

<b>1</b>	<b>ABSTRACT .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
3.1	Problemstellung .....	4
3.2	Zielsetzung und Lösungsweg .....	5
<b>4</b>	<b>WERKSTOFFLICHE GRUNDLAGEN .....</b>	<b>7</b>
4.1	Quasi-statisches Materialverhalten einer UD-Schicht .....	7
4.1.1	Matrixdominiertes Verhalten .....	7
4.1.2	Faserparalleles Verhalten .....	9
4.2	Ermüdungsverhalten einer UD-ES unter transversaler Belastung .....	10
<b>5</b>	<b>BESTIMMUNG DER EIGENSCHAFTEN DER FASER/MATRIX-GRENZFLÄCHE .....</b>	<b>13</b>
5.1	Spannungsfeld für das Problem des zylinderförmigen Einschlusses .....	15
5.2	Berechnung des Grenzflächenversagen eines Filaments in Umfangsrichtung .....	18
5.2.1	Bestimmung der Energiefreisetzungsraten der Grenzfläche .....	21
5.3	Versagen in axialer Richtung, Konzept der „tunneling cracks“ .....	24
5.4	Entwicklung eines Modellprobekörpers zur Analyse des Versagensprozesses .....	27
5.4.1	Ableitung der Geometrie eines Modellprobekörpers zur Bestimmung der Grenzflächeneigenschaften von CFK .....	28
5.4.2	Bestimmung und Diskussion des mikromechanischen Spannungszustands im Probekörper .....	33
5.4.3	Experimentelle Untersuchung der Versagensinitiiierung unter transversaler Zugbelastung .....	36
5.4.4	Extraktion des Rissfortschritts und Schadensanalyse .....	42
5.5	Berechnung der bruchmechanischen Kennwerte der Grenzfläche: Rissfortschritt in Ufangsrichtung .....	47
5.6	Simulation des progressiven Schädigungsverhaltens unter transversaler Belastung .....	58
5.6.1	Schädigungsmodellierung mithilfe von Kohäsivzonenelementen .....	58
5.6.2	Simulation des Transverse Single Fibre Tests und Kalibrierung der Kohäsivzonenmodelle .....	61
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER MIKROSCHÄDIGUNG UNTER STATISCHER BELASTUNG .....</b>	<b>67</b>
6.1	Mechanismen spezifische Quantifizierung der Schädigungsevolution mithilfe der Schallemissionsanalyse (AE) .....	67
6.1.1	Funktionsweise und Einflussfaktoren im Kontext der Anwendung in FVK .....	67
6.1.2	Eigenschaften eines AE-Signals .....	69
6.1.3	Vorüberlegungen zur Detektierbarkeit der Schädigungsmechanismen .....	71
6.1.4	Quantifizierung der Mechanismen spezifischen Schädigungsevolution .....	74
6.1.5	Assoziation von Signalclustern und Schädigungsmechanismen .....	74
6.2	Randbedingungen der experimentellen Untersuchungen .....	81
6.2.1	Einstellungen des AE-Systems .....	81

