

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	i
Abkürzungsverzeichnis.....	vii
Formelzeichen.....	viii
Kurzfassung	xv
Abstract	xvi
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Technik.....	3
2.1 Hochfeste Stahlbleche als Leichtbauwerkstoff	3
2.1.1 Metallurgische und mechanische Grundlagen der elastisch-plastischen Verformung	4
2.1.2 Herstellung, Anwendung und Wiederverwertung	9
2.1.3 Zukünftige Herausforderungen bei der Herstellung und Anwendung	12
2.2 Ausgewählte Verfahren der Blechumformung.....	15
2.2.1 Grundlagen und Klassifikation	15
2.2.2 Zugdruckumformen	16
2.2.3 Biegeumformen	23
2.3 Entstehung und Kompensation von Rückfederungsphänomenen	28
2.3.1 Ursache und Einflussgrößen auf die Rückfederung	28
2.3.2 Klassifizierung der Rückfederungsarten	31
2.3.3 Rückfederungskompensation durch geometrische Bauteilmodifikationen	34
2.3.4 Reduktion der Rückfederung durch modifizierte Umformprozesse.....	37
2.4 Spezifika der Finite-Elemente-Methode in der Blechumformung	44
2.4.1 Allgemeine Grundlagen zur FE-Modellierung	45
2.4.2 Elastisch-plastische Werkstoffmodelle für die Blechumformung	48
2.4.3 Möglichkeiten der Werkstück- und Werkzeugdiskretisierung.....	55
2.5 Zusammenfassung des Standes der Technik und Ableitung des Forschungsbedarfs	58

3 Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise der Arbeit.....	59
4 Konzeptionierung des Tiefdrückverfahrens	64
4.1 Ansatz zur Verbesserung der Bauteilmaßhaltigkeit umgeformter Blechbauteile	64
4.2 Ansatz zur Effizienzsteigerung von Blechumformprozessen.....	69
4.3 Konsolidierung der Ansätze und Ableitung des neuartigen Blechumformverfahrens	75
4.4 Verwendete Bauteilgeometrien, Versuchswerkstoffe, Anlagen, Messmittel und Software.....	79
4.5 Zusammenfassende Darstellung des Tiefdrückverfahrens	82
5 Charakterisierung und -modellierung der Versuchswerkstoffe	84
5.1 Experimentelle Charakterisierung ausgewählter Dualphasenstähle.....	84
5.1.1 Quasi-statische Zugversuche	85
5.1.2 Zyklisch-schwellende Zugversuche	86
5.1.3 Quasi-statische Bulge-Versuche.....	87
5.1.4 Zyklische Scherversuche	89
5.2 Elastisch-plastische Werkstoffmodellierung der Dualphasenstähle.....	91
5.2.1 Modellierung der Fließkurve.....	92
5.2.2 Modellierung des dehnungsabhängigen Elastizitätsmoduls.....	93
5.2.3 Isotrop-kinematisches Verfestigungsmodell	94
6 Untersuchung und Modellierung der elementaren Umformmechanismen für das Tiefdrücken	97
6.1 Experimentelle und numerische Untersuchungen zum Knickbiegen.....	97
6.1.1 Experimentelle Charakterisierung des Knickbiegenverfahrens	98
6.1.2 Simulation und Validierung des Knickbiegeverfahrens.....	103
6.2 Experimentelle und numerische Untersuchungen des Rollbiegens.....	107
6.2.1 Experimentelle Charakterisierung des Rollbiegens	107
6.2.2 Simulation und Validierung des Rollbiegens	112
6.3 Fazit zur Modellierung der elementaren Umformmechanismen für das Tiefdrücken	116

7 FE-Modellierung und Sensitivitätsanalyse des Tiefdrückens und Tiefziehens akademischer Biegeformteile.....	118
7.1 Implementierung und Parametrisierung der FE-Modelle	118
7.1.1 Modulare FE-Modelle für das Tiefdrücken und Tiefziehen.....	118
7.1.2 Definition der Parameterräume für die stochastische Versuchsplanung	121
7.2 Identifikation einer geeigneten Prozessführung zur effizienten und maßhaltigen Umformung durch Tiefdrücken	124
7.2.1 Metamodellbasierte Parameterselektion für eine geeignete Prozessführung des Tiefdrückens	125
7.2.2 Prozessanalyse und Einordnung der Ergebnisse gegenüber dem Tiefziehen	129
7.3 Sensitivitätsanalyse der Prozess- und Werkzeugparameter.....	136
7.3.1 Bewertung der Prozessrobustheit	136
7.3.2 Werkzeug- und bauteilgeometrische Einflüsse beim Tiefdrücken.....	141
7.4 Zusammenfassung der numerischen Ergebnisse und Definition geeigneter Werkzeug- und Prozessparameter für das Tiefdrücken.....	147
8 Experimentelle Untersuchungen zur Umformung akademischer Biegeformteile.....	149
8.1 Entwicklung und Konstruktion des Versuchswerkzeugs	149
8.1.1 Anforderungen und Randbedingungen an die Werkzeugkonstruktion	149
8.1.2 Umsetzung einer biaxialen Krafteinleitung im Flanschbereich	150
8.1.3 Aufbau des Gesamtwerkzeugs und Inbetriebnahme	153
8.2 Experimentelle Betrachtung der Umformprozesse.....	156
8.2.1 Analyse der Umformkinematik	156
8.2.2 Analyse der Umformkraft und -arbeit	160
8.3 Experimentelle Analyse der Bauteileigenschaften	163
8.3.1 Analyse der geometrischen Bauteileigenschaften	163
8.3.2 Analyse der mechanischen Bauteileigenschaften	167
8.4 Zusammenfassung der experimentellen Untersuchungen und Validierung des FE-Modells	173

9 Numerische Potenzialabschätzung für das Tiefdrücken praxis–naher	
Biegeformteile	177
9.1 Bewertung der Bauteilmaßhaltigkeit	179
9.2 Vergleich der Energieeffizienz der Umformprozesse	181
9.3 Gegenüberstellung der Materialeffizienz	183
9.4 Fazit und Diskussion der Potenziale des Tiefdrückens	185
10 Zusammenfassung und Ausblick	186
10.1 Zusammenfassung	186
10.2 Ausblick	189
11 Anhang.....	192
11.1 Ergänzungen zur Werkstoffcharakterisierung und -modellierung	192
11.2 Erweiterte Betrachtungen zum Knickbiegen	194
11.3 Erweiterte Betrachtungen zum Rollbiegen.....	195
11.4 Ergänzende Betrachtungen mittels FEM zum Tiefdrücken und -ziehen.....	197
11.5 Technische und wirtschaftliche Bewertung der Antriebskonzepte	199
11.6 Ergänzungen zur experimentellen Untersuchung der Umformverfahren.....	199
11.7 Validierung des FE-Modells zum Tiefdrücken	201
12 Literaturverzeichnis.....	202
Curriculum Vitae	216