

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	7
2.1	Hoch Mangan TWIP-Stähle	7
2.1.1	Verformungsmechanismen in TWIP-Stählen	8
2.1.2	Einfluss von Temperatur und Dehnrate bei der Umformung	9
2.1.3	Gezielte Einstellung der mechanischen Eigenschaften durch thermo-mechanische Behandlung	11
2.1.4	Modellierung der Festigkeit von homogenen Mikrostrukturen.....	16
2.1.5	Modellierung der Festigkeit von inhomogenen Mikrostrukturen.....	21
2.1.6	Fazit zur Modellierung der Festigkeit in hoch Mangan Stählen.....	24
2.2	Materialkennzahlen auf Basis von Zugversuchen	26
2.2.1	Elastisch-plastischer Übergang	26
2.2.2	Gleichmaßdehnung und Zugfestigkeit.....	27
2.2.3	ECO-Index	28
2.2.4	Kritische Beulspannung.....	28
2.2.5	Schädigung und Rissenergie	29
2.3	Materialdesign von hoch Mangan Stählen für Crashanwendungen.....	32
2.3.1	Fazit zum Materialdesign von hoch Mangan Stählen für Crash-anwendungen	34
2.4	Auslegung von Crashstrukturen.....	34
2.4.1	Anforderungen an das Crashverhalten einer Vorderwagenstruktur und Zielkonflikte bei der Auslegung.....	34
2.4.2	Varianten von Crashboxen und Charakterisierung der Energie-absorption	37
2.4.3	Analyse und analytische Beschreibung des Crashverhaltens bei der Faltung	38
2.4.4	Computergestützte Auslegungsverfahren für Crashstrukturen	46
2.4.5	Fazit zur Auslegung von Crashstrukturen.....	50
3	Problemstellung und Zielsetzung.....	51
3.1	Problemstellung	51

3.2	Zielsetzung	53
4	Material und Materialcharakterisierung	59
5	Physikalisch basierte konstitutive Modellierung.....	65
5.1	Modellaufbau und Modellerweiterung	66
5.1.1	Temperaturerhöhung aufgrund von Dissipation.....	66
5.1.2	Erweiterung der Taylor-Gleichung für Zwillingsbildung	69
5.1.3	Beschreibung der Mikrostrukturentwicklung während des Kaltwalzens	72
5.1.4	Beschreibung der Mikrostrukturentwicklung während der Wärmebehandlung	75
5.1.5	Herleitung von Vergleichsmikrostrukturgrößen für inhomogene Materialzustände.....	78
5.2	Simulation der Verfestigung verschiedener Materialzustände	83
5.2.1	Simulation der vollrekristallisierten Materialzustände	83
5.2.2	Simulation der kaltgewalzten Materialzustände	85
5.2.3	Simulation der erholten und teilrekristallisierten Materialzustände...	87
5.2.4	Simulation der Temperatur- und Dehnrateempfindlichkeit der Spannungs-Dehnungs-Kurve	90
5.3	Diskussion der Materialmodellierung	93
5.4	Zusammenfassung der Materialmodellierung	95
6	Crashversuche im Fallturm.....	97
6.1	Geometrie der Crashbox.....	97
6.2	Randbedingungen im Fallturmversuch und bei der Auswertung	98
6.3	Analyse des Crashverhaltens	100
7	FE-Simulation des Crashversuchs	108
7.1	Aufbau des FE-Crashmodells	108
7.1.1	Materialdaten	110
7.1.2	Vordehnung der Biegekanten.....	111
7.1.3	Versagenskriterium aus dem Vordehnungsmodell	112
7.1.4	Kontaktbedingungen	119
7.1.5	Geometrischer Trigger	120

7.2	Konvergenz- und Sensitivitätsanalyse für das FE-Crashmodell	120
7.2.1	Ermittlung der Elementkantenlänge.....	122
7.2.2	Ermittlung der Kontaktsteifigkeit im senkrechten Kontakt	122
7.2.3	Einfluss von Materialfestigkeit und Blechdicke	124
7.2.4	Einfluss des lokalen Materialversagens.....	125
7.2.5	Einfluss von Dehnraten- und Temperaturabhängigkeit des Materialverhaltens	128
7.2.6	Materialverhalten bei transienten Umformrandbedingungen	130
7.3	Validierung der FE-Crashsimulation	132
7.4	Diskussion der FE-Crashsimulation	136
7.5	Zusammenfassung der FE-Crashsimulation	139
8	Analytisches Modell zur Beschreibung des Crashverhaltens.....	140
8.1	Auswahl der analytischen Ansätze	142
8.2	Anpassung der analytischen Ansätze für den Post-Beul-Bereich.....	144
8.3	Darstellung der zeit- und wegabhängigen Crashgrößen	149
8.4	Validierung des analytischen Crashmodells.....	151
8.5	Sensitivität des analytischen Crashmodells für den rekristallisierten Materialzustand	155
8.6	Diskussion des analytischen Crashmodells	158
8.7	Zusammenfassung des analytischen Crashmodells	160
9	Simulative Auslegung von Materialfestigkeit und Crashboxgeometrie	163
9.1	Modellkette und Bewertungskriterien für die simulative Auslegung	164
9.2	Parameterstudie zur Materialfestigkeit bei konstanter Blechdicke	167
9.3	Auslegung der Materialzustands-Blechdicken-Kombination für den Leichtbau	173
9.4	Einfluss von Blechdickenschwankungen auf die Eigenschaftsstabilität.....	179
9.5	Diskussion der Crashboxauslegung.....	182
9.6	Zusammenfassung der Crashboxauslegung.....	188
10	Ausblick	190
11	Anhang	192

A1.	Fallbeispiel zur Temperaturentwicklung im Flachzugversuch.....	192
A2.	Dehnraten- und temperaturabhängige Spannungs-Dehnungs-Kurven.....	195
A3.	Festlegung der Randbedingungen zur Berechnung der mittleren Kraft	196
A4.	Herleitung der Korrelation von Stauch- und Deformationslänge.....	197
A5.	Fallbeispiel zur Herleitung des Korrekturfaktors der mittleren Kraft.....	198
12	Literaturverzeichnis.....	200
	Kurzfassung	206
	Abstract	208