
Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VI
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XIV
Abkürzungsverzeichnis	XVI
1 Einleitung	18
1.1 Problemstellung	18
1.2 Ziel der Arbeit	23
1.3 Inhaltlicher Aufbau der Arbeit	25
2 Stand der Technik	27
2.1 Werkstoffwissenschaftliche Grundlagen	27
2.1.1 Kristalliner Aufbau metallischer Werkstoffe	27
2.1.2 Elastische und plastische Verformung metallischer Werkstoffe	32
2.1.3 Versetzungsbewegung	34
2.1.4 Verfestigungsmechanismen	36
2.1.5 Ermittlung von Werkstoffkennwerten im einachsigen Zugversuch	39
2.1.6 Anisotropie	43
2.1.7 Reibung	46
2.2 Grundlegende Fertigungsverfahren der Karosserieherstellung	49
2.2.1 Blechumformung	50
2.2.1.1 Einteilung der Verfahren	51
2.2.1.2 Tiefziehen	51
2.2.1.3 Streckziehen	56
2.2.1.4 Karosserieteilziehen	57
2.2.1.5 Grenzformänderungsanalyse	58
2.2.2 Fügeverfahren im Karosseriebau	60
2.2.2.1 Fügen durch Schweißen	61
2.2.2.2 Schweißbeanspruchungen und -verformungen	62

2.2.3	KTL-Ofentrocknungsprozess.....	67
2.3	Grundlagen der Finite-Elemente-Methode	69
2.3.1	Nichtlineare FE-Berechnung	73
2.3.2	Explizite FE-Berechnung.....	76
2.3.3	Werkstoffmodelle	78
2.3.3.1	Plastizität.....	78
2.4	Schlussfolgerungen aus dem Stand der Technik	82
3	Konzept zur Prozesskettensimulation im Karosseriebau.....	84
3.1	Ergebnisdatenübertragung zwischen Simulationssystemen	89
3.1.1	Datentransfer und Interpolation	92
3.1.1.1	Interpolation skalarer Ergebnisgrößen.....	95
3.1.1.2	Interpolation tensorieller Ergebnisgrößen	99
3.1.2	Untersuchung der Qualität des Ergebnisdaten-Mappings.....	104
4	Untersuchung der Ergebnisgenauigkeit inverser Solver.....	109
4.1	Benchmark inverser Solver für die Umformsimulation	117
4.1.1	Verwendete Bauteile für den Benchmark	117
4.1.2	Durchführung des Benchmarks.....	118
4.1.3	Auswertung der Ergebnisse	119
4.2	Untersuchung von Einflüssen auf die erforderliche Rückhaltekraft.....	124
4.2.1	Auswertung der Ergebnisse	125
4.3	Allgemeine Richtlinie zur Anwendung inverser Solver.....	129
4.3.1	Anwendungsbereich der Richtlinie.....	129
4.3.2	Physikalische Ergebnisgrößen und zu verwendende Einheiten.....	129
4.3.3	Empfohlenes Bauteilspektrum.....	130
4.3.4	Input-Daten	130
4.3.4.1	Bauteilgeometrie.....	130
4.3.4.2	Materialdaten	131
4.3.5	Vernetzungsparameter	131
4.3.6	Kontaktbedingungen	131

4.3.7	Ausrichtung des Bauteils in Ziehlage	132
4.3.8	Vorzugebende Rückhaltekraft am Bauteilrand	132
4.3.9	Export der Berechnungsergebnisse	132
5	Globale Sensitivitätsanalyse der Simulationsprozesskette	133
5.1	Kopplung Umform- und Crashsimulation	136
5.2	Kopplung Umform-, Füge- und Crashsimulation	144
5.3	Kopplung Umform-, Füge-, Lacktrocknungs- und Crashsimulation	148
5.4	Validierung der Simulationsergebnisse	154
5.4.1	Praxisabgleich Schweißverzug	154
5.4.2	Drei-Punkt-Biegeversuch	156
6	Empfehlungen für den industriellen Einsatz der PKS.....	161
6.1	Empfehlungen zur Ergebnisgrößenübertragung	161
6.2	Empfehlungen zur Datenhaltung bei der Durchführung der PKS	163
7	Zusammenfassung und Ausblick	167
8	Literaturverzeichnis	170
Anhang A	Blehdickenmesswerte und Simulationsergebnisse	185
Anhang B	Workflow FTI-FormingSuite 8.1	206
Lebenslauf	212