

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Linearelastische Theorie und ihre Praxis	4
2.2	Kinematische Beziehungen zwischen Verformungen und Verzerrungen	7
2.3	Spannungszustand / Verzerrungszustand	9
2.4	Das Materialverhalten	11
2.5	Gleichgewicht im deformierten Zustand: zugehörige Prinzipien	14
2.5.1	Prinzip der virtuellen Verschiebungen	14
2.5.2	Minimumprinzip der potentiellen Energie	15
2.5.3	Das "Schnittprinzip"	16
2.6	Deformationsmethode ("direkte Steifigkeitsmethode")	18
2.7	Charakteristische Eigenschaften typischer Strukturen	20
2.7.1	Dreidimensionale, zweidimensionale und eindimensionale Kontinua	20
2.8	Ein eindimensionaler elastischer Körper: Feder	27
2.9	Lösung der Matrixgleichungen in der Mechanik	34
2.9.1	Cholesky-Zerlegung	34
2.10	Ein weiterer eindimensionaler mechanischer Körper: Balken ("Blattfeder")	37
2.11	Ersatz äusserer Kräfte und Momente durch konsistente Knotenbelastung	41
3	Finlte Elemente als Ersatz für elastische Körper	44
3.1	Lineares Stabelement	44
3.2	Lineares, rechteckiges Scheibenelement	47
3.2.1	Elementsteifigkeitsmatrix	47
3.3	Rechteckiges Plattenelement	51
4	Rotationssymmetrie	56
4.1	Rotationssymmetrischer Spannungszustand	57
4.2	Symmetrische und antisymmetrische Belastungen	59
4.3	Verzerrungen unter nicht-rotationssymmetrischer Belastung	60
4.4	Rotationsschalen	60
4.4.1	Rotationsschale mit rotationssymmetrischer Belastung	60
4.4.2	Rotationsschalen mit nicht-rotationssymmetrischer Belastung	63
5	Modellierung des Materialverhaltens	64
5.1	Einige Beispiele für Materialgesetze	64
5.1.1	Elasto-plastisches Materialverhalten	64
5.1.2	Hyperelastisches Materialverhalten	65
5.1.3	Unterschiedliches Verhalten im Zug- und Druckbereich	65
5.1.4	Elastisch-viskoplastisches Materialverhalten	66
5.1.5	Kriechen	66
5.1.6	Relaxation	67
5.2	Versagenskriterien	69
5.2.1	Von Misessches Fliesskriterium	69
5.2.2	Hillisches Fliesskriterium	70
5.2.3	Mohr-Coulombsche Festigkeitshypothese	70

6	Stabilitätsuntersuchungen / Nichtlinearitäten	72
6.1	Stabilitätsuntersuchungen	72
6.2	Materialnichtlinearitäten	74
6.3	Geometrische Nichtlinearitäten	74
6.3.1	Grosse Verschiebungen und Verzerrungen bei Stäben	74
6.3.2	Grosse Verschiebungen und Verzerrungen bei Platten und Schalen	77
6.3.3	Allgemeiner Greenscher Ansatz für nichtlineare Kontinua	78
6.4	Nichtlineare Randbedingungen	78
6.5	FE-Simulation von Kontakt	78
7	Dynamische FE-Berechnungen	80
7.1	Grundlagen	81
7.2	Modale Analyse	84
7.3	Methoden zur Lösung der Bewegungsgleichung	89
7.3.1	Das Newmark-Verfahren	89
8	Thermische FE-Berechnungen	91
8.1	Grundlagen aus der Wärmelehre	93
8.2	Analogie zwischen thermischer und mechanischer FE-Berechnung	94
8.3	Thermisch induzierte Beanspruchung	95
8.3.1	Spannungen durch Thermoschock	95
8.3.2	Spannungen durch behinderte Krümmung	95
9	Regeln für den Umgang mit der FE-Methode	97
9.1	Kompetenzen	98
9.2	Das FEM-Prozessmodell	100
9.2.1	Klären der Aufgabensteilung	101
9.2.2	Idealisierung	101
9.2.3	Modellbildung	105
9.2.4	Analyse	107
9.2.5	Auswertung	109
9.2.6	Dokumentation	109
9.2.7	Qualitätsmanagement	109
9.3	Diskretisierungsfehler, Konvergenz	110
9.3.1	Einflussgrößen	110
9.3.2	Beurteilung des Diskretisierungsfehlers	111
9.4	Ursachen möglicher Fehler bei der Modellierung	112
9.5	Möglichkeiten zur Überprüfung der Ergebnisse	118
9.6	Tipps und Tricks	120
10	Übungen	124
10.1	Eine finite Elemente Berechnung per Hand	124
10.2	Parameterstudie "Kerbwirkung"	125
10.3	Einfluss der FE-Vernetzung auf die Genauigkeit	126
10.4	Unterschiedliche Elementtypen im Vergleich	127
10.5	Anpassung der Netzfeinheit an die Belastung (3D)	128
10.6	Anpassung der Netzfeinheit an die Belastung (2D)	129
10.7	Optimierung einer Winkelverbindung	131
10.8	Schrittweise FE-Berechnung für modular aufgebaute Strukturen	134
10.9	Plastisches Materialverhalten / "Fliessgelenk"	136
10.10	Verstärkungsvarianten für einen Balken	137
10.11	Platte aus Verbundwerkstoff	138
10.12	Stabilitätsuntersuchung	139
10.13	Rotierende Scheibe	140

10.14	Rotorblatt eines Helikopters	142
10.15	Untersuchungen an einer Darrieus-Windkraftanlage	143
10.16	Eigenschwingungen eines einfachen Fachwerks	145
10.17	Eigenschwingungen eines "Balkens" mit konzentrierten Massen	146
10.18	Transiente Schwingungen einer Platte unter Stossbelastung	147
10.19	"Beruhigung" einer Fussgängerbrücke mittels Schwingungstilgers	150
10.20	Thermoschock bei einer überhitzten Dampfleitung	152
10.21	Schrumpfverbindung	153
10.22	2D-Kontakt-Simulation	154
10.23	Plastisches Umformen	155
10.24	2D-Simulation einer Projektilbremse	156
10.25	Simulation eines Kurbeltriebs	157