

Numerische Akustik - eine neue Vorlesung an der TU Dresden

E. Sarradj, P. Költzsch
TU Dresden, Institut für Akustik und Sprachkommunikation

Einleitung

Die Ausbildung von Akustik-Ingenieuren hat an der TU Dresden eine lange Tradition. Im Sommersemester 1999 wurde das umfangreiche Lehrangebot am Lehrstuhl Technische Akustik (14 Vorlesungen) um eine Vorlesung „Numerische Akustik“ erweitert. Unter dieser Überschrift werden die Grundlagen verschiedener für die Akustik wichtiger numerischer Berechnungsverfahren behandelt.

Warum ist eine solche Vorlesung im Rahmen der Akustik-Ausbildung sinnvoll? Es hat sich gezeigt, daß nicht nur der in Forschung oder Entwicklung tätige Akustiker heute mit der Anwendung numerischer Verfahren konfrontiert wird, sondern auch ein großer Teil der auf anderen Gebieten tätigen Akustik-Ingenieure. Kenntnisse in diesem Bereich sind also sehr nützlich. Die Ausbildung zum Akustik-Ingenieur erfolgt an der TU Dresden im Rahmen des Studiengangs Elektrotechnik und der Studienrichtung Informationstechnik. Numerische Verfahren spielen hier eine viel geringere Rolle als z.B. im Rahmen des Studiengangs Maschinenbau. Diese Überlegungen führten zu dem Konzept einer Vorlesung „Numerische Akustik“, das im folgenden vorgestellt werden soll.

Ziel der Vorlesung

Das allgemeine Anliegen der Vorlesung ist es, Kenntnisse über numerische Verfahren zu vermitteln. Damit ist gemeint, daß mit Blick auf die spätere Anwendung die Hörer einen Überblick über einige, für die Akustik bedeutende, numerische Berechnungsverfahren und damit zusammenhängende Modellierungstechniken erhalten. Sie sollen in erster Linie befähigt werden, aus diesen Verfahren das für ein zu lösendes Problem zweckmäßigste auszuwählen. Der notwendige Praxisbezug soll hergestellt werden, indem erste eigene Erfahrungen im Umgang mit Modellierung und Berechnungstechniken gesammelt werden.

Inhalt der Vorlesung

Aus den grundsätzlich in Frage kommenden Themen wurden die ausgewählt, die nicht im Rahmen anderer Lehrveranstaltungen, wie z.B. Raumakustik oder Theoretische Akustik behandelt werden. Für das Sommersemester 1999 waren das: Finite-Elemente-Methode (FEM), Randelementemethode (BEM), Residualverfahren (Multipolsynthese,...), Statistische Energieanalyse (SEA) und Rechenverfahren und Rechenvorschriften zur Immissionsprognose. Das Thema Immissionsprognoseverfahren wird ab dem

Sommersemester 2000 in einer anderen Lehrveranstaltung behandelt.

Zu jedem Verfahren werden zunächst die notwendigen mathematischen Hilfsmittel und Grundlagen erläutert. Daran schließt sich die Behandlung der Theorie des Verfahrens an. Nachdem die theoretischen Grundlagen erläutert worden sind, wird die Anwendung des Verfahrens anhand von Beispielen gezeigt und, falls möglich, vorhandene Software demonstriert.

Die detaillierte Gliederung der Vorlesung zeigt Tafel 1.

- Zu Beginn werden zum Verständnis der Vorlesung notwendige akustische und mathematische Grundlagen wiederholt.
- Das erste numerische Verfahren, das behandelt wird, ist die FEM. Nach der Vorstellung des Grundgedankens der Finiten Elemente wird der Zugang zu den Elementmatrizen über das Hamiltonsche Prinzip gewählt, der zu einem noch von Hand nachvollziehbaren Rechenweg führt. Der in der Mechanik oft gewählte Weg, die Grundlagen der FEM anhand von Statik-Rechnungen zu erläutern, schien für die Akustik weniger geeignet. FE-Software und ihr Einsatz werden zunächst unabhängig von einem speziellen Programmpaket erläutert, da in der Praxis einige unterschiedliche Programme verwendet werden. Danach werden einige Beispielrechnungen mit ANSYS in einer 90-minütigen Demonstration vorgeführt, wobei auch auf nicht akustische Berechnungsmöglichkeiten eingegangen wird.
- Zum Verständnis der Randelementemethode wird zunächst die Kirchhoff-Helmholtz-Integralgleichung hergeleitet. Dadurch wird gezeigt, daß sich das Verfahren nicht nur auf akustische Probleme anwenden läßt. Anschließend wird das Verfahren recht detailliert dargestellt, um das für Anwendung der BEM notwendige Fachwissen zu vermitteln. Auch hier wird die Verwendung einer Software - SYSNOISE - demonstriert.
- Die Residualmethoden (Quellsimulationstechnik, Multipolsynthese) haben z.Z. eine wesentlich geringere praktische Bedeutung als FEM und BEM. Da sie aber in Zukunft wahrscheinlich eine wichtigere Rolle spielen werden, schien es sinnvoll, diese Verfahren in den Stoff der Vorlesung zu integrieren. Das Verfahren wird allerdings nur theoretisch dargestellt. In Ermangelung einer Software kann keine praktische Demonstration erfolgen.
- Wegen ihrer Bedeutung für akustische Probleme, die nicht mit einer der vorher behandelten Verfah-

ren untersucht werden können, wird auch die Statistische Energieanalyse (SEA) in der Vorlesung vorgestellt.

