (strukturelle Kerne beidseitig).

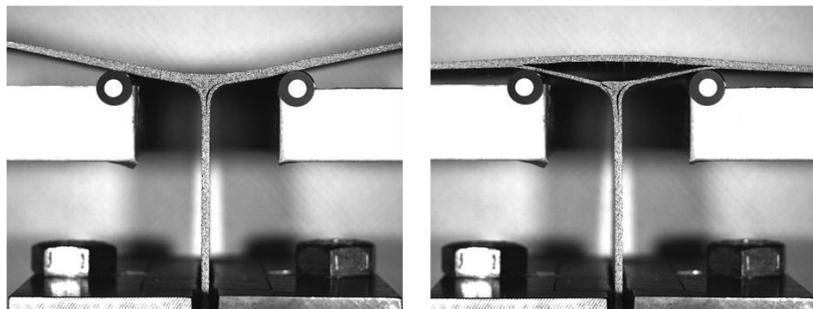
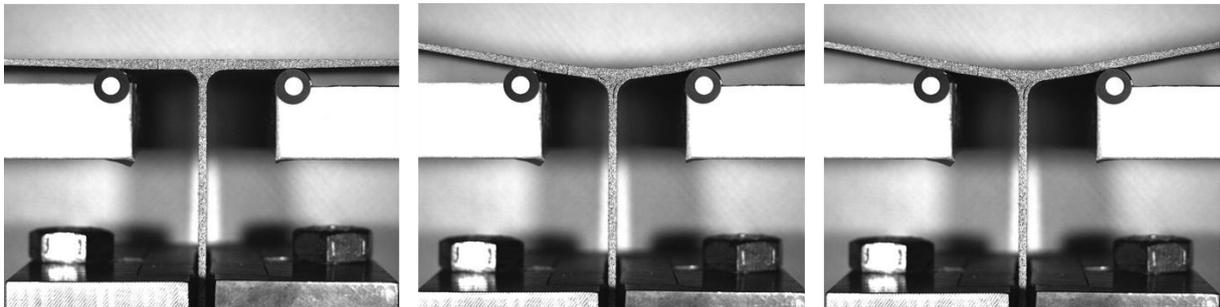
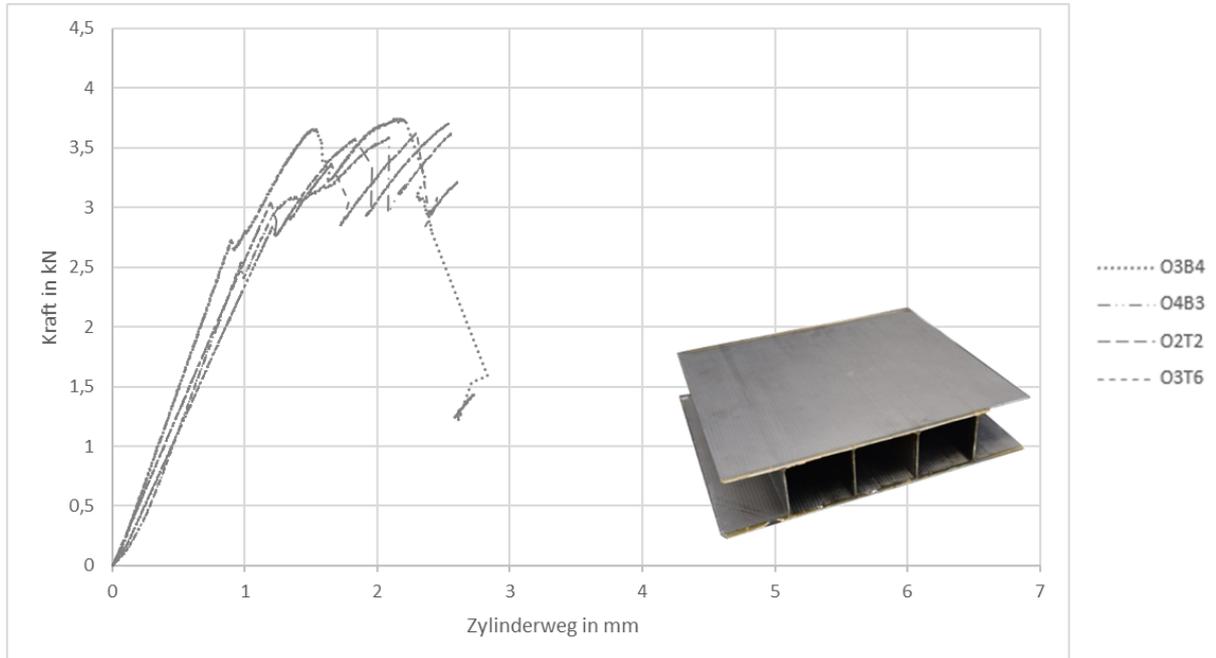
Für den Zugversuch werden die T-Profile, wie in Abbildung 2-13 dargestellt, auf zwei Auflagern mit 50 Millimetern Abstand und mit dem Steg mittig positioniert und der Steg von der Decklage abgezogen. Die Prüfungsgeschwindigkeit beträgt 2 Millimeter pro Minute mit der der Steg nach unten gezogen wird.



