

Entwicklung kleinrechnerorientierter Pre- und Postprozessorsysteme im Rahmen des COSAR-Projektes

Harald Berger

1. Einleitung

Mit dem im Wissenschaftsbereich Festkörpermechanik der Technischen Universität „Otto von Guericke“ Magdeburg entwickelten universellen FEM-Programmsystem COSAR wird ein modernes multivalent einsetzbares Hilfsmittel für den Berechnungsingenieur bereitgestellt [1], [2]. Seine Einsatzhäufigkeit wird neben der Anwendungsbreite hinsichtlich der lösbaren Aufgabenstellungen wesentlich von der Nutzerfreundlichkeit bestimmt.

Bei der Konzeption von COSAR wurde deshalb darauf geachtet, daß parallel zur Erarbeitung des FEM-Kerns die Entwicklung von Prozessoren zur automatischen Datengenerierung, Netzkontrolle und Ergebnisdarstellung erfolgt. Der streng modulare Aufbau des Systems liefert dabei günstige Voraussetzungen für die Einbindung derartiger Prozessoren.

Es läßt sich eine funktionelle Gliederung des Systems in die drei Teile

- Datengenerator + Grafikprozessor (Preprozessor)
- FEM-Prozessor
- Ergebnisausgabe + Grafikprozessor (Postprozessor)

vornehmen.

Die drei Teile stellen relativ selbständige Einheiten dar und können dadurch unabhängig voneinander bearbeitet und weiterentwickelt werden.

Bis etwa 1982 erfolgte die Entwicklung der COSAR-Pre- und Postprozessoren ausschließlich auf der Grundlage der ESER-Großrechen-technik. Aufbau und Nutzung waren damit auf Stapelverarbeitung orientiert und die Grafikstrecke war ausschließlich auf Zeichentischausgaben gerichtet.

Mit der Verfügbarkeit dezentraler Kleinrechen-technik mit grafischer Peripherie eröffnen sich neue Formen bei der Nutzung des Programmsystems COSAR für ingenieurmäßige Berechnungsaufgaben.

Pre- und Postprozeß werden in zunehmendem Maße auf die Kleinrechen-technik verlagert. Dialogarbeit und interaktive Grafik ermöglichen dabei dem Anwender eine sehr nahe Kommunikation mit dem System und gewährleisten eine erhebliche Effektivitätssteigerung bei der Nutzung des Programms.

2. Formen der Einbeziehung der Kleinrechen-technik

Bei der bisherigen ausschließlichen Nutzung der Großrechenanlage wird zunächst die Eingabedatei erstellt (z. B. auf Lochkarte oder Magnetband), und im Stapelbetrieb werden nacheinander die drei Hauptprozessoren abgearbeitet. Definierte Programmunterbrechungsstellen und die Eingabe entsprechender Programmsteuerpara-

meter gewährleisten dabei allerdings, daß die Gesamt-rechnung in mehreren Schritten erfolgen kann. Die Kopplung der Prozessoren erfolgt über ein definiertes rechnerinternes Datenmodell [1], [3].

Bei der Nutzung der Kleinrechen-technik ergeben sich in Abhängigkeit von ihrer Leistungsfähigkeit (vgl. Abschnitt 3.1.) verschiedene Formen für die Aufgabenabarbeitung. In der Minimalform kann der Kleinrechner dazu genutzt werden, eine dialoggeführte Erzeugung der Eingabedatei durchzuführen. Bei entsprechender Leistungsfähigkeit können Pre- und Postprozeß vollständig auf dem Kleinrechner erfolgen. Weiterhin ist für Aufgaben kleineren Umfangs u. U. eine vollständige Abarbeitung des Problems auf dem Kleinrechner möglich. Bei der Lösung von Aufgaben größeren Umfangs, insbesondere von 3D-Problemem, wird der FEM-Prozeß allerdings nach wie vor der Großrechenanlage vorbehalten bleiben.

Die gegenwärtigen Entwicklungsarbeiten am COSAR-Projekt tragen diesen unterschiedlichen Formen der Aufgabenabarbeitung Rechnung.

Der Einsatz unterschiedlicher Rechner erfordert zugleich Überlegungen zu geeigneten Schnittstellen zwischen den einzelnen Prozessoren.