Um das erworbene Wissen auch durch praktische Übung zu festigen, wird gegen Ende des Semesters im Rahmen der Vorlesung von jedem Hörer eine Beleg-

aufgabe gelöst, die den aktiven Umgang mit einer Berechnungssoftware erfordert. Beispiele für solche Aufgaben sind die Berechnung der Eigenfrequenzen von unregelmäßig geformten Volumina mit FEM, die Berechnung der Einfügungsdämpfung eines Resonanzschalldämpfers mit FEM und die Berechnung einer absorbierenden Schirmwand mit BEM.

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • <u>Einführung:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Inhaltsüberblick, • mögl. Wege zur Berechnung von Feldgrößen und Energiegrößen, • Wiederholung Akustik: Zusammenstellung Grundgleichungen, • Wiederholung Mathematik: lineare Algebra, Matrizen, Gleichungssysteme, Eigenwerte und -vektoren, Computerarithmetik • <u>Finite-Element-Methode:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Finite Elemente • Interpolation mit Formfunktionen • kurze Einführung in die Variationsrechnung • Hamiltonsches Prinzip, Lagrange-Funktional (Rechenbeispiel: Herleitung der Wellengleichung) • Anwendung des Hamiltonschen Prinzips auf ein einfaches finites Element: Elementmatrizen eines akustischen 1-D Elementes • Einsatz des 1-D Elements für das Schallfeld in einem Rohr: Aufstellen des Gleichungssystems • Modalanalyse, harmonische Analyse • FE-Software: prinzipieller technischer Ablauf • FE-Software: Benutzung (Problemanalyse, Parameterwahl, versch. Löser, ...) • ANSYS: kurzer Überblick und praktische Demonstrationen • <u>Randelementemethode:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Idee • Wiederholung Feldtheorie: Greensche Formel • Was ist eine Greensche Funktion? • Herleitung der Kirchhoff-Helmholtz-Integralgleichung (KHI) anhand 3-D Innenraumproblem • Außenraumproblem • Randbedingungen • Diskretisierung der KHI mit Randelementen • Kollokationsverfahren für das Abstrahlproblem • irreguläre Frequenzen • Behandlung des Streuproblems • andere Greensche Funktionen: 2D, Halbraum, ebener Strahler (Rayleigh-Formel) • Fluid-Struktur-Kopplung (FEM/BEM) • alternative BEM-Formulierung mit Potentialen • SYSNOISE: praktische Demonstration | <ul style="list-style-type: none"> • <u>Residualmethoden:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Idee • Beispiel: Multipolsynthese der Schallabstrahlung fester Körper • Multipole: Kugelfunktionen / Zylinderfunktionen • Was ist das Residuum? • Methode der kleinsten Quadrate • Galerkin-Verfahren • Verallgemeinerung: gewichtetes Residuum • numerische Berechnung der Integrale über die Oberfläche (Warum Vernetzung der Oberfläche?) • Probleme der Multipolsynthese • (leider keine praktische Demonstration) • <u>Vergleich FEM / BEM / Multipolsynthese</u> • <u>Statistische Energieanalyse</u> <ul style="list-style-type: none"> • Probleme der numerischen Feldberechnung für hohe Frequenzen • Idee der Statistischen Energieanalyse • zwei gekoppelte Systeme • viele gekoppelte Systeme • Gleichungssystem • Kopplungsverlustfaktoren • Modendichten • Eigenverlustfaktoren • Vorgehensweise bei Modellierung und Berechnung • AUTOSEA: praktische Demonstration • <i>Berechnungsverfahren zur Schallimmissionsprognose (wird in Zukunft eine andere Vorlesung verlegt)</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Normen, Richtlinien, Festlegungen</i> • <i>grober Überblick über theoretische Grundlagen und Voraussetzungen</i> • <i>Abschirmung durch Hindernisse</i> • <i>Reflexionen</i> • <i>Ausbreitung</i> • <i>Wie wird berechnet nach VDI 2714, DIN 18005, RLS-90</i> • <i>einfache Beispielrechnung von Hand nach DIN 18005</i> • <i>IMMI: praktische Demonstration</i> |
|--|--|

Tafel 1: Inhaltsübersicht der Vorlesung numerische Akustik