

Projekt Abschlussbericht

KoPRa

Zuwendungsempfänger:

**Airbus Defence and Space GmbH/
Airbus Group Innovations**

Förderkennzeichen:

20W1121C

Vorhabenbezeichnung:

Kosteneffiziente (CFK) Hohl-Profile und Rahmenstrukturen

Laufzeit des Vorhabens:

01.01.2013 bis 31.03.2015

Berichtszeitraum:

01.01.2013 bis 31.03.2015


Erstellt: Florian Dorn

TX1T

Ottobrunn, den 25.09.2015

Airbus Defence and Space (Airbus Group Innovations)


A. Gessler


i.V. Dr. C. Weimer

Inhaltsverzeichnis

1	AUFGABENSTELLUNG	3
2	VORAUSSETZUNGEN DES VORHABENS.....	4
3	PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS.....	4
	AP 1000 KERntechnologie und AushärteWerkzeuge.....	4
	AP 2000 FERTIGUNGstechnologie	5
	AP 3000 ENTWURF UND KONSTRUKTION.....	6
	AP 4000 PROTOTYPISCHE APPLIKATION UND VALIDIERUNG	7
4	WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND	7
5	ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	9
6	ERGEBNISSE DES FORSCHUNGSVORHABENS KOPRA.....	10
	AP 1000 KERntechnologie und AushärteWerkzeuge.....	10
	AP 2000 FERTIGUNGstechnik.....	10
	AP 3000 ENTWURF UND KONSTRUKTION.....	12
	AP 4000 PROTOTYPISCHE APPLIKATION UND VALIDIERUNG	12
7	NUTZEN UND VERWERTBARKEIT	13
8	FORTSCHRITTE BEI ANDEREN STELLEN.....	13
9	VERÖFFENTLICHUNGEN.....	13

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AGI	Airbus Group Innovations
AHD	Airbus Helicopters Deutschland GmbH
AP	Arbeitspaket
CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
FPP	Fiber Patch Preforming
KoPRa	Kosteneffiziente (CFK) Hohl-Profile und Rahmenstrukturen
NRC	Non Recurring Costs
RC	Recurring Costs
TUM LCC	Technische Universität München - Lehrstuhl für Carbon Composites
UA	Unterauftrag

1 Aufgabenstellung

Im Projektverbund KoPRA soll das Potential der Faserverbundwerkstoffe bei leichten Hohlstrukturen bezüglich Fertigungseffizienz und Prozesssicherheit gezeigt und optimiert werden. Solche Hohlstrukturen kommen zum Beispiel bei Kabinengerüsten von Hubschraubern vor. Um diese geometrisch komplexen Bauteile bezüglich ihrer Fertigungskosten zu optimieren und eine höhere Prozesssicherheit zu gewährleisten wurden im Projekt zwei Ansätze verfolgt. Zum einen wird die bei Airbus Helicopters bereits im Serieneinsatz befindende Prepregtechnologie mit Schlauchbauweise betrachtet und weiter entwickelt. Hierbei wurde der Fokus auf kostengünstige Kernkonzepte mit einer höheren Prozesssicherheit gelegt. Zum anderen sollen neue textile Preform-Infiltrationsverfahren untersucht werden. Der Schwerpunkt der Arbeitsanteile von AGI liegt innerhalb des Projektes KoPRA bei der Entwicklung und Untersuchung der textilen Fertigungsverfahren. Ziel ist es, die jahrelange Erfahrung in der Flecht-, FPP- und Infiltrationstechnologie von AGI zu nutzen und diese auf komplexe Hohlstrukturen in der Hubschrauberstruktur anzuwenden.

Für die textilen Preform- und Infiltrationsverfahren sollen Prozessketten zur Erstellung der integralen Hohlstrukturen definiert werden. Die Bauteile müssen dabei den definierten technischen Anforderungen entsprechen und durch ein automatisierungsgerechtes Design in ihren Herstellkosten ein Kosteneinsparpotential aufzeigen. Vielversprechende Verfahren sind hier die Flecht- und FPP-Technologie, welche bei AGI entwickelt und teilweise auch patentiert sind. Bei der Entwicklung dieser Schlüsseltechnologien Flechten und FPP kommt den möglichen Kernkonzepten mit ihren verschiedenen Materialien ebenfalls eine wichtige Rolle zu. Diese Kernkonzepte sind entscheidend für die prinzipielle Machbarkeit und die gewünschten robusten Prozesse. Somit ist die Entwicklung und Verifikation geeigneter Kernsysteme für die textilen Technologien zusammen mit den Projektpartnern ein wichtiger Bestandteil des KoPRA Projektes. Neben der Entwicklung der Prozesskette soll auch an abgeleiteten Demonstratorbauteilen die prinzipielle Machbarkeit nachgewiesen und die Annahmen validiert werden.

