

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Leichtbauwerkstoffe im Automobilbau	1
1.2	Problemanalyse	4
1.3	Zielsetzung und Gliederung	5
<b>2</b>	<b>Stand der Erkenntnisse</b>	<b>7</b>
2.1	Einführung in die Faser-Kunststoff-Verbunde	7
2.2	Materialverhalten der Faser-Kunststoff-Verbunde	9
2.2.1	Elastisches Materialverhalten	10
2.2.2	Faservolumenanteil	11
2.2.3	Mikrorisse	11
2.2.4	Zwischenfaserbruch	12
2.2.5	Delamination	14
2.2.6	Faserbruch	15
2.2.7	Laminatversagen	16
2.3	Energieabsorption von FKV und Aluminium-FKV-Hybriden	16
2.3.1	Stabilitätsbetrachtung druckbelasteter Strukturen	16
2.3.2	Spezifische Energieabsorption	18
2.3.3	Energieabsorptionsverhalten von FKV	20
2.3.4	Energieabsorptionsverhalten von Aluminium-FKV-Hybriden	23
2.4	Finite-Elemente Berechnung in der Dynamik	25
2.5	Material- und Versagensmodellierung von FKV	28
2.5.1	Lineare Elastizitätstheorie	28
2.5.2	Klassische Laminattheorie	30
2.5.3	Festigkeitsanalyse und Versagenskriterien	31
2.5.4	FKV-Materialmodelle in LS-Dyna	37
2.5.5	Modellierung von Faserverbundstrukturen	40
2.6	Stand der Forschung zur Energieabsorptionssimulation	41
2.7	Schlussfolgerungen für die Arbeit	43
<b>3</b>	<b>Werkstoffcharakterisierung FKV</b>	<b>45</b>
3.1	Verwendete Materialien und Materialkombinationen	45
3.2	Herstellung der Probenkörper und Versuchsdurchführung	46
3.3	Entwicklung einer Druckeinspannvorrichtung	48
3.4	Bestimmung des Faservolumenanteils und der Verbunddichte	51
3.5	Ermittlung der mechanischen Eigenschaften	52

<b>4</b>	<b>Experimentelle Untersuchung der Energieabsorption .....</b>	<b>59</b>
4.1	Grundlegende experimentelle Untersuchung der Energieabsorptionsmechanismen von FKV .....	59
4.1.1	Analytische Vorauslegung des Prüfaufbaus .....	59
4.1.2	Entwicklung einer Prüfvorrichtung für ebene Probenkörper .....	64
4.1.3	Prüfstandkonfiguration .....	65
4.1.4	Dynamischer Fallturmversuch .....	66
4.1.5	Analyse des Versagensverhaltens .....	69
4.2	Energieabsorption axial belasteter Rohrstrukturen .....	71
4.2.1	Probenspezifikation und -herstellung .....	72
4.2.2	Fallturmversuch .....	73
4.2.3	Ergebnisdarstellung .....	74
4.2.4	Analyse des Versagensverhaltens .....	80
4.2.5	Computertomographische Analyse .....	81
4.2.6	Ermittlung der spezifischen Energieabsorption .....	86
4.2.7	Bewertung der experimentellen Versuche .....	88
<b>5</b>	<b>Energieabsorptionssimulation von FKV .....</b>	<b>91</b>
5.1	Modellierungsstrategie bei der Simulation von FKV .....	91
5.2	Parametrisierung und Validierung des Simulationsmodells .....	94
5.2.1	Identifikation der Materialparameter .....	94
5.2.2	Einelementsimulation .....	95
5.3	Darstellung des Simulationsprozesses .....	97
5.3.1	Modellaufbau .....	98
5.3.2	Simulationsergebnis ohne Kalibrierung .....	99
5.3.3	Kalibrierung .....	101
5.3.4	Simulationsergebnis mit Kalibrierung .....	104
5.3.5	Anwendung .....	107
5.3.6	Parameterstudie und Einflussanalyse .....	108
5.3.7	Bewertung der Übertragbarkeit .....	116
<b>6</b>	<b>Simulationsmethodik .....</b>	<b>117</b>
<b>7</b>	<b>Energieabsorptionssimulation einer Aluminium-FKV-Hybridstruktur .....</b>	<b>121</b>
7.1	Modellaufbau .....	121
7.2	Simulationsergebnis .....	122
<b>8</b>	<b>Anwendung der Methodik und weiterführende Untersuchungen .....</b>	<b>123</b>
8.1	Anwendung auf eine GFK-Rohrstruktur .....	123

---

8.2	Anwendung auf eine thermoplastische Hutprofilstruktur .....	124
8.2.1	Verarbeitung von Organoblechen .....	124
8.2.2	Definition und Herstellung der Hutprofilstruktur.....	126
8.2.3	Prozessentwicklung .....	127
8.3	Experimentelle Durchführung .....	128
8.4	Simulation der Hutprofilstruktur.....	130
8.5	Bewertung der Übertragbarkeit.....	132
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>135</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>139</b>