Im Gegensatz zur Abarbeitung aller drei Prozessoren auf dem gleichen Rechner müssen jetzt Datenmodelle verwendet werden, die eine rechnerunabhängige Organisation aufweisen. Dabei bietet sich an, die Schnittstelle so neutral aufzubauen, daß auch ohne Probleme eine Kopplung mit anderen FEM-Systemen bzw. Pre- und Postprozessorsystemen möglich ist.

Unter derartigen Gesichtspunkten wurde die neutrale FEM-Datenschnittstelle FEMDAS entwickelt [4]. Im Rahmen des COSAR-Projekts werden deshalb die einzelnen Prozessoren mit FEMDAS-Adaptoren ausgerüstet.

Bild 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Bearbeitungsmöglichkeiten einer Aufgabenstellung mit COSAR unter Einbeziehung unterschiedlicher Rechner und Berücksichtigung entsprechender Schnittstellen. Der linke Teil des Bildes spiegelt die bisherige Bearbeitungsform unter ausschließlicher Verwendung des Großrechners wider. Der rechte Bildteil stellt die geplante Form des dreiteiligen Gesamtprozesses dar, wobei der FEM-Prozeß in Abhängigkeit vom Aufgabenumfang auf Groß- oder Kleinrechner durchgeführt werden kann. Gleichzeitig wird die Möglichkeit der Kopplung mit einem CAD-System angedeutet. Der mittlere Teil des Bildes veranschaulicht die gegenwärtig verfügbaren Bearbeitungsmöglichkeiten unter Einbeziehung der Kleinrechen-technik. FEDIAG stellt dabei einen Programmzweig dar, der eine dialoggeführte Netzkontrolle und Ergebnisdarstellung am Grafikbildschirm ermöglicht (siehe dazu Abschnitt 4.2.).

