

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil I: Kurzbericht

Verbundprojekt

„Automatisierte individualdatenbasierte Fertigung von CFK-Komponenten durch Fiber Patch Placement (Patch2Patient)“

Teilprojekt

„Prozesskettenentwicklung/Automatisierung“

Förderkennzeichen

02P18C096

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Laufzeit

01.03.2020 - 30.06.2023

Zuwendungsempfänger

carbovation gmbh
Otto-Lilenthal-Straße 15
88046 Friedrichshafen



Projektleiter

Herr Borris Köpper
E-Mail: B.Koepper@carbovation.de

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02P18C096 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

1 Ursprüngliche Aufgabenstellung / wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Ursprüngliches Ziel des Verbundprojekts „Patch2Patient“ war es, Basistechnologien für eine digitale, flexible und weitgehend automatisierbare Wertschöpfungskette für die Einzelteil-, Kleinserien- und Serienproduktion medizintechnischer CFK-Bauteile und -komponenten bereitzustellen, die zur Fertigung notwendige FPP-Anlagentechnik als Versuchsaufbau zu realisieren und eine prototypische Planungssoftware zu entwickeln, die patientenspezifische Daten (wie Aktivitätsgrad, Patientengewicht, belastungsabhängige Formen von z. B. Muskeln,...) in die FPP-Planung einbinden kann.

Ziel unseres Teilvorhabens war die Realisierung der Anlagenhardware und der Aufbau eines Prozesses vom Legen und Weiterverarbeiten von FPP-Laminaten bis hin zum ausgehärteten Bauteil. Anlagenseitig sollte dazu gemeinsam mit dem Projektpartner cevotec GmbH die Grundlagen der Anlagentechnik konzeptioniert, ein Anlagenprototyp aufgebaut und dieser nach einer Funktionsprüfung in unser Technikum in Friedrichshafen transferiert werden. Dort war dann zunächst die Erprobung der Anlagentechnik an sich geplant, um Patchlamine aus Trockenfasern zu realisieren. Anschließend sollten Anlagentechnik und Patchvorgang auf Prepreg-Materialien übertragen sowie die Entwicklung der an die Laminatherstellung anschließenden Schritte von der Entnahme des Laminats aus der FPP-Anlage über das Aushärten bis hin zur Abschlussbearbeitung des Bauteils vor der Auslieferung an die Anwendungspartner erfolgen.

Ausgangspunkt unserer Arbeiten war der damals bekannte **Stand der Technik**, in dem kein Prozess zur automatisierten, prozessintegriert überwachten Herstellung von CFK-Bauteilen für die Medizintechnik bekannt war. Das Prepreg-Autoklav-Verfahren mit einem hohen Anteil an händischen Prozessen stellte vor Projektbeginn insbesondere in der Orthopädietechnik den Stand der Technik dar. Vollständig händisch erfolgt dabei neben dem Drapieren auch die gesamte anschließende Prozesskette vom Aushärten über die Nachbearbeitung bis hin zur Fertigstellung des Bauteils.

Stärker automatisierte Lösungen zur Herstellung von Preforms wurden lediglich bei sehr fortschrittlichen Herstellern in der Luftfahrt genutzt, beschränkten sich aber auf die Automatisierung bei großen Bauteilen, für die AFP (Automated Fiber Placement) als Herstellverfahren in Frage kommt. Für die Produktion typischer Medizintechnik-Bauteile, die in aller Regel individuell geformt und dadurch zwar ähnlich, aber nie identisch gleich sind, war (und ist) dieses Verfahren aber (nach wie vor) nicht flexibel genug und es gab **keine durchgängigen Automatisierungsansätze**. Die Bauteile wiesen somit einen recht hohen Grad an manueller Bearbeitung auf, was Genauigkeit und Reproduzierbarkeit deutlich einschränkt.

Mangels prozessintegrierter Überwachung war die Zeit für die Inspektion nach der Handablage immer der geschwindigkeits- und qualitätsbestimmende Schritt. Typischerweise erfolgte die Prüfung überwiegend am fertigen Preform oder gar erst am fertigen Bauteil, wodurch Fehler aber erst nach vollständiger Preformherstellung entdeckt werden konnten.

2 Ablauf des Vorhabens

In **Phase 1 des Projekts** wurden Prozess- und Anlagenkonzept entwickelt und ein gemeinsames Lastenheft erstellt. Schwerpunkt war dabei die Ermittlung und Erfüllung der Anforderungen an eine MPG-konforme Umsetzung eines Prepreg-Prozesses.

Phase 2 des Projekts diente der Realisierung und Untersuchung aller notwendigen anlagentechnischen Teillösungen. Gemeinsam mit den Partnern entwickelten wir die zentralen Anlagenkomponenten und bauten die benötigten Versuchsträger auf.

In **Phase 3** erfolgte die Verbindung der zentralen Verfahrensschritte mit der Planung am einen und der Weiterverarbeitung am anderen Ende der Wertschöpfungskette. Dabei wurden technologische Ansätze für das Formwerkzeug zur Patchablage untersucht und zusätzliche Anlagenfunktionen z.B. für den Einsatz variabler Patchlängen, Multimaterial-Zuführung und in-

Line-Prüfungen realisiert. Gemeinsam mit den Anwendungspartnern wurden anschließend alle Einzelschritte bei der Herstellung der Preforms evaluiert und technisch wie wirtschaftlich bewertet.

3 Wesentliche Ergebnisse (sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen)

Im Projekt wurden die Grundfunktionen einer Anlage für das Fiber Patch Placement untersucht und vom Partner cevotec ein Prototyp aufgebaut, der wesentlich auf unseren Vorarbeiten und unserem Input beruht.

Ebenso wurden die Prozessschritte beginnend mit der softwarebasierten Planung des Bauteils und darauf basierender Patchplanung (= Planung, welches Patch im Gesamtverbund an welcher Stelle wie platziert werden muss) untersucht. Die dabei entstandene Vorgabe konnten wir zunächst händisch in Versuchsbauteile umsetzen, anhand derer wir umfangreiche Untersuchungen zu Stabilität, Nachbearbeitung und Veredelung durchführten.

Während des Projektes konnten wir erfolgreich gepatchte Fußheberorthesen und Blutpumpendeckel realisieren, sowie einen ersten gepatchten Prothesenschaft herstellen und den Projektpartner GüntherBionics beim Patchen eines Patientenschaftes unterstützen.

Sehr intensiv haben wir uns mit der Gestaltung von Aushärte- und Patchwerkzeugen beschäftigt und dabei Materialien aus Aluminium, Stahl, ABS, PLA, PETG 3D und Gips erprobt. Als zielführend haben sich hohle 3D-Druck-Kunststoff-Werkzeuge erwiesen. Auf diesen kann über Vakuum eine PVC-Folie fixiert werden, auf welcher die erste Lage der Patches sehr gut haftet. Über eine Schneidnut kann die gepatchte Preform mittels einer Schablone in Form geschnitten werden und auf einem metallischen Aushärtewerkzeug ausgehärtet werden.

In einer Ablagestudie konnten wir zeigen, welche geometrischen Grenzen das FPP unterliegt und dass die Qualität der Ablage abhängig von der Länge der Patche, dem Harzgehalt, der Bindungsart sowie dem Faserflächengewicht der verwendeten vorimprägnierten Bänder ist.

Im späteren Projektverlauf erfolgte davon ausgehend von unseren Ergebnissen die maschinelle Herstellung von FPP-Bauteilen durch die Projektpartner.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil II: Ausführlicher Abschlussbericht

Verbundprojekt

„Automatisierte individualdatenbasierte Fertigung von CFK-Komponenten durch Fiber Patch Placement (Patch2Patient)“

Teilprojekt

„Prozesskettenentwicklung/Automatisierung

Förderkennzeichen

02P18C096

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Laufzeit

01.03.2020 - 28.02.2022

Zuwendungsempfänger

carbovation GmbH
Otto-Lilenthal-Straße 15
88046 Friedrichshafen



Projektleiter

Herr Borris Köpper
E-Mail: B.Koepper@carbovation.de

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 02P18C096 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1 Durchgeführte Arbeiten im Vergleich zur ursprünglichen Planung	1
2 Erzielte Ergebnisse	2
3 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	17
4 Notwendigkeit/Angemessenheit der geleisteten Arbeiten	17
5 <i>Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse</i>	17
6 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	17
7 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	18

Grau hinterlegte Teile sind vertraulich und in der Ausfertigung zur Veröffentlichung bei der TIB nicht enthalten.

1 Durchgeführte Arbeiten im Vergleich zur ursprünglichen Planung

Ziel unseres Teilprojekts war zunächst die Realisierung der Anlagenhardware und der Aufbau eines Prozesses vom Legen und Weiterverarbeiten von FPP-Laminaten bis hin zum ausgehärteten Bauteil. In der Planung umfasste dies die Realisierung von Bauteilmustern, Untersuchungen zum Einsatz von Prepreg-Patches und die Entwicklung der Technik zur Zuführung von verschiedenen Materialien. Prozessseitig waren wir für die Untersuchung der Voraussetzungen für eine medizinprodukttaugliche Prozesskette von der Laminatplanung bis zur abschließenden Nachbearbeitung des ausgehärteten Bauteils zuständig. Dies umfasste auch die weitgehende Automatisierung des Fertigungsablaufs (Laminaterstellung mittels FPP vollautomatisch, Bauteilabgabe aus FPP-Anlagentechnik und Erstellung Qualitätsprotokoll vollautomatisch, automatische Übergabe des Werkzeuges, Aushärteprozess, Qualitätskontrolle, und Werkzeugreinigung).

