

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Die FEM | 1 |
| 1.1 | Geschichtliches über die Anwendung | 1 |
| 1.2 | Grundlagen der Modellbildung – Modellierung | 3 |
| 1.3 | Für welchen Anwender geeignet? – Anwender A und B | 4 |
| 1.4 | Intelligentes FEM-Programm = Qualitätssicherung | 5 |
| 1.4.1 | Ursachen für Anwenderprobleme mit der FEM | 5 |
| 1.4.2 | Reduzierung dieser Probleme - die Benutzerschale | 6 |
| 1.4.3 | Erkennen des Problems 1 | 6 |
| 1.4.4 | Erkennen des Problems 2 | 7 |
| 1.4.5 | Erkennen des Problems 3 | 7 |
| 1.5 | Weitere Prüfungen zur Qualitätssicherung | 7 |
| 1.6 | Das Protokollfile | 8 |
| 1.7 | Programmsteuerung über Optionsauswahl - das Optionfile | 10 |
| | | |
| 2 | Die verschiedenen Anwendungsgebiete der FEM | 13 |
| 2.1 | Lineare Statik | 13 |
| 2.1.1 | Mögliche Materialeigenschaften | 14 |
| 2.1.2 | Zur Formulierung des Rechenmodells | 15 |
| 2.2 | Nichtlineare Statik | 15 |
| 2.2.1 | Iterationsmethoden | 16 |
| 2.2.2 | Mögliche Materialeigenschaften | 18 |
| 2.2.3 | Zur Formulierung des Rechenmodells | 20 |
| 2.3 | Stabilitätsprobleme | 21 |
| 2.3.1 | Mögliche Materialeigenschaften | 22 |
| 2.3.2 | Zur Formulierung des Rechenmodells | 22 |
| 2.4 | Lineare und nichtlineare Dynamik | 22 |
| 2.4.1 | Lösung von Schallproblemen, Akustik | 24 |
| 2.4.2 | Mögliche Materialeigenschaften | 25 |
| 2.4.3 | Zur Formulierung des Rechenmodells | 25 |
| 2.5 | Stationäre und instationäre Potenzialprobleme | 25 |
| 2.5.1 | Analogie der Potenzialprobleme | 25 |
| 2.5.2 | Grundlagen der stationären Potenzialprobleme | 28 |
| 2.5.3 | Zur Formulierung des Rechenmodells | 28 |
| 2.5.4 | Mögliche nichtlineare Magnetfeldmodelle | 29 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.5.5 | Grundlagen der instationären Potenzialprobleme | 30 |
| 3 | Die in den Beispielen verwendeten Elemente des FEM-Programms | 33 |
| 3.1 | Allgemeine Definitionen – Anordnung der Zwischenknoten | 33 |
| 3.2 | Flächenelemente..... | 34 |
| 3.2.1 | Beanspruchungsarten bei Flächenelementen | 35 |
| 3.2.2 | Drei- und viereckiges Flächenelement mit linearem oder quadratischem Verschiebungsansatz | 35 |
| 3.3 | Raumelemente mit linearem oder quadratischem Verschiebungsansatz..... | 39 |
| 3.4 | Stabelemente | 40 |
| 3.4.1 | Beschreibung der Stabquerschnittswerte – Property..... | 41 |
| 3.4.2 | Aussteuerung von Schnittgrößen..... | 44 |
| 3.4.3 | Stabelementrandbedingungen (Gelenke, Federn usw.) | 45 |
| 3.4.4 | Stabelement mit konstantem oder geometrisch linear veränderlichem Querschnitt..... | 50 |
| 3.4.5 | Stabelement mit exzentrischem Knotenanschluss und Wölbkrafttorsion..... | 51 |
| 3.5 | Grundsätzliches zur Elementbeschreibung..... | 54 |
| 3.6 | Elementqualität..... | 55 |
| 3.6.1 | Überprüfung der Elementqualität am Balkenmodell..... | 57 |
| 3.6.2 | Membranelement als Balken..... | 57 |
| 3.6.3 | Plattenelement als Balken..... | 60 |
| 3.6.4 | Raumelement als Balken..... | 63 |
| 3.6.5 | Übersicht; Balkentest für alle Elemente..... | 65 |
| 4 | Der Einstieg in die FEM durch einfache Beispiele..... | 67 |
| 4.1 | Das Modell ingo..... | 67 |
| 4.2 | Ein erstes Beispiel aus der linearen Statik mit Raumelementen..... | 67 |
| 4.2.1 | Starten des Preprozessors FEMAP | 68 |
| 4.2.2 | Die Geometriebeschreibung (ingog) | 68 |
| 4.2.3 | Material- und Property-Definition..... | 70 |
| 4.2.4 | Netzerstellung 1. Schritt, rechte Hälfte | 71 |
| 4.2.5 | Netzerstellung 2. Schritt, Spiegelung (ingof)..... | 77 |
| 4.2.6 | Netzerstellung letzter Schritt, Raumelemente (ingor)..... | 79 |
| 4.2.7 | Modell abschließen, Randbedingungen und Belastung..... | 80 |
| 4.2.8 | Starten des FEM-Programms TP2000..... | 84 |