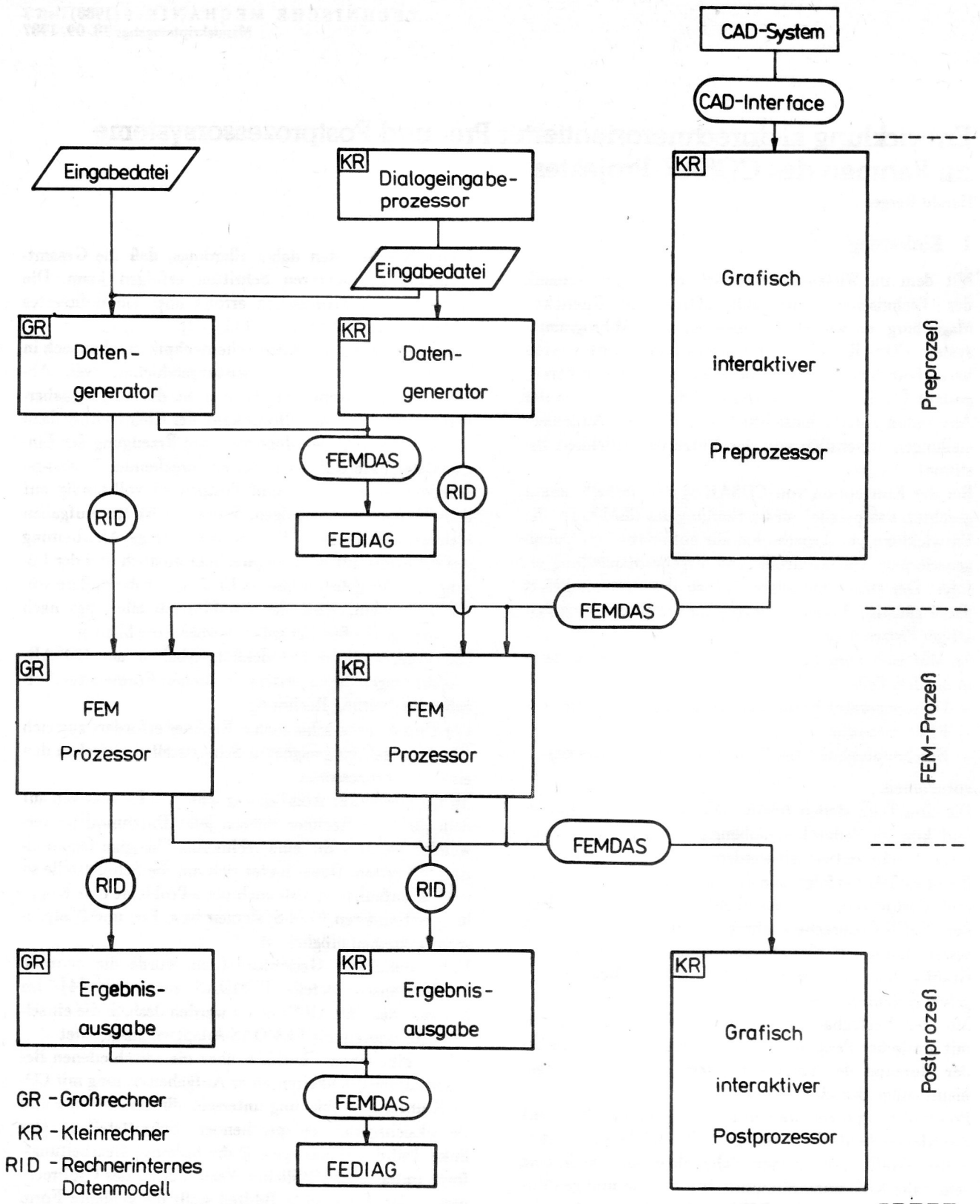


Bild 1
 Bearbeitungsformen einer Aufgabenstellung mit COSAR

3. Hard- und softwaremäßige Voraussetzungen

3.1. Anforderungen an die Gerätetechnik

Dem Begriff Kleinrechentchnik lassen sich Rechnertypen sehr differenzierter Leistungsfähigkeit zuordnen. Bei der Entwicklung effizienter Pre- und Postprozessoren für universelle Programmsysteme wie COSAR müssen aber bestimmte Anforderungen an die Gerätetechnik gestellt werden. Dabei spielen vor allem solche Kriterien eine Rolle wie Verarbeitungsbreite (8 Bit, 16 Bit, 32 Bit), Rechengeschwindigkeit, Hauptspeichergröße, Verfügbarkeit externer Massenspeicher mit schnellem Zugriff (z. B. Magnetplatten), Leistungsfähigkeit des Grafikbildschirms (Auflösungsvermögen, monochromatisch oder Farbbildschirm), Verfügbarkeit eines Digitalisiergerätes, Verfügbarkeit eines Plotters u. ä.

Bisherige Erfahrungen haben gezeigt, daß für interaktive grafische Prozesse, die für anspruchsvolle Pre- und Postprozessoren unumgänglich sind, mindestens 16-Bit-Rechner mit leistungsfähiger grafischer Peripherie erforderlich sind. Für die Entwicklung von Postprozessoren, die effektive Ergebnisdarstellungen auch für dreidimensionale FEM-Modelle zulassen, sind darüber hinaus Farbbildschirme wünschenswert.

Die Erarbeitung umfassender Pre- und Postprozessoren im Rahmen des COSAR-Projekts ist deshalb auf Gerätetechnik dieser Leistungsfähigkeit orientiert.

3.2. Anforderungen an die Grafikgrundsoftware

Die Ansteuerung der einzelnen grafischen Ein- und Ausgabegeräte (Digitalisiertablett, Grafikbildschirm, Plotter) erfolgt über spezielle Befehlsstrukturen, die gerätespezifisch sind und sehr unterschiedlichen Aufbau haben. Um grafische Anwendersoftware portabel zu gestalten, ist es notwendig, auf eine Grafikschnittstelle zurückzugreifen, die eine neutrale Benutzeroberfläche bietet. D. h., die grafischen Grundelemente (Linie und Linienattribute, Text und Textattribute usw.) werden durch eine vereinheitlichte Schnittstelle (Unterprogramme mit definierter Funktion und definierten Parametern) vom Anwenderprogramm aktiviert.

Die auf dieser Schnittstelle basierende Grafikgrundsoftware übernimmt dann die Umwandlung der grafischen Grundfunktionen in die entsprechenden Befehlsstrukturen für die einzelnen grafischen Geräte.

Das Grafische Kernsystem (GKS) stellt eine solche einheitliche Grafikschnittstelle dar [5], [6]. Es hat inzwischen international einen großen Verbreitungsgrad erfahren, wurde zum ISO-Standard erhoben und soll auch in der DDR die wesentliche Grundlage für grafische Anwendersoftware bilden. Ziel ist deshalb, die verfügbare grafische Gerätetechnik schrittweise mit der GKS-Schnittstelle auszurüsten.

