

1	ABSTRACT	1
2	ZUSAMMENFASSUNG	2
2	SUMMARY.....	3
3	EINLEITUNG	4
3.1	Problemstellung.....	4
3.2	Zielsetzung und Lösungsweg	5
4	WERKSTOFFLICHE GRUNDLAGEN.....	7
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
5	BESTIMMUNG DER EIGENSCHAFTEN DER FASER/MATRIX-GRENZFLÄCHE	13
5.1	Spannungsfeld für das Problem des zylindrischen Einschlusses	15
5.2	Berechnung des Grenzflächenversagens eines Filaments in Umfangsrichtung.....	18
5.2.1	Bestimmung der Energiefreisetzungsrate der Grenzfläche.....	21
5.3	Versagen in axialem 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 Versagensinitierung unter transversaler Zugbelastung	36
5.4.4	Extraktion des Rissfortschritts und Schadensanalyse	42
5.5	Berechnung der bruchmechanischen Kennwerte der Grenzfläche: Rissfortschritt in Umfangsrichtung	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
6	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER MIKROSCHÄDIGUNG UNTER STATISCHER BELASTUNG	67
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
6.3	Schädigungsevolution unter quasistatischer Beanspruchung	83
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
7	NUMERISCHE UNTERSUCHUNG DER MIKROSHÄDIGUNG UNTER STATISCHER BELASTUNG	96
7.1	Eigenschaften der C-Faser und Eingangsdaten	99
7.2	Mikroshädigung 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
8	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES ERMÜDUNGSVERHALTENS VON CFK	109
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
9	MIKROMECHANISCHER SPANNUNGSZUSTANDS UNTER SCHWELLENDER BELASTUNG	143
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
10	FAZIT & AUSBLICK	160
11	ABKÜRZUNGEN, FORMELZEICHEN, INDIZES	163
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
12 LITERATUR.....	169
13 ANHANG.....	177
13.1 Definition zusätzlicher Variablen in Kapitel 5.....	177
13.2 Materialeigenschaften von LY556/HY917/DY0070.....	177
13.2.1 Bestimmung der Matrixeigenschaften 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 Clusterns mithilfe des neuen Verfahrens	211