

Abschlussbericht zum Verbundvorhaben

„Laser-Remote-Schneiden zur Automatisierung und Verkürzung der Taktzeiten bei der Fertigung von Fahrzeugen und Fahrzeugbauteilen in CFK-Bauweise“ (REMOTE-C)

Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
Förderkennzeichen 01MX12049B Projektlaufzeit 01.10.2012 bis 30.09.2015



Teilvorhaben der Bergmann & Steffen GmbH

„Entwicklung, Konstruktion und Herstellung von 2 Prototypenvorrichtungen zum Laser-Remote-Schneiden von CFK-Bauteilen“

Inhalt

1. Ausgangssituation.....	3
1.1 Aufgabenstellung.....	3
1.2 Voraussetzungen.....	3
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4 Stand der Technik.....	7
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
2. Eingehende Darstellung.....	12
2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	12
2.1.1 Anlagentechnik.....	12
2.1.2 Vorrichtungstechnik.....	15
2.1.3 Emissionen.....	19
2.2 Allgemeine Informationen Zahlenmäßiger Nachweis.....	21
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	21
2.4 Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	22
2.5 Veröffentlichungen.....	24
3. Literatur.....	25

1. Ausgangssituation

1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung des Teilvorhabens „Entwicklung, Konstruktion und Herstellung von 2 Prototypenvorrichtungen zum Laser-Remote-Schneiden von CFK-Bauteilen“ bestand darin, dem Projekt geeignete Spanntechnik zur prozesssicheren Aufnahme der CFK-Bauteile beizustellen. Folgende Teilziele werden bei dem Vorhaben verfolgt:

- Bereitstellung von 2 Prototypenvorrichtungen für die Bauteile einer Wohnmobiltür in CFK-Bauweise. Die Hauptkomponenten der Wohnmobiltür bestehen aus dem Einzelteil Tür Außenschale und dem Einzelteil Tür Innenschale, die nach der Einzelteilherstellung mittels Klebtechnik zu einer ZB Tür gefügt werden.
- Bereitstellung von 2 Prototypenvorrichtungen, die jeweils die Aufnahme des CFK-Preformling und des CFK-Bauteils in einer Vorrichtung gewährleistet.
- Bereitstellung von 2 Prototypenvorrichtungen, die in die Laser-Remote-Schneidanlage des Laser Zentrum Nord in Hamburg zu integrieren und installieren sind.
- Erlangung von grundlegendem Prozessverständnis bezüglich des Laser-Remote-Schneidens von CFK-Preformlingen und CFK-Bauteilen im Hinblick auf die Bauteilqualität der Beschnitt Kante als Vergleich zu den etablierten Fertigungsverfahren Fräsen und Wasserstrahlschneiden.
- Erlangung von grundlegendem Prozessverständnis bezüglich der Auswirkungen des Laser-Remote-Schneidens von CFK-Preformlingen und CFK-Bauteilen im Hinblick auf die Anlagen- und Vorrichtungstechnik sowie dem Arbeits- und Umweltschutz.

1.2 Voraussetzungen

In ihrem zweiten Bericht gibt die Nationale Plattform Elektromobilität das Ziel aus, Deutschland als Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität bis zum Jahr 2020 zu etablieren. Um dieses Ziel erreichen zu können, sind sämtliche Technologien zur Produktion von Elektrofahrzeugen und der entsprechenden Komponenten zur Serienreife zu führen und für den Massenmarkt zu qualifizieren. Eine Problemstellung heutiger Elektrofahrzeuge und Elektrofahrzeugkonzepte ist die signifikante Massezunahme aufgrund der im Fahrzeug anzuordnenden Batterie. Diese gilt es durch entsprechende Leichtbaukonzepte zu kompensieren, da die hohe Fahrzeugmasse den Energieverbrauch erhöht, die Reichweite des Fahrzeugs reduziert und die Fahrdynamik negativ beeinflusst.

Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) kommt vor diesem Hintergrund durch ihre hervorragende Steifigkeit bei geringem Gewicht besondere Bedeutung zu. Die heute noch vielfach manuellen Fertigungsverfahren, die ihren Ursprung häufig in der

Luftfahrtbranche haben, führen jedoch bei der CFK-Bauweise zu Kosten, die einen wirtschaftlichen Einsatz im Fahrzeugbau zurzeit nicht zulassen. Hinzu kommt bei der mechanischen Bearbeitung von CFK ein hoher Werkzeugverschleiß, der die Kosten pro Bauteil weiter in die Höhe treibt. Entsprechend sind Konzepte und Verfahren gesucht, die eine automatisierte, kostengünstige CFK-Fertigung im Automobilbau erlauben und diese somit auch für den Massenmarkt zugänglich machen.

Die Lasermaterialbearbeitung, die heute im Automobilbau für das Fügen und Trennen von metallischen Werkstoffen bereits weit verbreitet ist, bietet aufgrund der verschleißfreien Wirkungsweise, der hohen Automatisierbarkeit und Produktivität großes Potential, diese Problemstellung zu lösen. Daher soll im Rahmen dieses Vorhabens das Laser-Remote-Schneiden von CFK unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen des Automobilbaus entwickelt und demonstriert werden. Als sogenannte „enabling technology“ kann die Lasermaterialbearbeitung einen wichtigen Beitrag zum von der Nationalen Plattform Elektromobilität vorgeschlagenen Leuchtturm „Leichtbau“ leisten und zur Weiterentwicklung der Elektromobilität in Deutschland beitragen.

Die Bergmann & Steffen GmbH ist ein mittelständisches Unternehmen mit dem Hauptsitz in Spenge, welches sich auf die Entwicklung und Herstellung von Schweißanlagen und Schweißvorrichtungen für die Automobilindustrie spezialisiert hat. Im Jahre 2011 wurde eigens ein Laserzentrum mit Prüflabor für die Anfertigung von Mustern, Prototypen und Kleinserien eröffnet. Das Laserzentrum verfügt über 2 Laserzellen mit je einem Industrie-Roboter und angebauten Laserscannerschweißoptiken. Zudem dient das Laserzentrum zur Forschung & Entwicklung im Bereich neue Werkstoffe/Prozesse und innovative Anlagen-/Vorrichtungstechnik. Für die erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens kann somit auf umfassendes know how der Firma Bergmann & Steffen zurückgegriffen werden.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Ziel ist die Konzipierung, Konstruktion und Herstellung von zwei Prototypenvorrichtungen zum Laser-Remote-Schneiden von CFK-Preformlingen und CFK-Bauteilen. Besonders beachtet wird hier die spätere Verwendungsmöglichkeit im Großserieneinsatz in der Automobilindustrie. Nach Fertigstellung der Prototypenvorrichtungen werden diese in die Laserzelle am Laser Zentrum Nord in Hamburg integriert. Hier finden dann die Roboterbahnprogrammierung, die Prozessparameterentwicklung und der Beschnitt der CFK-Preformlinge und CFK-Bauteile statt.

UAP4.8	Variation der Lagenanzahl im Mehrlagen-aufbau		x			x	08/13-11/14
UAP4.9	Materialvariation: vorimprägnierte Halbzeugen und trockene Halbzeuge		x			x	08/13-11/14
UAP4.10	Bewertung der Ergebnisse anhand der in AP1 festgelegten Qualitätskriterien		x		x	x	08/13-11/14
AP5	Prozessentwicklung Bearbeitung von CFK-Bauteilen						08/13-05/15
UAP5.4	Parametervariation der wesentlichen Laser-, Handhabungs- und Prozesspa-rameter		x			x	08/13-05/15
UAP5.5	Variation der Materialdicke		x			x	08/13-05/15
UAP5.6	Entwicklung des Trennprozesses für 2D-Bauteile		x			x	08/13-05/15
UAP5.7	Entwicklung des Bohrprozesses und des Einbringens von Kavitäten		x				08/13-05/15
UAP5.8	Übertragung der Ergebnisse auf die 3D-Bearbeitung		x			x	08/13-05/15
UAP5.9	Stichversuche zur Fügevorbereitung an Bauteilen		x				08/13-05/15
UAP5.10	Optimieren der Prototypenspannvorrichtungen	x					08/13-05/15
UAP5.11	Bewertung der Ergebnisse anhand der in AP1 festgelegten Qualitätskriterien		x		x	x	08/13-05/15
AP6	Demonstration						12/14-09/15
UAP6.4	Einrichtung der Systemtechnik	x	x				12/14-09/15
UAP6.5	Softwareseitige Umsetzung/Abbildung der Geometrie		x	x			12/14-09/15
UAP6.6	laserseitige Fertigung der Demonstrato-ren		x			x	12/14-09/15
UAP6.7	Konzept der Integration des Laserprozes-ses in Fertigungskette des Anwenders		x		x	x	12/14-09/15
UAP6.8	Untersuchung und Bewertung der erzielten Qualität, Vergleich mit konventi-onell hergestelltem Bauteil		x			x	12/14-09/15
UAP6.9	Prüfung der Anforderungserfüllung		x		x	x	12/14-09/15
AP7	Verwertung						10/12-09/15
UAP7.4	Dokumentation der Projektergebnisse	x	x	x	x	x	10/12-09/15

Tabelle 1: Unterarbeitspakete des Verbundvorhabens

Im Projektjahr 2014 hat sich im AP5 die Entwicklung und Anfertigung der CFK-Bauteile für die Außenschale aus Prozess technischen Gründen terminlich stark verzögert. Ohne ein fertiges 3D CFK-Bauteil verschob sich die endgültige Optimierung der Spannvorrichtung (UAP5.10) in das Jahr 2015 hinein. Aufgrund dieser massiven Terminverschiebung im Arbeitsplan wurde im Projekttreffen am 25.-26.11.2014 beschlossen, dass die Entwicklung, Konstruktion und Herstellung der Spannvorrichtung Innenschale zur Erlangung weiterer Erkenntnisse nicht mehr erforderlich ist. Damit am Ende des Projekts eine komplette Tür als Demonstrator zur Verfügung steht hat man sich bei der Herstellung der Innenschale auf die bereits vorhandene Lösung mittels Fräsen geeinigt. Somit war auch ein guter Vergleich der Bauteilkantenqualität, Außenschale laserbeschnitten und Innenschale gefräst, möglich.

