

Entwicklung einer Bauweise und Fertigungskette für eine  
thermoplastische Boxstruktur  
Kurztitel: „TP Closed Box“  
BMW/-PT-Aktenzeichen: 20W1104A (LUFOIV4-249-095)

**Teilvorhaben**  
**Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH**

im Rahmen der Ausschreibung LUFO IV - 4. Call

**Abschlußbericht**

Dr. Michael Schöler

Projektleiter Siempelkamp

Krefeld, den 08.12.2016

**Direkte Projektpartner:**

AIRBUS Operations GmbH, Werk Bremen

Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

Technische Universität Carolo Wilhelmina zu Braunschweig,

Institut für Füge- und Schweißtechnik (IFS)

xperion AEROSPACE GmbH, Immenstaad

## Gesamtziele des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist die Prozesskettenentwicklung zur Herstellung einer thermoplastischen Boxstruktur. Nach Analyse möglicher Prozessketten hinsichtlich Fertigungsdauer, -kosten und Machbarkeit wird ein Industrialisierungskonzept für die ausgewählte Prozessvariante erstellt. Diese Untersuchungen dienen als Basis für eine Prototypenfertigung. Im Rahmen des Projekts soll ebenfalls der Umformprozess thermoplastischer Halbzeuge und die Industrialisierung des Schweißvorgang realisiert werden.

Die Aufheizung der Bauteile wird so konstruiert, dass die einzelnen Halbzeuge innerhalb kürzester Zeit homogen auf eine definierte Temperatur zwischen 300 – 400°C mit einer Genauigkeit von  $\pm 5^\circ\text{C}$  aufgeheizt und automatisiert entnommen werden können. Umfangreiche statistische Untersuchungen an den verschiedenen Bauteilgeometrien und Lagenstärken sind notwendig, um zum einen die Homogenität der Aufheizung sicherzustellen und im Bauteil nachzuweisen. Zum anderen ist dabei eine einfache und schnelle Entnahme der Textilien ohne zu große Temperaturverluste zu berücksichtigen.

Die Beherrschung des Gesamtprozesses durch gezieltes Einlegen des Faserhalbzeugs in das Werkzeug und die Regelbarkeit des Umformprozesses ist ein weiterer Schwerpunkt des Vorhabens. Dazu wird in enger Zusammenarbeit mit dem FIBRE ein Thermoformwerkzeug konzipiert und ausgelegt, dass es ermöglicht, lokal unterschiedliche Temperaturen zu erreichen, die die Umformeigenschaften und damit die Bauteilqualität des Halbzeugs in Abhängigkeit von Geometrie und Lagenstärke beeinflussen. Dieses neue Werkzeugkonzept ermöglicht es, Einfluss auf unerwünschte Spring-In/-Back Effekte zu nehmen bzw. zu vermeiden und des Weiteren gezielte Spring-In/-Back Effekte durch gezielte Temperaturführungen im Werkzeug an vorher definierten Stellen hervorzurufen.

Die Variation der Prozessparameter Temperatur, Temperaturverteilung, Presszeit und Pressdruck führt nach der statistischen Auswertung zu einem Konzept zur Vermeidung von Bauteilfehlern. Zum Abschluss wird ein Konzept für eine Gesamtprozessbetrachtung im Thermoformen entwickelt, so dass der Gesamtprozess bis zu einem industriell einsetzbaren Verfahren für die Serienfertigung von hochwertigen CFK Großbauteilen für die Luftfahrt ausgelegt werden kann

## **Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Vorhabens**

Der große Vorteil der basierten Vielholmerbauweise liegt darin, dass es aller Voraussicht nach mit dem entwickelten Fertigungsverfahren möglich ist, einen geschlossenen Boxstrukturkasten in zwei Fertigungsschritten herzustellen. Das heißt im ersten Schritt erfolgt die Fertigung der Deckhäute mit lokalen Aufdickungen und als zweiter Arbeitsschritt erfolgt die Integration der Rippen mittels der entwickelten Füge-technologie am IFS. Damit werden die vielen Prozessschritte der Einzelteilherstellung von Beplankungen, Rippen und Holmen sowie deren aufwendige Vernietung (inkl. Dichten/Shimen, Positionieren und weiterer Zwischenschritte) erheblich reduziert, weil das Bauteil als ein Integralbauteil hergestellt wird.

Durch die geplante Entwicklung von Systembauteilen auf Plattform des Thermoformens wird eine kosteneffiziente Umsetzung von faserverstärkten Strukturbauteilen zur Erhöhung der Umweltverträglichkeit bei niedrigem Bauteilgewicht erreicht. Die sehr gute Reproduzierbarkeit und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens durch hohe Materialeffizienz und geringen Ausschuss ist darüber hinaus ein wesentlicher Grund für den Einsatz der Thermoformtechnologie.

### Es werden darüber hinaus folgende Arbeitsziele verfolgt:

Innerhalb des „TP Closed Box“ Projekts sollen die manuellen Einzelschritte (Thermoformen, Füge-technologie und Qualitätssicherung) zur Herstellung einer Boxstruktur in einem durchlaufenden Prozess integriert werden. Dies erhöht den Automatisierungsgrad – die Herstellungskosten sinken und der Durchsatz wird erhöht. Zum Erreichen des Ziels, sind Problemstellungen auf den einzelnen Gebieten zu lösen und zu bearbeiten:

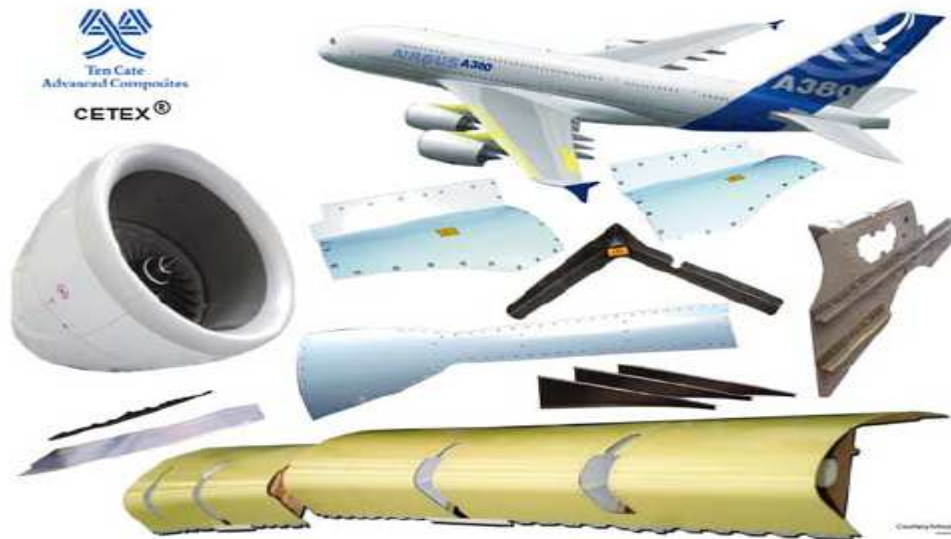
Ziel der **Simulation** der im Projekt untersuchten Fertigungsverfahren mittels einer „**Fabrik-simulation**“ ist es, die verschiedenen Fertigungsansätze für das konkrete Bauteil in einem virtuellen Gesamtproduktionsprozess so miteinander zu verketten und zu modellieren, dass die Wechselwirkungen zwischen Bauweise und Fertigung erkannt werden und daraus Aussagen über die Potenziale und Wirtschaftlichkeit der Verfahren für eine später vorgesehene Serienanwendung zu gewinnen.

Die frühzeitige Untersuchung der Verfahren mittels der Simulation - parallel zur Phase der Produkt- und Prozessentwicklung im Sinne eines „Simultaneous

Engineering“ - dient der Verfahrensauswahl, Auswahl der Betriebsmittel bis ggf. zu Konstruktionsanpassungen, um konstruktionsbedingte Fertigungsprobleme frühzeitig zu erkennen und zu beseitigen. Die Bewertung der unterschiedlichen Fertigungskonzepte soll am CTC in Stade erfolgen. Unter Einbeziehung von Planungsprämissen werden mit Kenntnis der neuen Bauweise, der Teilprozesse und ihren Randbedingungen die Ressourcen der Verfahren ermittelt. Der Zeitbedarf einzelner Prozessschritte wird aus den theoretischen und praktischen Analysen an den Versuchsanlagen ermittelt, ebenso der Bedarf an Mitarbeitern. Nach der Modellierung und Verkettung der Teilprozessschritte im Simulationsmodell können nach Eingabe der Daten die einzelnen Fertigungskonzepte optimiert werden. Mit Hilfe von z. B. Investitionskosten, Produktionsflächen, Bedarf an Arbeitskräften, Fertigungskadenzen etc. bietet die erarbeitete Prozesskette eine gute Grundlage für die Abschätzung von Prozesskosten und erlaubt eine schnelle Umsetzung der Projektergebnisse in eine Serienfertigung nach Ende des Projekts .

## **Stand der Wissenschaft und Technik**

Moderne CFK Bauteilstrukturen werden erst durch neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Composite-Werkstoffe und der Fertigungstechnik möglich und erlauben nun eine grundlegende Modernisierung des Fertigungsprozesses. Dadurch wird sowohl die Effizienz der Fertigung entscheidend gesteigert als auch eine Gewichtsreduzierung der Bauteile erreicht. Qualifizierte Thermoplastmatrizes für Anwendungen im Flugzeugbau bei Airbus und Boeing sind folgende Hochleistungsthermoplaste: Polyphenylensulfid (PPS), Polyetherimid (PEI) und Polyetheretherketon (PEEK). Für Struktur-, Verkleidungs- und Innenraumbauteile im Flugzeugbau kommen aufgrund der hohen Einsatz- und Schmelztemperaturen sowie der guten Chemikalienbeständigkeit hauptsächlich die genannten Hochleistungsthermoplaste in Frage. Thermoplastische Faserverbundbauteile werden in zahlreichen Anwendungen im Flugzeugbau eingesetzt, z.B. die Flügelnasenvorderkante („J-Nose“), Keel Beam (A340-600, A380) allerdings noch in sehr geringen Stückzahlen. Das größte derzeit verbaute Cetex<sup>®</sup> Bauteil ist die Innenverkleidung der Airbus A380 Flugzeugturbine (Abb. 2.1).



**Abbildung1: CFK/GFK Flugzeugbauteile Airbus A380  
[Quelle: TenCate Advanced Composites b.v., NL]**

Heutigen CFK Boxstruktur, z. B. eine innere Landeklappe bestehen aus vielen Einzelteilen, welche von verschiedenen Zulieferern mittels konventioneller, überwiegend aufwendiger Prepreg Technik gefertigt werden. Diese (zugekauften) Einzelteile werden dann mit einem hohen manuellen Aufwand zu einem hochpräzisen Strukturbauteil - der fertigen Boxstruktur - montiert. Vor allem die vielen manuellen Prozessschritte bei der Montage (wie etwa die Bohr- und Nietvorgänge, das Auftragen von Schim bzw. Dichtmittel etc.) aber auch die Einzelteulfertigung bei den Zulieferbetrieben selbst machen einen Großteil der Herstellkosten der bisherigen Boxstrukturen aus.

Die sogenannte Vielholmer-Bauweise ist eine hochintegrale Struktur in der die Beplankungen, die inneren Versteifungselemente (hier: Holme) sowie zusätzlich u. U. auch die Nasenkappe als ein Bauteil hergestellt werden, wodurch sich in hohem Maße Fertigungskosten und auch Gewicht einsparen lassen. Der Zukauf von verschiedensten Einzelteilen, ihre Fügeprozessschritte mit den erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen und die Aufgaben, die sich aus dem Ausgleich der Toleranzen ergeben, werden drastisch reduziert. Nur wenige Bauelemente wie die Lastenleitungsrippen oder eine austauschbare Endkante werden auch weiterhin als separate Bauteile an diesen Kasten montiert.

**Tabelle 1 : Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans**

**Projektplan:**

Teil- projekt (TP)	Arbeits- paket (AP)	Technischer Titel des Arbeitspaketes	2012		2013				2014				2015
			Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1
<b>A1</b>		<b>Design und Auslegung</b>											
	1.3	Strukturoptimierung infolge der Prozesskettenoptimierung											
<b>B2</b>		<b>Prozesskettenentwicklung Serienfertigung</b>											
	2.1	Entwicklung alternativer Prozessketten zur Herstellung der Struktur											
	2.2	Bewertung der Fertigungsalternativen hinsichtlich der Prozesskosten, -stabilität und -dauer											
	2.3	Industrialisierung der Prozessschritte zur Herstellung der Landeklappe											
	2.4	Parameterstudie und Sensitivitätsanalyse durch eine Prozesskettensimulation											
	2.5	Prototypenfertigung im Maßstab 1:1 als Basis zur Prozesskettendetaillierung											
<b>C3</b>		<b>Entwicklung Umformprozess</b>											
	3.1	Entwicklung Umformprozess und temperierte Auslegung Thermoformwerkzeug											
	3.2	Couponversuche mit definierten Laminatsprüngen											
	3.3	Entwicklung der Prozessablaufgestaltung											
	3.4	Design und Fertigung erforderlicher Formwerkzeuge											
	3.5	Umformversuche im Maßstab 1:1											
<b>F6</b>		<b>Experimenteller Nachweis der Funktion der Teilprozesse</b>											
	6.1	Experimenteller Nachweis der Funktion der Teilprozesse											

## **Arbeitsplan und Meilensteine**

### ***AP A1.3: Struktur- und Prozessoptimierung zur Verarbeitung der textilen Faserhalbzeuge***

Partner im Projekt: AIRBUS, Faserinstitut Bremen e.V., Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, CTC GmbH (im Unterauftrag)

In diesem Arbeitspaket wird das Fertigungskonzept in enger Kooperation der aufgeführten Projektpartner für die ausgewählten Strukturen entwickelt.

### ***AP B2: Prozesskettenentwicklung Serienfertigung***

Um eine wirtschaftliche Fertigung einer thermoplastischen Boxstruktur zu erreichen, müssen die Technologien aus den Teilprojekten zu einem industriellen Gesamt-Prozess zusammengeführt und in eine Fertigungskette integriert werden. Hierzu sind verschiedene Arbeitspakete nötig:

#### ***AP B2.1: Entwicklung alternativer Prozessketten zur Herstellung der Struktur***

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, CTC GmbH (im Unterauftrag)

Zur Herstellung einer Boxstruktur aus faserverstärktem Thermoplast bieten sich verschiedene Fertigungsalternative an. Im Rahmen dieser Arbeiten sollen die Fertigungsoptionen entwickelt werden. Schwerpunkt bei der Erarbeitung der Optionen ist die Serientauglichkeit der gewählten Verfahren. Für Bauteile mit hohem Durchsatz sind robuste Prozesse mit hoher Fehlertoleranz, die schnelle Taktzeiten ermöglichen. Handling- und Rüstzeiten bilden erfahrungsgemäß einen nicht unerheblichen Teil an der Prozesszeit. Aus diesem Grund werden nicht nur die Prozesszeiten an sich, sondern auch die vorbereitenden Schritte für die Betrachtungen berücksichtigt.

Aufgaben:

- Entwicklung unterschiedlicher Fertigungsalternativen zur Herstellung der Struktur

Ergebnisse:

- Unterschiedliche Fertigungsoptionen

***AP B2.2: Bewertung der Fertigungsalternativen hinsichtlich Prozesskosten, -stabilität und –dauer***

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, CTC GmbH (im Unterauftrag), Xperion Aerospace

Um von den Fertigungsalternativen zu einer optimalen Prozesskette zur Herstellung der Boxstruktur zu kommen, müssen die Fertigungsalternativen gegeneinander bewertet werden. Kriterien hierbei sind Prozesskosten und –dauer, aber auch die Stabilität der Einzelprozesse und das Zusammenspiel im Gesamtprozess. Für die Bewertung werden nicht nur die Einzelschritte betrachtet, sondern das Zusammenspiel im Gesamtprozess.

Aufgaben:

- Ermitteln der Prozessdauer für die Fertigungsalternativen

Zu den einzelnen Schritten der Fertigungsalternativen werden die Prozesszeiten und der Ressourcenbedarf festgelegt. Grundlage hierfür sind die Ergebnisse aus den Technologie-Entwicklungen. Zu den Schritten, die sich aus den Umform- und



Schweißtechnologien entwickeln, werden die „Verknüpfungen“ und die Möglichkeiten zur Parallelisierung von Prozessen analysiert.

- Bewertung der Prozessschritte im Hinblick auf die Prozessstabilität

Mit Hilfe der entwickelten Technologien und den daraus resultierenden Erkenntnissen können Rückschlüsse auf die Stabilität der Prozesse gezogen werden. Diese Analyse ist eine wichtige Basis zur Bewertung unterschiedlicher Prozessalternativen.

- Ermitteln der Prozesskosten für die Fertigungsalternativen

Auf Basis der Prozesszeiten und in enger Zusammenarbeit mit der Firma Xperion werden Prozesskosten für die Fertigungsalternativen ermittelt. Neben den reinen Fertigungszeiten und dem Ressourcenbedarf spielen der Platzbedarf und Faktoren wie z.B. benötigte Klimatisierung eine Rolle.

- Bewertung der Fertigungsalternativen und Auswahl einer geeigneten Struktur

Auf Basis der drei genannten Untersuchungen wird die optimale Fertigungsalternative zum Bau der Komponente ermittelt. Diese bildet die Grundlage für die Industrialisierung und die spätere Serienfertigung

#### Ergebnisse:

- Prozesszeiten für die Fertigungsalternativen
- Bewertung der Prozessstabilität
- Prozesskosten für die Fertigungsalternativen
- Prozesskette zur Herstellung der Struktur

### ***AP B2.3: Industrialisierung der Prozessschritte zur Herstellung der Boxstruktur***

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, CTC GmbH (im Unterauftrag)

Mit Hilfe der ausgewählten Prozessalternative und den Ergebnisse aus den Arbeitspaketen wird eine Gesamt-Prozesskette (inklusive aller Zwischenschritte und Materialfluss) entwickelt. Diese bildet die Basis für eine spätere Serienfertigung.

#### Aufgaben:

- Detaillierung der ausgewählten Prozessalternative

Die ausgewählte Alternative zur Herstellung der thermoplastischen Boxstruktur wird weiter detailliert und das Zusammenspiel der Prozessschritte weiter untersucht. Die detaillierte Prozesskette bildet die Basis für die Industrialisierung.

- Untersuchung zur Industrialisierung für einzelne Prozessschritte

Die einzelnen Prozessschritte werden hinsichtlich ihres Industrialisierungspotenzials untersucht. Wichtiger Input für die Untersuchung sind die Ergebnisse aus den Technologie-Entwicklungen, aber auch die verknüpfenden Prozesse werden analysiert.

- Entwicklung eines Industrialisierungskonzeptes für den Gesamtprozess

Auf Basis der industriellen Prozessschritte wird ein Gesamt-Konzept für eine Serienfertigung der Boxstruktur entwickelt. Hierzu zählen insbesondere die Ablaufplanung, Transport- und Bereitstellungsschritte, sowie Reinigung und die Qualitätssicherung.

#### Ergebnisse:

- Industrialisierte Prozesskette zur Herstellung einer thermoplastischen Boxstruktur

### ***AP B2.4: Parameterstudie und Sensitivitätsanalyse durch eine Prozesskettensimulation***

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, CTC GmbH (im Unterauftrag)

Die industrialisierte Prozesskette bietet Grundlage für eine Parameterstudie und Sensitivitätsanalyse. Mit Hilfe der Prozesskettensimulation und der Betrachtung des Prozessablaufs werden die relevanten Parameter für die Fertigung entwickelt. Daran anschließend wird die Auswirkung der Parameter mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Die Untersuchungen schaffen ein tiefgehendes Verständnis des Fertigungsprozesses und ermöglichen Optimierungen hinsichtlich einer späteren Serienfertigung.

#### Aufgaben:

- Ermitteln relevanter Prozessparameter

Durch die Betrachtung des Gesamtprozesses mit Hilfe digitaler Fabrikplanung können relevante Parameter, die sich auf die Fertigung der Boxstruktur auswirken, ermittelt werden.

- Analyse des Einflusses der relevanten Prozessparameter mit Hilfe einer Prozesskettensimulation

Nach Ermitteln der relevanten Parameter wird der Einfluss auf den Fertigungsprozess detailliert untersucht.

#### Ergebnisse:

- Relevante Produktionsparameter
- Einfluss der Produktionsparameter auf die Prozesskette

### ***AP B2.5: Prototypenfertigung im Maßstab 1:1 als Basis zur Prozesskettendetaillierung***

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Xperion Aerospace CTC GmbH (im Unterauftrag)

Um die technische Machbarkeit der untersuchten Technologien zu untersuchen und die Daten der Prozessanalyse zu verfeinern und zu validieren, ist ein Demonstratorbauteil im Originalmaßstab geplant. Anhand des Prototypen kann die komplette Prozesskette – von der Materialzuführung bis zur Qualitätssicherung – validiert werden. Die Erkenntnisse aus der Fertigung liefern die benötigten Daten zur Verfeinerung der Prozessuntersuchungen: sowohl die Fertigungszeiten, als auch die Prozesskosten können überprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

#### Aufgaben:

- Herstellen der Einzelteile der Struktur

Um die technische Machbarkeit der Umformung zu zeigen, werden die Einzelteile einer Boxstruktur im Originalmaßstab hergestellt. Hiermit wird nicht nur die Anwendung im industriellen Umfeld nachgewiesen, die Ergebnisse liefert auch wertvolle Erkenntnisse für die Planung des industriellen Fertigungskonzeptes.

