
Vorwort

Vorwort zur 1. Auflage

Der Titel des Buches – Eindimensionale Finite Elemente, Ein Einstieg in die Methode – steht für Inhalt und Ausrichtung. Zum Thema Finite-Elemente-Methode gibt es heute zahlreiche Literatur. Die unterschiedlichen Werke spiegeln die vielfältigen Sichtweisen und Anwendungsmöglichkeiten wider. Der Grundgedanke dieser Einführung in die Methode der Finiten Elemente wird von dem Konzept getragen, die komplexe Methode anhand *eindimensionaler* Elemente zu erläutern. Ziel ist es, die vielfältigen Aspekte der Finite-Elemente-Methode vorzustellen und dem Leser das methodische Verständnis wichtiger Themenbereiche zu ermöglichen. Der Leser lernt die Annahmen und Ableitungen bei verschiedenen physikalischen Problemstellungen in der Strukturmechanik zu verstehen und Möglichkeiten und Grenzen der Methode der Finiten Elemente kritisch zu beurteilen. Zusätzliche umfangreiche mathematische Beschreibungsformen entfallen, die lediglich aus der erweiterten Darstellung für zwei- oder dreidimensionale Problemstellungen entstehen. Somit bleibt die mathematische Beschreibung weitgehend einfach und überschaubar. Die Behandlung eindimensionaler Elemente ist jedoch nicht nur eine reine Beschränkung auf eine einfache und übersichtliche formale Darstellung der notwendigen Gleichungen. Im konstruktiven Ingenieurbau gibt es zahlreiche Strukturen – zum Beispiel Brücken oder Hochspannungsmasten – die üblicherweise mittels eindimensionaler Elemente modelliert werden können. Somit umfasst dieses Werk auch einen ‚Satz von Werkzeugen‘, der auch in der Praxis seine Anwendung findet.

Die Konzentration auf eindimensionale Elemente ist neu für ein Lehrbuch und ermöglicht die Behandlung verschiedenster grundlegender und anspruchsvoller physikalischer Problemstellungen der Strukturmechanik in einem einzigen Lehrbuch. Dieses neue Konzept erlaubt somit das methodische Verständnis wichtiger Themenbereiche (zum Beispiel Plastizität oder Verbundwerkstoffe), die einem angehenden Berechnungsingenieur in der Berufspraxis begegnen, jedoch in dieser Form nur selten an Hochschulen behandelt werden. Folglich ist ein einfacher Einstieg möglich, auch in weiterführende Anwendungsgebiete der Methode der Finiten Elemente.

Dieses Buch ist entstanden aus einer Sammlung von Skripten, die als schriftliche Unterlagen für Vorlesungen ausgeteilt wurden, und Schulungsunterlagen für Spezialkurse zur Finite-Elemente-Methode. Besonders bei den durchgerechneten Beispielen und den weiterführenden Aufgaben sind typische Fragestellungen von Studierenden und Kursteilnehmern aufgegriffen.

Voraussetzung für ein gutes Verständnis sind Grundlagen in der linearen Algebra, Physik, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre, so, wie sie typischerweise im Grundstudium eines technischen Faches im Umfeld des Maschinenbaus vermittelt werden.

In den ersten Kapiteln werden die eindimensionalen Elemente vorgestellt, anhand derer sich die Grundbelastungsarten Zug/Druck, Torsion und Biegung abbilden lassen. Hergeleitet werden jeweils die Differenzialgleichung und die grundlegenden Gleichungen aus der Festigkeitslehre zur Kinematik, zur konstitutiven Beziehung und zur Bildung des Gleichgewichtes. Im Anschluss daran werden die Finiten Elemente mit den üblichen Definitionen für Kraft- und Verschiebungsgrößen eingeführt. An Beispielen wird die prinzipielle Vorgehensweise präzisiert. Für weiterführende Aufgaben sind Kurzlösungen im Anhang angegeben.

Im Kap. 6 werden Fragestellungen unabhängig von der Belastungsart und der damit einhergehenden Elementformulierung aufgegriffen. Behandelt werden ein allgemeines eindimensionales Finites Element, das aus der Kombination von Grundelementen aufgebaut werden kann, die Transformation von Elementen im allgemeinen dreidimensionalen Raum und die numerische Integration als wichtiges Hilfsmittel bei der Implementierung der Finite-Elemente-Methode.

