

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Ausgangssituation – Stand der Forschung, Wissenschaft und Technik	5
2.1	Industrieroboter	5
2.1.1	Roboter-Koordinatensysteme und Tool-Daten	8
2.1.2	Leistungskenngößen 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
3	Handlungsbedarf, Zielsetzung und Vorgehensweise	61
4	Versuchsmittel und Messtechnik	63
4.1	Industrieroboter	63
4.2	Schnellfrequenz-Motorspindeln für Industrieroboter	64
4.3	Werkzeugmaschine	65
4.4	Messtechnik	66
5	Systemuntersuchung – Methodik und Beurteilung	69
5.1	Genauigkeitskenngößen von Industrierobotern	71
5.1.1	Positioniergenauigkeit	74
5.1.2	Bahngenauigkeit: 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
6	Systemoptimierung – prototypische Umsetzung	127
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

7	Zusammenfassung und Ausblick	165
	Literaturverzeichnis	171
	Abkürzungsverzeichnis	191
	Formelzeichenverzeichnis	193
	Abbildungsverzeichnis	199
	Tabellenverzeichnis	203
A	Anhang: Mathematische Grundlagen	205
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	Anhang: Diagramme	215