Unsere Beiträge waren wie folgt geplant und wurden mit den beschriebenen Abweichungen umgesetzt:

In AP 1.1 „Anlagen- und Prozesskonzept für die FPP-basierte Fertigung von Preforms“ entwickelten wir wie geplant das Prozesskonzept einschließlich der Einbindung der Anlagentechnik in den vor- und nachgelagerten Produktionsablauf.

Im AP 2.3 entwickelten wir das konkrete Anlagenkonzept und untersuchten die Schritte zur Weiterverarbeitung von Patchlaminaten. Abweichend von der Planung wurde keine komplette Prototypanlage bei uns aufgebaut, nachdem sich im Laufe des Projekts mehr und mehr Fragestellungen zu technischen Detailumsetzungen herauskristallisierten, deren Relevanz für den Gesamterfolg höher war als anfangs absehbar und die nur von cevotec als Patchanlagenentwickler gelöst werden konnten. Die hinsichtlich des Prototypenaufbaus eigentlich bei uns vorgesehenen Aufgabeninhalte erwiesen sich demgegenüber weniger erfolgskritisch. Letztendlich kamen wir gemeinsam mit allen Projektpartnern zum Schluss, dass die Risiken einer Lösung für die o. g. Details und deren Relevanz für die Technologiebeurteilung so hoch sind, dass der Aufbau einer Gesamtanlage erst umgesetzt werden sollte, nachdem die Machbarkeitsnachweise für die zentralen Module cevotec erbracht sind.

Wir haben uns deswegen zu diesem Zeitpunkt im Projekt entschieden, den bei uns geplanten Aufbau der Gesamtanlage nicht umzusetzen und die Mittel dafür an cevotec zu übertragen. Dadurch entfielen auch große Teile der in AP 2.4 und 3.2 geplanten Entwicklung der Steuerung, unsere Arbeiten beschränkten sich dort auf die Abstimmung des Funktionsumfangs, Definition der Funktionsmodule und deren Schnittstellen sowie die Entwicklung eines Konzepts für Anlagensicherheit, Prozessüberwachung und rückverfolgbaren Datenfluss.

Wiederum plangemäß untersuchten wir

- die Lösungsansätze zur Realisierung kraftflussgerechter Strukturen in orthopädietechnischen Bauteilen (AP 2.5, insbesondere die Verfahren zur Weiterverarbeitung von FPP-Patches vom Preform zum Bauteil, Verfahren zur Nachbearbeitung der Komponenten),
- die Verfahren zur Herstellung des Formwerkzeugs (AP 3.1),
- die Einzelschritte zur Überwachung eines medizintechnik-konformen FPP-Prozesses für Prepreg-Preforms (AP 3.3),
- die Schritte zur Weiterverarbeitung der Preforms (Aushärten, Polsterung, OF-Bearbeitung, Finishing, ...), (AP 3.4) und
- bewerteten die Prozesskette im Vergleich mit anderen Herstellverfahren (AP 3.5).

2 Erzielte Ergebnisse

Erstes Zwischenziel des Projekts war die **Entwicklung eines alle Funktionen, die Randbedingungen und mögliche Lösungsansätze beschreibenden Anlagen- und Prozesskonzepts** als Ausgangspunkt für die anschließenden Arbeitspakete. Im ersten Schritt wurde gemeinsam mit den Anwendungspartnern eine Prozessanalyse durchgeführt, die zu den folgenden wichtigsten Ergebnissen führte:

- Es existieren (zumindest im Umfeld des im Projekt geplanten FiberPatchPlacements) keine gravierenden, den CFK-Prozess betreffenden Unterschiede in der Medizintechnik im Vergleich zur Herstellung von anderen CFK-Industriebauteilen bezüglich Anlagentechnik und Bauteilproduktion.
- Bei Wechsel des Prepregsystems muss einer neue „Biologische Beurteilung“ nach EN ISO 10993 erfolgen
- Zur Prozessdokumentation ist eine Chargenrückverfolgbarkeit aller Materialien, die ins Bauteil gehen sowie die Aufnahme der Prozessparameter (Temperatur, Druck, Vakuum, Werkzeug, Werker) nötig.
- Die Vielzahl unterschiedlicher Anbauteile in der Medizintechnik ist extrem hoch. Eine allgemeingültige Untersuchung anhand weniger Beispiele ist im Projekt sinnvoll, wird aber nur exemplarische Lösungen erbringen. Es ist allen Beteiligten klar, dass in einer späteren Umsetzung des Verfahrens die Flexibilität der manuellen Montage der Anbauteile **notwendig sein wird**, alle Arbeiten zum PatchPlacement und zu den notwendigen Schnittstellen für z. B. Krafteinleitung und Polsterung o.ä. (Inserts, Schnappverschluss, Nieten, Kleben, ...) haben die zu berücksichtigen.

Ausgehend von den Ergebnissen der ersten Abstimmung wurde ein Realisierungskonzept für Anlagenkonfiguration und -steuerung sowie für Komponenten und Fertigungsprozess erstellt. Angelehnt an VDI 2222 wurden die Teilfunktionen des Systems systematisch erfasst und beschrieben (siehe Abbildung 1).

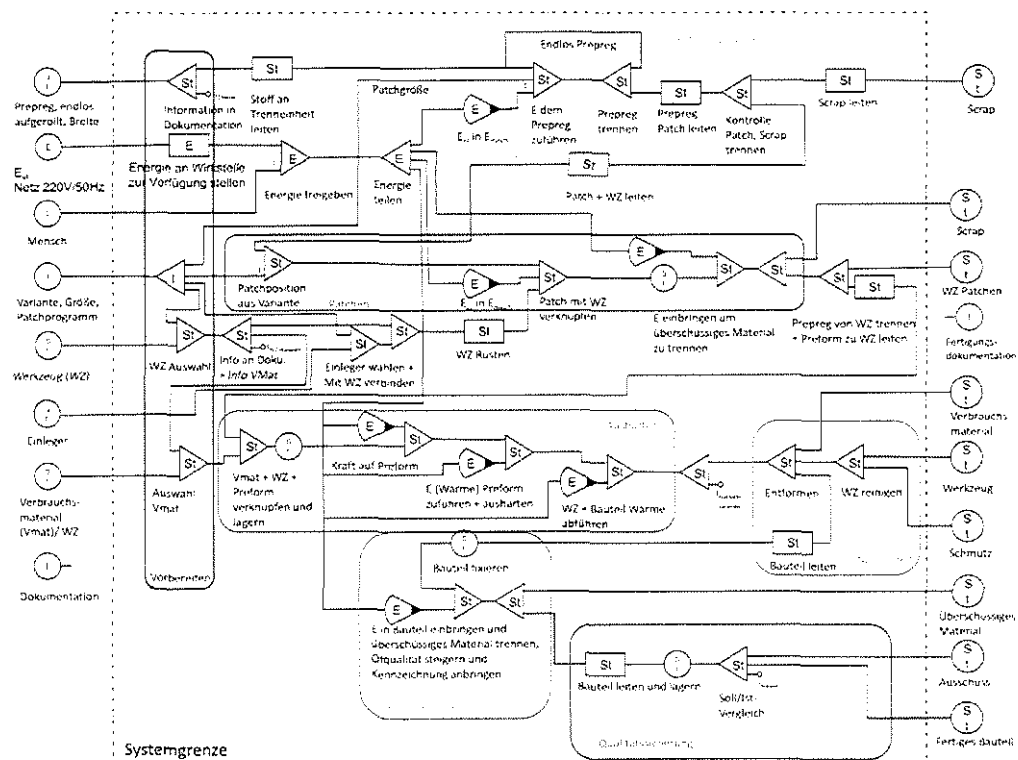


Abbildung 1: Systembeschreibung angelehnt an VDI 2222

Aufbauend auf dieser Beschreibung wurden in mehreren Iterationsstufen erste Varianten für Realisierungskonzepte entwickelt. Dies stellte den Einstieg in die anlagentechnische Entwicklung dar. Es wurde im weiteren Projektverlauf dann über eine Vielzahl an Zwischenergebnissen ständig weiterentwickelt.