Durch die Kostenreduktion der RC Kosten mit neuen Fertigungsprozessen und der Reduzierung der Ausschussrate durch stabilere Prozesse soll KoPRA so zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit von Airbusbus Helicopters unterstützend beitragen.

2 Voraussetzungen des Vorhabens

Die sich bei AHD in Serie befindliche Hohlbauweise mit Prepregmaterial und Folienschlauch für das Kabinengerüst eines mittelschweren Hubschraubers stellt für das Projekt KoPRA die Basis dar. Bei diesem Fertigungsverfahren erfolgt unter Verwendung eines speziell gefalteten Folienschlauchs der die gelegte Hohlkammer zwischen den Prepreglagen während des Härteprozesses ausfüllt, die Aushärtung im Autoklaven. Hierbei kann die Expansion des Folienschlauchs zu Falten führen und somit zu einer unregelmäßigen Topologie der inneren Oberfläche. Dies erschwert u.a. die Anbringung von Kraftereinleitungselementen und verhindert teilweise das Entfernen des Schlauches.

Basierend auf diesen Erkenntnissen und Problemstellungen aus der Serienfertigung baut das Projekt KoPRA mit seinem Ansatz Kosten zu sparen, den vorhandenen Prozess mit neuen Kernsystemen zu stabilisieren oder mit komplett neuen Fertigungsansätzen wie der textilen Preformtechnologie auf. AGI schöpft hierfür aus seiner jahrelangen Erfahrung und aus diversen vorangegangenen Projekten.

Das Projektteam von KoPRA hat diese Aufgabenstellung aufgegriffen und die Herstellung von Rahmenstrukturen für ein Hubschrauberkabinengerüst mittels neuen löslichen Kernsystemen, fertigungsgerechtem Design und neuen und bekannten Fertigungstechnologien untersucht.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

In diesem Abschnitt werden die Anteile von AGI an den einzelnen Arbeitspaketen des Gesamtprojektes beschrieben. Viele dieser Arbeiten liefen in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern. Detaillierte Arbeitsbeschreibungen der Partner und deren Unterauftragnehmern finden sich in deren jeweiligen Abschlussberichten.

AP 1000 Kerntechnologie und Aushärtewerkzeuge

In diesem Arbeitspaket wurden die Anforderungen an ein neuartiges Kernsystem, sowie dessen Versiegelung erarbeitet und in einer Spezifikation zusammengefasst. Hierbei wurde der Schwerpunkt bei AGI auf die Definition der Anforderungen an die neuartigen textilen Fertigungstechnologien wie Flechten oder FPP gelegt. Dazu mussten die Fertigungsprozesse definiert und verschiedene Parameter wie z.B. Flechtkräfte berechnet und in Versuchen validiert werden. Diese Spezifikation war für das Projektteam Grundlage für die zu entwickelnden Kernsysteme, Trägersysteme und Versiegelungen für die textilen Fertigungskonzepte.

Zu Beginn des Projektes wurden in diesem Arbeitspaket von AGI eigene Kernsysteme aus Schmelzmaterialien (Wachs, niederschmelzende Legierungen, ...),

lösliche Materialien (gepresste Salzstrukturen, lösliche Klebesandstrukturen, ...) und Vakuummateriale (Kunststoffgranulat, gepresste Sandstrukturen, ...) untersucht. Bei den notwendigen, in die Kerne eingebetteten Stützstrukturen wurden Systeme aus Rohrverbindungen und Kugelgelenken erarbeitet und bezüglich der Anforderungen der Spezifikation bewertet. Auch Versiegelungen z.B. mit Gussilikon oder Schrumpfschlauch wurden untersucht. Um diese Untersuchungen Zeitnah beginnen zu können, wurde ein vorläufiges, von der Kabinenstruktur abgeleitetes Schikanebauteil konstruiert und für die ersten Versuche benutzt.

Im weiteren Projektverlauf wurde in diesem Arbeitspaket eng mit den Projektpartnern und deren Unterauftragnehmer zusammengearbeitet. AGI hat hier seine neuen, in diesem Projekt gesammelten und die bereits vorhandenen Erfahrungen im Themenbereich Kerne, deren dazugehörigen Werkzeugen, Stützstrukturen und Versiegelungen mit den Projektpartnern eingebracht und bei deren Neuentwicklungen beratend unterstützt. Die neu entwickelten Kernsysteme mit Versiegelung und Stützstruktur wurden bei AGI auf ihre Anwendung in Kombination mit den textilen Fertigungstechniken untersucht und gemeinsam im Projekt weiterentwickelt. Die favorisierten Kernsysteme für die Validierungsstruktur und das generische Bauteil wurden schließlich für das Arbeitspaket Fertigungstechnik zur Fertigungsprozessvalidierung bereitgestellt.