| 4.2.9 | Verfolgen des Rechenablaufs von TP2000 am Bildschirm..... | 86 |
| 4.2.10 | Optionen ändern; Zwischenknoten einfügen..... | 90 |
| 4.3 | Wiederholung des ersten Beispiels mit realitätsgetreuer Belastung | 96 |
| 4.4 | Ausgabedaten des FEM-Programms, das Protokollfile ingor1-s.prt... 100 | |
| 4.5 | Beispiel aus der linearen Statik mit Schalenelementen (ingos)..... | 106 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.6 | Beispiel aus der linearen Statik mit Membranelementen (ingom)..... | 114 |
| 4.6.1 | Lastfall 1 ohne Kontaktanalyse; Vergleich Raum-, Schalen- und Membranelement | 116 |
| 4.6.2 | Lastfall 1 mit Kontaktanalyse ohne Reibung (ingomk) | 118 |
| 4.6.3 | Lastfall 1 mit Kontaktanalyse mit Reibung..... | 127 |
| 4.7 | Beispiel aus der linearen Statik mit rotationssymmetrischen Elementen (ingort)..... | 130 |
| 4.8 | Beispiel aus der nichtlinearen Statik mit rot.symm. Elementen mit Fließgesetz und großen Verformungen (ingorn) | 138 |
| 4.9 | Beispiel aus der nichtlinearen Statik mit rot.symm. Elementen, Gummimaterial und Kontakt gegen starren Rand (ingorg) | 145 |
| 4.10 | Beispiel aus der Stabilität mit Schalelementen, Berechnung der kritischen Beullasten und -formen (ingoss)..... | 154 |
| 4.11 | Beispiel aus der linearen Dynamik mit rot.symm. Elementen, Berechnung der unteren Eigenfrequenzen und -formen (ingord) | 155 |
| 4.12 | Der Einfluss der Vorspannung in der Dynamik | 163 |
| 4.13 | Beispiel aus der linearen Dynamik mit rot.symm. Elementen, Vergleich statische Last mit Stoßbelastung (ingors)..... | 166 |
| 4.14 | Beispiel aus der linearen Dynamik mit Schalelementen, mit Fußpunkterregung = Erdbeben (ingoeb)..... | 174 |
| 4.15 | Beispiel aus der linearen Dynamik mit Membranelementen, Beispiel ingom als Akustikproblem (ingoak) | 182 |
| 4.16 | Beispiel aus stationären Potenzialproblemen mit rot.symm. Elementen, Temperaturverteilung mit Statik (ingorp) | 189 |
| 4.17 | Beispiel aus instationären Potenzialproblemen mit rot.-symm. Elementen, zeitabhängige Erwärmung; mit Statik (ingori)..... | 201 |
| 4.18 | Beispiel aus stationären Potenzialproblemen mit rot.symm. Elementen, Magnetfeldberechnung (ingorm) | 213 |
| 5 | Spezielle, praxisnahe Beispiele..... | 221 |
| 5.1 | Beispiel aus der linearen Statik mit Stabelementen, einfacher Kran (kran) | 221 |
| 5.1.1 | Ziel dieser Aufgabe..... | 221 |
| 5.1.2 | Eigenschaften von Stabelementen | 222 |
| 5.1.3 | Einführungsbeispiel Teleskopmast..... | 225 |
| 5.1.4 | Das Drehgestell mit Kugeldrehkranzverbindung | 229 |
| 5.1.5 | Der Turm | 244 |
| 5.1.6 | Der Ausleger mit Abspannstützen..... | 248 |
| 5.1.7 | Verbindungselemente – Seile, Bolzen, Stangen | 254 |
| 5.1.8 | Randbedingungen, Eigengewichtsbelastung | 259 |
| 5.1.9 | Bestimmung der Gewichte, Massenschwerpunkt | 261 |
| 5.1.10 | Verkehrslasten, das erste Rechenergebnis | 264 |
| 5.1.11 | Kraftverteilung im Drehkranz..... | 269 |
| 5.1.12 | Untersuchung beliebiger Auslegerstellungen, Windlast..... | 270 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.1.13 | Kritische Lastfallkombination nach „Theorie 2. Ordnung“ | 274 |
| 5.1.14 | Dynamische Analyse, Standsicherheitsnachweis bei Erdbeben.. | 277 |
| 5.2 | Beispiel aus der Medizintechnik, Spannungsverteilung im Oberschenkelknochen (knoch) | 287 |
| 5.3 | Ein Beispiel aus der Mikrosystemtechnik, Verformung und Spannungsverteilung in einem Sensor (sensor) | 299 |
| 5.4 | Kragträger aus Stabelementen mit Wölbkrafttorsion (woelb) | 305 |
| 6 | Weitere wichtige und nützliche Funktionen des FEM-Programms..... | 313 |
| 6.1 | Rotationssymmetrische Elemente mit allgemeiner Belastung (Fourier-Element) | 313 |