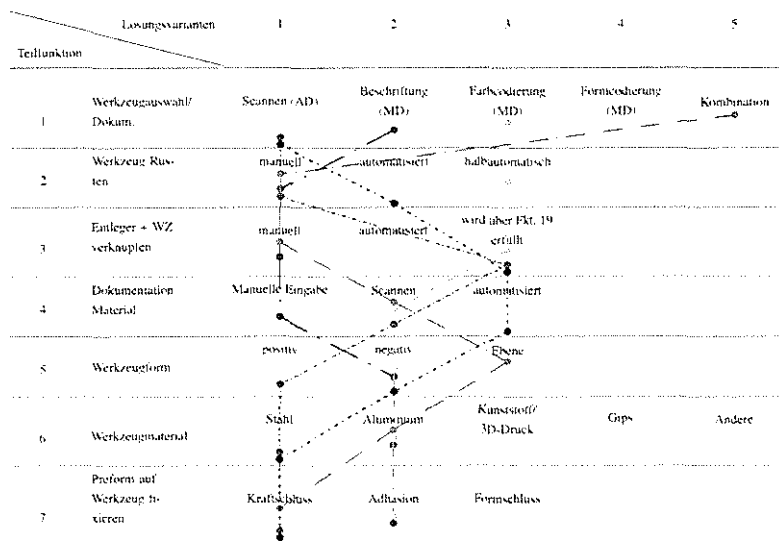


Abbildung 2: morphologischer Kasten zur Entwicklung eines ersten Realisierungskonzepts.

Dabei stellte sich sehr früh heraus, dass keines der Konzepte sich gleichzeitig für alle zu erwartenden Kombinationen von Bauteilgeometrien, Oberflächenanforderungen und unterschiedliche Stückzahlen eignet. Der Schwerpunkt der weiteren Arbeiten wurde in Abstimmung mit den Partnern deswegen auf Prozessmöglichkeiten gelegt, die hohe Flexibilität und Qualität generieren. Die Outputmenge ist dagegen weniger wichtig.

Im Zentrum des Konzepts stand für den Rest der Arbeiten dann ein modularer Aufbau des Gesamtprozesses, der auch die Nutzung von bereits bei potenziellen Anwendern vorhandenen Produktionsmitteln zulässt. **Letztendlich entstand als zentrales Ergebnis des AP 1.1 das in Abbildung 3 dargestellte Prozesskonzept zur Herstellung eines FPP-Bauteils mit anschließender Aushärtung, mechanischer Nachbearbeitung und Qualitätskontrolle mit typischerweise vorhandenen Betriebsmitteln (in orange) und Betriebsmitteln, welche zusätzlich abhängig von Produktionsstückzahl und Geometrie angeschafft werden können (grün).**

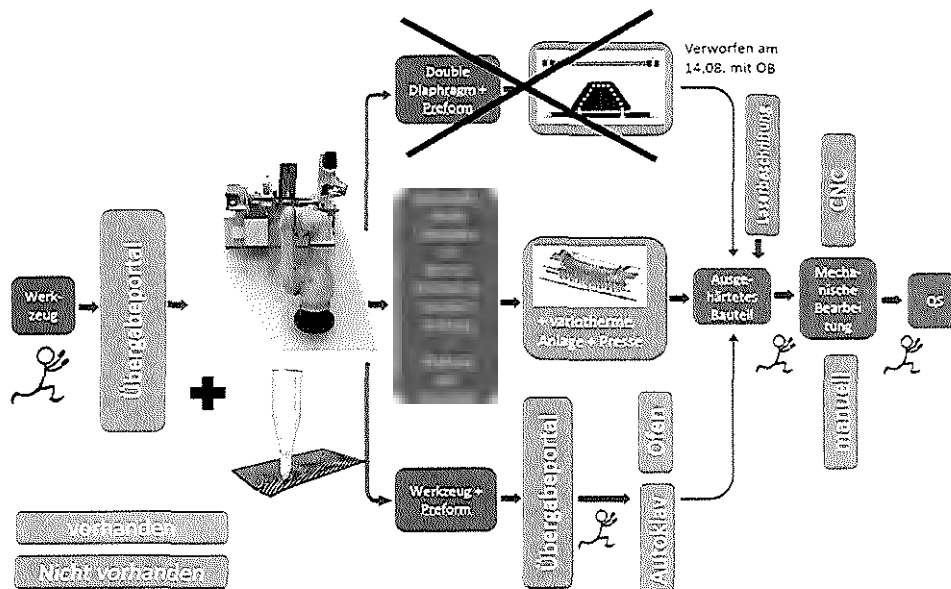


Abbildung 3: Prozesskonzept zur Herstellung eines medizintechnischen Bauteils durch Fiber Patch Placement

Abgehend von diesem Konzept wurde eine erste Fassung für ein Lastenheft für die FPP-Anlage mit folgenden Inhalten erstellt, zwischen carbovation und cevotec abgestimmt und verabschiedet. Zentraler Punkt war neben der Auflistung der technischen Anforderungen an die Anlage und einer Festlegung der zu verarbeitenden Materialien auch die Festlegung auf zunächst zwei Demonstrationsbauteile „WalkOn-Fußheberorthese“ und Prothesenschaft.

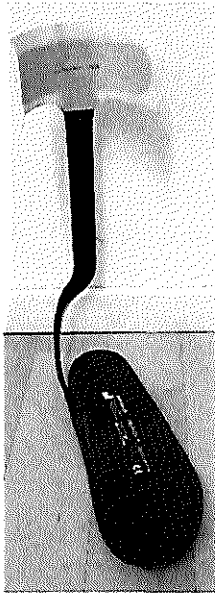


Abbildung 4: Walk-On-Fußheberorthese

Abgeschlossen wurden die konzeptionellen Arbeiten durch die Ausarbeitung einer ersten Fassung einer FMEA zur Beurteilung der kritischen Teile des Konzepts.

Daran anschließend erfolgten im Projekt verteilt auf mehrere Arbeitspakete

- die Entwicklung und Realisierung der Grundfunktionen einer FPP-Anlage
- die Realisierung kraftflussgerechter Strukturen in orthopädiotechnischen Bauteilen,
- die Unterstützung für die Partner bei der Entwicklung der Software zur Patchplanung.
- die Untersuchung der Verfahrensgrenzen und der Schritte zur Weiterverarbeitung der gepatchten Preforms und
- die Untersuchung verschiedener Verfahren zur Herstellung des Formwerkzeugs.

Im Folgenden sind die Ergebnisse dargestellt, die entlang dieser Entwicklungspfade erzielt wurden.

Entwicklung und Realisierung der Grundfunktionen der Anlage:

Zunächst wurde anhand uns bekannter Wickelgeometrien (v. a. CFK-Knotenelemente, die bis dato entformbar auf Stahlwerkzeugen wie auch 3D-gedruckten Werkzeugen gewickelt wurden) das Vorgehen bei der Planung und Patchablage analysiert.

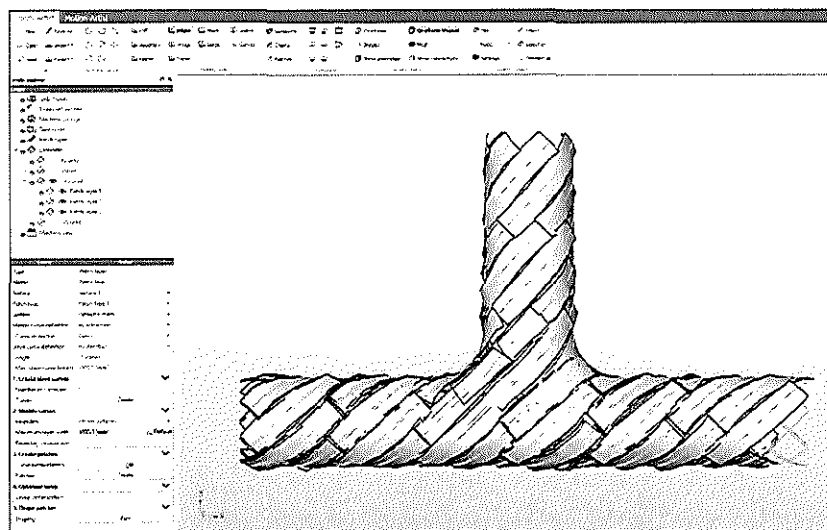


Abbildung 5: frühe Patchplanung für Knotenelement

Das gezeigte Bauteil stellte dabei besondere Herausforderungen für die Systemteile bereit:

Software:

- Implementierung kleinerer Knotendurchmesser in ArtistStudio
- Kollisionsprüfung am realen Teil/ Werkzeug nicht in der Software
- automatische Korrektur der optisch detektierten nicht mittigen Aufnahme des Patches vom Greifer nicht durch Software (kein Raum für Bewegungen des Roboters vorgesehen) abbildbar
- ⇒ alle Punkte ließen sich softwareseitig lösen.

Material:

- Beschnitt des Prepregbandes führt zu Faserausrisen → Ausschuss → Fehlerursache: Händisches Umspulen von gesplittetem Material auf die passende Rolle
- ansonsten ausreichend geeignet

Fertigteil/ Knoten:

- schwer entformbar → besseres Werkzeugkonzept
- unterschiedliche Wandstärken
- keine Überprüfung der Festigkeiten und Steifigkeiten aufgrund geringer Anzahl möglich gewesen

Abbildung 6 zeigt das Bauteil noch eingespannt im Roboterarm unmittelbar nach der Patchablage. Der entformte Knoten ist in Abbildung 7 zu sehen. Wie dort zu erkennen ist, weist er eine ungleichmäßige Wandstärkenverteilung auf (Querschnitt siehe Abbildung 8), die bei Orthesen/Prothesen nicht akzeptabel wäre. Die Realisierung gleichmäßiger Wandstärken war folglich auch einer der Entwicklungsschwerpunkt für die Patchplanungssoftware.