- Fügen der Einzelteile

Dieser Schritt dient zum Nachweis der Fügetechnologie und wird hauptsächlich von Xperion Aerospace als Anwender durchgeführt. Mit Hilfe der Fertigung im Originalmaßstab kann die Technologie validiert und die Prozesskette weiter detailliert werden.

- Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung weist nicht nur den Erfolg der Einzelteilerfertigung und des Fügens nach, hier wird auch der Schritt Qualitätssicherung an sich betrachtet und auf die Funktionalität im industriellen Umfeld überprüft. Zudem liefern die Erkenntnisse wertvolle Hinweise für eine Prozesskettendetaillierung.

- Analyse der Fertigung hinsichtlich Prozesszeiten, Ressourcenbedarf, Robustheit und allgemeine technische Machbarkeit

Zusammengefasst fließen die Ergebnisse aus der Prototypenfertigung in die Prozesskette und das Industrialisierungskonzept ein. Auch neuere Erkenntnisse hinsichtlich technischer Fragestellungen (Prozessrobustheit, Umsetzung) werden betrachtet und führen zu einer Optimierung des industriellen Serienfertigungskonzeptes.

#### Ergebnisse:

- Validierung der Umformtechnik
- Validierung der Fügetechnik
- Validierung der Qualitätssicherungs-Maßnahmen
- Überprüfen und Verfeinern der Prozesszeiten und –kosten

#### ***AP C3: Entwicklung Umformprozess***

In diesem Arbeitspaket soll der Umformprozess zur Herstellung der Einzelteile der thermoplastischen Boxstruktur entwickelt werden. Hierzu zählt der Umformprozess an sich, aber auch die Auslegung der Werkzeuge. Um das Ziel zu erreichen, sind mehrere Aufgaben zu bearbeiten.

### **AP C3.1: • Entwicklung des Umformprozesses und die temperierte Auslegung des Thermoformwerkzeuges**

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

Das Umformen von so genannten Organoblechen zu den Einzelteilen der thermoplastischen Boxstruktur ist ein essenzieller Beitrag zur erfolgreichen Umsetzung des Projekts . Hierfür muss zunächst über einen geeigneten Umformprozess ermittelt werden. Vorversuche klären Temperatur

und -verteilung, Druck und -verteilung, sowie Haltezeiten und spezifische Werkzeugfragen (wie z. B. die Fixierung). Aus diesen Vorversuchen werden die Prozessparameter abgeleitet, die Eingangsgröße für die Auslegung des Thermoformwerkzeuges sind. Mit Hilfe der Analysen aus der Verzugssimulation und den ermittelten Parametern wird das Konzept für ein geeignetes Thermoformwerkzeug entwickelt.

#### Aufgaben:

- Vorversuche zur Ermittlung der Prozessparameter: Druck, Temperatur  
Um eine optimales Umformverhalten zu generieren, müssen Bauteil und Umformprozess aufeinander abgestimmt werden. Die Vorversuche im kleinen Maßstab und an ebenen Platten klären den benötigten Druck und die Temperatur für eine optimale Verarbeitung des Materials. Bei den Betrachtungen steht eine kurze Zykluszeit bei exzellenter Bauteilqualität im Vordergrund. Mit Hilfe der Ergebnisse aus den Vorversuchen kann eine Auslegung des Thermoformwerkzeuges erfolgen.
- Vorversuche zum Klären spezifischer Werkzeugfragen  
Nicht nur die Druck und Temperatur spielen eine wichtige Rolle bei der Auswahl des geeigneten Umformprozesses, auch spezifische Werkzeugfragen müssen gelöst werden. Hierzu zählen zum Beispiel die Fixierung beim Umformen, die Entformungsmöglichkeiten und das Dichtungskonzept.

- Temperierungskonzept für ein Thermoformwerkzeug

Auf Basis der Vorversuche wird ein Thermoformwerkzeug entwickelt. Neben dem Druck- und Temperaturprofil sind auch die spezifischen Werkzeugfragen geklärt. Auf Basis des Temperaturprofils kann ein geeignetes Konzept zur Temperierung eines Werkzeuges entwickelt werden.

#### Ergebnisse:

- Konzept für einen Umformprozess mit Auswahl geeigneter Prozessparameter
- Temperierungskonzept für das Thermoformwerkzeug

#### **AP C3.2: • Couponversuche mit definierten Laminatsprüngen**

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

Um die Bauteileigenschaften beim Umformprozess und die Anforderungen an ein Werkzeug zu detaillieren, müssen die kritischen Bauteilgeometrien berücksichtigt werden. Eine Boxstruktur weist große Dickensprünge auf, die aus Erfahrung zu Problemen beim Umformprozess führen können. Aus diesem Grund werden Couponversuche mit Laminatsprüngen definiert, die den Einfluss der Bauteilgeometrie auf Umformung und Thermoformwerkzeug aufzeigen.

#### Aufgaben:

- Untersuchung der Bauteilgeometrie auf kritische Stellen bezüglich des Umformprozesses

Auf Grundlage der Bauteilgeometrie und mit den Erkenntnissen aus den Vorversuchen zum Umformprozess werden kritische Stellen des Bauteils für den Umformprozess identifiziert.

- Definition von Couponversuchen (mit definierten Laminatsprüngen)

Die Erfahrung zeigt, dass Dickensprünge im Laminat großen Einfluss auf die Umformung haben und eine Herausforderung für die Werkzeugtemperierung darstellen. Aus diesem Grund werden – neben sonstiger kritischer Bauteilelemente – Couponversuche definiert, um die Auswirkung von Laminatsprüngen zu untersuchen.

- Durchführen der Couponversuche und Bewertung der Ergebnisse im AP 5.1 [Fibre]

Die Couponversuche zum Umformen werden am Faserinstitut Bremen durchgeführt und die Ergebnisse im AP5.1 bewertet. Die Erkenntnisse fließen direkt in die Spezifikation des Umformprozesses und der Werkzeugauslegung ein.

#### Ergebnisse:

- Identifikation kritischer Bauteilgeometrien für den Umformprozess
- Auswirkung von Laminatdickensprüngen auf Umformprozess und Werkzeugauslegung

#### **AP C3.3: • Entwicklung der Prozessablaufgestaltung**

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH, Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

Um den Umformprozess zu realisieren, wird in diesem Arbeitspaket der Prozessschritt „Umformen“ anhand einer Versuchsanlage realisiert. Hierzu zählt die Auslegung eines geeigneten Thermoformwerkzeuges und die Konstruktion von Fertigungseinrichtungen. Die Punkte Materialzufuhr und -handling, Vorwärmen und Umformen sind genauso wichtig für den Prozessablauf wie die Anlagensteuerung.



### Aufgaben:

- Auslegung und Konstruktion eines Thermoformwerkzeuges

Auf Basis der ermittelten Prozessparameter und des Umformprozesses, sowie der Simulation des Thermoformwerkzeuges in der Umgebung „Presse“ kann ein geeignetes Thermoformwerkzeug ausgelegt und konstruiert werden. Dies wird das Faserinstitut Bremen übernehmen.

- Konstruktion und Fertigung einer Anlage für den Umformprozess

Der Prozessschritt „Umformen“ wird mit Hilfe einer Versuchsanlage nachgewiesen. Hierzu müssen Lösungen für das Einlegen der Halbzeuge in das Werkzeug, das Vorwärmen, der Transfer in die Presse und das Entformen gefunden werden. Auf Basis der Konstruktion wird eine Versuchsanlage aufgebaut, die die wichtigen Punkte des Umformprozesses abbildet.

### Ergebnisse:

- Konstruktion eines Thermoformwerkzeuges [Fibre]
- Fertigung eines Thermoformwerkzeuges
- Detaillierter Umformprozess
- Entwicklung und Aufbau einer Versuchsanlage

### **AP C3.4: Design und Fertigung erforderlicher Formwerkzeuge**

Partner im Projekt: Faserinstitut Bremen e.V. (FIBRE)

Im AP C3.4 erfolgt die Detailkonstruktion der Werkzeuge des im vorherigen Arbeitspaketes erarbeiteten Konzepte. Dabei müssen sowohl die anlagenseitig bestehenden Geometriebedingungen berücksichtigt als auch die notwendigen Relativbewegungen der

Werkzeuge zueinander ermöglicht werden. Des Weiteren muss das erarbeitete Konzept des Handlingsystems umgesetzt werden, um schließlich den Transport der textilen Zuschnitte zu gewährleisten.

Aufgaben:

- Detailkonstruktion des Bauteils, der Umformwerkzeuge sowie des Handlingsystems
- Fertigung der Umformwerkzeuge
- Anpassung / Umbau des Handlingsystems

**AP C3.5: • Umformversuche im Maßstab 1:1**

Partner im Projekt: Siempelkamp Maschinen- und Anlagenbau GmbH

Um den Umformprozess zu realisieren, wird in diesem Arbeitspaket der Prozessschritt „Umformen“ anhand einer Versuchsanlage realisiert. Hierzu zählt die Auslegung eines geeigneten Thermoformwerkzeuges und die Konstruktion von Fertigungseinrichtungen. Die Punkte Materialzufuhr und -handling, Vorwärmen und Umformen sind genauso wichtig für den Prozessablauf wie die Anlagensteuerung.

Aufgaben:

- Realisierung des Umformprozesses mit Hilfe von unskalierten Versuchen

Ergebnisse:

- Experimenteller Nachweis des Umformens

## **AP F6: Experimenteller Nachweis der Funktion der Teilprozesse**

Partner im Projekt: alle

Im AP F6 wird auf Basis der Arbeiten der vorherigen Arbeitspakete die Funktionalität der automatisierten Abläufe experimentell nachgewiesen. Grundlage ist die Airbus Fertigungsvorschrift in Bezug auf die Herstellung thermoplastischer Strukturen und deren Qualitätssicherung. Die Prüfungen erfolgen abschließend an einem Demonstrator.

Ergebnis:

- Reproduzierbare Bauteilqualität mit den Teilprozessen: Handling, Thermoformen, Schweißprozess sowie Qualitätssicherung am Demonstrator.

## **Wirtschaftliche Erfolgsaussichten**

Künftige Flugzeuge und Fahrzeuge werden u.a. durch Gewichts- und Energieeinsparung mittels intelligenter Leichtbaukonstruktionen ihren Beitrag zur CO<sub>2</sub> Einsparung leisten. Die Verwendung von thermoplastischen Faserverbundbauteilen wird dabei auch eine zunehmende Rolle spielen, um diese ehrgeizige Gewichtsspezifikation zu erreichen. Nach heutigem Stand der Technik fehlt ein wirtschaftlicher, schneller und zuverlässiger, hochautomatisierter thermoplastischer Fertigungsprozess. Die automatisierte Herstellung von thermoplastischen, endlosfaserverstärkten Bauteilen im Thermoformverfahren bietet zahlreiche Vorteile auf die zunehmende Energie- und Kosteneffizienz im Rahmen einer Großserienproduktion. In diesem Zusammenhang spielen die minimal erreichbaren Zykluszeiten eine entscheidende Rolle. Das Ziel ist die Senkung der Fertigungskosten pro hergestelltem Bauteil.

Der Anteil an thermoplastischen faserverstärkten Bauteilen wird beispielsweise bei der Airbus A350 XWB massiv verstärken, insbesondere für strukturtragende Bauteile (Clips) im Flugzeugrumpf. In Planung sind derzeit ca. 1,5 Millionen thermoplastische Faserverbundbauteile pro Jahr, d. h. ca. 7000 Clips (Kleinbauteile) mit ca. 400 verschiedenen Bauteilgeometrien pro Flugzeug. Weitere thermoplastische strukturtragende Großbauteile sind bei Airbus, Eurocopter und weiteren Anbietern in Planung.

Die Durchführung des Vorhabens sichert Siempelkamp einen erheblichen Technologievorsprung und die Spezialisierung für die automatisierte Herstellung thermisch umgeformter Großbauteile. Das führt zu einer erheblichen Steigerung des Umsatzes, und zum anderen werden Arbeitsplätze in Krefeld gesichert und weiter ausgebaut. Mittel- und langfristig wird Siempelkamp in Krefeld die F&E Kapazitäten im Compositebereich weiter ausbauen, um den Technologievorsprung zu sichern. Hierdurch und durch die Vernetzung mit Forschungspartnern am Standort Deutschland wird die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Mitbewerbern gesichert.

### **Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten**

Durch die Realisierung dieses Vorhabens wird Siempelkamp in die Lage versetzt, mit den Ergebnissen ihrer Teilvorhaben am Markt einen Technologievorsprung zu gewinnen, der ihre Konkurrenzfähigkeit für die Fertigung von Luftfahrtbauteilen deutlich steigert. Siempelkamp kann die Projektergebnisse für den Ausbau des bestehenden Geschäftes im Bereich von taktenden Pressen

für die Weiterverarbeitung nutzen, da dadurch erst ein Marktzugang für die Fertigung thermoplastischer Hochleistungswerkstoffe im Bereich der Luftfahrt erzielt werden kann. Durch Weiterentwicklungen auf Basis des Projekts können zusätzlich weitere Geschäftsfelder insbesondere im Bereich Windkraft und Fahrzeugbau erschlossen werden.

Durch den hohen Automatisierungsgrad der Prozesskette ist eine kundennahe Fertigung in Ländern mit hohem Lohnniveau möglich. Eine hohe Prozesssicherheit wird mit der entwickelten reproduzierbaren Thermoformung von Großbauteilen mit einer integrierten Online-Qualitätssicherung gewährleistet und nachgewiesen.

### **Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit**

Durch die reproduzierbare Thermoformung und Herstellung von Großbauteilen wird für Siempelkamp die Voraussetzung für die Erhöhung des Automatisierungsgrades und der Qualitätssicherung im Fertigungsprozess erarbeitet. Die Wettbewerbsfähigkeit wird damit nachhaltig gesteigert, da hochsteife thermoplastische großvolumige Faserverbundbauteile für die Luftfahrt kostengünstig in hoher Stückzahl gefertigt werden können. Die fasergerechte

Ausnutzung der thermoplastischen Großbauteile für komplexe Geometrien eröffnet Chancen für eine wirtschaftliche Fertigung in Luftfahrtqualität. Damit entsteht in Krefeld die Möglichkeit, textile Bauteile mit einer hohen Wertschöpfungskette zu liefern. Die Forschungsergebnisse werden in industrielle Anwendungen überführt. Damit wird Siempelkamp als Unternehmen in die Lage versetzt, das bestehende Potenzial der neuen textilen, thermoplastischen Halbzeuge im Vergleich zu herkömmlich eingesetzten Produkten einzuschätzen. Des Weiteren kann Siempelkamp damit abschätzen, inwieweit der Aufbau neuer Produktlinien ein effektiver Weg zur Unternehmensprofilierung ist. Damit verbunden ist eine Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit für die Verarbeitung für mittlere und Großserienfertigung. Die gewonnenen Erkenntnisse versetzen Siempelkamp in die Lage, den technologischen Vorsprung gegenüber der heutigen Anbietersituation voll auszuschöpfen. Sie können damit die gewonnenen Erkenntnisse unmittelbar in der Produktion zu innovativen Produkten im Bereich der thermoplastischen Faserverbundbauteile umsetzen. Daraus ergibt sich die Chance, innovative und materialoptimierte Leichtbaulösungen einzusetzen, um einen Wettbewerbsvorsprung gegenüber den Konkurrenzunternehmen zu erzielen.

## **Ergebnisse der Arbeiten bei Siempelkamp**

Auf Basis der von allen Projektpartnern gemeinsam entwickelten Fertigungs- und Montageoptionen für die Referenzbauweise in Thermoplast; ein Multi-Rippen-Konzept und ein Multi-Holm-Konzept wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Detaillierung der Prozesskette und Aufschlüsseln in einzelne Prozessschritte
- Definition von Design-Annahmen für die Prozesszeitschätzung (Abmessungen, Lagenaufbau, etc.)
- Annahmen für die Prozesszeitschätzung ( in Zusammenarbeit mit den Partnern ) auf Basis von Erfahrungen, Recherchen und ersten Ergebnissen aus den Vorversuchen

- Durchführung einer detaillierten Prozesszeitschätzung
- Technische Risikobewertung aller Prozessschritte
- Ermittlung der besten (und schlechtesten) Kombination aus Sicht der Prozesszeiten

Basierend auf den in 2014 geschaffenen Ergebnissen zur Prozesszeitschätzung und Risikobewertung kann in 2015 unter Berücksichtigung der technologischen Machbarkeit (nicht Teil dieses Arbeitspaketes) und der Aktualisierung der Annahmen zur Zeitschätzung die beste Kombination der Fertigungs- und Montageoptionen ermittelt werden.

Für die Verwendung der Rampenform im Teilprojekt 3, Arbeitspaket 2, sind umfangreiche Umbauten an der bestehenden Heiz- Kühlanlage vorgenommen worden. Mit diesen Umbauten

wurden die Heizleistung und die Kühlleistung erhöht, wodurch entsprechende Werkzeuge mit den benötigten Prozessparametern verwendet werden können. Zum Anschluss des Werkzeugs wurden zusätzliche Anschlussmöglichkeiten geschaffen.

Die konzeptionelle Ausarbeitung von Umformwerkzeugen für Umformversuche sowie die Herstellung von Komponenten im großen Maßstab ist abgeschlossen, die Konstruktion des Werkzeuges für Umformversuche ist abgeschlossen, die Konstruktion für die Umformwerkzeuge für die Herstellung von Komponenten im großen Maßstab ist angelaufen

## **Detaillierte Beschreibung der Arbeitsinhalte zum Thema „industrielle Prozesskette“:**

### **Prozessschritte**

Aufbauend auf der Referenzprozesskette für die Hauptkomponenten / Prozessschritte wurden in Workshops mit Teilnehmern aller Projektpartner in mehreren Terminen mögliche Fertigungsoptionen für die Komponenten und den Zusammenbau des Multi-Holm und Multi-Rippenkonzepts gesammelt.

Hierbei lassen sich für die Herstellung der Komponenten folgende Technologiealternativen unterscheiden:

- Flat lay-up / consolidation / net-shape press-forming:

Die thermoplastischen Halbzeuge ( im ersten Ansatz mit PEEK vorimprägnierte, unidirektional mit Kohlenstofffaser verstärkte Halbzeuge) werden zugeschnitten und flach zu einem Laminat unter Berücksichtigung des Lagenaufbaus und eventuellen Verstärkungslagen gelegt.

Ein mit geeigneten Mitteln vorfixiertes (z.B. durch eine Punktschweißung) flaches Halbzeug, welches die Dickentopologie bereits abbildet, entsteht und wird flach in einer Presse konsolidiert.

Nach einer optionalen Besäumung der Randbereiche wird das vorkonsolidierte Laminat auf Umformtemperatur aufgeheizt und umgeformt. Für die Umformung bieten sich verschiedene Optionen für das Equipment an; z.B. zweiseitig harte Formen ( „klassischer Pressprozess“ ) oder eine Kombination aus harter und flexibler Form.

- Near Net Shape lay-up / consolidation / press-forming

Der Unterschied zur vorherigen Prozessoption ist das Ablegen des Laminates in eine endkonturnahe Form (z.B. für ein doppelt gekrümmtes Bauteil in eine einfach vorgekrümmte Form) mit einer sich anschließenden Konsolidierung und einem Press-Umformschritt. Diese Option bietet sich an, wenn ein Pressumformen aus einem flachen Laminat einen zu hohen Umformgrad bedeuten würde.

- Net Shape lay-up / consolidation

Das Ablegen der Einzellagen des Laminats geschieht hier schon in der Endkontur, z.B. in einer doppelt gekrümmten Ablageform mit anschließender Konsolidierung.

- Flat CCM / press-forming

Das Continuous-Compression-Moulding (CCM) wird aktuell von Xperion bereits zur Fertigung ebener und einfach gekrümmter Profile aus thermoplastischen, unidirektional verstärkten Prepregs angewendet.

Prinzipiell ist diese Technologie – das kontinuierliche Formen mittels Rollen und / oder Leitblechen oder anderen geeigneten Mitteln mit anschließendem Intervallheißpressen – auch auf andere Komponenten wie Hautstrukturen übertragbar.

Eine Erweiterung der Technologie in Bezug auf höhere Komplexitäten (Einbringung variabler Krümmung) ist als Konzept entwickelt. Bei dieser Technologieoption wird das Halbzeug im CCM-Verfahren flach zu einem vorkonfektionierten, bereits konsolidierten Preform verarbeitet und anschließend per Pressverfahren umgeformt.

- Single curved CCM / press-forming

Eine Alternative zum Herstellen ebener konsolidierter Halbzeuge mittels CCM ist die Herstellung einfach, quer zur Produktionsrichtung gekrümmter vorkonsolidierter Preforms zur Verarbeitung im Pressformprozess.

- Variable curved CCM



Für einige Anwendungen kann über eine direkte Fertigung mittels CCM ( inklusive Krümmung und weiterer Komplexitäten wie Durchsetzungen ) nachgedacht werden.

Die oben beschriebenen Technologiealternativen wurden in Unterprozessschritte detailliert, um eine Bewertung von Fertigungsaufwänden und Risiko zu ermöglichen.

Ein Beispiel für die Detaillierung eines Prozessschrittes zeigt die folgende Tabelle für das statische Induktionsschweißen von Längsversteifungen auf ein Hautfeld:

# Option B: Static Press Welding	Industrieminuten	Anzahl Werker	Summe
Station rüsten	50 IM	1	50
Schale eintakten	50 IM	1	50
Fügefläche reinigen	41 IM	1	41
Stringer in Tooling positionieren	50 IM	1	50
Rüsten der Schweißtoolings	50 IM	1	50
Schweißen	20 IM	1	20
Tooling entfernen	50 IM	1	50
NDT	5 IM	1	5
<b>Total:</b>	<b>365 IM</b>		<b>365</b>

**Tabelle 2: Prozessschritte „statisches Induktionsschweißen von Längsversteifungen auf ein Hautfeld“**

## Design-Annahmen

Um eine Abschätzung von Fertigungsaufwänden für Bauweisen und Technologieoptionen zu ermöglichen, müssen grundsätzliche Randbedingungen des Designs fixiert sein.

