

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangssituation – Stand der Forschung, Wissenschaft und Technik</b>	<b>5</b>
2.1	Industrieroboter .....	5
2.1.1	Roboter-Koordinatensysteme und Tool-Daten .....	8
2.1.2	Leistungskenngrößen von Industrierobotern.....	15
2.1.3	Spanende Bearbeitung mit Industrierobotern.....	26
2.1.4	Genauigkeitsbestimmende Faktoren bei der Bearbeitung mit Robotern .....	28
2.1.5	Steigerung der Genauigkeit von Bearbeitungsrobotern .....	39
2.2	Faserverbundkunststoffe .....	53
2.3	Bearbeitung von Faserverbundkunststoffen.....	56
2.3.1	Bearbeitung von Faserverbundstrukturen in der Luftfahrt.....	58
<b>3</b>	<b>Handlungsbedarf, Zielsetzung und Vorgehensweise</b>	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>Versuchsmittel und Messtechnik</b>	<b>63</b>
4.1	Industrieroboter .....	63
4.2	Schnellfrequenz-Motorspindeln für Industrieroboter.....	64
4.3	Werkzeugmaschine .....	65
4.4	Messtechnik.....	66
<b>5</b>	<b>Systemuntersuchung – Methodik und Beurteilung</b>	<b>69</b>
5.1	Genauigkeitskenngrößen von Industrierobotern .....	71
5.1.1	Positioniergenauigkeit .....	74
5.1.2	Bahngenaugkeit: Kreisformtest und ISO-Prüfbahn .....	84
5.2	Nachgiebigkeitsverhalten von Industrierobotern .....	102
5.3	Thermisches Verhalten von Industrierobotern.....	114
5.4	Fräsen eines Prüfwerkstücks .....	118
5.5	Fazit der Systemuntersuchungen.....	124
<b>6</b>	<b>Systemoptimierung – prototypische Umsetzung</b>	<b>127</b>
6.1	Optimierung Bearbeitungssystem .....	127
6.1.1	Genauigkeitssteigerung durch schräge Montage.....	127
6.2	Optimierung Bearbeitungsprozess .....	139
6.2.1	Schrupp-Schlicht-Strategie.....	139
6.3	Optimierung Maschinenanalysemethodik.....	151
6.3.1	Maschinenanalyse auf Basis der Antriebsgeberdaten .....	152

<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>165</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>171</b>
	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>191</b>
	<b>Formelzeichenverzeichnis</b>	<b>193</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>199</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>203</b>
<b>A</b>	<b>Anhang: Mathematische Grundlagen</b>	<b>205</b>
A.1	Kartesische Koordinatensysteme .....	205
A.2	Räumliche Translationen und Drehungen .....	205
A.3	Die homogene Koordinatentransformation .....	210
A.4	Die RPY-Transformation und der Posevektor .....	212
<b>B</b>	<b>Anhang: Diagramme</b>	<b>215</b>