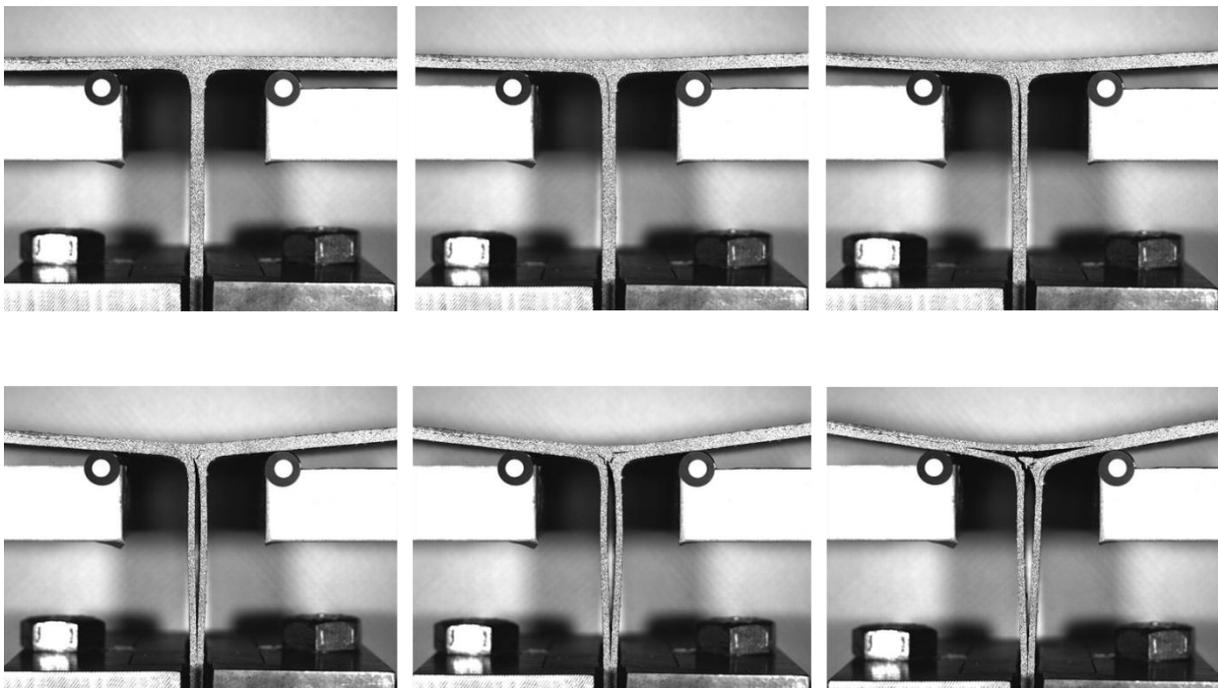
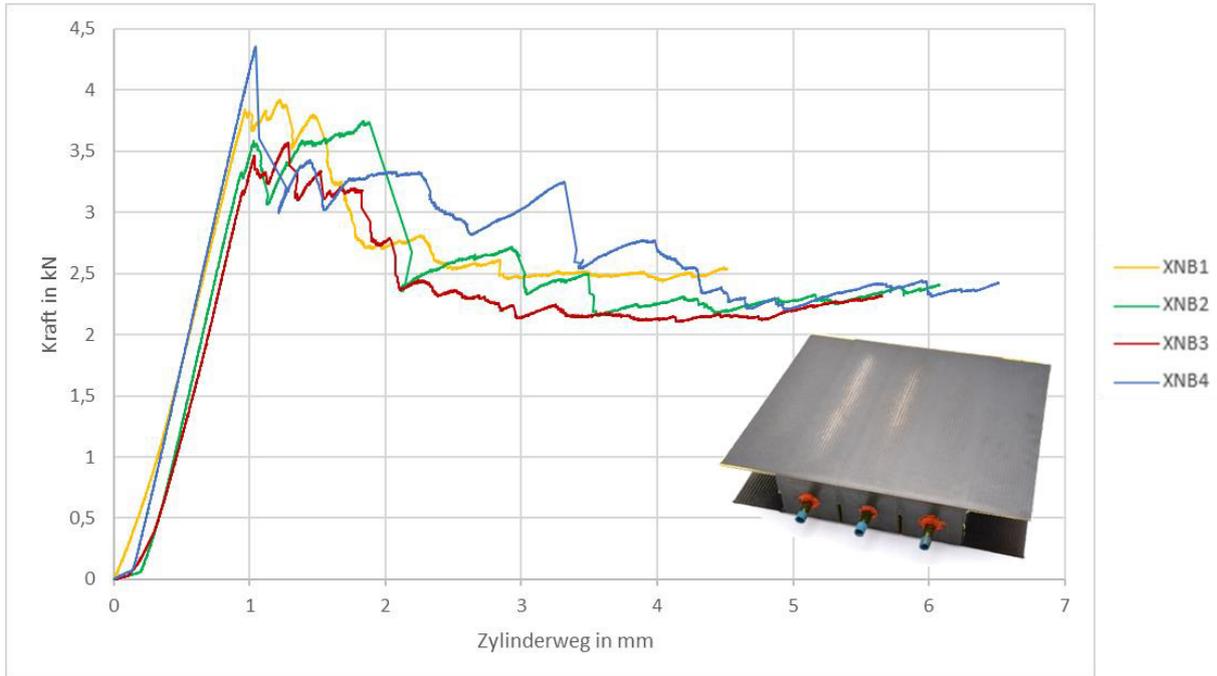
**Abbildung 2-13** Prüfaufbau T-Zugversuch, Prüfkörper mittig positioniert

Die Prüfergebnisse der alten Demonstrator Konfiguration sind in Abbildung 2-14 aufgeführt. Maximale Kraftwerte liegen zwischen 3,6 und 3,75 kN, wobei zuvor ein Erstversagen auch in der Kraft-Weg-Kurve zu beobachten ist. Das Erstversagen findet im Zwickelbereich statt, von wo aus sich dann der Riss bis in die Decklage fortsetzt. Abschließend ist ein komplettes Ablösen der Decklage bis hin zu den Auflagerpunkten zu beobachten. Alle Prüfkörper weisen ein ähnliches Versagensverhalten auf.

