Nutzung der Finite-Elemente-Methode zur Bewegungsimulation in der Lehre

Prof. Dr.-Ing. Peter Selke

1 Einleitung

Simulationen stellen heute eine elegante Möglichkeit dar, Vorgänge nachzubilden, um mit Gefahren oder hohen Kosten verbundene Abläufe zeigen oder trainieren zu können (Crashsimulationen, Flugsimulationen u. ä.). Solche Simulationen erfordern ein großes Potential an Technik – vor allem aber an Software – und sind somit nicht eben billig.

Als Simulation – mit deutlich geringerem Aufwand – läßt sich auch die Darstellung von nicht sichtbaren Vorgängen, wie z. B. der Aufbau von Spannungen in Abhängigkeit von der Belastungszunahme am komplizierten Bauteil, bezeichnen. Wie solche Demonstrationen auch ohne die Beschaffung von teurer Simulationssoftware mit vorhandenen Mitteln zu realisieren sind, soll an Beispielen aus der Festigkeitslehre gezeigt werden.

2 Problembeschreibung

Erfahrungsgemäß bereitet die Technische Mechanik den Studenten in den Anfangssemestern z. T. erhebliche Schwierigkeiten (und ist daher bei den Studenten oft recht unbeliebt). Dies hat seine Ursachen in den zunächst neu auftauchenden abstrakten Begriffen und deren Anwendung auf die Wirklichkeit sowie nicht vorhandener Erfahrungen und mangelndem Vorstellungsvermögen. Während Mathematiker und Physiker zumindest am Studienbeginn an bekanntes Wissen aus dem schulischen Lehrstoff anknüpfen könnten, verlangt die Technische Mechanik eine völlig neue, „ingenieurmäßige“ Denkweise.

Die in den vergangenen Jahren mit zunehmender Tendenz zu beobachtenden Bestrebungen, in den Studienplänen „schwierige“ Fächer umzubenennen oder den Stundenumfang (und damit schwierige Inhalte) zu reduzieren, damit bei einem „Fun-Studium“ möglichst keiner abgeschreckt werde, ist viel zu kurz gedacht und kann zu Leistungen auch in der Ingenieurausbildung führen, wie sie in der mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasialausbildung schon erfolglos seit vielen Jahren beklagt werden. (KRÄTZIG [1] beschreibt in diesem Zusammenhang ein in Deutschland bisher für unmöglich gehaltenes niedriges Niveau der mathematisch-naturwissenschaftlichen Kenntnisse des Durchschnittsabiturienten.)

Es ist unbestreitbar, daß auch – oder gerade – im „Computerzeitalter“ die technischen Probleme nicht von den hochspezialisierten Softwarepaketen erkannt, sondern allenfalls „bearbeitet“ werden können. Der anwendende Ingenieur hat dabei – trotz teilweise reduzierter Mechanikausbildung – aufwendige zwei- bzw. dreidi-

mensionale Problemstellungen zu formulieren und eine Vielzahl von Ergebnissen zu verifizieren und sinnvoll zu interpretieren.

Dabei zeigt sich immer wieder, daß die Beherrschung der Grundlagen und Elementarbegriffe unverzichtbar sind; werden diese verstanden, ist ihre Anwendung auf komplizierte technische Prozesse nicht allzu problematisch.

Daraus ergibt sich die Forderung nach rationellen Ausbildungsmethoden, die zum Ziel haben, die Anschaulichkeit der für den Anfänger oft schwer nachzuvollziehenden Sachverhalte mit modernen Methoden zu verbessern.

3 Anwendung

Um den oben geschilderten Anfangsschwierigkeiten zu begegnen, wird mit Hilfe von Bewegungssimulationen beanspruchter (einfacher, wie auch komplizierter räumlicher) Strukturen versucht, das Problem der aus den Lasteinwirkungen resultierenden Spannungen und Verformungen darzustellen. Diese Simulationen werden über Overheadprojektor oder LCD-Projektor dreidimensional und farblich demonstriert.

Grundlage hierfür ist die Möglichkeit, das Postprocessing moderner FEM-Software zu nutzen. Der Student sieht hierbei in einem simulierten Bewegungsablauf, wie sich das Bauteil unter den verschiedenen vorgegebenen Belastungen verformt und gleichzeitig die sich adäquat ändernde Spannungsverteilung (z. B. Auf- und Abbau von Spannungsspitzen) in Form von sich in Abhängigkeit von der Belastungsänderung verändernder farbiger Bereiche im Bauteil. Der auch durch das HOOKE'sche Gesetz beschriebene Zusammenhang zwischen Spannung und Verformung wird deutlich sichtbar.

Bewegungsgeschwindigkeit und Größe der Verformung sowie die Abstufung der Bewegung (Anzahl der Bilder/Gesamtverformungsweg) sind dabei variierbar. Ebenso lassen sich die verschiedenartigsten Belastungs- und Lagerungsfälle und deren Kombinationen sehr anschaulich darstellen.

In den folgenden Abbildungen ist der naturgemäß unzureichende Versuch, einen Bewegungsablauf durch „Standbilder“ wiederzugeben, gemacht worden. Während in Bild 1 Spannungsverteilung und Verformungen unter dem Einfluß von Einzel-, Strecken- und Flächenlast am einfachen Bauteil gezeigt werden, veranschaulicht Bild 2 die Spannungen und Verformungen unter dem Einfluß von Kräftepaaren (Biegung und Torsion). Hierbei sind jeweils die Endlagen des Verformungsweges (und damit die Maximalwerte der Spannungen) dargestellt.