In diesem frühen Projektstadium sind viele der benötigten Parameter nicht bekannt, so dass geeignete Annahmen getroffen werden müssen.

Benötigt für eine Abschätzung der Fertigungsaufwände ist unter Anderem das „Plybook“ (Lagenaufbau und –anzahl, sowie –lage ) für die Haut der Ober- und Unterschale.

Die bisherige Bauweise besteht aus einer dünnen Haut mit U-förmigen Stringern.

In den diskutierten thermoplastischen Bauweisen werden entweder T- förmige Stringer oder keine Stringer benötigt. Aus diesem Grund ist eine Anpassung des Lagenaufbaus der Haut erforderlich.

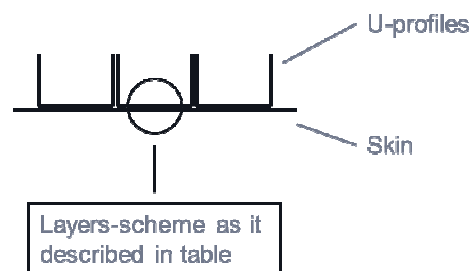
Eine eventuelle Änderung von benötigten Dicken - oder Verstärkungslagen aufgrund der geänderten mechanischen Eigenschaften wird im ersten Ansatz vernachlässigt.

Auf Basis der bisherigen Bauweise wurden folgende Modifikationen für die Haut vorgenommen:

## Abschlussbericht zum Teilvorhaben Siempelkamp

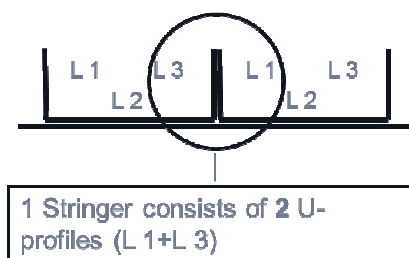
- Same dimensions like SoA
- Length = 4327 mm
- Width = 536 mm
- Lower and upper shell nearly identical
- Layers-scheme include thickness of U-profiles

Layer	Angle	Position	Dimensions [mm]		Number
1			4327	536	14
2			300	536	3
			400	536	3
			1500	536	3
3			225	536	3
			325	536	3
			1350	536	3
4			150	536	3
			250	536	3
			1200	536	3
5			1050	536	3
6			900	536	3
7			750	536	3
8			600	536	3
9			450	536	3
10			300	536	3



**Abbildung 2: Ansatz für Modifikation des Hautlaminats**

T-förmige Stringer werden aus dem Laminat der U-Stringer kombiniert:



**Abbildung 3: Ansatz für Modifikation der Stringer**

Abschlussbericht zum Teilvorhaben Siempelkamp

Holme und Rippen, die bisher metallisch umgesetzt wurden, werden auf Basis von geschätzten Dickenverläufen und Annahmen zu Lagenverläufen nachgebildet.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft den benötigten Detailgrad der Designannahmen für die Abschätzung von Fertigungsaufwänden für das Laminat der Unterschale:

	Layer	Angle	Position	Dimensions [mm]		
				A [mm]	B [mm]	A*B [mm <sup>2</sup> ]
CFRP	1			4327	536	2319272
	2			4327	536	2319272
	3			4327	536	2319272
	4			4327	536	2319272
	5			4327	536	2319272
	6			4327	536	2319272
	7			4327	536	2319272
	8			4327	536	2319272
	9			4327	536	2319272
	10			4327	536	2319272
	11			4327	536	2319272
	12			4327	536	2319272
	13			4327	536	2319272
	14			4327	536	2319272
	15			300	536	160800
				400	536	214400
				1500	536	804000
	16			300	536	160800
				400	536	214400
				1500	536	804000
	17			300	536	160800
				400	536	214400
				1500	536	804000
	18			225	536	120600
				325	536	174200
				1350	536	723600
	19			225	536	120600
				325	536	174200
				1350	536	723600
	20			225	536	120600
				325	536	174200
				1350	536	723600
	21			150	536	80400
				250	536	134000
				1200	536	643200
	22			150	536	80400
				250	536	134000
			1200	536	643200	
23			150	536	80400	
			250	536	134000	
			1200	536	643200	
24			1050	536	562800	
25			1050	536	562800	
26			1050	536	562800	
27			900	536	482400	
28			900	536	482400	
29			900	536	482400	
30			750	536	402000	
31			750	536	402000	
32			750	536	402000	
33			600	536	321600	
34			600	536	321600	
35			600	536	321600	
36			450	536	241200	
37			450	536	241200	

Tabelle 1: Plybook „unteres Hautlaminat“

## Industrielle Annahmen

Um eine Abschätzung des Fertigungsaufwandes der Technologieoptionen und Bauweisevorschläge im Vergleich miteinander durchzuführen, werden im nächsten Schritt die Prozessschritte mit Prozesszeiten hinterlegt.

Quelle für die Prozesszeitschätzung können entweder Stand-der-Technik-Prozessaufwände für gleiche Prozessschritte oder Schätzungen und Erfahrungswerte für neue Prozessschritte sein.

Die Abschätzung des Aufwandes ist neben Risiko und technischer Machbarkeit ein Kriterium, um eine globale Prozesskette zur Fertigung einer thermoplastischen Boxstruktur zur Weiterentwicklung vorauszuwählen.

Grundsätzliche Annahmen für die Schätzung der Aufwände sind:

- Heutige Bauweise und mögliche neue Bauweisen werden auf Basis gleicher Annahmen und Randbedingungen verglichen, d.h. für die heutige Bauweise aus duroplastischen Prepregs für Haut und Stringer (im folgenden „SoA“ genannt), werden metallische Komponenten (Rippen, Holme) in Gedanken durch CFK-Komponenten mit bekannten Fertigungsverfahren ersetzt.
- Greenfield approach: die Fertigung findet ohne Berücksichtigung existierender Kapazitäten und Möglichkeiten „auf der grünen Wiese“ statt.
- Es werden nur wertschöpfende oder für die Wertschöpfung notwendige Fertigungsschritte betrachtet, d.h. zum Beispiel die Aufwände von Transporten, die von der Hallenplanung und dem Logistikkonzept abhängen, werden aus Gründen der Vergleichbarkeit nicht betrachtet. Das gleich gilt für mögliche Ausfallbauteile oder Nacharbeiten und Reparaturen.

## Abschlussbericht zum Teilvorhaben Siempelkamp

Für die Geschwindigkeiten und benötigten Zeiten für neue Prozessschritte wird auf die Erfahrung der Partnerfirmen zurückgegriffen.

Nach Durchführung der ersten Fertigungsversuche in repräsentativer Umgebung können die Werte aktualisiert und angepasst werden.

Assumption: preform completed		Consolidation in press	
Input process	Value unit	Value unit	Value unit
Apply release agent (every 5 press cycle)	0,75 h		75 IM
Place preform in tool	0,08 h		8 IM
Transfer tool in press	0,03 h		3 IM
Heating: from 20°C to 390°C with min. 10K/min	0,62 h		62 IM
Holding at 390°C	0,25 h		25 IM
Cooling: from 390°C to min. 250°C with 20K/min	0,12 h		12 IM
Demolding (depending on tool complexity)	0,08 h		8 IM
Preparation for next cycles (cleaning...)	0,08 h		8 IM

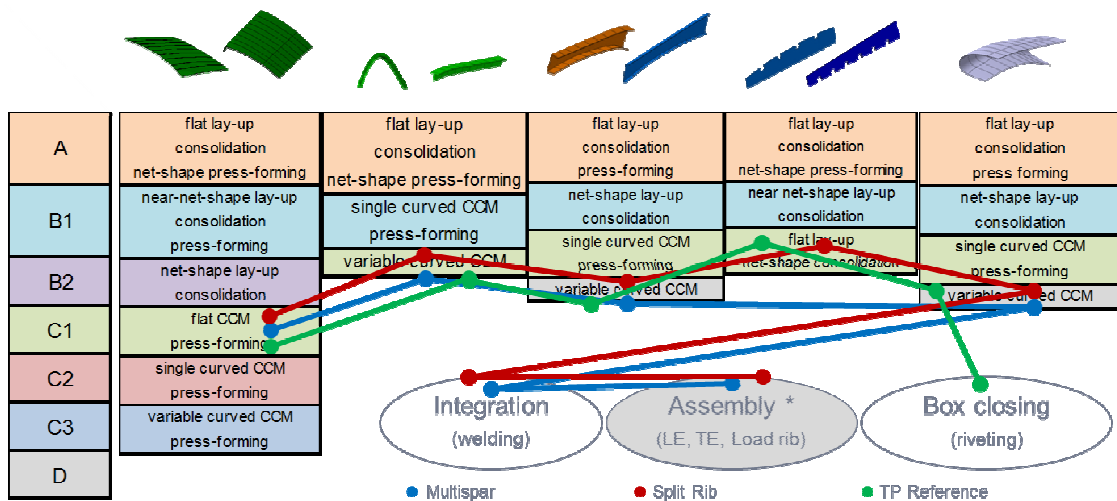
Assumption: preform completed, press heated at 250°C		Press forming	
Input process	Value unit	Value unit	Value unit
Apply release agent (every 5 press cycle)	0,75 h		75 IM
Heating preform (at 320°C, using IR or oven)	0,08 h		8 IM
Transfer in press and closing press	0,00 h		0 IM
Pressing	0,02 h		2 IM
Demolding	0,08 h		8 IM
Preparation for next cycles (cleaning...)	0,08 h		8 IM

**Abbildung 2: Annahmen für die Prozesszeitschätzung (Input Siempelkamp)**

## Ergebnis der Prozesszeitschätzung

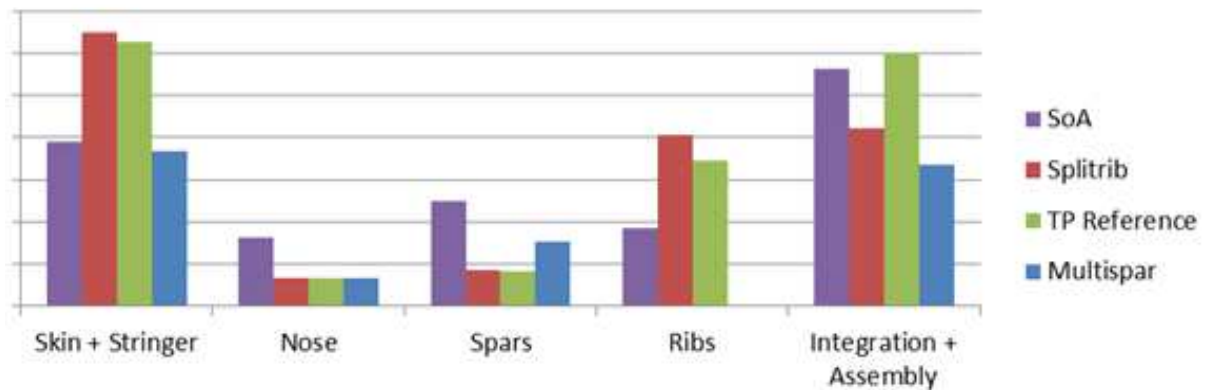
Auf Basis der Annahmen für Design, Prozessparameter und der Aufschlüsselung der Prozesshauptschritte in Unterschritte werden für alle möglichen Kombinationen und Technologievariationen die Fertigungsaufwände abgeschätzt.

Die Abbildung unten zeigt die Technologieoptionen und farblich markiert die Prozesspfade mit dem in der ersten Analyse geringsten Fertigungsaufwänden. Das Ergebnis ist abhängig von den Annahmen für Design und Prozessparameter, die technische Machbarkeit und Einschränkungen sind in dieser ersten Schätzung nicht berücksichtigt.



**Abbildung 3: Kombination von Technologieoptionen mit den in erster Schätzung geringsten Fertigungsaufwänden**

## Process time per part (50%)



**Abbildung 4: Beispiel für eine Prozesszeitauswertung einer Kombination von Fertigungs- und Montageoptionen**

Die Aufwände in der Fertigung im Vergleich zum heutigen Prozess verschieben sich aufgrund der höher integralen Bauweisen tendenziell von der Integration / Montage in Richtung Einzelteilerfertigung.



## **Ergebnis der Risikoanalyse**

Zusätzlich zur Schätzung der Fertigungsaufwände wurde eine Risikoanalyse für jede mögliche Prozesskombination durchgeführt.

Mit Hilfe von Gesprächen und Runden wurden Risiken zu den Haupt-Prozessschritten gesammelt und anhand der Kriterien Wahrscheinlichkeit / Einfluss / Reife der Technologie bewertet und Aktionen zur Risikominimierung definiert.

Drei globale Prozessrisiken wurden identifiziert, die im weiteren Verlauf des Projektes (oder im Anschluss) genauer betrachtet werden müssen:

- Toleranzen der Komponenten für den Schweißprozess – Wie genau können und müssen die Komponenten für einen robusten und schnellen Schweißprozess gefertigt sein? Sind ausgleichende Maßnahmen erforderlich?
- NDT von Schweißverbindungen – Sind zusätzliche zerstörungsfreie Prüfungen im Vergleich zu reinen genieteten Strukturen für eine Schweißnaht bei der Integration von Unterbaugruppen erforderlich?
- Lasteinleitung – Wie sieht eine bauweisengerechte Lasteinleitung aus und wie wird sie integriert?

Zusätzlich wurden weitere 159 Punkte identifiziert, die die technische Machbarkeit ( Grenzen der Technologie, Realisierung von Komplexitäten, etc. ) betreffen.

Diese können – je nach Vorauswahl der Technologien und Methoden zur Fertigung der Schikanebauteile und Demonstratoren im Projekt – durch die geplanten Fertigungsversuche abgedeckt werden.

Zentrale und wiederkehrende Fragestellungen sind hierbei

- der realisierbare Umformgrad
- Legetoleranzen und die Positionstreuung von Einzellagen beim Umformprozess
- Realisierung von Komplexitäten wie variable Webhöhe und Durchsetzungen im kontinuierlichen Prozess  
( betrifft vor allem CCM )
- Zugänglichkeiten und notwendige Gegenhaltemaßnahmen beim Schweißprozess
- erreichbare Qualitäten bei der Verschweißung in Abhängigkeit von Bauteilgeometrie und Prozessparameter

Abbildung 5: Auszug aus der Risikobewertung

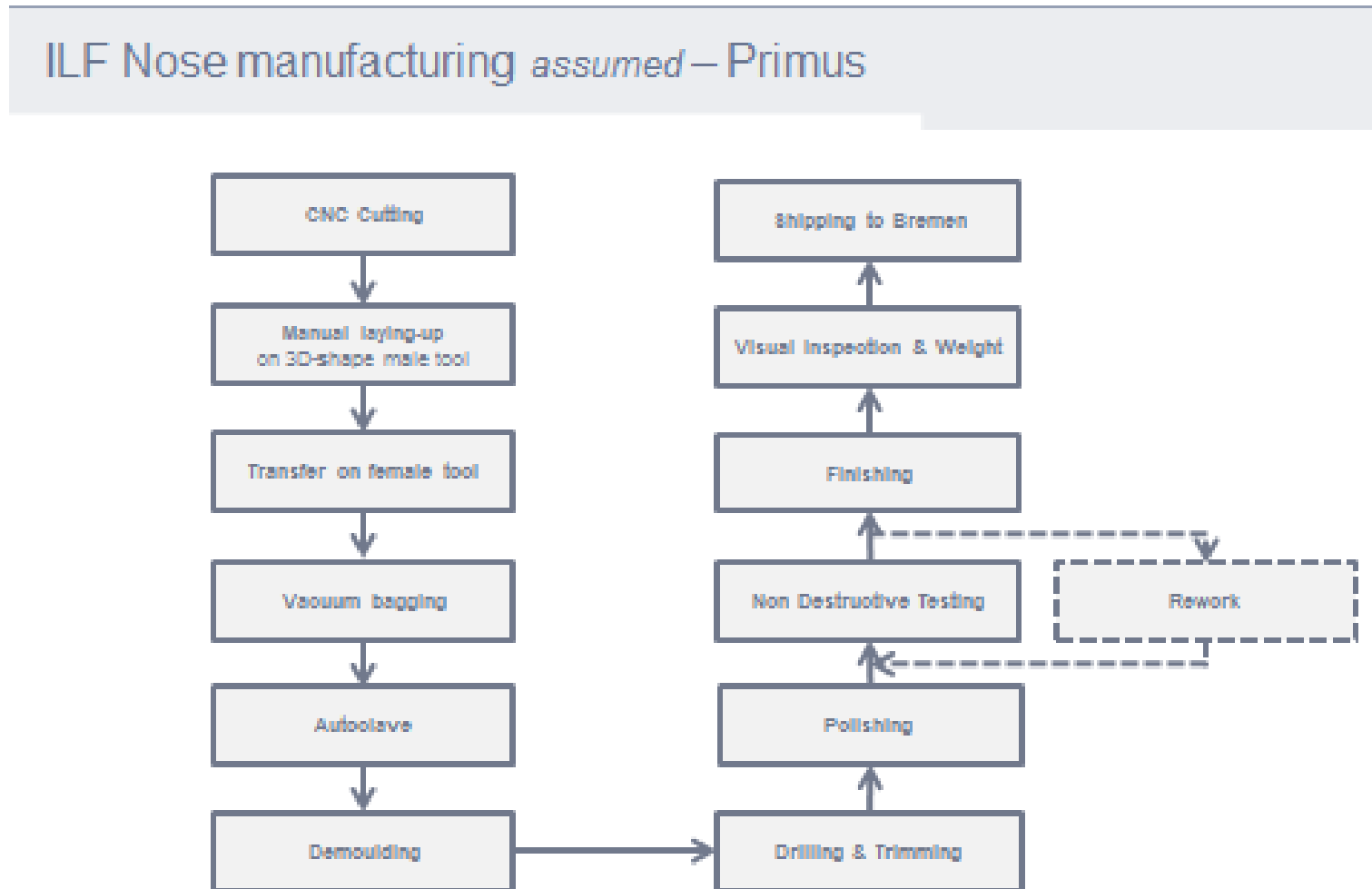
Component	Content (Reminder)	ID	Risk category	Identified Risk	Probab	Consequences - Impact	Impact	Additional Remarks (mandatory in case of development risk)	SoA/TRL	Risk Evaluation	Key mitigation actions
global		1_all_global	development	part tolerances for welding process	🟡	tolerance compensation measures (additional foil) needed, possible impact on joint performance	🟡	no studies on tolerances available	🔴	🔴	provide tolerance management philosophy for TRL3 for TRL6; full risk assessment
global		2_all_global	industrial	process time risk in case additional NDI of welded joints (compared to riveted joints) is needed	🟡	additional NDI operation after welding leads	🟡	impact on process time possible; no decision (NDI or not) known	🔴	🟡	first assessment for TRL3
global		3_all_global	development	design and integration of load introduction	🔴	high effort for traditional load integration solution (if not considered in concept)	🔴	SoA integration will be considered in concepts in general; dedicated activities needed	🔴	🔴	first assessment for TRL3 of component; final solution to be provided at TRL6
Upper Skin_Option A	flat lay-up & consolidation, net-shape press-forming	5_TP-Reference_Upper Skin_Option A	Development	degree of forming for consolidated laminate	🟢	use partly consolidated laminate -> different option	🔴	press-forming not available for large-scale parts	🔴	🔴	forming trials
Upper Skin_Option A	flat lay-up & consolidation, net-shape press-forming	6_TP-Reference_Upper Skin_Option A	Development	lay-up tolerances	🟢	tolerance improvement measures to be taken (comparable to today's solution / requirements)	🟢	solutions available for improvement of lay-up tolerances	🟡	🟢	tolerances and positioning (already done for robotic pick&place by CTC)
Upper Skin_Option B-1	near-net-shape lay-up and forming & consolidation	7_TP-Reference_Upper Skin_Option B-1	Development	fixation principle to enable forming	🟢	movement of plies during forming	🟢	not available for large-scale parts	🔴	🟡	forming trials
Upper Skin_Option B-2	net-shape lay-up and consolidation	8_TP-Reference_Upper Skin_Option B-2	Development	drapability of prepreg for high-rate ATL lay-up -> process time risk: lay-up speed and/or needed heating during lay-up	🟢	probable impact on process time	🟡	similar to FiberForge Technology, so already existing for other applications	🔴	🟡	forming trials
Upper Skin_Option C-1	flat CCM, press-forming	9_TP-Reference_Upper Skin_Option C-1	Development	degree of forming for consolidated laminate	🟢	use partly consolidated laminate -> different option	🔴	not available for large-scale parts / thickness deviation	🟡	🔴	forming trials
Upper Skin_Option C-2	single-curved CCM, press-forming	10_TP-Reference_Upper Skin_Option C-2	Development	degree of forming for consolidated laminate	🟢	use partly consolidated laminate -> different option	🟡	not available for large-scale parts / thickness deviation / simple curvature	🟡	🟡	forming trials
Upper Skin_Option C-3	double/variable-curved CCM, press-forming	11_TP-Reference_Upper Skin_Option C-3	Development	complex CCM process (heated & divided tooling integrated into process) -> slow production speed	🟡	-> different option	🔴	not available for large-scale parts / thickness deviation / double curvature	🔴	🔴	forming trials / technical solution to be detailed
Upper Skin_Option C-3	double/variable-curved CCM, press-forming	12_TP-Reference_Upper Skin_Option C-3	Development	continuous material supply for CCM	🟡	-> different option	🔴	no technical solution known	🔴	🔴	technical solution to be detailed

