

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	13
1. Einleitung	17
1.1. Motivation	17
1.2. Aufgabenstellung	18
1.3. Lösungsweg	22
2. Grundlagen	24
2.1. Wellenausbreitung	24
2.1.1. Wellenausbreitung im unbegrenzten isotropen Festkörper	25
2.1.2. Rayleigh-Wellen	29
2.1.3. Wellenausbreitung in isotropen einlagigen Platten	33
2.1.3.1. SH-Plattenwellen	35
2.1.3.2. Lamb-Wellen in Platten	38
2.1.4. Wellenausbreitung in anisotropen Festkörpern	56
2.1.4.1. Materialsystem mit monoklinischer Symmetrie	61
2.1.4.2. Materialsystem mit orthotroper Symmetrie	64
2.1.4.3. Materialsystem mit isotroper Symmetrie	67
2.1.5. Wellenausbreitung in anisotropen Platten	70
2.1.5.1. Prinzip der lokalen Transfermatrix	70
2.1.5.2. Prinzip der globalen Transfermatrix	72
2.1.5.3. Wellenausbreitung in Platten mit monoklinischer Symmetrie	73
2.1.5.4. Wellenausbreitung in Platten mit orthotroper Symmetrie	73
2.1.6. Visualisierung der Wellenausbreitung	75
2.2. Faserverbundwerkstoffe	78
2.2.1. Aufbau von Faserverbundwerkstoffen	78
2.2.2. Versagensformen von Faserverbundwerkstoffen	81
2.2.3. Impaktschäden in CFK-Laminaten	82
3. Wechselwirkung geführter Wellen mit Impaktschäden	87

3.1. Analyse des Wechselwirkungspotentials geführter Wellen mit Impaktschäden	88
3.1.1. Modell eines Impaktschadens	88
3.1.2. Wechselwirkungspotential geführter Wellen mit Delaminationen	90
3.1.2.1. Laminataufbauten mit orthotroper Symmetrie	90
3.1.2.2. Laminataufbauten mit monoklinischer Symmetrie	91
3.2. Quantifizierung der Wechselwirkung	93
3.2.1. Laminataufbauten mit orthotroper Symmetrie	93
3.2.2. Laminataufbauten mit monoklinischer Symmetrie	97
3.3. Anwendung der 3D Laservibrometrie	99
3.3.1. Ausgangssituation, Konzeption und Durchführung	99
3.3.2. Möglichkeiten der Modenidentifizierung	103
3.3.2.1. B-Scan	103
3.3.2.2. C-Scan	105
3.3.2.3. Schwingungsellipsen	106
3.3.3. Studium der Wechselwirkung mit Impaktschäden	107
3.3.3.1. Konzeption und Durchführung	107
3.3.3.2. Signalvorverarbeitung und Bewertungsfaktoren	109
3.3.3.3. Ergebnisse	114
3.3.3.4. Diskussion	123
3.4. Nachweis von Impaktschäden mittels Signaturanalyseverfahren	126
3.4.1. Durchführung und Konzeption	126
3.4.2. Ergebnisse	128
3.4.2.1. Ergebnisse der Ultraschallprüfung	128
3.4.2.2. Ergebnisse der Signaturanalyse	129
3.5. Zusammenfassende Darstellung der Wechselwirkung geführter Wellen mit Impaktschäden	132
4. Einfluss der Temperatur auf die Signaturanalyse	134
4.1. Einfluss der Temperatur auf die Einzelsysteme	137
4.1.1. Schaltungskomponenten $G_{1a}(w, T)$, $G_{1b}(w, T)$	138
4.1.2. Appliziertes Piezoelement $G_{2a}(w, T)$, $(G_3(w, T), G_4(w, T))$	142
4.1.3. Appliziertes Piezoelement und Schaltungskomponenten $G_{1a}(w, T)$, $G_{1b}(w, T)$; $G_{2a}(w, T)$, $(G_3(w, T), G_4(w, T))$	145
4.1.4. Struktureinfluss $G_4(w, T)$	149
4.1.5. Auswirkungen der Temperaturänderungen auf den Korrelationskoeffizienten	154
4.2. Verfahren zur Temperaturkompensation	156

4.2.1. „(Optimal) Baseline Selection“ Verfahren	156
4.2.2. „Baseline Signal Stretch“ Verfahren	157
4.2.3. Temperaturkompensation im Zeitbereich - TDect	158
4.2.4. Temperaturkompensation im Frequenzbereich - FDect	160
4.3. Anwendung der Kompensationsverfahren	162
4.3.1. Durchführung	162
4.3.2. Verfahrensspezifische Einstellungen	164
4.3.3. Ergebnisse	166
4.3.4. Vergleich der Verfahren und Diskussion	167
4.4. Zusammenfassende Darstellung der Arbeiten zum Temperatureinfluss . . .	168
5. Impakterkennung mittels Signaturanalyse	170
5.1. Vorstellung der Methodik	170
5.2. Verfahrensoptimierung	173
5.2.1. Durchführung	174
5.2.2. Ergebnisse	176
5.2.3. Fazit	176
5.3. zusammenfassende Darstellung der verfahrensspezifischen Einflussgrößen .	178
5.4. Ausblick - Wachstum von existierenden Impaktschäden	181
6. Zusammenfassung und Ausblick	185
Literaturverzeichnis	191
Tabellenverzeichnis	200
Abbildungsverzeichnis	201
A. Normierung der Teilchenauslenkungen in Lamb-Wellen	210
B. Matlab® Quellcode zur Berechnung der Phasengeschwindigkeiten in anisotropen Platten	218
B.1. Hinweise zur Nutzung der Matlab® Skripte	218
B.2. Matlab® Quellcode	221
C. Versuchsaufbauten	238
C.1. Messaufbau für laservibrometrische Messungen	238
C.2. Messaufbau für Signaturanalyse	242
C.2.1. Ultraschallprüfung (C-Scan)	242
C.2.2. Signaturanalyse	242

D. Anwendung des Kompensationsverfahrens TDect im Dauerversuch	244
D.1. Instrumentierung und Messaufbau	244
D.2. Temperaturkompensation	246
D.3. Messergebnisse	250