

Marktstudie zur Zerspaltung von faserverstärkten Kunststoffen

Philipp Esch, Marco Schneider

Moderne Leichtbauwerkstoffe wie CFK erfahren in den letzten Jahren aus dem Automobilsektor eine erhöhte Nachfrage. Motiviert ist diese durch Vorgaben zur Verbrauchs- und CO₂-Reduzierung. In der Luft- und Raumfahrt sind leichte und robuste Materialien ebenfalls von großer Bedeutung (Quelle: Frost & Sullivan, S. 18, S. 21). Über alle Industriezweige hinweg wachsen die Anstrengungen für Nachhaltigkeit und Umweltschutz. Für die Baubranche ist zudem die Vermeidung von Korrosion ein relevantes Thema, aber auch zur Erzielung leichter oder gar freitragender Strukturen. Diese kurze Auflistung der Herausforderungen verschiedener Branchen verdeutlicht das große Potenzial von CFK, welches dank seiner speziellen Eigenschaften eine Lösung dieser Problemstellungen bedeuten kann.

Ziel einer vom Fraunhofer Institut IPA und Institut für Werkzeugmaschinen durchgeführten Umfrage an der Tagung zur CFK-Zerspaltung 2015 in Stuttgart war es, die aktuelle Sicht auf den Bereich der CFK-Bearbeitung zu erfassen und damit zukünftige Themenschwerpunkte für Forschung und Entwicklung zu ermitteln. Weiterhin dient diese Analyse dazu, wichtige Themen für zukünftige Veranstaltungen an den Teilnehmerbedürfnissen auszurichten.

Die Fragestellungen wurden nach 4 Rubriken differenziert und umfassten dabei die Themenfelder Teilnehmerspektrum, Marktentwicklung, Zerspaltungstechnologien für CFK und Qualitätssicherung in der CFK-Bearbeitung. Von den rund 110 Teilnehmern konnten 40 Umfragebögen vollständig ausgewertet werden und dienen als Grundlage der Analyse.

Teilnehmerspektrum

Die Veranstaltung adressiert Themen rund um die Zerspaltung von CFK-Werkstoffen im Besonderen, richtet den Fokus aber auch auf periphere Prozesse und erweiterte Aspekte der Bearbeitung. Der Querschnitt der Teilnehmer ist daher sehr heterogen und reicht von Werkzeugherstellern über Zulieferer bis hin zu Endanwendern aus unterschiedlichen Branchen (Abb. 1). Mit 42 % nahmen 2015 vorwiegend Vertreter von Werkzeugherstellern teil, gefolgt von Werkzeugmaschinenherstellern mit 24 %. Dies reflektiert eine der größten Herausforderungen

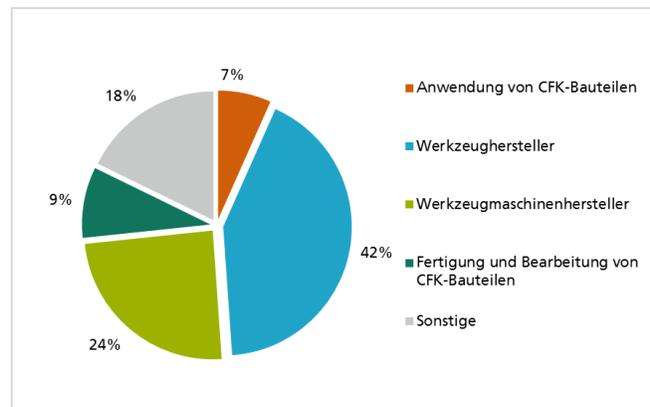


Abb. 1: Branchenherkunft der Befragten

in der Zerspaltung von CFK: Die Beschaffenheit des innovativen Werkstoffes und die zur Metallzerspaltung ungleichen Bedingungen machen eine anwendungsgerechte Werkzeugauslegung notwendig. Insbesondere die hohen Wirtschaftlichkeitsanforderungen stellen eine wichtige Zielgröße der Entwicklungen dar. Mit einem Anteil von 7 % respektive 9 % waren Anwender von CFK-Bauteilen für eigene Produkte und Unternehmen aus der Fertigung von CFK-Bauteilen vertreten. Die Gruppe der „Sonstigen“

umfasste Kühlschmierstofflieferanten, Vereinsdelegierte und Hersteller peripherer Prozessausrüstungen sowie Roh- und Schneidstoffhersteller.

Von den Befragungsteilnehmern gaben 42 % an, dass ihr Interesse neben CFK auf weiteren faserverstärkten Kunststoffen liegt. 31 % interessieren sich daneben auch für FVK-Metall-Hybridwerkstoffe. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Teilnehmer. Eine reine Ausrichtung auf CFK ist bei den wenigsten Teilnehmern gegeben. Vielmehr liegt das Brancheninteresse auf einem Materialmix aus Leichtbauwerkstoffen auf Basis von Leichtmetallen, Schäumen und verstärkten Kunststoffen.

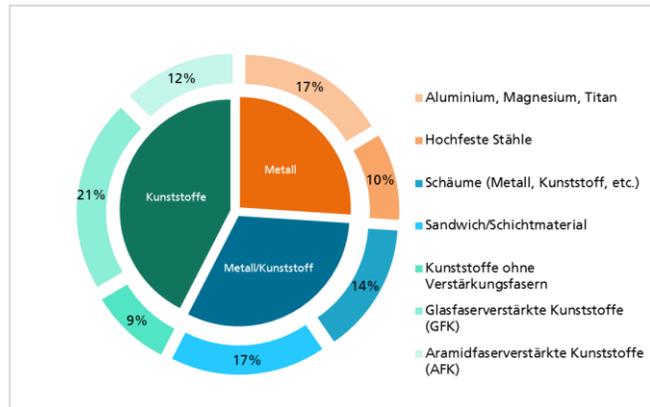


Abb. 2: Werkstoffinteresse der Befragten

Markt und Zukunft des Werkstoffs CFK

Einer Studie von Frost & Sullivan zufolge kann von 2014 bis 2020 ein Wachstum der weltweiten Verwendung von CFK von durchschnittlich jährlich 16 % erwartet werden (Abb. 3). Das bestätigt die zunehmende Bedeutung von CFK. Die Auswertung der hier vorliegenden Umfrage gab Aufschluss darüber, welche Branchen zukünftig für die Zerspanung von CFK-Werkstoffen relevant sein können (Abb. 4).