1.4 Stand der Technik

Stand der industriellen Produktionstechnik ist zurzeit das Laser-Remote-Schweißen von Automobilkomponenten wie z.B. Türen, Klappen, Schweller, Vorder- und Rücksitzlehnen, Recliner und Sitzschienen. Diese Anlagen sind entsprechend den Anforderungen der Automobilindustrie auf höchste Produktivität und Flexibilität ausgelegt. Abbildung 2 und 3 zeigen beispielhaft eine Bergmann & Steffen Serienschweißanlage für Seitenaufprallträger. Diese Anlage ermöglicht die Aufnahme von 4 Schweißwerkzeugen auf einem 4 Stationen Drehtisch.



Abbildung 2: Außenansicht Laser-Remote-Schweißanlage B&S

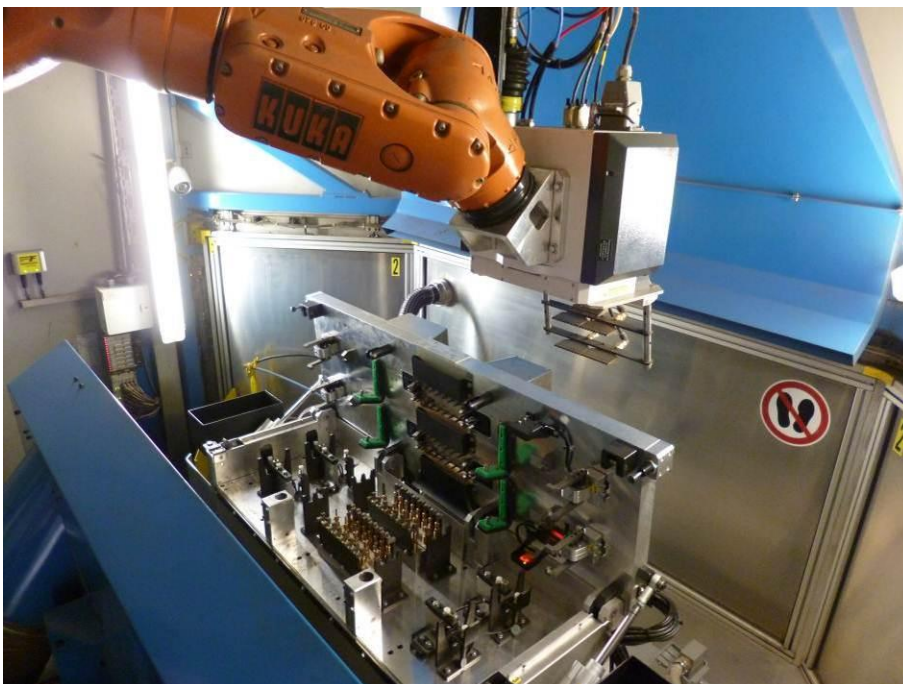


Abbildung 3: Innenansicht Laser-Remote-Schweißanlage B&S

Im Bereich der Spanntechnik verfügt die Firma Bergmann & Steffen über langjährige Erfahrung bezüglich Entwicklung und Herstellung von Prototypen- und Serienspannvorrichtungen für Bauteile aus Metall. Abbildung 4 und 5 zeigen beispielhaft Bergmann & Steffen Prototypenvorrichtungen zur Aufnahme und Fixierung von Aluminiumbauteilen. Die Bauteile werden hier, wie im Automobilkarosseriebau weit verbreitet, mit Kniehebelspannern von Hand gespannt und von Hand verschweißt.



Abbildung 4: Integralträger Aluminium in Prototypenvorrichtung B&S

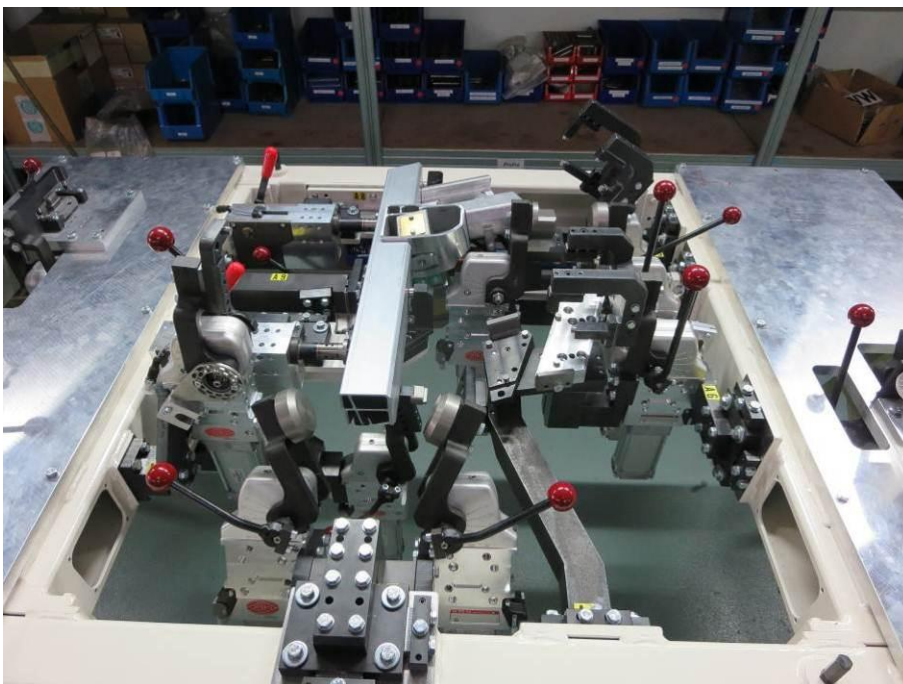


Abbildung 5: Vorzusammenbau Integralträger in Prototypenvorrichtung B&S

Speziell im Bereich der Spanntechnik von PKW-Sitzstrukturen hat die Firma Bergmann & Steffen eigens patentierte Spannwerkzeuge für Vordersitzlehnen und Rücksitzlehnen entwickelt, welche optimal auf die Bergmann & Steffen Serien-schweißanlagen höchst flexibel adaptierbar sind. Abbildung 6 und 7 zeigen beispielhaft Bergmann & Steffen Serienwerkzeuge zur Aufnahme und Fixierung von Stahl-Bauteilen. Die Bauteile werden hier, wie im PKW-Sitzstrukturenbau weit verbreitet, mit einem Ober- und Unterwerkzeug, welche mit einer hohen Anzahl von Stiften versehen sind, gespannt und mittels Laserstrahl verschweißt.



Abbildung 6: Rücksitzlehne Stahl in Serienwerkzeug B&S



Abbildung 7: Vorzusammenbau Rücksitzlehne in Serienwerkzeug B&S

Stand der Technik ist, das aufgrund der Eigensteifigkeit der Metall-Bauteile, siehe Abbildung 4 bis 7, die Spannkraft **lediglich punktuell** auf die Bauteile aufgebracht werden müssen um eine optimale prozesssichere Aufnahme und Fixierung im Spannwerkzeug zu gewährleisten. Bei den CFK-Preformlingen handelt es sich um ein textiles Gewebe, welches keine Eigensteifigkeit und eine unzureichende 3D-Geometriestabilität besitzt. Aus diesem Grund ist es erforderlich den CFK-Preformling **komplett flächig** mittels einem Unter- und Oberwerkzeug zu fixieren um die 3D-Geometrie bestmöglich zu erreichen. Abbildung 8 zeigt den CFK-Preformling in der Prototypenvorrichtung und Abbildung 9 zeigt die Kante nach erfolgtem Laser-Remote-Beschnitt.

