

1 Einleitung

Der Leichtbau ist ein zentrales Thema in der industriellen Produktion. Die Materialsubstitution und Neugestaltung von Bauteilen durch leichtere und höherfeste Werkstoffe, wie zum Beispiel faserverstärkte Werkstoffe (FVW), nehmen dabei eine wesentliche Rolle ein. Während bisher noch aus Kostengründen glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) eingesetzt werden, steigt der Trend besonders in der Automobil- und Luftfahrtindustrie zum Einsatz von kohlefaserverstärkten bzw. carbonfaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Durch eine deutlich kleinere Dichte von durchschnittlich $1,5 \text{ g/cm}^3$ (HT-Carbonfasermaterial, Epoxidmatrix, Faservolumenanteil 60 %) und einer Zugfestigkeit von bis zu $3,6 \text{ GPa}$ ist der Einsatz von CFK im Vergleich zu Stahl ($7,86 \text{ g/cm}^3$ bzw. $1,2 \text{ GPa}$) ein aussichtsreicher Treiber für die Reduktion des Gesamtgewichtes von Fahrzeugen. Durch die Materialsubstitution wird eine Verkleinerung der Emissionswerte sowie eine Vergrößerung der Ressourceneffizienz ermöglicht [Fri13].

In einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) beauftragten Studie wird für den Automobilsektor der Leichtbau in Karosserie und Komponenten neben der Getriebetechnologie für eine Reduktion des Beschleunigungswiderstandes identifiziert [IKA14]. Als weitere Sekundäreffekte können das Downsizing von Antrieben oder eine kleinere Auslegung von z.B. Bremsen weitere Einsparpotenziale für den Ressourceneinsatz bieten, ohne Einbußen hinsichtlich Komfort und Sicherheit hinnehmen zu müssen [EK14]. Ähnliches gilt für die Luft- und Raumfahrt, wobei in diesem Bereich die Durchdringung von faserverstärkten Bauteilen bereits relativ hoch ist. Bei Flugzeugen, wie z.B. der Boeing 787 und dem Airbus A350, liegt der Gewichtsanteil von Faserverbundwerkstoffen am Gesamtstrukturgewicht bei rund 50 % [DKK07] [Fri13]. Dort können ebenso die Widerstände beschleunigter Massen durch Einsatz leichterer Strukturbauteile und Komponenten verkleinert werden.

Dem breiten Einzug von CFK-Bauteilen in den Mobilitäts-, Energie- und Freizeitsektor stehen bisher noch das Umdenken der Konstrukteure vom isotropen Werkstoff Metall zu den orthotropen faserverstärkten Werkstoffen und die Kostenfrage gegenüber [EK14]. Einerseits ist die Herstellung des Fasermaterials energieintensiv, andererseits ist die Materialbearbeitung aufgrund der hohen Abrasivität der Carbonfasern mit hohen Werkzeugkosten verbunden. Zusätzlich ist aufgrund des frühzeitigen Verschleißes der Werkzeuge eine hohe Defektanfälligkeit des konsolidierten Laminates zu erwarten. Die materialographischen Defekte können bei der konventionellen Bearbeitung z.B. mittels Bohren, Fräsen oder Sägen zu Faserausrisen, Matrixbrüchen,

Delaminationen zwischen einzelnen oder mehreren Faserlagen und Ausfransungen führen [EFM12] [LTC12]. Da diese Defekte erst kurz vor der Fertigstellung des CFK-Bauteils auftreten, sind diese hochrelevant für die Fertigungskosten in der Gesamtprozesskette. Reparaturvorgänge sind aufgrund manueller Arbeitsschritte oder der funktionsintegralen Bauweise der Komponenten in diesem Stadium kosten- und zeitintensiv oder führen zu einem Ausschuss des nahezu fertigen Bauteils [Fri13].