Für die neue Demonstrator Konfiguration sind die Ergebnisse in Abbildung 2-15 aufgeführt. Die maximalen Kraftwerte liegen in einem ähnlichen Bereich wie für die alte Konfiguration, wobei für einen Prüfkörper sogar ein höherer Kraftwert erkennbar ist. Zusätzlich unterscheidet sich das Primärversagen dadurch, dass sich ein Versagen in der Zwischenschicht der strukturellen Kerne einstellt. Von dort aus wandert der Riss über den Zwickelbereich in die Decklage. Ein vollständiges Ablösen der Decklage ist nicht erkennbar. Hierbei muss erwähnt werden, dass sich die Wandstärke zwischen alter und neuer Konfiguration im Stegbereich unterscheidet. Dies liegt in der Entscheidung für einen symmetrischen Lagenaufbau begründet, um eventuellen Verzug der Kerne vorzubeugen. Da das Versagen aber hauptsächlich durch die Interphase zwischen Steg und Decklage hervorgerufen wird, ist eine Übertragbarkeit der Ergebnisse gewährleistet.



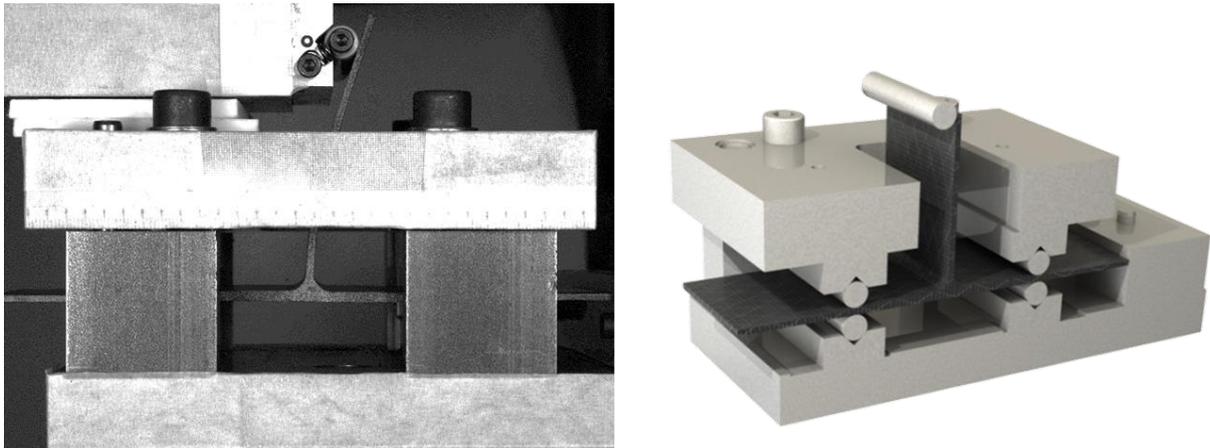
**Abbildung 2-14** T-Zugprüfungen der alten Demonstratorconfiguration, Kraft Weg-Kurven oben, detailliertes Versagensverhalten unten, Primärversagen erfolgt im Zwickelbereich



**Abbildung 2-15** T-Zugprüfungen der neuen Demonstratorconfiguration, Kraft Weg-Kurven oben, detailliertes Versagensverhalten unten, Primärversagen erfolgt in der Zwischenschicht der strukturellen Kerne

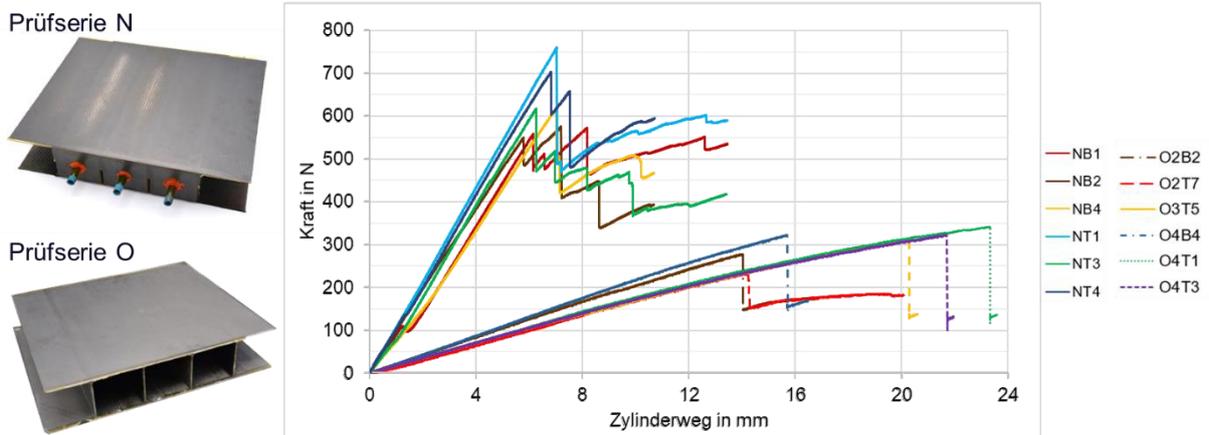
## T-Biegung

Zusätzlich werden Versuche unter Biegebelastung durchgeführt. Der Prüfaufbau ist in Abbildung 2-16 dargestellt. Das T-Profil wird zwischen Rollen gelagert und an einer Kante bündig an einen Anschlag gesetzt. Über eine obere Rolle wird der Steg weggedrückt und ein Versagen in der Verbindungszone herbeigeführt. Zusätzlich wird auch hier per Bildkorrelationsverfahren eine Ermittlung der Dehnungen ermöglicht.