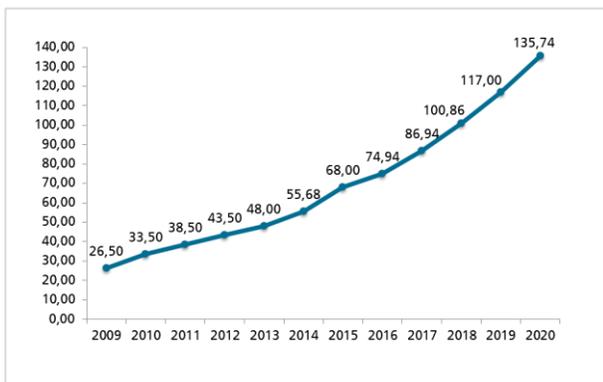


Abb. 3: Verwendung von CFK weltweit in 1.000 Tonnen von 2009-2020, Quelle: Frost & Sullivan, Carbon Fibers Technology – 9 Dimensional Assessment, S. 24

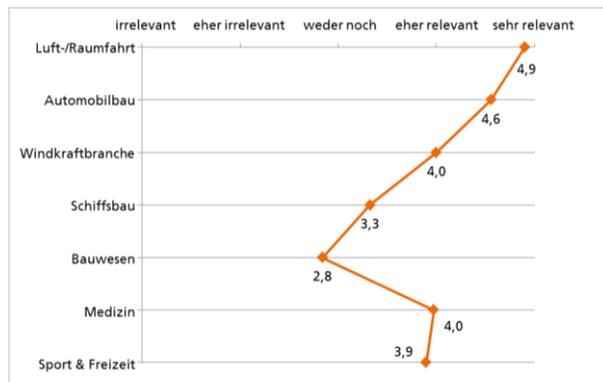


Abb. 4: Relevanz der Märkte für die Zukunft der spanenden CFK-Bearbeitung

Nach Einschätzung der Befragten hat CFK besonders in der Transportmittelindustrie, vor allem in der Luft- und Raumfahrt und dem Automobilbau einen sehr hohen Stellenwert. Die Schwerpunktsetzung kann zum einen damit erklärt werden, dass die Automobilindustrie zunehmend mehr CFK einsetzt und derzeit mit einem Anteil von nur 5 % am Gesamtmarkt für CFK ein sehr großes Wachstumspotenzial besitzt, vor allem im Hinblick auf die Möglichkeiten der Massenfertigung (Quelle: Frost & Sullivan, S. 21). Zum anderen war und ist die Luft- und Raumfahrt als Branche, in der Materialeigenschaften über die Kosten gestellt werden, eine der wesentlichen Treiber bei der Akzeptanz von CFK. Die hohe Anzahl an geforderten Nietbohrungen bei der Herstellung von Flugzeugen unterstreicht die Bedeutung der spanenden Bearbeitung von CFK in der Praxis. Die erwartete Wachstumsrate für Produkte und Anwendungen der Luft- und Raumfahrt sowie

der Verteidigungsbranche liegt Einschätzungen zufolge im Zeitraum von 2014-2020 bei jährlich 14 % (Quelle Frost & Sullivan, S. 18). Das Bauwesen und der Schiffsbau sind laut vorliegender CFK-Befragung hingegen von untergeordneter Bedeutung. Medizintechnik, Sport und Freizeit und die Branche der Windkraftanlagen werden zwar als ebenfalls relevant eingestuft, jedoch mit etwas geringerer Bedeutung.

Die Umfrageteilnehmer konnten ein fiktives Entwicklungsbudget in Höhe von 100.000 € auf ein vorgegebenes Themenspektrum mit relevantem Bezug zur Bearbeitung von Verbundwerkstoffen aufteilen (Abb. 5). Die Auswertung ergab folgende durchschnittliche Verteilung. Größte Position mit etwa 37.000 € nahmen Investitionen in die Optimierung von Werkzeugen ein, wohingegen eine Investition in alternative/produktivere Bearbeitungstechnologien nur etwas über 9.000 € betragen würde. Dies legt nahe, dass die Technologien der Wahl zwar geeignet sind, die Werkzeuge für die CFK-Zerspanung hingegen noch Potenzial im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit eröffnen. Zusammengenommen etwa 26.000 € ihres Budgets würden die Befragten in die Entwicklung der Anlagenperipherie zur Absaugung sowie in ein Kühlschmierstoffsystem investieren. Vorhersagen und ein besseres Verständnis der Zerspanung mittels Simulationen wäre den Befragten einen Budgetanteil von knapp 15 % wert. Dies zeigt, dass auch zukünftig das Werkzeug als solches im Fokus der Entwicklungen stehen wird. Die kommende CFK-Tagung wird hierzu als Forum zum Austausch und der Ideenfindung weitere Beiträge bei der Werkzeugentwicklung für die zukünftige CFK-Zerspanung leisten.

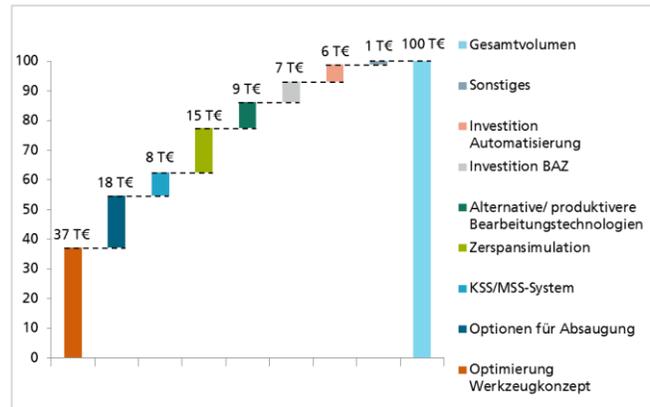


Abb. 5: Verteilung eines fiktiven Entwicklungsbudgets von 100.000 € mit relevantem Bezug zu Verbundwerkstoffen

Zerspanung – Kühlschmierstoffe

95 % der Teilnehmer gaben an, dass das Fräsen das häufigste Bearbeitungsverfahren ist, gefolgt von Bohren mit 88 %. 27 % wenden auch das Sägen und 22 % das Drehen von CFK-Werkstoffen an. Nennungen mit einem Anteil kleiner 20 % umfassen in absteigender Ordnung das Gewinden, Reiben, Trennschleifen, Wasser- und Laserstrahlschneiden (Abb. 6). Mit 63 % setzt die Mehrheit der Befragten ein Kühlschmierstoffsystem während der Bearbeitung ein (Abb. 7), wobei die nachstehende Verteilung die Anteile der jeweiligen Konzepte aufschlüsselt (Abb. 8). 60 % entfallen hierbei auf die Kühlung mittels Druckluft.

