

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Der Grundgedanke der Methode der finiten Elemente	3
3	Grundgleichungen der linearen Elastizitätstheorie	20
3.1	Gleichgewichtsbedingungen	20
3.2	Zusammenhang Verzerrung – Verschiebung	23
3.3	Das Transformationsverhalten von Spannungen und Verzerrungen.....	25
3.4	Das Werkstoffgesetz.....	30
3.4.1	Das Hookesche Gesetz	30
3.4.2	Das Wärmedehnungsgesetz	35
3.4.3	Transformation des Werkstoffgesetzes.....	36
3.5	Innere und äußere Energie.....	39
3.6	Prinzip der Mechanik bei statischen Lasten	44
3.6.1	Das Prinzip der virtuellen Verschiebungen	44
3.6.2	Diskretisierung der Verschiebungsfelder mit Hilfe von Einheitsverschiebungs-Funktionen.....	49
3.6.3	Variation, virtuelle Verschiebung und stationärer Wert eines Funktionalen	54
3.6.4	Das Prinzip vom stationären Wert der Gesamtenergie	57
3.6.4.1	Die Grundaufgabe der Variationsrechnung beim Zug/Druckstab....	58
3.6.4.2	Das Verfahren von Ritz.....	60
3.6.4.3	Transformation des Ritzschen Gleichungssystems auf Kraft-Verschiebungsbeziehungen	64
3.6.4.4	Darstellung der Ritz-Ansätze durch Einheitsverschiebungs- Funktionen.....	66
3.6.5	Erweiterte Variationsprinzipie	67
4	Die Finite Elemente Methode als verallgemeinertes Verfahren von Ritz	72
4.1	Bereichsweise Diskretisierung der Verschiebungsfelder	74
4.2	Konvergenzbedingungen.....	76
5	Elementsteifigkeitsmatrizen	80
5.1	Grundlegende Annahmen.....	80
5.2	Das Balkenelement.....	80
5.2.1	Elementmatrix für Normalkraft, Torsion und Biegung	80
5.2.2	Einfluß großer Verformungen (Theorie 2.Ordnung)	97
5.2.3	Transformation auf globale Koordinaten.....	109
5.3	Scheiben- und Volumenelemente.....	112
5.3.1	Das Dreieckselement mit konstanten Verzerrungen (CST).....	112
5.3.2	Das rechteckige Scheibenelement	116
5.3.3	Die isoparametrische Elementfamilie.....	119
5.3.3.1	Transformation auf Einheitselemente	119

5.3.3.2	Elementsteifigkeitsmatrizen	124
5.3.3.3	Spannungen im Element	129
5.3.4	Hierarchische Elemente (p- Elemente)	137
5.4	Plattenelemente	148
5.4.1	Schubstarre Plattenelemente nach der Theorie von Kirchhoff	148
5.4.2	Schubweiche Plattenelemente nach der Theorie von Reissner-Mindlin	155
5.4.2.1	Das DKT Dreieckelement	158
5.4.2.2	Plattenelemente mit unabhängigen Ansätzen für die Schubverzerrungen	165
5.4.2.3	Ein schubweiches viereckiges Plattenelement	172
5.4.3	Schubweiche isoparametrische Plattenelemente	179
5.5	Schalenelemente	193
5.5.1	Ebene Schalenelemente	198
5.5.2	Rotationssymmetrische Schalenelemente	202
6	Äquivalente Lastvektoren für verteilte Lasten und Temperaturänderungen	209
7	Das Prinzip der virtuellen Verschiebungen in der Dynamik, Hamiltonsches Prinzip und Bewegungsgleichungen	213
7.1	Äquivalente Massenmatrizen	220
7.2	Starre Massen	225
7.3	Dämpfungseigenschaften der Elemente	229
7.4	Statische und dynamische Randbedingungen	230
8	Kondensierung der Bewegungsgleichungen	238
8.1	Geometrische Abhängigkeitstransformation	239
8.2	Statische Kondensation	241
8.3	Teilstruktur-Technik	244
9	Das Eigenschwingungsproblem	245
9.1	Das ungedämpfte Eigenschwingungsproblem	246
9.1.1	Der ungedämpfte Einzelschwinger	246
9.1.2	Der ungedämpfte Mehrfachschringer	247
9.1.2.1	Eigenfrequenzen	247
9.1.2.2	Eigenformen	248
9.1.2.3	Eigenschaften der Eigenformen	251
9.1.2.4	Zur numerischen Lösung des Eigenwertproblems	254
9.2	Das gedämpfte Eigenschwingungsproblem	254
9.2.1	Der gedämpfte Einzelschwinger	254
9.2.2	Der gedämpfte Mehrfachschringer	257
10	Modale Transformation der Bewegungsgleichungen und Teilstruktur-Kopplung	262
10.1	Spektralzerlegung der Systemmatrizen	267
10.2	Modale Kondensation der Bewegungsgleichungen und Teilstruktur-Kopplung ...	268

10.2.1 Die Hurty-Craig-Bampton (HCB) Transformation	268
10.2.2 Die Martinez-Craig-Chang (MCC) Transformation	273
10.2.3 Teilstruktur-Kopplung	277
11 Berechnung der dynamischen Antwort	279
11.1 Freie Schwingungen	279
11.1.1 Der gedämpfte Einzelschwinger.....	280
11.1.2 Der gedämpfte Mehrschwinger	281
11.2 Periodische Erregerkraft- Funktionen	287
11.2.1 Dynamische Antwort des gedämpften Einzelschwingers bei harmonischer Erregung.....	290
11.2.2 Dynamische Antwort des gedämpften Mehrschwingers bei harmonischer Erregung	295
11.3 Nicht-periodische Erregerkraft- Funktionen	309
11.3.1 Die Fourier- Transformation.....	309
11.3.2 Das Duhamel-Integral	313
11.3.3 Diskrete Erregerkraft- Funktionen	317
11.3.4 Antwortspektren	321
12 Anwendungsbeispiele aus der Praxis	326
12.1 Auslauftrichter eines Getreidesilos	326
12.2 Hohlleiter-Antenne	328
12.3 Schwingungstilger	330
12.4 Tribünendachträger	333
12.5 Baugruppe eines Flugtriebwerks	335
Literatur	341
Sachregister	349