### Abbildung 8: Risikolog und Risikobewertung

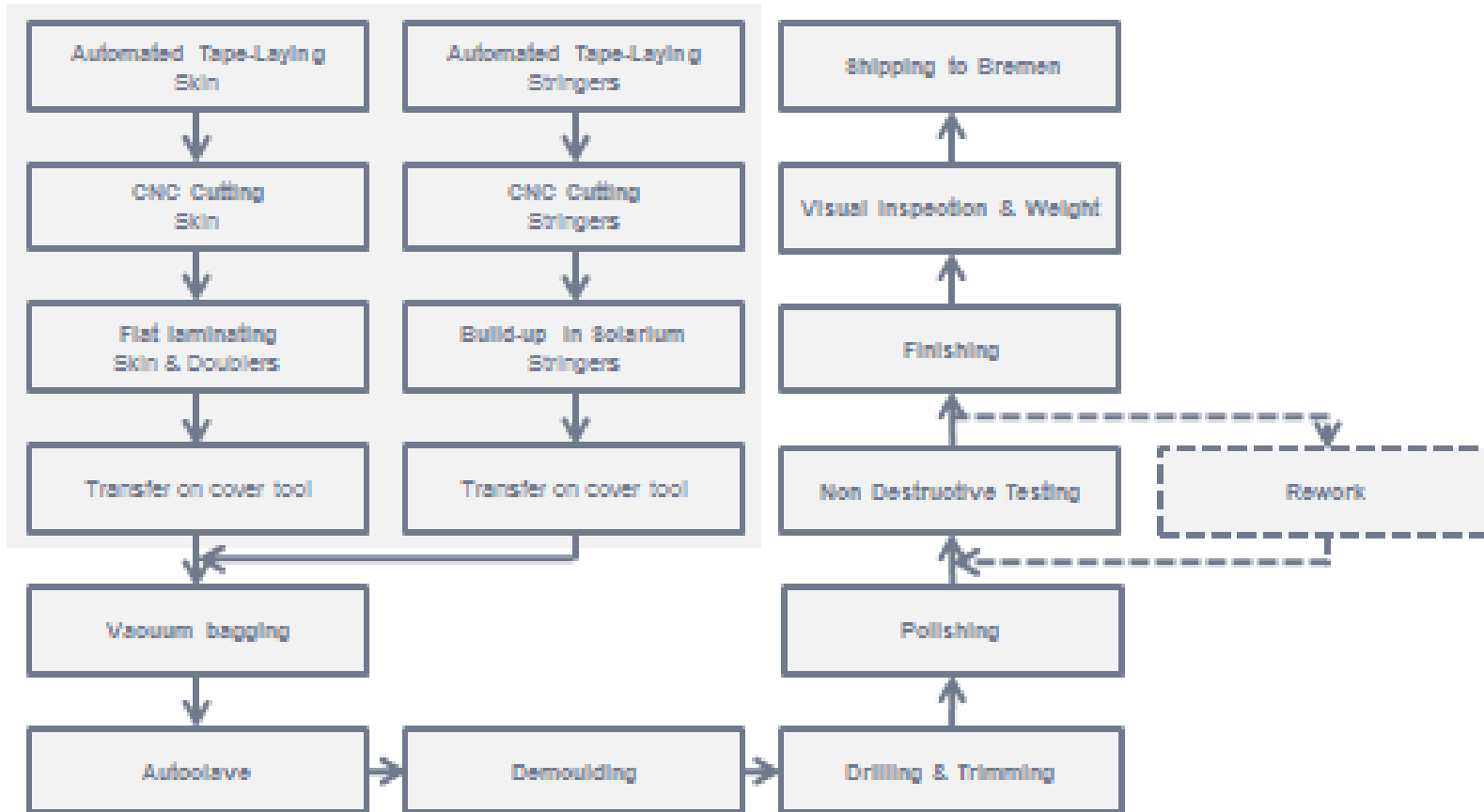
**Purpose of the Document:** Collect all upcoming relevant risks within the scope of the technical perimeter of the project TP closed Box. The focus lies on the implementation of the target part.  
 NOT in scope of this document are risks concerning Project Management of the project.

Risk identifier				Risk Count			Mitigation (if applicable)	Comment
#	Name	Description	Impact	Severity (1 to 5)	know or not (1; 1,5; 2)	result		
1	Wrong assumptions for manufacturing reference	for description of manufacturing reference assumptions have been made based on R&T assumptions, these may not transferred to the current application to the full extend	comparisons and potentials for the upcoming concepts are not valid to the full extend	3	1,5	4,5	refine assumptions in course of the further TRL Process	
2	Wrong assumptions for full CFRP reference design (as input for manufacturing reference)		comparisons and potentials for the upcoming concepts are not valid to the full extend	3	1,5	4,5	refine assumptions in course of the further TRL Process	
3	Green field and T100 may lead to wrong assumptions		comparisons and potentials for the upcoming concepts are not valid to the full extend	2	1,5	3	refine assumptions in course of the further TRL Process,	
4	Tolerance management not considered in concepts		drawbacks in potentials because of increased effort for tolerancing	4	2	8	include industrialisation after developing tolerancing ideas, processes OR having low tolerance single part manufacturing	ranking to be discussed
5	cold Prepreg layup of complex 3D shapes	TP prepreg has a limit of bending when cold, layup of complex shapes (e.g. nose) hard to realize automated	net shape/3D layup not feasible			0	Layup trials to evaluate maximum angle of bending & max complexity of shape; flat layup with forming, heated layup	
6	Material tolerances of prepreg to high for closed mould processes	first prepreg samples show high deviation in thickness-->risk over overpressure during press cycles	inhomogenous FVC in laminate, overpressed areas, areas with high thermoplast portion	4	2	8	development of robust design and manufacturing process, low tolerance layup process, improve material quality	
7	consolidation of gusset filler	gusset filler needed for T/L-profiles--> without consolidation stability not given (crack initiation)	special consolidation step needed, low pull-off/peel performance, T/L-profiles	4	1,5	6	include gusset filler in test programm and welding trials	idea to introduce recycled thermoplastic gusset fillers

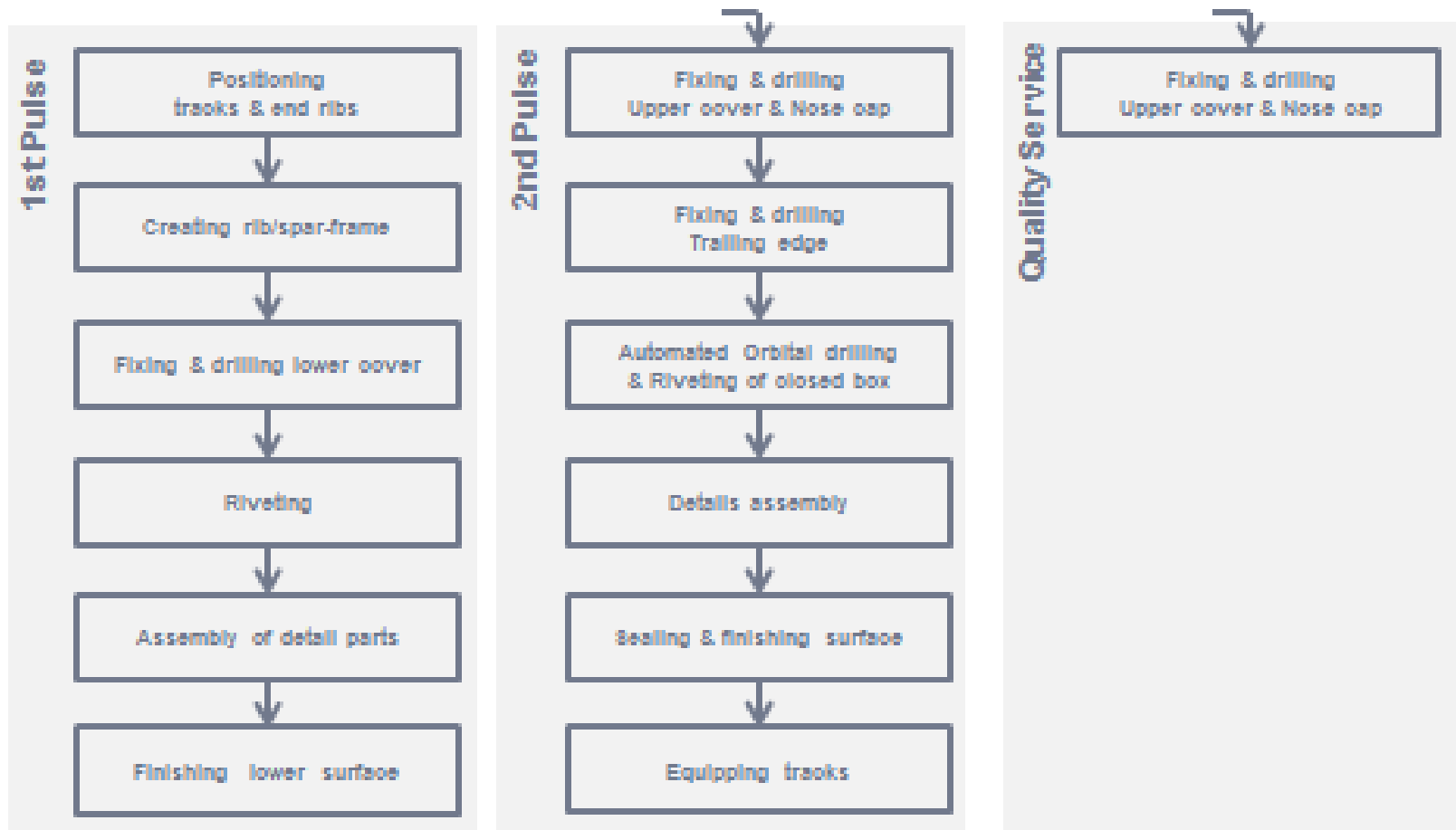
Abbildung 9: Prozessdarstellung für den Referenzprozess (Innere Landeklappe Airbus A 320)



## ILF Shells manufacturing – Airbus Stade



## Inner Landing Flap assembly – Airbus Bremen



# Summary

## Building-up parts

Shells	Spars & Ribs	Nose
<ul style="list-style-type: none"> <li>CNC cutting</li> <li>Flat laminating skin &amp; doublers</li> <li>Transfer on cover tool</li> <li>Forming stringers in sodium</li> <li>Transfer on cover tool</li> <li>Autoclave</li> <li>Drilling &amp; Trimming</li> <li>Non Destructive Testing</li> <li>Finishing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CNC cutting &amp; lay-up</li> <li>Forming in sodium</li> <li>Autoclave</li> <li>Drilling &amp; Trimming</li> <li>Non Destructive Testing</li> <li>Finishing</li> </ul> <p><i>assumed</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CNC cutting</li> <li>Manual layingup on 3D-shape male tool</li> <li>Transfer on female tool</li> <li>Autoclave</li> <li>Drilling &amp; Trimming</li> <li>Non Destructive Testing</li> <li>Finishing</li> </ul> <p><i>assumed</i></p>

## Assembly



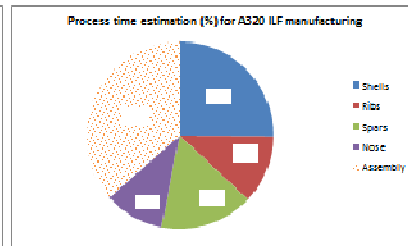
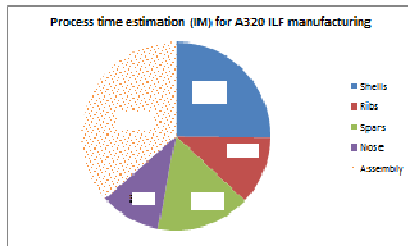


### Abbildung 9: Prozesszeitenanalyse für den Referenzprozess A320 ILF – Übersicht

**PROCESS TIME ESTIMATION FOR A320 ILF MANUFACTURING - MAIN DATA & RESULTS**  
**NB: Trailing edge & Load introduction are not taken into account**

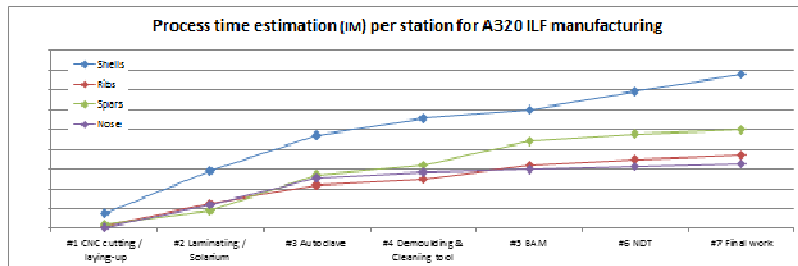
Main results:

Part	Time	% total	Grade
Shells		25%	Stade
Ribs		12%	
Spars		16%	
Nose		10%	
Assembly		37%	Strom
<b>Total</b>		<b>100%</b>	

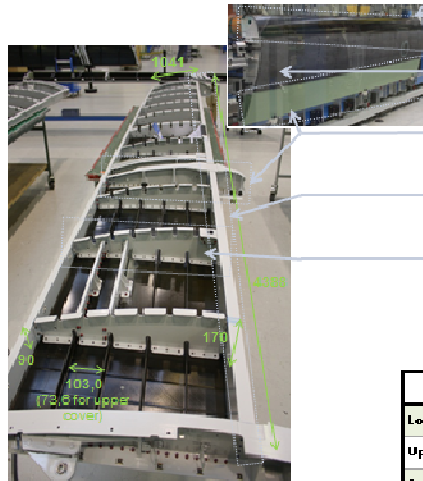


Comparison per #Station:

	Shells	Ribs	Spars	Nose	IM
#1 CNC cutting & laying-up					IM
#2 Laminating / Solenium					IM
#3 Autoclave					IM
#4 Demoulding & Cleaning to					IM
#5 BAM					IM
#6 NDT					IM
#7 Final work					IM
<b>Total</b>					IM



Main data:



<b>Nose</b>	CFRP Thickness: 2,25 to 2,85
<b>Shells (integrated stringers)</b>	CFRP Thickness: 1,85 to 5,225
<b>Load introduction rib &amp; Trailing edge</b>	Aluminium <b>NOT CONSIDERED IN STUDY</b>
<b>Spars</b>	Aluminium (assumed in CFRP) Thickness: 1,125 (rear) & 2,25 to 4,50 (front)
<b>Ribs (nr. 2-4-5-7-9-11-12-13)</b>	Aluminium (assumed in one part in CFRP) Thickness: 1,4

Part	Machined contour	Tool surface	Total laid-up surface
Lower shell	Skin	≈ 11m	≈ 7,5 m²
	Stringers	No machining	1 core/stringer ≈ 80,2 m²
Upper shell	Skin	≈ 12 m	≈ 8,5 m²
	Stringers	No machining	1 core/stringer ≈ 45,9 m²
Spars	Rear spar	≈ 9,0 m	≈ 11 m²
	Front spar	≈ 9,1 m	≈ 15 m²
Nose		≈ 9,7 m	≈ 2,0 m²
Ribs		≈ 20,1 m	≈ 0,1 m²

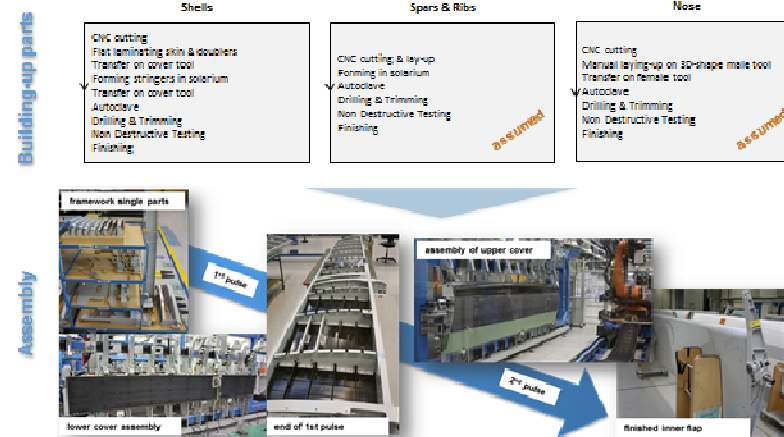
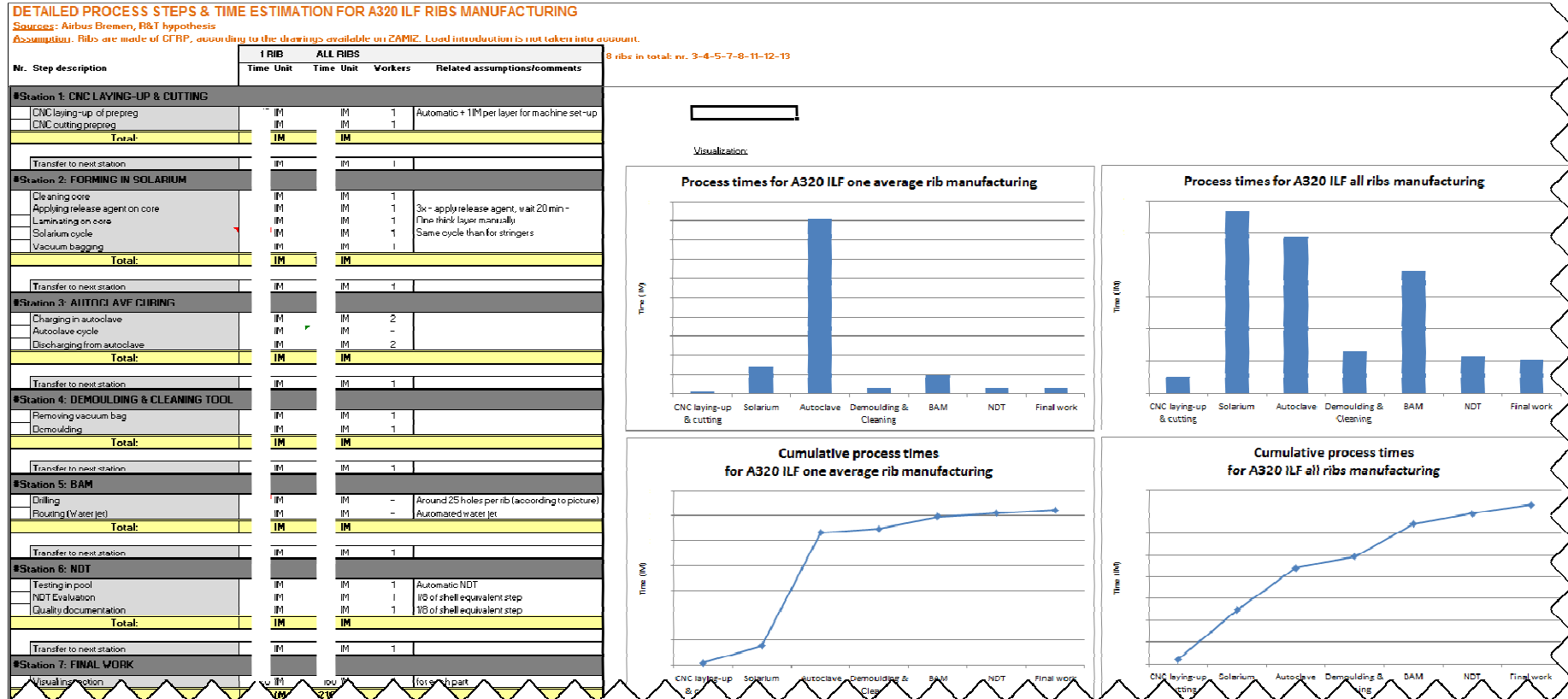


Abbildung 10: Prozesszeitenanalyse für den Referenzprozess A320 ILF – Beispiel für Detailauswertung



# Abbildung 11: Prozesszeitschätzung Parametermodell für die Optionen

**HOW TO USE THE DOCUMENT**  
 Green text: PARAMETERS: minimums, all dimensions and data necessary for time calculations.  
 Blue text: Values boxes contains variable parameters, and must be filled by hand by the user.  
 Yellow boxes contains data necessary for calculation that should be used by reference (B2B, the user can still modify those data by hand, calculations are automated).  
 Dimensional boxes (geometry parameters that depend on other and those boxes and that are automatically dimensioned).  
 Orange text: CALCULATIONS: unless green text contains time calculations with graph results.  
 Red text: Values boxes contain steps that are equal to reference. However, there may be differences due to different parameters.  
 Yellow boxes contain steps that vary according to considered option.

**ADDITIONS:** Skins geometry may vary depending on process and option, and time may be included (instead of support stringers). Therefore process option may vary.

