

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	5
1.1 Motivation	5
1.2 Ausgangssituation	6
1.3 Zielstellung der Arbeit	9
2 Stand der Technik	11
2.1 Fertigungstechnologien	11
2.1.1 Harzinjektions- und Imprägnierungstechnologie (Benchmark)	12
2.1.1.1 Textile Halbzeuge	12
2.1.1.2 Preforming	14
2.1.1.3 Resin Transfer Moulding	16
2.1.1.4 Nasspressen	17
2.1.2 Fibre Placement	18
2.1.2.1 Dry Fibre Placement	19
2.1.2.2 Prepreg Placement	21
2.1.3 Direkte Herstellungstechnologien	26
2.1.3.1 Wickeln	26
2.1.3.2 Pultrusion	28
2.1.4 Zusammenfassung	29
3 Prozesskonzeption für die additive CFK-Fertigung	31
3.1 Härtungstechnologien	33
3.1.1 Thermische Härtung	35
3.1.1.1 Konduktions- und Konvektionshärtungen	35
3.1.1.2 Widerstands- und Induktionshärtungen	36
3.1.1.3 Infrarot- und Mikrowellenhärtungen	37
3.1.2 Strahlungshärtung	39
3.1.2.1 Elektronen- und x-Ray-Strahlhärtungen	39
3.1.2.2 UV-Strahlhärtungen	41
3.1.3 Zusammenfassung	44
3.2 Materialauswahl	45
3.2.1 Carbonfaseroving	45
3.2.2 Matrixharz	46

3.2.3	Auswahl UV-Lampentechnik	50
4	Versuchsprinzipien und Methodenwahl	53
4.1	Prinzipieller Versuchsaufbau	53
4.2	Auswahl der Charakterisierungsmethoden	54
4.2.1	Dynamische Differenz-Kalorimetrie	55
4.2.2	ATR-Infrarotspektroskopie	58
4.2.3	Dynamisch-Mechanische Analyse	60
4.2.4	Thermogravimetrische Analyse	63
4.2.5	Dickenkompressionsprüfung	64
4.2.6	Querschlifffräparation	65
5	Reinharzuntersuchungen	66
5.1	Prozessfenster Vortemperatur Reinharz	67
5.1.1	Exothermie Reinharz	68
5.1.2	Temperaturabhängiger Aushärtegrad im Reinharz	69
5.2	Prozessfenster Belichtungszeit Reinharz	73
5.2.1	Belichtungsabhängiger Reinharz Aushärtegrad	73
5.2.2	Belichtungsabhängige Glasübergang im Reinharz	75
5.3	Reinharzmodell nach DiBenedetto	79
5.4	Zusammenfassung	80
6	Laminatuntersuchungen	81
6.1	Vorbetrachtungen	82
6.1.1	Ausgangszustand des Carbonfaserrovings	82
6.1.2	Spreizung des Carbonfaserrovings	83
6.1.3	Kalibrierung des Carbonfaserrovings	84
6.2	Versuchsvorrichtung	87
6.3	Harzauftrag	88
6.4	Prozessfenster Vortemperatur im Einzelschichtlaminat	90
6.4.1	Absorptionseffekt	90
6.4.2	Temperaturabhängiger Aushärtegrad im Einzelschicht-Laminat	91
6.5	Prozessfenster Belichtungszeit im Einzelschichtlaminat	94

6.5.1	Belichtungsabhängiger Aushärtegrad im Einzelschichtlaminat	94
6.5.2	Belichtungsabhängiger Glasübergang im Einzelschichtlaminat	96
6.6	Einzelschichtlaminatmodell nach DiBenedetto	99
6.7	Zusammenfassung	100
6.8	Prozessfenster Mehrschichtlaminat	101
6.8.1	Lichtmikroskopische Aufnahmen	101
6.8.2	REM-Aufnahmen	103
7	Monitoring	104
7.1	Messprinzip	105
7.2	Versuchsanordnung	106
7.3	Härtungsverlauf	108
8	Business Case	112
8.1	Herstellkosten	112
8.2	Abschätzung des Investitionsaufwands	114
9	Zusammenfassung und Ausblick	117
9.1	Zusammenfassung	117
9.2	Ausblick	120
Anhang		121
Abbildungsverzeichnis		125
Tabellenverzeichnis		131
Literaturverzeichnis		132
Danksagung		148
Wissenschaftliche Arbeiten		149