AP 2000 Fertigungstechnologie

Für die Fertigung eines Kabinengerüsts in einer textilen Fertigungstechnologie wurden verschiedene Konzepte erarbeitet und bewertet. Es wurden Differential- und Integralbauweisen berücksichtigt. Dabei wurden Konzepte mit einer vollautomatisierten, teil-automatisierten und sequenziell automatisierten Fertigungsprozesskette erarbeitet und bewertet. Für diese Konzepte wurden die Herstellkosten, die Investitionskosten für die Anlagentechnologie sowie die Qualifikationskosten für die Materialien und Prozesse berücksichtigt. Das ausgewählte Konzept sieht vor, die Verbindungsstreben der Kabinenstruktur in der Umflechttechnologie herzustellen. Die komplexen Knotenelemente, bei denen die Verbindungsstreben zusammenlaufen, sollen in der FPP Technologie gefertigt werden. Diese Elemente sollen auf löslichen, versiegelten Kernen mit integrierter Stützstruktur mit ihren Fertigungstechnologien vorkompaktiert und als trockene Preform verwendet werden. Dabei soll der Übergang lastgerecht mit einer entsprechenden Schäftung realisiert werden. Das integrale Fertigungskonzept sieht vor, nach dem Einlegen in ein Negativ-Injektionswerkzeug mit entsprechenden Harzinjektionsleitungen und Absaugbereichen das Kabinengerüst auf einen Schuss mit Harz zu infiltrieren und anschließend auszuhärten. Nach dem Entformen des infiltrierten Bauteils müssen die löslichen Kernsysteme ausgewaschen und die Versiegelungen entfernt werden, um anschließend das Hohlbauteil Hubschrauberkaabinengerüst zur weiteren Verarbeitung bereit zu stellen.

Um die Übergänge zwischen Verbindungsstreben und Knotenelemente fertigungstechnisch und statisch zu validieren, wurden verschiedene Schäftungsszenarien in Geometrie und Fertigungsart untersucht und in einem Kleinprobenprogramm validiert. Das Ergebnis dieses statischen Nachweises wurde dann in AP3000 bei der Auslegung und der Konstruktion der Validierungsstruktur berücksichtigt.

Des Weiteren wurden diverse Flechttechnik-Fertigungsversuche mit der in AP3000 konstruierten generischen Struktur untersucht. Dabei wurden die Bedeckungsgrade, Flechtwinkel und Flächengewichte für verschieden Szenarien definiert und umgesetzt. Diese Ergebnisse wurden in AP3000 diskutiert und ein möglicher fertigungsgerechter Lagenaufbau daraus abgeleitet.

Bei den Flechtversuchen kamen verschiedenen Formkernmischungen, Versiegelungen und Stützstrukturen aus AP1000 zum Einsatz und wurden bezüglich ihrer Eignung für dieses Fertigungsverfahren untersucht. Aufgrund der Kräfte die beim Flechtprozess auftreten und der begrenzten Stabilität der neu entwickelten Kerne, musste ein Konzept zur Entlastung des Kernsystems entwickelt und realisiert werden. Dieses sieht vor, durch pneumatische, gesteuerte Entlastungsrollen Kräfte nahe dem Flechtanlagepunkt aufzunehmen und damit die wirkenden Momente an der Kernaufnahme am Roboter zu reduzieren. Die Oberfläche des auf den Kern aufgetragenen Geflechts wurde mittels eines 3D Lasers zur Qualitätskontrolle vermessen und mit dem Soll verglichen. Der gesamte Flechtprozess mit seinen verschiedenen, von der Bauteilgeometrie abhängigen Flechtwinkeln, wurde am generischen Bauteil entwickelt, definiert. Die Ergebnisse wurden zusammen mit der Konstruktion in AP 3000 diskutiert und auf das Gesamtkonzept bzw. die Validierungsstruktur für AP4000 übertragen.