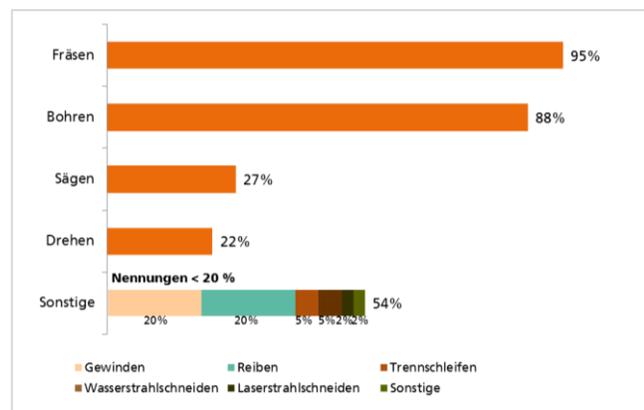


Abb. 6: Eingesetzte Art der CFK-Bearbeitung

Überflutungskühlung und -schmierung sowie MMS weisen mit 14,3 % respektive 11,4 % nur eine mäßige

Marktdurchdringung auf. Die Nassbearbeitung im Bereich der CFK-Zerspanung ist somit den Umfrageergebnissen zufolge als wenig verbreitet anzusehen. Als einer der Gründe hierfür kann die noch unzureichende kritische Bewertung der Wirkung von Nassbedingungen während des Zerspanungsprozesses auf den CFK-Werkstoff betrachtet werden. In diesem Zusammenhang gilt es auch die entsprechenden Kühlschmierstoffe in ihrer Rezeptur auf die Werkstoffe abzustimmen und die Unbedenklichkeit während des Einsatzes und die Verträglichkeit mit dem Werkstoff zu bestätigen. Die kryogene Zerspanung hat für die Bearbeitung von CFK unter den Befragten noch keine praktische Relevanz, bietet jedoch aufgrund des größten Kühleffektes für den Anwendungsfall CFK mit entsprechender Temperaturempfindlichkeit bei bereits mittleren Zerspanungstemperaturen ein hohes technisches Potenzial.

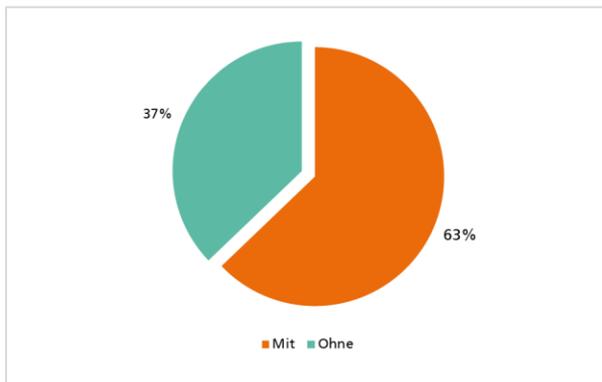


Abb. 7: Einsatz bzw. Nichteinsatz von Schmierung/Kühlung

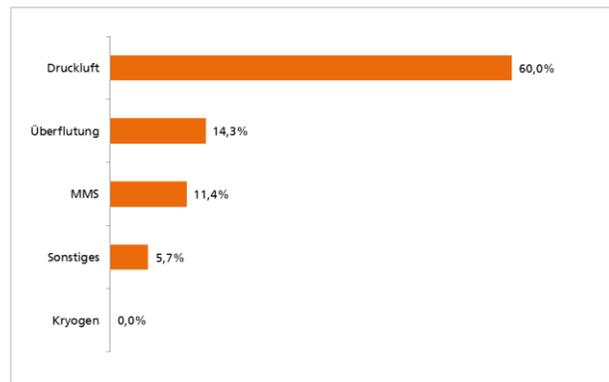
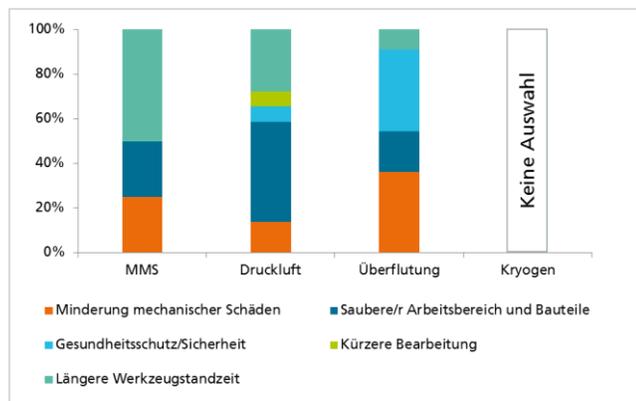


Abb. 8: Eingesetzte Art der Schmierung/Kühlung

Für den Einsatz der genutzten Konzepte wurden verschiedene Gründe angegeben (Abb. 9). Druckluft wird primär zwecks sauberer Bauteile und Arbeitsbereiche angewandt, während die Nassbearbeitung im Fall der MMS-Anwendung hauptsächlich durch die Verlängerung der Werkzeugstandzeit motiviert ist. Die Überflutungskühlung dient zuvorderst der Qualitätsverbesserung und dem Gesundheitsschutz der Maschinenbediener, da in diesem Fall gefährliche Stäube in der Flüssigkeit gebunden werden können. Benannte Gründe für den Nichteinsatz umfassen nachfolgende Klebprozesse, Verschmutzung, nachträgliche notwendige

Reinigung/Aufbereitung
Vorhandensein von
Filtrationsanlagen.



und das nicht geeigneten

Abb. 9: Gründe für den Einsatz von Schmierung/Kühlung

Eine technologische Entwicklung, um Vorteile von Schmierung mit einer trockenen Bauteilumgebung zu verbinden, ist das am IPA entwickelte Minimalmengen-Trockenschmierverfahren auf Basis von Graphit. Dieses bietet eine innovative Alternative zu flüssigen Kühlschmierkonzepten (MMS, KSS). Dabei bietet es zu MMS-Systemen vergleichbare Schmiereigenschaften, ohne die mechanischen Bauteileigenschaften durch Flüssigkeitseinwirkungen negativ zu beeinflussen (Abb. 10).