Durch die Materialbearbeitung mittels Laserstrahlung werden für den Fertigungsprozess mehrere Chancen hinsichtlich der Herstellbarkeit neuer Geometrien für Funktionselemente und der Automatisierbarkeit und damit der Wirtschaftlichkeit bei hohen Losgrößen eröffnet. Gleichzeitig entstehen aber neue Fragestellungen und Risiken, die durch wissenschaftliche Untersuchungen der Laser-Materie-Wechselwirkung mit dem Kompositwerkstoff und seinen Komponenten geklärt und beherrscht werden müssen. Unter anderem können thermisch induzierte Defekte durch Einsatz von Laserstrahlung in konsolidierten CFK-Bauteilen aufgrund der sehr unterschiedlich thermophysikalischen Eigenschaften der Carbonfaser und Matrix auftreten [GW12]. Im Vergleich zu den konsolidierten Bauteilen kann die Bearbeitung des noch nicht mit dem Matrixwerkstoff versehenen, textilen Vorformlings, dem sogenannten Preform, potenzielle Vorteile beim Einsatz von Laserstrahlung zugunsten der Qualität bezüglich der Geometrie und Materialographie mit sich bringen. Ferner eröffnen sich weitere Potenziale zugunsten größerer Produktivität und Reproduzierbarkeit durch die Umstrukturierung zu einer automatisierten Prozesskette vom Preform bis zum fertigen, mit Krafteinleitungselementen (KEE) versehenen CFK-Bauteil.

In der Fachliteratur ist die Dokumentation der Effektmechanismen und erzielbaren geometrischen und materialographischen Qualitätsmerkmale bei der Bearbeitung von textilen Preforms aus Carbonfasern mittels Laserstrahlung noch nicht ausreichend dargestellt. Diese Arbeit widmet sich daher grundlegenden Untersuchungen mit dem Ziel der Identifikation von Mechanismen während der Laser-Materie-Wechselwirkung bei der Einbringung hochqualitativer Bohrungen in CFK-Preforms. Durch die neu gewonnenen Erkenntnisse werden bei einer gezielten Einflussnahme auf die Wirkmechanismen die materialgraphischen Eigenschaften des Textils und die Verbindung mit dem Matrixwerkstoff signifikant beeinflusst. Schlussendlich werden durch die in dieser Arbeit vorgestellten Ansätze zur Laserbearbeitung von Carbonfasergelegten eine Vergrößerung der mechanischen Belastbarkeit an den Krafteinleitungsstellen am Endbauteil sowie eine vergrößerten Lebensdauer erwartet.

2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel dieser Arbeit ist die Identifikation und Klärung grundlegender qualitäts- und materialbeeinflussender Phänomene bei der Laserstrahlbearbeitung von textilen Gelegen auf Basis von Carbonfasern und der Einfluss auf nachfolgende Prozessschritte.

Zur Klärung der in der Einleitung dargestellten Problemstellungen bei der lasertechnischen Bearbeitung von carbonfaserbasierten Preforms werden mehrere aufeinander aufbauende Forschungsfragen und -hypothesen aufgestellt. Durch experimentelle Untersuchungen werden die wesentlichen Effekte bei der Lasermaterialbearbeitung von Gelegen aus Carbonfasern ermittelt und in der Folge die mechanische Belastbarkeit bei mindestens gleicher Lebensdauer bzgl. der Korrosion von metallischen Kraffteinleitungselementen in Carbonfaser verstärkten Kunststoffbauteilen vergrößert.

Forschungsfragen

- Welche Mechanismen beeinflussen die materialographische und geometrische Qualität beim Laserstrahl-Bohren von Preforms aus Carbonfasergelegen?
- Sind diese Mechanismen beeinflussbar und wie wirken sie sich auf die nachfolgenden Prozesse, wie z.B. die Matrixinfusion und Konsolidierung, aus?
- Wie können weiterhin durch gezielte Beeinflussung der relevanten Mechanismen die Prozessproduktivität vergrößert, Defektgrößen verkleinert und so die Auszugskräfte und die Lebensdauer vergrößert werden?

Forschungshypothesen

Für CFK-Bauteile, die mittels eines Harzinjektionsverfahrens, wie z.B. dem Resin Transfer Molding (RTM), hergestellt werden, findet die Formgebung des Endbauteils während der Matrixinfusion und Konsolidierung im RTM-Werkzeug statt. Durch die nach aktuellem Stand der Technik darauf folgenden Materialbearbeitungsprozesse zur Einbringung von Kraffteinleitungselementen kann die innere Struktur hinsichtlich Faserbrüche und -auszüge sowie Delaminationen und Matrixrisse geschwächt werden. Daraus werden folgende Hypothesen aufgestellt: