

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Stand der Technik und Forschung.....	3
2.1 Laserbasiertes Direktfügen von Kunststoffmischverbindungen	3
2.1.1 Grundlagen der Laser-Material-Wechselwirkung	4
2.1.2 Prozessprinzip und Verfahrensvarianten des laserbasierten Fügens im Durchstrahlverfahren.....	8
2.1.3 Prozessinduzierte Defekte der laserbasierten Erwärmung	10
2.1.4 Haftungsmechanismen.....	13
2.1.5 Einordnung des laserbasierten Direktfügens von TP und EP-CFK und Darstellung des aktuellen Forschungsstands.....	14
2.2 Einsatz von Verbindungselementen zur Montage von Anbauteilen	17
2.2.1 Verbindungsstrategien und Elementausprägungen zur Bereitstellung von Befestigungspunkten an CFK-Strukturen	18
2.2.2 Verfahren zur Befestigung von „Onserts“ an EP-CFK	20
3 Struktur der Arbeit.....	23
3.1 Forschungsthesen und -fragestellungen	23
3.2 Methodisches Vorgehen.....	25
4 Experimentelle Randbedingungen und Versuchsmethoden.....	29
4.1 Verwendete Materialien	29
4.1.1 Laserabsorbierende Fügeteile	29
4.1.2 Lasertransparente Fügeteile und Verbindungselemente.....	31
4.1.3 Klebstoffsysteme und Klebbolzen	32
4.2 Lasersystem und Prozessparameter.....	34
4.2.1 Verwendete Laserquelle und Versuchsaufbauten.....	34
4.2.2 Verfahrensvarianten und -parameter	35
4.3 Versuchsmethoden und Analyseverfahren.....	38
4.3.1 Infrarotbasierte Temperaturmessungen	38
4.3.2 Optische Analyse der Verbindungsausprägung und des Bruchverhaltens	39

4.3.3	Bestimmung der Schwellwertenergien zur Generierung von Matrixabtrag.....	40
4.3.4	Mechanische Prüfverfahren	40
4.3.5	Analytische Prüfverfahren	43
4.3.6	Alterung & Konditionierung	45
5	Analyse des laserbasierten Direktfügeprozesses	47
5.1	Untersuchung der laserbasierten Erwärmung von EP-CFK.....	48
5.1.1	Morphologische Charakterisierung der verwendeten EP-CFK-Materialien	49
5.1.2	Thermografische Analyse des Erwärmungsverhaltens von EP-CFK.....	50
5.1.3	Eignung des Erwärmungsverhaltens von EP-CFK für den Fügeprozess	56
5.2	Untersuchung verfahrenscharakteristischer Verbindungsausprägungen	58
5.2.1	Analyse des Abtragsverhaltens der Matrixdeckschicht.....	59
5.2.2	Ermittlung der Grenzschichtausprägungen im Fügeverbund	64
5.3	Untersuchung des Schädigungspotenzials der NIR-Laserstrahlung	68
5.3.1	Analyse potenzieller oberflächennaher Schädigungen mittels DCB-Prüfung .	69
5.3.2	Analyse potenzieller Schädigungen mittels 3-Punkt-Biegeversuch.....	72
5.3.3	Analyse thermischer Schädigungen mittels FTIR-Spektroskopie.....	74
5.3.4	Thermische Grenzen für die schädigungsfreie laserbasierte Erwärmung	77
5.4	Untersuchung prozess- und materialtechnischer Einflüsse auf die Verbindungseigenschaften.....	79
5.4.1	Untersuchung der Adhäsion an den eingesetzten EP-CFK-Oberflächen unter Einfluss der verwendeten thermoplastischen Materialien	79
5.4.2	Auswirkung vorliegender Trennmittelkontaminationen	84
5.4.3	Einfluss der Laserintensität auf die Verbindungseigenschaften.....	88
5.4.4	Untersuchung des Energieeinflusses zur Ermittlung von Prozessfenstern	92
5.4.5	Einfluss des Anpressdrucks und der Oberflächenrauheit	95
5.4.6	Untersuchung der quasi-simultanen Prozessführung	97
5.5	Diskussion prozessspezifischer Wirkzusammenhänge und Einflussfaktoren zur Beantwortung der Forschungsfragen 1-5	102
6	Anwendungspotenzial zur Anbringung von Verbindungselementen.....	112
6.1	Bewertungskriterien	112

6.2 Anwendbarkeit der Technologie zum Fügen von Verbindungselementen	113
6.2.1 Gegenüberstellung des Kontur- und Quasi-Simultan-Verfahrens zum Fügen von Verbindungselementen.....	113
6.2.2 Einfluss der Elementsockelgeometrie	115
6.3 Technologievergleich unter einsatzrelevanten Bedingungen.....	119
6.3.1 Initiale Verbindungsperformance unter Kopfzug- & Zugscherbelastung	120
6.3.2 Verbindungsperformance unter Temperatureinfluss	122
6.3.3 Untersuchung der Alterungsrobustheit.....	124
6.3.4 Auswirkung von Feuchtigkeit auf den laserbasierten Direktfügeprozess	125
6.4 Diskussion des Anwendungspotenzials der Technologie zur Beantwortung der Forschungsfragen 6 & 7	128
7 Zusammenfassung und Ausblick.....	135
8 Literaturverzeichnis.....	139