

## Vorwort zur dritten Auflage

Das vorliegende Buch entstand aus den Vorlesungsreihen „Finite Elemente“ und „Tragwerksdynamik“, die der Verfasser an der Universität Gesamthochschule Kassel für Bauingenieur- und Maschinenbaustudenten im Haupt- und Vertiefungsstudium hält. Es baut darauf auf, daß der Leser mit den Grundlagen der Matrizenrechnung und der numerischen Mathematik (lineare Gleichungen) vertraut ist.

Das Buch zielt nicht so sehr auf die Darstellung der numerischen Methoden der Mathematik, ohne die die Realisierung der Methode der Finiten Elemente (FEM) auf dem Computer nicht denkbar ist, sondern mehr auf die Darstellung des strukturmechanischen Hintergrunds. Dies begründet sich daraus, daß dem heute in der Praxis tätigen Ingenieur FEM-Computersoftware als Werkzeug der Konstruktionsanalyse und -optimierung schon zur Verfügung steht und nicht erst entwickelt werden muß. Für den Anwender von FEM-Software ist es jedoch unerlässlich, den strukturmechanischen Hintergrund der Methode zu kennen, da seine Hauptaufgabe mehr darin besteht, die reale Konstruktion zu idealisieren, d.h. ein FE-Modell zu erstellen und die Computerergebnisse zu interpretieren, als die Computerprogramme selbst zu entwickeln. Modellbildung und Ergebnisinterpretation sind jedoch nur durch das Verständnis der strukturmechanischen Grundlagen möglich.

Nach einer elementaren Einführung der FEM im Kap.2 an Hand einer einfachen Fachwerkstruktur werden im Kap.3 die Grundlagen der linearen Elastizitätstheorie dargestellt. Hierbei spielt das Prinzip der virtuellen Verschiebungen und das dazu äquivalente Prinzip vom stationären Wert der Gesamtenergie eine besondere Rolle, da das darauf basierende *Ritzsche* Verfahren anschließend im Kap.4 zur mathematischen Begründung der FE-Methode dient. Zur Verdeutlichung dieser Äquivalenz wurden im Vergleich zu den vorangegangenen Auflagen die diesbezüglichen Kap.3.6.2 und 3.6.4 ergänzt. Außerdem wurde ein Kapitel über erweiterte Variationsprinzipie aufgenommen, die die Grundlage für die sog. gemischten oder hybriden Elemente bilden.

Die Auswahl und die Darstellung der verschiedenen Elementtypen im Kap.5 erfolgte zum einen unter dem Gesichtspunkt, inwieweit die Elemente Eingang in die Praxis gefunden haben, zum anderen aber auch unter dem didaktischen Gesichtspunkt der Einfachheit der Formulierung. So werden beispielsweise, die Koeffizienten der Elementmatrizen von Dreieck- und Rechteckelementen so weit wie möglich in analytischer Form angegeben, um damit die Interpretation des Elementverhaltens zu erleichtern. Im Vergleich zu den vorangegangenen Auflagen hat das Kap.5 die größte Erweiterung erfahren. Im Einzelnen sind hinzugekommen:

Beim Balkenelement Erweiterungen zur Berücksichtigung der Einflüsse aus Schubverformungen und großen Verschiebungen (Theorie II. Ordnung, Stabilitätsfälle Knicken, Kippen und Biegedrillknicken), bei den Scheibenelementen die Aufnahme der hierarchischen Elemente (p-Elemente), die der Reduktion der Diskretisierungsfehler durch Erhöhung der Ordnung der Ansatzpolynome dienen. Bei

den schubstarren Plattenelementen (Kirchhoff-Theorie) wurde das DKT-Dreieckelement detailliert in einer neuen Formulierung aufgenommen. Neu sind außerdem zwei Kapitel mit der Beschreibung schubweicher Plattenelemente (Reissner-Mindlin Theorie), die sich in der Anwendungspraxis bewährt haben. Zu allen Elementen wurden zusätzliche Beispiele zur Demonstration ihrer Konvergenzeigenschaften aufgenommen.

Der Dynamikteil des Buches beginnt im Kap.7 mit der Herleitung der diskreten Bewegungsgleichungen auf der Grundlage des Prinzips der virtuellen Verschiebungen und des *Hamiltonschen* Prinzips, wodurch eine konsequente Erweiterung der im Kap.3 für statische Lasten benutzten Annahmen und Prinzipien erreicht wird.