| 6.1.1 | Allgemeine Belastung bei Fourier-Elementen | 314 |
| 6.1.2 | Standardrandbedingungen | 317 |
| 6.1.3 | Knotenonderrandbedingungen (Fourier) | 318 |
| 6.1.4 | Stabelementonderrandbedingungen (Fourier) | 318 |
| 6.1.5 | Mögliche Belastungen bei Fourier-Elementen | 318 |
| 6.1.6 | Eingabe der Belastung bei Fourier-Elementen | 321 |
| 6.1.7 | Kontrolle über Fourier-Synthese | 322 |
| 6.1.8 | Ergebnisausgabe bei Fourier-Elementen | 323 |
| 6.1.9 | Anwendung der Fourier-Elemente | 324 |
| 6.2 | Laminatenelemente | 325 |
| 6.2.1 | Vergleichsspannungen bei Laminatenelementen, Reservefaktor R.F. | 327 |
| 6.2.2 | Zusatzeingabe für Laminatenelemente | 328 |
| 6.2.3 | Anwendung der Laminatenelemente | 331 |
| 6.3 | Wichtige Warnungen am Bildschirm, was ist zu tun? | 332 |
| 7 | Installationsanleitung und Trainingsmanual WTP2000 | 337 |
| 7.1 | Hardwareanforderungen | 337 |
| 7.2 | WTP2000 Trainingsversion | 338 |
| 7.3 | Trademark Information | 338 |
| 7.4 | Installation des FEM-Programms TP2000 | 338 |
| 7.4.1 | Installationsverzeichnis | 338 |
| 7.4.2 | Installation | 339 |
| 7.5 | Installation von FEMAP (Demoversion) | 342 |
| 7.5.1 | FEMAP-Voreinstellungen; Materialdatenbank | 343 |
| 7.5.2 | Installation und Anwendung der Materialdatenbank | 343 |
| 7.5.3 | FEMAP Interfaces | 344 |
| 7.6 | Vollversion von WTP2000 | 345 |
| 7.6.1 | Installation der Vollversion von TP2000 | 345 |
| 7.6.2 | Installation der Vollversion von FEMAP | 347 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7.7 | WTP2000 Dokumentation und Hilfe..... | 347 |
| 7.8 | Ihre erste FEM-Berechnung mit WTP2000..... | 348 |
| 7.8.1 | Die ersten Schritte mit WTP2000 Balkenmodell | 348 |
| 7.8.2 | Erzeugung des Finite-Elemente-Modells in FEMAP (Preprocessing) | 348 |
| 7.8.3 | FEM-Berechnung mit WTP2000..... | 349 |
| 7.8.4 | Darstellung der Berechnungsergebnisse mit FEMAP (Postprocessing) | 351 |
| 7.9 | Beispiel 1: Schalenmodell | 352 |
| 7.9.1 | Erzeugen der Geometrie..... | 353 |
| 7.9.2 | Definition des Materials und der Property..... | 358 |
| 7.9.3 | Generierung der Knoten und Elemente (Vernetzung) | 359 |
| 7.9.4 | Definition von Randbedingungen und Lasten..... | 361 |
| 7.9.5 | Modellprüfung..... | 365 |
| 7.9.6 | FEM-Berechnung mit TP2000..... | 365 |
| 7.9.7 | Darstellung der Berechnungsergebnisse mit FEMAP (Postprocessing) | 368 |
| 7.9.8 | Ergebnisdiskussion | 370 |
| 7.10 | Beispiel 2: Volumenmodell | 378 |
| 7.10.1 | Voreinstellungen..... | 378 |
| 7.10.2 | Erzeugung der Geometrie..... | 379 |
| 7.10.3 | Definition von Randbedingungen und Lasten | 386 |
| 7.10.4 | Automatische Vernetzung | 388 |
| 7.10.5 | FEM-Berechnung | 390 |
| 7.10.6 | Auswertung und Darstellung der Berechnungsergebnisse..... | 391 |
| 8 | Das Übungsprogramm WTP2000 | 397 |
| 8.1 | Leistungsumfang WTP2000 Version 6.4..... | 397 |
| 8.1.1 | Für den Anwender A..... | 398 |
| 8.1.2 | Für den Anwender B zusätzlich..... | 398 |
| 8.2 | Das WTP2000-Optionfile | 399 |
| 8.3 | In WTP2000 verwendete Files | 409 |
| 8.3.1 | Workfiles (DA-Files) der Database | 410 |
| 8.3.2 | Aufbau der Workfiles gemäß Optionfile | 410 |
| 8.3.3 | Verwendung der Workfiles | 411 |
| 8.3.4 | Temporäre TP-Files (sequentielle Files) | 412 |
| 8.3.5 | Projektabhängige Files (sequentielle Files)..... | 412 |
| 8.4 | Anhang: Die wichtigsten FEMAP-Menüs in deutsch..... | 413 |
| 8.5 | Anhang: Verwendete Einheiten..... | 417 |
| | Literatur | 419 |
| | Sachverzeichnis..... | 421 |

FEM-Anwendungen

Statik-, Dynamik- und Potenzialprobleme mit
professioneller Software lösen

Groth, P.

2002, XIII, 429 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-41483-4