

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	xi
Bildverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xxiii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Ziele und Aufbau der Arbeit	3
2 Stand der Technik und Forschung	7
2.1 Theoretische Grundlagen.....	7
2.1.1 Einführung in die Kontinuumsmechanik.....	7
2.1.1.1 Spannungen	8
2.1.1.2 Verzerrungen	11
2.1.1.3 Sonderfälle der Anisotropie in der Elastizität	12
2.1.2 Einführung in die Schädigungsmechanik.....	13
2.1.3 Einführung in die Betriebsfestigkeit	18
2.1.4 Versagenskriterien faserverstärkter Kunststoffe	22
2.2 Eigenschaften und Herstellung kurzfaserverstärkter Thermoplaste.....	25
2.2.1 Spritzgießen thermoplastischer Werkstoffe	26
2.2.2 Einfluss des Fertigungsprozesses auf die Bauteileigenschaften kurzfaserverstärkter Thermoplaste.....	28
2.2.3 Spritzgussimulation zur Vorhersage von Faserorientierungen	30
2.3 Ansätze der Crashsimulation kurzfaserverstärkter Thermoplaste.....	33
2.3.1 Modellierung mittels isotropen Materialmodellen.....	35
2.3.2 Integrative Simulation kurzfaserverstärkter Thermoplaste.....	39
2.3.2.1 Mikromechanische Modellierung des Materialverhaltens.....	40
2.3.2.2 Schichtmodellierung nach Schöpfer sowie Gruber und Wartzack	47
2.3.2.3 Anisotrop-elastisch-plastische Modellierung.....	51
2.4 Ermüdungsverhalten faserverstärkter Kunststoffe	54
2.4.1 Einflüsse auf das Ermüdungsverhalten	55
2.4.2 Materialdegradation nach zyklischer Beanspruchung....	60

3	Handlungsbedarf und Forschungsfragen.....	67
4	Ansatz zur Berücksichtigung der Materialdegradation in der Crashsimulation	71
4.1	Herleitung der Teilschritte und Einordnung des Ansatzes.....	71
4.2	Charakterisierung und Modellierung von Materialverhalten und Materialdegradation	75
4.3	Bestimmung der Schädigungsverteilung im Bauteil.....	77
4.4	Beschreibung der Materialparameter nach Vorschädigung.....	79
4.5	Konsistenz des Ansatzes zu aktuellen Verfahren	82
5	Eingesetzter Werkstoff sowie Prüf- und Auswertemethoden .	85
5.1	Werkstoff und Probengeometrien.....	85
5.1.1	Probengeometrie für zyklische und hochdynamische Zugversuche.....	85
5.1.2	Kreuzrippenträger zur Validierung im Biegeversuch	87
5.2	Untersuchung des Ermüdungsverhaltens	89
5.2.1	Funktionsweise servohydraulischer Pulser	90
5.2.2	Temperaturentwicklung im zyklischen Versuch	91
5.2.3	Vorgehen zur Ermittlung von Wöhlerlinien	94
5.3	Bestimmung crashrelevanter Materialkennwerte.....	96
5.3.1	Funktionsweise servohydraulischer Hochgeschwindigkeitsprüfanlagen	98
5.3.2	Kraftmessung in hochdynamischen Versuchen.....	99
5.4	Optische Dehnungsmessung	102
5.4.1	Funktionsweise der digitalen Bildkorrelation (DIC)	102
5.4.2	Einsatz der DIC im zyklischen Experiment.....	106
5.4.3	Einsatz der DIC im hochdynamischen Experiment	108
5.5	Kalibrierung von Materialmodellen für die Simulation	109
5.5.1	Kennwertermittlung aus experimentellen Daten	110
5.5.2	Materialparameteridentifikation durch Reverse Engineering und Optimierung.....	112
5.6	Zusammenfassung und Diskussion der eingesetzten Prüfmethoden.....	116
6	Ergebnisse der Charakterisierung auf Proben-Ebene.....	119
6.1	Kennwerte der ungeschädigten Materialproben	119
6.2	Ergebnisse der durchgeführten zyklischen Versuche.....	121
6.2.1	Maximal ertragbare Schwingspielzahlen.....	122

6.2.2	Schädigungszuwachs.....	126
6.2.3	Vorschädigung von Proben und Validierung der Schädigungsvorhersage	131
6.3	Beeinflussung des Materialverhaltens infolge Vorschädigung.....	134
6.3.1	Restfestigkeiten vorgeschädigter Proben	134
6.3.2	Einbindung in die Simulation	136
6.4	Zusammenfassung und Beurteilung der Ergebnisse.....	139
7	Validierung des Ansatzes am Beispiel biegebeanspruchter Kreuzrippenträger	141
7.1	Validierung der maximal ertragbaren Schwingspielzahlen.....	142
7.2	Validierung des Schädigungszuwachses	145
7.3	Validierung der Bruchkraft im Durchstoßversuch	149
7.4	Zusammenfassung und Beurteilung der Modellvorhersagen..	152
8	Diskussion der Grenzen des vorgestellten Ansatzes.....	155
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	157
10	Summary and outlook.....	161
	Anhang.....	165
	Ergänzungen zum Kapitel 5	165
	Ergänzungen zum Kapitel 6	168
	Literaturverzeichnis.....	173