**PARAMETERS**

Fast parameters:  
 Part dimensions: unit: mm  
 Length: upper skin, lower skin  
 Width: 0,000, 0,000 (consequence of layers)  
 Thickness min.: 0,000, 0,000 (consequence of layers)  
 Thickness max.: 0,000, 0,000 (consequence of layers)

Material:  
 CFRP material: matrix: reference, consolidated (z): thickness  
 Glass

Layers:  
 Upper skin:  
 CFRP:  

Layer	Angle	Position
1	90	0
2	90	0
3	90	0
4	90	0
5	90	0
6	90	0
7	90	0
8	90	0
9	90	0
10	-45	1,3,3,4
11	-45	0
12	-45	0
13	-45	0
14	-45	0
15	-45	0
16	-45	0
17	-45	0
18	-45	0
19	-45	0
20	-45	0
21	-45	0
22	-45	0
23	-45	0
24	-45	0
25	-45	0
26	-45	0
27	-45	0
28	-45	0
29	-45	0
30	-45	0
31	-45	0
32	-45	0
33	-45	0
34	-45	0
35	-45	0
36	-45	0
37	-45	0
38	-45	0
39	-45	0
40	-45	0
41	-45	0
42	-45	0
43	-45	0
44	-45	0
45	-45	0
46	-45	0
47	-45	0
48	-45	0
49	-45	0
50	-45	0
51	-45	0
52	-45	0
53	-45	0
54	-45	0
55	-45	0
56	-45	0
57	-45	0
58	-45	0
59	-45	0
60	-45	0
61	-45	0
62	-45	0
63	-45	0
64	-45	0
65	-45	0
66	-45	0
67	-45	0
68	-45	0
69	-45	0
70	-45	0
71	-45	0
72	-45	0
73	-45	0
74	-45	0
75	-45	0
76	-45	0
77	-45	0
78	-45	0
79	-45	0
80	-45	0
81	-45	0
82	-45	0
83	-45	0
84	-45	0
85	-45	0
86	-45	0
87	-45	0
88	-45	0
89	-45	0
90	-45	0
91	-45	0
92	-45	0
93	-45	0
94	-45	0
95	-45	0
96	-45	0
97	-45	0
98	-45	0
99	-45	0
100	-45	0
101	-45	0
102	-45	0
103	-45	0
104	-45	0
105	-45	0
106	-45	0
107	-45	0
108	-45	0
109	-45	0
110	-45	0
111	-45	0
112	-45	0
113	-45	0
114	-45	0
115	-45	0
116	-45	0
117	-45	0
118	-45	0
119	-45	0
120	-45	0
121	-45	0
122	-45	0
123	-45	0
124	-45	0
125	-45	0
126	-45	0
127	-45	0
128	-45	0
129	-45	0
130	-45	0
131	-45	0
132	-45	0
133	-45	0
134	-45	0
135	-45	0
136	-45	0
137	-45	0
138	-45	0
139	-45	0
140	-45	0
141	-45	0
142	-45	0
143	-45	0
144	-45	0
145	-45	0
146	-45	0
147	-45	0
148	-45	0
149	-45	0
150	-45	0
151	-45	0
152	-45	0
153	-45	0
154	-45	0
155	-45	0
156	-45	0
157	-45	0
158	-45	0
159	-45	0
160	-45	0
161	-45	0
162	-45	0
163	-45	0
164	-45	0
165	-45	0
166	-45	0
167	-45	0
168	-45	0
169	-45	0
170	-45	0
171	-45	0
172	-45	0
173	-45	0
174	-45	0
175	-45	0
176	-45	0
177	-45	0
178	-45	0
179	-45	0
180	-45	0
181	-45	0
182	-45	0
183	-45	0
184	-45	0
185	-45	0
186	-45	0
187	-45	0
188	-45	0
189	-45	0
190	-45	0
191	-45	0
192	-45	0
193	-45	0
194	-45	0
195	-45	0
196	-45	0
197	-45	0
198	-45	0
199	-45	0
200	-45	0
201	-45	0
202	-45	0
203	-45	0
204	-45	0
205	-45	0
206	-45	0
207	-45	0
208	-45	0
209	-45	0
210	-45	0
211	-45	0
212	-45	0
213	-45	0
214	-45	0
215	-45	0
216	-45	0
217	-45	0
218	-45	0
219	-45	0
220	-45	0
221	-45	0
222	-45	0
223	-45	0
224	-45	0
225	-45	0
226	-45	0
227	-45	0
228	-45	0
229	-45	0
230	-45	0
231	-45	0
232	-45	0
233	-45	0
234	-45	0
235	-45	0
236	-45	0
237	-45	0
238	-45	0
239	-45	0
240	-45	0
241	-45	0
242	-45	0
243	-45	0
244	-45	0
245	-45	0
246	-45	0
247	-45	0
248	-45	0
249	-45	0
250	-45	0
251	-45	0
252	-45	0
253	-45	0
254	-45	0
255	-45	0
256	-45	0
257	-45	0
258	-45	0
259	-45	0
260	-45	0
261	-45	0
262	-45	0
263	-45	0
264	-45	0
265	-45	0
266	-45	0
267	-45	0
268	-45	0
269	-45	0
270	-45	0
271	-45	0
272	-45	0
273	-45	0
274	-45	0
275	-45	0
276	-45	0
277	-45	0
278	-45	0
279	-45	0
280	-45	0
281	-45	0
282	-45	0
283	-45	0
284	-45	0
285	-45	0
286	-45	0
287	-45	0
288	-45	0
289	-45	0
290	-45	0
291	-45	0
292	-45	0
293	-45	0
294	-45	0
295	-45	0
296	-45	0
297	-45	0
298	-45	0
299	-45	0
300	-45	0
301	-45	0
302	-45	0
303	-45	0
304	-45	0
305	-45	0
306	-45	0
307	-45	0
308	-45	0
309	-45	0
310	-45	0
311	-45	0
312	-45	0
313	-45	0
314	-45	0
315	-45	0
316	-45	0
317	-45	0
318	-45	0
319	-45	0
320	-45	0
321	-45	0
322	-45	0
323	-45	0
324	-45	0
325	-45	0
326	-45	0
327	-45	0
328	-45	0
329	-45	0
330	-45	0
331	-45	0
332	-45	0
333	-45	0
334	-45	0
335	-45	0
336	-45	0
337	-45	0
338	-45	0
339	-45	0
340	-45	0
341	-45	0
342	-45	0
343	-45	0
344	-45	0
345	-45	0
346	-45	0
347	-45	0
348	-45	0
349	-45	0
350	-45	0
351	-45	0
352	-45	0
353	-45	0
354	-45	0
355	-45	0
356	-45	0
357	-45	0
358	-45	0
359	-45	0
360	-45	0
361	-45	0
362	-45	0
363	-45	0
364	-45	0
365	-45	0
366	-45	0
367	-45	0
368	-45	0
369	-45	0
370	-45	0
371	-45	0
372	-45	0
373	-45	0
374	-45	0
375	-45	0
376	-45	0
377	-45	0
378	-45	0
379	-45	0
380	-45	0
381	-45	0
382	-45	0
383	-45	0
384	-45	0
385	-45	0
386	-45	0
387	-45	0
388	-45	0
389	-45	0
390	-45	0
391	-45	0
392	-45	0
393	-45	0
394	-45	0
395	-45	0
396	-45	0
397	-45	0
398	-45	0
399	-45	0
400	-45	0
401	-45	0
402	-45	0
403	-45	0
404	-45	0
405	-45	0
406	-45	0
407	-45	0
408	-45	0
409	-45	0
410	-45	0
411	-45	0
412	-45	0
413	-45	0
414	-45	0
415	-45	0
416	-45	0
417	-45	0
418	-45	0
419	-45	0
420	-45	0
421	-45	0
422	-45	0
423	-45	0
424	-45	0
425	-45	0
426	-45	0
427	-45	0
428	-45	0
429	-45	0
430	-45	0
431	-45	0
432	-45	0
433	-45	0
434	-45	0
435	-45	0
436	-45	0
437	-45	0
438	-45	0
439	-45	0
440	-45	0
441	-45	0
442	-45	0
443	-45	0
444	-45	0
445	-45	0
446	-45	0
447	-45	0
448	-45	0
449	-45	0
450	-45	0
451	-45	0
452	-45	0
453	-45	0
454	-45	0
455	-45	0
456	-45	0
457	-45	0
458	-45	0

Abbildung 12: Priorisierung der Konzepte

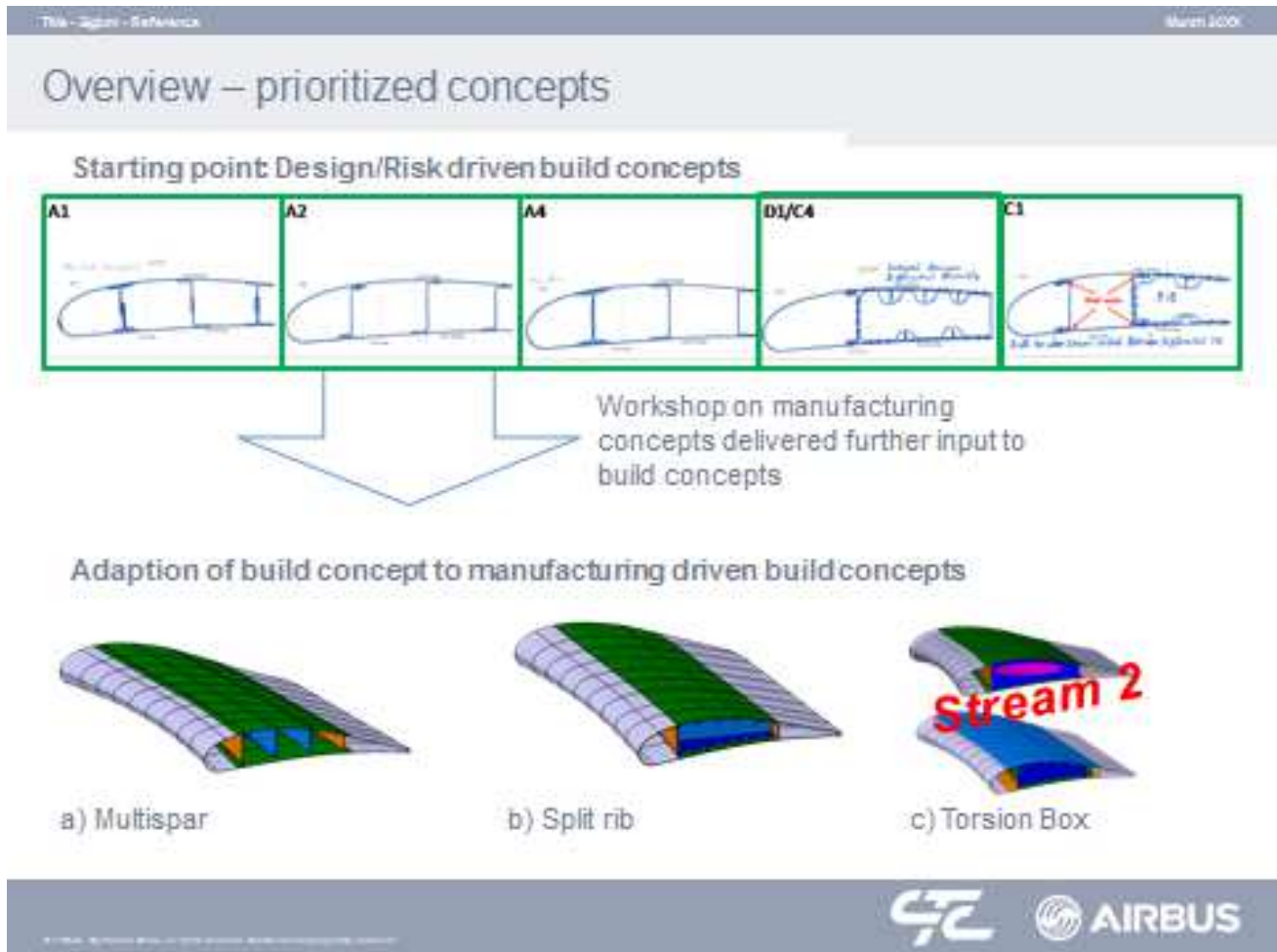


Abbildung 13: Beispiel Darstellung Fertigungsvariante für Konzept Variant 1

TP-C1243-247\_BasicManufacturingVariant\_1\_Rev 001

## Design Concept „Multispar Manufacturing Variant 1“

„Multispar Manufacturing Variant 1“

<b>DESCRIPTION</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>„mix design“ of Multispar / Multi-Split-Spar, 4 spars assumed</li> </ul>
<b>BENEFITS</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fully welded structure possible (good accessibility for welding of front / rear spar, inner spars to upper skin)</li> </ul>
<b>CHALLENGES</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Integration of rear spar (height restriction)</li> </ul>
<b>COMMENTS</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>proposal for manufacturing-friendly multispar-variant (based on A1/A2 concept) enabling a fully welded structure</li> <li>Variant: use flexibility of upper cover and integrate C-front spar (risk: introduction of peeling loads in inner spars // clamping tool might be needed)</li> </ul>

© 2014 Airbus SAS. All rights reserved. Airbus and the Airbus logo are registered trademarks of Airbus SAS in France and other countries.



Abbildung 15: Beispiel 2 Darstellung Komponentenfertigungs-Variante für eine Komponente Variant 1

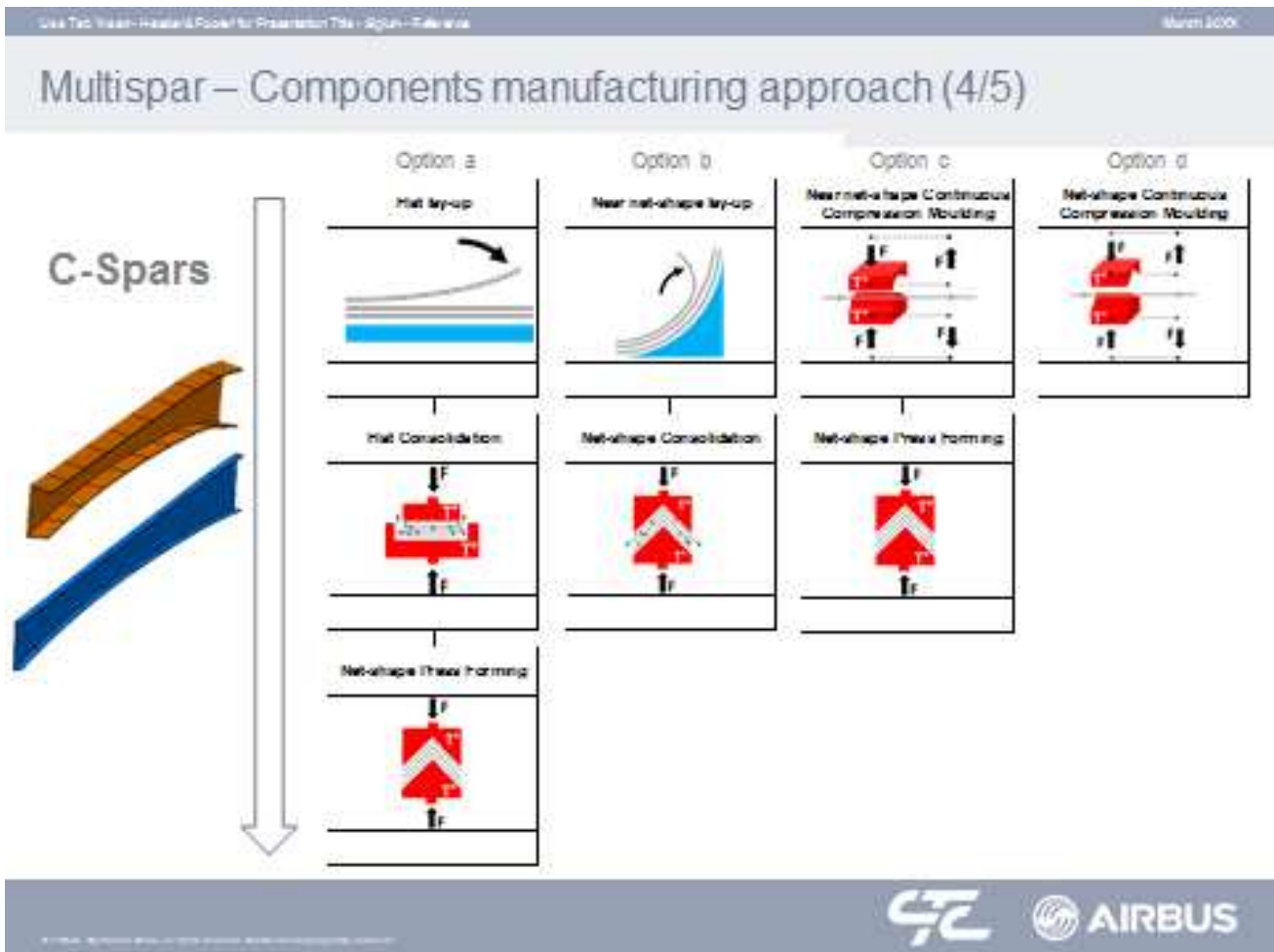


Abbildung 16: Qualitative Potentialanalyse für Konzepte a) und b) über den Fertigungsprozess

## Abschlussbericht zum Teilvorhaben Siempelkamp

Process	A320 reference	Multispar_Favorit	Splitrib_Favorit
<b>Nose</b>	Manual Lay-up of nose, autoclave curing, machining	e.g. manual rear-net shape lay-up of nose laminate, net-shape consolidation	benefit expected to faster consolidation vs. autoclave curing
<b>Upper Shell</b>	ATL lay-up of skin laminate, lay-up of stringer-laminate on cores, solarium preforming, positioning of stringer on skin, autoclave curing, machining	e.g. automated positioning of flat lay-up, co-consolidation and net-shape forming with support stringers	benefit expected due to faster consolidation and saving of stringer placement, forming and co-curing
<b>Lower Shell</b>	ATL lay-up of skin laminate, lay-up of stringer-laminate on cores, solarium preforming, positioning of stringer on skin, autoclave curing, machining	e.g. automated positioning of flat lay-up, co-consolidation and net-shape forming with support stringers	benefit expected due to faster consolidation and saving of stringer placement, forming and co-curing
<b>Stringer</b>	Stringers are integral with skins, lay-up of stringer laminates on cores, co-curing with skins	no stringers required, only support stringer for spar integration	co-consolidation within skin manufacturing
<b>Front Spar</b>	metal front spar	e.g. continuous manufacturing with CCM and net shape press forming	expected equal or worse than metal solution because of complexity of spar
<b>Rear Spar</b>	metal rear spar	e.g. continuous manufacturing with CCM and net shape press forming	expected equal or worse than metal solution because of complexity of spar
<b>Ribs</b>	metal ribs	no ribs required for multispar solution, two extra spars needed  spar manufacturing e.g. continuous manufacturing with CCM and net shape press forming	-> slight benefit expected (high number of metal ribs vs two composite spars)
<b>Spar 1</b>	-		
<b>Spar 2</b>	-		
<b>Trailing Edge</b>	metal trailing edge		non differentiating



## Abschlussbericht zum Teilvorhaben Siempelkamp

<b>Tact 1</b>	<b>Positioning of tracks&amp;end ribs</b> As first assembly step the two end ribs and two track ribs are positioned / fixed within the assembly jig. As these parts will define the interface to the Wing, their positions have the tightest tolerances (+/- 0,2 mm X/Y/Z)	same process assumed	<i>non-differentiating</i>	same process assumed	<i>non-differentiating</i>	
	<b>Creation of Spar/ribs-frame</b> • Positioning and fixing of all form ribs and front spars within assembly jig • Drilling and disassembly of ribs / spars • Deburring, sealant application and reassembly • Riveting	<b>Creation of inners Spar</b> • Positioning and fixing of all inner spars within assembly jig, front spar positioning	significant benefit expected (only 2 spars assumed vs. front spar + ribs)		<b>Creation of Spar/ half ribs-frame</b> • Positioning and fixing of all form ribs and front spars within assembly jig for lower cover • Positioning and fixing of all form ribs and front spars within assembly jig for upper cover	double number of (half) ribs need to be positioned 
	<b>Fixing of bottom cover</b> • Positioning and fixing of bottom cover • Drilling and disassembly of cover • Deburring, sealant application and reassembly	<b>Fixing of bottom cover</b> • Positioning and fixing of bottom cover	benefit expected (no drilling/riveting operation)		<b>Fixing of cover to half-ribs</b> • bottom cover • upper cover	double number of ribs, but press-forming vs. Riveting 
	<b>Riveting of structure (step 1)</b> Drilling and riveting of structure, Bottom skin to ribs, spars and Tracks	Induction welding/press welding of inner spars to lower cover	significant benefit expected (welding of 2 spars vs. many ribs)		included before	
	<b>Maintenance cover &amp; rear spar</b> • Positioning, sealing, clamping of rear spar • Assembly of maintenance covers	<b>Maintenance cover &amp; rear spar</b> • positioning & induction welding of rear spar to upper/lower cover • Assembly of maintenance covers	slight benefit expected (induction welding of rear spar vs. Riveting of rear spar)		<b>Maintenance cover &amp; rear spar</b> • positioning & induction welding of rear spar to upper/lower cover • Assembly of maintenance covers	slight benefit expected (induction welding of rear spar vs. Riveting of rear spar) 
	<b>Inner surface protection</b> • Transfer to the surface protection area. • Part cleaning • Sealing operations (especially at the transition Area between CFK/AL) • Top coating of rivet-heads • Additional drilling / riveting work	<b>Inner surface protection</b> • Transfer to the surface protection area. • Part cleaning • Sealing operations (especially at the transition Area between CFK/AL -> reduced amount of	benefit expected (less metal parts)		<b>Inner surface protection</b> • Transfer to the surface protection area. • Part cleaning • Sealing operations (especially at the transition Area between CFK/AL ->	benefit expected (less metal parts) 
<b>Tact 2</b>	<b>Fixing of top cover &amp; nose cap</b> • Placement of flap in step 2 jig • Positioning / fixing of upper cover & nose cap • Drilling of upper cover & nose cap (10-20 % of holes) • Disassembly, deburring, sealant application • Clamping / riveting of upper cover / nose cap (10-20% of holes)	<b>Fixing of top cover &amp; nose cap</b> • Placement of flap in jig • Positioning / fixing of upper cover & nose cap • Welding of inner spars to upper cover • welding of front spar to support stringer/upper cover • Drilling of nose cap (10-20 % of holes) • Disassembly, deburring, sealant application • Clamping / riveting of nose cap (10-20% of holes)	due to extensive welding operations (two inner spars, front spar including positioning) equal or slightly worse process time expected 	fixing of top cover already included before, only nose cap positioning/riveting needed  positioning of upper/lower cover and induction welding of half ribs	slight drawback in process time expected (welding of half-ribs vs. upper cover riveting) 	
	<b>Fixing of trailing edge</b> • Positioning and fixing of trailing edge • Drilling of trailing edge (backside + 10 % front side) • Disassembly, deburring and sealant application • Clamping / riveting of trailing edge (backside + 10 % of front side)	assumed to be the same process	<i>non-differentiating</i>	assumed to be the same process	<i>non-differentiating</i>	
	<b>Automated Orbital drilling (closed structure) and riveting</b> • Transfer to automated riveting machine • Orbital drilling & riveting of remaining holes in upper cover, nose cap and trailing edge	assumed to be the same process for nose cap and trailing edge riveting	slight benefit expected, as only nose cap and trailing edge need to be riveted 	assumed to be the same process for nose cap and trailing edge riveting	benefit expected, as only nose cap and trailing edge need to be riveted 	
	<b>Fittings assembly and ground test inspection</b> • Transport to Remaining work area • Assembly of Fittings • GTI (e.g. Measurement of grounding, etc.)		<i>non-differentiating</i>		<i>non-differentiating</i>	

### **Detaillierte Beschreibung der Arbeitsinhalte zum Thema „Couponversuche mit definierten Laminatsprüngen“:**

Für die im ersten Halbjahr 2014 konstruierte Form für die Herstellung von Organoblechen mit definierten Laminatsprüngen ist es notwendig, die Leistungen im Heizen und Kühlen der Laboranlage zu erhöhen.

