

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Verwendete Formelzeichen .....	IV
Verwendete Abkürzungen .....	V
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Erkenntnisse.....</b>	<b>2</b>
2.1 Die historische Entwicklung der Crashesicherheit im Automobilbau .....	2
2.2 Unfallforschung und gesetzliche Vorgaben .....	3
2.2.1 Unfallforschung .....	4
2.2.2 Gesetzliche Vorgaben.....	4
2.3 Vorgehensweise zur Entwicklung eines crashesicheren Fahrzeugs mit Hilfe der FE-Simulation .....	6
2.3.1 Werkstoffkennwerte und Materialmodelle .....	7
2.3.2 Modellierung von Bauteilverbindungen und Berücksichtigung des Verbindungsversagens .....	10
2.3.3 Folgerungen.....	13
2.4 Problematik bei der Ermittlung von Kennwerten für die FE- Crashsimulation.....	14
<b>3 Aufgabenstellung.....</b>	<b>17</b>
<b>4 Versuchsrandbedingungen.....</b>	<b>19</b>
4.1 Verwendete Probenformen.....	19
4.2 Verwendete Versuchswerkstoffe .....	21
4.2.1 Dualphasenstahl DP600 .....	21
4.2.2 Tiefziehstahl DX54.....	22
4.2.3 Mirkolegierter Stahl H340LA .....	22
4.2.4 Werkstoffvergleich hinsichtlich Dehnratenempfindlichkeit.....	23
4.3 Prüfeinrichtungen und Messwerterfassungssystem .....	25
4.4 Analyse und Optimierung des Prüfsystems.....	28
4.4.1 Experimentelle Analyse des Prüfsystems .....	29
4.4.2 Optimierung des Prüfsystems mittels numerischer Analysen .....	33
4.4.3 Numerische Analysen zum Prelleffekt hinsichtlich Ergebnisbewertung.....	50
<b>5 Experimentelle Untersuchungen an KS2-Proben .....</b>	<b>52</b>
5.1 Ziel.....	52
5.2 Untersuchung von relevanten Einflussfaktoren auf die Verbindungsfestigkeit .....	52
5.2.1 Einfluss der Fertigungsparameter.....	52

5.2.2	Einfluss der Belastungsgeschwindigkeit und -richtung .....	61
5.2.3	Einfluss des Werkstoffs.....	71
5.2.4	Folgerungen.....	72
<b>6</b>	<b>Numerische Untersuchungen .....</b>	<b>74</b>
6.1	Besonderheiten bei der Analyse von hochgradig nichtlinearen dynamischen Vorgängen mit Hilfe der FEM .....	74
6.2	FE-Analysen zum Crashverhalten von Punktschweißverbindungen .....	76
6.2.1	Ziel.....	76
6.2.2	FE-Modellerstellung .....	76
6.2.2.1	Modellierung der KS2-Probe .....	77
6.2.2.2	Belastungsarten .....	78
6.2.2.3	Implementierung der Werkstoffeigenschaften .....	78
6.2.3	Definition eines Versagenskriteriums.....	81
6.2.4	Gegenüberstellung von Simulations- und Versuchsergebnissen der KS2-Proben bei unterschiedlichen Belastungsgeschwindigkeiten und -richtungen .....	83
6.2.5	Folgerungen.....	94
<b>7</b>	<b>Konzept zur numerischen Abschätzung des Verbindungstragverhaltens in Bauteilen unter Crashbelastung .....</b>	<b>96</b>
7.1	Entwicklung des Konzepts.....	96
7.2	Ermittlung der Kenndaten.....	97
<b>8</b>	<b>Validierung des entwickelten Konzepts an T-Stoß-Proben.....</b>	<b>103</b>
8.1	Zielsetzung .....	103
8.2	FE-Modellierung der T-Stoß-Probe und des Prüfsystems .....	103
8.2.1	Modellierung der Schweißpunkte.....	105
8.2.2	Energiebetrachtungen zur Bewertung der Simulationsqualität.....	106
8.3	Validierung der T-Stoß-Simulationsergebnisse .....	109
8.3.1	Gegenüberstellung von Simulations- und Versuchsergebnissen bei der Belastung in Längsrichtung ..	109
8.3.1.1	Variation der Belastungsgeschwindigkeiten.....	110
8.3.1.2	Vergleich des Verformungsverhaltens der T-Stoß-Probe .....	117
8.3.2	Gegenüberstellung von Simulations- und Versuchsergebnissen bei der Belastung in Querrichtung ...	118
8.3.2.1	Variation der Belastungsgeschwindigkeiten.....	119
8.3.2.2	Vergleich des Verformungsverhaltens der T-Stoß-Probe .....	124
8.3.3	Abschätzung des T-Stoß Verformungsverhaltens mit Simulationen ohne Verbindungsversagen .....	126
8.3.4	Folgerungen.....	129
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>131</b>

<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>135</b>
	<b>Anhang A: Kraft-Weg-Verläufe aus Versuchen an KS2-Proben aus den Werkstoffen DX54 und H340LA .....</b>	<b>141</b>
	<b>Anhang B: Gegenüberstellung von Simulations- und Versuchsergebnissen an KS2-Proben aus den Werkstoffen DX54 und H340LA .....</b>	<b>145</b>
	<b>Anhang C: Darstellung der Versagensinteraktionskurven aus Untersuchungen an KS2-Proben aus den Werkstoffen DX54 und H340LA .....</b>	<b>153</b>
	<b>Anhang D: Gegenüberstellung von Simulations- und Versuchsergebnissen an T-Stoß-Proben aus den Werkstoffen DX54 und H340LA .....</b>	<b>155</b>
	<b>Anhang E: Vergleich des globalen Verformungsverhaltens der T- Stoß-Proben aus den Werkstoffen DX54 und H340LA .....</b>	<b>167</b>