

Inhaltsverzeichnis

Ein Wort des Dankes	v
Abstrakt	vii
Abstract	viii
Inhaltsverzeichnis	xi
Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xxi
Nomenklatur	xxiii
1 Einführung	1
1.1 Problemstellung – Zielsetzung	1
1.2 Gliederung der Arbeit.....	2
1.3 Exkurs: Entwicklung der Adaptronik.....	4
1.4 Stand der Technik - Literaturübersicht	9
2 Theoretische Grundlagen	17
2.1 Technologie der aktiven Strukturen	17
2.1.1 Faserverbundwerkstoffe	17
2.1.2 Multifunktionale Materialien	24
2.1.2.1 Piezokeramik – der piezoelektrische Effekt.....	25
2.1.2.2 MFC™ – Macro Fibre Composite.....	26
2.2 Nichtlineare Elastizitätstheorie – Elastostabilität	29
2.2.1 Energiemethode.....	29
2.2.2 Bifurkation - Durchschlagsprobleme	30
2.2.3 Modale Reduktion	34
2.3 Finite-Elemente-Methode.....	37
2.3.1 Lösungsverfahren - Vergleich expliziter und impliziter Solver.....	38
2.3.2 Wahl des Elementtyps.....	41

3	Numerische Simulation und experimentelle Validierung	45
3.1	Numerische Modellbildung und Simulation inkl. Aktorik.....	45
3.1.1	Beulanalyse – Stabilitätsanalyse.....	46
3.1.2	Newton-Raphson-Verfahren – Weggesteuerte Berechnung.....	48
3.1.3	Bogenlängenverfahren – Kraftgesteuerte Berechnung.....	49
3.1.4	Transiente Berechnung – Einbeziehung von Dynamik und Dämpfung	51
3.1.5	Modalanalysen.....	52
3.1.6	Implementierung des Modells	53
3.1.6.1	Verwendete Hard- und Software – Programmkonzept.....	53
3.1.6.2	Geometrie, Vernetzung und Randbedingungen.....	54
3.1.6.3	Modellierung der Aktorik.....	55
3.1.6.4	Lastbeaufschlagung der multistabilen MSV.....	58
3.1.6.5	Grundlegende Lösungsformen	59
3.2	Experimentelle Validierung der numerischen Lösungsformen	65
3.2.1	Experimenteller Aufbau ohne Aktorik	68
3.2.2	Experimenteller Aufbau mit Aktorik	73
3.2.3	Experimentelle Modalanalyse	75
3.2.4	Kennwertanpassung	77
3.2.5	Validierung der numerischen Ergebnisse.....	79
4	Sensitivitätsanalyse zur Bestimmung optimaler Deformationszustände	85
4.1	Einfluss der Entwurfsparameter	85
4.1.1	Werkstoff- und Prozesseinflüsse.....	85
4.1.2	Geometrieinflüsse und Winkelverbunde.....	87
4.1.3	Parameterstudie der Plattendicke und Kantenlänge	92
4.2	Koppeleffekte und deren Optimierung	97
5	Optimierte Auslegungsmethodik im Modalraum.....	101
5.1	Problemstellung	101
5.2	Lösungsformen der Modalanalyse.....	102
5.3	Vorgehensweise: Anwendung auf unsymmetrische Mehrschichtverbunde	103
5.4	Bestimmung des Durchschlagzeitpunkts.....	107
5.5	Ausführung der Berechnungsmethodik	109

6	Resonanzinitiiierung zur Minimierung der Durchschlagsenergie	111
6.1	Positionierung der Aktorik	111
6.2	Resonanzinitiiierung	123
6.3	Energievergleich	129
7	Automobile Einsatzmöglichkeiten - Beispielhafte Anwendungen.....	133
7.1	Substitution konventioneller Mechanikstrukturen	133
7.2	Stellweg- oder Stellkraftvergrößerung.....	135
7.3	Ausnutzung der Gestaltsänderung.....	137
7.4	Multifunktionalität.....	144
7.5	Anwendungsgrenzen.....	145
7.5.1	Erreichbare Krümmungen, Wege und Kräfte.....	145
7.5.2	Fertigungsbedingte Spannungszustände – MSV- Versagensverhalten	146
7.5.3	Automobile Randbedingungen – Umgebungs- und Lagerungseinflüsse	148
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	151
Literaturverzeichnis		153
ANHANG.....		163
A.	Materialdaten der verwendeten aktiven und passiven Werkstoffe	167
B.	Prozessparameter der Probestplatten.....	177
C.	Text-Mining: Entwicklung der Adaptronik	185
D.	Elementtypen in ANSYS 10.0.....	191
E.	Gekürztes ANSYS10.0 Macro-File der Durchschlagsberechnungen (APDL).....	195
F.	Parameterstudien / Automatisiertes Simulationsmodell (APDL)	203
G.	Stabilitätsanalyse von vorgekrümmt gefertigten Mehrschichtverbunden.....	209
H.	Elektrische Spannungen bei resonanzinitiiertem Durchschlag.....	211
I.	Lebenslauf	213