Mit der Form erhöhen sich die zu erwärmenden Massen von ca. 300kg auf ca. 600kg.

Um weiterhin die benötigten Heizraten und Kühlraten erreichen zu können, wurden an der Laboranlage umfangreiche Umbauten vorgenommen. Hierbei wurde die Heizleistung von 60kW je Heizkreis auf 90kW je Heizkreis erhöht. Die Kühlleistung wurde von 60kW auf 120kW je Heizkreis verdoppelt.

Zum Erreichen der benötigten Heizleistungen wurden die bestehenden Elektroheizungen gegen Elektroheizungen mit höherer Energiedichte getauscht. Hierdurch konnte der bestehende Bauraum, Verrohrung etc. weiterverwendet werden.

Für die Kühlleistungen war es notwendig weitere Wärmetauscher zu installieren, ein Austausch wie bei der Heizung war nicht möglich.

Im Rahmen dieser Umbaumaßnahmen wurden ebenfalls Anschlüsse für die Heizschläuche der Form installiert. Mittels flexibler Hochtemperaturschläuche wird die Form an die Heizung angeflanscht. Diese Schläuche ermöglichen nicht nur das Mitgehen des Pressenhubes, sondern auch ein Entnehmen der Form aus der Presse im angeschlossenen Zustand.

Die Möglichkeit die Form im angeschlossenen Zustand aus der Presse nehmen zu können ist notwendig, da der vorhandene Pressenhub es nicht zulässt die Form innerhalb der Presse zu öffnen.

Für die benötigten Temperaturbereiche sind ebenfalls keine Schlauchverbinder am Markt verfügbar, mit denen die Form von der Presse abgeklemmt werden kann.



**Abbildung 17: Neuer Wärmetauscher**



**Abbildung 18: Ersetzte  
Elektroheizung**



**Abbildung 19: Anschlüsse für die Form**

Abbildung 20: 3D Darstellung des Versuchswerkzeugs

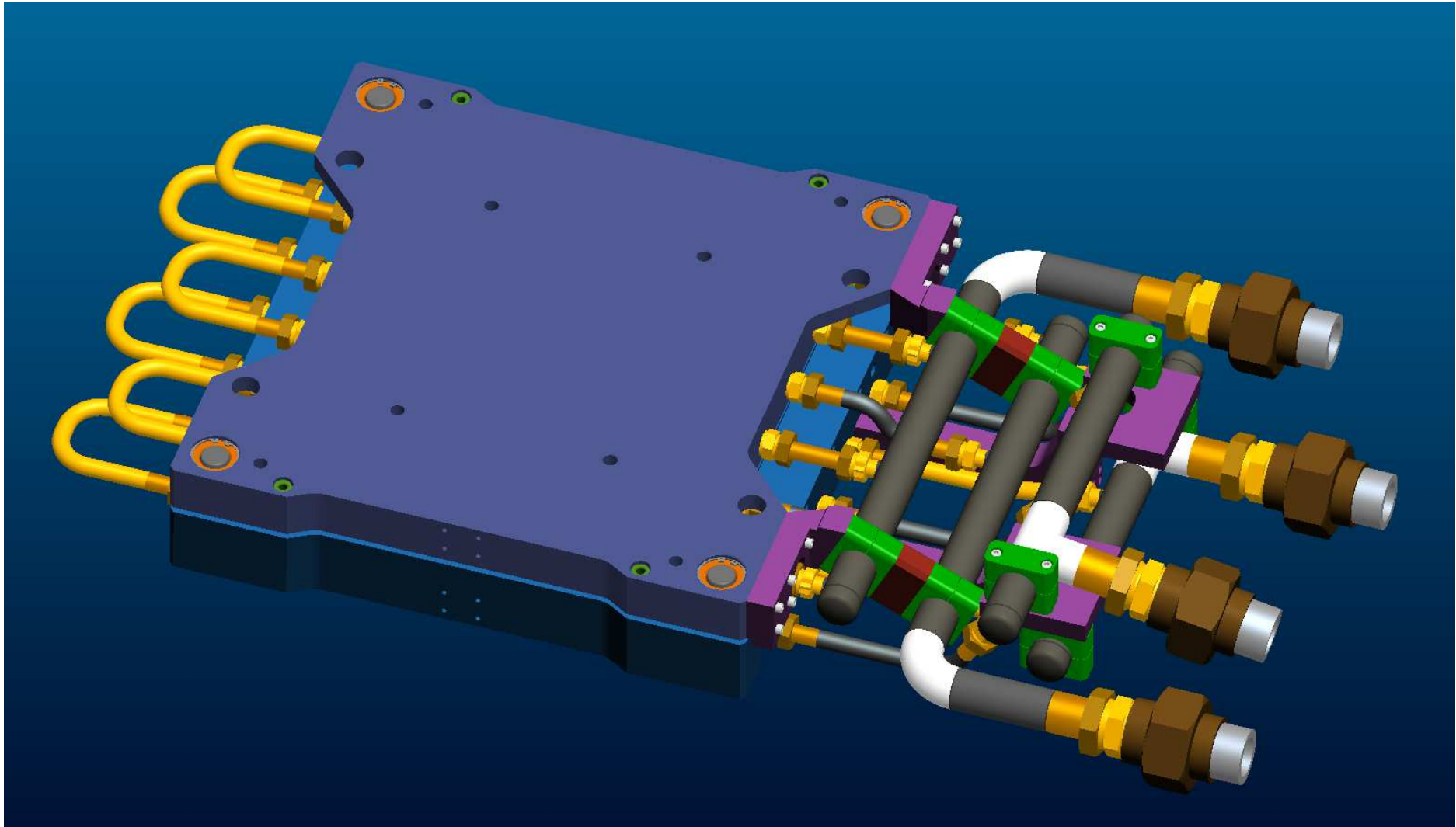
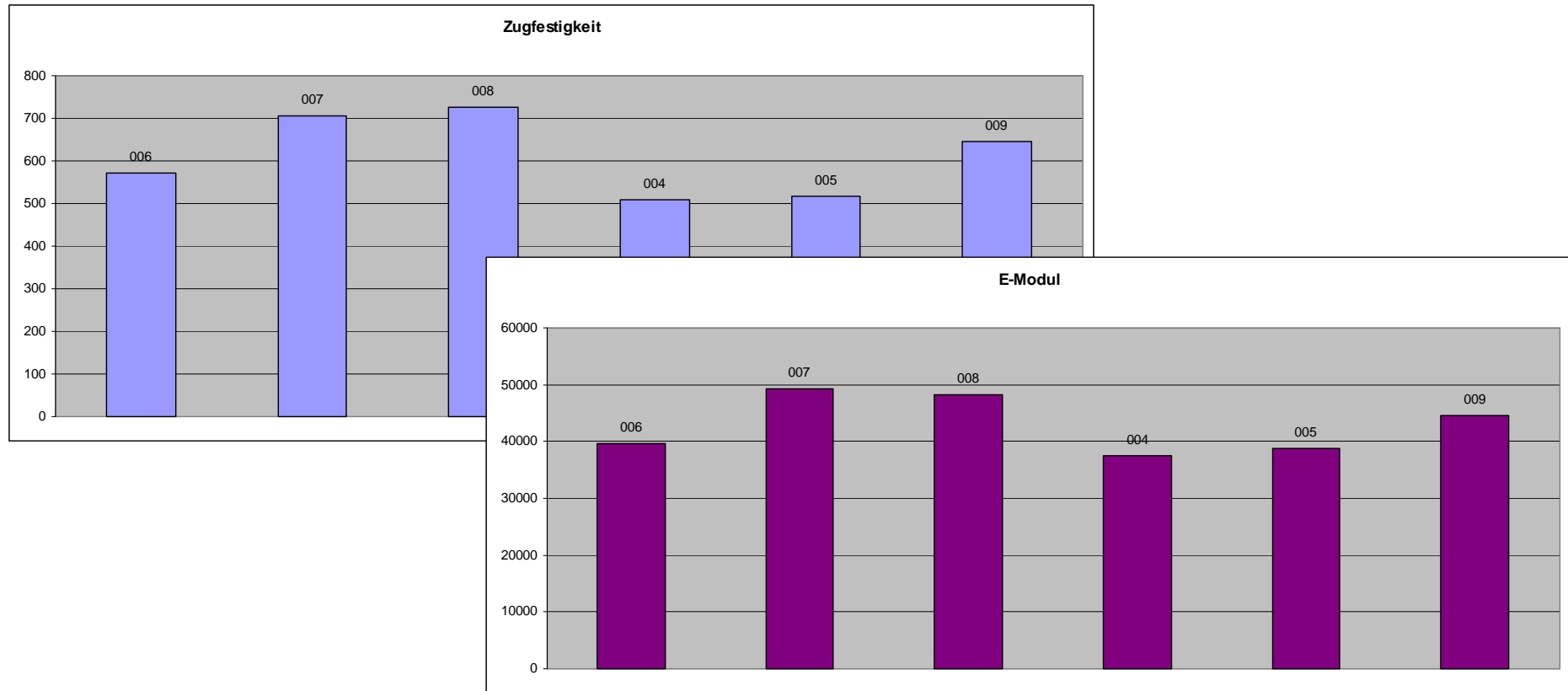




Abbildung 22: Prüfwerte hergestellter Platten



## Herstellung der Preforms

Das Fertigungsverfahren für die Preforms ist nicht repräsentativ für den angedachten industriellen Prozess, sondern ermöglicht lediglich die Pressversuche und die Herstellung der Hautfelder für den Sheet Demonstrator. In vorangegangenen Versuchen wurden zur Abschätzung des Industrialisierungspotentials einzelne Elemente bereits hinsichtlich der Machbarkeit und Übertragbarkeit für Pick & Place geprüft.

Erkenntnisse:

- Handelsübliche Vakuumbreifer für die Verarbeitung von Kohlefaserhalbzeugen können auch für einzelne UD-PEEK Lagen verwendet werden.
- Die Ablagegenauigkeit entspricht der des Ablageroboters (keine zusätzlichen Toleranzen)
- Zum Fixieren reicht eine Punktschweißung in der Mitte der Lage – Fixierungen in jeder Ecke des Lagenaufbaus ermöglichen jedoch ein robusteres Ergebnis, schränken aber gegebenenfalls die Umformfähigkeit des Lagenstapels ein.
- Es können Lagenstapel oder Einzellagen mittels Punktschweißung fixiert werden.



Abbildung 23: Ultraschall-Schweißgerät

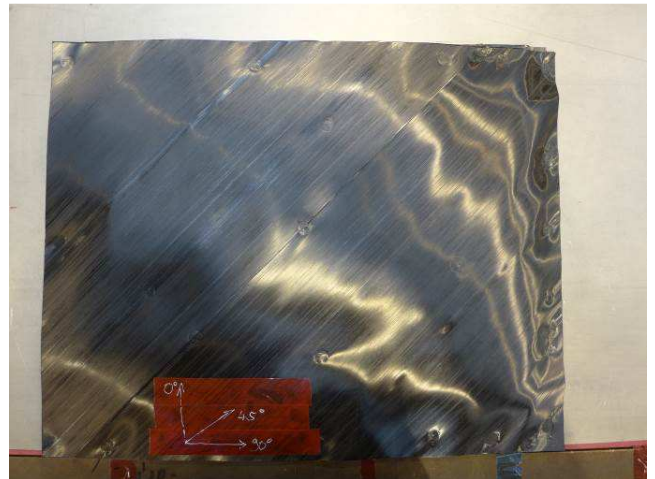


Abbildung 24: Eindruck der  
Preformfertigung

## **Herstellung der Sheet Demonstratoren**

Aus den hergestellten Preforms wurden mit Hilfe der in 2014 konstruierten und gefertigten Rampenform Sheet-Demonstratoren gepresst.

Der Prozess wird ähnlich wie bei ebenen Platten gefahren. Aufgrund der Platzverhältnisse muss die Form mit den Rampenplatten zum Öffnen aus der Presse entnommen werden, was es nötig macht die Heiz-Kühlanlage Drucklos zu fahren. Dies ist nur bei Temperaturen unterhalb 50°C möglich, daher ist die Starttemperatur immer 50°C und die Entnahmetemperatur ebenfalls.

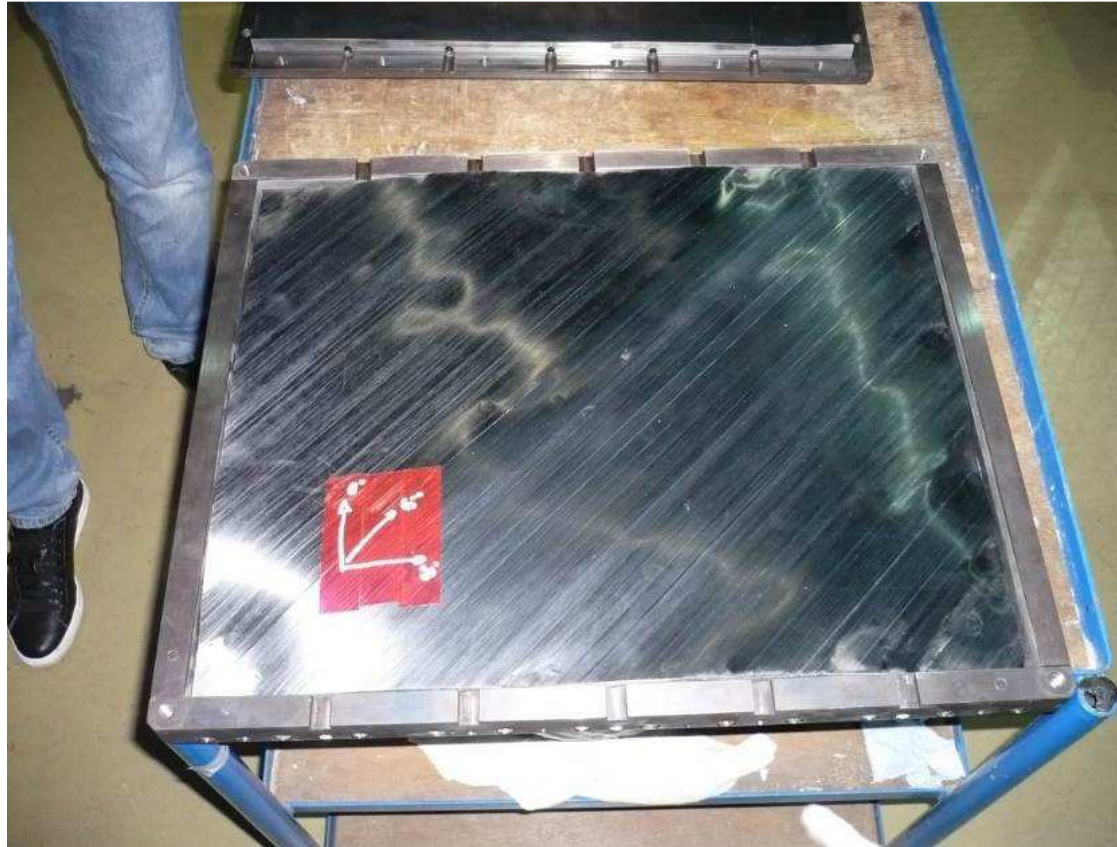
Es wurden insgesamt 9 Sheet-Demonstratoren hergestellt, bis es zu einer Beschädigung der Geometriegebenden Bauteile gekommen ist. Die hergestellten Demonstratoren sind an das Faserinstitut Bremen und das IFS Braunschweig übergeben worden. Das Faserinstitut prüft diese für das Deliverable 6 im TP 3.2. Das IFS Braunschweig wird den Sheet-Demonstrator für Schweißversuche verwenden.

Mit der beschädigten Form sind weitere 4 Bauteile hergestellt worden, bei denen verschiedene Drücke verwendet wurden. Diese Platten sind ebenfalls dem Faserinstitut Bremen für Prüfungen übergeben worden.



Datum	Platte	Preform 1	Preform 2	Ort
04.02.2015	SICO RF 1	CTC 1	Start bei 75, falsche Länge (?)	Sico
05.02.2015	SICO RF 2	CTC 2	Start bei 75, falsche Länge (?)	Fibre
10.02.2015	SICO RF 3	CTC 3	Start bei 75, falsche Länge (?)	Sico
19.02.2015	SICO RF 4	Sico 1	Start bei 75, richtige Länge	Sico
12.03.2015	SICO RF 5	Sico 2	Start bei 75, richtige Länge	Fibre
23.03.2015	SICO RF 6	Sico 3	Start bei 75, richtige Länge	IFS
25.03.2015	SICO RF 7	Sico 4	Start bei 75, richtige Länge	Fibre
30.03.2015	SICO RF 8	CTC 7	Start bei 75, richtige Länge, muss angepasst werden um in die Form zu passen	IFS
31.03.2015	SICO RF 9	CTC 8	Start bei 75, richtige Länge, muss angepasst werden um in die Form zu passen. Untere, Innere Form hängt fest, Beschädigung der Unteren Inneren Form beim lösen	Fibre
09.06.2015	SICO RF 10	Sico 5	Ohne äußere Form, Beule erkennbar	Fibre
10.06.2015	SICO RF 11	CTC 9	Ohne äußere Form, Beule erkennbar, Druck auf 57bar	Fibre
16.06.2015	SICO RF 12	CTC 5	Start bei 55, richtige Länge, Druck wieder auf 46,6bar, Ohne äußere Form, Beule erkennbar	Fibre
30.06.2015	Sico RF 13		Druck runter auf 40bar. Schlechtere Oberfläche	Fibre

**Abbildung 25: Herstellliste Sheet-Demonstrator**



**Abbildung 26: Preform in Innenform**



**Abbildung 27: Zwei fertige Sheet-Demonstratoren**

## Herstellung von Musterplatten für Couponversuche

Neben den Sheet-Demonstratoren wurden weiterhin ebene Platten für das IFS und das Faserinstitut hergestellt. Diese Platten variieren im Lagenaufbau, Prozessführung und Trennmittelgehalt. An den Platten werden Schweißversuche sowie Prüfungen vorgenommen.