Nach der Darstellung zweiter Kondensierungsverfahren zur Reduktion der Ordnung des FE-Modells im Kap.8 wird das Eigenschwingungsproblem im Kap.9 behandelt. Zusätzlich zur Theorie des *ungedämpften* Eigenwertproblems (=> reelle Eigenschwingungsgrößen) wurde im Kap.9.2.2 das Eigenwertproblem des *gedämpften* Mehrfreiheitsgrad-Systems aufgenommen (=> komplexe Eigenschwingungsgrößen). Numerische Lösungsverfahren zur Lösung des reellen oder des komplexen Eigenwertproblems werden nicht behandelt, ihre „Black Box“ - Existenz in Form entsprechender Computerprogramme wird jedoch bei der Anwendung auf Systeme mit mehr als zwei oder drei Freiheitsgraden vorausgesetzt.

Das Kap.11 enthält die wichtigsten Verfahren zur Berechnung der Strukturantwort bei freien Schwingungsvorgängen sowie bei periodischen und nicht - periodischen Erregerfunktionen einschließlich der Methode der Antwortspektren zur Berechnung der Strukturantwort bei Fußpunkterregung durch Erdbeben. Im Vergleich zu den vorangegangenen Auflagen, wurde die allgemeine Theorie des proportional oder nicht-proportional gedämpften Mehrfreiheitsgrad-Systems vervollständigt. Dabei wurde konsequent der Schwinger mit einem Einfreiheitsgrad der Behandlung des Mehrfreiheitsgradsystems vorangestellt. Zur Behandlung von nicht-periodischen Erregerkraftfunktionen wurde die Fouriertransformation zur Lösung der Bewegungsgleichung im Frequenzbereich und das Übertragungsverfahren zur direkten Integration der Bewegungsgleichung im Zeitbereich aufgenommen.

Vom Kap.8 ab dient ein einfaches aber typisches Standardbeispiel nicht nur dazu die Anwendung der abgeleiteten Gleichungen zu zeigen, sondern auch um den Einfluß der elastodynamischen Tragwerkparameter (Eigenfrequenzen, Eigenformen, modale Massen, etc.) auf das Verhalten dynamisch beanspruchter Tragwerke zu veranschaulichen. Anwendungsbeispiele aus der Praxis des Bauwesens und des Maschinenbaus finden sich am Ende des Buches im Kap.12.

Mit Ausnahme des Balkenelementes, für das die Elementmatrizen nach Theorie II. Ordnung aufgenommen wurden, ist die vorliegende Darstellung der FE-Methode auf die lineare Theorie beschränkt. d.h. es wird vorausgesetzt, daß das Werkstoffverhalten linear ist, und daß die Verschiebungen klein im Vergleich zu den Abmessungen der Struktur sind. Diese Annahmen sind in der Praxis bei den weitaus meisten technischen Anwendungen möglich. Sie stellen außerdem die Basis für alle weitergehenden Formulierungen im nicht-linearen Bereich dar.

Das Buch basiert nicht nur auf den langjährigen Lehrerfahrungen sondern auch auf den Erfahrungen des Verfassers und seiner Mitarbeiter aus gemeinsam mit der Industrie durchgeführten Projekten. Der Verfasser hofft, daß er seinem Ziel gerecht geworden ist, die wichtigsten Grundlagen nicht nur der Statik sondern insbesondere auch der Dynamik der Tragwerke erfaßt zu haben, auf denen heute alle großen FE Softwareprodukte aufbauen. Da dieses Ziel mit einem nur einbändigen Werk erreicht werden sollte, bestand die Aufgabe in der optimalen Auswahl aus der Vielfalt der Verfahren, insbesondere bei der Auswahl der Elementformulierungen.

Praktisch alle der in dem Buch beschriebenen Verfahren wurden im Verlauf der Jahre vom Verfasser und seinen Mitarbeitern in das Lehrprogramm MATFEM implementiert. Das Programm, in der Programmiersprache MATLAB<sup>®</sup> geschrieben, dient als Softwarewerkzeug zur Entwicklung neuer Verfahren und wird von Studierenden bei ihren Praktika zur Bearbeitung realistischer Anwendungsbeispiele eingesetzt. Das Handbuch zum Programm kann unter der Internetadresse <http://www.uni-kassel.de/fb14/leichtbau> heruntergeladen werden. Außerdem gibt es dort Hinweise zum Erwerb des Programms.

Abschließend möchte sich der Verfasser bei den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen des Fachgebietes Leichtbau an der Universität Gesamthochschule Kassel für die Nachrechnung und Ausarbeitung der Beispiele sowie für die Durchführung der Zeichen- und Korrekturarbeiten bei der Herstellung der Druckvorlage bedanken. Mein Dank gilt insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Yves Govers und Frau Fei Yu.

Kassel, Juli 2001

Michael Link