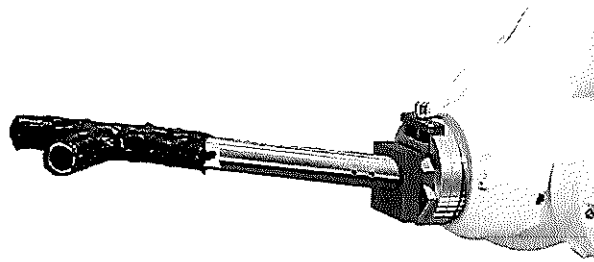


Abbildung 6: Fertig gepatchter 40 mm Knoten

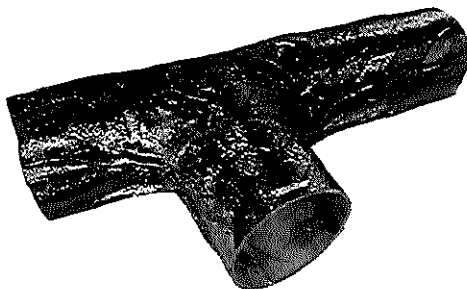


Abbildung 7: entformter Knoten



Abbildung 8: Unterschiedliche Wandstärkenverteilung des Knotens

Durch die Auswertung dieser (wie weiterer ähnlicher Versuchsreihen) konnten wir die Entsprechung kritischer Parameter aus der bekannten CFK-Fertigung im FPP-Verfahren ermitteln. Insbesondere sind die folgenden Parameter beim eigentlichen Patchvorgang qualitätsbestimmend für das finale Bauteil:

- Platzierung des Zuschnittes, damit die geometrische Auflösung und Wiederholgenauigkeit der Anlage
- Verrutschen des Zuschnittes, welches materialabhängig ist und durch genügend Anpressdruck und die Krafrichtung des Andrückens bei der Patchablage (letztere muss möglichst in Normalrichtung zur Ablagefläche stehen) beeinflusst wird

- Lösen von Trägerfolie, durch das sich, dass geschnittene Patch verformen kann. Dieses muss unbedingt vermieden werden, was nur durch eine speziell dafür ausgelegte Feeding-Cutting-Unit erreicht werden kann
- Qualitätskontrolle der Patches ist unabdingbar, vor allem Formgenauigkeit des Patches, Lage auf dem Greifer sowie Lage auf dem Preform müssen überwacht werden

Nach diesen Vorversuchen und der Klärung weiterer Details wurde cevotec von uns bei der Ausdetaillierung der Anlagenspezifikationen, Planung der Anlage selbst sowie der Auswahl geeigneter Materialien / Komponenten unterstützt (Ergebnisse dazu siehe Bericht zum Teilprojekt bei cevotec). **Dabei kristallisierten sich über die Zeit mehr und mehr Fragestellungen zu technischen Detailumsetzungen heraus, deren Relevanz für den Gesamterfolg höher war als anfangs absehbar.** Dazu zählen insbesondere die Machbarkeit der Halbzeug-Bereitstellung inkl. des Zuschnitts (sog. Feeding-Cutting-Unit) und die Handhabung der Zuschnitte (Greifertechnik), letztere insbesondere angesichts der Planung, verschiedene Materialarten in einem Prozess zu kombinieren. Im Detail waren das die folgenden Aspekte:

- Konfektionierung: Ausgangsmaterial auf Rolle → Abrollen und Slitten → Aufrollen auf Transportspule → Abrollen und wieder Aufrollen auf für Anlage geeignete Spule (erhöht Preis signifikant)
 - o sehr häufiges Auf und Abrollen senkt Prepreg Qualität z. B.:
 - o Verzugs des Materials
 - o schiefes Aufrollen
 - o Haftung mit Trägerfolie wird beeinflusst
 - o Beim Abrollen lösen sich Randfasern
 - o Faltenbildung bei zu wenig Spannung beim Aufrollen
 - o eingebrachte Spannung durch zu strammes Aufrollen
- das Handling signifikant erschwerende Unterschiede in den Materialeigenschaften
 - o Haftung an Trägerfolie, Tack, etc.
 - o Verarbeitungsparameter sind nicht allgemeingültig
 - o Haftung an Greifer und Werkzeug zu stark bzw. zu schwach
 - o Verschmutzung des Greifers/Tools durch Harz
 - o Material zu steif für enge Radien → Ablösen des Patches
- hoher Harzgehalt des Prepregs führt zu Verunreinigungen der Feeding-Cutting-Unit → häufige und aufwändige Reinigungsarbeiten

Aufgabeninhalte, die die Robotertechnik, die Werkzeugbereitstellung und den Aushärteprozess – und damit die eigentlich für uns geplanten weiteren Arbeiten zur Anlagenentwicklung und zum Aufbau des Anlagenprototyps - betrafen, erwiesen sich demgegenüber weniger erfolgskritisch.

[REDACTED]

[REDACTED]

Realisierung kraftflussgerechter Strukturen in orthopädietechnischen Bauteilen

Bereits parallel zu den laufenden Arbeiten zu Anlage und Prozess für das automatische Patchen von Bauteilen haben wir manuell eine WalkOn-Orthese (wird eingesetzt bei Fußheberschwäche) realisiert. Die Geometrievorgabe stammte von einer „klassisch“ hergestellten Orthese, die Patchplanung erfolgte mittels der vom Partner cevotec entwickelten Planungssoftware.

In einem zeitlich extrem aufwändigen Versuch wurden Patches von ca. 70 x 20 mm² händisch zugeschnitten und manuell drapiert. Verarbeitet wurden dabei das auch in der Serie zur Anwendung gebrachte Kohlefaser-Gewebe-Prepreg sowie unidirektionales (UD) Kohlefaser-Prepreg. Dadurch konnten wir

- Erkenntnisse über schwer drapierbare Stellen gewinnen,
- untersuchen, welches Werkzeug sich zum Patchen geeignet,
- für die (automatische) Ablage geeignete Patchlängen bestimmen und
- eine erste Einschätzung der erzielbaren Steifigkeit und Festigkeit treffen.

Bei den Versuchen kamen zwei verschiedene Materialien zum Einsatz, da auch das schon existierende Referenzbauteil aus zwei CFK-Sorten besteht. UD-CFK dient zur Lastaufnahme und beeinflusst überwiegend Steifigkeit, ein Flächen-Gewebe dient als Schutz / Ummantelung der UD-Lagen. Letzteres ist nötig, da die Gefahr besteht, dass sich bei wiederholender Biegung die äußerste Lage lösen kann und einzelne Fasern in Fuß(sohle) eindringen. Das ummantelnde Gewebe löst sich weniger wahrscheinlich und dient letztendlich dem Schutz des Patienten. Außerdem wird so die „typische Gewebe-Carbon-Optik“ erzielt, die beim Kunden gewünscht ist. Als Sohlenlage kamen ebenfalls Patches aus Carbon-Gewebe zum Einsatz (Abbildung 9).

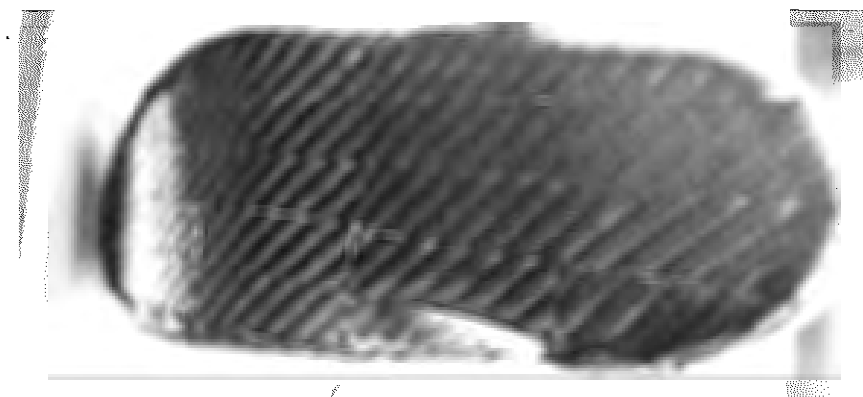


Abbildung 9: Fiberpatches als Lage für die Sohle

Die Orthese wird mittels eines Bügels oberhalb der Wade „verankert“. Der Bügel ist mit der Sohle über einen sog. „Pylon“ verbunden, der viel Last bei geringer Breite und Dicke aufnehmen muss und deswegen aus du-CFK gefertigt wurde (siehe Abbildung 10). Abbildung 11 zeigt die fertig gepatchte Orthese mit der Verbindung von Sohle und Pylon.

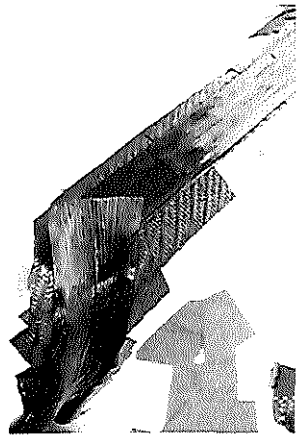


Abbildung 10: Pylon zur Verbindung von Sohle mit Wade, gefertigt aus Stabilitätsgründen aus UD-Patches



Abbildung 11: fertig gepatchtes Laminat nach auf der Form

Das ausgehärtete Bauteil nach der Entformung zeigt Abbildung 12. Die überstehenden Patchecken wurden anschließend abgetrennt und die entstandenen Kanten besäumt. Es erfolgte keine weitere Oberflächenbearbeitung. Abbildung 13 zeigt die fertige Orthese nach dem abschließenden Schleifen.