Der FFP Prozess musste zunächst auf die komplexe Geometrie eines Knotenelements angepasst werden. Dabei wurden die Kerne auf ihre Eignung als Träger für FFP Lagen untersucht und bewertet. Der Ablegekopf der FFP Anlage musste auf die komplexen 3-dimensionalen Konturen angepasst und validiert werden. Die Offlineprogrammierung zur Steuerung der FFP Anlage konnte weiterentwickelt werden, um zukünftig geschlossene Konturen, wie sie in diesem Projekt verlangt wurden, berechnen und ablegen zu können. Die am Knotenelement aufgezeigten möglichen Faserorientierungen und Faserverläufe flossen direkt in AP3000 mit ein.

Zur Infiltration der generischen Struktur kamen die vom Projektpartner Airbus Helicopters bereitgestellten Infiltrationswerkzeuge aus AP1000 zum Einsatz. Das Infiltrationswerkzeug zur Herstellung der generischen Struktur wurde bei AGI zu einem Stand-Alone-Werkzeug modifiziert und im Ofen im Infusions- und Injektionsverfahren eingesetzt. Es wurde die Infiltration ohne und mit den unter Druck gesetzten Kernen untersucht. Das Auswaschen der Formwerkstoffe und Entfernen der Versiegelung und der Stützstruktur wurden ebenfalls mit betrachtet.

Alle Ergebnisse der Prozessentwicklungen und Fertigungsversuche wurden mit den Projektpartnern diskutiert und standen den anderen Arbeitspaketen direkt zur Verfügung.

Ebenfalls wurden die einzelnen Prozessparameter und ihre Interaktion betrachtet und für Airbus Helicopters ein Konzept für eine mögliche Zulassungsstrategie erarbeitet.

AP 3000 Entwurf und Konstruktion

In diesem Arbeitspaket kam AGI primär eine beratende Funktion zu. Diese konzentrierte sich zum einen auf die fertigungstechnische Beratung bei der Konstruktion und Auslegung der generischen Bauteile für AP2000 und der Validierungsstruktur für AP4000. Zum anderen wurde AHD bei der

Konzeptentwicklung zur Anwendung der neuen Fertigungstechnologien für weitere Bauteile im Hubschrauber unterstützt.

Bei der Auslegung und Konstruktion der generischen Struktur wurde darauf geachtet, dass diese einen komplexen repräsentativen Teilbereich einer Hubschrauberstruktur mit geschlossenem, hinterschnittigen Profilquerschnitt abbildet. Diese generische Struktur wurde bei den Fertigungsversuchen in AP2000 untersucht und die Ergebnisse für eine fertigungsgerechte Auslegung und Konstruktion bereitgestellt und berücksichtigt. Dabei wurden die Lagenaufbauten jeweils der entsprechenden Fertigungstechnologie mit Berücksichtigung der statischen Anforderungen angepasst.

Für die Validierungsstruktur in AP4000 wurde der Lagenaufbau und das Design des Knotenelements der FPP Technologie angepasst. Hierbei wurde der individuelle Faserverlauf der einzelnen Preform-Patches berücksichtigt und ausgenutzt. Der Übergang vom Flechtbauteil zu dem FPP Bauteil wurde wie in AP2000 in Fertigungsversuchen ermittelt und als Schäftung umgesetzt. Bei der Verbindungsstrebe wurden die unterschiedlichen Faserorientierungen, bedingt durch die komplexe Geometrie und den angewendeten Flechtprozess, berücksichtigt. Sämtliche Auslegungen und Konstruktionen wurden beim Projektpartner Airbus Helicopters in enger Abstimmung und Zusammenarbeit mit AGI durchgeführt.

AP 4000 Prototypische Applikation und Validierung

Der in AP3000 definierte Validierungsartikel wurde in diesem Arbeitspaket mit den Erfahrungen und Kenntnissen aus den Fertigungsversuchen und den neu entwickelten Kernsystemen gefertigt. Ein komplexes Knotenelement mit ideal angepasstem Faserverlauf wurde mit der FPP Technologie bei AGI gefertigt. Der Ansatz einer Verbindungsstrebe mit ihrem Schäftungsübergang zum Knoten wurde ebenfalls auf einem versiegelten löslichen Kern mit löslicher Kernstruktur (entwickelt und bereitgestellt von den Projektpartnern AHD und DLR) in Flechttechnologie realisiert. Die Infiltration in einem eigenbeheizten Werkzeug der Firma Q-Point (UA AH) wurde dann zusammen bei AH durchgeführt und das Bauteil bewertet. Bei der Fertigung der Bauteile wurden die bereits vorher abgeschätzten Fertigungszeiten überprüft, übertragen und gegebenenfalls angepasst. Die Daten wurden auf die verschiedenen Fertigungsszenarien übertragen und dann AH für ihre Bewertung bereitgestellt.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Im Projekt KoPRa wurde folgender wissenschaftlicher und technischer Stand erreicht:

- Mehrere Kernfüllwerkstoff und Stützstrukturen wurden entwickelt und erprobt.
- Mehrere Versiegelungen von Kernwerkstoffen wurden entwickelt und erprobt.
- Die Kernsysteme der Projektpartner wurden für die Herstellung der Demonstratoren in der Preform-Infiltrationstechnik eingesetzt.
- Die Flecht- und FPP-Technologien wurden für die Hohlbauweise von Kabinengerüststrukturelementen angepasst und optimiert.

