

Datengenerierung und Datenkontrolle bei der Strukturierung räumlicher Bauteile

Michael Boergers und Helmut Hoersch

Datengenerierung und Datenkontrolle sind wichtige Prozessoren von Finite-Elemente-Programmsystemen. Die Entwicklung dieser Prozessoren für dreidimensionale Bauteile ist eine vordringliche Aufgabe, da die Zahl der Eingabedaten für räumliche Strukturen sehr schnell Größenordnungen erreicht, die sich nur schwer auf ihre Richtigkeit kontrollieren lassen. Zur Vermeidung dieser Fehlerquellen wurden Routinen geschaffen, die die Vernetzung häufig wiederkehrender Bauteile automatisch durchführen.

Die Kontrolle der Eingabedaten für die Vernetzung wird am sichersten durch eine graphische Darstellung des generierten Netzes erreicht. Die Plotterzeichnungen stellen die Struktur als Glaskörpermodell in einer frei wählbaren Perspektive mit und ohne Markierung der Knoten dar. Möglich ist ebenfalls die Ausblendung der unsichtbaren Körperlinie sowie eine stereoskopische Darstellung.

1. Einleitung

Datengenerierung und Datenkontrolle nehmen bei allen Programmsystemen zur statischen und dynamischen Berechnung räumlicher Bauteile, neben der eigentlichen Spannungs- und Verformungsanalyse, eine zentrale Stellung ein. Einfache Datenaufbereitung und Kontrolle entscheidet wesentlich über die breite Anwendung des Programmpaketes, da in diesem Falle die Vorbereitung der Eingabedaten bereits vom Konstrukteur vorgenommen werden kann und nicht durch spezialisierte Kräfte durchgeführt werden muß. Für die Dateneingabe sollten deshalb einige Prinzipien vorgestellt werden, die unbedingt eingehalten werden müssen, um eine „Nutzerfreundlichkeit“ zu erreichen. Darunter fällt:

die Zahl der Eingabedaten soll so gering wie möglich sein,

das Eingabeformat ist für alle Daten gleich zu wählen,

Standardsituationen (Geometrie, Belastung, Bearbeitungsreihenfolge) werden programmseitig besonders unterstützt,

Fehlermöglichkeiten sind durch eine eindeutige Dokumentation und vorbereitete Datenformulare zu verringern,

die Anschaulichkeit ist durch Beispiele zu verbessern.

Für die Datenkontrolle sind entsprechend zu verwirklichen

Aussonderung unsinniger Eingabewerte,

Vollständigkeitskontrollen,

optische Kontrolle des rechnerinternen Modells der Geometrie, der zu untersuchenden Struktur, am Zeichentisch und Bildschirm.

Die Durchsetzung und Realisierung der genannten Bedingung im FEM Programmsystem COSAR (computerorientiertes System zur Analyse räumlicher Strukturen) soll in diesem Beitrag an ausgewählten Bei-

spielen vorgestellt werden unter besonderer Berücksichtigung der automatischen Netzgenerierung und der optischen Kontrolle am Plotter. Weitere Erläuterungen zum Aufbau, Leistungsvermögen und Entwicklungsstand des Programmsystems COSAR können der Literatur [1] bis [4] entnommen werden.

2. Der Datengenerator des Programmsystems COSAR

2.1. Aufgaben und Arbeitsweise des Datengenerators

Die Hauptaufgabe jedes Datengenerators für ein FEM-Programmsystem besteht in der Erzeugung des rechnerinternen Modells, für welches die eigentliche statische oder dynamische Rechnung durchgeführt wird. Das zu erzeugende rechnerinterne Modell besteht aus zahlreichen Matrizen, die Informationen enthalten über:

die Topologie (Koinzidenz zwischen Elementnummern und Knotennummern)

Knotenkoordinaten,

Belastungen (Ort, Größe, Richtung und Art)

Materialeigenschaften und Integrationsvorschrift (Hookesche Matrix, Zahl der Gaußpunkte, spezielle Koordinatensysteme)

Randbedingungen (verhinderte Verschiebungen, Gleichheit von Verschiebungen, elastische Stützeungen)

Spannungsberechnung (Ort und Strategie der Spannungsberechnung)

Bearbeitungsstrategie.