6.2.2	Herstellungsprozess der Rohrproben .....	82
<b>6.3</b>	<b>Schädigungsevolution unter quasistatischer Beanspruchung .....</b>	<b>83</b>
6.3.1	Spannungszustand an der Grenzfläche unter Querbelastung .....	84
6.3.2	Querzugbeanspruchung .....	85
6.3.3	Quer-/Längsschubbeanspruchung .....	88
6.3.4	Querdruckbeanspruchung .....	92
6.3.5	Zusammenfassung der Schädigungsevolution unter den Quer-Basisbeanspruchungen .....	94
<b>7</b>	<b>NUMERISCHE UNTERSUCHUNG DER MIKROSCHÄDIGUNG UNTER STATISCHER BELASTUNG .....</b>	<b>96</b>
7.1	Eigenschaften der C-Faser und Eingangsdaten .....	99
7.2	Mikroschädigung unter quasi-statischer Transversalbelastung .....	101
7.2.1	Numerisch berechnete Schädigungsevolution unter Querzug .....	101
7.2.2	Numerisch berechnete Schädigungsevolution unter Quer-/Längsschub .....	103
7.2.3	Numerisch berechnete Schädigungsevolution unter Querdruck .....	105
7.2.4	Diskussion der Erkenntnisse .....	107
<b>8</b>	<b>EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES ERMÜDUNGSVERHALTENS VON CFK .....</b>	<b>109</b>
8.1	Schädigung unter zyklischer Querbeanspruchung und Auswirkung auf die Festigkeit .....	109
8.1.1	Zyklische Querzugbelastung .....	113
8.1.2	Zyklische Quer-/Längsschubbeanspruchung .....	118
8.1.3	Zyklische Querdruckbelastung .....	124
8.2	Auswirkung einer Quer-Vorbelastung auf die mechanischen Eigenschaften .....	125
8.2.1	Interaktion mit der faserparallelen Druckfestigkeit .....	126
8.2.2	Interaktion einer Quer-Vorbelastung mit den transversalen Materialeigenschaften .....	130
8.2.2.1	Einfluss einer Schubvorbelastung .....	132
8.2.2.2	Einfluss einer Zugvorbelastung .....	138
8.2.2.3	Einfluss einer Druckvorbelastung .....	140
<b>9</b>	<b>MIKROMECHANISCHER SPANNUNGSZUSTANDS UNTER SCHWELLENDER BELASTUNG</b>	<b>143</b>
9.1	Ausgangszustand und Materialmodelle .....	144
9.1.1	Mikromechanischer Initialzustand .....	144
9.1.2	Eigenspannungen durch Herstellung und Abbau nach Fertigung .....	145
9.2	Mikromechanische Zustandsänderung durch Mittelspannungskriechen unter Ermüdungsbelastung .....	149
9.3	Auswirkung des Mittelspannungskriechens auf das Ermüdungsverhalten .....	155
<b>10</b>	<b>FAZIT &amp; AUSBLICK .....</b>	<b>160</b>
<b>11</b>	<b>ABKÜRZUNGEN, FORMELZEICHEN, INDIZES .....</b>	<b>163</b>
11.1	Abkürzungen .....	163
11.2	Formelzeichen .....	164
11.2.1	Lateinisch .....	164
11.2.2	Griechisch .....	165
11.3	Indizes .....	166

11.3.1 Hochgestellt.....	166
11.3.2 Tiefgestellt.....	167
<b>12 LITERATUR.....</b>	<b>169</b>
<b>13 ANHANG.....</b>	<b>177</b>
13.1 Definition zusätzlicher Variablen in Kapitel 5.....	177
13.2 Materialeigenschaften von LY556/HY917/DY0070.....	177
13.2.1 Bestimmung der Matriceigenschaften und Modellierung des Größeneffektes.....	177
13.2.2 Beschreibung des zeitabhängigen Verhaltens der Matrix.....	182
13.2.2.1 Bestimmung des Zeit-/Temperatur Verschiebungsverhaltens.....	184
13.2.2.2 Modellierung des Kriechverhaltens.....	186
13.3 Entwicklung eines Modellverbunds zur Ermittlung der Grenzflächeneigenschaften.....	192
13.3.1 Vorüberlegungen zur Ermittlung der bruchmechanischen Eigenschaften der Faser/Matrix- Grenzfläche.....	192
13.3.2 Spannungen in einer ebenen Mikroprobe.....	195
13.3.3 Vergleich der Spannungsfelder in UD-ES und Modellverbund.....	196
13.4 Entwicklung eines Algorithmus zum Auffinden von Clustern in AE-Daten.....	198
13.4.1 Identifikation von Clustern in AE-Datensätzen.....	200
13.4.2 Entwicklung eines neuen Clusterverfahrens.....	206
13.4.2.1 Ergebnisse des Clusters mithilfe des neuen Verfahrens.....	211