- Die tatsächlichen Kräfte die beim Flechten auf einen Kern wirken wurden ermittelt und Entlastungskonzepte abgeleitet.
- Die Infusion der geflochtenen Preform des generischen Bauteils konnte im Infiltrationswerkzeug durchgeführt werden.
- Eine theoretische Betrachtung einer Preform-Fertigungsprozesskette mit einer One-shot-Infiltrationsstrategie für Leichtbaurahmenstrukturen wurde erarbeitet.
- Das Automatisierungspotenzial für die Flecht- und FPP-Szenarien wurde mit ihren entsprechenden RC und NRC Kosten in verschiedenen Stufen aufgezeigt.
- Zwei repräsentative Demonstratoren zur Abbildung einer Hubschrauberrahmenstruktur wurden abgeleitet und in Preformbauweise an Baustudien umgesetzt, infiltriert und bewertet.
- Es konnten Demonstratoren mit verschiedenen Kernsystemen (Füllstoff, Versiegelung und Stützstruktur) hergestellt und qualitativ bewertet werden.
- Das Validierungsbauteil mit seiner Kernfügung und dem Schäftungsübergang wurde umgesetzt.
- Verschiedene Konzepte zur Anwendung der Preform-Kernbauweise von Hohlstrukturen für Hubschrauberstrukturen wurden wirtschaftlich untersucht.

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Airbus Helicopters Deutschland

Airbus Helicopters ist ein Geschäftsbereich der Airbus Group. AGI ist eine konzernübergreifende Forschungseinrichtung und führt bzw. unterstützt die verschiedenen Geschäftsbereiche bei der Durchführung von Forschungsprojekten und stellt zugleich eine übergreifende Technologieentwicklung und die Verbreitung der Ergebnisse der verschiedenen Forschungsschwerpunkte zwischen den unterschiedlichen Bereichen der Airbus Group sicher. Im Projekt KoPRa sucht AHD nach einer kostengünstigeren und qualitativ hochwertigen Lösung zur Fertigung der Kabinenstruktur für die mittelschweren Hubschrauber. AHD gab im Projekt die Anforderungen an die Prozesse und das Bauteil vor. Die Zusammenarbeit fand in Form von Meetings, gemeinsamen Fertigungsversuchen und Workshops statt. Die Entwicklung der Kernsysteme und Versiegelungen wurden federführend von AHD mit den Projektpartnern und Unterauftragnehmern durchgeführt. AHD stellte die Kernsysteme mit dem Projektpartner DLR und den Unterauftragnehmern ASK Chemicals zur Verfügung. Die Werkzeuge zur Infiltration wurden von AHD und Qpoint Composites und C-Con unter Berücksichtigung der Anforderungen von AGI definiert, umgesetzt und zur Verfügung gestellt. Zusammen mit der Technischen Universität (LCC) und AHD wurden die Konzepte zur Fertigung einer Preform für das Kabinengerüst um weitere Fertigungsverfahren erweitert.

Die Konstruktion und deren Anpassung auf eine fertigungsgerechte Auslegung der Bauteile fand zusammen mit AHD statt. AHD stellt auch die Rahmenbedingungen für eine spätere Verwendung der neuen Technologien und gilt somit als Hauptverwerter der Projektergebnisse.

DLR

Das Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) besitzt einen weit reichenden Erfahrungsschatz in der Auslegung, Konstruktion und Fertigung von Bauteilen in Faserverbundbauweise sowie die Kompetenzen zur Methodenentwicklung für die oben genannte Aufgabenstellung.

Das DLR hat sich im Projekt auf die Entwicklung einer Stützstruktur zur Stabilisierung der löslichen Kerne konzentriert. Diese Stützstruktur sollte den Anforderungen der Spezifikation zur Fertigung von Hohlbauteilen mit der Preform- und Prepreg-Technologie entsprechen und die dort definierten Kräfte aufnehmen, Druckverbindungen herstellen und ein einfaches Lösen der Formwerkstoffe realisieren. Die Zusammenarbeit fand in regelmäßigen Abstimmungsrunden während der Konzeptentwicklung und der Umsetzung, sowie bei den Hardwareversuchen an realen Bauteilen statt. Die prinzipielle Funktionsweise der Stützstruktur der Kerne konnte an der generischen Struktur gezeigt werden.