Es ist einzusehen, daß die Vorbereitung dieses Zahlenmaterials sehr aufwendig und fehleranfällig ist. Deshalb wurde angestrebt, für typische Geometrien (Standardstrukturen genannt) und sich wiederholende Lagerungen und Belastungen Subroutinen zu er-

stellen, die die genannten Matrizen aus einer geringen Zahl von Eingabedaten aufbauen. Dieses Konzept läßt sich besonders leicht durch eine konsequente Anwendung der Substrukturtechnik verwirklichen.

2.2. Realisierung des rechnerinternen Modells

Es ist zweckmäßig, diesen Prozeß an Hand zweier typischer Beispiele zu demonstrieren. Weiterhin soll nur die Generierung der Koinzidenzmatrix MTOPO und der Koordinatenmatrix MXYZ beschrieben werden, da diese Aufgaben besonders aufwendig und fehleranfällig bei einer manuellen Aufbereitung sind. Zum zweiten kann der richtige Aufbau dieser beiden Matrizen durch Zeichensoftware sinnvoll kontrolliert werden, wie nachfolgend beschrieben wird.

Die erste Substruktur ist ein Quader, die zweite ein dickwandiger Hohlzylinder. Beide sollen in Hexaederelemente mit 20 Knoten (Bild 1) zerlegt werden.

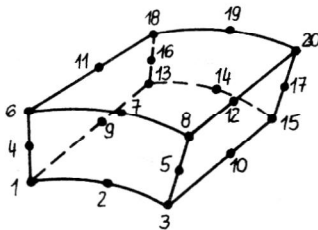


Bild 1
Hexaederelement HK 60 des Elementkataloges EK 1

Die Strukturen, Quader und Hohlzylinder, sind durch zahlreiche andere Grundkörper, Standardstrukturen genannt, noch ergänzt worden. Sie sind in einem Strukturkatalog zusammengefaßt worden. Mit Hilfe dieses Kataloges, der laufend erweitert und den Erfordernissen der Praxis angepaßt wird, ist es dem Nutzer mit geringem Aufwand möglich, seine realen Bauteile zu modellieren. Die hier vorgestellten beiden besonders einfachen Grundkörper dienen nur zur Demonstration der Wichtigkeit der Aufgabe des Aufbaus von speziellen Datengeneratoren für Standardkörper.

Der Quader soll in 12 HK 60 Elemente, der Hohlzylinder in 44 eingeteilt werden. Dem würden beim Quader 111 Knoten entsprechen. Eingegeben werden müßten jedoch $12 \cdot 20 = 240$ Zahlen, da zu jedem Element die zugehörigen Knotennummern angegeben werden müssen (Bild 2).

Für den Hohlzylinder sind es 330 Knoten, denen dann $48 \cdot 20 = 960$ einzugebende Zahlen entsprechen (Bild 3).

Für beide Strukturen sind daher Subroutinen erarbeitet worden, die in beiden Fällen mit jeweils nur drei Eingabedaten die komplette Matrix MTOPO aufbauen. Für die Generierung der Matrizen MXYZ sind bei manueller Eingabe für jeden Knoten drei Koordinaten einzulesen. Das wären 333 beziehungsweise 720 Zahlen vom Typ „real“, die berechnet und eingegeben werden müßten. Mit einer speziellen Subroutine kann die Zahl der Eingabewerte auf 14, beziehungsweise auf

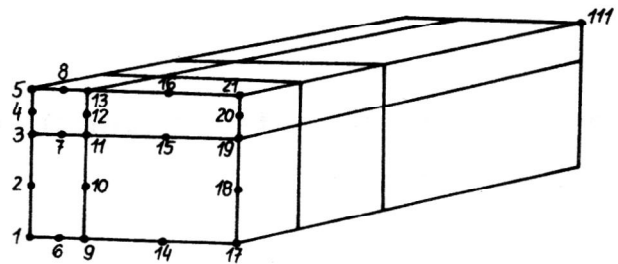


Bild 2
Vernetzter Quader (12 Hexaederelemente)

