

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Projektsteckbrief.....	VII
1 Einleitung.....	1
1.1 Anlass für Forschungsvorhaben.....	1
1.2 Problemstellung	1
1.3 Zielsetzung.....	2
2 Stand der Technik.....	4
2.1 Kleben.....	4
2.1.1 Adhäsion und Kohäsion	4
2.1.2 Spezifische Oberflächenenergie und Benetzung	5
2.1.3 Klebgerechte Oberflächenvorbehandlung	8
2.1.4 Spannungsverteilung beim Zugscherversuch	10
2.1.5 Simulation von Klebverbindungen.....	11
2.2 Computertomographie	12
2.2.1 Industrielle Mikro Computertomografie	12
2.2.2 In-situ CT.....	12
3 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	14
4 Durchgeführte Arbeiten	15
4.1 Verwendete Werkstoffe	15
4.1.1 Fügematerial	15
4.1.2 Klebstoffe und Füllstoff	15
4.2 Oberflächenvorbehandlungsmethoden	17
4.2.1 Atmosphärendruckplasma	17
4.2.2 Beflammen	17
4.3 Analysemethoden.....	18
4.3.1 Kontaktwinkelmessung	18
4.3.2 Thermogravimetrie	19

4.3.3	Rauheitsmessungen.....	19
4.3.4	Lichtmikroskopie	19
4.3.5	Zugprüfung des Fügeteils	19
4.4	Klebversuche.....	20
4.4.1	Klebstoffmodifizierung.....	20
4.4.2	Zugscherprüfung und optische Bruchbildbewertung.....	21
4.4.3	Zugprüfung mittels LUMiFrac	22
4.4.4	Zugprüfung der Klebstoffe	24
4.5	Entwicklung und Bau der in-situ CT-Anlage.....	25
4.5.1	Planung	26
4.5.2	Bedienung	32
4.6	Entwicklung von Software zur Auswertung der Klebschicht anhand der CT-Daten.....	34
4.6.1	Entwicklung einer Digitalen Volumenkorrelation.....	35
4.6.2	Implementierung eines Softwaremoduls zur Ermittlung der Spannungsverteilung	38
4.7	Durchführung der in-situ CT-Messungen	39
4.7.1	Durchführung von Testmessungen zur Validierung	39
4.7.2	Messablauf	44
4.7.3	Kraft-Weg-Kurven	47
4.8	Auswertung der in-situ CT-Messungen	48
4.8.1	Rekonstruktion und digitale Aufbereitung der Messdaten	49
4.8.2	Evaluierung der realen Klebstoffschichtdicken und Zugstrecken	50
4.8.3	Evaluierung der Kugelverteilung im Klebstoffvolumen.....	51
4.8.4	Visuelle Darstellung der Endergebnisse	52
5	Diskussion der Ergebnisse	54
5.1	Charakterisierung des CFKs.....	54
5.1.1	Oberflächenrauheit.....	54
5.1.2	Bestimmung des Fasergehalts/-durchmessers.....	54

5.1.3	Bestimmung der mechanischen Eigenschaften	56
5.2	Charakterisierung der Klebstoffe.....	56
5.3	Kleben.....	57
5.3.1	Ermittlung und Auswahl geeigneter Vorbehandlungsparameter	57
5.3.2	Einfluss der Tracer auf Zugscherprüfungen	63
5.4	Computertomographie	69
5.4.1	Visualisierung des Röntgenkontrasts zwischen Klebverbindungen und CFK	69
5.4.2	Validierung der in-situ CT-Belastungseinheit.....	71
5.4.3	Evaluierung der realen Klebstoffschichtdicken und Zugstrecken	74
5.4.4	Evaluierung der Kugelverteilung im Klebstoffvolumen	75
5.4.5	Ergebnisse der in-situ CT-Messungen.....	78
6	Zusammenfassung	91
7	Literaturverzeichnis	95
8	Abbildungsverzeichnis	100
9	Anhang.....	106