

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis</b>	<b>XIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage . . . . .	1
1.2 Problemstellung . . . . .	3
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	6
<b>2 Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>7</b>
2.1 Wandel in der Produktion . . . . .	7
2.1.1 Entwicklungen des Produktionssystems . . . . .	7
2.1.2 Auswirkungen des Wandels auf die physische und logische Ebene des Produktionssystems . . . . .	10
2.2 Hybride Fertigung . . . . .	11
2.2.1 Definition hybride Fertigung . . . . .	12
2.2.2 Hybride additive Fertigungsprozesse . . . . .	13
2.2.3 Anlagentechnologien für die hybride additive Fertigung . . . . .	16
2.3 Prozessplanung im Kontext der hybriden additiven Fertigung . . . . .	19
2.3.1 Definition Computer-Aided Process Planning . . . . .	19
2.3.2 CAPP Ansätze für die hybride additive Fertigung . . . . .	21
2.3.3 Prozessmodelle für die Prozessplanung . . . . .	23
2.3.4 Algorithmen für die Reihenfolgeplanung . . . . .	27
2.3.5 Domänenübergreifende Planung . . . . .	28
2.4 Zusammenfassung und Darstellung der Forschungslücke . . . . .	32
<b>3 Zielsetzung, Forschungsfragen und Arbeitshypothese</b>	<b>35</b>
<b>4 Konzeption des Incremental Manufacturing Lab</b>	<b>41</b>
4.1 Einsatzfall der inkrementellen Fertigung . . . . .	42
4.1.1 Bauteilspektrum und -anforderungen . . . . .	42
4.1.2 Fertigungstechnologien (Grobauswahl) . . . . .	43
4.2 Entwicklung eines Anlagenkonzepts für die Erprobung der inkrementellen Fertigung . . . . .	43
4.2.1 Anforderungen an das Incremental Manufacturing Lab . . . . .	43
4.2.2 Technologisches Konzept des Incremental Manufacturing Labs	45

IX

4.3	Umsetzung des Incremental Manufacturing Lab im Technikumsmaßstab . . . . .	50
4.3.1	Systematik des Anlagenaufbaus . . . . .	50
4.3.2	Integrierte Fertigungsverfahren . . . . .	52
4.3.3	Steuerung und Vernetzung . . . . .	56
4.3.4	Zusammenfassung Incremental Manufacturing Lab . . . . .	57
<b>5</b>	<b>Prozessplanung für die inkrementelle Fertigung</b>	<b>61</b>
5.1	Herausforderungen des inkrementellen Fertigungsansatzes . . . . .	62
5.1.1	Herausforderungen im Kontext Bauteilentwurf . . . . .	62
5.1.2	Herausforderungen im Kontext Prozessplanung . . . . .	62
5.1.3	Herausforderungen im Kontext Fertigung . . . . .	63
5.2	Anforderungen an die Prozessplanung und Grenzen der inkrementellen Fertigung . . . . .	64
5.3	Planungsmethode . . . . .	65
5.3.1	Kombinierte Bauteilauslegung und Prozessplanung für die inkrementelle Fertigung . . . . .	66
5.3.2	Bausteine der Prozessplanung . . . . .	68
5.4	Bewertung von Fertigungs Routen . . . . .	69
5.4.1	Definition und Anwendung von Kennzahlen . . . . .	69
5.4.2	Fertigungskomplexität/Kennzahlensystem im Kontext der inkrementellen Fertigung . . . . .	70
5.5	Fertigungsmodelle für die inkrementelle Fertigung . . . . .	74
5.5.1	Zeitmodelle für die additive Fertigung . . . . .	74
5.5.2	Qualitätsmodell . . . . .	84
5.5.3	Kostenmodell . . . . .	86
5.6	Interprozessuale Fertigungsschritte . . . . .	88
5.6.1	Allgemeine Fertigungsregeln . . . . .	90
5.6.2	Interprozessuale Fertigungsschritte mit Einfluss auf die Bau teilkomplexität . . . . .	95
5.6.3	Interprozessuale Fertigungsschritte mit Einfluss auf die Pro zessreihenfolge . . . . .	99
5.6.4	Anwendung der Fertigungsregeln auf Demonstratorebene .	110
5.7	Aufstellen von Fertigungs Routen . . . . .	114
5.8	Multikriterielle Bewertung von Bauteilvarianten . . . . .	120
5.8.1	Multikriterielle Entscheidung . . . . .	120
<b>6</b>	<b>Umsetzung der Prozessplanung in einem Planungstool</b>	<b>125</b>
6.1	Klassenstruktur . . . . .	125
6.2	Programmablauf . . . . .	127
<b>7</b>	<b>Prozesskorrektur während der Fertigung</b>	<b>131</b>
7.1	Bauteilfehler in der inkrementellen Fertigung . . . . .	131

7.2	Inkrementelle Bauteilkorrekturstrategien und ihre Umsetzung . . . . .	134
7.2.1	Prozessreihenfolgefflexibilität und Prozessstrategiewechsel zur Bauteilkorrektur . . . . .	135
7.2.2	Anforderungen an eine Prozessbeschreibung und Auswahl im Kontext der inkrementellen Fertigung . . . . .	137
7.2.3	Schnittstellen für den flexiblen Strategiewchsel . . . . .	141
<b>8</b>	<b>Inkrementeller Bauteildemonstrator</b>	<b>147</b>
8.1	Demonstratorbauteilauswahl . . . . .	147
8.1.1	Vorgehen für die Bewertung der Eignung eines Bauteils für die inkrementelle Fertigung . . . . .	149
8.1.2	Auswahl eines Demonstrators für die inkrementelle Fertigung	151
8.2	Prozesskette und Fertigung des Demonstratorbauteils . . . . .	152
8.3	Herausforderungen der inkrementellen Fertigung am Beispiel des Demonstrators . . . . .	154
<b>9</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>157</b>
9.1	Zusammenfassung . . . . .	157
9.2	Ausblick . . . . .	159
<b>Anhang</b>		<b>161</b>
A.1	Materialdaten . . . . .	161
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		<b>163</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>		<b>169</b>
<b>Literatur</b>		<b>171</b>