

# Inhaltsübersicht

## Outline

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	4
<b>2 Grundlagen des Betrachtungsbereichs.....</b>	<b>7</b>
2.1 Definition in dieser Arbeit genutzter Begriffe.....	7
2.2 Kategorisierung additiver Fertigungstechnologien .....	11
2.3 Einsatzzweck additiver Fertigungstechnologien.....	11
2.4 Pulverbettbasierte additive Fertigungstechnologien.....	15
2.5 Fertigungstechnologien zur Weiterbearbeitung .....	23
2.6 Planung von Fertigungsmittelleinsatz und -prozessketten .....	28
2.7 Leistungsfähigkeitsvergleich additiver und subtraktiver Technologien .....	34
2.8 Zwischenfazit und Handlungsbedarf aus der Praxis.....	36
<b>3 Analyse und Bewertung bestehender Ansätze .....</b>	<b>37</b>
3.1 Methodologie zur Bewertung bestehender Forschungsansätze .....	37
3.2 Bewertungssystematik der Anforderungen an die Methodik.....	38
3.3 Vorstellung bestehender Ansätze .....	42
3.4 Zwischenfazit.....	54
3.5 Bewertung bestehender Ansätze .....	54
3.6 Handlungsbedarf aus der Theorie .....	56
3.7 Konkretisierung zu Forschungsfragen.....	57
<b>4 Konzeption der Integrationsmethodik .....</b>	<b>59</b>
4.1 Angewendete Systemtechnik und Modellierung .....	59
4.2 Ordnungsrahmen der Integrationsmethodik .....	60
4.3 Konzeption der Analysephase zur Aufnahme des Status quo .....	62
4.4 Konzeption der Gestaltungsphase integrierter Fertigungsprozessketten .....	69
4.5 Konzeption der Umsetzungsphase zur Prozesskettenauswahl .....	73
4.6 Zwischenfazit.....	74
<b>5 Ausgestaltung der Integrationsmethodik .....</b>	<b>77</b>
5.1 Ausgestaltung der Initiierung zur Anwendung der Integrationsmethodik.....	78
5.2 Ausgestaltung der Situationsanalyse .....	84
5.3 Ausgestaltung der Prozesskettengenerierung .....	98
5.4 Ausgestaltung der Prozesskettensimulation.....	114
5.5 Ausgestaltung der Prozesskettenselektion .....	118
5.6 Zwischenfazit.....	124
<b>6 Validierung und kritische Reflexion der Methodik.....</b>	<b>127</b>
6.1 Prototypische Softwareumsetzung .....	127
6.2 Vorgehensweise zur Validierung der Methodik.....	128
6.3 Fallbeispiel 1: Aeronamic B.V. .....	129
6.4 Fallbeispiel 2: Scheuermann + Heilig GmbH.....	132

---

6.5 Fallbeispiel 3: LMT Fette Werkzeugtechnik GmbH & Co. KG.....	137
6.6 Kritische Reflexion .....	142
<b>7 Schlussbetrachtung.....</b>	<b>145</b>
7.1 Zusammenfassung .....	145
7.2 Ausblick und Verwertung .....	146
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>149</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>173</b>
A.1 Pulverbettbasierte additive Fertigung mit EB-PBF und BJ .....	173
A.2 Werkstück-Substratplattenverbindung.....	175
A.3 Best-Practice-Umfrage unter AM-Dienstleistungsunternehmen.....	176
A.4 Studie »Weiterbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen«.....	178
A.5 Ausprägungen Bewertungskriterien für bestehende Ansätze .....	180
A.6 Projekt »Benchmarking of post-processing methods«.....	184
A.7 Aufspannoptionen und Spannprinzipie .....	185
A.8 Erweitertes Beispiel zur Bauteilbeschreibung .....	186
A.9 Auswahl einer geeigneten Prozessmodellierungssprache.....	188
A.10 Aspektverhältnisse unterschiedlicher Bearbeitungselemente .....	190
A.11 Eigenschaftstransformationen Fertigungsverfahren.....	191
A.12 Struktur Prozesskettensimulation .....	192
A.13 Fertigungszeitermittlung .....	195
A.14 Berechnungen Prozessketten-Ähnlichkeits-Performance-Matrix.....	196

