

1	Motivation und Zielsetzung	1
2	Stand von Wissenschaft und Technik	5
2.1	Grundlagen des Laser Powder Bed Fusion	5
2.2	Laserstrahl-Material Wechselwirkung beim Laser Powder Bed Fusion	8
2.2.1	Schmelzbadausbildung und -dynamik beim Laser Powder Bed Fusion	8
2.2.2	Erstarrung und Spurmorphologie beim Laser Powder Bed Fusion	11
2.3	Prozessnebenprodukte beim Laser Powder Bed Fusion	16
2.4	Ansätze zur Erhöhung der Aufbaurate beim Laser Powder Bed Fusion	18
2.4.1	Verwendung großer Laserleistungen für das Laser Powder Bed Fusion	20
2.4.2	Multi-Strahl Ansätze für das Laser Powder Bed Fusion	26
2.5	Multistrahl-Ansätze bei anderen Verfahren der Lasermaterialbearbeitung	37
3	Vorgehensweise	39
3.1	Problemstellung, Zielsetzung und Forschungsfragen	39
3.2	Vorgehen	40
4	Verwendete Systemtechnik, Werkstoffe und Methoden	43
4.1	LPBF-Labormaschine	43
4.2	Werkstoff	45
4.3	Verfahrensparameter	47
4.4	Analysemethoden	48
4.4.1	High-Speed Videographie des LPBF-Prozesses	48
4.4.2	Kamerabasierte Analyse der Prozessnebenprodukte beim LPBF	50
4.4.3	Analyse der gefertigten Bauteile	55

5	Entwicklung und Charakterisierung eines optischen Systems für das Laser Powder Bed Fusion mit zwei gekoppelten Laserstrahlen	57
5.1	Entwicklung eines optischen Systems für das LPBF mit zwei gekoppelten Laserstrahlen	57
5.1.1	Anforderungsprofil	57
5.1.2	Laserstrahlerzeugung und -modulation	59
5.1.3	Laserstrahlführung	60
5.1.4	Laserstrahlfokussierung und Ausgleich der Bildfeldwölbung	62
5.1.5	Relative Positionierung der Laserstrahlen	66
5.1.6	Synthese und Bewertung von Lösungskonzepten	67
5.1.7	Konstruktive Ausgestaltung	72
5.2	Charakterisierung des optischen Systems	75
5.2.1	Messung der Laserleistungskennlinien	75
5.2.2	Messung der Laserstrahlkaustik	77
5.2.3	Kalibrierung der relativen Positionierung der Laserstrahlen	79
6	Prozessführung	87
6.1	Ermittlung geeigneter Konfigurationen für das LPBF mit zwei gekoppelten Laserstrahlen	87
6.1.1	Untersuchung des LPBF mit zwei gekoppelten Laserstrahlen und parallelem Versatz Δx_L	92
6.1.2	Untersuchung des LPBF mit zwei gekoppelten Laserstrahlen und senkrechtem Versatz Δy_L	101
6.1.3	Vergleich des LPBF mit zwei gekoppelten Laserstrahlen mit dem Single-Laser LPBF	111
6.2	Charakterisierung der Prozessfenster beim LPBF mit zwei gekoppelten Laserstrahlen	116
6.3	Untersuchung zur Entstehung von Prozessnebenprodukten	136
7	Demonstration und Benchmarking	151
7.1	Schmelzbadgeometrie und Mikrostruktur	151
7.2	Mechanische Eigenschaften	160
7.3	Oberflächenqualität und Maßhaltigkeit	167
7.4	Vergleich der Aufbaurate	176
8	Zusammenfassung und Ausblick	181
8.1	Zusammenfassung	181
8.2	Ausblick	183
9	Literaturverzeichnis	185

10	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	195
10.1	Abbildungsverzeichnis	195
10.2	Tabellenverzeichnis	203
11	Formelzeichen und Abkürzungen	205
11.1	Formelzeichen	205
11.2	Abkürzungen	209
12	Anhang	211
12.1	Ergänzungen zu Kapitel 2	211
12.2	Ergänzungen zu Kapitel 4	217
12.3	Ergänzungen zu Kapitel 5	224
12.4	Ergänzungen zu Kapitel 6	230
12.5	Ergänzungen zu Kapitel 7	232