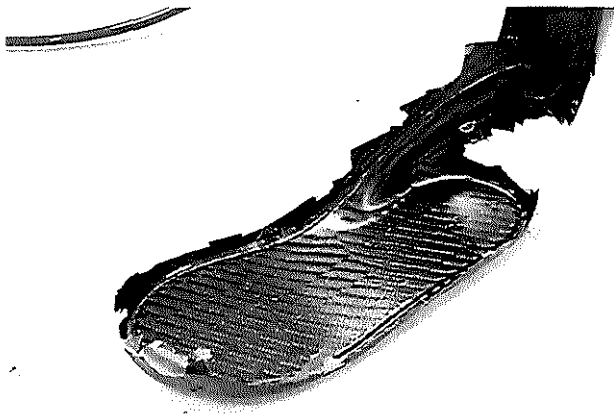


Abbildung 12: Bauteil ausgehärtet, unbearbeitet (nach rechts oben verläuft der Pylon zur Verankerung an der Wade)

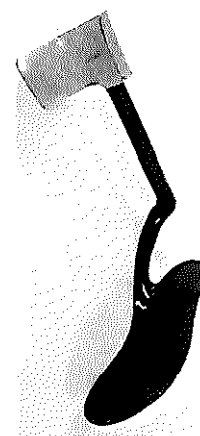


Abbildung 13: ausgehärtete und besäumte Orthese

Das Gesamtgewicht betrug 167 g. Der bestehende Lagenaufbau wurde dabei 1:1 mit Patches abgebildet und es erfolgte noch keine mechanische Optimierung. Durch Überlappungen und höheren Materialeinsatz wurde der Prototyp dadurch steifer als das herkömmlich gefertigte Bauteil. Insbesondere die Sohle war – da mechanisch noch nicht optimiert – deutlich steifer als beim Referenzbauteil aus herkömmlicher CFK-Fertigung.

Im späteren Projektverlauf wurden weitere Prototypen mit optimiertem Lagenaufbau realisiert und an diesen die Nachbearbeitung erprobt. Letztendlich konnte eine Fußheberorthese im FPP-Verfahren realisiert werden, die aus 352 Patches mit 30 mm Breite und unterschiedlicher Länge von 60mm und 90mm besteht. Das Bauteil konnte ohne Probleme entformt werden. Danach wurde überstehendes CFK- und Harzmaterial mit der Verwendung von Dremel und Schleifklotz entfernt und das Dyneema mit einer Schere auf Kontur geschnitten

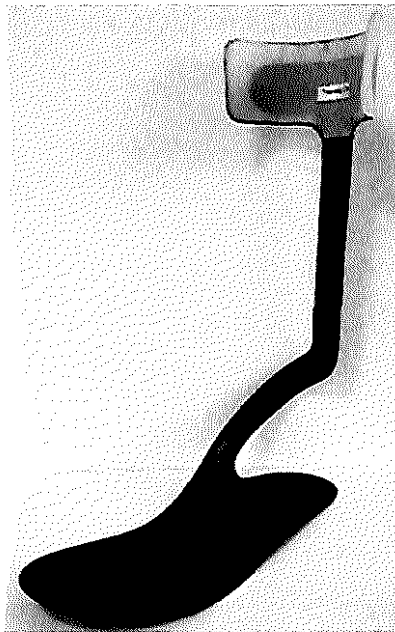


Abbildung 14: finales Labormuster einer im FPP-Verfahren realisierten Fußheberorthese

Untersuchung der Verfahrensgrenzen anhand von Schikanebauteilen

Für die im Folgenden beschriebenen Versuchsreihen wurde ein manuell geführter bzw. an einer Traverse montierbarer Patchgreifer aus dem Projektteil der cevotec verwendet (Abbildung 15).



Abbildung 15: manueller Greifer zum Auflegen eines Patches für den Blutpumpendeckel

Als Musterbauteile, die die Grenzen des Verfahrens zeigten (sog. „Schikanebauteile“), wurden u. a. Deckel für eine Blutpumpe und Prothesen- bzw. Orthesenkomponenten untersucht.

Der Pumpendeckel zeichnet sich durch kleine Verrundungsradien und sehr dünne Wandstärken aus. Es zeigte sich, dass die Radien nur schlecht automatisch gepatcht werden können (Abbildung 16) und aufgrund der dünnen Wandstärken kein symmetrischer Lagenaufbau bei dieser Patchdicke realisierbar war. (Abbildung 18). Insbesondere die Drapierung der Patches bei Verwendung von UD-CFK über konkave Strukturen mit geringem Radius führte zu nicht ausreichender Abformung (Abbildung 17).

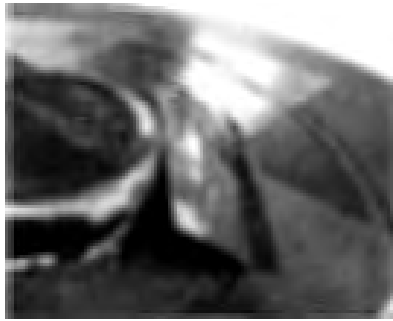


Abbildung 16: Problemstelle Flanschradius beim Patchen von Blutpumpendeckel

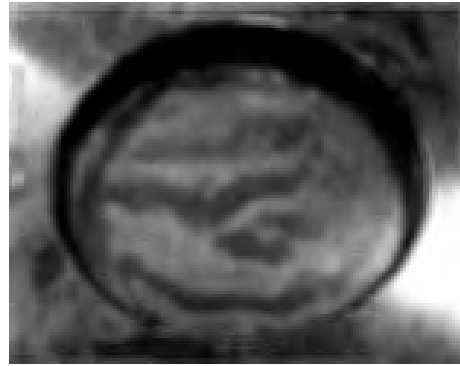


Abbildung 17: gestauchte Fasern

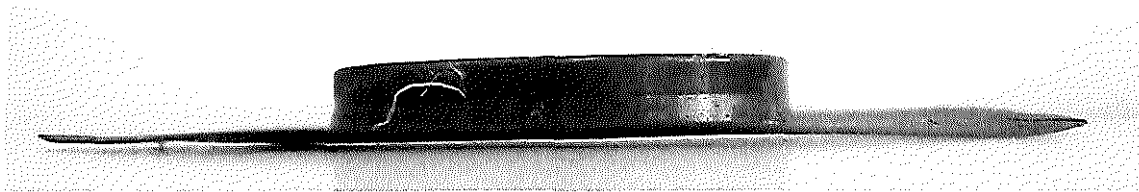


Abbildung 18: Verdrillte Flanschfläche bei Einsatz von UD-Patches

Alternativ eingesetzte Gewebepatches, die um einiges dünner als das vorher verwendete UD waren, konnten mit besserer Konturtreue abgelegt werden. Aufgrund der dünneren Patches und der zwei Verstärkungsrichtungen des Gewebes war ein symmetrischer Patchlagenaufbau in der Flanschfläche möglich, was die Verdrillung eliminierte, und zu einer deutlich ebeneren Flanschfläche führte (Vergleich von Abbildung 18 zu Abbildung 19).



Abbildung 19: nicht verdrillte Flanschfläche beim Blutpumpendeckel aus Gewebe

Die Drapierbarkeit war auch aufgrund der dünneren Patches und der zwei Verstärkungsrichtungen des Gewebes etwas besser. Leider passen sich auch diese nicht exakt der Kontur an, was dann beim Schließen des Werkzeugs zu Faserverzug führt. Auch mit Gewebepatches ließ sich letztendlich keine gleichmäßige Dicke an den einzelnen Flächen realisieren, was wie bei der Verwendung von UD-Prepreg (siehe oben) zu einer unterschiedlich starken Verpressung und damit zu Lunkerbildung führte. Durch die stark doppelgekrümmte Geometrie, die dünne Wandstärke und die hohen Oberflächenanforderungen erwies sich der Deckel als durch FPP sehr schwer zu realisierende „Schikanengeometrie“, mit der die Grenzen des Verfahrens evaluiert werden konnten.

Um die relevanten Einflussfaktoren und die Grenzen der Patchablage auf größerer Breite zu untersuchen, wurden 3 weitere Werkzeugformen (Abbildung 20) herangezogen und Ablageversuche mit 8 verschiedenen Materialien bei zwei Patchlängen (55 mm und 90 mm) und 3 Ablagerichtungen (0°, 45°, 90°) durchgeführt.

