

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation und Zusammenfassung	1
2	Faserverbundstrukturen	4
2.1	Allgemeines zu Verbundstrukturen	4
2.2	Makromechanisches Verhalten	6
2.2.1	Spannungs–Dehnungsbeziehungen für eine Schicht	6
2.2.2	Ebener Spannungszustand	8
2.2.3	Transformation in ein globales Koordinatensystem	9
2.2.4	Schnittkraftgrößen im Schichtverbund	11
2.2.5	Spezielle Schichtverbunde	15
2.3	Hygrothermale Einflüsse	18
2.4	Versagenskriterien	21
2.4.1	Theorie der maximalen Spannungen	23
2.4.2	Theorie der maximalen Dehnungen	24
2.4.3	Theorie der maximalen Verzerrungsenergie (Tsai/Hill)	25
2.4.4	Tsai/Wu–Kriterium („quadratic stress interaction“)	26
2.4.5	Verbessertes Puck’sches Kriterium	28
2.4.6	3D–Versagenskriterien nach Hashin	29
2.4.7	Wirkebenefestigkeitskriterien	30
2.5	Schubdeformationstheorie (SDT)	32
2.5.1	Interlaminare Schubspannungen	33
2.5.2	Theorien höherer Ordnung	33

2.5.3	Berücksichtigung der Querschubnachgiebigkeit bei dicken FKV nach Mindlin/Rohwer	35
2.6	Eigenfrequenzen und Eigenformen	37
2.6.1	Nicht gekoppelte orthotrope Verbunde	37
2.6.2	Antimetrischer Kreuzverbund	39
3	Grundbegriffe der Finite-Elemente-Methode	41
3.1	Variationsprinzipien	41
3.2	Lösung des Energieproblems	45
3.2.1	Diskretisierung und Ansatzfunktionen	45
3.2.2	Elementsteifigkeitsmatrix	48
3.2.3	Das Gesamtproblem	50
3.2.4	Randbedingungen	52
3.3	Reaktionskräfte, Verzerrungen und Spannungen	53
3.4	Eigenwertprobleme	54
3.4.1	Ansatzfunktionen	55
3.4.2	Massenelementmatrix	56
3.4.3	Das Gesamtproblem	57
3.4.4	Verallgemeinerte Eigenwertaufgaben	58
4	Sensitivitätsanalyse	60
4.1	Möglichkeiten zur Problemvereinfachung	61
4.1.1	Grafische Darstellung der Antwortgrößen	61
4.1.2	Symmetrien	68
4.1.3	Transformation	70
4.1.4	Halbanalytische Differentiation	70
4.2	Ableitung der Steifigkeitsmatrix	72
4.2.1	Sensitivität bezüglich der Schichtdicken	73
4.2.2	Sensitivität bezüglich der Schichtwinkel	74
4.2.3	Sensitivität bezüglich der Materialdaten	74

4.3	Ableitung der Antwortgrößen	79
4.3.1	Gesamtmasse	79
4.3.2	Deformationsenergie	80
4.3.3	Steifigkeitsgrößen	81
4.3.4	Temperaturausdehnungskoeffizienten	82
4.3.5	Festigkeiten	83
4.3.6	Eigenfrequenzen	86
5	Das stochastische Strukturoptimierungsproblem	90
5.1	Klassische deterministische Problemstellung	91
5.1.1	Grundbegriffe	92
5.1.2	Optimalitätsbedingungen	95
5.1.3	Lösungsmethoden	98
5.2	Stochastisches Problem und Ersatzprobleme	101
5.2.1	Lösungsansätze für Probleme mit unbestimmten Parametern	102
5.2.2	Beispiele stochastisch verteilter Strukturparameter	103
5.2.3	Diskussion möglicher Ersatzprobleme	105
5.3	Lösungsstrategien für das stochastische Problem	110
5.3.1	Methoden des „Multiple Integration“	111
5.3.2	Taylorentwicklung nach den stochastischen Parametern	113
5.3.3	Stochastische Approximationsverfahren	115
6	RSM-Verfahren mit adaptiver Schrittweite	118
6.1	Schätzung des Gradienten mit Hilfe der RSM-Technik	119
6.1.1	Ermittlung eines speziellen polynomialen Modells	120
6.1.2	Explizite Angabe der Matrix L_ν	122
6.1.3	Diskussion des Schätzfehlers	125
6.1.4	Wahl der Designpunkte	127
6.2	Suchrichtung und Schrittweite	132

6.2.1	Schätzung des Hessematrix	132
6.2.2	Schrittweitensteuerung	134
6.2.3	Konvergenzbedingungen	137
6.3	Implementierung und Wahl der Parameter	143
6.3.1	Die Startschrittweite ρ_0	145
6.3.2	Der Parameter μ_0	146
6.3.3	Der Parameter c_0	151
6.3.4	Anzahl der Realisierungen pro Funktionsschätzung	154
6.3.5	Parameterwahl für die Schrittweitensteuerung in Phase 2	155
6.3.6	Einfluß der Berücksichtigung alter Funktionsschätzungen auf den Optimierungsvorgang	159
6.4	Vergleich RSM mit VMCWD	160
7	Beispiele	163
7.1	Eigenfrequenzen eines symmetrischen Winkelverbundes	164
7.2	Versagen einer auf Zug belasteten Scheibe	168
7.3	Minimale Deformationsenergie	175
7.4	Abschließendes komplexes Beispiel	179
	Literaturverzeichnis	188