# Inhaltsverzeichnis

## Table of Contents

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung .....	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	4
<b>2 Grundlagen des Betrachtungsbereichs.....</b>	<b>7</b>
2.1 Definition in dieser Arbeit genutzter Begriffe.....	7
2.2 Kategorisierung additiver Fertigungstechnologien .....	11
2.3 Einsatzzweck additiver Fertigungstechnologien.....	11
2.3.1 Werkstoffe zur additiven Fertigung .....	13
2.3.2 Additive Fertigungstechnologien und Verfahrensausprägungen .....	13
2.4 Pulverbettbasierte additive Fertigungstechnologien.....	15
2.4.1 Grundlagen pulverbettbasierter additiver Fertigung.....	15
2.4.2 Alleinstellungsmerkmale pulverbettbasierter additiver Fertigung .....	19
2.4.3 Spezifische Nachbehandlung.....	21
2.5 Fertigungstechnologien zur Weiterbearbeitung .....	23
2.5.1 Kategorisierung subtraktiver Fertigungstechnologien.....	24
2.5.2 Spanende und abtragende Fertigungstechnologien.....	25
2.6 Planung von Fertigungsmittelleinsatz und -prozessketten .....	28
2.6.1 Ansätze zur Planung von Fertigungsmittelleinsatz und Fertigungsprozessketten .....	29
2.6.2 Horizontale Prozesskette bei der additiven Fertigung.....	31
2.7 Leistungsfähigkeitsvergleich additiver und subtraktiver Technologien .....	34
2.8 Zwischenfazit und Handlungsbedarf aus der Praxis.....	36
<b>3 Analyse und Bewertung bestehender Ansätze .....</b>	<b>37</b>
3.1 Methodologie zur Bewertung bestehender Forschungsansätze .....	37
3.2 Bewertungssystematik der Anforderungen an die Methodik.....	38
3.2.1 Bewertung der Bauteilanforderungsbeschreibung.....	38
3.2.2 Bewertung der Fertigungsmittelaufnahme und Technologieleistungsfähigkeitsbeurteilung.....	39
3.2.3 Bewertung der Prozesskettengenerierung und -planung .....	41
3.3 Vorstellung bestehender Ansätze .....	42
3.3.1 Ansätze zur Bauteilanforderungsbeschreibung .....	43
3.3.2 Ansätze zur Fertigungsmittelaufnahme und Technologieleistungsfähigkeitsbeurteilung.....	44
3.3.3 Ansätze zur Prozesskettengenerierung und -planung .....	46
3.4 Zwischenfazit.....	54
3.5 Bewertung bestehender Ansätze .....	54
3.6 Handlungsbedarf aus der Theorie .....	56
3.7 Konkretisierung zu Forschungsfragen.....	57
<b>4 Konzeption der Integrationsmethodik .....</b>	<b>59</b>
4.1 Angewendete Systemtechnik und Modellierung .....	59
4.2 Ordnungsrahmen der Integrationsmethodik .....	60
4.3 Konzeption der Analysephase zur Aufnahme des Status quo .....	62