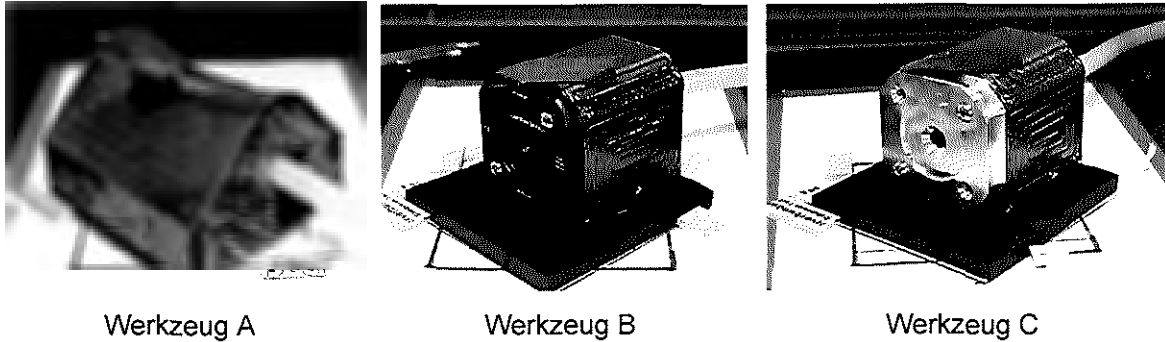


Abbildung 20: Schikanegemoetrien zur Untersuchung der Verfahrensgrenzen
(links Steg-Sohlenübergang von Orthese; Mitte & rechts Prothesen-Endstück mit Eingussscheibe – Mitte mit kleinem Kehlungradius, rechts mit angepasstem Kehlungradius)

Es wurde untersucht, wie sich die folgenden Materialien beim Patchen mit den gezeigten Werkzeugen verhalten:

- 1) Ottobock-WalkOn Carbon-UD: STS-300-DT121R-37 EF H30 – 616B11=5 LOT 22-0562
- 2) Ottobock-WalkOn Carbon-Gewebe: GG280TH-DT121R-46 H125 – 616B10 LOT P22-1925
- 3) Ottobock-WalkOn Dyneema-Gewebe: EE160T-DT121R-50 H125 – 616B15=1 LOT WH20-0169
- 4) Halbe Dicke des Ottobock-WalkOn Carbon-UD: SS-150-DT121R-40EF – LOT WH20-1381
- 5) GB-Carbon-UD: PG300UD – 2P03=300 – 30190906
- 6) GB-Carbon-Gewebe: PG280BD - 3P02=280 - 200513113519
- 7) Towpreg: Kümpers K-Preg 002-4x002-70-50
- 8) Towpreg: SGL E910

Die folgenden Abbildungen zeigen die wichtigsten Legeergebnisse. Die doppeltgekrümmte und in eine Richtung konkave Kontur von Werkzeug A ließ sich beispielsweise mit Carbongewebe (Material 6) gut belegen (Abbildung 21)

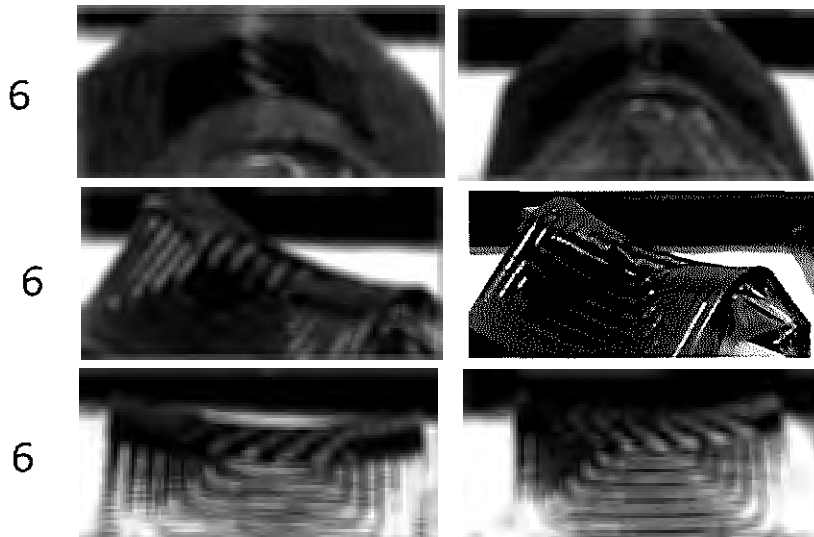


Abbildung 21: Patchablage auf Werkzeug A im Winkel von 0° (oben), 45° (Mitte) und 90° (unten)
(jeweils links 55 mm Patches, rechts die 90mm Patches) am Beispiel von Material 6

Von Vorteil war hier, dass die konkave Kontur, durch die geringere Krümmung (Radius 100 mm) abgebildet wird. Die anderen Materialien zeigten unterschiedliche Eigenschaften, ließen sich aber

allesamt bei 0° und 45° weniger gut auf der dann konvexen Ablagefläche ablegen. Bei 90° traten aufgrund des sehr großen konkaven Radius aber auch dann kaum Unterschiede auf.

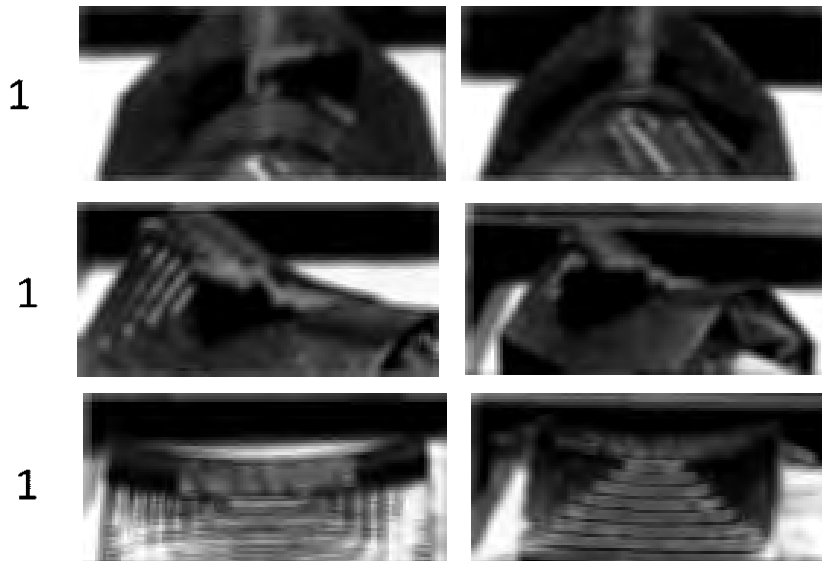


Abbildung 22: Grenzen der Patchablage auf Werkzeug A im Winkel von 0° (oben), 45° (Mitte) und 90° (unten) (jeweils links 55mm Patches, rechts die 90mm Patches) am Beispiel von Material 1

Bei der Werkzeug B und Werkzeug C konnten mit unseren Ansätzen keine Patches in die konkave Kontur am Rand der Eingussscheibe abgelegt werden. Der Radius ist in beiden Varianten so gering, dass das Patch durch seine Steifigkeit nicht ausreichend anhaftet.

Zusammengefasst zeigten sich dabei folgende Einflüsse der Parameter der Patches und der Ablage:

- 90 mm lange Patches können schlechter abgelegt werden als die kürzeren 55 mm. Insbesondere tritt bei langen Patches vermehrte Faltenbildung bei Werkzeug A unter 45° und 90° (Ablagewinkel relativ zur Werkzeugachse, siehe auch weiter unten) auf.
- Gewebe-Patches schmiegen sich besser an das Werkzeug an als unidirektionales Material.
- Die Haftung der Patches hängt direkt mit dem Harzgehalt zusammen. Material 1 bis 3 haben alle dasselbe Harz, aber Material 1 hat einen Harzgehalt von 37 %, Material 2 von 46% und Material 3 von 50 %. Dies macht sich in der Klebrigkeit bemerkbar. Material 3 haftet am stärksten, dies macht das Ablegen etwas schwieriger, da die Patches in wenigen Fällen auch am Patcher haften bleiben. Eine Wiederholung des Patchvorgangs führte danach immer zum Ablegen.
- Einen weitaus größeren Einfluss auf den Patchprozess hat das Faserflächengewicht. Hier haben die Versuche ergeben, dass sich die Materialien 4 (UD mit 150 g/m² und 40 % Harzgehalt) und 7 (Towpreg mit 165 g/m² und 32 % Harzgehalt) weitaus schlechter ablegen lassen als Material 1 (UD mit 300 g/m² und 37 % Harzgehalt) und 5 (UD mit 300 g/m²). Wie beim hohem Harzgehalt blieben diese Patche häufiger am Patcher haften.

Entwicklung der FPP-Planungssoftware

Im Zuge der eben beschriebenen Versuchsreihen mit verschiedenen Labormustern konnten wir auch die Funktionen der Patchplanungssoftware erproben und wertvolle Hinweise zu deren Entwicklung liefern.

Die Geometrie des Pumpendeckels enthält stark doppelt gekrümmte Flächen und ist daher auch in der Simulation sehr schwer zu drapieren. Hier wurden einige Einstellungen optimiert, um das Patchlaminat für dieses Bauteil in der Software abzubilden.