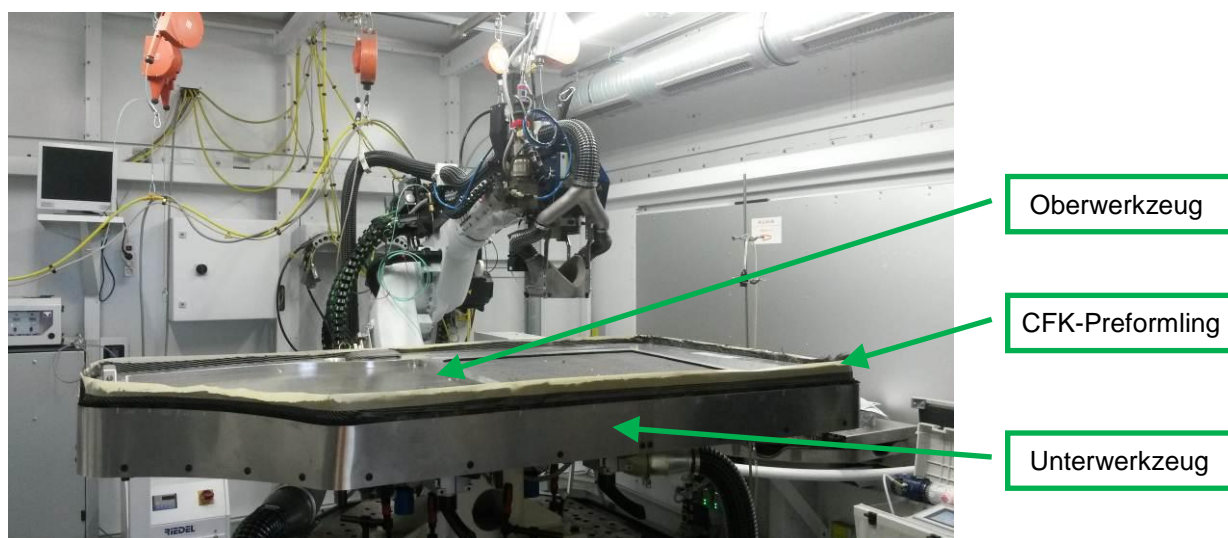


Abbildung 8: CFK-Preformling in Prototypenvorrichtung B&S

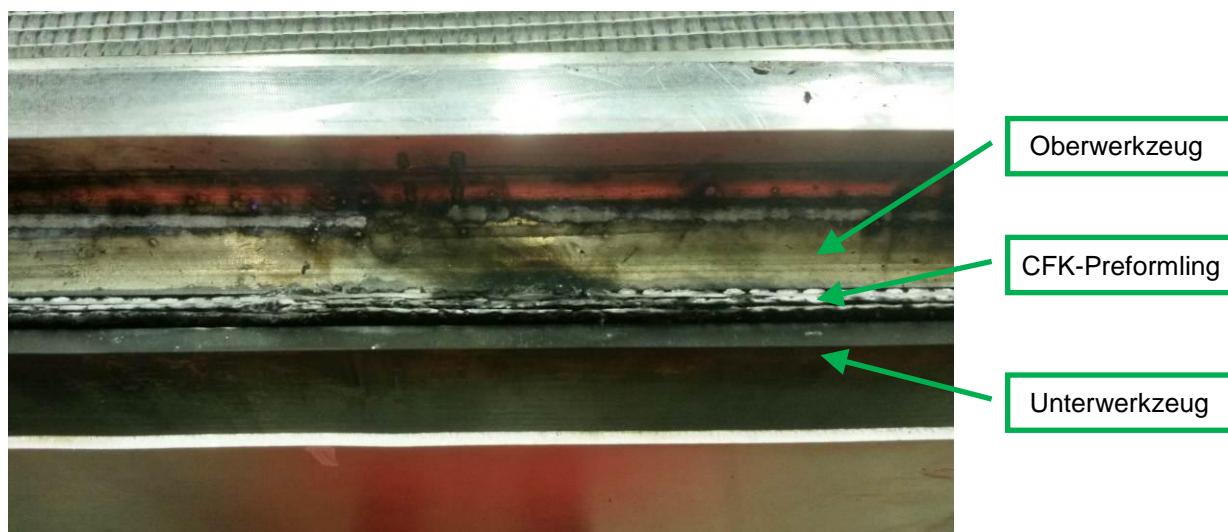


Abbildung 9: CFK-Preformling nach Laser-Remote-Beschnitt

Relevante Schutzrechte auf die Gestaltung von komplett flächig spannenden Werkzeugen für das Laser-Remote-Schneiden von CFK-Preformlingen und CFK-Bauteilen sind der Firma Bergmann & Steffen nicht bekannt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Firma CNC Speedform aus Werther unterstützte die Firma Bergmann & Steffen als Lieferant für das 3D gefräste Unterwerkzeug und Oberwerkzeug. Die Firma Bergmann & Steffen besitzt keine Fräsmaschinen, die derart komplexe 3D Geometrien des Bauteils Außenschale aus einem Block Aluminium herstellen könnte.

Das Laserzentrum Hannover unterstützte die Firma Bergmann & Steffen als Lieferant für die Analyse der beim Laser-Remote-Schneiden vom CFK-Preformling Außenschale und vom CFK-Bauteil Außenschale entstehenden Emissionen. Die Firma Bergmann & Steffen besitzt kein Messequipment zur Erfassung und kein know how bezüglich der Auswertung dieser Emissionen.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

2.1.1 Anlagentechnik

Um den Anforderungen an den CFK-Schneidprozess gerecht zu werden, sind im Bereich des Anlagenbaus bestimmte Punkte zu beachten. Anders als bei Schneidanlagen für Metall-Bauteile gibt es im Bereich des CFK-Schneidprozesses gravierende Unterschiede. Diese Unterschiede beziehen sich vor allem auf die Bereiche der Emission Behandlung und den Bereich der Spanntechnik. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurden seitens Bergmann & Steffen verschiedene Anlagen Konzepte entwickelt, welche wie nachfolgend beschrieben aussehen. Die Unterscheidung der Anlagenkonzepte bezieht sich auf die Bearbeitungsart, diese wird unterschieden in 2D- und 3D-Bearbeitung.

Anlagenkonzept 01/ 3D-Bearbeitung

Dieses Anlagenkonzept basiert auf einem Zwei-Stationen-Rundtisch, welcher zusätzlich über zwei Positionierachsen auf dem Hauptrundtisch verfügt. Diese Anlage wird ggf. über ein Werker betrieben der die Rohteile einlegt und die Fertigteile von Hand wieder entnimmt. Die Besonderheit des Anlagenkonzeptes ist die Absaugtechnik, welche einen hohen Einfluss auf die Taktzeit hat. Anders als bei Metall-Schneidanlagen, wo es kaum gefährlichen Emissionen gibt, ist bei einer CFK-Schneidanlage eine kurze Evakuierungszeit der Emissionen sehr wichtig. Dieses ist uns gelungen über eine mit am Roboter adaptierte Absaugung, sowie eine in das Werkzeug integrierte Absaugung. Zusätzlich befindet sich in der Zelle noch eine Zentralabsaugung, die die Zelleninnenluft erfasst und der Filteranlage zuführt. Über diese Kombination der punktuellen Emissionserfassung lässt sich so eine CFK-Schneidanlage im Automotive-Bereich kostengünstig betreiben.

