Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **IV**

Tabellenverzeichnis **VII**

Nomenklatur **IX**

1 Einleitung und Motivation **1**

2 Optimumsprobleme **5**

2.1 Extremwertprobleme 5

2.1.1 Mathematische Grundlagen 5

2.1.2 Strukturmechanische Optimierung 10

2.1.3 Sensitivitätsanalyse 11

2.1.4 Zielfunktion 13

2.2 Optimierungsalgorithmen 14

2.2.1 Suchverfahren 15

2.2.1.1 Vollständige Enumeration 15

2.2.1.2 Hooke-Jeeves-Verfahren 15

2.2.1.3 Sensitivitätsalgorithmus 17

2.2.1.4 Weitere Suchverfahren 18

2.2.2 Approximationsverfahren 19

2.2.3 Gradientenverfahren 20

2.2.3.1 Methoden des steilsten Abstiegs und der konjugierten Richtungen 20

2.2.3.2 Newton-Verfahren 21

2.2.4 Direkte Verfahren 21

2.2.4.1 Methode der möglichen Richtungen 22

2.2.4.2 Sequentielle quadratische Programmierung 22

2.2.5 Heuristische Verfahren 22

2.2.5.1 Monte-Carlo-Verfahren 23

2.2.5.2 Simulated Annealing 23
2.2.5.3 Evolutionsstrategien 24
2.2.5.4 Vergleich: Klassische und genetische Verfahren 32
2.3 Synthese eines Optimierungsverfahrens 34
2.3.1 Zielsetzung 34
2.3.2 Bewertung 36
2.3.3 Algorithmus 39
2.3.4 Implementierung 40

3 Optimierung von Mikrometeoriten- und Space-Debris Schutzsystemen 47
3.1 Berechnungsprinzip 48
3.2 Massenanalyse 53
3.2.1 Single Wall 54
3.2.2 Double Wall 54
3.2.2.1 Frequenzrandbedingung 55
3.2.2.2 Startlasten 56
3.2.2.3 Thermische Lasten 57
3.2.2.4 Bestimmung einer Näherungsfunktion für die Spacermasse . 57
3.2.3 Triple Wall 59
3.3 Schutzgleichungen 59
3.3.1 Kriterien für die Eignung bei Optimumsproblemen 60
3.3.1.1 Zwingende Kriterien 61
3.3.1.2 Sinnvolle Kriterien 62
3.3.2 Single Wall 62
3.3.2.1 Dünne Wände 62
3.3.2.2 Christiansen/Cour-Palais 64
3.3.3 Double Wall 64
3.3.3.1 Cour-Palais, Christiansen 64
3.3.3.2 Modifizierte Cour-Palais Gleichungen 65
3.3.4 Triple Wall 67
3.3.4.1 ESA Columbus Double Bumper Shield 68
3.3.4.2 ESA Triple Wall 69
3.4 Teststrukturen 69
3.4.1 Würfel 71
3.4.1.1 Einwandsystem 72
3.4.1.2 Zweiwandsystem 75

3.4.1.3 Ein- und Zweiwandsystem 79
3.4.1.4 Einwandsystem in Meteoritenumgebung 82
3.4.2 Zylindrisches Raumfahrzeug 84
3.4.2.1 Sensitivitätsanalyse 86
3.4.2.2 Optimierungsergebnisse 86
3.4.3 Modul einer vereinfachten Raumstation 88
3.4.3.1 Sensitivitätsanalyse 90
3.4.3.2 Optimierungsergebnisse 91

4 Massenoptimierung von Flugzeugrümpfen 95

4.1 Theoretische Beschreibung des Stabilitätsverhaltens von orthotrop versteiften Zylinderschalen 96
4.1.1 Versagensarten der versteiften Zylinderschale 96
4.1.2 Berechnung der Spannungsverteilung in einem Rumpfabschnitt 98
4.1.2.1 Modifizierte Balkentheorie für versteifte Schalen 98
4.1.2.2 Hautfeldbeulen und mittragende Breite 99
4.1.2.3 Berücksichtigung der Schubbelastung 101
4.1.3 Berechnung der Versagenslast einer Haut-Stringer-Kombination . . . 103
4.1.3.1 Cripplingversagen 103
4.1.3.2 Kritische Last des Balkens auf elastischer Bettung 105
4.1.3.3 Biegedrillknicken 110
4.1.4 Berechnete Versagenslasten von Rumpfabschnitten 111
4.2 Optimierte Strukturen 111
4.2.1 Optimierung der Versteifungs- und Hautgeometrie eines einfachen Flugzeugrumpfes 112
4.2.1.1 Sensitivitätsanalyse 115
4.2.1.2 Optimierungsergebnisse 116
4.2.2 Optimierung der Versteifungs- und Hautgeometrie eines realen Flugzeugrumpfes 117
4.2.2.1 Sensitivitätsanalyse 121
4.2.2.2 Optimierungsergebnisse 122

5 Optimierung des Stabilitätsverhaltens von Sandwich-Zylinderschalen 127

5.1 Berechnung des Stabilitäsversagens von Sandwichschalen 130
5.2 Optimierung eines Sandwich-Flugzeugrumpfes 134
5.2.1 Sensitivitätsanalyse 136
5.2.2 Optimierungsergebnisse 138

6 Zusammenfassung und Ausblick **141**

Literaturverzeichnis **144**

Danksagung für Förderung **153**

A Berechnungsergebnisse des zylindrischen Raumfahrzeuges **155**

A.1 Sensitivitäten des zylindrischen Raumfahrzeuges 155

A.2 Sensitivitätsalgorithmus für das zylindrische Raumfahrzeug 157

B Berechnungsergebnisse des Moduls der vereinfachten Raumstation **159**

B.1 Sensitivitäten des Moduls der vereinfachten Raumstation 159

B.2 Sensitivitätsalgorithmus für das Modul der vereinfachten Raumstation 161

Index **161**

Lebenslauf **165**