

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und AbkürzungsverzeichnisIV

1. Einleitung und Motivation 1

2. Zielsetzung der Arbeit 3

3. Grundlagen und Stand der Forschung 5

 3.1 Mikrostruktur und Eigenschaften von polymeren Verbundwerkstoffen 5

 3.1.1 Verstärkungsfasern und textile Halbzeuge 10

 3.1.2 Polymere Matrixsysteme 18

 3.1.2.1 Kohlenstofffaserverstärktes Polyphenylensulfid 22

 3.2 Grundlegende Aspekte der Werkstoffermüdung 25

 3.2.1 Ermüdungsverhalten faserverstärkter Polymere 26

 3.2.2 Vorgangsorientierte Betrachtungen 31

 3.2.3 Lebensdauerorientierte Betrachtungen 32

 3.2.4 Ermüdungsverhalten im VHCF-Bereich..... 34

 3.2.5 Ermüdungsverhalten von kohlenstofffaserverstärktem Polyphenylensulfid 36

 3.3 Ultraschalltechnik 38

 3.3.1 Physikalische Grundlagen des Ultraschalls 39

 3.3.2 Einsatz der Ultraschalltechnik zur Werkstoffermüdung..... 43

4. Versuchswerkstoff und Probengeometrie..... 47

 4.1 Kohlenstofffaserverstärktes Polyphenylensulfid 47

 4.2 Berechnung und Simulation der Probengeometrie für VHCF-Versuche..... 51

 4.3 Herstellung der Ermüdungsproben 53

5. Versuchstechnik 55

 5.1 Ultraschallermüdungsprüfsystem..... 55

 5.1.1 Versuchsführungen 62

5.1.2	In-situ-Messmethoden	64
5.1.2.1	Kenngrößen des Ultraschallgenerators	65
5.1.2.2	Laser-Doppler-Vibrometrie	66
5.1.2.3	Thermographie.....	69
5.1.2.4	Piezoelektrische Kraftmessung.....	70
5.1.2.5	Konfokal-chromatische Abstandsmessung.....	70
5.2	Ex-situ-Untersuchungsmethoden.....	71
5.2.1	Lichtmikroskopie und digitale Bildanalyse	71
5.2.2	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen.....	72
5.2.3	Computertomographische Untersuchungen.....	73
5.2.4	Steifigkeitsmessungen	73
6.	Versuchsergebnisse und Diskussion	75
6.1	Charakterisierung der Ultraschallbeanspruchung	75
6.1.1	Eigenmoden und Schwingungsformen der Ermüdungsproben.....	76
6.1.2	Dehnungsmessungen an den Ermüdungsproben	81
6.2	Mehrstufige Beanspruchung	84
6.3	Einstufige Beanspruchung	88
6.4	Mikroskopische Untersuchungen.....	100
6.4.1	Charakterisierung der Ermüdungsschädigung	100
6.4.2	Bestimmung der Oberflächenrissdichte.....	110
6.5	Röntgen-computertomographische Untersuchungen.....	116
6.6	Ermüdungsbedingte Steifigkeitsdegradation	120
6.6.1	Korrelation von Oberflächenrissdichte und Steifigkeitsdegradation.....	122
6.7	Stadien der Ermüdungsschädigung im VHCF-Bereich	123
7.	Zusammenfassung.....	126
8.	Literaturverzeichnis.....	131

Anhang	147
A. Publikationen	147
B. Vorträge und Poster	148
C. Patente.....	150
D. Betreute studentische Arbeiten	150
E. Lebenslauf.....	151