Herstell-#	Plattenbezeichnung	Lagenaufbau	Maße	Solidicke	Kommentar	Datum
1	Fibre V101	0 0 0 0   0 0 0 0	300 x 400	1,08	Platte 4 seit eintrennen	12.01.2015
2	Fibre V102	0 0 0 0   0 0 0 0	300 x 400	1,08		12.01.2015
3	Fibre V103	0 0 0 0   0 0 0 0	300 x 400	1,08	mit 1mm Leisten, bringt nix	12.01.2015
4	Fibre V104	0 0 0 0   0 0 0 0	300 x 400	1,08	frisches TM	12.01.2015
5	Fibre V105	0 0 0 0   0 0 0 0	300 x 400	1,08		12.01.2015
7	Fibre V201	0 0 0 0   0 0 0 0	450 x 400	1,08	klappt	13.01.2015
8	Fibre V202	0 0 0 0   0 0 0 0	450 x 400	1,08	Leisten mit TM	13.01.2015
9	Fibre V203	0 0 0 0   0 0 0 0	450 x 400	1,08		13.01.2015
10	Fibre V204	0 0 0 0   0 0 0 0	450 x 400	1,08		13.01.2015
11	Fibre V205	0 0 0 0   0 0 0 0	450 x 400	1,08	Störung bei der Kühlung	13.01.2015
12	SICO FV201	0 0 0 0   0 0 0 0	450 x 400	1,08	Neue Bleche, frisches TM	15.01.2015
24	Fibre V301	0 0   0 0	450 x 400	0,54	Neue Bleche, frisches TM, 2. Mit 0,5mm Leisten, wie V2xx	19.01.2015
25	Fibre V302	0 0   0 0	450 x 400	0,54		19.01.2015
26	Fibre V303	0 0   0 0	450 x 400	0,54		19.01.2015
27	Fibre V304	0 0   0 0	450 x 400	0,54		19.01.2015
28	Fibre V305	0 0   0 0	450 x 400	0,54		19.01.2015
29	SICO FV301	0 0   0 0	450 x 400	0,54		21.01.2015
6	Fibre V401	0 9 0 9   9 0 9 0	300 x 300	1,08		13.01.2015
13	Fibre V402	0 9 0 9   9 0 9 0	300 x 300	1,08		15.01.2015
14	Fibre V403	0 9 0 9   9 0 9 0	300 x 300	1,08		15.01.2015
15	Fibre V404	0 9 0 9   9 0 9 0	300 x 300	1,08		15.01.2015
16	Fibre V405	0 9 0 9   9 0 9 0	300 x 300	1,08	frisches TM	15.01.2015
30	SICO FV401	0 9 0 9   9 0 9 0	300 x 300	1,08	Bleche 1	21.01.2015
17	Fibre V501	0 + - 9   9 - + 0	300 x 300	1,08		16.01.2015
20	Fibre V502	0 + - 9   9 - + 0	300 x 300	1,08	Neue Bleche, frisches TM, 1	16.01.2015
21	Fibre V503	0 + - 9   9 - + 0	300 x 300	1,08		16.01.2015
22	Fibre V504	0 + - 9   9 - + 0	300 x 300	1,08	klebt... (???)	16.01.2015
23	Fibre V505	0 + - 9   9 - + 0	300 x 300	1,08	1x TM	19.01.2015
31	SICO FV501	0 + - 9   9 - + 0	300 x 300	1,08		21.01.2015
32	SICO FV502	0 + - 9   9 - + 0	300 x 300	1,08	frisches TM, 1	22.01.2015
33	SICO FV503	0 + - 9   9 - + 0	300 x 300	1,08		22.01.2015
34	Fibre V601	..0 0 0 0   0 0 0 0..	300 x 300	12,42	92 Lagen, 3. Mit 10mm Leisten rundherum	
18	Fibre V701	0 9 0 9   9 0 9 0	300 x 300	1,08	mit Abreißgewebe, ohne TM	16.01.2015
19	Fibre V702	0 9 0 9   9 0 9 0	300 x 300	1,08	mit Abreißgewebe, mit TM; Gewebe in TM ca. 10min eingelegt, anschließend ca. 1h bei 100°C im Ofen getrocknet Blech mit frischem TM	16.01.2015
					Ab Nummer 20 zwei Blechsets. Bezeichnet mit 1 und 2 im Kommentar Nummer 34 mit neuem Blechset 3	

Abbildung 28: Herstellliste Fibre

Abschlussbericht zum Teilvorhaben Siempelkamp

Pos	Layup	Zusatz/Kommentar	Anzahl	Dicke	Ziel	Zusatzlagen Herstell-	# Plattenbezeichnung
1	+9-0+9+0-9-+	Dünnster LA (LA = Laminataufbau)	4	1,755	Schweißcoupon, Prozess	1	IFS V101
	+9-0+9+0-9-+	Dünnster LA		1,755	Schweißcoupon, Prozess	2	IFS V102
	+9-0+9+0-9-+	Dünnster LA		1,755	Schweißcoupon, Prozess	3	IFS V103
	+9-0+9+0-9-+	Dünnster LA		1,755	Schweißcoupon, Prozess	4	IFS V104
6	+9-0+9+0-9-++9-0+9+0-9-+	Dünnster LA, sym. Verdoppelt	1	3,51	Referenzprobenherstellung	5	IFS V201
3	+9-0+9+0-9+0-9-+	Mittlerer LA	2	2,295	Schweißcoupon, Prozess	6	IFS V501
	+9-0+9+0-9+0-9-+	Mittlerer LA		2,295	Schweißcoupon, Prozess	7	IFS V502
11	+9-0+9+0-9-+T	Dünnster LA mit zusätzlicher Thermoplastschicht (PE	1	2,295	Erhöhung des Thermoplastanteils in Fügefläche	1XPeek	8 IFS V301
10	+9-0+9+0-9G	Dünnsten LA mit Gewebe an Oberfläche	1	2,295	Gezielter Wärmeeintrag nahe der Fügefläche	1xGewebe	9 IFS V401
12	+9-0+9+0-9-+TM1	Dünnster LA mit wenig Trennmittel	1	1,755	Einfluss Trennmittelgehalt auf Festigkeit Fügegest	TM1	10 IFS V601
13	+9-0+9+0-9-+TM2	Dünnster LA mit normal Trennmittel	1	1,755	Einfluss Trennmittelgehalt auf Festigkeit Fügegest	TM2	11 IFS V602
14	+9-0+9+0-9-+TM3	Dünnster LA mit viel Trennmittel	1	1,755	Einfluss Trennmittelgehalt auf Festigkeit Fügegest	TM3	12 IFS V603
15	+9-0+9+0-9-+TM4	Dünnster LA mit sehr vielTrennmittel	1	1,755	Einfluss Trennmittelgehalt auf Festigkeit Fügegest	TM3	13 IFS V604
10	+9-0+9+0-9G	Dünnsten LA mit Gewebe an Oberfläche	1	2,295	Gezielter Wärmeeintrag nahe der Fügefläche	1xGewebe	14 SICO V401
1	+9-0+9+0-9-+	Dünnster LA	1	1,755	Schweißcoupon, Prozess		15 SICO V101
<del>11</del>	<del>+9-0+9+0-9-+T</del>	<del>Dünnster LA mit zusätzlicher Thermoplastschicht (PP</del>	<del>1</del>	<del>2,295</del>	<del>Erhöhung des Thermoplastanteils in Fügefläche</del>	<del>1XPPS</del>	
16		Spezialplatte (siehe Zeichnung)	1		Untersuchung des Erwärmungsverhaltens		
17	+9-0+9+0-9-+ -+0+9-0-9+0+-	Dünster LA, Verdoppelt	2	3,51	Referenzprobenherstellung		16 IFS V701
	+9-0+9+0-9-+ -+0+9-0-9+0+-	Dünster LA, Verdoppelt		3,51	Referenzprobenherstellung		17 IFS V702
6	+9-0+9+0-9-++9-0+9+0-9-+	Dünster LA, sym. Verdoppelt	1	3,51	Referenzprobenherstellung		18 IFS V202
Trennmittel:		ACMOS 2-1031-3					
T = Thermoplastfolie							
G = Gewebelage (C-Faser, Thermoplast)							
TM= Trennmittel							

Abbildung 29: Herstellliste IFS

**Detaillierte Beschreibung der Arbeitsinhalte zum Thema „Design und Fertigung erforderlicher Formwerkzeuge“:**

Für die Umformversuche im großen Maßstab ist die konzeptionelle Ausarbeitung des Umformvorgangs abgeschlossen.

Verwendet wird eine Membranpresse mit Drucküberlagerung.

Hierbei wird das zu formende Bauteil zunächst erhitzt und anschließend von einer Membran über die formgebende Kontur gezogen.

Dies geschieht durch ziehen eines Vakuums auf der einen Seite der Membran und Anlegen eines Druckes auf der anderen Seite.

Das Werkzeug wird für die Umformung erwärmt, um ein zu schnelles Auskühlen des Formlings zu verhindern.

Bei diesem Konzept der Fest-Weich Umformung kann eine Oberform, die die Membran enthält und Druckfest ist, für alle Umformvorgänge verwendet werden.

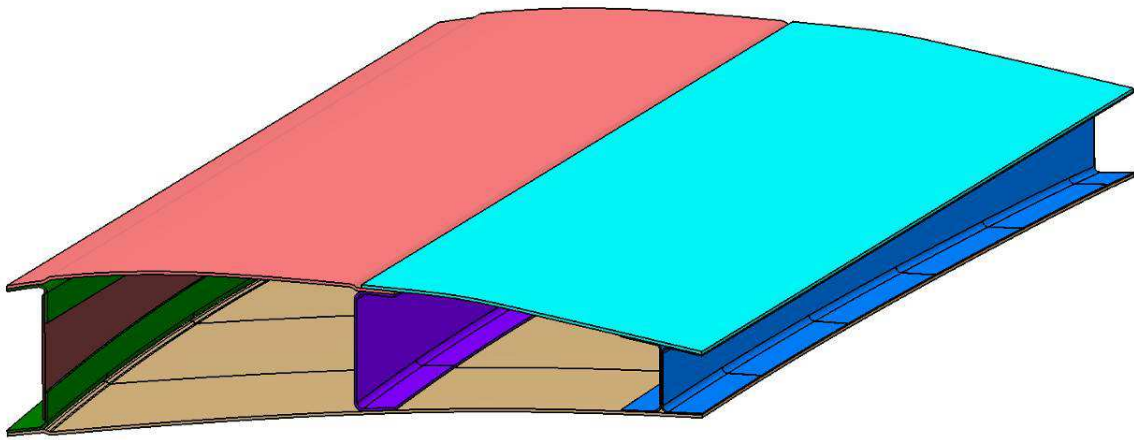
Die Unterform muss entsprechend an das zu erstellende Bauteil angepasst werden.

Für Versuche im kleinen Maßstab sind die konstruktiven Arbeiten abgeschlossen und entsprechende Teile bestellt worden.

Für die Großversuche ist die Konstruktion der Oberform bereits abgeschlossen und die Detailkonstruktion wird vorgenommen.

Die Geometrien für die herzustellenden Teile werden durch Airbus beigestellt.

Das Material für die Umformversuche wird durch Xperion konsolidiert und durch Siempelkamp umgeformt.



**Abbildung 30: Zieldesign für die Umformversuche im großen Maßstab**

## **Umformversuche mit Membrantechnologie**

Zur Verifizierung der Membrantechnologie wurden Vorversuche mit einem Holzwerkzeug und einem Vakuumentisch vorgenommen. Das Holzwerkzeug verfügt über einen Hinterschnitt und hat die geringste Dicke in der Mitte, wie auch die späteren Holme für die Evaluations-Box.

Das Holzwerkzeug ist nicht beheizt und mit dem Vakuumentisch kann nur ein Druck von ca. 1bar auf das Halbzeug aufgebracht werden. Diese Limitierungen zeigen sich auch in den Versuchen, die Ergebnisse sind jedoch vielversprechend für die größeren, beheizten Werkzeuge.

Für die Umformversuche werden die PEEK Platten zunächst auf ca. 400°C erhitzt und anschließend auf dem Werkzeug platziert. Über die Vakuumpumpe wird die Membrane über das Werkzeug mit dem Halbzeug gezogen. Durch die fehlende Temperatur erstarrt die Bewegung des Halbzeugs.

Der Prozess ist angelehnt an die Airbus Vorschrift AIPI 03-02-020 für das Thermoformen von Thermoplasten. Mit den beheizten Werkzeugen kann die Airbus Vorschrift dann vollständig berücksichtigt werden.



**Abbildung 31: Gezogene Membran über Holzwerkzeug**



**Abbildung 32: Umgeformtes Probestück**

### **Werkzeuge für Membrantechnologie**

Das in 2014 zur Technologieerprobung konstruierte Versuchswerkzeug ist inzwischen gefertigt und angeliefert worden.

Für den Einbau in die Anlagen des Versuchsfeldes, sind Vorrichtungen konstruiert und beauftragt worden. Verwendet werden bereits im Versuchsfeld vorhandene Anlagen, wie die Thermoöl Anlage und die 4x8' Presse.

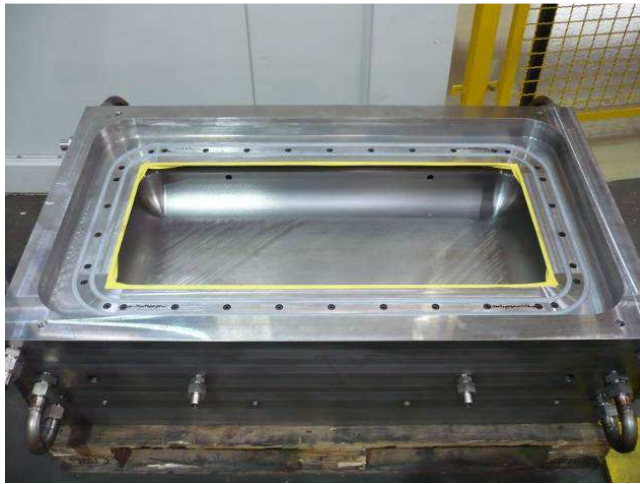
Die zusätzlich angeschafften Anlagen, wie das Infrarotstrahlerfeld und die Vakuumanlage sind bereits so ausgelegt, dass die Anlagen auch für die großformatigen Versuche verwendet werden können.



## Abschlussbericht zum Teilvorhaben Siempelkamp

Für die Umformversuche im großen Maßstab ist die Konstruktion für das Werkzeug weitergeführt worden und wird im Anschluss an die vorgenannten Versuche im kleinen Maßstab beendet und das Werkzeug beauftragt.

Durch das Ausscheiden von Xperion aus dem Projekt müssen die zu formenden Halbzeuge anderweitig beschafft werden. Dies wird durch Airbus organisiert.



**Abbildung 33: Umformkoffer mit Druckanschlüssen**



**Abbildung 34: Untere Form mit Vakuumananschlüssen**



**Abbildung 35: Membran im Wechselrahmen**



**Abbildung 36: 4x8' Presse des Versuchsfelds**



**Abbildung 37: Sekundärstation für  
Thermoöllumlauf**



**Abbildung 38: Vakuumpumpe mit Tank**

## **Umformversuche mit der kleinen Membranpresse**

Die im ersten Halbjahr 2015 gefertigte Versuchsform mit Membrantechnologie ist in Betrieb genommen und verschiedene Versuche mit unterschiedlichen formgebenden Werkzeugen wurden vorgenommen.

Für die Verzugssimulation am Fibre wurden verschiedene Platten mit ungewöhnlichen Lagenaufbauten hergestellt, um den Einfluss des Lagenaufbaus auf den Verzug mit den Simulationsergebnissen vergleichen zu können.

Für die Umformversuche mit der Versuchsform sind verschiedene Werkzeuge gefertigt worden. Diese Werkzeuge unterscheiden sich vor allem in dem verwendeten Material. Verwendet wurden normales Aluminium und ein Aluminiumschaum. Der Aluminiumschaum ist Luftdurchlässig.

Die Werkzeuge wurden jeweils als Matrize und als Patrize hergestellt, um mögliche Einflüsse in der Formungsstrategie auf das Umformergebnis untersuchen zu können.

Eine Sichtprüfung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Matrize und Patrize.

Ein deutlicher Unterschied ergab sich allerdings zwischen Aluminium und Aluminiumschaum.

Aufgrund der Luftdurchlässigkeit des Aluminiumschaums befinden sich an der Oberfläche weniger Lufteinschlüsse. Im Vergleich zum reinen Aluminium ist die Oberfläche der mit Schaum hergestellten Platten allerdings deutlich rauer, da sich die Porenstruktur auf dem Bauteil abzeichnet. Der verwendete Aluminiumschaum hatte eine mittlere Porengröße, mit kleineren Poren lassen sich hier evtl. Vorteile erzielen. Eine genauere Prüfung der Platten wird am Faserinstitut vorgenommen.

Die Großwerkzeuge werden aus Aluminiumschaum hergestellt, mit der Sichtseite bzw. Außenseite zur Membran.

In der ersten Auslegung war geplant, die konsolidierten Rohplatten mit einem Infrarotstrahler von einer Seite zu durchheizen, während die Platten auf dem Werkzeug liegen. Es zeigte sich, dass das Werkzeug zu viel Energie aus der Platte zieht und somit eine gute Durchwärmung verhindert wird.

Der vorhandene Bewegungsarm für den Infrarotstrahler wurde daraufhin so umgebaut, dass mit Hilfe eines aus dünnem Draht gefertigten Korbes die Platte unter den Infrarotstrahler gehängt werden kann. Nach dem Durchheizen der Platte wird diese im Korb über das Werkzeug geschoben und beim Ausziehen des Arms mit einer Zange festgehalten und auf der Form abgelegt.

Zur Verbesserung der Durchheizung wurde ein zweiter Infrarotstrahler bei ausgezogenem Arm unter die Platte gelegt. Die Durchheizung wird damit deutlich verbessert.

Die Durchheizung von zwei Seiten ist für das Material besser, Hot-Spots und nicht durchheizte Stellen lassen sich dadurch verringern. Für das Großwerkzeug werden zwei Infrarotstrahler angeschafft.

Die Platzierung der durchgeheizten Platte mit der Zange ist sehr ungenau und nicht reproduzierbar. Für das Großwerkzeug muss hier eine andere Lösung gefunden werden.

Die Membran zeigt nach der Nutzung deutliche Spuren. Mehrfach ist es auch zu einem Reißen der Membrane gekommen. Um dies zu verhindern, darf es keine scharfen Kanten auf der Vakuumseite der Membran geben.

Beim Schließen der Presse muss darauf geachtet werden, dass die Presse vor dem Aufgeben des Umforminnendrucks genügend hydraulischen Gegendruck aufgebaut hat.

Auch sollte verhindert werden, dass die Rohplatten einen großen Überstand über das Werkzeug haben, da es passieren kann, dass die Membran unter die Platte gezogen wird und von der Platte aufgeschnitten wird.

Wenn dies berücksichtigt wird, kann eine Membran über mehrere Versuche verwendet werden.

Bei den hier vorgenommenen Versuchen zeigte sich, dass die Membran über die Zeit aus der Klemmung rutschen konnte. Eine konstruktive Anpassung ist hier vorgesehen. Für einen industriellen Einsatz muss der Membranwechsel vereinfacht und automatisiert werden.

Eine konstruktive Änderung ist ebenfalls bei der Dichtung vorgesehen. Zur Abdichtung von Druckseite und die Vakuumseite gegeneinander und gegen den Umgebungsdruck, wird bei den Versuchsformen eine Rundschnurdichtung verwendet. Aufgrund der Materialeigenschaften können diese Dichtungen nicht dauerhaft hohen Temperaturen ausgesetzt werden. Für den industriellen Einsatzfall muss eine bessere Dichtungslösung entwickelt werden.

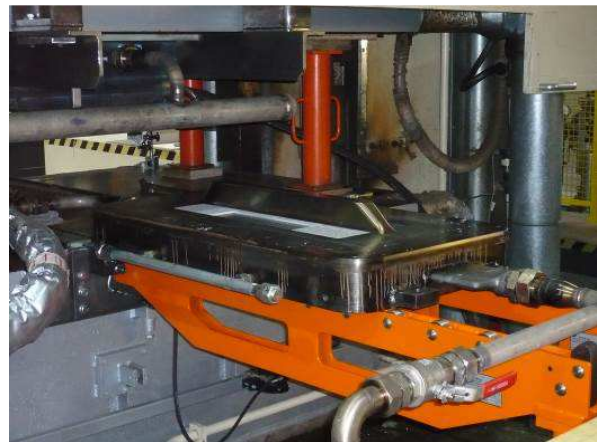
Die Versuche zeigen eine gute Tendenz für das Verfahren. Aufgrund des hohen Anteils an manuellen Schritten bei dem bisherigen Versuchsaufbau ist es nur schwer machbar, mit gezielter Variation in den Parametern eine Optimierung durchzuführen.

Die Verwendung vorhandener Anlagentechnik führt zu Problemen bei der Versuchsdurchführung. Insbesondere können schnelle Abläufe nur unzureichend gesteuert werden. Bei den Versuchen zeigte sich, dass Platten, auf die nach nur einem kurzen Zeitraum der volle Umformdruck wirkt, optisch bessere Ergebnisse haben. Mit der vorhandenen Anlagentechnik sind im Minimum nur Zeiten von ca. 7-8 Sekunden möglich. Mit einer auf hohe Geschwindigkeiten ausgelegten Presse und einem automatisierten Ablauf kann die Zeit reduziert werden.

Für die sich abzeichnende Industrialisierungsphase ist daher die Installation einer entsprechend ausgelegten, vollautomatisierten Anlagentechnik notwendig.



**Abbildung 39: Bewegungsarm**



**Abbildung 40: Ausgefahrene Unterform**

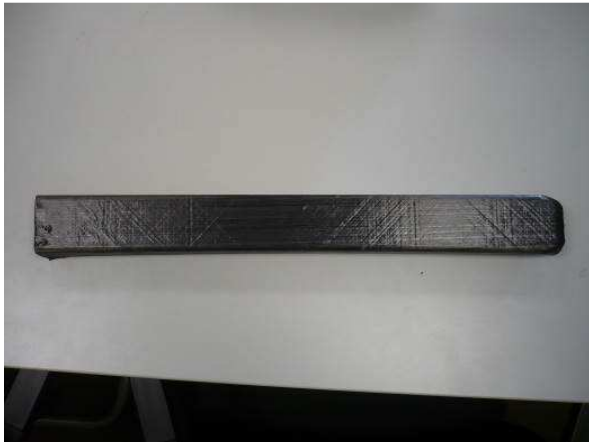


Abbildung 40: Umgeformter Holm



Abbildung 41: Umgeformte Haut

### Konsolidierte Platten für die Verzugssimulation

Für die Verzugssimulation des Faserinstituts Bremen wurden Platten mit ungewöhnlichen Lagenaufbauten hergestellt.

Diese Platten weisen aufgrund ihres nicht symmetrischen Aufbaus deutliche Verformungen auf. Diese Verformungen werden am Faserinstitut vermessen und die Ergebnisse mit der Simulation verglichen.

Folgende Lagenaufbauten wurden hergestellt:

Anzahl	Lagenaufbau
1x	0,0,0,0,0 90,90,90,90,90
1x	90,90,0,90,0 0,90,0,90,0
1x	0,90,90,90,0 0,90,0,90,0
1x	0,90,0,90,90 0,90,0,90,0

## **Konstruktion und Bau der großen Membranpresse**

Auf der Grundlage der im zweiten Halbjahr 2015 durchgeführten Versuche auf der Versuchsform mit Membrantechnologie wurde die Konstruktion der Großform an einigen Stellen modifiziert und dann zur Fertigung freigegeben.

