

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>vii</b>
<b>Nomenklatur und Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik.....</b>	<b>3</b>
2.1 Grundlagen der methodischen Produktentwicklung .....	3
2.1.1 Definition von Methode und Methodik .....	4
2.1.2 Auflösungsgrad von Produktentwicklungsprozessen.....	4
2.1.3 Produktentwicklungsmethoden und -ansätze .....	5
2.1.4 Grundlagen der Gestaltung.....	8
2.1.5 Fertigungsgerechtes Gestalten - Design for Manufacturing .....	10
2.2 Grundlagen der Laseradditive Fertigung .....	10
2.2.1 Verfahrensgrundlagen .....	11
2.2.2 Wesentliche Prozessparameter .....	13
2.2.3 Der Werkstoff TiAl6V4 in der laseradditiven Fertigung .....	16
2.2.4 Eigenspannungen in der Laseradditiven Fertigung .....	18
2.2.5 Richtlinien für die fertigungsgerechte Gestaltung .....	21
2.2.6 Gestaltung von laseradditiv zu fertigenden Bauteilen .....	25
2.3 Leichtbau .....	29
2.3.1 Konstruktionsstrategien des Leichtbaus .....	30
2.3.2 Konstruktive Gestaltungsprinzipien des Leichtbaus .....	30
2.4 Grundlagen der Strukturoptimierung.....	32
2.4.1 Differenzierung der Strukturoptimierung.....	32
2.4.2 Grundlagen der Topologieoptimierung .....	34
2.4.3 Integration in den Konstruktionsprozess .....	38
2.4.4 Verwendete Software .....	40
2.5 Gestaltungsbegleitende Kostenbetrachtung .....	40
2.5.1 Grundlagen zum kostengünstigen Konstruieren.....	41
2.5.2 Grundlagen zur Kostenabschätzung .....	43
2.5.3 Wirtschaftlichkeitsfaktoren der laseradditiven Fertigung .....	44
2.5.4 Abschätzung der Kosten laseradditiv gefertigter Bauteile .....	46
<b>3 Methodische Herangehensweise .....</b>	<b>49</b>
<b>4 Grundlegende Fertigungsrestriktionen von LAM für TiAl6V4 .....</b>	<b>51</b>
4.1 Ableitung relevanter Fertigungsherausforderungen .....	51
4.2 Experimentelle Randbedingungen.....	53
4.3 Klassifizierung der Oberflächenrauheit .....	54
4.4 Freie Überhangsektionen .....	58
4.5 Einflussgrößen auf die Maßgenauigkeit .....	61
4.5.1 Positionierung auf der Bauplattform .....	61

4.5.2	Bauteildimensionen in Schichtebene und Orientierung zum Beschichter .....	64
4.5.3	Bauteilhöhe .....	71
4.5.4	Bauteilausrichtung zur Bauplattform .....	75
4.6	Bohrungen .....	77
4.7	Spaltabmessungen .....	80
4.8	Untersuchungen zum Schrumpfungsverhalten .....	81
4.8.1	Einfluss von Materialanhäufungen.....	82
4.8.2	Einfluss von Strukturübergängen .....	88
4.8.3	Stabilitätssteigerung von Strukturübergängen.....	93
4.9	Dünne Wandungen .....	95
4.9.1	Grundlagenversuche.....	96
4.9.2	Grundlegende Festigkeitscharakteristika.....	105
4.9.3	Einfluss der Probenhöhe.....	109
4.9.4	Einfluss der Probenlänge.....	117
4.9.5	Einfluss der Probenausrichtung .....	123
4.9.6	Maßnahmen zur Stabilitätssteigerung .....	125
4.10	Hohl- und Rohrstrukturen.....	129
4.10.1	Grundlagenversuche.....	129
4.10.2	Einfluss der Geometrieparameter .....	135
4.10.3	Einfluss der Probenausrichtung .....	140
4.10.4	Überhangssektionen.....	143
4.11	Balkenelemente .....	146
4.12	Weitergehende Richtlinien .....	147
4.12.1	Anbindung zur Bauplattform.....	147
4.12.2	Supportstrukturen .....	148
4.12.3	Anmerkungen zur Bauteilendbearbeitung .....	149
<b>5</b>	<b>Konstruktionskatalog für LAM-Leichtbaustrukturen aus TiAl6V4 .....</b>	<b>151</b>
5.1	Grundlegender Aufbau .....	151
5.2	Konstruktionskatalog für Leichtbaustrukturen aus TiAl6V4.....	154
<b>6</b>	<b>Entwicklung einer Methodik zur Bauteilgestaltung .....</b>	<b>167</b>
6.1	Ziele der Methodik .....	167
6.2	Entwicklung eines übergeordneten Phasenmodells .....	168
6.2.1	Planungs- und Vorbereitungsphase .....	169
6.2.2	Gestaltungsphase.....	170
6.2.3	Herstellungsphase .....	171
6.2.4	Phase der Systemintegration und Ausarbeitung .....	172
6.2.5	Anwendung des Phasenmodells .....	173
6.3	Entwicklung eines Kostenmodells für die laseradditive Fertigung.....	174
6.3.1	Gliederung des Kostenmodells.....	174
6.3.2	Berechnung der Bauteilstückkosten .....	176

6.3.3	Vorgehensorientierte Anpassung des Kostenmodells .....	178
6.4	Ausarbeitung der übergeordneten Phasen anhand eines Beispielbauteils....	181
6.4.1	Planung und Vorbereitung - Randbedingungen und Anforderungen klären .....	181
6.4.2	Planung und Vorbereitung – technisch-wirtschaftliche Bewertung I .....	188
6.4.3	Gestaltung - rechnergestützte Topologieoptimierung .....	200
6.4.4	Gestaltung - Modellierung, Synthese und Berechnung .....	209
6.4.5	Gestaltung – technisch-wirtschaftliche Bewertung II .....	218
6.4.6	Herstellung – Fertigungsvorbereitung .....	221
6.4.7	Laseradditive Fertigung, Systemintegration und Ausarbeitung ..	224
6.5	Integration der Gestaltungsrichtlinie in die Methodik .....	225
6.6	Erweiterung der Visualisierung zur Unterstützung der Anwendung .....	229
<b>7</b>	<b>Methodikanwendung an einem Demonstrator .....</b>	<b>231</b>
7.1	Planung und Vorbereitung .....	231
7.2	Gestaltung .....	234
7.3	Fertigungsvorbereitung und Fertigung .....	239
7.4	Mechanische Tests und Systemintegration .....	240
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>243</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>247</b>
<b>A</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>255</b>
A.1	Die übergeordneten Phasen der Methodik.....	255
A.2	Kostenmodell.....	256
A.3	Methodik zur Bauteilkonstruktion .....	257
A.4	Anforderungsliste – Eingangshebel.....	261
A.5	Curriculum Vitae .....	262