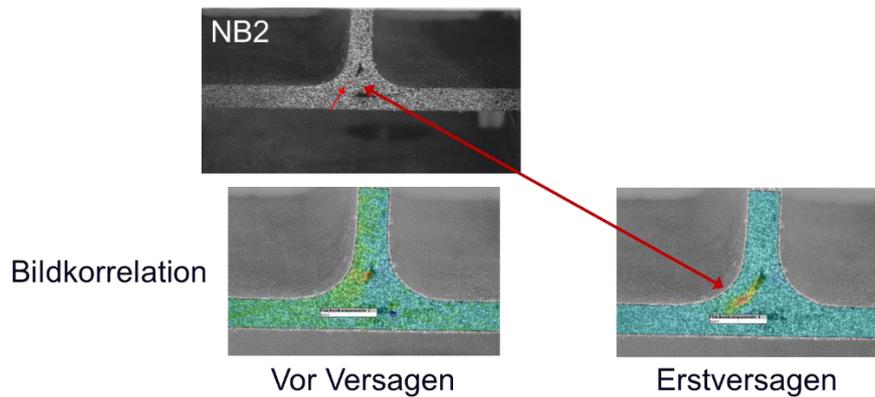
**Abbildung 2-16** T-Biegung Prüfaufbau mit Ansicht der Prüfung links, Schnittansicht des Prüfaufbaus rechts

Wie auch in den vorangegangenen Versuchen werden alte und neue Konfiguration miteinander verglichen. Abbildung 2-17 stellt die Ergebnisse in Form der Kraft-Weg-Kurven der verschiedenen Konfigurationen gegenüber. Im Vergleich zu den T-Zug-Versuchen ist jedoch kein einfacher Vergleich zwischen den Konfigurationen möglich, da sich die Konfigurationen stark in ihrer Biegesteifigkeit unterscheiden. Allgemein kann jedoch festgehalten werden, dass sich mit der neuen Konfiguration kein verfrühtes Versagensverhalten darstellt.



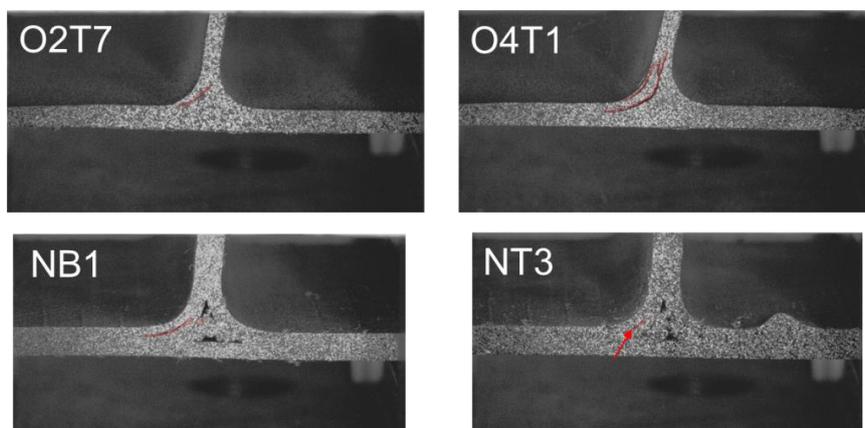
**Abbildung 2-17** T-Biegung Prüfergebnis: Kraft-Weg-Kurven der neuen Konfiguration (Prüfserie N) und der alten Konfiguration (Prüfserie O)

Betrachtet man das Versagensverhalten der Prüfkörper anhand der Erstversagen ist die Bildkorrelation hilfreich, da über sie eindeutig interlaminaire Defekte aufgelöst werden können die sonst schwer zu erkennen sind. Abbildung 2-18 verdeutlicht dies. Hier ist das Grauwertbild direkt nach dem Erstversagen den Bildkorrelationsdaten vor und nach Versagen dargestellt. Das Erstversagen äußert sich eindeutig als Dehnungsüberhöhung, wodurch das Versagensverhalten insgesamt eindeutig nachvollzogen werden kann.



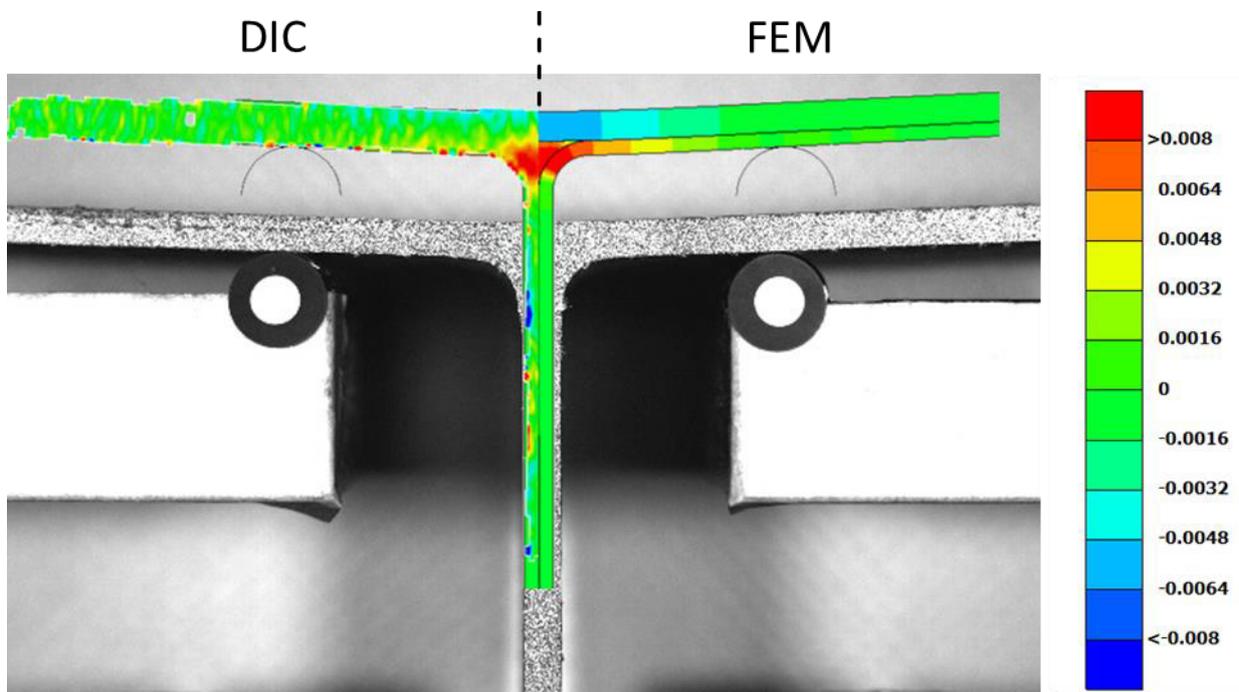
**Abbildung 2-18** Vergleich zwischen Grauwertbild mit Erstversagen und Dehnungsbildern vor und nach dem Erstversagen mit eindeutiger Dehnungsüberhöhung im Bereich des Erstversagens