Die Fertigung der Schwerteile erfolgte in der Siempelkamp Maschinenfabrik in Krefeld. Einige kleinere Teile wurden bei lokalen Siempelkamp Zulieferern in Auftrag gegeben.

Anschließend erfolgte die Verrohrung und der Einbau in die im Versuchsfeld vorhandene 4´x 8´-Presse.

Die Formen für die verschiedenen zu fertigenden Teile für die Evaluation-Box wurden, wie in den Vorversuchen ermittelt aus Aluminiumschaum mittlerer Porung hergestellt.

Die Herstellung der Formen erfolgte bei der Formbaufirma Hermesmeier und Greveling.

## **Umformversuche mit der großen Membranpresse**

Für die Umformversuche mit der großen Versuchsform sind sieben verschiedene Werkzeuge gefertigt worden. Dabei handelte es sich um drei Formen für die Cover sowie vier Formen für die verschiedenen Spars.

Verwendet wurden Aluminiumschaumblocks mit mittlerer Körnung. Die Größe der lieferbaren Aluminiumschaumblocks ist limitiert. Daher mussten die verschiedenen Formen aus jeweils mehreren Aluminiumschaumblocks zusammengesetzt werden.

Hierzu wurden die einzelnen Blocks auf einer Stahlunterkonstruktion verschraubt und dann gemeinsam zur Endkontur der jeweiligen Form bearbeitet.

Da die Aluminiumschaumblocks in einem händischen Gießverfahren hergestellt werden, zeigten die fertigen Formen eine teilweise deutlich unterschiedliche Oberflächenqualität und Porung.

### **Herstellung der Cover für die Evaluation-Box:**

Wie in den Vorversuchen auf der kleinen Versuchsform ermittelt, wurden die Cover mit der Sichtseite

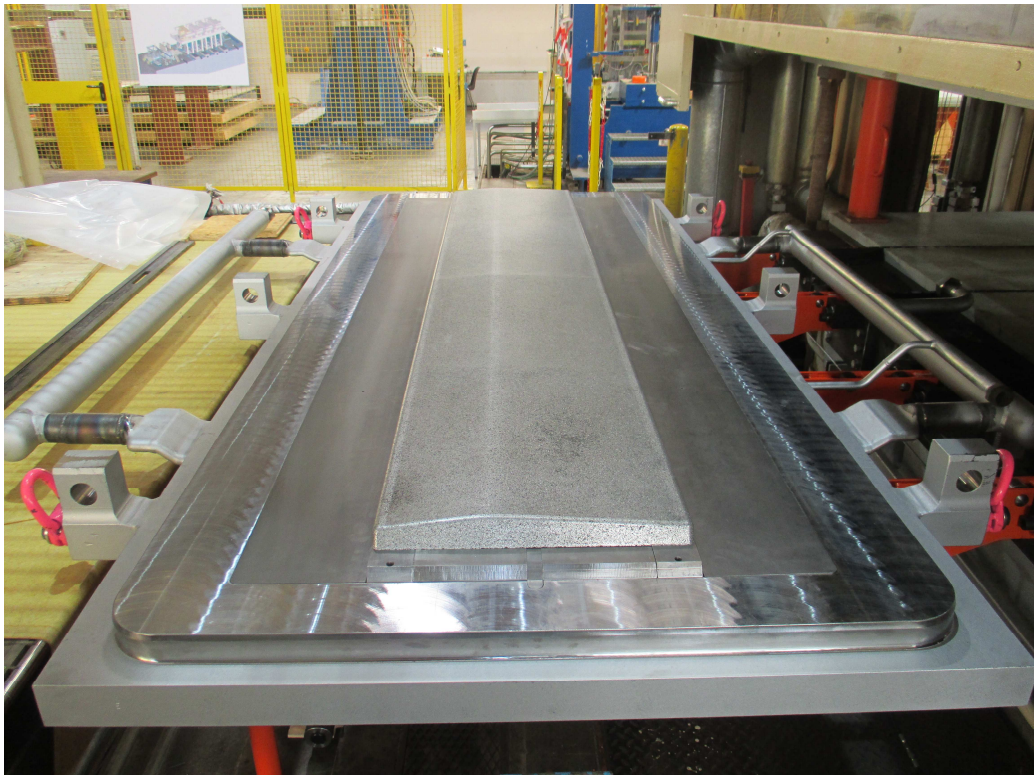
zur Membran hergestellt. Aufgrund der Luftdurchlässigkeit des Aluminiumschaums befinden sich auch an der Oberfläche der großen Teile nur wenige Lufteinschlüsse. Damit konnte in diesem Punkt die Richtigkeit der Vorversuche bestätigt werden.

Die Formtreue der abgeformten Teile war ebenfalls gut, da sie auch in den größeren Dimensionen flächig auf die Aluminiumschaumwerkzeuge aufgezogen wurden.

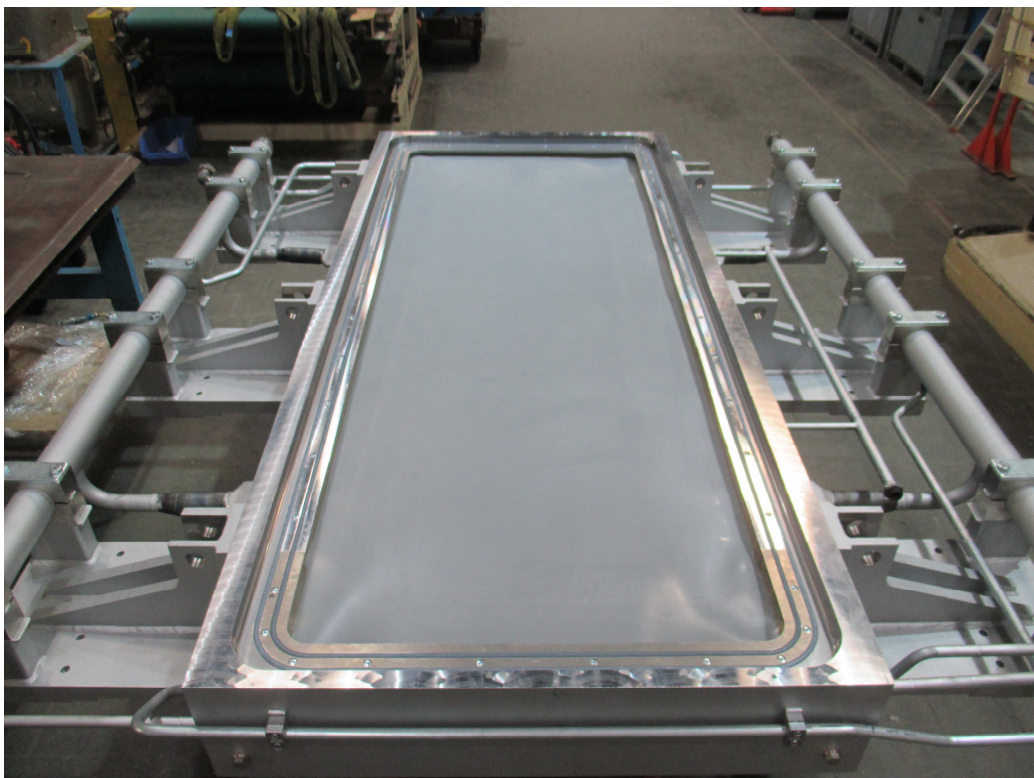
Durch die oben beschriebene unterschiedliche Oberflächenqualität der einzelnen Schaumblocks telegrafierten die Rauigkeiten bis auf die Sichtseite der Cover durch. Die Oberflächenqualität wurde in Abstimmung mit den Projektpartnern als unzureichend für eine Außenfläche klassifiziert.

Die Abdeckung der Formoberflächen mit einem Vlies verbesserte die Oberflächenqualität nur unwesentlich. Die untergelegten Vliese führten allerdings zu einer Faltenbildung in den Covern, die nicht akzeptiert werden konnte.

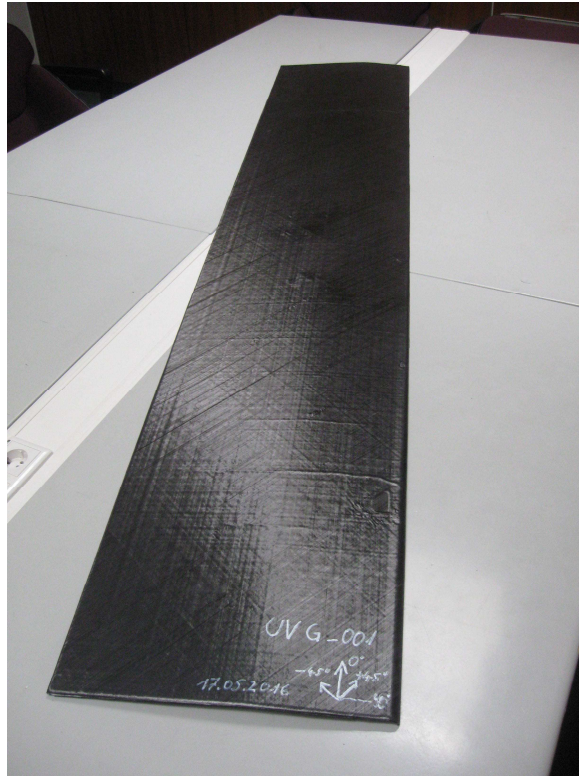




**Abbildung 42: Unterform mit montierter Coverform**



**Abbildung 43: Oberform mit eingebauter Membran**



**Abbildung 44: Fertig gepresstes Cover**

### **Ergebnis:**

Die grundsätzliche Machbarkeit des Membranverfahrens mit Aluminiumschaumformen für größere Bauteile konnte nachgewiesen werden. Aufgrund der schwankenden Qualität der Aluminiumschaumblocks war die Oberflächenqualität unzureichend. Die Herstellung der Aluminiumschäume muss verbessert werden, um das Verfahren für den industriellen Einsatz zu ertüchtigen.

Damit für die Evaluation-Box vorzeigbare Cover zur Verfügung stehen, wurde zwischen den Projektpartnern einvernehmlich beschlossen, die benötigten Cover im klassischen Verfahren auf den Originalformen bei der PAG herzustellen.

### **Herstellung der Spars für die Evaluation-Box:**

Für die Herstellung der Spars wurden sowohl nichtkonsolidierte als auch vorkonsolidierte Rohlinge verwendet. Für die Verwendung der nichtkonsolidierten Rohlinge mussten zunächst die Beheizung und der gesamte Prozessablauf optimiert werden. Die nichtkonsolidierten Rohlinge zeigten eine starke Welligkeit in der Erwärmungsphase. Dies führte zu verlängerten Durchheizzeiten und einer teilweise unzureichenden Durchwärmung der inneren Lagen. Das Aufgehen der einzelnen Lagen konnte durch eine punktuelle Verschweißung der Lagen mit einem Ultraschallschweißgerät, soweit verbessert werden, dass ein gleichmäßiges Durchwärmen möglich wurde.

Parallel zu den Versuchen mit dem punktuellen Verschweißen wurde die Infrarotbeheizung optimiert. Die Höhenlage der oberen und unteren Strahler wurde in mehreren Schritten optimiert. Die seitliche Abschirmung des Beheizungsbereiches wurde verbessert. Als wesentliche Maßnahme wurde der gesamte Prozessablauf dahingehend optimiert, dass die Manipulations- und Presszeit insgesamt deutlich verkürzt werden konnte. Ansonsten kam es durch die spontane Abkühlung auf den kälteren Formen zu einer vorzeitigen Erstarrung der unteren Lagen.

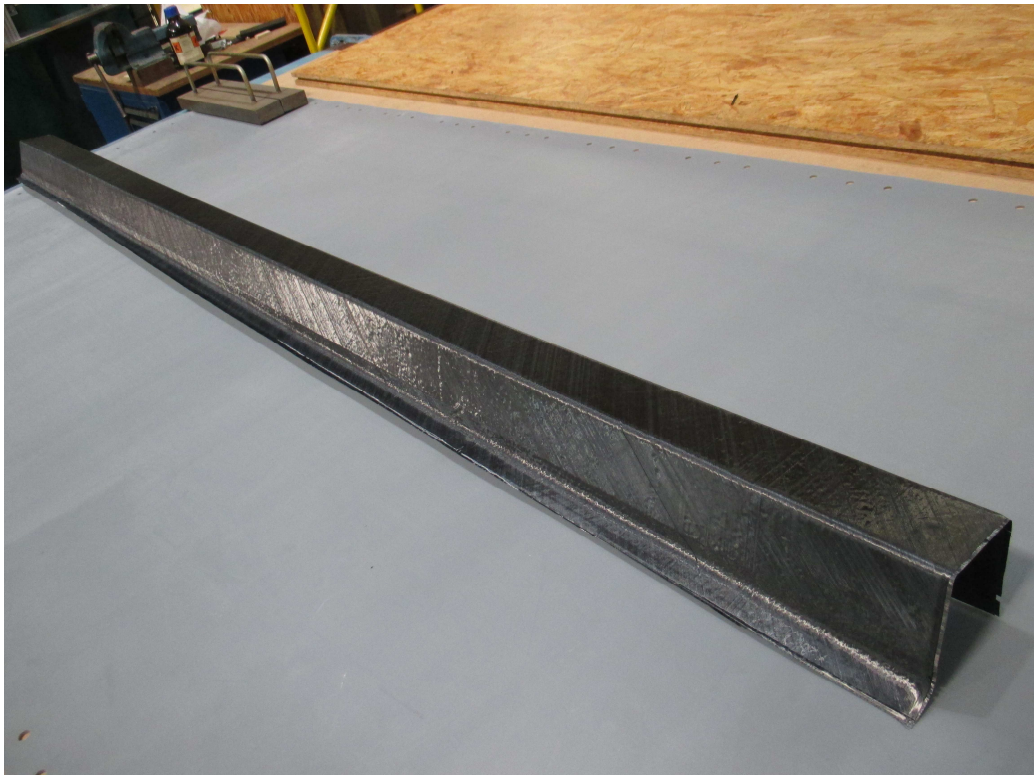
Dies führte zu einer ungleichmäßigen Abformung sowie zu einer unzureichenden Konsolidierung. Nach geduldiger Optimierung aller Teile und Verfahrensschritte konnte schließlich ein Stand erreicht werden, der die planmäßige Herstellung der Spars aus vorkonsolidierten Rohlingen der Fa. PAG ermöglichte.



**Abbildung 45: Optimierter Aufbau mit nichtkonsolidiertem Rohling**



**Abbildung 46: Fertig gepresster Spar auf der Unterform**



**Abbildung 47: Fertig gepresster Spar nach Entnahme**

Bei der gemeinsamen Herstellung der Spars in Anwesenheit aller Projektpartner kam es dann Ende Juni zu einer Explosion der mit Stickstoff gefüllten Form. Dies führte zu einer starken Verformung der Spannrahmen und des gesamten Membranspannsystems, die einen Weiterbetrieb der großen Versuchsform unmöglich machte.



**Abbildung 48: Druckkoffer mit eingeschraubtem Spannrahmen**



**Abb. 49: Druckkoffer mit eingeschraubtem Spannrahmen, Detail**



**Abbildungen 50 und 51: gestauchter und verzogener Spannrahmen**



**Abbildung 52: verzogener Spannrahmen**

**Abbildung 53: Dichtungsdefekt**

Durch eine letztmalige kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens konnte die Reparatur der beschädigten Teile durchgeführt werden.

Die fehlenden Spars für die Evaluationbox konnten bis zum Ende des Förderzeitraums hergestellt werden.

Die Endbearbeitung aller Teile erfolgt im Unterauftrag des Projektpartners Siempelkamp bei der PAG in Bremen.

Die Endmontage aller Teile einschließlich der Verschweissung erfolgt im Auftrag des Projektpartners Airbus bei Airbus Helicopters.

Es wird gemeinsam angestrebt, das TRL 3 Level im Nachgang zum Projekt zu erreichen.

### **Zusammenfassung und Ausblick:**

#### **Zielerreichung:**

Trotz vielfältiger Probleme während der Projektlaufzeit, ist es den Partnern gelungen, die angestrebten Ziele zu erreichen.

Im Zuge dieses Projektes entstand ein neues Membranpreßverfahren, das nach übereinstimmender Meinung der verbliebenen Partner Airbus und Siempelkamp ein großes Potential für eine Weiterentwicklung hat. Weiterhin wurde in Zusammenarbeit aller Partner eine durchgehende Prozeßkette zur Herstellung thermoplastischer Boxstrukturen entwickelt.

Die Prozesskette geht von vorkonsolidierten oder auch nicht vorkonsolidierten thermoplastischen Halbzeugen aus. Die Halbzeuge werden in einem vorgelagerten Erwärmungsschritt mit Hilfe von beidseitig angebrachten Infrarotstrahlern auf die Umformtemperatur erwärmt.



Anschließend erfolgt der Transfer in die Membranamformpresse.

### **Wissenschaftliche Erfolgsaussichten:**

Dieses Pressensystem ermöglicht sehr kurze Umformzeiten von wenigen Minuten.

Hierdurch konnte ein wesentlicher prozesstechnischer Fortschritt gegenüber dem Stand der Technik erzielt werden.

Der Stand der Technik ist die Erwärmung und Konsolidierung in einem Autoklavsystem.

Durch die bei diesem Verfahren notwendige Erwärmung und anschließende Abkühlung des gesamten Autoklavsystems erfordern die Prozesse nach dem Stand der Technik Prozesszeiten von mehreren Stunden.

Die Umformgenauigkeit und Konturtreue der hergestellten Teile ist hoch. Es konnten maßhaltige Teile für die Weiterverarbeitung hergestellt werden.

Das Fügen der wie beschrieben hergestellten Teile erfolgt im Schweißverfahren.

Nach umfangreichen Vorversuchen des Partners TU Braunschweig, hat die Fa. Airbus Helicopters im Auftrag der Fa. Airbus Operations den finalen Zusammenbau der Evaluation - boxen übernommen.

### **Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:**

Neben der Fertigung der in diesem Projekt erprobten Boxstrukturen, können nach Meinung der Projektpartner auch größere, einfach oder mehrfach gekrümmte Hautstrukturen nach diesem neuen Verfahren hergestellt werden.

Dem Partner Siempelkamp ist es im Verlaufe des Projektes gelungen, den Projektführer Airbus von der Machbarkeit des Pressenkonzeptes für große und größte Teile aus thermoplastischen Halbzeugen zu überzeugen. Damit ist eine Umsetzung des neuen Verfahrens bei der Herstellung von Flugzeugstrukturen in greifbare Nähe gerückt.

Aufgrund der kurzen und damit serienfähigen Umformzeiten, ist auch der Einsatz im Großserienbereich, wie z.B. der Automobilindustrie interessant geworden.

Die Fa. Siempelkamp ist u.a. auch an dem von Volkswagen geführten ProVorPlus Projekt beteiligt. In diesem Projekt geht es zunächst um die Entwicklung einer thermoplastischen Batteriewanne für ein Hybridfahrzeug.

Im weiteren geht es aber auch darum, die industrielle Verarbeitung von thermoplastischen Halbzeugen in die Automobilindustrie einzuführen.

Nach Maßgabe des Volkswagenkonzerns, soll sich bei zukünftigen, auf thermoplastischen Halbzeugen basierenden Fahrzeugfamilien, die Teileanzahl gegenüber der klassischen Blechbauweise um den Faktor 5-10 reduzieren.

Damit besteht auch in der Automobilindustrie der Ansatz, große integrierte Strukturen in einem Arbeitsgang zu fertigen.

Sollte dies gelingen, bieten sich erhebliche wirtschaftliche Erfolgsaussichten für die Fa. Siempelkamp auch im Automobilbereich.

### **Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlußfähigkeit:**

Wie bereits oben erwähnt, ist es dem Projektpartner Siempelkamp im Verlaufe des TP-Closed-Box-Projektes gelungen, den Projektführer Airbus und andere Marktteilnehmer von der Sinnhaftigkeit und Zukunftsfähigkeit des neuen Fertigungsprozesses zu überzeugen.

Dies findet unter anderem seinen Niederschlag in der gemeinsamen Einreichung einer neuen Projektskizze zwischen Airbus Operations und Siempelkamp mit dem Arbeitstitel TRumpf.

Im geplanten TRumpf-Projekt sollen die im TP-Closed-Box Projekt erarbeiteten Erkenntnisse für die Herstellung von integrierten Rumpfstrukturen genutzt und weiterentwickelt werden.

Die Verwertung der Erkenntnisse soll auch in einem weiteren Projekt mit den Firmen GKN / Fokker und FLT erfolgen. Hierzu wurde in Zusammenarbeit mit dem Faserinstitut in Bremen eine Projektskizze mit dem Arbeitstitel PRESSKLAV eingereicht.

In diesem Fall soll ein direkter Vergleich des im TP-Closed-Box Projekt erarbeiteten Verfahrens, zum derzeit bei GKN/Fokker eingesetzten Autoklavverfahren gemacht werden. Die Fa. GKN/Fokker fertigt Luftfahrtstrukturbauteile in relativ großen Stückzahlen. Daher ist die Umstellung auf ein modernes Pressverfahren mit adäquater Handlingstechnik für diesen Partner besonders wertvoll.

Im Forschungsbereich soll das Verfahren durch die Lieferung und die gemeinsame Nutzung einer Laborpresse an die TU Clausthal-Zellerfeld weiterverfolgt werden.