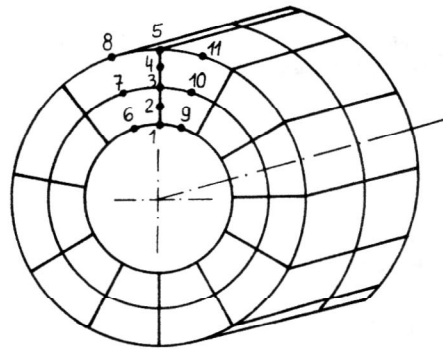


Bild 3
Vernetzter Hohlzylinder (44 Hexaederelemente)

12 beim Hohlzylinder verringert werden. Die kleinere Zahl beim Hohlzylinder resultiert aus der Tatsache, daß in Umfangsrichtung nur zwei Elementfamilien (gleiche Bogenlänge) vorhanden sind.

Ähnlich nutzerfreundlich sind auch weitere Subroutinen für andere Substrukturtypen und die anderen Matrizen geschrieben.

3. Die grafische Datenkontrolle

3.1. Der Hauptprozessor FEGRAP im Programmsystem COSAR

Zur Kontrolle der bei einer Finite-Element-Rechnung umfangreich vorhandenen und berechneten Daten wurde eine spezielle Software entwickelt. FEGRAP (Finite-Elemente-Grafik) ist ein System von Algorithmen und Verfahren, die auf eine gemeinsame Datenstruktur zurückgreifen [5]. Dadurch sind diese mehr als 100 Module untereinander voll kompatibel. Sie lassen sich in folgende Funktionsklassen unterteilen:

1. organisatorische Module
2. numerische Module
3. Module zur Aktivierung des grafischen Ausgabegerätes
4. Anpassungsmodule
5. Testhilfen

Der Steuermodul gestattet dem Anwender, sich aus der Vielzahl der angebotenen Module mittels einer einfachen Eingabesprache eine Rechenstrategie zu gestalten. Häufig verwendete Strategien lassen sich als

„Standardfolgen“ abspeichern und sehr einfach und bequem aktivieren. Die organisatorischen Module umfassen z. B. Dateneingabe von Steuerparametern und Verarbeitungsgrößen, Bereitstellung von Daten aus dem FEM-Programm, Realisierung von Sprüngen im Rechenablauf und anderes mehr. Zu den numerischen Modulen zählen die Algorithmen für grafische Operationen wie z. B. Transformationen der Punkte, Schnittalgorithmen, Visibilitätsalgorithmen oder auch Hilfsoperationen wie z. B. Bestimmung von Extremwerten. Das grafische Ausgabegerät wird über eine Basissoftware aktiviert.

Anpassungsmodule sind dafür entwickelt worden, daß Rechnungen mit FEM-Programmen, die nicht die COSAR-Datenverwaltung FEDAM haben, auch grafisch kontrolliert und ausgewertet werden können [6]. Die Testhilfen haben sich besonders beim Einfahren von FEGRAF sowie den Anpassungen bewährt.

3.2. Die Darstellung des generierten FE-Netzes

Neben den Verfahren zur Erzeugung von Schriftfeldern, Texteintragungen und Bemassungen, liegt der Schwerpunkt natürlich in der Darstellung des generierten Netzes, den Randbedingungen und Belastungen sowie der Ergebnisse. Für die Darstellung der generierten Daten wurden verschiedene Verfahren untersucht und mit dem Hauptprozessor FEGRAF unter praktischen Bedingungen getestet. Dabei wurde auf eine übersichtliche und objektbezogene Darstellung geachtet. Bei der Darstellung des FE-Netzes im dreidimensionalen Fall hat sich der vollständige Visibilitätstest als unpraktisch erwiesen. Aus diesem Grund wurde für FEGRAF ein dreistufiger Visibilitätstest entwickelt. Er gliedert sich wie folgt:

1. Darstellung des Oberflächennetzes (auch des für den Betrachter unsichtbaren)
2. Darstellung der Körperkanten und Lichtkanten.
Analog zu 1. werden auch hier die unsichtbaren Linien dargestellt.
3. Darstellung der Körperkanten und Lichtkanten mit Aussonderung der für den Betrachter unsichtbaren Linien (herkömmlicher Visibilitätstest)

Folgendes sei dazu noch zu bemerken. Jede Stufe des Visibilitätstestes kann für sich allein aktiviert werden. Will man jedoch ein Gebilde darstellen, wie es z. B. die dritte Stufe erzeugt, sollten vorher die erste und zweite Stufe aktiviert werden. Diese Vorgehensweise ist mit erheblichen Rechenzeiteinsparungen verbunden.

Die eindeutig bessere Variante zur Darstellung des generierten Netzes stellen Stereoskopie und Anaglyphenverfahren dar. Der Vorteil besteht in der vollständigen Darstellung des generierten Netzes bzw. von Teilnetzen, die bei der Anwendung von Schnitten oder Visibilitätstests entstehen. Dabei sei vor allem auf die Möglichkeit der Messung von Koordinaten in drei Dimensionen bei der Stereoskopie hingewiesen.

3.3. Plotterzeichnungen

Die in Bild 2 und 3 vorgestellten Substrukturen wurden mit dem Programmpaket FEGRAF weiter bearbeitet. Um einen Eindruck von der Leistungsfähigkeit dieses Prozessors zu vermitteln, wurden die nachstehenden Zeichnungen erstellt:

schräge Parallelprojektion (Bild 4 und Bild 5) ohne Visibilitätstest und Kennzeichnung externer Knoten,

schräge Parallelprojektion und Visibilitätstest (Stufe 1) (Bild 6 und Bild 7),

Anaglyphenbild des Quaders ohne Visibilitätstest (das reale Bild ist zweifarbig (rot-blau) und vermittelt bei Betrachtung durch eine entsprechende Brille einen ausgezeichneten räumlichen Eindruck).

Alle Zeichnungen können auch gleichfalls mit Kennzeichnung der Knoten (Punkte oder anderen Symbole) und Eintragung der Knoten- und Elementnummern durch Änderung eines Parameters erhalten werden.

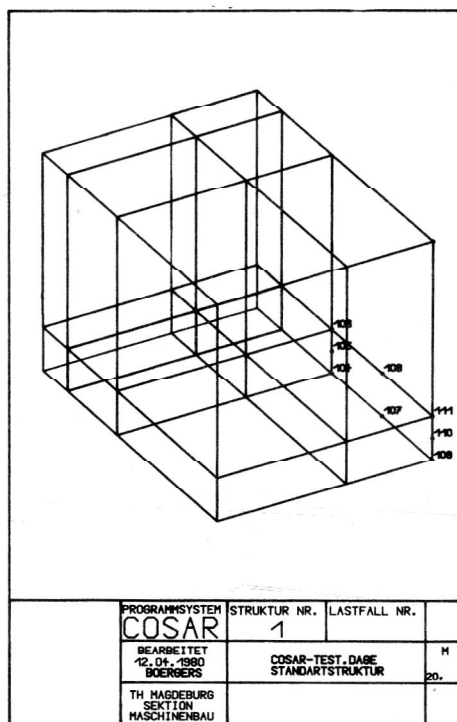


Bild 4
Plotterzeichnung – Standardstruktur Quader mit Markierung der externen Knoten

4. Zusammenfassung

Rationelle und anwenderfreundliche Programmsysteme zur Berechnung räumlicher Bauteile erfordern spezielle Prozessoren zur Datengenerierung und Kontrolle. Wie gezeigt wurde, kann die Zahl der Eingabedaten durch Anwendung geeigneter Unterprogramme für geometrisch einfache Strukturen drastisch gesenkt werden. Darunter kann man auch häufig zu berechnende Bauteile (Kolben für Verbrennungsmotore) einordnen.