In Kap. 7 wird die vollständige Analyse eines Gesamttragwerks vorgestellt. Die Gesamtsteifigkeitsbeziehung entsteht aus den Einzelsteifigkeitsbeziehungen der Basiselemente unter Berücksichtigung der Verbindungen zueinander. Mit den Randbedingungen entsteht ein reduziertes System, aus dem die unbekannten Größen ermittelt werden. Beispielhaft wird die Vorgehensweise an ebenen und allgemein dreidimensionalen Tragwerken vorgestellt.

In den Kap. 8 bis 12 werden Themen aufgegriffen, die nicht zum Standardrepertoire eines Grundlagenbuches gehören. In Kap. 8 wird das Balkenelement mit Schubanteil vorgestellt. Grundlage ist der Timoshenko-Balken.

In Kap. 9 wird in eine Finite-Elemente-Formulierung für eine besondere Werkstoffklasse – die Verbundwerkstoffe – eingeführt. Zunächst werden verschiedene Beschreibungsformen für richtungsabhängiges Stoffverhalten vorgestellt. Kurz wird auch auf die Faserverbundwerkstoffe eingegangen. Ein Verbundelement wird beispielhaft am Verbundstab und am Verbundbalken demonstriert.

In den Kap. 10, 11 und 12 wird auf Nichtlinearitäten eingegangen. In Kap. 10 werden kurz die verschiedenen Arten von Nichtlinearitäten vorgestellt. Tiefer beleuchtet wird der Fall der nichtlinearen Elastizität. Die Problematik wird exemplarisch für Stabelemente dargestellt. Zuerst wird die Finite-Elemente-Hauptgleichung unter Beachtung der Dehnungsabhängigkeit abgeleitet. Zur Lösung des nichtlinearen Gleichungssystems werden

die direkte Iteration und die vollständige und modifizierte Newton-Raphsonsche Iteration abgeleitet und anhand von zahlreichen Beispielen demonstriert.

In Kap. 11 wird elasto-plastisches Verhalten berücksichtigt, eine der häufig auftretenden Form der materiellen Nichtlinearität. Zuerst werden die kontinuumsmechanischen Grundlagen zur Plastizität am eindimensionalen Kontinuumsstab zusammengestellt. Die Fließbedingung, die Fließregel, das Verfestigungsgesetz und der elasto-plastische Stoffmodul werden für einachsige, monotone Belastungszustände eingeführt. Im Rahmen der Verfestigung ist die Beschreibung auf die isotrope Verfestigung beschränkt. Zur Integration des elasto-plastischen Stoffgesetzes wird das inkrementelle Prädiktor-Korrektor-Verfahren allgemein eingeführt und für den Fall des vollständig impliziten und des semi-impliziten Backward-Euler-Algorithmus abgeleitet. An entscheidenden Stellen wird auf den Unterschied zwischen ein- und dreidimensionaler Beschreibung hingewiesen, um eine einfache Übertragung der abgeleiteten Verfahren auf allgemeine Probleme zu gewährleisten.

Mit der Stabilität wird in Kap. 12 ein Thema aufgegriffen, das insbesondere bei der Gestaltung und Dimensionierung von Leichtbaukomponenten Berücksichtigung findet. Die für diese Art der Nichtlinearität entwickelten Finiten Elemente werden zur Lösung der Eulerschen Knickfälle herangezogen.

In Kap. 13 wird eine FE-Formulierung für dynamische Probleme vorgestellt. Neben den Steifigkeitsmatrizen werden auch Massenmatrizen aufgestellt. Unterschiedliche Annahmen zur Verteilung der Massen, ob kontinuierlich oder konzentriert, führen auf unterschiedliche Formulierungen. Beispielhaft wird der Sachverhalt an Dehnschwingungen des Stabes diskutiert.

Zur Veranschaulichung wird jedes Kapitel sowohl mit ausführlich durchgerechneten und kommentierten Beispielen als auch mit weiterführenden Aufgaben – inklusive Kurzlösungen – vertieft. Jedes Kapitel schließt mit einer umfangreichen Literaturliste ab.

Vorwort zur 2. Auflage

Das grundlegende Konzept zur Behandlung der Finite-Elemente-Methode mit eindimensionalen Fragestellungen ist in der 2. Auflage erhalten geblieben. Zusätzlich aufgenommen wurde die stationäre Wärmeleitung und das Prinzip der virtuellen Arbeit als eine weitere Methode zur Herleitung von Finite-Elemente-Formulierungen. Ergänzt ist das Kapitel 14 mit Spezialelementen für die Modellierung von Singularitäten.

Hüttlingen, Southport (Australien), März 2014

Markus Merkel
Andreas Öchsner

Eindimensionale Finite Elemente

Ein Einstieg in die Methode

Merkel, M.; Oechsner, A.

2014, XXIII, 428 S. 212 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-642-54481-1