Auch das Versagensverhalten ist hier im Vergleich zum T-Zug-Versuch komplexer. Zwar ist auch hier ein Versagen im Radienbereich zu erwarten und dort tritt auch Versagen auf, jedoch unterscheiden sich die Versagensverhalten zwischen den Prüfkörpern auch innerhalb einer Prüferie. So kann ein interlaminares Versagen auftreten (Abbildung 2-19 Prüfkörper O2T7 und NT 3) oder aber auch ein kombiniertes interlaminares Versagen und Interface-Versagen zwischen Laminat und Zwickel (Abbildung 2-19 Prüfkörper O4T1 und NB1). Das lässt jedoch auch den Schluss zu, dass nicht immer das Interface maßgeblich am Versagen beteiligt ist.



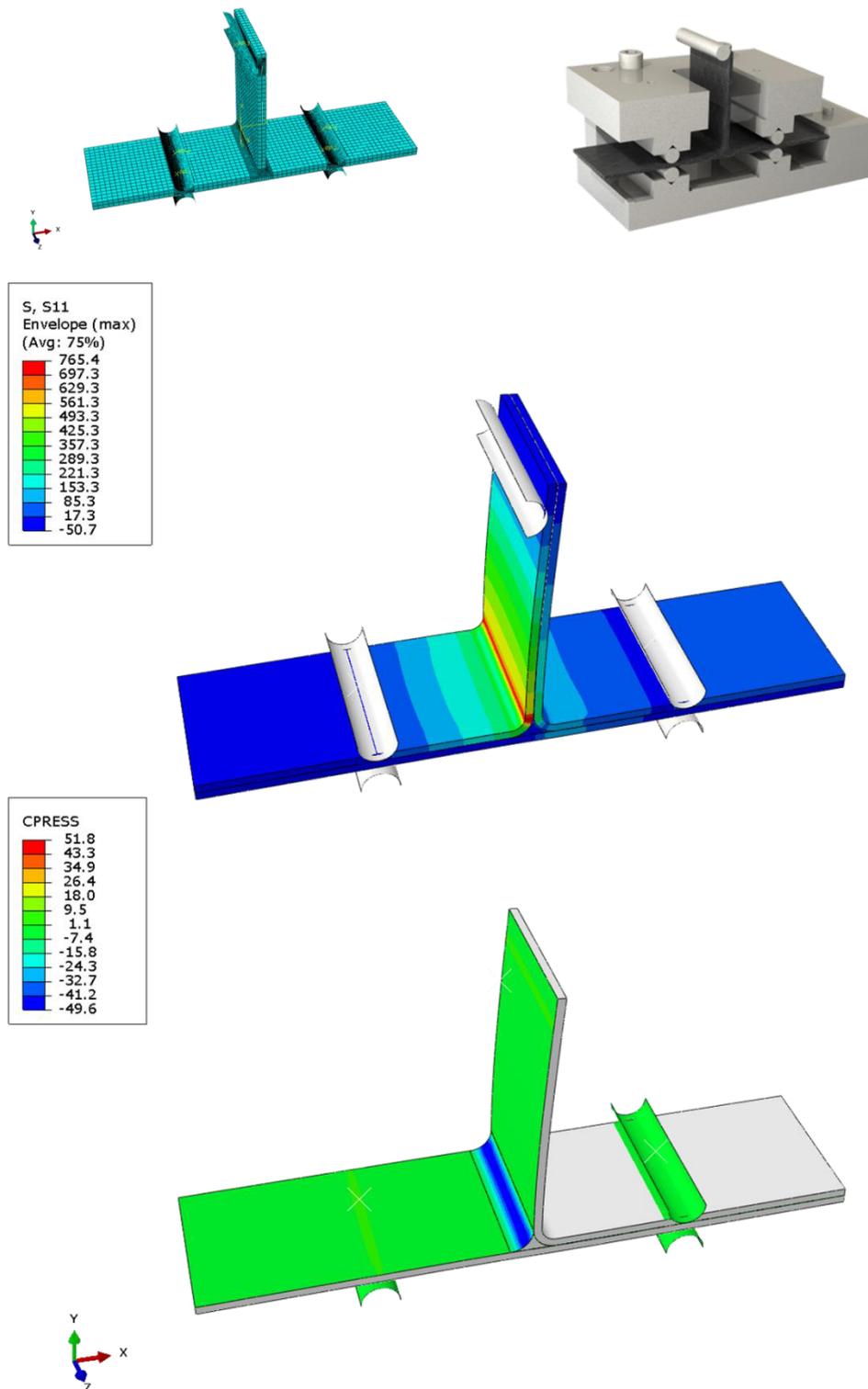
**Abbildung 2-19** Versagensverhalten der Prüfkörper unter Biegung Prüfkörper der alten Konfiguration oben, der neuen Konfiguration unten, mit interlaminares Versagen sowie Interface-Versagen zwischen Laminat und Zwickel oder Kombinationen der beiden Versagensverhalten

