

Inhaltsverzeichnis

	Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	ix
1	Einleitung	1
2	Stand der Technik und Forschung	3
2.1	Laserstrahlschweißen	3
2.1.1	Robotergeführtes Remote-Laserstrahlschweißen	4
2.1.2	Remote-Laserstrahlschweißen zinkbeschichteter Stahlbleche im Überlappstoß	5
2.1.3	Konventionelle Spanntechnik beim Remote- Laserstrahlschweißen im Karosseriebau	7
2.2	Flexible Spanntechnik	7
2.2.1	Flexible Fügevorrichtungen im Karosseriebau	8
2.2.2	Flexible Spanntechnik für das Laserstrahlschweißen im Karosseriebau	8
2.2.3	Mitlaufende Spanntechnik für das robotergeführte Remote- Laserstrahlschweißen	9
2.3	Ausgewählte Gebiete der Prozesssimulation im Karosseriebau	12
2.3.1	Prozesssimulation in der Blechumformung	13
2.3.2	Modellierung des Bauschinger-Effekts	13
2.3.3	Modellierung von Fügeprozessen im Karosseriebau	14
2.3.4	Prozesssimulation Rollfalzen	16
2.3.5	Prozesssimulation Laserstrahlschweißen	18
2.3.6	Digitale Fertigungsprozesskette zur virtuellen Fertigung von Karosserieteilen	20
2.4	Zusammenfassende Bewertung des Standes der Technik	24
3	Zielsetzung der Arbeit und Vorgehensweise	27
4	Werkstoffe, Versuchsanlagen, Methoden und Simulationssoftware	31
4.1	Verwendete Werkstoffe	31
4.2	Versuchsaufbauten zur Ermittlung der für die Modellierung des Bauschinger-Effekts erforderlichen Parameter	33
4.2.1	Zug-Druckversuch	33
4.2.2	Wechselbiegeversuch	34
4.3	Versuchsaufbauten der mitlaufenden Spanntechnik	36
4.3.1	Herstellung der Prinzipbauteile	36
4.3.2	Versuchsaufbau der Spannversuche mit Prinzipbauteilen	37

4.3.3	Versuchsaufbau der Spann- und Fügeversuche mit Prinzipbauteilen	39
4.4	Anfertigung und Auswertung von Bauteilschliffen	39
4.5	Erfassung der Geometrie von Lasernoppen	40
4.6	Digitalisierung von L-Proben mittels Calipri-Gap.....	41
4.7	FE-Simulationsprogramm LS-DYNA®	42
5	Untersuchung der Spann- und Fügeprozesse von Prinzipbauteilen	43
5.1	Experimentelle Untersuchung des Spannprozesses.....	43
5.1.1	Charakterisierungsversuche des Spannvorgangs von L-Proben mit Spannunterlage	43
5.1.2	Untersuchung der Prozessgrenzen	47
5.2	An auftretende Lastfälle angepasste Werkstoffcharakterisierung.....	49
5.2.1	Ermittlung der Bauschinger-Koeffizienten durch Zug- Druckversuche	49
5.2.2	Ermittlung von Parametern durch Wechselbiegeversuche zur Berücksichtigung des Bauschinger-Effekts in den Materialkarten	51
5.3	Simulationsmodell für das weggesteuerte Spannen.....	53
5.3.1	Aufbau des Simulationsmodells für das weggesteuerte Spannen	54
5.3.2	Validierung des Simulationsmodells für das weggesteuerte Spannen	56
5.3.3	Erkenntnisse aus der Validierung des Simulationsmodells	63
5.4	Untersuchung von Einflussgrößen auf die Höhe erforderlicher Spannkraften für das Spannen von Prinzipbauteilen.....	64
5.4.1	Simulationspläne zur Untersuchung der Einflussfaktoren	66
5.4.2	Untersuchungsergebnisse.....	68
5.4.3	Ursachen für die Beeinflussung der erforderlichen Spannkraft durch die Umformhistorie	75
5.5	Simulationsmodell für das kraftgesteuerte Spannen	79
5.5.1	Validierungsversuche des Spannvorgangs von L-Proben ohne Spannunterlage	81
5.5.2	Aufbau des Simulationsmodells für das kraftgesteuerte Spannen	83
5.5.3	Validierung des Simulationsmodells für das kraftgesteuerte Spannen	84
5.6	Simulationsmodell für das Spannen und Fügen von Prinzipbauteilen	86
5.6.1	Validierungsversuche des Spann- und Fügevorgangs mit Prinzipbauteilen	87