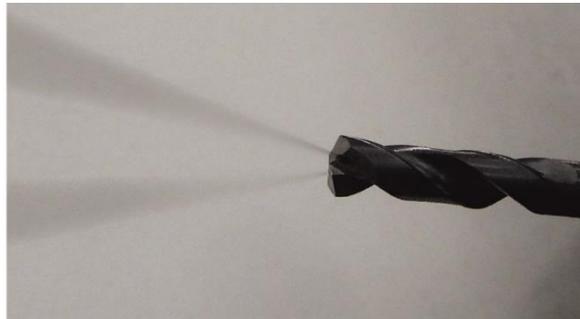


Abb. 8: Sprühprinzip Trockenschmierung

Zerspanung – Simulation

Im Hinblick auf die theoretische Betrachtung von Zerspanungsprozessen wurden die Teilnehmer befragt, welche Aussagen sie von einer Simulation in erster Linie erwarten (Abb. 11). Im Kontext der CFK-Zerspanung liegen dabei die Zerspanungskräfte weniger im Fokus, als vielmehr die resultierende Bearbeitungsqualität am Werkstück und der Werkzeugverschleiß. Nachrangig hierzu werden die Kräfte und das allgemeine Zerspanungsverhalten als Aussagegröße erwartet. Die kontextspezifische Ausrichtung der Simulationsaussagen deckt sich mit den noch bestehenden Kenntnisdefiziten in Wissenschaft und Industrie auf diesem Gebiet, insbesondere einer noch unzureichenden modellhaften Erfassung des Werkstoffverhaltens. Daher entwickelt das Fraunhofer IPA gemeinsam mit Partnern aus Wirtschaft und Forschung Werkstoffmodelle für metallische und nicht-metallische Leichtbauwerkstoffe. Großes Augenmerk erhält dabei CFK, welches im Hinblick auf die Vorhersagbarkeit der typischen Schadensphänomene Delamination und Ausfransung mittels FEM modelliert wird. Damit können ungünstige Schnittparameter und somit teure Bearbeitungsfehler vermieden werden (Abb. 12).

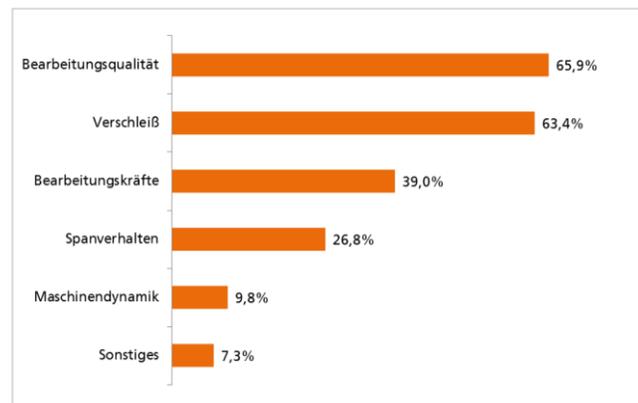


Abb. 9: Die wichtigsten Vorhersagen, die von einer Zerspan-simulation erwartet werden

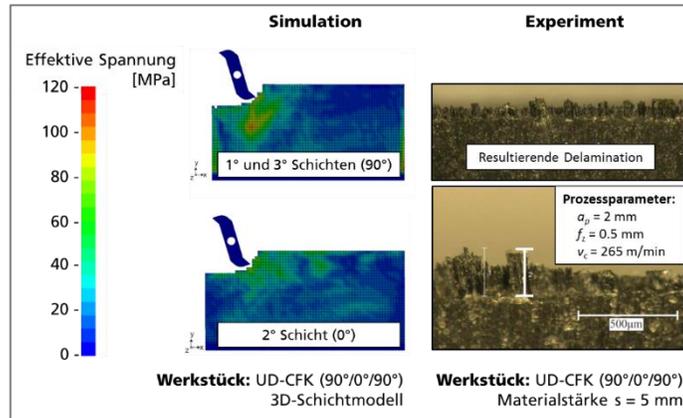


Abb. 10: Simulation des Spannungseintrages in unterschiedlich orientierte Werkstoffschichten eines CFK-UD-Werkstoffes

Zerspanung – Schleifen von CFK

Experten messen dem Spanen mittels undefinierter Schneide speziell im Zusammenhang mit der CFK-Bearbeitung ein hohes Potenzial bei, da dieses Verfahren eine hohe Qualität verspricht und die undefinierten Schneiden weniger verschleißanfällig sind. Die Umfrageergebnisse (Abb. 13) spiegeln dies wider und zeigen, dass lediglich für 28,6 % der Befragten die Verbesserung der erzeugbaren Oberflächenqualität durch Schleifen ein relevantes Entwicklungsthema ist, gleichauf mit der Verringerung des Werkzeugverschleißes und der Verminderung thermischer Schädigungen.

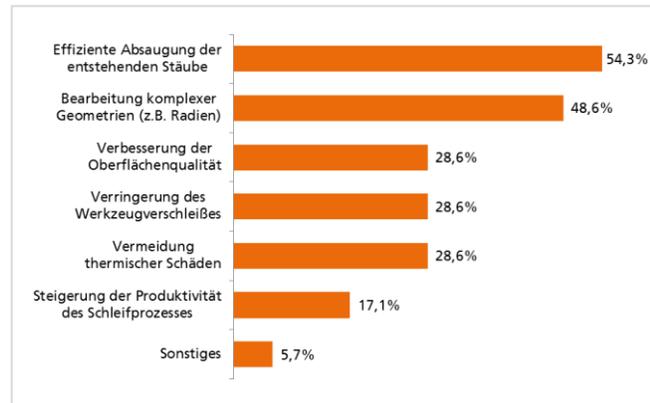


Abb. 11: Bereiche mit größtem Entwicklungsbedarf hinsichtlich Schleifbearbeitung von FVK

Für rund die Hälfte der Befragten, damit von hoher Priorität und somit als noch unzufrieden stellend anzusehen, sind die Absaugung der entstehenden Stäube als auch die Bearbeitung komplexer Geometrien. Hierbei gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass der Einsatz von Schleifstiften die Anwendung im Vergleich zu Trennschleifscheiben erweitern kann und demnach je nach Werkzeugwahl bereits komplexe Geometrien fertigbar sind. Die allgemeine Produktivität der Schleifbearbeitung kann als zufrieden stellend angesehen werden, wobei hier eine Vielzahl an Einflussgrößen vorliegt. Neben den Parametern der Bearbeitung ist insbesondere das Werkzeug von großer Bedeutung.

