

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	4
<b>2 Textile Gewebe</b>	<b>7</b>
2.1 Anwendungsbereiche . . . . .	7
2.2 Herstellung . . . . .	9
2.3 Werkstoffeigenschaften . . . . .	12
2.3.1 Verformungsverhalten . . . . .	12
2.3.2 Versuchsmethoden . . . . .	14
2.4 Modellierungsansätze . . . . .	17
2.4.1 Phänomenologische Modelle . . . . .	19
2.4.2 Physikalisch-motivierte Modelle . . . . .	19
<b>3 Modellbildung</b>	<b>25</b>
3.1 Strukturmodellierung . . . . .	25
3.1.1 Hyperelastische Formulierungen . . . . .	25
3.1.2 Mehrskalenmodellierung . . . . .	29
3.2 Repräsentative Volumenzelle . . . . .	30
3.2.1 Nomenklatur . . . . .	31
3.2.2 Kinematikmodell . . . . .	33
3.3 Kopplung des Kinematikmodells . . . . .	38
3.3.1 Zwangsbedingungen . . . . .	39
3.3.2 Numerische Lösung . . . . .	40
3.3.3 Spannungstensor . . . . .	42
<b>4 Charakterisierung</b>	<b>45</b>
4.1 Probenmaterial . . . . .	46
4.2 Mikrostrukturanalyse . . . . .	46
4.3 Kompressionsversuche . . . . .	48
4.3.1 Versuchsdurchführung . . . . .	48
4.3.2 Materialmodellierung . . . . .	49

4.3.3 Parameteridentifikation . . . . .	50
4.4 Uniaxialzugversuche . . . . .	52
4.4.1 Versuchsdurchführung . . . . .	52
4.4.2 Materialmodellierung . . . . .	53
4.4.3 Parameteridentifikation . . . . .	61
4.5 Scherrahmenversuche . . . . .	63
4.5.1 Versuchsdurchführung . . . . .	63
4.5.2 Materialmodellierung . . . . .	64
4.5.3 Parameteridentifikation . . . . .	68
<b>5 Validierung</b>	<b>73</b>
5.1 Elementare Berechnungen . . . . .	74
5.1.1 Numerische Ergebnisse . . . . .	75
5.1.2 Parametersensitivitäten . . . . .	76
5.1.3 Modellvergleiche . . . . .	83
5.2 Finite-Elemente-Simulationen . . . . .	85
5.2.1 Charakterisierungsversuche . . . . .	86
5.2.2 Netzabhängigkeitstudie . . . . .	89
5.2.3 Rechenleistung . . . . .	93
<b>6 Anwendung</b>	<b>97</b>
6.1 Ballistische Körperschutzwesten . . . . .	98
6.1.1 Versuchsmatrix . . . . .	101
6.1.2 Experimentelle Ergebnisse . . . . .	103
6.1.3 Finite-Elemente-Simulationen . . . . .	107
6.1.4 Numerische Parameterstudien . . . . .	113
6.1.5 Zusammenfassung . . . . .	117
6.2 Ergänzende Beispiele . . . . .	118
6.2.1 Tiefziehen eines Prepreg . . . . .	118
6.2.2 Entfaltung eines Airbags . . . . .	124
<b>7 Zusammenfassung</b>	<b>133</b>
7.1 Diskussion . . . . .	134
7.2 Ausblick . . . . .	136
<b>A Faserwerkstoffe</b>	<b>139</b>
A.1 Charakterisierung . . . . .	139
A.2 Anforderungen . . . . .	140
A.3 Herstellung . . . . .	142
A.4 Werkstoffauswahl . . . . .	145

---

<b>B Kontinuumsmechanik</b>	<b>153</b>
B.1 Kinematik . . . . .	153
B.1.1 Darstellungen und Konfigurationen . . . . .	153
B.1.2 Koordinatentransformationen . . . . .	154
B.1.3 Deformationsgradient . . . . .	156
B.1.4 Verzerrungsmaße . . . . .	157
B.1.5 Spannungstensoren . . . . .	160
B.2 Erhaltungssätze . . . . .	163
B.2.1 Erhaltung der Masse . . . . .	163
B.2.2 Erhaltung des Impulses . . . . .	164
B.2.3 Erhaltung des Dralls . . . . .	165
B.2.4 Erhaltung der Energie . . . . .	165
B.2.5 Entropieungleichung . . . . .	167
B.3 Stoffgesetze . . . . .	168
B.3.1 Spannungsberechnung . . . . .	169
B.3.2 Hyperelastische Materialien . . . . .	170
<b>C Numerische Verfahren</b>	<b>177</b>
C.1 Anfangsrandwertproblem . . . . .	177
C.2 Finite-Elemente-Methode . . . . .	180
C.2.1 Räumliche Diskretisierung . . . . .	180
C.2.2 Zeitliche Diskretisierung . . . . .	182
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>185</b>