Für einen weiteren Vergleich der T-Biege-Versuche müssen die Spannungszustände in der Fügezone ermittelt werden und mit den Prüfergebnissen verglichen werden. Hierfür werden weitere FE-Simulationen, die die Prüfmethode abbilden, modelliert. Mit Hilfe der Simulationsmodelle lässt sich eine gute Übereinstimmung zwischen Simulation und Prüfung darstellen, wie in Abbildung 2-20 gezeigt ist. Hierbei sind die Ergebnisse der Bildkorrelation in Form der Dehnung in x-Richtung (Bildhorizontale) der Dehnungsverteilung der FE-Simulation gegenübergestellt für einen Spannungszustand kurz vor Versagen. Aufgrund der Darstellung der FE-Simulation der Laminatdehnungen ist diese verhältnismäßig grob aufgelöst, jedoch ist auch in diesem Fall eine gute Übereinstimmung erkennbar.



**Abbildung 2-20** Vergleich zwischen Bildkorrelation (links) und Finite Elemente Modell (rechts), am Beispiel der Dehnung in horizontaler Richtung bei gleicher Skalierung

Für das Versagensverhalten ist das Interface sowohl im T-Zug als auch im T-Biegung maßgeblich mit verantwortlich. Um das Versagen in der Modellierung abbilden zu können, müssen die Anstrengungen im Interface betrachtet werden. Abbildung 2-21 stellt dies exemplarisch für den T-Biegung Versuch dar, bei dem neben der maximalen Faseranstrengung auch die Kontaktspannung zwischen einem Kern und den verbundenen Komponenten (Decklage, Zwickel, anliegender Kern) untersucht werden kann. Es zeigt sich, dass im Radienbereich eine hohe Aufziehspannung vorherrscht (blauer Bereich in Abbildung 2-21 unten). Mit Hilfe dieser zusätzlichen Informationen ist es möglich die Versuche und ihr Versagensverhalten zu bewerten. Zusätzlich können die aus HAP 2 ermittelten Kennwerte aus den Coupon-Prüfungen in die Simulation über ein geeignetes Kohäsivzonenmodell eingebettet werden und das Versagen direkt simuliert werden.



**Abbildung 2-21** Finite Elemente Modell des T-Biegung Prüfaufbaus mit maximaler Faseranstrengung (oben) und Normalspannung im Interface (unten), Werte in MPa

Aufgrund des hohen Fertigungsaufwands der Demonstratorstruktur standen keine Prüfkörper für eine Prüfung nach Vorschädigung zur Verfügung, weswegen dieses Unterarbeitspaket 5.2. nicht bearbeitet werden konnte.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Abschließend lässt sich feststellen, dass innerhalb des Projektes eine Bauweise mit mehreren benachbarten strukturellen FKV-Kernen erfolgreich umgesetzt werden konnte. Hierbei wurde der Fertigungsprozess für solche Strukturen entwickelt und auf ein vorhandenes RTM-Werkzeug mittels Modifikationen angewendet. Dies zeigt unter anderem, dass strukturelle FKV-Kerne auch auf weitere schon bestehende RTM-Werkzeuge anwendbar sind. Zusätzlich wurde die Anbindung von teilausgehärteten Laminaten ausführlich untersucht und ein optimiertes Prozessfenster für die FKV-Kerne definiert. Die hergestellten Demonstratorstrukturen wurden mittels T-Zug und –Bending Versuchen auf ihre strukturelle Integrität hin geprüft. Hierbei zeigt sich für beide Versuche kein vorzeitiges Versagen. Abschließend wird das Versagen zusätzlich mit Hilfe geeigneter FE-Simulationsmodelle bewertet. Diese Bewertungen werden auch nach Ende des Forschungsprojektes noch final durchgeführt, wobei noch zusätzlich das Versagen im Interface mit Hilfe der Daten aus den Coupon-Versuchen abgebildet wird.

## Anhang

### 2.2 Veröffentlichungen, Vorträge

Inhalte des Projekts wurden im Rahmen der folgenden Veröffentlichungen präsentiert:

Rieger, F.; Rief, T.; Motsch, N.; Hausmann, J.: Integral Design of Composite Structures Using a Modified Co-Curing Process. 21<sup>st</sup> International Conference on Composite Materials, Xi'an, 20.-25. August 2017

Rieger, F.; Rief, T.; Motsch, N.; Hausmann, J.: Modified co-curing process using partially cured composite structures. 20<sup>th</sup> International Conference on Composite Structures, Paris, 4.-7. September 2017

Rieger, F.; Rief, T.; Motsch, N.; Hausmann, J.: Investigation of pre-cured carbon fiber/epoxy-laminates for modified co-curing process, 18<sup>th</sup> European Conference on Composite Materials, (ECCM18), 24.-28. Juni 2018, Athen, Griechenland