5.6.2	Modellierung der Schweißnaht durch Balkenelemente und Spotweld-Kontakte	91
5.6.3	Modellierung der Lasernoppen beim Fügen von Stahlbauteilen	91
5.6.4	Validierung des Simulationsmodells für das Fügen von Prinzipbauteilen	94
5.6.5	Simulative Untersuchung des Einflusses der Rollengeschwindigkeit auf resultierende Fügespalte	96
5.6.6	Simulative Untersuchung des Einflusses der Noppenhöhe auf resultierende Fügespalte	99
5.7	Zusammenfassung der Ergebnisse	101
6	Berechnung der Spann- und Fügeprozesse von Karosserieteilen ...	103
6.1	Übertragung der Simulationsmodelle auf reale Karosserieteile	103
6.1.1	Weggesteuerter Spannvorgang mit Spannrolle	106
6.1.2	Kraftgesteuerter Spannvorgang mit Spannrolle	109
6.2	Validierung des Simulationsmodells für Karosserieteile durch den Fügeversuch mit einem Heckwagen	110
6.2.1	Abgleich der Versuchs- und Simulationsergebnisse	113
6.3	Ausbau des Simulationsmodells zur Ermittlung erforderlicher Spannkraften durch Berechnung mit geregelter Spannkraft	117
6.3.1	Funktionsweise des kraftgeregelten Simulationsmodells	118
7	Simulative Technologieuntersuchung	121
7.1	Simulative Untersuchung und Auslegung von Bauteilen und deren Spann- und Fügeprozesse	121
7.1.1	Auslegung von Bauteiltoleranzen und Spannkraften	122
7.1.2	Untersuchung des Einflusses der Umformhistorie auf resultierende Fügespalte	125
7.1.3	Untersuchung der Nachgiebigkeit der Bauteile in der Fügevorrichtung	127
7.1.4	Auslegung der Fügevorrichtung	129
7.1.5	Ermittlung eines optimierten Spannkraftverlaufs zum Erzielen eines definierten Fügspalts	131
7.1.6	Ermittlung eines Prozessfensters	133
7.1.7	Anpassungen der untersuchten Bauteile und des Spann- und Fügeprozesses auf Basis der simulativen Untersuchung und Auslegung	138
7.1.8	Absicherung der modifizierten Bauteile und deren Spann- und Fügeprozesse	140
7.2	Handlungsempfehlung zur frühzeitigen, digitalen Auslegung von Bauteilen, Fügeprozessen und Fügevorrichtungen	144
7.2.1	Eingangsdaten Bauteile	147

7.2.2	Eingangsdaten Fügevorrichtung	148
7.2.3	Eingangsdaten Prozessparameter	148
7.2.4	Einlegen und Spanner Schließen	149
7.2.5	Fügeprozess	149
7.2.6	Auswertung	150
7.2.7	Übertragbarkeit auf weitere Fügeverfahren.....	151
7.3	Hinweise für den Einsatz der mitlaufenden Spanntechnik.....	153
8	Zusammenfassung und Ausblick	155
9	Summary and outlook.....	159
	Literaturverzeichnis	163
	Anhang	179
	Anhang 1: Simulative Generierung von L-Proben	179
	Anhang 2: Übersicht Kontaktdefinitionen.....	181
	Anhang 3: Simulationspläne mit Zentral Zusammengesetztem Versuchsplan	182