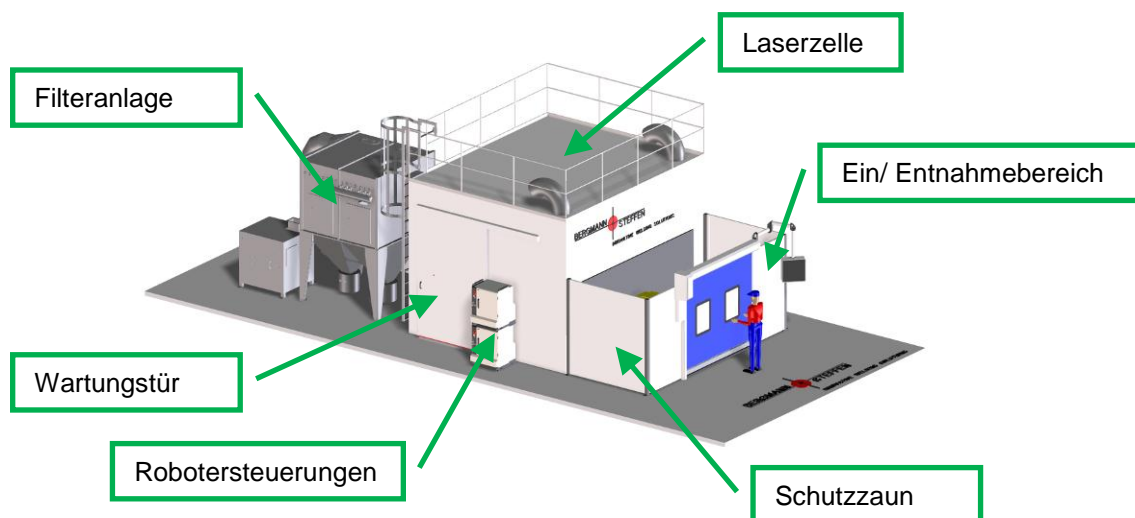


Abbildung 10: CFK-Schneidanlage Anlagenkonzept 01 Außenansicht

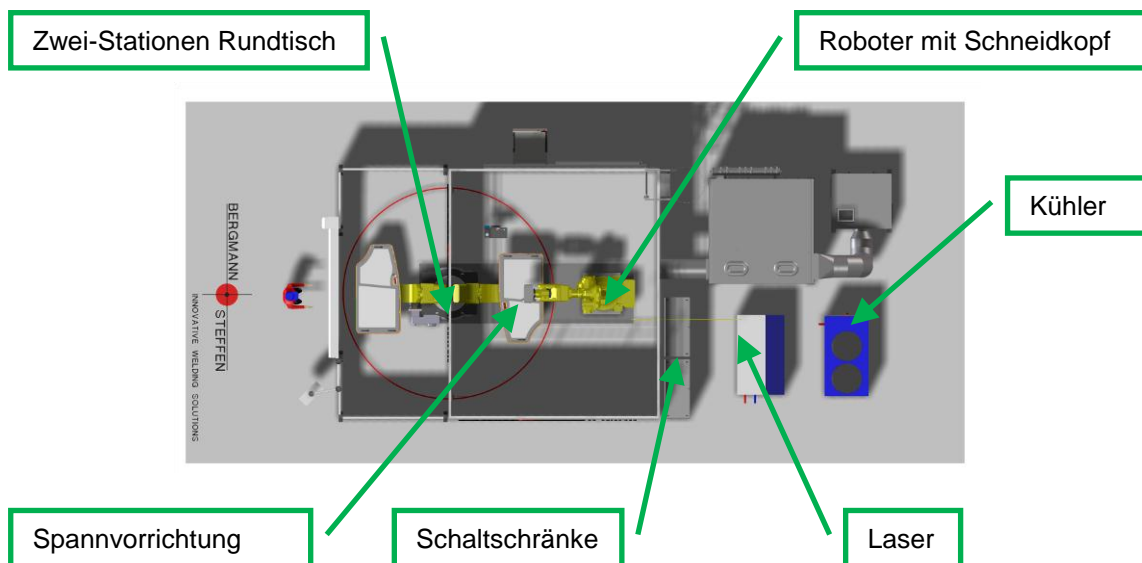


Abbildung 11: CFK-Schneidanlage Anlagenkonzept 01 Innenansicht

Anlagenkonzept 02/ 2D-Bearbeitung

Dieses Anlagenkonzept basiert auf einem Vier-Stationen-Rundtisch. Diese Anlage wird ggf. über ein bis drei Werker betrieben, welche die Rohteile einlegen und die Fertigteile von Hand wieder entnehmen. Die Besonderheit des Anlagenkonzeptes ist die Absaugtechnik, welche einen hohen Einfluss auf die Taktzeit hat. Bei diesem Anlagenkonzept, befindet sich ein Großteil aller Anlagenkomponenten auf der Bühne, was dieses Anlagenkonzept sehr kompakt macht. Anders als bei Metall-Schneidanlagen, wo es kaum gefährlichen Emissionen gibt, ist bei einer CFK-Schneidanlage eine kurze Evakuierungszeit der Emission sehr wichtig. Dieses ist uns gelungen über eine mit am Roboter adaptierte Absaugung, sowie eine in das Werkzeug integrierte Absaugung. Zusätzlich befindet sich in der Zelle noch eine Zentralabsaugung, die die Zelleninnenluft erfasst und der Filteranlage zuführt. Über diese Kombination der punktuellen Emissionserfassung, lässt sich so eine CFK-Schneidanlage im Automotive-Bereich kostengünstig betreiben.

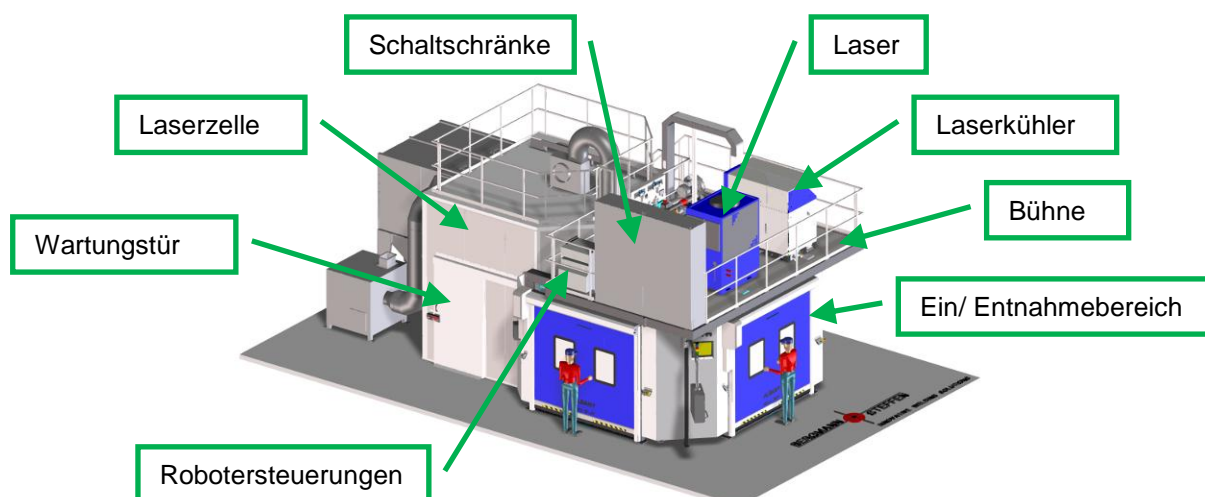


Abbildung 12: CFK-Schneidanlage Anlagenkonzept 02 Außenansicht

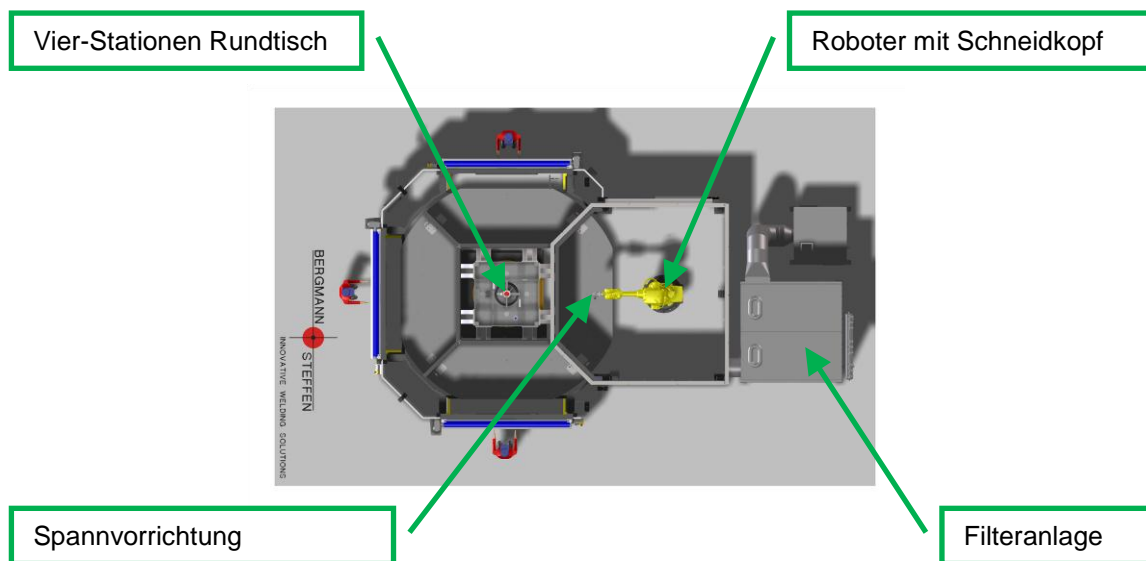


Abbildung 13: CFK-Schneidanlage Anlagenkonzept 02 Innenansicht

Absaugkopf 2D/3D-Scanner

Dieser Absaugkopf ist an den 2D/3D-Scanner adaptiert, welcher sich an einem Roboter befindet. Über diesen Absaugkopf ist es möglich die Emissionen prozessnah beim Trennvorgang zu erfassen. Vom Absaugkopf werden die Emissionen erfasst, gehen über zwei Saugschläuche auf einen Y-Verteiler und werden dann über einen Saugschlauch zur zentralen Filteranlage abgeführt. Die Absaugleistung am Absaugkopf ist über eine Drosselklappe regelbar.

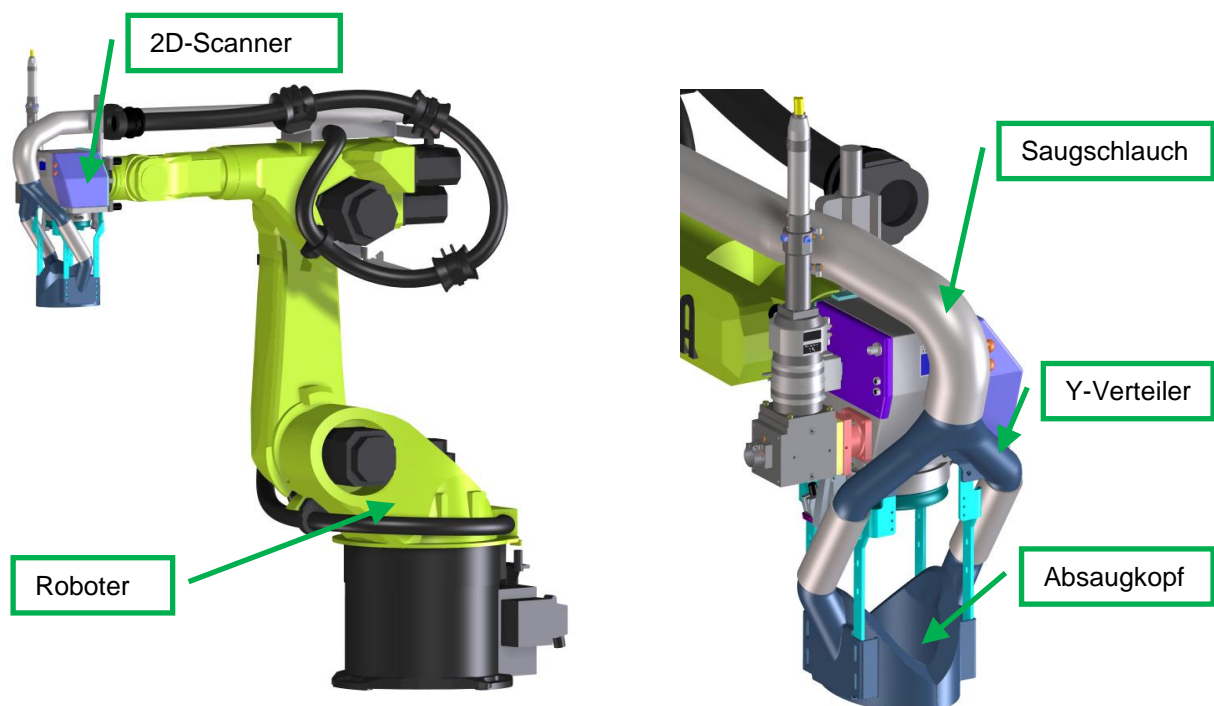


Abbildung 14: CFK-Absaugkopf für 2D/3D-Scanner

2.1.2 Vorrichtungstechnik

In dem Projekt wurde anhand einer CFK-Wohnmobiltür der Trennprozess optimiert. Dafür wurde eine Spannvorrichtung entwickelt, welche in der Lage ist, folgende Halbzeugstände der Wohnmobiltür zu verarbeiten:

1. Rohbeschnitt des vorgeformten Preformling Außenschale (ohne Harzanteil)
2. Rohbeschnitt des CFK-Bauteils Außenschale (mit Harzanteil)
3. Fertigbeschnitt des CFK-Bauteils Außenschale/Innenschale (mit Harzanteil und Kleberanteil).