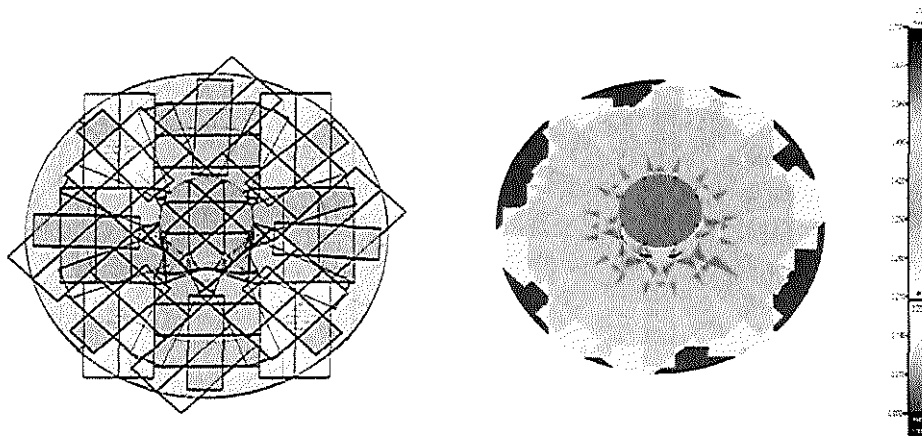


Abbildung 23: Patchplanung und Legesimulation für Pumpendeckel

In einem dann deutlich weiter entwickelten Software-Prototyp konnten wir die Patchplanung für die Fußheberorthese durchführen (Abbildung 24 zeigt ein Beispiel für die Patchplanung mit Towpreg-Material), die Basis für die oben gezeigten Labormuster war. Aus der Planung resultierte ein Laminat mit 352 Patches mit 30 mm Breite und 60 mm / 90 mm Länge, verteilt auf 40 jeweils einzeln zu patchende Sublayer.

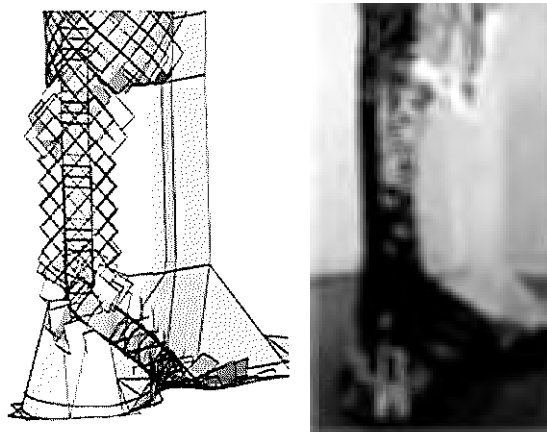


Abbildung 24: softwarebasierte Patchplanung und Legeergebnis für die Fußheberorthese

Verfahren zur Herstellung des Formwerkzeugs

Ebenfalls in unserem Aufgabenbereich lag die Untersuchung möglicher Verfahrensansätze für die Herstellung des Formwerkzeugs, auf dem die Patches abgelegt werden können. Dazu wurden zunächst mögliche Varianten mit verschiedenen Materialien und Herstellungsverfahren definiert und anschließend untersucht.

- Konzept 1
 - Additiv hergestelltes Werkzeug
 - Druck basierend auf zuvor erstellten Scandaten
 - Werkzeugdruck mittels FDM (Fused Deposition Modell): PA6, HI-Temp-CF
 - Werkzeugdruck mittels SLS (selektives Lasersintern): PA6, PP
 - Oberflächennachbearbeitung sofern nötig
- Konzept 2
 - subtraktiv hergestelltes Werkzeug
 - Fräsbearbeitung anhand von 3D-Scandaten → vorrätig in getrockneten Blöcken verschiedener Größen
 - Material: Alabaster, PU-Blockmaterial
 - Oberflächennachbearbeitung sofern nötig

- Konzept 3
 - Gießverfahren
 - Herstellung einer Gussform basierend auf Scandaten
 - Ausgießen der Form mit Wachs oder Gips
 - Oberflächennachbearbeitung
- Konzept 4
 - modulares Werkzeug
 - Stammwerkzeug in verschiedenen Größen
 - Schaftaufnahme über Formschluss und Vakuum
 - Individueller Schaft → Konzept A-C
- Konzept 5
 - Linearmotoren im Stammwerkzeug überzogen mit Membran
 - Schrittmotoren bewegen Stifte unter Membran, um Scanprofil als Werkzeug darzustellen (Alternativ: einfache Gewinde)
- Konzept 6
 - Werkzeugfertigung auf Basis von patentierter CUBES Technologie
 - nur in Kombination mit Konzept B realisierbar (Materialeinsparung durch Cubes Technologie)
 - Ausarbeitung Anforderungen an Werkzeug und Werkzeuanbindung

Als Ausgangspunkt für die Untersuchungen wurde zudem ein Anforderungskatalog definiert (Tabelle 1) und die Werkzeuggeometrie festgelegt.

WERKZEUG	MUSS	SOLL	KANN
Geometrie/ Gewicht			
maximale Breite [mm]	400	650	750
maximale Länge [mm]	400	650	750
maximale Höhe [mm]	500		
maximales Gewicht [kg]	10		30
Kupplungsanbindung/ -entfernung	zerstörungsfrei		automatisch
Vakuumpziehen am Werkzeug	x		
Layerhaftung (Layer 1)	x		
keine Nachbearbeitung nötig		x	
Beanspruchungen			
Druckfestigkeit bei 3bar (0,3N/mm ²) Autoklav	x		
Druckfestigkeit bis 0,3N/mm ² (bzw. 3kg/cm ²) Patchen	x		
Formstabil bis min. 100°C	x		140°C
Schwindung kalkulierbar	x		
Energie			
Vakuum Druckluft	x		
Ergonomie			
Werkzeuggewicht		<10kg	
einfacher Scan (Wznummer)		x	
Normen und Richtlinien			
MDR	x		
DIN EN ISO 10993	x		
DIN EN ISO 9001	x		
DIN EN ISO 13485	x		
Fertigung			
additiv			x
subtraktiv			x
guss			x
Montage			
Werkzeugbestückung	manuell	automatisch	
Kommunikation (RFID)			
Wzposition in Bevorratungseinheit	x		
Wznummer	x		
Nachhaltigkeit			
gesamte Wertschöpfungskette		x	
Ressourcenschonende Herstellung		x	
Recycling		x	
Lagerung			x

Tabelle 1: Anforderungskatalog für additive Werkzeugfertigung

Die sechs Konzepte wurden für Versuchsreihen umgesetzt und anschließend die Werkzeuge paarweise nach gewichteten Kriterien verglichen (3D-Druck, spanende Herstellung, gießende Herstellung, Stammwerkzeug + 3D-Druck, Linearmotoren + Membran, CUBES Technologie).

Dabei wurden Musterwerkzeuge aus Aluminium, Stahl, ABS, PLA, PETG 3D und Gips realisiert und als Trennschicht PVA-Folie und PVC-Folie untersucht. Es zeigte sich, dass die Patches umso besser haften, je glatter die Werkzeugoberflächen sind. Die Anbindung zum FPP-Roboter muss so ausgelegt werden, dass die hohen Patchkräfte übertragen werden können.

Von allen Ansätzen erwies sich die Kombination von Stammwerkzeug mit 3D-gedruckter Originalform als am vielversprechendsten. Für den Druck der Originalform erwies sich in weiteren Versuchen Polyamid P12 als Material im SLS-Verfahren als am besten geeignet. Damit konnten sehr gute Oberflächen erzielt werden, das Material ist sehr temperaturstabil und es fällt kaum Nachbearbeitungsaufwand an, da keine Stützstrukturen notwendig sind.

Es zeigte sich aber zunächst, dass das Laminat nach dem Härten auf der PA12-Oberfläche anhaftet. Zur Abhilfe wurden eine Behandlung der PA12-Werkzeugfläche durch Schleifen und Sealer-Auftrag sowie der Einsatz einer PVA-Folie als „Trennschicht“ auf dem Werkzeug untersucht. Hier zeigte sich, dass es bei Verwendung von PVA-Folie zu Faltenbildung an der Innenkontur der Bauteile kommen kann (Abbildung 25). Lamine aus schleif- und sealerbehandelten Werkzeugen zeigten weiße Ablagerungen, bei denen es sich wahrscheinlich um Trennmittelrückstände handelt (Abbildung 26).

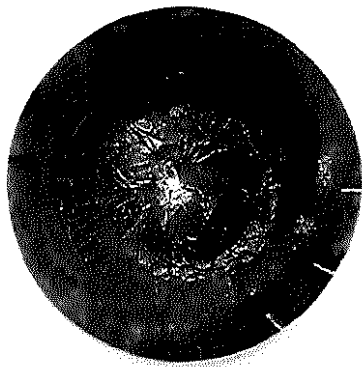


Abbildung 25: Laminierter Musterbauteil aus PA12-Werkzeug mit PVA-Folie

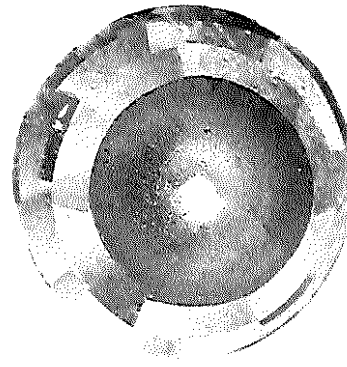


Abbildung 26: Laminierter Musterbauteil aus schleif- und sealerbehandelten PA12-Werkzeug

Favorisiert wird trotzdem die Variante mit PVA-Schlauch, da hier der Arbeitsaufwand geringer ausfällt, die Patches auf dieser Oberfläche leichter haften und PVA-Folie bereits in der aktuellen Herstellung des Prothesenschaftes auf Gipswerkzeugen zum Einsatz kommt. Somit sollte eine Medtech Zulassung einfacher zu erreichen sein.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden weitere Versuchswerkzeuge realisiert, zunächst für die Spange, die die Fußheberorthese im Wadenbereich fixiert. Diese dienten für Vorversuche für das eigentliche Orthesen-Patchwerkzeug.