6 Ergebnisse des Forschungsvorhabens KoPRa

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des Forschungsvorhabens beschrieben. Dabei wird der Schwerpunkt auf den direkt bei AGI gewonnenen Ergebnissen gelegt. Ergebnisse der Projektpartner an denen AGI durch Unterstützung und Beratung mit tätig war werden nur kurz dargestellt.

AP 1000 Kerntechnologie und Aushärtewerkzeuge

In diesem Arbeitspaket wurde eine Spezifikation für ein lösliches Kernsystem zur Fertigung von Hohlstrukturen erstellt. Diese Spezifikation beinhaltet sämtliche Anforderungen für die textilen Fertigungsprozesse, wie Oberflächenbeschaffenheit, Formstabilität, notwendige Kraft- und Momentenaufnahme. Die Anforderungen an die Druckverbindungselemente, Druck- und Vakuumdichtheit für das spätere Fügen und Injizieren der Preforms im Werkzeug sind hier ebenfalls festgehalten.

Die bei AGI untersuchten Kernwerkstoffe aus Schmelzmaterialien, Lösmaterialien und Vakuumschlauch stabilisierten Füllwerkstoffen konnten die an das Material, den Prozess und das Bauteil geforderten Anforderungen nicht erfüllen und sind somit nicht weiter betrachtet und für ungeeignet erklärt worden.

Die von den Projektpartnern entwickelten Kernsysteme konnten für die Fertigung der generischen Strukturen und des Validierungsbauteils verwendet werden. Die Oberfläche der verwendeten Materialien ist für die textilen Preformtechniken geeignet und die Preforms lassen sich darauf ablegen. Die Formwerkstoffe und die Stützstruktur können die Prozesskräfte mit einem zusätzlichen Stützsystem an der Flechtmaschine aufnehmen. Die Vakuumdichtheit der Versiegelung während der Infusion war gegeben. Die Stützstrukturen haben sich während der Aushärtung des Bauteils aufgrund Erwärmung gelöst. Somit konnte nach der Entformung der Kern ausgewaschen und die Stützstruktur einfach entfernt werden. Die Dichtigkeit der Versiegelung unter Druck war nicht immer gegeben, da an extremen Radien der Stützstruktur die Versiegelung aufgrund von Wärme und Dehnung unter Druck extrem beansprucht und undicht wurde. Hier müssen in Zukunft entsprechende Designregeln berücksichtigt werden und ein entsprechendes Augenmerk bei dem Aufbringen der Versiegelung auf eine gleichmäßige, ausreichend starke Ausführung gelegt werden.

Das Preformbestückungskonzept des Infiltrationstools hat entsprechend den Anforderungen funktioniert und es konnten diverse Strukturen im Infusionsprozess gefertigt werden. Die Anbindung des externen Drucksystems an die Kerne sorgte bei einigen Fertigungsversuchen für Leckage und kann deshalb noch nicht als prozessstabil gesehen werden.

AP 2000 Fertigungstechnik

Es wurden verschiedene Grobkonzepte für die mögliche Fertigung eines Kabinengerüsts auf Basis der Anforderungen von Airbus Helicopters erarbeitet. Diese Konzepte beinhalteten sowohl integrale wie auch differenzielle

Bauweisenansätze in der Prefom-Infiltrationsbauweise. Diese Konzepte wurden zusammen mit der Statik und der Konstruktion diskutiert und gemeinsam bewertet.

Aufgrund der Bewertung wurde ein integrales Fertigungskonzept bestehend aus Verbindungsstreben und Knotenelementen favorisiert. Dieses favorisierte Konzept wurde detailliert und diverse notwendige Fertigungsversuche abgeleitet. Ebenfalls wurden verschiedene Prozesskettenvarianten erarbeitet und aufgezeigt. Diese Fertigungsprozessketten zeigen Möglichkeiten einer Vollautomation, einer Teil-Automation und einer sequentiellen Automation mit ihrem entsprechenden Investitionsbedarf und zu erwartenden Fertigungskosten auf. Mit dem Ergebnis der Fertigungsversuche wurden diese Konzepte validiert oder entsprechend angepasst.