Erfahrungen bei der Entwicklung von Anwendersoftware im Rahmen des Pre- und Postprocessing für FEM-Probleme haben dabei gezeigt, daß es günstig ist, nicht auf den vollen Umfang des GKS-Standards zu reflektieren, sondern mit einem sogenannten Subset zu arbeiten, was die unbedingt notwendigen grafischen Grundelemente beinhaltet. Dadurch ergeben sich verschiedene Vorteile, wie z. B. leichte Nachrüstbarkeit grafischer Geräte mit

diesem GKS-Subset, Voraussetzung einer relativ niedrigen Eigenintelligenz der grafischen Geräte, weniger Rechenoperationen und dadurch schnellere grafische Darstellung.

Als notwendige grafische Grundfunktionen haben sich erwiesen:

- Definition eines Windows in Benutzerkoordinaten (Festlegung des Ausschnittes aus dem Benutzerkoordinatensystem, der das darzustellende Objekt enthält)
- Definition der Abbildungsfläche (Viewport) auf dem Bildschirm bzw. der Zeichenfläche (Das Window wird auf den Viewport abgebildet.)
- Darstellung einer Linie bzw. eines Linienzuges und Zuordnung von Attributen (Linienart, Linienfarbe usw.)
- Darstellung von Text und Zuordnung von Attributen (Zeichenbreite, Zeichenhöhe usw.)
- Koordinatenaufnahme mit Hilfe eines Fadenkreuzes am Grafikbildschirm bzw. Digitalisiertablett

4. Konzeption und Realisierungsstand

Entsprechend den Ausführungen im Abschnitt 2. besteht die allgemeine Zielstellung darin, umfassende Pre- und Postprozessoren auf der Basis einer interaktiven Arbeitsweise zu entwickeln.

Der Preprozessor soll dabei dem universellen Charakter des Programmsystems Rechnung tragen und auf der Grundlage der bewährten Standardstrukturtechnik [7] arbeiten. D. h., die im Datengenerator von COSAR implementierten Netzgeneratoren werden im wesentlichen beibehalten, jedoch durch interaktive Manipulationsmöglichkeiten ergänzt.

Folgende wesentliche Funktionen müssen vom Preprozessor realisiert werden können:

- dialoggeführte Eingabe von Daten am Bildschirm
- menüfeldorientierte Programmsteuerung
- Aufnahme von Daten über Digitalisiertablett
- interaktive Netzgenerierung am Grafikbildschirm
- interaktive Zuordnung von Daten zur Beschreibung des FEM-Modells (Belastungen, Randbedingungen, Material u. ä.)
- umfassende Darstellungsmöglichkeiten, insbesondere für 3D-FEM-Modelle (beliebige Ansichten, Ausschnitte u. a.)

Der Postprozessor muß in der Lage sein, alle in COSAR verfügbaren Modell- und Aufgabenklassen einer effektiven Ergebnisdarstellung und -auswertung zugänglich zu machen. Dabei müssen folgende wesentliche Funktionen realisierbar sein:

- umfassende Darstellungsmöglichkeiten insbesondere für 3D-FEM-Modelle
- übersichtliche Ergebniseintragungen in das FEM-Modell in grafischer Form (Farbgrafik, Schnittführungen u. ä.)
- Möglichkeiten der Überlagerung und Selektierung von Ergebnissen
- Dokumentation der Ergebnisse in alphanumerischer und grafischer Form

Ausgehend von diesen Zielstellungen wurden bereits ausgewählte Funktionen realisiert und stehen als selbständige Programmteile zur Nachnutzung zur Verfügung. Dazu gehören:

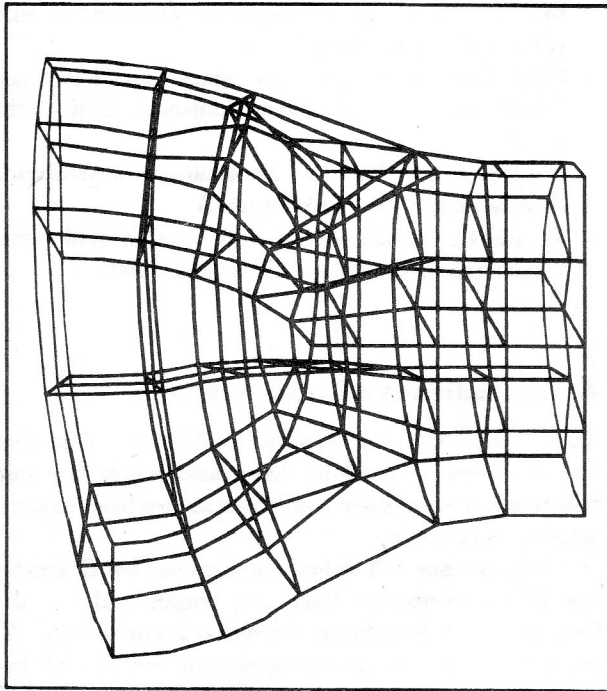
- Erstellung der COSAR-Eingabedatei im Bildschirm-dialog
- dialoggeführte Netzkontrolle am Grafikbildschirm für 3D- und 2D-FEM-Modelle

- dialoggeführte Darstellung von Ergebnisgrößen am Grafikbildschirm für 3D- und 2D-FEM-Modelle

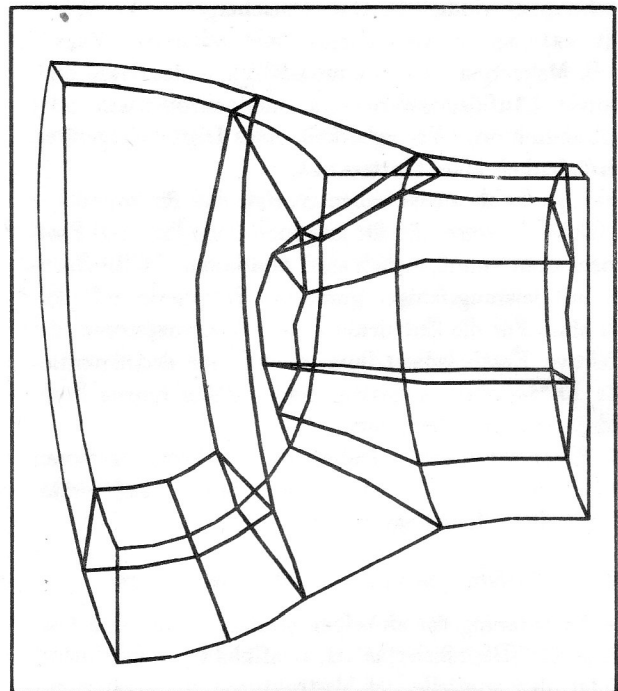
Die letzten beiden Funktionen werden durch den Prozessor FEDIAG realisiert.

Bild 1 verdeutlicht die Einordnung dieser Teilprozessoren in den Gesamtbearbeitungsprozess (mittlerer und linker Bildteil).

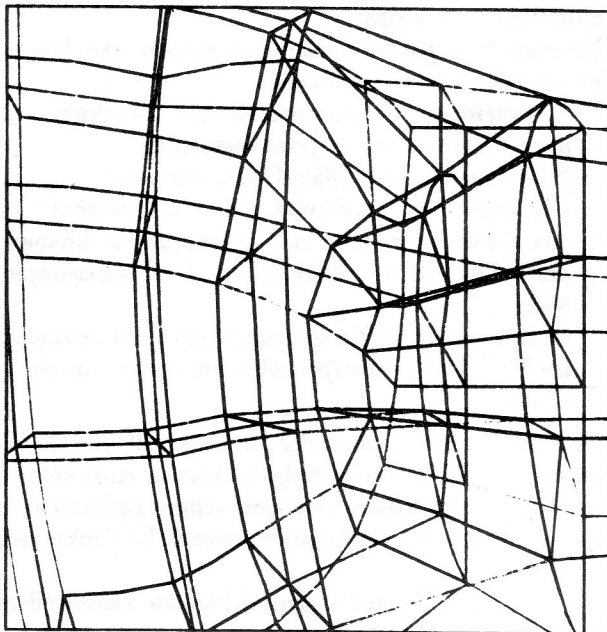
Im folgenden wird auf diese Prozessoren näher eingegangen.