Geplant war, eine Folie auf dem 3D-gedruckten Werkzeug anzusaugen, wodurch eine bessere Haftung der ersten Lage erreicht wird und die Preform leichter vom Patchwerkzeug abgenommen werden kann. Zudem kommt eine Schablone (Abbildung 27) zum Beschneiden der Preform zum Einsatz, sowie eine Messerführung mit definierter Schnitttiefe (Abbildung 28).

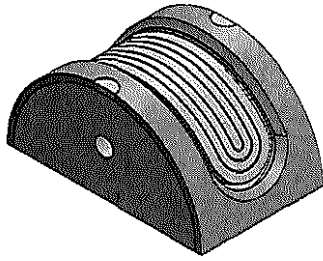


Abbildung 27: Versuchswerkzeuge für den Wadenbereich der Orthese mit Schablone

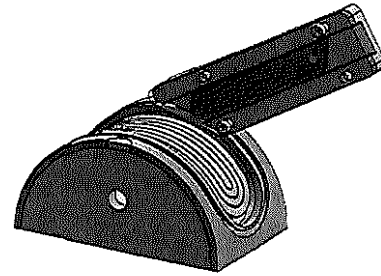


Abbildung 28: Versuchswerkzeuge für den Wadenbereich der Orthese mit Messerführung für definierte Schnitttiefe

Die dazu vorgesehen Nut von 5mmx5mm findet sich auch im finalen Patchwerkzeug (siehe Abbildung 29) wieder, ebenso eine Anbindung für eine Schnellkupplung zum Roboter. Die Form wurde hohl gestaltet und eine Bohrung von 11mm für den Vakuumschluss eingebracht.

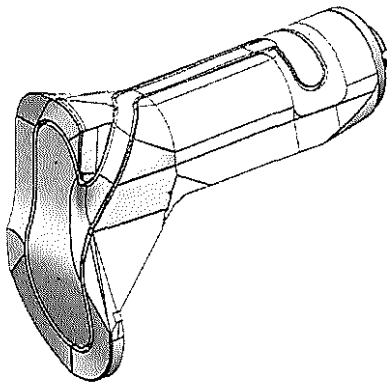


Abbildung 29: Formwerkzeug für Fußheberorthese (links Skizze, rechts Labormuster)

Dabei wurden technische Detaillösungen für verlängerte Patchflächen, die Nut für Silikon-Vierkantdichtschnur, Oberflächenversiegelung, Sauglöcher für Vakuum und für das Auflegen und Ansaugen der PVC-Folie (Trennschicht) untersucht und integriert. Diese Form wurde eingesetzt, um die oben bereits beschriebenen Labormuster der Fußheberorthese zu realisieren.

Die Aushärtung der gepatchten Orthesenlaminare erfolgte auf einem Aluminiumwerkzeug mit einem Vakuumaufbau aus Nylonstrumpf und PVA-Schlauch. Das nach dem Ablegen für das Aushärten vorbereitete Werkzeug zeigt Abbildung 30. Die ausgehärtete und nachbearbeitete Orthese wurde weiter oben bereits beschrieben.

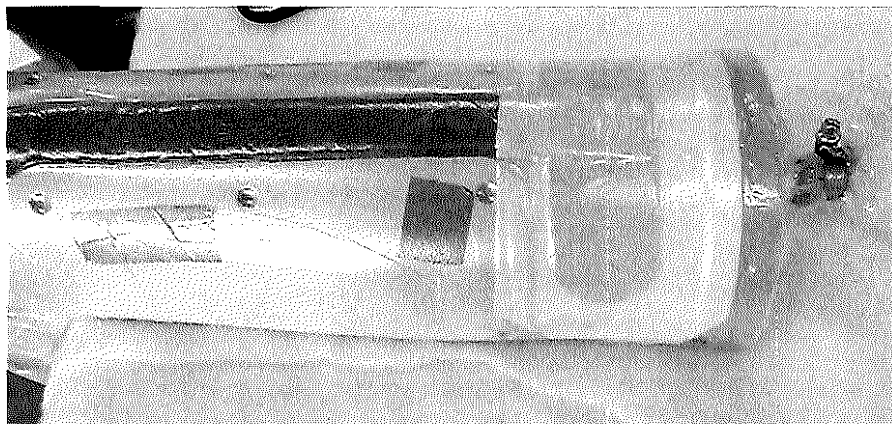


Abbildung 30: Für das Aushärten vorbereitetes Werkzeug der Fußheberorthese (rechts im Bild die Wadenklammer aus Dyneema, rechts der CFK-Patch für Steg und Sohle)

3 wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

[REDACTED]

[REDACTED]

4 Notwendigkeit/Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Wie dem Ergebnisteil des Berichts entnommen werden kann, wurden alle Projektziele, die nach der Umstrukturierung der Aufgabenverteilung bei uns verblieben sind, erreicht. Auch dafür waren noch umfangreiche Versuchsreihen notwendig, die aber in jedem Fall angesichts des Ergebnisses aus unserer Sicht angemessen erscheinen und für die Zielerreichung notwendig waren.

Die zwischen den Partnern notwendigen Abstimmungen haben zwar für sich gesehen ebenfalls Kapazitäten gebunden, durch die entstandenen Synergieeffekte aber signifikant zu einer effizienten Projektabwicklung beigetragen.

Die im Projekt eingesetzten Mittel für Verbrauchsmaterialien waren unabdingbar für die Durchführung der Versuche und im angefallenen Umfang unverzichtbar für die Arbeiten.

5 Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im Projekt entstanden Grundlagenergebnisse zu Anlagen- und Prozesstechnik für eine medizinprodukttaugliche CFK-Fertigung, deren Automatisierungspotenzial von keinem anderen CFK-Verfahren erreicht wird. Insbesondere die vollständige Kontrolle und Dokumentation jedes einzelnen Schritts des Prozessablaufs – die erstmals mit diesem Verfahrensansatz möglich sind – bietet ein Alleinstellungsmerkmal, das insbesondere bei der bisher vorrangig handwerklichen Produktion von CFK-Bauteilen für die Medizintechnik prinzipbedingt nicht realisiert werden kann.

Die im Projekt entwickelten Anlagenteile erlauben die Entwicklung serientauglicher Anlagen- und Prozesstechnik. Es ist möglich, gemeinsam mit den Projektpartnern innerhalb von ca. 24 Monaten zunächst vollumfänglich einsetzbare Prozesse für die Produktion in der Medizintechnik (Orthesenkomponenten für OttoBock, Prothesen für GuentherBionics) zu realisieren. Abhängig von den Entscheidungen der beiden Firmen können wir hier sowohl Fertigungsdienstleistung übernehmen wie auch als Engineering-Partner beim Aufbau eigener Produktionskapazität unterstützen.

Da die FPP-Technologie aber nicht auf ein Bauteil und eine Anwendung beschränkt ist planen kann die Übertragung auf weitere Anwendungen untersucht werden. [REDACTED]

[REDACTED]

6 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Informationen zu Tätigkeiten Dritter wurden projektbegleitend durch die Teilnahme an einer Vielzahl von Veranstaltungen (Messen, Statustreffen zur Bekanntmachung, Tagungen, ...) durch Personen aus dem Partnerkreis eingeholt.

Außerhalb des Verbundprojekts sind uns keine Aktivitäten mit einem vergleichbaren Ziel und/oder einer ähnlichen Aufgabenstellung bekannt.

7 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Veröffentlichungen der Verbundergebnisse, die explizit auch unsere Teilergebnisse darstellten, erfolgten durch

- Demonstration der Ergebnisse bei der jec (Europas größte Faser-Verbund-Messe) auf dem Stand von cevotec
- Veröffentlichung „Effiziente Prozesskette für Design und Fertigung von Composite-Bauteilen in der Medizintechnik“ in der Zeitschrift „Werkzeugtechnik“
- <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/cevotec-gmbh/Verbundforschungsprojekt-Patch2Patient-erfolgreich-abgeschlossen/boxid/1172152>

Die Ergebnisse der Arbeiten wurden darüber hinaus in einer zweistelligen Anzahl an Zeitschriften- und Onlinebeiträgen veröffentlicht. Eine Liste der Veröffentlichungen von projektübergreifenden Informationen kann dem Projektbericht des Koordinators cevotec entnommen werden, eine Liste wissenschaftlicher Veröffentlichungen dem Bericht des Fraunhofer IPA.

Zu diesen Veröffentlichungen haben wir wie auch alle anderen Verbundpartner beigetragen.

...