Rieger, F.; Rief, T.; Motsch, N.; Hausmann, J.: Grundlagenanalyse einer Bauweise zur Herstellung von CFK-Bauteilen mit strukturellem Kern in einem modifizierten Co-Curing-Verfahren, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 04. – 06. September 2018, Friedrichshafen

Rief, T.; Rieger, F.; Motsch, N.; May, D.; Schmitt, U.; Franz, H.; Disandt, V.: Entwicklung einer neuen Methodik zur Herstellung hohlförmiger FKV-Strukturen zum Einsatz in strukturellen Komponenten in der Luftfahrt, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 04. – 06. September 2018, Friedrichshafen

Motsch, N.; Rieger, F.; Rief, T.: Load carrying composite cores, expoAIR 2018, 20.–22. November 2018, München

Rieger, F.; Rief, T.; Motsch, N.; Hausmann, J.: Manufacturing CFRP-Parts Using a Modified Co-Curing Method – Fundamental Experimental Analysis, Key Engineering Materials Vol. 809, Trans Tech Publications, 2019

Rieger, F.: Entwicklung eines modifizierten Co-Curing Verfahrens zur Herstellung von Komponenten aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff, Dissertation, IVW-Schriftenreihe, ISBN 978-3-944440-33-0, 2019

Rief, T.; Motsch-Eichmann, N.; Hausmann, J.: Neue hohlförmige FKV-Strukturen zum Einsatz in strukturellen Komponenten der Luftfahrt – Experimentelle Überprüfung, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 30. September – 2. Oktober 2019, Friedrichshafen

Motsch-Eichmann, N.; Rieger, F.; Rief, T.; Hausmann, J.: Investigation of pre-cured carbon fiber/epoxy-laminates for modified co-curing process, SAMPE Europe Conference 2019, Nantes, Frankreich

Zusätzlich wurden die Ergebnisse auch nach Projektende präsentiert:

Rief, T.; Motsch-Eichmann, N.; Hausmann, J.: Untersuchung von Komponenten für die Luftfahrt hergestellt mit strukturellen CFK-Kernen im modifizierten Co-Curing Verfahren, Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 1. – 3. September 2020, Online-Veranstaltung

Weitere schriftliche Abhandlungen in wissenschaftlichen Zeitschriften sind entweder schon in Arbeit oder geplant.

Innerhalb des Projekts wurden zwölf studentische Arbeiten (Projekt- wie auch Abschlussarbeiten) betreut.

## 2.3 Zusammenstellung der verwendeten Fachliteratur

Tabelle 2-1: Verwendete Fachliteratur im Berichtszeitraum

| AP   | Referenz Nr. | Titel des Dokumentes  |
|------|--------------|---|
| 2, 4 | [1]          | Rieger, F.: Entwicklung eines modifizierten Co-Curing Verfahrens zur Herstellung von Komponenten aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff, Dissertation, IVW-Schriftenreihe, ISBN 978-3-944440-33-0, 2019       |
| 2    | [2]          | Rieger, F.; Rief, T.; Motsch, N.; Hausmann, J.: Manufacturing CFRP-Parts Using a Modified Co-Curing Method – Fundamental Experimental Analysis, Key Engineering Materials Vol. 809, Trans Tech Publications, 2019 |

## 2.4 Liste der erstellten Dokumentation

- Jahresbericht 2016
- Jahresbericht 2017
- Jahresbericht 2018
- Jahresbericht 2019

## 3 Verzeichnisse

### 3.1 Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1-1: Projekt-Arbeitspaketstruktur des Airbus Vorhabens Next.Move in dem Verbund Next-Move (LuFoV.2).....  | 6  |
| Abbildung 2-1: Geplanter Prozess zur Herstellung des Demonstrators .....  | 9  |
| Abbildung 2-2 Werkzeugkonzept des Landeklappendemonstrators (Multicell-Box), modifiziert für die Verwendung von drei benachbarten strukturellen Kernen (in Blau dargestellt), Explosionsdarstellung links, Zusammenbau rechts ..... | 10 |
| Abbildung 2-3 FE-Modell eines strukturellen Kerns (links) und eines Landeklappendemonstrators in alter Konfiguration (rechts).....  | 11 |
| Abbildung 2-4: Struktureller Kern in Prepreg-Bauweise .....   | 11 |
| Abbildung 2-5: Probekörperherstellung von Verbunden aus teilausgehärteten Laminaten mit rohen Laminaten zur Überprüfung der interlaminaren Eigenschaften .....  | 12 |
| Abbildung 2-6 Abhängigkeit der Mode I Energiefreisetzungsrate vom Teilaushärtegrad einer Verbindungskomponente für das RTM-System .....   | 12 |
| Abbildung 2-7 Verteilung der Stumpfstöße der Einzellagen zur Vermeidung einer Sollbruchstelle.....  | 14 |
| Abbildung 2-8 Nach HAP3 optimiertem Prozess im VARTM-Verfahren hergestellter teilausgehärteter Kern .....   | 14 |
| Abbildung 2-9 DiBenedetto-Modell RTM-Prozess mit Teilaushärtegrad struktureller Kerne, Untersuchung über die Glasübergangstemperatur und Prozessfenster in hellblau .....   | 15 |
| Abbildung 2-10 Alte und neue Bauweise im Vergleich: Ersatz der mittleren drei metallischen Kerne durch strukturelle Kerne .....   | 16 |
| Abbildung 2-11 Klappendemonstratorwerkzeug mit Druckluftanschlüssen in rot auf Werkzeugträger.....  | 17 |
| Abbildung 2-12 Klappendemonstrator (Multicell-Box) in neuer Konfiguration mit drei strukturellen Kernen mittig, links Gesamtansicht, rechts Schnittansicht rückseitig .....   | 17 |
| Abbildung 2-13 Prüfaufbau T-Zugversuch, Prüfkörper mittig positioniert .....  | 18 |
| Abbildung 2-14 T-Zugprüfungen der alten Demonstrator Konfiguration, Kraft Weg-Kurven oben, detailliertes Versagensverhalten unten, Primärversagen erfolgt im Zwickelbereich ....  | 19 |