Durch Anpassungen der Korneigenschaft und der Korngröße im Werkzeug können z.B. Trennschleifscheiben sowohl als Trennwerkzeuge für hochproduktive Bearbeitung der Leichtbauwerkstoffe als auch als Werkzeuge zur Herstellung hochpräziser Konturen und Geometrien verwendet werden. Neben der Anwendung der Trennscheiben, werden Diamantschleifstifte bei der Bearbeitung von komplexen FVK-Bauteilen eingesetzt. Die am Fraunhofer IPA erprobte

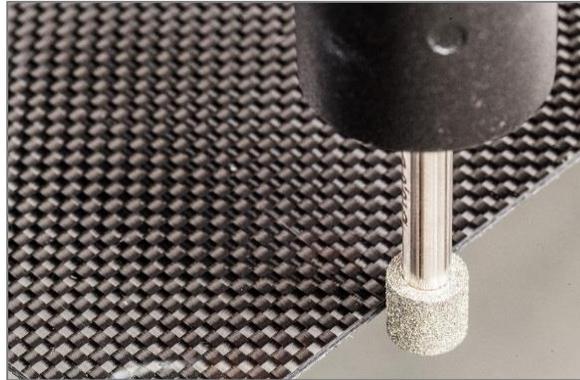


Abb. 12: Trennschleifen als Verfahrensalternative für die CFK-Bearbeitung

Bearbeitungsstrategie mit einer wechselnden Prozessdrehrichtung beim Trennen mittels Diamantschleifstiften ermöglicht eine hohe Bearbeitungsqualität ohne Ausfransungserscheinungen und Kantenabsplitterung an sensiblen Bauteilbereichen wie Werkzeug ein- und -austritt (Abb. 14).

Zerspanung – Absaugung und Spänerfassung

Befragt nach dem Handlungsbedarf hinsichtlich der Absaugung von CFK-Stäuben (Abb. 15) gaben 100 % der Teilnehmer an, dass der Schutz der Mitarbeiter eine große bis sehr große Bedeutung einnimmt. Die teilweise lungengängigen Stäube stellen eine große Herausforderung bezüglich des Mitarbeiterschutzes dar und werden als solche durch die Befragten wahrgenommen. Ebenso werden Stäube und Fasern als Problematik für die Bearbeitungsmaschine und elektrische Einrichtungen angesehen. 84 % der Befragten sehen einen großen bis sehr großen Handlungsbedarf im Sinne einer spezifischen Lösungsentwicklung zum Schutz von Maschinen und Elektrik. Für mehr als 70 % der Befragten stellen die Prozesssicherheit sowohl der Endbearbeitung als auch der Folgeprozesse (wie Kleben, Lackieren etc.) große bis sehr große Herausforderungen dar.

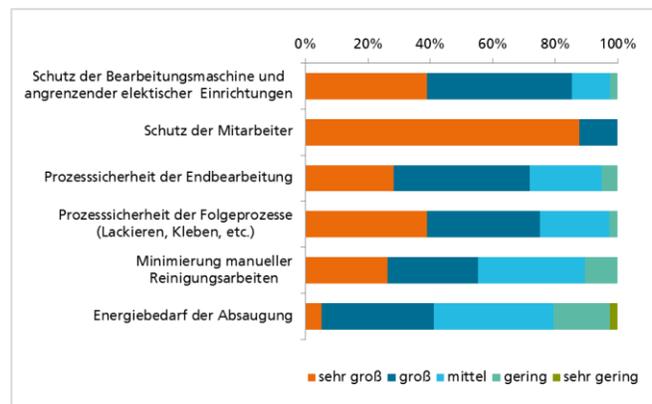


Abb. 13: Handlungsbedarf hinsichtlich Absaugung von CFK-Spänen

Nachrangig ist die Minimierung manueller Reinigungsarbeiten als auch der Energiebedarf einer Absaugeinrichtung eingeschätzt worden. Der Handlungsbedarf hinsichtlich des Energieaufwandes wurde, obwohl eine Absaugung hohe Kosten verursachen kann, mit 60 % als mittel bis sehr gering bewertet. Dies kann im Zusammenhang mit der höheren Priorisierung der Aspekte Schutz von Mitarbeitern und Anlagen interpretiert werden und unterstreicht deren Brisanz. Auf Seite der technischen Lösungen wird bereits mehrheitlich eine wirkzonennahe Kopfabsaugung realisiert (Abb. 16). Daneben findet auch die Raumabsaugung große Anwendung. Lediglich 18,4 % wenden keine Absaugung an. Die Nassbearbeitung wird zu 15,8 % mit primärem Ziel der Bindung der Späne und Stäube eingesetzt.

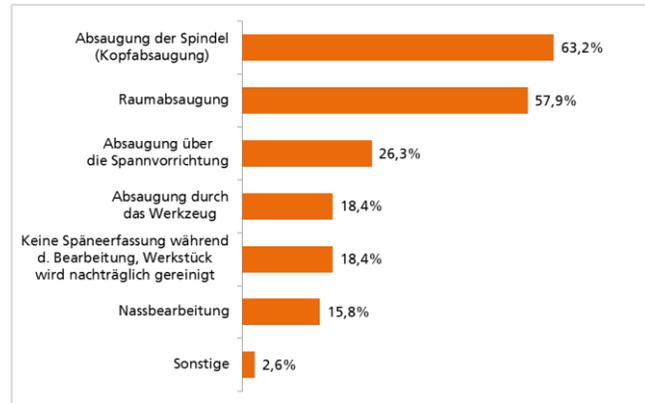


Abb. 14: Eingesetzte Methoden der Späne-/Staubfassung

Eine innovative Lösung im Bereich der 3-Achsbearbeitung stellt das Absaugsystem ADExSys dar (Abb. 17). Dieses erfasst das entstehende Spangut mittels Thermosensoren und führt eine werkzeugnahe Absaughaube dem Spänestrahlnach. So können bei geringer Absaugleistung hohe Erfassungsraten erzielt werden. Für die 5-Achsbearbeitung komplexer Bauteilstrukturen wurde in einem Kooperationsprojekt zwischen der Firma SCHUKO und dem Fraunhofer IPA eine neuartige Raumabsaugung mit Prozessluftrückführung genutzt. Diese nutzt 80 % der abgesaugten Luft, um das Spangut gezielt in die Erfassungselemente zu blasen. Hierdurch wird nicht nur die Erfassungsrates deuthch gesteigert, sondern auch der Energiebedarf deuthch gesenkt.

