

Fröhlich · FEM-Leitfaden

Springer

Berlin

Heidelberg

New York

Barcelona

Budapest

Hong Kong

London

Mailand

Paris

Tokyo

Peter Fröhlich

FEM-Leitfaden

Einführung und praktischer Einsatz
von Finite-Element-Programmen

Mit 110 Abbildungen und 16 Farbtafeln



Springer

Professor Peter Fröhlich
Fachhochschule Wiesbaden
CIM-Zentrum des Fachbereichs Maschinenbau
Darmstädter Straße 59
65428 Rüsselsheim

ISBN-13: 978-3-540-58643-2 e-ISBN-13: 978-3-642-79383-7
DOI: 10.1007/978-3-642-79383-7

Fröhlich, Peter:

FEM-Leitfaden : Einführung und praktischer Einsatz von
Finite-Element-Programmen / Peter Fröhlich. - Berlin ;
Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Budapest ; Hong Kong ;
London ; Mailand ; Paris ; Tokyo : Springer, 1995
ISBN-13: 978-3-540-58643-2

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Datenkonvertierung durch M. Schillinger-Dietrich, Berlin
SPIN: 10472770 62/3020 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Als der Autor sich im Rahmen seines Maschinenbaustudiums Ende der 60er Jahre an der Technischen Hochschule Darmstadt zum erstenmal mit der Methode der Finiten Elemente auseinandersetzte, war dies vor allem ein mathematisch-numerisches Fachthema. Der Bezug von Tensor- und Matrizenrechnung zur Technischen Mechanik oder sogar zur Konstruktion war nur zu erahnen. Heute, ca. 25 Jahre später, dringt die FEM in die Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen von mittelständischen Unternehmen und sogar von Kleinbetrieben vor. Ingenieure auf Sachbearbeiterebene, und drüber hinaus die verantwortlichen Vorgesetzten, müssen sich zwar nicht unbedingt mit den theoretischen Grundlagen befassen, jedoch sollten ihnen zumindest die Auswirkungen des Einsatzes dieses hochentwickelten Berechnungswerkzeugs bekannt sein. Erwartungen, Versprechungen und Realität klaffen oft weit auseinander.

Es gibt heute genügend gute Literatur zu den Grundlagen, zur Fortentwicklung und über die Besonderheiten des eigentlichen Finite Element Verfahrens. Ebenso zahlreich sind die Veröffentlichungen, die sich mit der speziellen Anwendung eines konkreten Programmpaketes wie z.B. ANSYS oder NASTRAN beschäftigen.

Das vorliegende Buch soll Anwendern, Neueinsteigern und Entscheidungsträgern eine generelle Orientierungshilfe geben. Es bietet keine Darstellung der mathematischen und programmtechnischen Grundlagen, sondern beschreibt anhand vieler Beispiele die großen Möglichkeiten aber auch die Probleme und die Risiken des konkreten industriellen Einsatzes von FE-Programmen. Themenschwerpunkte sind die heutigen Anwendungsbereiche, der Aufbau und das Potential der modernen Programmsysteme und die notwendige Ausstattung eines FE-Arbeitsplatzes. Darüber hinaus werden die methodische Vorgehensweise, die Zuverlässigkeit, die häufigsten Fehlerquellen und der Zeit- und Arbeitsaufwand von FE-Analysen behandelt.

Zu einer fundierten Systementscheidung gehören eine realistische Bedarfsanalyse, ein detaillierter Systemvergleich und eine vernünftige Abschätzung von Aufwand und Nutzen, von Risiken und Grenzen. Die unternehmerischen Aspekte, die bei der Beschaffung und dem Einsatz von FE-Programmen zu beachten sind, werden oft sträflich vernachlässigt. Deshalb zeigt das Buch eingehend die notwendigen Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen und effizienten Einsatz der sehr teuren Investition *FEM* auf. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf den möglichen Einsatz von FE-Programmen in der Konstruktion gelegt. Wegen übersteigter Erwartungen kommt es immer wieder zu Fehlinvestitionen, großen Schwierigkeiten und enttäuschten Hoffnungen.

Das vorliegende Buch soll durch die Darstellung der wichtigsten anwendungsbezogenen Grundlagen und Zusammenhänge vor allem den Nutzern der Finite Elemente Methode in der beruflichen Praxis helfen. Viele der Beispiele entstammen Kooperationsprojekten zwischen der Fachhochschule Wiesbaden und der Industrie. Allen im Text genannten Firmen und deren Mitarbeitern, die Informationen und Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben, sei herzlich gedankt, kann doch vor allem durch diese Beispiele die große Bandbreite der heutigen FE-Anwendung deutlich gemacht werden.