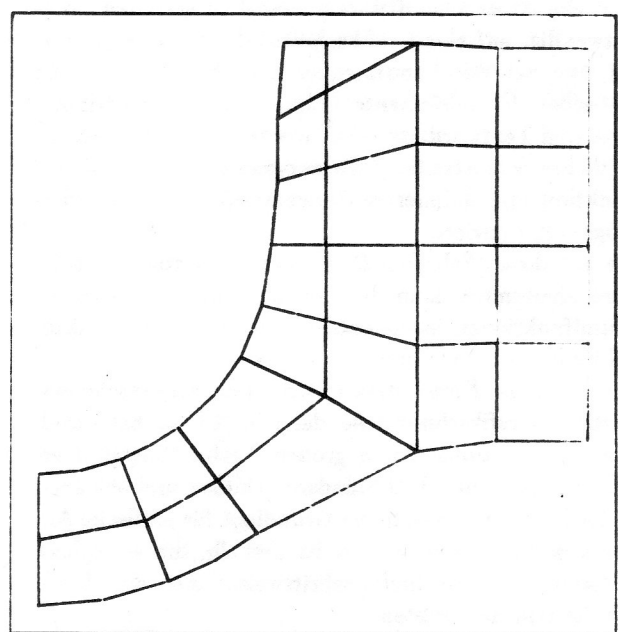
a)



b)



c)



d)

Bild 2
Darstellungsvarianten am Beispiel eines Netzes aus mehreren Strukturen

- a) Glaskörperdarstellung
- b) Konturen der Strukturen
- c) Ausschnittvergrößerung am projizierten Bild
- d) Schnittdarstellung durch Definition eines Ausschnittquaders

4.1. Dialogorientierte Eingabedateierstellung

Bei der Lösung einer Aufgabe mit Hilfe der FEM muß der Anwender zunächst das FEM-Modell erarbeiten (Vernetzung, Belastungseintragung, Randbedingungseintragung, Materialzuordnung usw.) und anschließend die für die Rechnung notwendigen Daten entsprechend der Eingabevorschrift aufbereiten. Aus den aufbereiteten Daten wird dann z. B. mit einem Editorprogramm die Eingabedatei erstellt. Durch eine dialoggesteuerte Eingabedateierzeugung kann der Prozeß der Dateneingabe wesentlich effektiviert werden.

Das für COSAR entwickelte Dialogeingabeprogramm ermöglicht die Erstellung der Eingabedatei im unmittelbaren Bildschirmdialog. Dabei wird der Anwender schrittweise geführt. Das Dialogprogramm verlangt zunächst übergeordnete Daten und fordert davon ausgehend die weiteren Daten ab.

Auf diese Weise können Folgedaten weder vergessen noch doppelt eingegeben werden. Durch Bildschirmausschriften erhält der Nutzer Informationen über Art und Anzahl der abgeforderten Daten. Dabei kann die gewünschte Informationsmenge in zwei Stufen gewählt werden.

Das Programm bietet darüber hinaus die Möglichkeit, bestehende Eingabedateien zielgerichtet zu ergänzen oder zu korrigieren. Es wurde auf dem Kleinrechner K 1630 entwickelt und ist ohne Probleme auf andere Rechner entsprechender Leistungsfähigkeit übertragbar.

4.2. Dialoggeführte grafische Netzkontrolle

Mit dem Programm FEDIAG können die mit Hilfe des Datengenerators erzeugten FEM-Netze am Grafikbildschirm in vielfältiger Weise kontrolliert werden. Durch Implementation der neutralen Datenschnittstelle FEM-DAS ist FEDIAG auch für beliebige andere FEM-Programme nutzbar. Es können alle gebräuchlichen finiten Elemente verarbeitet werden.

Die Auswahl der verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten zur Netzkontrolle erfolgt über eine Dialogführung. Im einzelnen sind folgende Varianten vorgesehen:

- Darstellung des Netzes als Glaskörpermodell
- Darstellung des vollständigen Oberflächennetzes
- Darstellung der Netzkontur
- Darstellung einzelner Elemente
- Darstellung eines Netzausschnittes durch Vorgabe eines Ausschnittquaders
- Vergrößerung eines Abschnittes am projizierten Bild
- Numerierung von Knoten
- Darstellung des Netzes in beliebigen Ansichten

Die Abbildung des Netzes als Glaskörpermodell liefert bei komplizierten räumlichen Vernetzungen im allgemeinen eine verwirrende Vielzahl von Linien, ist andererseits aber notwendig, um auch das Netzzinnere zu überprüfen. Um mehr Transparenz zu erhalten, sind Netzausschnittdarstellungen erforderlich bis hin zur separaten Abbildung einzelner Elemente. Durch Betrachtung des Netzes in verschiedenen Ansichten läßt sich so detailweise eine umfassende Kontrolle durchführen.

