

# Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                                           |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung und Motivation</b>                                                          | <b>1</b>  |
| 1.1      | Motivation . . . . .                                                                      | 1         |
| 1.2      | Zielstellung und Vorgehen . . . . .                                                       | 3         |
| <b>2</b> | <b>Stand der Wissenschaft und Technik</b>                                                 | <b>5</b>  |
| 2.1      | Topologieoptimierung . . . . .                                                            | 5         |
| 2.1.1    | Steifigkeit . . . . .                                                                     | 6         |
| 2.1.2    | Wärmeleitung . . . . .                                                                    | 8         |
| 2.1.3    | Strömungsmechanik . . . . .                                                               | 9         |
| 2.1.4    | Verfahren . . . . .                                                                       | 10        |
| 2.1.5    | Numerische Probleme . . . . .                                                             | 12        |
| 2.2      | Additive Fertigung . . . . .                                                              | 15        |
| 2.3      | Restriktionen der Additiven Fertigung und deren numerische Beschreibung . . . . .         | 18        |
| 2.3.1    | Längenskalenkontrolle . . . . .                                                           | 24        |
| 2.3.2    | Überhänge . . . . .                                                                       | 28        |
| 2.3.3    | Kavitäten und Konnektivität . . . . .                                                     | 34        |
| 2.4      | Topologieoptimierung zur Kosten- und Zeitminimierung in der Additiven Fertigung . . . . . | 37        |
| <b>3</b> | <b>Definition des Forschungsbedarfs</b>                                                   | <b>39</b> |
| <b>4</b> | <b>Verfahren und Methoden</b>                                                             | <b>43</b> |
| 4.1      | Das Variationsproblem . . . . .                                                           | 43        |
| 4.2      | Restriktionen in Variationsproblemen . . . . .                                            | 44        |
| 4.3      | Beschreibende Gleichungen . . . . .                                                       | 48        |
| 4.3.1    | Steifigkeitsoptimierung . . . . .                                                         | 48        |
| 4.3.2    | Strömungsoptimierung . . . . .                                                            | 49        |
| 4.3.3    | Wärmeleitungsoptimierung . . . . .                                                        | 50        |
| 4.4      | Optimierungsalgorithmus und Softwareumgebung . . . . .                                    | 52        |

|          |                                                                          |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.5      | Vereinfachungen und Annahmen . . . . .                                   | 53         |
| <b>5</b> | <b>Stoffschlüssigkeit und die Vermeidung von geschlossenen Kavitäten</b> | <b>55</b>  |
| 5.1      | Berechnungsmodell . . . . .                                              | 56         |
| 5.2      | Ansatz zur Sicherstellung der Stoffschlüssigkeit . . . . .               | 59         |
| 5.3      | Ansatz zur Vermeidung von geschlossenen Kavitäten . . . . .              | 63         |
| 5.3.1    | Der DVL-Algorithmus . . . . .                                            | 65         |
| 5.3.2    | Sensitivitätsanalyse . . . . .                                           | 67         |
| 5.3.3    | Ergebnis des DVL-Algorithmus . . . . .                                   | 68         |
| 5.3.4    | Längenskalenkontrolle für den DVL-Algorithmus . . . . .                  | 69         |
| 5.3.5    | Der DVL-Algorithmus an einer Beispielanwendung . . . . .                 | 73         |
| <b>6</b> | <b>Methodischer Umgang mit der Oberfläche in der Additiven Fertigung</b> | <b>75</b>  |
| 6.1      | Methodik . . . . .                                                       | 78         |
| 6.2      | Experimentelle Validierung . . . . .                                     | 80         |
| 6.2.1    | Datenvorbereitung . . . . .                                              | 80         |
| 6.2.2    | Fertigung . . . . .                                                      | 81         |
| 6.2.3    | Versuchsdurchführung . . . . .                                           | 82         |
| 6.2.4    | Ergebnisse und Diskussion . . . . .                                      | 84         |
| <b>7</b> | <b>Vermeidung von nicht selbststützenden Kanälen</b>                     | <b>87</b>  |
| 7.1      | Berechnungsmodell . . . . .                                              | 88         |
| 7.2      | Ergebnisse . . . . .                                                     | 90         |
| <b>8</b> | <b>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b>                                    | <b>97</b>  |
| 8.1      | Beispielanwendung . . . . .                                              | 99         |
| 8.2      | Kostenkalkulation . . . . .                                              | 100        |
| <b>9</b> | <b>Zusammenfassung und Ausblick</b>                                      | <b>105</b> |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                              | <b>110</b> |
|          | Literaturverzeichnis . . . . .                                           | 110        |
| <b>A</b> | <b>Appendix</b>                                                          | <b>119</b> |
| A.1      | Matlab Code des DVL-Algorithmus . . . . .                                | 119        |
| A.1.1    | voids.m . . . . .                                                        | 119        |
| A.1.2    | connectedComponents.m . . . . .                                          | 120        |
| A.1.3    | GetMeshData.m . . . . .                                                  | 122        |
| A.1.4    | dVoids.m . . . . .                                                       | 122        |
| A.2      | Gedankenprotokolle . . . . .                                             | 123        |
| A.2.1    | Aufwandsabschätzung, 10.08.2020, 14:45 Uhr . . . . .                     | 123        |
| A.2.2    | Parameterabschätzung, 10.08.2020, 15:15 Uhr . . . . .                    | 123        |