

# Inhaltsverzeichnis

## Contents

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik</b> .....	<b>5</b>
2.1	Faserverbundkunststoffe.....	5
2.1.1	Faser- und Matrixmaterialien.....	6
2.1.2	Halbzeuge mit Endlosfaserverstärkung.....	8
2.1.3	Auslegung und Herstellung von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen.....	10
2.2	FVK-Druckbehälter.....	13
2.2.1	Typen und Herstellungsverfahren .....	13
2.2.2	Anwendungsgebiete.....	16
2.3	Laserunterstützter Tapewickelprozess.....	17
2.3.1	Prozesstechnologie.....	17
2.3.2	Systemtechnologie.....	21
2.3.3	Herausforderungen bei der Abbildung komplexer Geometrien .....	23
2.4	Optimierungsansätze für den Tapewickelprozess.....	27
2.4.1	Prozessdatenerhebung und -verarbeitung .....	28
2.4.2	Prozessmodellierung und -simulation .....	30
2.4.3	Strategien zur Prozesssteuerung und -regelung.....	33
2.5	Zusammenfassung der Erkenntnisse und Fazit .....	35
<b>3</b>	<b>Aufgabenstellung und Zielsetzung</b> .....	<b>39</b>
3.1	Wissenschaftliche Fragestellungen.....	39
3.2	Aufbau der Arbeit .....	40
<b>4</b>	<b>Konzept- und Prozessentwicklung für TP-FVK-Druckbehälter</b> .....	<b>43</b>
4.1	Entwurf von FVK-Druckbehältern.....	43
4.1.1	Bestehende Ansätze für die Auslegung von FVK-Druckbehältern .....	45
4.1.2	Anforderungen und Potenziale der Auslegung von TP-FVK- Druckbehältern.....	49
4.1.3	Entwicklung von Fertigungskonzepten.....	53
4.1.4	Analyse der entwickelten Fertigungskonzepte .....	57
4.1.5	Umsetzung ausgewählter Fertigungskonzepte .....	59
4.1.6	Untersuchung der Behälterbelastung.....	63
4.2	Prozessentwicklung und -analyse .....	65
4.2.1	Rahmenbedingungen der Druckbehälter-Fertigung .....	65
4.2.2	Iterative Prozessentwicklung.....	67
4.2.3	Dynamische Prozessanalyse .....	69
4.2.4	Parameteranalyse und Validierung der entwickelten Fertigungskonzepte.....	72
4.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse und Fazit .....	77

<b>5</b>	<b>Entwicklung von Optimierungswerkzeugen zur adaptiven Prozessführung</b>	<b>81</b>
5.1	Ortsaufgelöste Datenvisualisierung und -analyse	81
5.1.1	Konzeptentwicklung und Implementierung der ortsaufgelösten Datenvisualisierung als digitaler Schatten	83
5.1.2	Gezielte Auswertung von Prozessdaten	87
5.2	Parametrische Modellentwicklung	88
5.2.1	Aufbau und Analyse des optisch-thermischen Prozessmodells	89
5.2.2	Erweiterung und Validierung des optisch-thermischen Prozessmodells	92
5.2.3	Geometrische Modellierung der Lasereinstrahlung	96
5.2.4	Betrachtung der Druckeinwirkung und Konsolidierung im Zwickelbereich	100
5.3	Gestaltung eines adaptiven Fertigungsprozesses zur Verstärkung von TP-FVK-Druckbehältern	102
5.3.1	Aufnahme von Randbedingungen	103
5.3.2	Entwicklung von Steuerungs- und Regelungskonzepten	105
5.3.3	Implementierung einer adaptiven Prozesssteuerung	110
5.4	Zusammenfassung der Erkenntnisse und Fazit	112
<b>6</b>	<b>Prozesstechnologische Validierung</b>	<b>115</b>
6.1	Vorbereitung der Demonstratorherstellung	115
6.1.1	Materialauswahl und -untersuchung	116
6.1.2	Eingrenzen des Prozessfensters	119
6.1.3	Prozessentwicklung und -modellierung	123
6.2	Prozess-, Laminat- und Bauteilanalyse	127
6.2.1	Analyse der Prozessdaten	128
6.2.2	Mechanische Laminateneigenschaften	130
6.2.3	Optische Laminateneigenschaften	131
6.2.4	Mechanische Bauteileigenschaften	133
6.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse und Fazit	135
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>137</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>145</b>