Bauteilbeschreibung:

Die CFK-Wohnmobiltür ist ein Bauteil, welches über eine leichte Krümmung verfügt, zudem ist der Bauteilrand 90° umgestellt, welches der Tür die Formsteifigkeit gibt. Der Preformling ist aufgrund des noch fehlenden Harzanteils offenporig und lässt sich über Vakuum nicht spannen. Das fertige CFK-Bauteil ist sehr kratzempfindlich, welches zu weiteren Problemen beim Positionieren und Spannen führt.



Abbildung 15: CFK-Wohnmobiltür weiß lackiert mit eingeklebtem Fenstereinsatz
Vorrichtungsbeschreibung:

Die Spannvorrichtung besteht aus einem massiven Grundkörper aus Stahl, der die Außenkontur der Tür abbildet. Diese Außenkontur ist bei allen Halbzeugständen des CFK-Bauteils annähernd gleich. Diese Gleichheit bezieht sich aber nur auf die theoretische Kontur, der Preformling ist aufgrund dessen, dass noch kein Harzanteil vorhanden ist, nur bedingt formstabil. Um diesen Preformling spannen zu können, wurden in die Vorrichtung spezielle Composite Sauger der Firma Schmalz eingebracht. Diese Composite Sauger werden über Druckluft betrieben. Angesteuert werden diese über zwei pneumatische Handhebelventile. Ein normaler Vakuumsauger ist nicht in der Lage, ein Preformling zu halten. Der Preformling ist so offenporig, dass der Luftwiderstand zu gering ist, den Preformling zu spannen und das Bauteil zu halten. Anders der Composite Sauger, dieser besitzt aufgrund eines sehr hohen Volumenstromes genug Haltekraft um einen Preformling zu spannen und zu halten. Um diesen Composite Sauger in die Vorrichtung einbringen zu können, wurde dieser modifiziert und direkt in die Vorrichtung integriert.

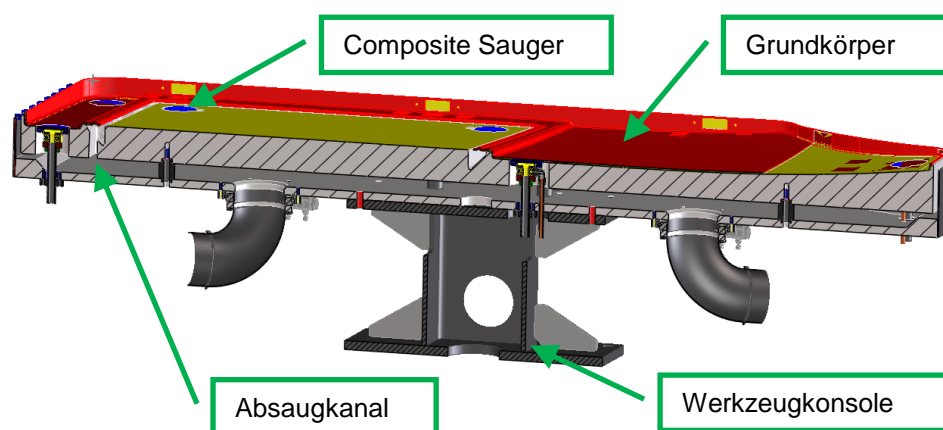


Abbildung 16: Spannvorrichtung für CFK-Wohnmobiltür (Schnitt 01)

Um in bestimmten Trennbereichen das CFK-Bauteil nicht zu beschädigen, wurde in das Werkzeug eine Strahlenablenkung eingebracht. Diese verhindert, daß der Laserstrahl zurück auf das Gutbauteil gelenkt wird. Mithilfe der Strahlenablenkung wird der rückreflektierende Laserstrahl nach dem Prinzip Einfallwinkel = Ausfallwinkel auf das Ausschussbauteil gelenkt.

Zur Erfassung der Emissionen wurde in die Spannvorrichtung eine Absaugung integriert, welche das direkte Absaugen während des Trennprozess und das Nachrauchen des Bauteiles nach dem Trennprozess übernimmt. Die Absaugung wird über zwei Absaugschläuche an der Spannvorrichtung drehbar adaptiert und an eine kundenseitige Absaugung angeschlossen. Die Vorrichtung besitzt einen doppelten Boden, dieser unterteilt das Werkzeug in zwei Hälften und erzeugt so einen Kanal. Über diesen Kanal werden die gesamten Emissionen abgesaugt. Um den Absaugkanal vor abgetrennten Bauteilen zu schützen wurden kleine Schutzbleche oberhalb des Kanals verbaut. Diese Schutzbleche leiten die abgetrennten Bauteile seitlich ab und halten den Absaugkanal frei.

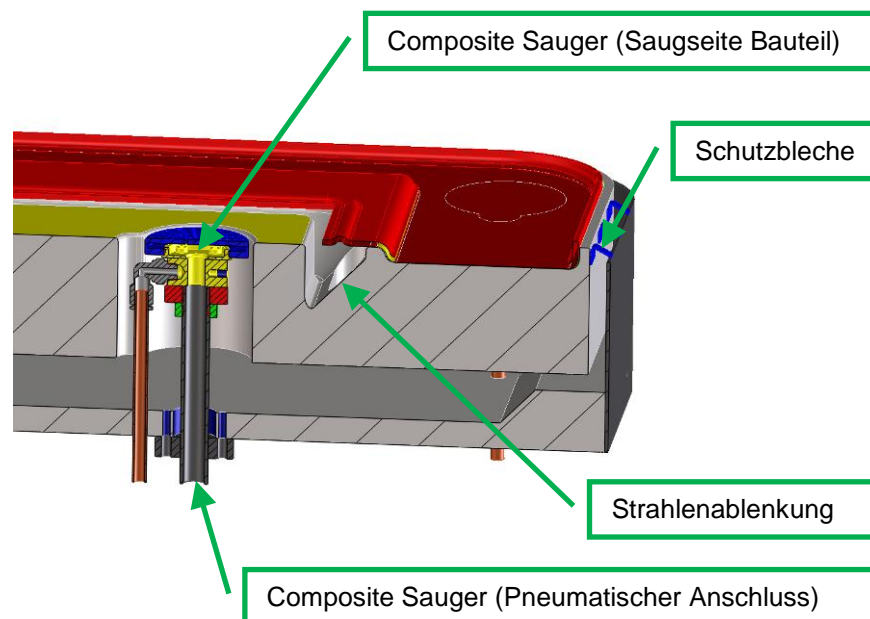


Abbildung 17: Spannvorrichtung für CFK-Wohnmobiltür (Schnitt 02)

Die letzte Vorrichtungskomponente ist ein Oberwerkzeug, dieses hat folgende Aufgaben:

1. Schutz des Bauteils vor Beschädigung durch Laser-/Streustrahlung
2. Andrücken des Preformlings
3. Aufnahme der Oberwerkzeugabsaugung.

Um beim Trennvorgang das CFK-Bauteil von der Oberseite schützen zu können, wird das Oberwerkzeug von Hand oben auf das Bauteil gelegt, aufgrund des Eigengewichts des Oberwerkzeugs wird das Bauteil ausgerichtet und angeedrückt. Zum Auflegen des Oberwerkzeugs werden zwei Personen benötigt, die Größe des Oberwerkzeugs und das Eigengewicht von knapp 60kg wären für eine Person zu hoch. Ebenso wie im Unterwerkzeug dient die konturgebundene Bauteilaufnahme als Bauteilschutz. Ohne vollflächigen Schutz könnte eine Beschädigung des Bauteils erfolgen. Die Oberwerkzeugabsaugung arbeitet ähnlich wie auf der Unterseite, ist jedoch separat an eine Absaugung anzuschließen, da es keine direkte Verbindung zwischen Ober und Unterwerkzeug gibt. Die Oberwerkzeugabsaugung ist eine einzelne Einheit die lose auf das Oberwerkzeug aufgelegt wird.

