

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>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 Laserstrahltrennens . . . . .	21
2.3.1	Grundlagen der Laserstrahlerzeugung und Fokussierung . . . . .	21
2.3.2	Einteilung des Laserstrahltrennens in die Gruppe der Fertigungsverfahren . . . . .	25
2.3.3	Anlagensystemtechnik beim Laserstrahltrennen . . . . .	27
2.3.4	Zersetzungsprozess beim Laserstrahltrennen von Faserverbundkunststoffen . . . . .	28
2.4	Analyse der Prozessfähigkeit von Laserfertigungsverfahren . . . . .	32
<b>3</b>	<b>Aufgabenstellung und Zielsetzung dieser Arbeit</b>	<b>35</b>
3.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung . . . . .	35
3.2	Randbedingungen dieser Arbeit . . . . .	37
<b>4</b>	<b>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 Laserstrahltrennen . . . . .	57
<b>5</b>	<b>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

5.3	Allgemeine Beschreibung des Laserstrahltrennprozesses von Faserverbundkunststoffen . . . . .	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 Faserverbundwerkstoff . . . . .	73
5.3.4	Entwicklung eines Modells zur Bestimmung der Energiebilanz beim Laserstrahltrennen . . . . .	74
5.4	Berechnung der Ausdehnung der Wärmeeinflusszone . . . . .	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
5.5	Bewertung der Modell- und Ergebnisgüte . . . . .	101
<b>6</b>	<b>Industrielle Anwendung des Laserstrahltrennens von Faserverbundkunststoffen</b>	<b>109</b>
6.1	Vorgehensweise zur Analyse der industriellen Umsetzung . . . . .	109
6.2	Analyse der industriellen Umsetzung für eine einfache Bearbeitungsgeometrie . . . . .	109
6.2.1	Analyse der Prozessfähigkeit des Laserstrahltrennens von Faserverbundkunststoffen . . . . .	110
6.2.2	Einfluss der Verwendung eines Prozessgases auf die Qualität der Schnittfläche . . . . .	112
6.3	Analyse der industriellen Umsetzung für eine komplexe Bearbeitungsgeometrie . . . . .	115
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>123</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b>	<b>125</b>
8.1	Erläuterung zum Epoxyd- und Aminäquivalent . . . . .	125
8.2	Molekülaufbau eines Epoxidharzes . . . . .	127
8.3	Molekülaufbau und Bindungsformen bei polymeren Werkstoffen . . . . .	128
8.4	Herstellung von Kohlenstofffasern . . . . .	131
8.5	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 Anlagentechnik . . . . .	138
<b>9</b>	<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b>	<b>139</b>
9.1	Abkürzungen . . . . .	139
9.2	Lateinische Formelzeichen . . . . .	141

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