

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Kenntnisse</b>	<b>3</b>
2.1 Faserverbundkunststoffe . . . . .	3
2.1.1 Einführung . . . . .	3
2.1.2 Eigenschaften von Faserverbundkunststoffen . . . . .	5
2.1.3 Aufbau von Faserverbundkunststoffen . . . . .	7
2.2 Konturbearbeitung von Faserverbundkunststoffen . . . . .	13
2.2.1 Einführung in die Konturbearbeitung von Faserverbundkunststoffen . . . . .	13
2.2.2 Fertigungsverfahren zur Konturbearbeitung . . . . .	15
2.3 Prozessbeschreibung des Laserstrahl trennens . . . . .	21
2.3.1 Grundlagen der Laserstrahlerzeugung und Fokussierung . . . . .	21
2.3.2 Einteilung des Laserstrahl trennens in die Gruppe der Fertigungsverfahren . . . . .	25
2.3.3 Anlagensystemtechnik beim Laserstrahl trennen . . . . .	27
2.3.4 Zerstellungsprozess beim Laserstrahl trennen von Faserverbundkunststoffen . . . . .	28
2.4 Analyse der Prozessfähigkeit von Laserfertigungsprozessen . . . . .	32
<b>3 Aufgabenstellung und Zielsetzung dieser Arbeit</b>	<b>35</b>
3.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung . . . . .	35
3.2 Randbedingungen dieser Arbeit . . . . .	37
<b>4 Prozessbeschreibung und Modellbildung</b>	<b>39</b>
4.1 Allgemeine Prozessbeschreibung . . . . .	39
4.2 Prozessergebnis- und Qualitätsgrößen . . . . .	40
4.2.1 Grob- und Feingestaltabweichung der Schnittkante . . . . .	40
4.2.2 Thermisch induzierte Beeinflussung des Werkstoffes . . . . .	42
4.2.3 Zielgrößen hinsichtlich der Qualität des Bearbeitungsprozesses . . . . .	44
4.3 Validierung der Messmethoden zur Erfassung der thermischen Beeinflussung . . . . .	46
4.4 Prozesseingangs- und Einflussgrößen . . . . .	54
4.5 Prozesskenngrößen beim Laserstrahl trennen . . . . .	57
<b>5 Einflussanalyse der Technologieparameter auf die Qualität</b>	<b>59</b>
5.1 Vorgehensweise zur Einflussanalyse der Technologieparameter auf die Qualität . . . . .	59
5.2 Einfluss der Technologieparameter auf die Qualität der Schnittfläche . . . . .	59

<b>5.3</b>	Allgemeine Beschreibung des Laserstrahl trennprozesses von Faserver-	
	bundkunststoffen . . . . .	67
5.3.1	Vorgehensweise zur Modellbildung . . . . .	67
5.3.2	Beschreibung der Energieeinkopplung in den Werkstoff . . . . .	68
5.3.3	Darstellung der Mechanismen der Wärmeübertragung im Faser-	
	verbundwerkstoff . . . . .	73
5.3.4	Entwicklung eines Modells zur Bestimmung der Energiebilanz	
	beim Laserstrahl trennen . . . . .	74
<b>5.4</b>	Berechnung der Ausdehnung der Wärme einflusszone . . . . .	85
5.4.1	Vorgehensweise zur Lösung des Prozessmodells . . . . .	85
5.4.2	Analytische Lösung des Modells . . . . .	86
5.4.3	Numerische Lösung des Modells . . . . .	95
<b>5.5</b>	Bewertung der Modell- und Ergebnisgüte . . . . .	101
<b>6</b>	<b>Industrielle Anwendung des Laserstrahl trennens von Faserverbund-</b>	
	<b>kunststoffen</b> . . . . .	109
<b>6.1</b>	Vorgehensweise zur Analyse der industriellen Umsetzung . . . . .	109
<b>6.2</b>	Analyse der industriellen Umsetzung für eine einfache Bearbeitungsgeo-	
	metrie . . . . .	109
6.2.1	Analyse der Prozessfähigkeit des Laserstrahl trennens von Faser-	
	verbundkunststoffen . . . . .	110
6.2.2	Einfluss der Verwendung eines Prozessgases auf die Qualität der	
	Schnittfläche . . . . .	112
<b>6.3</b>	Analyse der industriellen Umsetzung für eine komplexe Bearbeitungs-	
	geometrie . . . . .	115
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> . . . . .	123
<b>8</b>	<b>Anhang</b> . . . . .	125
<b>8.1</b>	Erläuterung zum Epoxyd- und Aminäquivalent . . . . .	125
<b>8.2</b>	Molekülaufbau eines Epoxidharzes . . . . .	127
<b>8.3</b>	Molekülaufbau und Bindungsformen bei polymeren Werkstoffen . .	128
<b>8.4</b>	Herstellung von Kohlenstofffasern . . . . .	131
<b>8.5</b>	Kenndaten der Verwendeten Anlagentechnik . . . . .	135
8.5.1	Technische Daten der verwendeten CO <sub>2</sub> -Laserstrahlquelle . . . .	135
8.5.2	Technische Daten der verwendeten Scheibenlaserstrahlquelle . .	136
8.5.3	Technische Daten der verwendeten Faserlaserstrahlquelle . . . .	137
8.5.4	Berechnung des Maschinenstundensatzes für die verwendete An-	
	lagentechnik . . . . .	138
<b>9</b>	<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b> . . . . .	139
<b>9.1</b>	Abkürzungen . . . . .	139
<b>9.2</b>	Lateinische Formelzeichen . . . . .	141

9.3	Griechische Formelzeichen . . . . .	144
9.4	Konstanten . . . . .	145
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>146</b>