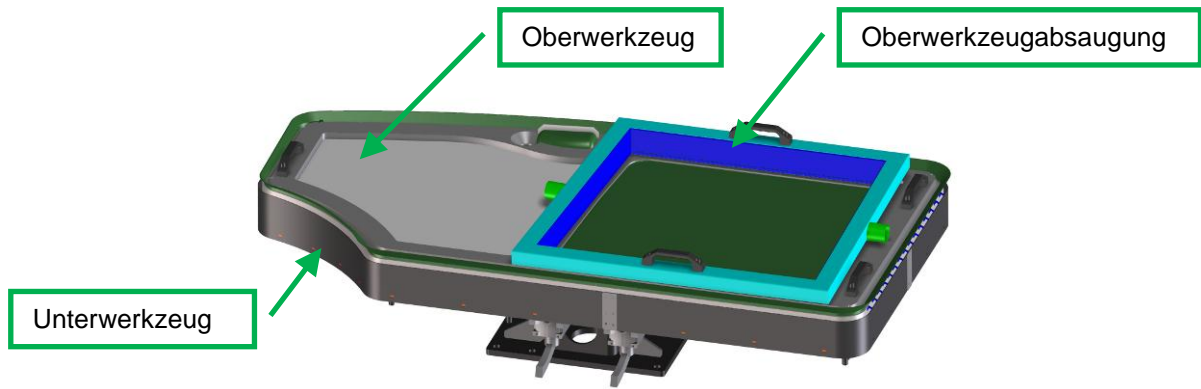


Abbildung 18: Spannvorrichtung für CFK-Wohnmobiltür Oberwerkzeug

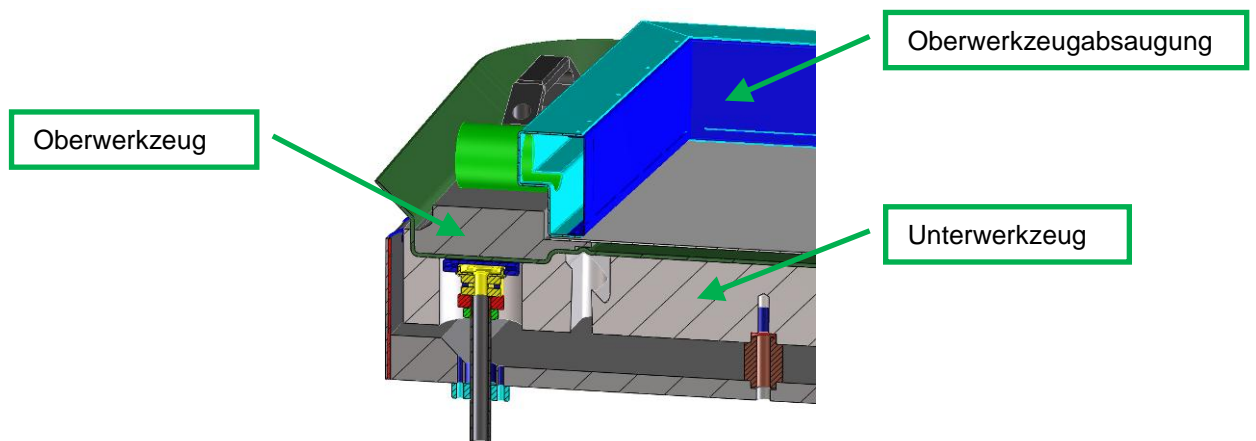


Abbildung 19: Spannvorrichtung für CFK-Wohnmobiltür (Schnitt 03)

In dem Laser-Remote-Trennwerkzeug wurden viele Situationen für einen Serienprozess nachgebildet, diese wurden aufgrund der Kosten und der Platzverhältnisse jedoch teilweise nur händisch umgesetzt oder nur teilweise ankonstruiert.

2.1.3 Emissionen

Beim Laser-Remote-Schneiden von CFK-Preformlingen und CFK-Bauteilen treten erhebliche Emissionen in Form von Laserstrahlung und Materialverdampfung auf.

Die Bearbeitung der CFK-Preformlinge und der CFK-Bauteile fand in einer Laseranlage im Laser Zentrum Nord in Hamburg statt. Die Laserkabine verfügt über aktive Schutzwände und einer zentralen Absaugung. Somit waren die Bedingungen für den Arbeits- und Umweltschutz bereits von Beginn an in Bezug auf die Anlagentechnik gewährleistet.

Für Spannvorrichtungen haben die Emissionen Laserstrahlung und Materialverdampfung einen ganz wesentlichen Einfluss auf Prozessstabilität und Langlebigkeit eines Betriebsmittels. Abbildung 20 zeigt die Spannvorrichtung nach dem Beschneiden von ca. 30 Stück CFK-Preformlingen.

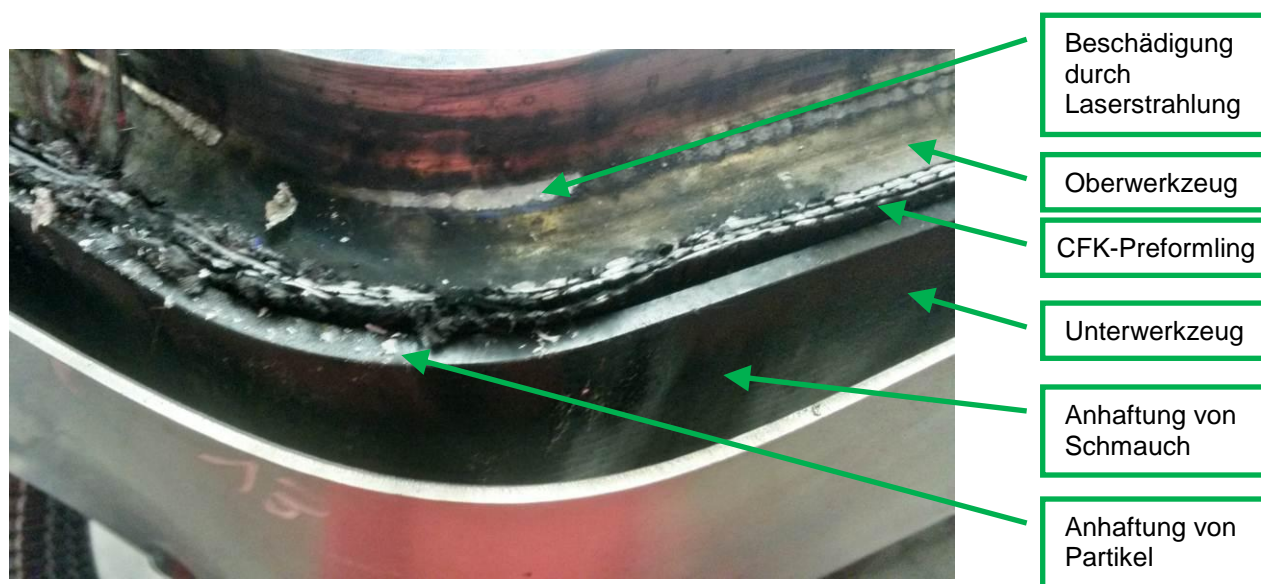
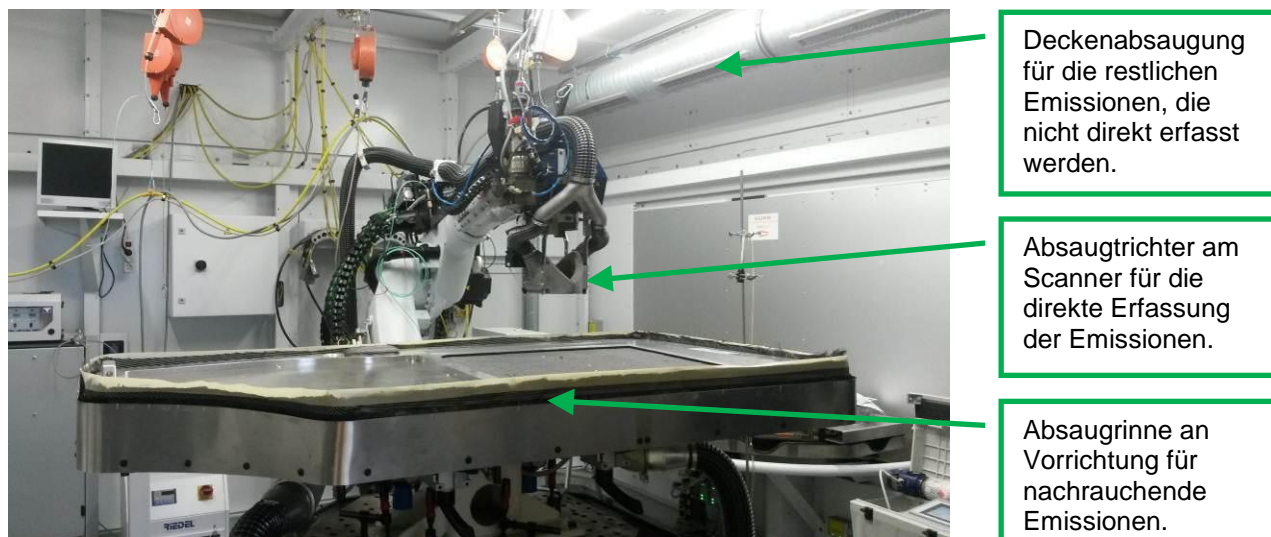


Abbildung 20: CFK-Preformling in Spannvorrichtung B&S

Auf der Abbildung 20 ist gut zu erkennen, dass das Oberwerkzeug, welches den CFK-Preformling in das Unterwerkzeug drückt, eine Beschädigung erfährt, sobald die Laserstrahlung mit zu hoher Intensität auf die Materialoberfläche einwirkt. Hier müsste zukünftig ein größerer Abstand zwischen der Beschnitt Kante und dem Oberwerkzeug bzw. eine komplette Abschrägung des Oberwerkzeugs erfolgen. Somit würde die auftreffende Energie der Laserstrahlung auf eine größere Fläche verteilt und damit eine Beschädigung des Aluminiums durch Abschmelzungen vermieden.

Ebenfalls ist auf Abbildung 20 gut zu erkennen, dass sich erhebliche Rückstände aus dem Laser-Remote-Schneidprozess an der Spannvorrichtung ansammeln. Im Wesentlichen wurde eine Anhaftung von Schmauch und Partikeln an Ober- und Unterwerkzeug festgestellt. Bereits im Vorfeld wurde an der Prozessparameterentwicklung der CFK-Muster erkannt, dass für die Laser-Remote-Schneidprozessstabilität eine gute Absaugung erforderlich ist.

Die Abbildung 21 zeigt, welche Maßnahmen an der Anlagen- und Vorrichtungstechnik vorgenommen wurden um eine möglichst prozessnahe und vollständige Absaugung der Emissionen zu gewährleisten.



Deckenabsaugung für die restlichen Emissionen, die nicht direkt erfasst werden.

Absaugtrichter am Scanner für die direkte Erfassung der Emissionen.

Absaugrinne an Vorrichtung für nachrauchende Emissionen.