Bild 1a) Druckbeanspruchter Kastenträger: Einzellast

Bild 1b) Druckbeanspruchter Kastenträger: Streckenlast

ANTRAS[®]
GfS mbH Rachen

Flächenlasten
→ 50. N

Verschiebung
→ .01935

SH-Max ,Maximum : 204.300

Kastenträger
geschlossen
feste Einspannung

PHI:
THE:

Bild 1c) Druckbeanspruchter Kastenträger: Flächenlast

ANTRAS[®]
GfS mbH Rachen

Flächenlasten
→ 1353.64 N / m²

SH-Max ,Maximum : 1471.00

Kastenträger
geschlossen
feste Einspannung

PHI:
THE:

Bild 2a) Träger mit Momentenbelastung: Biegebeanspruchung (undeformiert)

Bild 2b) Träger mit Momentenbelastung: Biegebeanspruchung (deformiert)

Bild 2 c) Träger mit Momentenbelastung: Torsionsbeanspruchung (deformiert)

Bild 3 Verformter Kragträger (zusammengesetzte Beanspruchung)

Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Darstellung der Verformungsgröße wird besonders in Bild 2 c, bei dem die Verdrehung extrem vergrößert wiedergegeben wird, deutlich.

Besonders bei räumlichen Strukturen, wie in Bild 3 an einem vergleichsweise noch gut überschaubaren Profil unter zusammengesetzter Beanspruchung gezeigt, ist die Vorstellung des Verformungsverhaltens bzw. zum Ort des Auftretens von Spannungsspitzen für den Anfänger häufig schwierig. Durch die Simulation eines Bewegungsvorganges mit langsamen Lastaufbau bei starker Vergrößerung der Verformung lassen sich auftretende Effekte anschaulich erklären.

4 Voraussetzungen

Die eingangs beschriebenen Simulationen auf der Grundlage des Postprocessing der Finite-Elemente-Methode ist für Studenten im Grundstudium gedacht. Es ist allgemein bekannt, daß die recht komplexe Theorie der Finite-Elemente-Methode, die Grundkenntnisse u. a. der Matrizenrechnung, Variationsrechnung, der Potentialtheorie und ein hinreichendes technisches Grundwissen voraussetzt, eine Behandlung erst in den höheren Semestern erlaubt (dem trägt die Einbeziehung der Finiten-Elemente-Methode als Wahlpflichtfach im 7. Semester bei der Ausbildung von Maschinenbauingenieuren Rechnung [1]).

Da es sich hier um eine reine Demonstrationsanwendung handelt, müssen beim Studenten keinerlei Vorkenntnisse zur Methode der finiten Elemente vorhanden sein, noch muß diese erklärt werden (eine populärwissenschaftliche Kurzerklärung hierzu ist allerdings nicht schädlich).

Hardwareseitig ist

- PC 486 und höher, 8 MB RAM
- Overheadprojektor mit Aufsatz bzw.
- LCD-Projektor mit Aktiv-Matrix-LD zur Vollfarbdarstellung erforderlich.

Die Softwareanforderungen richten sich in diesem speziellen Anwendungsfall auf Qualität und Umfang des Postprocessing des FEM-Programmpaketes. Unter diesem Gesichtspunkt hat sich das an der Technischen Fachhochschule Wildau vorhandene Programm ANTRAS [3] wegen der umfangreichen Möglichkeiten zur Bewegungssimulation als sehr geeignet erwiesen.

Da die zu zeigenden Simulationen bekanntermaßen das Ergebnis von FEM-Rechnungen darstellen, ist der Vorbereitungsaufwand allerdings nicht unerheblich. Es müssen alle zu demonstrierenden Problemstellungen in der für die Finite-Elemente-Methode typischen Vorgehensweise aufbereitet (Modellbildung, Diskretisierung, Formulierung von Geometrie- und Materialwerten sowie Lagerungen und Lasten) und berechnet werden und vor der Demonstration als Dateien vorliegen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag ist eine Möglichkeit der Verbesserung der Anschaulichkeit der Technischen Mechanik im Grundstudium durch Simulation unter Nutzung des Postprocessings der Finite-Elemente-Methode am Beispiel vorgestellt worden.

Weitere Möglichkeiten aus der Festigkeitslehre, wie z. B. Pressungsprobleme (Druckverteilung), Gestaltungsprobleme (Leichtbau), aber auch Feldprobleme aus der Strömungslehre oder Thermodynamik, sind auf diese Weise realisierbar.

Darüber hinaus ist auch die Implementierung solcher Lösungen als Übungssoftware im Labor für das Selbststudium vorstellbar und angestrebt.

Nachdrücklich sei aber darauf hingewiesen, daß diese Anwendungsmöglichkeiten selbstverständlich nicht die Hauptnutzung der FEM-Software darstellen, noch als Anlaß für den Kauf solcher Software dienen darf (Kosten/Nutzen), sondern als sog. Synergieeffekt der eigentlichen Nutzung der FEM-Programme (siehe dazu [1]) „abfallen“ muß.

Der Autor bedankt sich bei Herrn Dipl.-Ing. Norbert Miersch für die sehr kompetente Unterstützung bei der Erstellung der Anwendungsbeispiele.

Literatur

- [1] KRÄTZIG, W. B.
„Zeit und Training – Gedanken zur ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung an den Universitäten“
Forschung & Lehre, Heft 1/1997, S. 7 bis 10
- [2] SELKE, P.
„Die Anwendung der Finite-Elemente-Methode in der Lehre und Erzeugnisentwicklung an der TFH Wildau“
Wissenschaftliche Beiträge der TFH Wildau
Heft 1, 1995, S. 17 bis 19
- [3] „ANTRAS“ Gesellschaft für Strukturanalyse GfS
Aachen

Verfasser

Prof. Dr.-Ing. Peter Selke
Technische Fachhochschule Wildau
Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen
Tel.: 03375 / 507-119