Für das favorisierte Konzept ist die Umsetzung einer Schäftung von den Knotenelementen, gefertigt in der FPP-Technologie, zu den Verbindungsstreben in Flechttechnik notwendig. Mit entsprechenden Fertigungsversuchen und einem Probenprogramm konnte eine statisch ausreichende und dennoch wirtschaftliche Lösung gezeigt werden. Diese Lösung sieht vor die geflochtenen Streben nach jeder geflochtenen Lage, entsprechend ihrer benötigten Länge für die Schäftung abzulängen. Beim FPP wird eine kontinuierliche Rampe mit der typischen FPP-Patch-Geometrie realisiert, welche später einfach auf die Schäftung der geflochtenen Verbindungsstrebe aufgeschoben wird.

Beim Flechten der generischen Bauteile wurde gezeigt, dass die als Herausforderung definierte und auch realisierte steile Rampe mit der Flechttechnologie realisiert werden kann. Die Prozessparameter beim Flechtprozess konnten durch eine entsprechend lange Vorschubpause im Förderprozess des Kernes so angepasst werden, dass eine gleichmäßige Bedeckung mit dem zuvor errechneten Faserwinkel erreicht werden kann. Die berechneten und für die Konstruktion und Statik wichtigen Faserorientierungen und Lagendicken konnten realisiert und mit dem GOM Messsystem qualitätsgesichert vermessen werden. Die Schäftungen konnten, wie schon erwähnt, in einem einfachen Schneidprozess direkt zugeschnitten werden. Die Oberfläche des Kernsystems hat eine ausreichend haftende Oberfläche um eine gute Erstlagenqualität zu realisieren. Die Berechneten und in der Spezifikation geforderten Flechtkräfte konnten bei Versuchen validiert werden. Für eine Verringerung dieser Kräfte wurde ein Entlastungskonzept entwickelt und untersucht. Dieses Konzept reduziert die auftretenden Momente am Flechkern durch pneumatische gegendrückende Entlastungselemente die den Kern unmittelbar am Flechtring führen.

Die Software und die Steuerung des FPP Prozesses wurde für die Realisierung des Knotenelements und des Validierungsbauteils so angepasst, dass nun auch geschlossene Hohlstrukturen abgelegt werden können. Der „Pick and Place“ Kopf des FPP Systems konnte durch entsprechende Modifikationen seiner Geometrie und seines flexiblen Anpressbereichs so präpariert werden, dass das Ablegen des einfachen Knotenelements, aber auch der Validierungsstruktur realisiert werden konnte. Die von der Statik definierten und von der Konstruktion umgesetzten lastgerechten, individuell gestaltbaren Faserverläufe und Lagenorientierungen konnten mit der angepassten Software und dem speziell präparierten Legkopf auf den Bauteilen realisiert werden. Auch konnte gezeigt werden, dass die Oberfläche und die Formbeständigkeit der neuen Kerne für den FPP Prozess geeignet sind.

Bei der Injektion hat sich gezeigt, dass die Kernsysteme mit ihrer Versiegelung vakuumdicht sind. Auch die Verbindung des Werkzeugs mit dem Vakuum-Druckanschluss des Kernes hat funktioniert. Somit konnte gezeigt werden dass eine

Infusion zur Fertigung der Bauteile möglich ist. Eine Injektion der Bauteile mit Druck ist hingegen aufgrund der aufgetretenen Leckage an Ecken und Kanten bei einigen Bauteilen nicht prozessstabil möglich gewesen. Auch die Verbindung des Druckanschlusses Kern zu Werkzeug hatte an einigen Bauteilen ebenfalls Leckagen. Die Qualität der Bauteile im Infusionsverfahren ist ausreichend allerdings ist hier von einem schlechteren Faservolumengehalt auszugehen.

Die Kerne lassen sich nach einer leckagefreien Infiltration auswaschen. Das Entfernen der Versiegelung ist möglich, kann aber leider nur stückweise erfolgen, was für einen möglichen Serienprozess optimiert werden muss. Die Oberfläche der inneren Bauteilstruktur hat eine gute Qualität

Somit konnten die Anforderungen aus den entwickelten Konzepten an das Flechten, die FPP Technologie, das Infiltrieren und das Entformen nachgewiesen werden. Das Ergebnis dieser Versuche ist die Basis zur Fertigung der Validierungsstruktur in AP4000.

AP 3000 Entwurf und Konstruktion

In diesem Arbeitspaket wurde von AHD mit Input von AGI das generische Bauteil konstruiert und an realen Lastfällen gespiegelt ein realer Lagenaufbau definiert. Bei diesem Bauteil, welches eine komplexe Verbindungsstrebe mit extremen Querschnittsänderungen darstellt, liegt die Herausforderung in der Flechttechnik. Dabei soll diese Rampe mit ihrer Querschnittsänderung prozessstabil gleichmäßig zu beflechten sein. Das zweite Bauteil, welches von AHD konstruiert wurde war das Validierungsbauteil, welches ein komplexes Knotenelement darstellt, an welches ein Verbindungselement mit einer Schäftung angefügt wird.