Abbildung 21: Konzept Absaugung in Anlage Laser Zentrum Nord

Grundsätzlich hat sich dieses Konzept mit der Erfassung der Emissionen am Scanner mit einem Absaugtrichter, an der Vorrichtung mit den Absaugrinnen und einer Absaugung unterhalb der Zellendecke bestätigt. Leider konnten aufgrund der geringen Anzahl der beschnittenen CFK-Proformlinge und CFK-Bauteile keine Erkenntnisse im Hinblick auf eine Serienfähigkeit gesammelt werden.

Als Anlagenbauer war für Firma Bergmann & Steffen hier sehr wichtig, grundsätzliche Erfahrungen für die Auslegung der Absaugtechnik in einer CFK-Laser-Remote-Schneidzelle zu erlangen. Zu diesem Zweck wurde das Laser Zentrum Hannover beauftragt eine Emissionsanalyse in der Laserzelle am Laser Zentrum Nord durchzuführen. Abbildung 22 zeigt den Aufbau der Messtechnik innerhalb der Laserzelle.



Messgeräteaufbau für die Erfassung der Emissionen.

Schlauch von Absaugtrichter Scanner.

Schlauch aus Absaugrinnen Vorrichtung.

Abbildung 22: Messgeräteaufbau in Anlage Laser Zentrum Nord

Durch diesen Aufbau war es möglich die Emissionen separat für die Anfertigung eines CFK-Preformling und eines CFK-Bauteil quantitativ und qualitativ zu erfassen und auszuwerten.

Die Abbildung 23 zeigt beispielhaft REM Aufnahmen mit drei unterschiedlichen Vergrößerungen eine Probe. Eine stichprobenartige Vermessung der Fasersegmente zeigt im vorliegenden Fall, dass die Durchmesser der Fasern $> 3 \mu\text{m}$ sind. Somit ist das WHO-Kriterium für gefährliche Fasern nicht erfüllt.

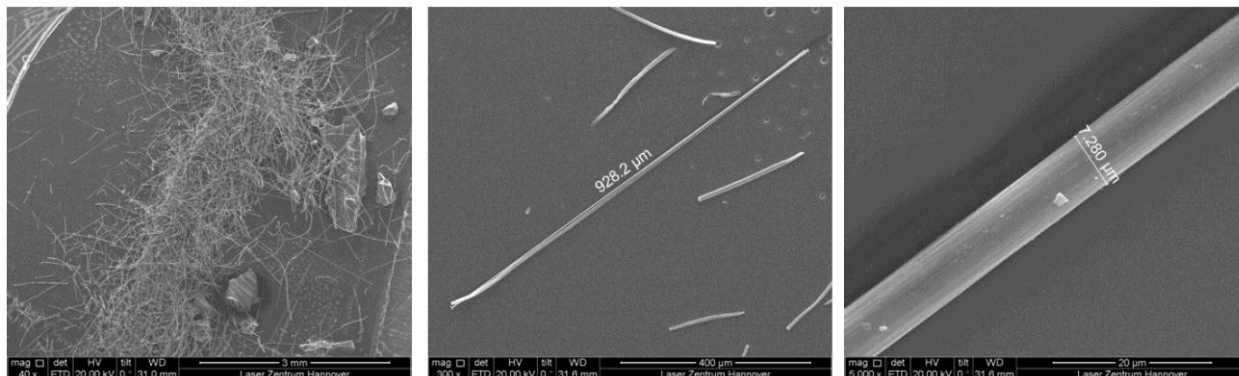


Abbildung 23: REM Aufnahmen CFK Faserbündel (Quelle Ergebnisbericht LZH)

Als Fazit der Emissionsanalyse bestätigt das Laserzentrum Hannover, dass alle Grenzwerte relevanter Gefahrstoffe bei dem hier untersuchten Prozessen der Materialbearbeitung mittels Laser bei bestimmungsgemäßen Betrieb zu jeder Zeit eingehalten werden.

Die detaillierten Ergebnisse der Emissionsanalyse sind in einem separaten Ergebnisbericht des Laserzentrum Hannover zusammengefasst und dokumentiert.

2.2 Allgemeine Informationen Zahlenmäßiger Nachweis

Die Gesamtvorkalkulation basierte auf die Entwicklung und Herstellung von zwei Prototypenspannvorrichtungen. Aufgrund der Entscheidung im Projekt nur eine Prototypenvorrichtung zu entwickeln und herzustellen entstand ein Minderbedarf bei den Personal- und Materialkosten. Diese Einsparungen ermöglichten den Leistungsumfang der Emissionsanalyse nicht nur auf die 2D-Muster zu beschränken, sondern auf die Anfertigung der 3D-Bauteile auszuweiten. Insgesamt sind in diesem Projekt alle Kostenziele eingehalten worden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der Automobilbau stellt besondere Anforderungen an Qualität und Wirtschaftlichkeit bei der Herstellung von Fahrzeugteilen. Außerdem verfügen die OEMs über hohe Standards bezüglich des Arbeits- und Umweltschutzes. Aus diesem Grund war die exakte Definition der Anforderungen hinsichtlich Laser-Remote-Schneid-Prozess, Bauteil-Qualität und der Anlagen- und Vorrichtungstechnik erforderlich.

Als Anlagen- und Vorrichtungsbauer, spezialisiert auf die Materialbearbeitung von Metall-Bauteilen, lag die Motivation der Firma Bergmann & Steffen in diesem Projekt darin, Basiswissen auf dem Gebiet der Herstellung und Materialbearbeitung von CFK-Bauteilen zu erlangen.

Speziell die Auswirkungen auf die Spannvorrichtung durch die entstehenden Emissionen, Beschuss der Vorrichtung mit Laserstrahlung und Verdreckung der Vorrichtung der beim Laser-Remote-Schneid-Prozess entstehenden Abfälle (Rauch, Fasern, ...) waren hier von großem Interesse.

Im Bereich der Anlagentechnik war es hier sehr wichtig Erkenntnisse zu erlangen, ob Konzeption und Konstruktion der Bergmann & Steffen Anlagen auf die Materialbearbeitung von CFK-Bauteilen grundsätzlich neu überdacht oder lediglich angepasst werden müssen.

2.4 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Für die Bergmann & Steffen GmbH war dieses 3-jährige Projekt der grundsätzliche Einstieg in den Bereich Forschung & Entwicklung. Speziell dieses Forschungsvorhaben, welches sich mit der Herstellung und Materialbearbeitung von CFK-Bauteilen beschäftigt, hat dem Unternehmen einen ersten umfassenden Einblick verschafft.

Die Ergebnisse aus diesem Forschungsvorhaben sind komplett auf dem Server im Ordner Forschung & Entwicklung, für jeden Mitarbeiter im Hause zugänglich, abgelegt und dokumentiert. Das Spannwerkzeug plus CFK-Bauteil soll zur Ansicht und als Blickfang in der Bergmann & Steffen Empfangshalle aufgestellt werden.

Das Forschungsvorhaben wurde im September 2015 auf der Messe COMPOSITES EUROPE in Stuttgart dem Fachpublikum vorgestellt. Abbildung 24 zeigt den Messestand mit dem Roboter / Scanner, dem Spannwerkzeug / CFK-Bauteil und eine komplette Wohnmobiltür als Demonstrator.



Abbildung 24: Messestand REMOTE-C auf der COMPOSITES EUROPE

Der Messestand war über die 3 Tage gut besucht und es konnten zahlreiche neue Kontakte zu OEMs und Lieferanten geknüpft werden. Diese gilt es nun weiter zu vertiefen um ein evtl. neues Geschäftsfeld für die Bergmann & Steffen GmbH zu erschaffen. Bis dato konnten noch keine ersten Kundenprojekte zur Entwicklung/Herstellung von Laser-Remote-Schneidanlagen bzw. Laser-Remote-Schneidwerkzeugen realisiert werden.

Eine Erfindungsmeldung wird seitens der Firma Bergmann & Steffen GmbH nicht angestrebt. Die interne Analyse mit der GF, dem Vertrieb und der Konstruktion kam zu dem Ergebnis, dass die in diesem Projekt erzielten Ergebnisse sehr erfolgreich für den Aufbau von know how auf dem Gebiet der CFK-Materialbearbeitung waren, jedoch die Anmeldung eines Patents aus unternehmerischer Sicht nicht rechtfertigt.

Im gesamten Verlauf des Projekts wurden keine Fortschritte hinsichtlich der Anlagen- und Spanntechnik zum Laser-Remote-Schneiden von CFK-Material bei anderen Stellen aus dem Bereich der Forschung & Industrie bekannt.

2.5 Veröffentlichungen

Durch die Veröffentlichung der Aktivitäten und Ergebnisse des Projekts fand eine umfangreiche Verbreitung dieser Inhalte statt. Dazu sind konkret Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Magazinen und Fachzeitschriften sowie auf fachspezifischen Tagungen und Messen erfolgt:

- Herzog, D.; Canisius, M.; Schmidt-Lehr, M.; Rörig, B.; Schlude, N.; Hammer, T.; Emmelmann, C.: Großserientauglicher Trennprozess – Endkonturzuschnitt an CFK-Bauteilen durch Laser-Remote-Bearbeitung. In: Kunststoffe , 6/2014 , S. 46-49.
- Herzog, D.; Canisius, M.; Schmidt-Lehr, M.; Rörig, B.; Schlude, N.; Hammer, T.; Emmelmann, C.: Cutting Process Suitable for High-Volume Production. In: Kunststoffe International, 6/2014, S. 28-31.

