

# Inhaltsverzeichnis

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einleitung.....                                      | 1  |
| 2     | Theoretische Grundlagen – Stand der Technik.....     | 3  |
| 2.1   | Herstellung geschlossener Hohlprofile aus Stahl..... | 3  |
| 2.1.1 | Hohlprofile mit kreisförmigem Querschnitt.....       | 3  |
| 2.1.2 | Hohlprofile mit komplexem Querschnitt .....          | 7  |
| 2.2   | Biegen von Hohlprofilen.....                         | 10 |
| 2.2.1 | Verfahren mit kinematischer Gestalterzeugung.....    | 12 |
| 2.2.2 | Verfahren mit formgebundener Gestalterzeugung.....   | 18 |
| 2.3   | Formstücke zum Einschweißen .....                    | 26 |
| 2.4   | Statistische Methoden .....                          | 28 |
| 2.4.1 | Faktorielle Versuchspläne.....                       | 28 |
| 2.4.2 | Neuronale Netze.....                                 | 29 |
| 3     | Wissenschaftliche Zielsetzung.....                   | 33 |
| 4     | Halbzeuge und Versuchseinrichtungen.....             | 35 |
| 4.1   | Werkstoffe.....                                      | 35 |
| 4.2   | Versuchsaufbau.....                                  | 38 |
| 4.2.1 | Rohrbogenpresse.....                                 | 38 |
| 4.2.2 | Prüfstand.....                                       | 39 |
| 4.2.3 | Werkzeuge.....                                       | 40 |
| 4.2.4 | FEM-Berechnungssoftware.....                         | 41 |
| 4.3   | Messtechnik .....                                    | 41 |
| 4.3.1 | Temperaturmessung .....                              | 42 |
| 4.3.2 | Reibwertermittlung.....                              | 42 |
| 4.3.3 | Bauteileigenschaften .....                           | 44 |
| 5     | Numerische Abbildung des Hamburger Verfahrens .....  | 47 |
| 5.1   | Aufbau des numerischen Simulationsmodells .....      | 47 |
| 5.1.1 | Beschreibung des Materialverhaltens.....             | 48 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.1.2 | Simulationsbedingungen .....   | 49  |
| 5.2   | Validierung der numerischen Simulationen.....                            | 53  |
| 5.2.1 | Bauteilgeometrie .....   | 53  |
| 5.2.2 | Formänderungsanalyse.....  | 56  |
| 5.3   | Zusammenfassende Betrachtung.....  | 60  |
| 6     | Hamburger Verfahren .....  | 63  |
| 6.1   | Qualitätsmerkmale der Bauteile.....                                      | 63  |
| 6.2   | Analyse der Einflussfaktoren auf geometrische Bauteileigenschaften ..... | 65  |
| 6.2.1 | Halbzeug.....  | 65  |
| 6.2.2 | Kraft-/Dehnungseinleitung.....   | 78  |
| 6.3   | Zusammenfassende Betrachtung.....  | 106 |
| 7     | Verfahrensoptimierung .....  | 109 |
| 7.1   | Werkzeugauslegung.....   | 110 |
| 7.1.1 | Softwarewerkzeug zur Konstruktion von Biegewerkzeugen .....              | 110 |
| 7.1.2 | Bestimmung optimaler Werkzeugparameter.....                              | 118 |
| 7.2   | Werkzeugkonzepte.....  | 121 |
| 7.3   | Bauteilkonzepte.....   | 126 |
| 7.4   | Zusammenfassende Betrachtung.....  | 132 |
| 8     | Zusammenfassung.....   | 135 |
|       | Literaturverzeichnis .....   | 137 |
|       | Abbildungsverzeichnis .....  | 149 |
|       | Tabellenverzeichnis .....  | 153 |