Der Autor bedankt sich besonders bei allen Kollegen des CIM-Zentrums Rüsselsheim für die immer bereitwillige Hilfe, vor allem bei Heidi Meckert, Martin Schöfisch, Axel Schalou, Peter Schneider, Dr. Hans-Jürgen Holland und Dr. Jürgen Schneider.

Zuletzt mein Dank an den Verlag für die gute Zusammenarbeit und die Bitte an alle Leser, nicht zu zögern, mich auf Mängel oder Fehler hinzuweisen und Verbesserungen anzuregen.

Bad Homburg, Juni 1995

Peter Fröhlich

Inhaltsverzeichnis

1 Berechnung und Simulation im Engineering Bereich	1
1.1 Aufgaben in Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen.....	2
1.2 Rechnergestützte Hilfsmittel zum Berechnen und Optimieren	4
1.3 Wer nutzt die Berechnungs- und Simulationsprogramme?.....	11
2 Die Finite Elemente Methode	13
2.1 Das Prinzip der FEM.....	13
2.2 Die Anwendung.....	16
2.2.1 Einsatzbereiche.....	16
2.2.2 Strukturmechanik – Strukturanalyse.....	17
2.2.3 Weitere Anwendungen	21
3 Die FE-Analyse	25
3.1 Die prinzipielle Vorgehensweise	25
3.1.1 "FE-Eignung" der Aufgabenstellung.....	27
3.1.2 Die Modellbildung	28
3.1.3 Die Berechnung.....	36
3.1.4 Die Auswertung.....	36
3.2 Was liefert eine FE-Analyse und was nicht?	39
3.3 Die Zuverlässigkeit der Analyse	44
3.3.1 Die Genauigkeit einer FE-Berechnung.....	45
3.3.2 Die häufigsten Fehler	47
3.3.3 Kontrollmöglichkeiten.....	50
3.4 Zeit- und Arbeitsaufwand	56
4 FE-Programme	58
4.1 Grundsätzlicher Aufbau eines FE-Programms.....	58
4.1.1 Preprozessor	59
4.1.2 Solver	60
4.1.3 Postprozessor	62
4.2 Besondere Funktionalitäten	65
4.2.1 Benutzungsoberfläche	66
4.2.2 Geometrieerzeugung im FE-System.....	70
4.2.3 Parametrisierung.....	73
4.2.4 Vernetzung	74
4.2.4.1 Elemente.....	75

4.2.4.2	Netzgeneratoren	83
4.2.4.3	Submodelltechnik	86
4.2.4.4	Automatische Netzverfeinerung – Adaptive Vernetzung	87
4.2.4.5	p-Elemente / p-Methode	88
4.2.5	Substrukturen – Kopplungen	91
4.2.6	Werkstoffe	92
4.2.7	Makros	94
4.2.8	Optimierung	96
4.2.9	Fehlerüberprüfung und -abschätzung	101
4.2.10	Analysemöglichkeiten	102
4.2.11	Schnittstellen	107
4.2.12	Auswertung und Dokumentationsmöglichkeiten	113
4.2.13	Programmdokumentation	115
4.3	Kommerzielle FE-Programme	116
5	Der FE-Arbeitsplatz	121
5.1	Rechner – Hardwareausstattung	121
5.2	Betriebssystem	125
5.3	Zusätzliche Software und Tools	126
6	FEM und CAD – Finite Elemente Programme in der Konstruktion..	128
6.1	Auslegung und Nachrechnung	130
6.2	Geometrieerstellung	131
6.2.1	Die 2D/3D-Problematik	132
6.2.2	Vereinfachungsstrategien	134
6.3	Schnittstellen	139
6.3.1	Geometrie-Standardschnittstellen	139
6.3.2	Direkte Geometrieschnittstellen	145
6.3.3	CAD-FEM – Kopplung und Integration	146
6.4	Qualifikation der Konstrukteure	151
6.5	Geeignete Programme	152
6.6	Bedingungen für den FE-Einsatz in der Konstruktion	154
7	Aufwand und Nutzen	155
7.1	Kostenerhöhung oder Kostenreduzierung?	156
7.2	Risikominderung – Qualitätssicherung	158
7.3	Schnelle Produkteinführung	159
7.4	Erwartungen – Versprechungen – Realität	160
7.5	Grenzen und Risiken	164
8	Beschaffung und Einführung aus Unternehmenssicht	166
8.1	Betroffene Unternehmensbereiche	167
8.2	Betriebliche Rahmenbedingungen	169

8.3 Bedarfsanalyse.....	170
8.4 Systemvergleich – Systemauswahl	171
8.5 FEM als Fremdleistung.....	174
9 Die weitere Entwicklung – Trends.....	175
 ANHANG	
Literatur	177
Fachbegriffe Englisch – Deutsch	181
Stichwortregister	190
Farbtafeln	202