Veröffentlichungen des Laser Zentrum Nord:

- Emmelmann, C.; Herzog, D.; Canisius, M.: Laser-Remote-Schneiden – Großserienfähiges Trennverfahren für Faserverbundkunststoffe. In: 19. Nationales Symposium SAMPE Deutschland e.V. – Faserverbundwerkstoffe in der Energiewende. 27.-28. Februar 2013, Hamburg, S.68-70. ISBN 978-3-941492-58-5
- Herzog, D., Canisius, M.; Schmidt-Lehr, M.; Oberlander, M.; Tasche, J.; Emmelmann, C.: Laser Cutting of CFRP using a 30 Kw Fiber Laser. In: ICALEO 2014.
- Herzog, D., Canisius, M., Schmidt-Lehr, M., Hergoss, P., Daniel, C., Hallmann, S., Emmelmann, C., Scherner, M.V.: Investigations on the 3D laser cutting of CFRP using a nanosecond pulse fibre laser. Applied Polymer Composites. Vol. 2, No. 4, 2014.
- Canisius, M.; Herzog, D.; Schmidt-Lehr, M.; Oberlander, M.; Direnga, J.; Emmelmann, C.: Laser cutting of carbon fiber-reinforced plastic with an absorber transparent for visible spectrum. Journal of Laser Applications, Band 27, 2015, Seite 032003.
- Schmidt-Lehr, M.; Oberlander, M.; Herzog, D., Canisius, M.; Radek, M.; Emmelmann, C.: Investigations on the process strategy of laser remote cutting of carbon reinforced plastics with a thickness of more than 3 mm. ICCM20 in Copenhagen, 2015.
- Herzog, D.; Schmidt-Lehr, M.; Canisius, M.; Oberlander, M.; Emmelmann, C.: Influence of laser cutting on handling, drape and infusion characteristics of preforms. ICCST/10, 2015.
- Oberlander, M.; Schmidt-Lehr, M.; Herzog, D.; Canisius, M.; Emmelmann, C.: Laser-remote-cutting of large-scale semi-finished carbon-fiber products using

a solid state laser. Tagungsband, Lasers in Manufacturing Conference, 21.-25. Jun. 2015, München, Deutschland, Beitrag 137.

- Canisius, M.; Oberlander, M.; Herzog, D.; Schmidt-Lehr, M.; Ploog, P.; Albert, F.; Emmelmann, C.: Correlation between Temperature Field and Heat Affected Zone during Laser Cutting of Carbon Fiber Reinforced Polymers. Tagungsband, Lasers in Manufacturing Conference, 21.-25. Jun. 2015, München, Deutschland, Beitrag 260.
- Oberlander, M.; Herzog, D.; Canisius, M.; Schmidt-Lehr, M.; Emmelmann, C.: Highspeed-Trennprozess für 3D-CFK-Bauteile im Großformat. In: Plastverarbeiter.
- Herzog, D.; Schmidt-Lehr, M.; Oberlander, M.; Canisius, M.; Radek, M.; Emmelmann, C.: Laser cutting of carbon fibre reinforced plastics of high thickness. ICCM/20.

3. Literatur

- GOE10 Goeke, A.: Laserstrahltrennen von Faserverbundkunststoffen. Dissertation, TU Hamburg-Harburg, 2010
- HER08 Herzog, D.; Jäschke, P.; Meier, O.; Haferkamp, H.: Investigations on the thermal effect caused by laser cutting with respect to static strength of CFRP. Int J on Machine Tools & Manufacture, 48 (2008) 1464– 1473
- KAT10 Katayama, S.; Jung, K.-W.; Kawahito, Y.: High power laser cutting of CFRP, and laser direct joining of CFRP to metal. 29th International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, ICALEO 2010 - Congress Proceedings, Volume 103, 2010, Pages 333-338
- KLO11 Klotzbach, A.; Hauser, M., Beyer, E.: Laser cutting of carbon fiber reinforced polymers using highly brilliant laser beam sources. Physics Procedia, Vol. 12, Issue PART 1, 2011, Pages 572-577
- LÜT09 Lütke M.; Klotzbach, A.; Wetzig, A.; Beyer, E.: Laserschneiden von Faserverbundwerkstoffen, LTJ (3) 2009, S. 25f
- NII11 Niino, H.; Kurosaki, R.: Laser cutting of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) by UV pulsed laser ablation. Proceedings of SPIE, Volume 7920, 2011, Article number 792019
- STU11 Stute, U.: Die Hoffnung Laser. Laser-Community 11/2011, S.14-16

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN Geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Abschlussbericht
3. Titel Laser-Remote-Schneiden zur Automatisierung und Verkürzung der Taktzeiten bei der Fertigung von Fahrzeugen und Fahrzeugbauteilen in CFK-Bauweise (REMOTE-C) Teilvorhaben: Entwicklung, Konstruktion und Herstellung von 2 Prototypenvorrichtungen zum Laser-Remote-Schneiden von CFK-Bauteilen	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Schlude, Norbert Schäl, Ralf	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2015
	6. Veröffentlichungsdatum Juni 2016
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Bergmann & Steffen GmbH Raiffeisenstraße 176 32139 Spenge	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01MX12049B
	11. Seitenzahl 25
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin	13. Literaturangaben 7
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 24
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Bei der Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen, insbesondere von Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen (CFK), sind Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide Stand der Technik. Nachteil dieser Verfahren ist der hohe Werkzeugverschleiß, der durch die abrasive Wirkung der Verstärkungsfasern verursacht wird. Dies führt zu hohen Kosten für die Bearbeitung bei gleichzeitig unzureichender Produktivität. Eine Alternative stellt das Wasserstrahlabrasivschneiden dar, wobei die erreichbaren Geschwindigkeiten im Bereich von wenigen m/min und das aufwändige Handling des Wasser-Abrasivmittel-Gemisches einem Einsatz in der Serienfertigung im Automobilbereich entgegenstehen. Ein vielversprechender Ansatz zur Lösung dieser Problemstellung ist das Laser-Remote-Schneiden, da neben der Verschleißfreiheit des Verfahrens hohe Bearbeitungsgeschwindigkeiten von >10 m/min erreichbar sind und durch den Einsatz von Industrierobotern eine hohe Automatisierbarkeit und Flexibilität aufweist. Unter diesem Gesichtspunkt befasste sich die Bergmann & Steffen GmbH mit der Entwicklung, Konstruktion und Herstellung von zwei Prototypenvorrichtungen zum Laser-Remote-Schneiden von CFK-Preformlingen und CFK-Bauteilen. Die Aufgabenstellung des Teilvorhabens bestand darin, dem Projekt geeignete Spanntechnik zur prozesssicheren Aufnahme der CFK-Bauteile beizustellen, welche in die Laser-Remote-Schneidanlage des Laser Zentrum Nord in Hamburg zu integrieren und installieren waren. Zusätzlich galt es grundlegendes Prozessverständnis bezüglich der Auswirkungen des Laser-Remote-Schneidens von CFK-Preformlingen und CFK-Bauteilen im Hinblick auf die Anlagen- und Vorrichtungstechnik sowie dem Arbeits- und Umweltschutz zu erlangen. Die entwickelten Laser-Remote-Schneidprozesse wurden an der Herstellung einer Wohnmobiltür-Außenschale, vom Beschnitt des CFK-Preformlings, dessen Injektion im RTM-Prozess bis hin zum abschließenden Beschnitt des CFK-Bauteils demonstriert. Die Einhaltung der Vorgaben seitens Volkswagen erlaubt somit künftig eine Integration des Prozesses in die automobilen Fertigungskette.	
19. Schlagwörter Elektromobilität, Leichtbau, FVK,CFK, GFK, Composites, Laserschneiden, Laser-Remote-Schneiden	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN intended	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title Laser-Remote-Cutting for the Automation and Reduction of the cycle times with the Production of Vehicles and Vehicle parts in CFRP Construction (REMOTE-C) Subproject Development and manufacturing of 2 prototype jigs for laser remote cutting of carbon fiber reinforced plastic parts	
4. author(s) (family name, first name(s)) Schlude, Norbert Schäl, Ralf	5. end of project 30.09.2015 6. publication date June 2016 7. form of publication report
8. performing organization(s) (name, address) Bergmann & Steffen GmbH Raiffeisenstraße 176 32139 Spenge	9. originator's report no. 10. reference no. 01MX12049B 11. no. of pages 25
12. sponsoring agency (name, address) Federal Ministry for Economic Affairs and Energy 11019 Berlin	13. no. of references 7 14. no. of tables 1 15. no. of figures 24
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract <p>In the processing of fiber-reinforced composites, especially of carbon-fiber reinforced plastics (CFRP), processes with geometrically defined cutting edge are state of the art. The disadvantage of this process is the high tool wear caused by the abrasive effect of the reinforcing fibers. This leads to high process costs as well as insufficient productivity. An alternative is the water-jet-cutting with achievable speeds up to just a few m / min. This and the time-consuming handling of water-abrasive mixture preclude a use in series production in the automotive sector. A promising approach for solving this problem is the laser-remote-cutting, because in addition to the wear-free process, high processing speeds of >10 m/min are achievable, accompanied with a high automation and flexibility by using industrial robots.</p> <p>From this point of view, the Bergmann & Steffen GmbH dealt with the development, design and production of two prototype fixtures for remote laser cutting of CFRP preforms and CFRP assemblies. The task of the subproject was to provide suitable clamping technology for the reliable positioning of CFRP components to the project, which were to integrate and install the remote laser cutting system of the Laser Zentrum Nord in Hamburg. Additional targets were the achievement of fundamental process knowledge regarding the influence of laser remote cutting of CFRP with respect to the engineering of apparatus and fixture as well as the occupational safety and environmental protection.</p> <p>The process was demonstrated by manufacturing an outer part of a caravan door, from trimming the preforms through their injection within an RTM process to final trimming of the laminate. The process fulfils all requirements by Volkswagen and allows future integration of the process in the automotive manufacturing chain.</p>	
19. keywords electromobility, lightweight construction, cfrp, lasercutting, laser-remote-cutting,	
20. publisher	21. price