Diese Bauteile wurden sowohl für die Prepreg-Technologie, wie auch für die Preform-Technologie konstruiert und ausgelegt um einen direkten Vergleich gewährleisten zu können.

Für die Konstruktion und Auslegung bei AH wurden die Randbedingungen und Abhängigkeiten der Fertigungsprozesse bezüglich Flächengewicht, Lagenorientierung und kostengünstigen stabilen Fertigungsprozessen dem Engineering bei AHD aufgezeigt. Mit diesem Wissen wurden bei AHD weitere Bauteile gescreent, welche ebenfalls für diese Fertigungstechnologien in Frage kommen. Diese Bauteile sind zusammen diskutiert und ihre wirtschaftliche Fertigbarkeit grob abgeschätzt worden.

AP 4000 Prototypische Applikation und Validierung

Die Fertigung des Validierungsbauteils erfolgte mit den Kenntnissen aus den Fertigungsversuchen in AP2000 und nach den Vorgaben der Konstruktion und Statik aus AP3000. Dabei konnten die textilen Fertigungsverfahren wie geplant zur Fertigung der einzelnen Elemente eingesetzt werden. Das Knotenelement wurde auf einem versiegelten, löslichen Kernsystem mit der FPP Technologie gefertigt. Die Verbindungsstrebe mit ihrer Gegenschäftung wurde ebenfalls auf einem dieser Kernsysteme mit der Flechttechnologie realisiert. Das Fügen der beiden Preforms mit

ihren Schäftungen konnte gezeigt werden. Allerdings konnte zwischen den beiden gefügten Kernen keine druck- und vakuumdichte Verbindung im Injektionswerkzeug realisiert werden. Des Weiteren hat das eigenbeheizte CFK-Aushärtewerkzeug, welches von AHD bereitgestellt wurde, aufgrund seiner ungleichmäßigen Temperaturverteilung und diversen Undichtigkeiten zu einer unbefriedigenden Bauteilqualität geführt.

7 Nutzen und Verwertbarkeit

Die in diesem Projekt durchgeführten Arbeiten haben gezeigt, dass eine prinzipielle Fertigbarkeit der Hubschrauber-Kabinenstruktur in Preform-Infiltrationstechnologie unter den definierten Anforderungen möglich ist. Die Preformtechnologien FPP und Flechten konnten ihre Potenziale in der Fertigung zeigen. Die von den Projektpartnern entwickelten Kernsysteme mit ihren Versiegelungen und Stützstrukturen haben gezeigt dass sie mit den Preformfertigungsverfahren gut zusammen funktionieren. Um die Versiegelung prozessstabil dicht zu bekommen müssen verschiedene Designregeln bei der Auslegung der Kerngeometrien berücksichtigt werden. Die Infiltration in einem dichten konturgenauen Stahlwerkzeug konnte ebenfalls gezeigt werden.

Die gesammelten Erkenntnisse in der Flecht- und FPP Technologie in Kombination mit löslichen Kernen für Hohlstrukturen können bei der Auslegung von zukünftigen Luftfahrtstrukturen verwendet werden. Somit kann auf die bei diesen Technologien generierten Ergebnissen bei der Fertigung und Auslegung von Hubschrauberstrukturen in zukünftigen Projekten innerhalb der Airbus Group zurückgegriffen werden. Die Modifikationen in Soft- und Hardware stehen weiteren FPP Projekten direkt zur Verfügung.

Aufgrund der gesammelten Erfahrung gehen die Fertigbarkeit einer zukünftigen Kabinenstruktur in dieser Technologie (Preform-Infiltrationstechnologie mit bedruckten löslichen Kernen) über den Bereich der erreichten technologischen Reife in diesem Projekt hinaus, weshalb zum aktuellen Zeitpunkt eine direkte Anwendung bei dem Projektpartner und Hauptverwerter AHD schwer vorstellbar ist. Die in diesem Projekt erlangten Kenntnisse stellen aber sicherlich eine gute Basis für die Entwicklung von weniger komplexen Hohlstrukturen in der Luftfahrt dar.

8 Fortschritte bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Projektes KoPRa gab es in keinen anderen Institutionen bekannte Bestrebungen zu den im Projekt behandelten Themen.

9 Veröffentlichungen

Innerhalb des Projektes sind seitens AGI keine Patentanmeldungen durchgeführt worden.