---

4.3.1	Befragung zur Weiterbearbeitung von additiv gefertigten Werkstücken .....	63
4.3.2	Initiierung zur Anwendung der Integrationsmethodik .....	64
4.3.3	Situationsanalyse der Integrationsmethodik .....	65
4.4	Konzeption der Gestaltungsphase integrierter Fertigungsprozessketten .....	69
4.4.1	Prozesskettengenerierung.....	70
4.4.2	Prozesskettensimulation .....	72
4.5	Konzeption der Umsetzungsphase zur Prozesskettenauswahl .....	73
4.5.1	Prozesskettenselektion.....	73
4.6	Zwischenfazit .....	74
5	<b>Ausgestaltung der Integrationsmethodik .....</b>	<b>77</b>
5.1	Ausgestaltung der Initiierung zur Anwendung der Integrationsmethodik .....	78
5.1.1	Schaffung des Methodikverständnisses .....	78
5.1.2	Definition der LB-PBF-Technologie .....	79
5.2	Ausgestaltung der Situationsanalyse .....	84
5.2.1	Aufnahme der Fertigungsstruktur .....	84
5.2.2	Definition der Bauteilbeschreibung.....	90
5.2.3	Aufnahme der bestehenden Prozesskette(n).....	95
5.3	Ausgestaltung der Prozesskettengenerierung .....	98
5.3.1	Erzeugung der Prozesskettenelemente.....	100
5.3.2	Gestaltung von Technologieketten .....	108
5.4	Ausgestaltung der Prozesskettensimulation .....	114
5.4.1	Erzeugung der Werkstück-Repräsentanz.....	114
5.4.2	Erstellung von Fertigungsfolgen .....	115
5.5	Ausgestaltung der Prozesskettenselektion .....	118
5.5.1	Kennzahlensystem zur Selektion von Fertigungsfolgen .....	118
5.5.2	Selektion der finalen Fertigungsfolge .....	121
5.6	Zwischenfazit .....	124
6	<b>Validierung und kritische Reflexion der Methodik.....</b>	<b>127</b>
6.1	Prototypische Softwareumsetzung .....	127
6.2	Vorgehensweise zur Validierung der Methodik .....	128
6.3	Fallbeispiel 1: Aeronamic B.V. .....	129
6.3.1	Ausgangssituation und Anwendung der Analysephase .....	129
6.3.2	Fazit der Methodikanwendung bei der Aeronamic B.V.....	132
6.4	Fallbeispiel 2: Scheuermann + Heilig GmbH.....	132
6.4.1	Ausgangssituation und Anwendung der Analysephase .....	132
6.4.2	Anwendung der Gestaltungs- und Umsetzungsphase .....	134
6.4.3	Fazit der Methodikanwendung bei der Scheuermann + Heilig GmbH.....	137
6.5	Fallbeispiel 3: LMT Fette Werkzeugtechnik GmbH & Co. KG .....	137
6.5.1	Ausgangssituation und Anwendung der Analysephase .....	137
6.5.2	Anwendung der Gestaltungs- und Umsetzungsphase .....	139
6.5.3	Fazit der Methodikanwendung bei der LMT Fette Werkzeugtechnik GmbH & Co. KG .....	142
6.6	Kritische Reflexion .....	142
7	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>145</b>
7.1	Zusammenfassung .....	145

---

7.2 Ausblick und Verwertung .....	146
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>149</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>173</b>
A.1 Pulverbettbasierte additive Fertigung mit EB-PBF und BJ .....	173
A.2 Werkstück-Substratplattenverbindung .....	175
A.3 Best-Practice-Umfrage unter AM-Dienstleistungsunternehmen.....	176
A.4 Studie »Weiterbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen« .....	178
A.5 Ergänzende bestehende Ansätze .....	180
A.6 Projekt »Benchmarking of post-processing methods«.....	184
A.7 Aufspannoptionen und Spannprinzipie.....	185
A.8 Erweitertes Beispiel zur Bauteilbeschreibung .....	186
A.9 Auswahl einer geeigneten Prozessmodellierungssprache .....	188
A.10 Aspektverhältnisse unterschiedlicher Bearbeitungselemente .....	190
A.11 Eigenschaftstransformationen Fertigungsverfahren .....	191
A.12 Struktur Prozesskettensimulation.....	192
A.13 Fertigungszeitermittlung .....	195
A.14 Berechnungen Prozessketten-Ähnlichkeits-Performance-Matrix .....	196