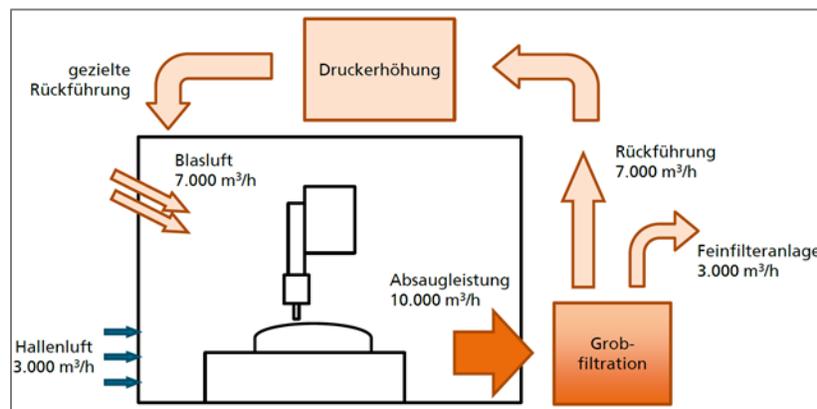


Abb. 15: Schematische Darstellung des Absaugprinzips mit Prozessluftrückführung

Zerspanung – Qualität und Kosten

Die wesentlichen Qualitätskriterien, nach denen die Bearbeitungsqualität bei CFK beurteilt werden kann, sind den Umfrageergebnissen nach (Abb. 18) sowohl Delamination als auch Ausfransung mit 93 % respektive 85 % Zustimmung. Als weniger kritisch fiel die Bewertung der Gratbildung mit 34 % und der Kantenausbrüche mit 32 % aus. Anhaftungen/Aufschmelzungen scheinen von den Teilnehmern als unproblematisch angesehen zu werden.

Um die Qualität an Bauteilen zu erfassen, gaben 85,7 % der Befragten an, eine visuelle Prüfung durch einen Mitarbeiter durchführen zu lassen (Abb. 19). Lediglich 45,7 % verwenden bereits teilautomatisierte Methoden. Nur 8,6 % wenden vollautomatische Prüfmethoden an. Das hohe Potenzial zur Automatisierung der Qualitätskontrolle sowie das Defizit an bestehenden Lösungen hierzu kann an diesen Angaben abgelesen werden.

Zur Erhöhung der Automatisierung und Erfassung objektiver Qualitätskennzahlen entwickelte das Fraunhofer IPA ein optisches Prüfgerät zur Bestimmung der Qualität von spanend bearbeiteten Bauteilen aus CFK. Hiermit lassen sich objektiv und nachvollziehbar Bearbeitungsfehler an Bohrungen und Kanten reproduzierbar messen (Abb. 20). Die Messergebnisse

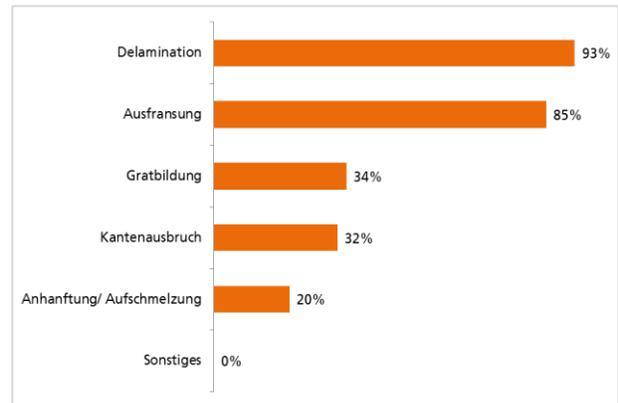


Abb. 18: Wesentliche Qualitätskriterien bei der CFK-Bearbeitung

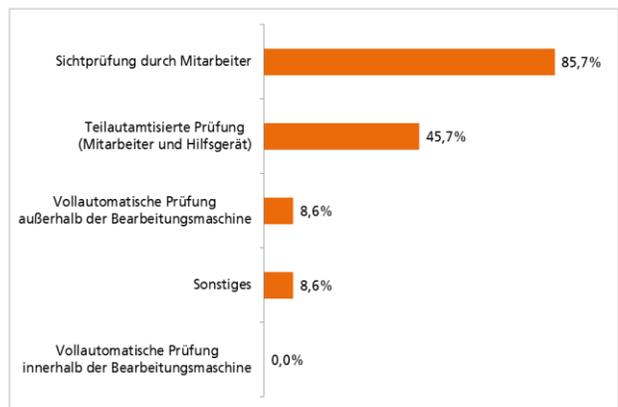


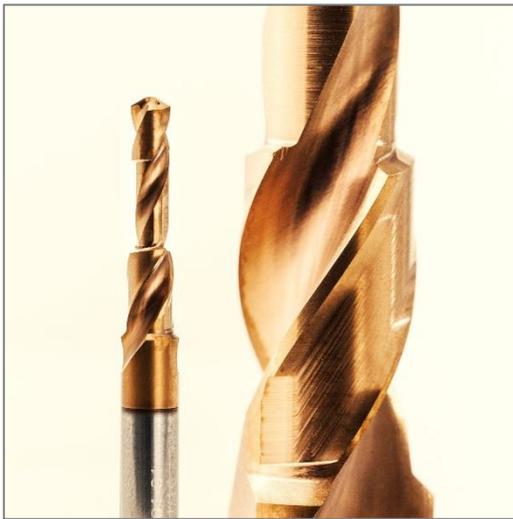
Abb. 19: Art der Prüfung hinsichtlich typischer Bearbeitungsfehler



Abb. 16: wirtschaftliche und objektive Qualitätserfassung mit dem Fraunhofer AICC

können in einer Datenbank abgelegt und für eine Nachweisbarkeit der Bauteilqualität genutzt werden. Damit wurde eine Lösung geschaffen, die subjektive Einflüsse ausschließt und den Prüfungsvorgang wirtschaftlich und prozesssicher darstellt.