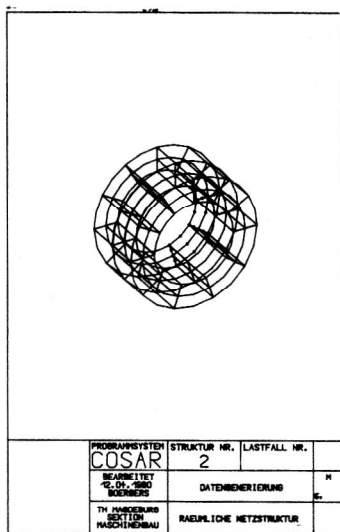


Bild 5
Plotterzeichnung – Standardstruktur
Hohlzylinder als Glaskörpermodell

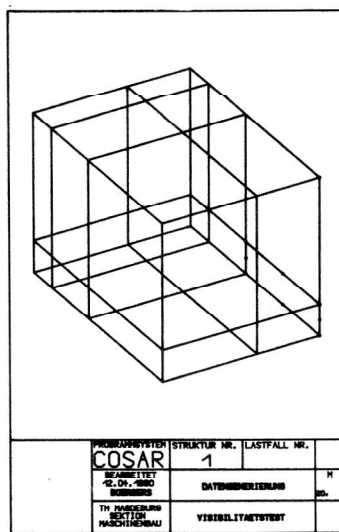


Bild 6
Plotterzeichnung – Standardstruktur
Quader (Oberflächennetz)

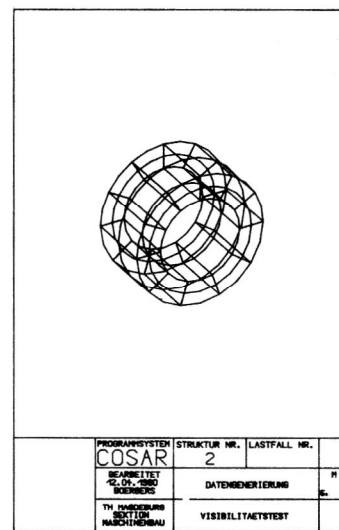


Bild 7
Plotterzeichnung – Standardstruktur
Hohlzylinder (Oberflächennetz)

Eine vielseitige Datenkontrolle ist auf graphischem Wege einfach möglich. Die rein optische Kontrolle der Plotterzeichnung des Netzes unter Ausnutzung der möglichen Varianten gestattet es, eine Entscheidung über Richtigkeit und Brauchbarkeit des Netzes, der Lagerung und Belastung des Systems zu fällen.

- [5] Börgers, H., Börgers, M.: FEGRAP, ein Programmsystem zur grafischen Kontrolle und Auswertung von Berechnungen nach der Methode der finiten Elemente. Anwenderhandbuch – TH Magdeburg 1979.
- [6] Börgers, H., Börgers, M.: FEGRAP ein Programmsystem zur grafischen Kontrolle und Auswertung von Berechnungen nach der Methode der finiten Elemente. Bedienerhandbuch – TH Magdeburg 1979.

LITERATUR:

- [1] Dankert, J., Gabbert, U.: Programmsystem COSAR – Projektstudien, TH Magdeburg 1975.
- [2] Dankert, J., Gabbert, U.: Eine Konzeption für ein 3DFinite-Elemente-Programmsystem. IKM Weimar 1975, in: Berichte des VII. IKM, Berlin 1975.
- [3] Dankert, J., Gabbert, U.: Grundlagen des Programmsystems COSAR. Tagung Festkörpermechanik, Festigkeitslehre und Materialverhalten, Band A, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1976.
- [4] Horeschi, H.: Probleme, Aufgaben und Grundpreisprinzipien des Datengenerators für das Programmsystem COSAR. Berichte der Tagung „Wiss.-techn. Berechnung und ihre Anwendung in der industriellen Praxis“, Vratna Dolina (CSSR), September 1977.

Anschrift der Verfasser:
Dipl.-Ing. Michael Boergers,
Dr.-Ing. Helmut Horeschi
Technische Hochschule Otto von Guericke
Sektion Maschinenbau
301 Magdeburg,
Bierutplatz 5