

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Formelzeichen und Abkürzungen.....	V
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik und der Forschung	4
2.1 Vorspannung lasttragender Strukturen	4
2.1.1 Definition und Abgrenzung der Vorspannung	4
2.1.2 Wirkprinzipien und Nutzen der Vorspannung	6
2.1.3 Vorspannung biegebelasteter Tragstrukturen.....	8
2.1.4 FKV-Spannglieder.....	12
2.1.5 Verankerungssysteme für FKV-Spannglieder.....	15
2.1.6 Der Schlaufenanschluss	16
2.2 Verfahren der Blechumformung	26
2.2.1 Tiefziehen.....	26
2.2.2 Karosserieteilziehen.....	30
2.2.3 Kragenziehen.....	31
2.3 Fertigung mit Stegen verstieifter Blechstrukturen	33
2.3.1 Leichtbaunutzen von Stegen	33
2.3.2 Unterteilung der Fertigungs Routen von Stegblechstrukturen	33
2.3.3 Stegblechumformung	35
2.4 Fügen im Hybridleichtbau.....	38
2.4.1 Einordnung des Fügens durch Umformen	39
2.4.2 Mechanisches Fügen durch Umformen	39
2.4.3 Fügen von Faser-Kunststoff-Verbunden und Metallblechen	43
3 Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise.....	47
3.1 Motivation	47
3.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	48

4 Ansätze zum umformtechnischen Fügen und Vorspannen hybrider Tragstrukturen	51
4.1 Analyse vorzugsbelasteter Blech-Tragstrukturen	52
4.2 Vorbetrachtung des Füge- und Vorspannmechanismus	54
4.2.1 Berechnung der Vorspannkraft in Abhängigkeit der Dehnung ..	56
4.2.2 Berechnung der erforderlichen Strukturdehnung und Zugkraft zur Erzeugung einer definierten Vorspannung	57
4.2.3 Ergebnis der analytischen Vorbetrachtung	58
4.3 Analyse etablierter Blech-Umformverfahren	61
4.4 Herausforderungen beim Fügen und Vorspannen und Anforderungen an Fertigungskonzepte	63
4.5 Identifikation von Vorspannkonzepeten und -prozessen.....	64
4.5.1 Ausreichende, plastische Dehnungen in Spanngliedrichtung....	66
4.5.2 Unzureichende, plastische Dehnungen in Spanngliedrichtung .	68
5 Materialien, Anlagen, Versuchsstände und Methoden.....	71
5.1 Versuchsmaterialien.....	71
5.2 Versuchsanlagen.....	72
5.3 Gestalt und Fertigung der Proben	74
5.3.1 Proben zur Untersuchung des Fügens und Vorspannens von Stegblechstrukturen	74
5.3.2 Proben beim Fügen und Vorspannen durch Weiten eines umschlungenen Kragens.....	75
5.4 Versuchs- und Messaufbauten.....	76
5.5 Numerische Modellierung.....	79
6 Vorspannung von Stegblech-Tragstrukturen.....	84
6.1 Bestätigung des Vorspannmechanismus	84
6.2 Analytische Modellierung des Vorspannens im Zugversuch.....	87
6.3 Ermittlung von Einflussfaktoren auf die Vorspannkraft	88

6.4 Wirkprinzip deformierbarer Koppel-Elemente	95
6.5 Spannungszustände in Blech und Schlaufe.....	99
6.5.1 Spannungsverteilungen im Stegblech	99
6.5.2 Belastung ein- und mehrlagiger Schläufen bei Verwendung starrer Koppel-Elemente	100
6.5.3 Belastung ein- und mehrlagiger Schläufen bei Verwendung deformierbarer Koppel-Elemente	102
6.6 Prozessgrenzen und Fehlerbilder	105
6.7 Versteifungs- und Verstärkungswirkung.....	108
7 Vorspannung von Blech-Tragstrukturen durch Weiten eines Kragens	
111	
7.1 Bestätigung des wirksamen Vorspannmechanismus.....	111
7.2 Analytische Modellierung des Vorspannprozesses.....	114
7.3 Identifikation und Validierung von Einflussfaktoren.....	116
7.4 Einfluss des Spanngliedes auf die Blechumformung	120
7.5 Spannungsverteilung in der Schlaufe.....	123
7.6 Analytische Beschreibung der Schlaufenspannungen	127
7.6.1 Tangentialspannungsverlauf in der neutralen Schlaufefaser.	127
7.6.2 Biegespannungen in den Kragenbereichen.....	133
7.7 Prozessgrenzen und Fehlerbilder	137
7.8 Verstärkungs- und Versteifungswirkung.....	139
7.9 AnwendungsDemonstration	140
8 Zusammenfassung und Ausblick	146
9 Anhang	150
9.1 Materialkennwerte gebräuchlicher Matrixsysteme	150
9.2 Elastizitätsgesetz der unidirektionalen Schicht	150
9.3 Vorspannung von Trägern mit FKV-Spanngliedern	152
9.4 Verankerungssysteme für FKV-Spannglieder	156

9.5 Spannungsanalyse auf Basis des auf Innendruck belasteten Rohres nach Schürmann	158
9.6 Fließkurven der verwendeten Materialien	161
9.7 Herleitung der erforderlichen Dehnung zur Einstellung einer definierten Vorspannkraft (zu Abschnitt 4.2).....	162
9.8 Parametervariation zu Gleichung (4-9)	164
9.9 Validierung des FE-Modells zur Vorspannung von Stegblechstrukturen im Zugversuch	165
9.10 Ergebnisse der numerischen und der analytischen Parametervariation (zu Abschnitt 7.3)	167
9.11 Umformgrade am geweiteten, nicht-umschlungenen Kragen	168
9.12 Spannungsüberhöhungen in der Schlaufe aufgrund asymmetrischer Kragendeformationen	168
10 Literaturverzeichnis	171