Um nicht nur die Qualitätserfassung wirtschaftlich zu gestalten, sondern auch die Zerspanprozesse selbst, entwickelten die Forscher am IPA ein effizientes Bohrwerkzeug- und Verfahrenskonzept, zur schadensfreien respektive schadensvermindernden Bearbeitung von Leichtbauwerkstoffen (Abb. 21). Entwickelt wurde das Verfahren für die Bohrbearbeitung von Stack-Werkstoffen, jedoch kann dieses Verfahren auch für reine Leichtbauwerkstoffen wie CFK genutzt werden. Entwicklungsansatz war die werkstoffgerechte Auslegung von Schneiden und eines optimierten Kraftflusses, welcher in das Werkstück hineinorientiert ist und damit die Push-Out Delamination vermeidet.



Der Bohrprozess beinhaltet eine Konteraufbohrstufe. Der Bohrer wird nach der Erzeugung einer Vorbohrung und einer teilweisen Fertigbohrung auf Eintrittsseite in Linksrotation ausgelenkt. Somit wird die Bohrung anschließend von der Unterseite her auf Solldurchmesser bearbeitet und zugleich der Rückhub produktiv genutzt. Dabei werden zusätzlich Schädigungen, welche durch die Vorbohrung entstanden sind abgetragen. Die besondere Schneidengeometrie der Aufbohrschneide mit stark stumpfem Spitzenwinkel und einer tangential vorlaufenden Schneide, also einem Neigungswinkel, ist nicht nur in der Lage Schädigungen abzutragen, sondern bearbeitet den Faserverbundkunststoff werkstoffgerecht.

Abb. 21: Innovatives Bohr- und Aufbohrwerkzeug für die Erzeugung hochqualitativer Bohrungen

Den Effekt optimierter Werkzeuge auf die Bearbeitungsqualität zeigt ferner Abbildung 22. Die am IfW optimierte Werkzeuggeometrie zur Bohrbearbeitung von CFK-Aluminium-Stacks zeigt deutlich weniger Kantenschädigungen an der schadenssensiblen Werkstückaustrittsseite. Mit optimierten Werkzeugen kann der Wirtschaftlichkeit auch mittelbar durch das Vermeiden von teuren und zumeist auch zeitaufwendigen Nachbearbeitungsverfahren Rechnung getragen werden. Zudem bedeuten prozesssichere Bearbeitungsverfahren weniger Ausschuss.

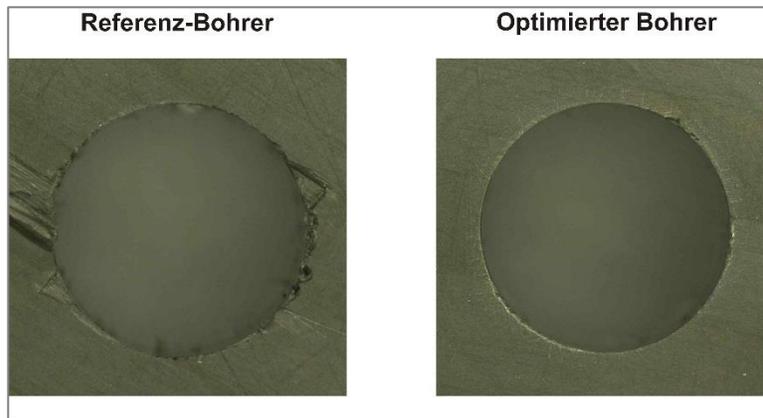


Abb. 22: Bearbeitungsergebnis mittels eines optimierten Bohrwerkzeuges an CFK

Um unzureichende Qualität zu beseitigen und Bauteile von Fehlern oder Schädigungen zu befreien, kann eine Vielzahl an Verfahren eingesetzt werden (Abb. 15). Rund 70 % der Teilnehmer führen manuelle Nachbearbeitungsschritte durch, welche damit die häufigste Methode zur Beseitigung reversibler Bearbeitungsfehler darstellen. 47,1 % wenden semiautomatische (handgeführte Maschinen) und 29,4 % vollautomatische Verfahren an. In 11 von 25 Fällen findet das Schleifen Einsatz, wobei auf eine vollautomatische Bearbeitung verzichtet wird. Das Fräsen findet als zweithäufigste Variante Anwendung und wird teilweise vollautomatisch betrieben. Der Automatisierungsgrad ist beim Bürsten am weitesten fortgeschritten (Abb. 23).

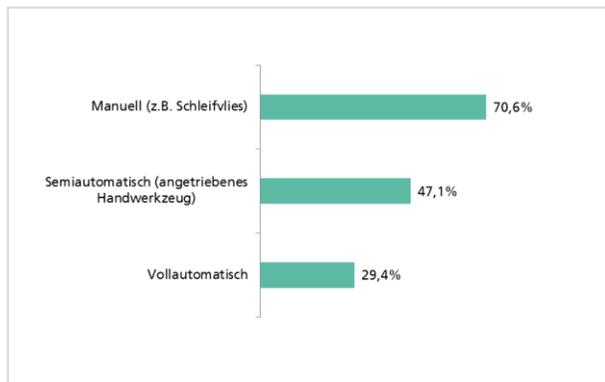


Abb. 23: Häufigkeit des Einsatzes der Bearbeitungsart

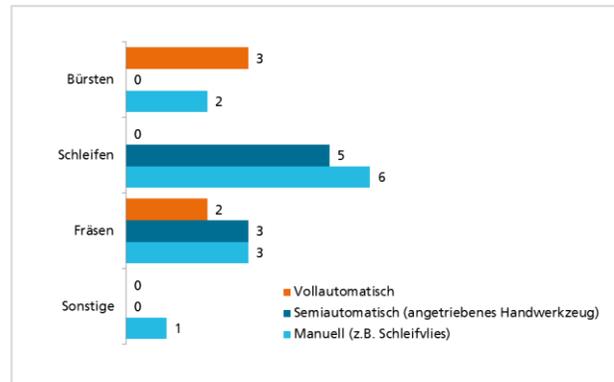


Abb. 24: Handhabung reversibler Schäden nach d. Endbearbeitung

Das Potenzial des Bürstens als qualitätserzeugender Nachbearbeitungsschritt findet auch in den Forschungsanstrengungen des Fraunhofer IPA seine Entsprechung (Abb. 25). In Zusammenarbeit mit Forschungspartnern entwickelt das IPA zur wirtschaftlichen Endbearbeitung von CFK Verfahren zum Einsatz von Bürstenwerkzeugen. Hierdurch sind eine Nachbearbeitung der Schnittkanten und eine Vorbereitung der Klebeflächen direkt in einem Prozessschritt möglich. Spezielle Bürstenwerkzeuge können direkt in die Werkzeugmaschine oder den Zerspanroboter eingewechselt werden, sodass der Prozess in der gleichen Aufspannung wie der Zerspanprozess – ohne eine zusätzliche Bauteilhandhabung – durchgeführt werden kann. Durch angepasste Prozessparameter und Bürstentypen sind in der Nachbearbeitung Vorschubgeschwindigkeiten von über 15 m/min möglich, was die Bearbeitungszeit auf

