

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Stand der Forschung	3
2.1. Typische Schäden geschichteter Faser-Kunststoff-Verbunde	4
2.2. Strukturüberwachung	5
2.3. Schwingungsbasierte Ansätze der Strukturüberwachung	6
3. Stimulation von Nichtlinearitäten durch tieffrequente Moden	13
3.1. Kopplung von linearer und nichtlinearer Schwingungsantwort	14
3.2. Allgemeine Definition von Schadensmaß und Schadensindex	16
3.3. Schadensmaße und ihre Eignung	21
3.4. Eigenformderivate	26
3.5. Einordnung des vorgeschlagenen Ansatzes	29
4. Numerischer Konzepttest am Beispiel ebener Plattenstrukturen	31
4.1. Numerische Modellbildung	32
4.2. Numerisches Experiment auf Basis der Höherharmonischen	45
4.3. Numerisches Experiment auf Basis der Intermodulationsprodukte	56
4.4. Ansätze zukünftiger numerischer Untersuchungen	63
4.5. Fazit des numerischen Experiments	64
5. Experimenteller Konzepttest	67
5.1. Lineares Modell der GFK-Platte und Parameteranpassung	68
5.2. Schädigung	70
5.3. Messaufbau und Messprozedur zur Bestimmung der Intermodulationsprodukte	74
5.4. Vermessen der Intermodulationsprodukte in Resonanz	79
5.5. Ergebnisse des experimentellen Konzepttests	84
6. Zusammenfassung	97
7. Ausblick	99
Literaturverzeichnis	103

A. Notation und Symbole	117
A.1. Notation	117
A.2. Eigenschaften von Verteilungen	117
A.3. Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	118
B. Klassische Laminattheorie	125
B.1. Elastizitätsgesetz der UD-Schicht	125
B.2. Laminattheorie des Mehrschichtverbunds	128
C. Numerische Modellierung der Plattendynamik	133
C.1. Ableitung des ANS-Elements für schubweiche Platten	133
C.2. Numerische Zeitintegration	142
D. Anpassung der Modellparameter	149
D.1. Definition der Zielfunktion	150
D.2. Parameteranpassung mit Hilfe der CMA-ES	154
D.3. Parameteranpassung an die reale GFK-Struktur	155
E. Experimentelle Modalanalyse	165
E.1. Grundlagen der Experimentellen Modalanalyse	165
E.2. Systemidentifikation	168
E.3. Experimentelle Modalanalyse der GFK-Platte	171
F. Details des Versuchsaufbaus	179
F.1. Detaillierter Messaufbau	179
G. Statische Versuche	191
H. Ergänzende Darstellungen und Tabellen	193
H.1. Ergänzungen zu Kapitel 4	194
H.2. Ergänzungen zu Kapitel 5	204