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 2-15 T-Zugprüfungen der neuen Demonstratorkonfiguration, Kraft Weg-Kurven oben, detailliertes Versagensverhalten unten, Primärversagen erfolgt in der Zwischenschicht der strukturellen Kerne .....   | 20 |
| Abbildung 2-16 T-Biegung Prüfaufbau mit Ansicht der Prüfung links, Schnittansicht des Prüfaufbaus rechts .....  | 21 |
| Abbildung 2-17 T-Biegung Prüfergebnis: Kraft-Weg-Kurven der neuen Konfiguration (Prüfserie N) und der alten Konfiguration (Prüfserie O) .....   | 21 |
| Abbildung 2-18 Vergleich zwischen Grauwertbild mit Erstversagen und Dehnungsbildern vor und nach dem Erstversagen mit eindeutiger Dehnungsüberhöhung im Bereich des Erstversagens .....   | 22 |
| Abbildung 2-19 Versagensverhalten der Prüfkörper unter Biegung Prüfkörper der alten Konfiguration oben, der neuen Konfiguration unten, mit interlaminarem Versagen sowie Interface-Versagen zwischen Laminat und Zwickel oder Kombinationen der beiden Versagensverhalten ..... | 22 |
| Abbildung 2-20 Vergleich zwischen Bildkorrelation (links) und Finite Elemente Modell (rechts), am Beispiel der Dehnung in horizontaler Richtung bei gleicher Skalierung.....  | 23 |
| Abbildung 2-21 Finite Elemente Modell des T-Biegung Prüfaufbaus mit maximaler Faseranstrengung (oben) und Normalspannung im Interface (unten), Werte in MPa .....   | 24 |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 2-1: Verwendete Fachliteratur im Berichtszeitraum ..... | 27 |
|---|----|

*Letzte Seite des Dokuments.*

## Berichtsblatt

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>1. ISBN oder ISSN</b>   | <b>2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)</b><br>Schlussbericht |  |
| <b>3. Titel</b><br>Abschlussbericht zum Vorhaben Strukturelle Kerne im Verbund Next-Move Gefördert in dem Luftfahrtforschungsprogramm LuFoV-2  |  |  |
| <b>4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]</b><br>Motsch-Eichmann, Nicole<br>Rief, Thomas   | <b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b><br>31.03.2020                           |  |
|  | <b>6. Veröffentlichungsdatum</b><br>30.09.2020                                 |  |
|  | <b>7. Form der Publikation</b><br>Schlussbericht                               |  |
| <b>8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)</b><br>Institut für Verbundwerkstoffe GmbH   | <b>9. Ber.-Nr. Durchführende Institution</b><br>1400500000                     |  |
|  | <b>10. Förderkennzeichen</b><br>20W1512D                                       |  |
|  | <b>11. Seitenzahl</b><br>31  |  |
| <b>12. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b><br>BMW i  | <b>13. Literaturangaben</b><br>2   |  |
|  | <b>14. Tabellen</b><br>1   |  |
|  | <b>15. Abbildungen</b><br>22   |  |
| <b>16. DOI (Digital Object Identifier)</b>   |  |  |
| <b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b><br>Projekträger DLR   |  |  |
| <b>18. Kurzfassung</b><br>Im Rahmen des Forschungsprojekts konnte eine Bauweise mit drei benachbarten strukturellen FKV-Kernen umgesetzt werden und ihre strukturelle Integrität bzw. Tragfähigkeit nachgewiesen werden. |  |  |
| <b>19. Schlagwörter</b><br>Strukturell-tragender FKV-Kern, Teilaushärtung, Modifiziertes Co-Curing, FEM  |  |  |
| <b>20. Verlag</b>  | <b>21. Preis</b>   |  |

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 1180728-7

## 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>Final report on the project "Structural Cores" within the Next-Move project Supported by the aviation research program LuFoV-2   |   |  |
| <b>4. author(s) (family name, first name(s))</b><br>Motsch-Eichmann, Nicole<br>Rief, Thomas   | <b>5. end of project</b><br>31.03.2020  |  |
|   | <b>6. publication date</b><br>30.09.2020  |  |
|   | <b>7. form of publication</b><br>Sonstiges  |  |
| <b>8. performing organization(s) name, address</b><br>Institut für Verbundwerkstoffe GmbH   | <b>9. originators report no.</b><br>1400500000  |  |
|   | <b>10. reference no.</b><br>20W1512D  |  |
|   | <b>11. no. of pages</b><br>31   |  |
| <b>12. sponsoring agency (name, address)</b><br>BMW i   | <b>13. no. of references</b><br>2   |  |
|   | <b>14. no. of tables</b><br>1   |  |
|   | <b>15. no. of figures</b><br>22   |  |
| <b>16. DOI (Digital Object Identifier)</b>  |   |  |
| <b>17. presented at (title, place, date)</b><br>Projekträger DLR  |   |  |
| <b>18. abstract</b><br>Within the framework of the research project, a construction method with three adjacent structural FKV cores was implemented and its structural integrity or load-bearing capacity was proven. |   |  |
| <b>19. keywords</b><br>Structurally supporting FKV core, partial curing, modified co-curing, FEM  |   |  |
| <b>20. publisher</b>  | <b>21. price</b>  |  |

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 1181226-6