ein Minimum reduziert. Auch können Fräswerkzeuge länger genutzt werden (höherer Vorschubweg) oder die Produktivität durch höhere Vorschubgeschwindigkeiten gesteigert werden, da dadurch entstehende Bearbeitungsfehler durch die automatisierte Nachbearbeitung vollständig entfernt werden.

Wirtschaftlich wird der Einsatz von Bürsten insbesondere interessant, da im selben Schritt auch ein Aufrauen der Oberfläche zur Vorbereitung anschließender Klebprozesse erfolgen kann. Im Gegensatz zum Sandstrahlen kann der Prozessschritt direkt in der Werkzeugmaschine oder der Roboterzelle erfolgen. Dies erspart nicht nur einen Schritt in der Handhabung, sondern auch die zusätzlichen Investitionen in eine Sandstrahlanlage. Eine vergleichende Gegenüberstellung einer Schnittkante zeigt nachstehende Abbildung.

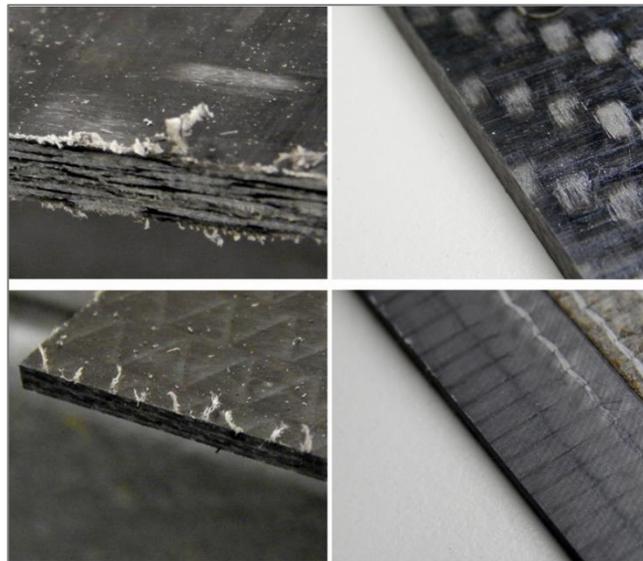


Abb. 17: Kantennachbearbeitung mittels Bürstverfahren

Zusammenfassend müssen alle technologischen Verfahren und Lösungen unter dem Gesichtspunkt der Kosteneffizienz bewertet werden. Eine Einschätzung der Höhe ausgewählter kostenverursachender Faktoren schlüsselt auf, welche Kostentreiber als wesentlich in die Bearbeitung von CFK bewertet sind (Abb. 26). Größter Kostenfaktor stellt der Werkzeugverschleiß dar, welcher von allen Befragten zu 65 % als hoch eingestuft wurde. Der Aufwand der Nachbearbeitung wurde überwiegend als mittel und zu 45 % als hoch eingestuft. Rund 40 % der Befragten bewerteten die Ausrüstung zum Schutz der Mitarbeiter als auch die Absaugung als kostenintensiv. Die Reinigung der Bauteile ist im Vergleich hierzu kein wesentlicher Kostenfaktor und verursacht den Ergebnissen zufolge mit überwiegend mittlerer Bewertung den geringsten Anteil an den abgefragten Kostenfaktoren.

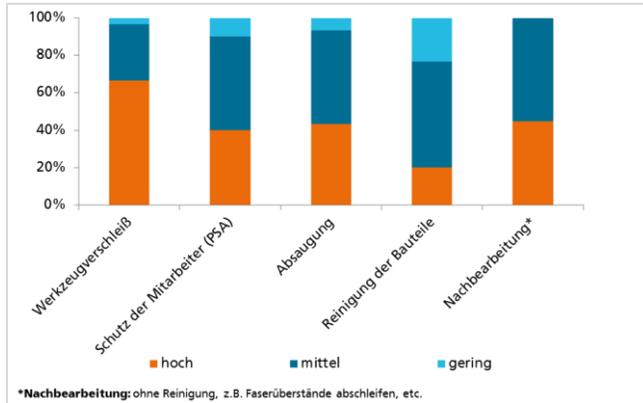


Abb. 18: Einschätzung der Höhe der Kostenverursacher

Nach den Ergebnissen der durchgeführten Umfrage bestehen große Herausforderungen im Hinblick auf den Werkzeugverschleiß sowie der Bearbeitungsqualität und beschäftigen die Branche stark. CFK stellt in seiner Neuartigkeit und bedingt durch stoffspezifische Versagenseigenschaften hohe Anforderungen an die Werkzeuge und Zerspanungsprozesse. Die noch unzureichend erforschte Nassbearbeitung von CFK bietet ein hohes Potenzial, um sowohl die Werkzeugstandzeit als auch die Bearbeitungsqualität zu optimieren. Weitere

Themenfelder, die die befragten Teilnehmer beschäftigten, stehen in Zusammenhang mit der Sicherheit der Zerspanung von CFK, insbesondere der Wirkung von Spänen und Stäuben auf den Menschen und das Maschinenumfeld. Bei den Verfahren zur Detektion wichtiger Qualitätskenngrößen, aber auch für die Nachbearbeitung besteht ein hohes Automatisierungspotenzial, da Qualitätsbewertung und Nachbearbeitung meist manuell durchgeführt werden.

Die Zusammenfassung der Studienergebnisse zeigt für die CFK-Bearbeitung eine Vielzahl an künftigen Forschungs- und Entwicklungsthemen. Wichtige Zielgröße ist hierbei die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Fertigungsprozesse, um somit Bauteile aus CFK am Markt besser anbieten zu können.

Das IfW und das Fraunhofer IPA bedanken sich bei allen Teilnehmern dieser Umfrage.