Die beiden Varianten der Netzausschnittdarstellung bieten dabei unterschiedliche Möglichkeiten. Durch Festle-

gung eines räumlichen Ausschnittquaders können ganz bestimmte Partien aus dem Netz ausgekoppelt werden. Von besonderem Vorteil erweist sich dabei, daß sich dadurch auch definierte Schnitte darstellen lassen (vgl. Bild 2d).

Bei der zweiten Variante wird dagegen von dem bereits projizierten Bild ausgegangen. Es wird ein Ausschnittrechteck mit Hilfe der Fadenkreuzfunktion festgelegt und der so definierte Ausschnitt wird auf die verfügbare Bildschirmfläche vergrößert (vgl. Bild 2c). Das kann gegebenenfalls in mehreren Stufen erfolgen und entspricht somit dem sogenannten Zoomen des Bildes.

Um einen besseren optischen Gesamteindruck von dem FEM-Netz zu erhalten, wäre die Elimination aller nicht sichtbaren Linien erforderlich, d. h. das sichtbare Oberflächennetz ist darzustellen. Derartige Eliminationsalgorithmen führen jedoch bei praktischen 3D-Modellen auf der gegenwärtig verfügbaren Kleinrechner-technik (auch höherer Leistungsfähigkeit) zu erheblichen Rechenzeiten und lassen keinen sinnvollen Dialogbetrieb mehr zu. Ihre Anwendung eignet sich gut zur Erzeugung von Bildern für Dokumentationszwecke, weniger jedoch für die dialoggeführte Netzkontrolle.

In FEDIAG wurden dagegen zwei Spezialalgorithmen implementiert, die einerseits einen besseren Gesamteindruck vom FEM-Modell liefern als die Glaskörperdarstellung, andererseits aber nicht mehr Rechenzeit benötigen. Das sind die Darstellung des Oberflächennetzes (vgl. Bild 3b) und die Darstellung der Netzkontur (vgl. Bilder 2b und 3c), wobei sich die Kontur jeweils auf eine Substruktur bezieht. Zur Erzeugung der gewünschten Ansicht muß der Nutzer entsprechende Parameter eingeben. Prinzipiell gibt es zwei wesentliche Möglichkeiten, struktur bezieht.

Zur Erzeugung der gewünschten Ansicht muß der Nutzer entsprechende Parameter eingeben. Prinzipiell gibt es zwei wesentliche Möglichkeiten, eine bestimmte Ansicht zu definieren:

- a) Es wird die Lage des Sehstrahls des Betrachters bezogen auf das Netzkoordinatensystem angegeben.
- b) Das Netz wird gegenüber einem feststehenden Betrachterkoordinatensystem um eine oder mehrere Achsen gedreht.

In FEDIAG wurde von der zweiten Variante Gebrauch gemacht. Dabei wird mit Parallelprojektion gearbeitet, die sich für Netzkontrollzwecke als am günstigsten erwiesen hat, da parallele Netzlinien auch auf dem projizierten Bild parallel erscheinen. Geht man davon aus, daß im Ausgangszustand die Bildschirmfläche die x_1 - x_2 -Ebene des räumlichen Netzkoordinatensystems x_1, x_2, x_3 darstellt, so muß zur Erzeugung perspektivischer Bilder das Netz mit Winkeln ungleich 90° oder 180° um die Koordinatenachsen gedreht werden. Dann entsteht jedoch ein perspektivisches Bild, in dem alle Koordinatenebenen verzerrt erscheinen (Bild 4a). Für Kontrollzwecke erweist es sich aber günstig, daß eine Koordinatenebene unverzerrt abgebildet wird und die perspektivische Wirkung durch schräge Projektion der zu dieser Koordinatenebene senkrecht stehenden Achse erzielt wird (Bild 4b). Diese Darstellung entspricht auch der Vorgehensweise, wie sie im allgemeinen bei der manuel-

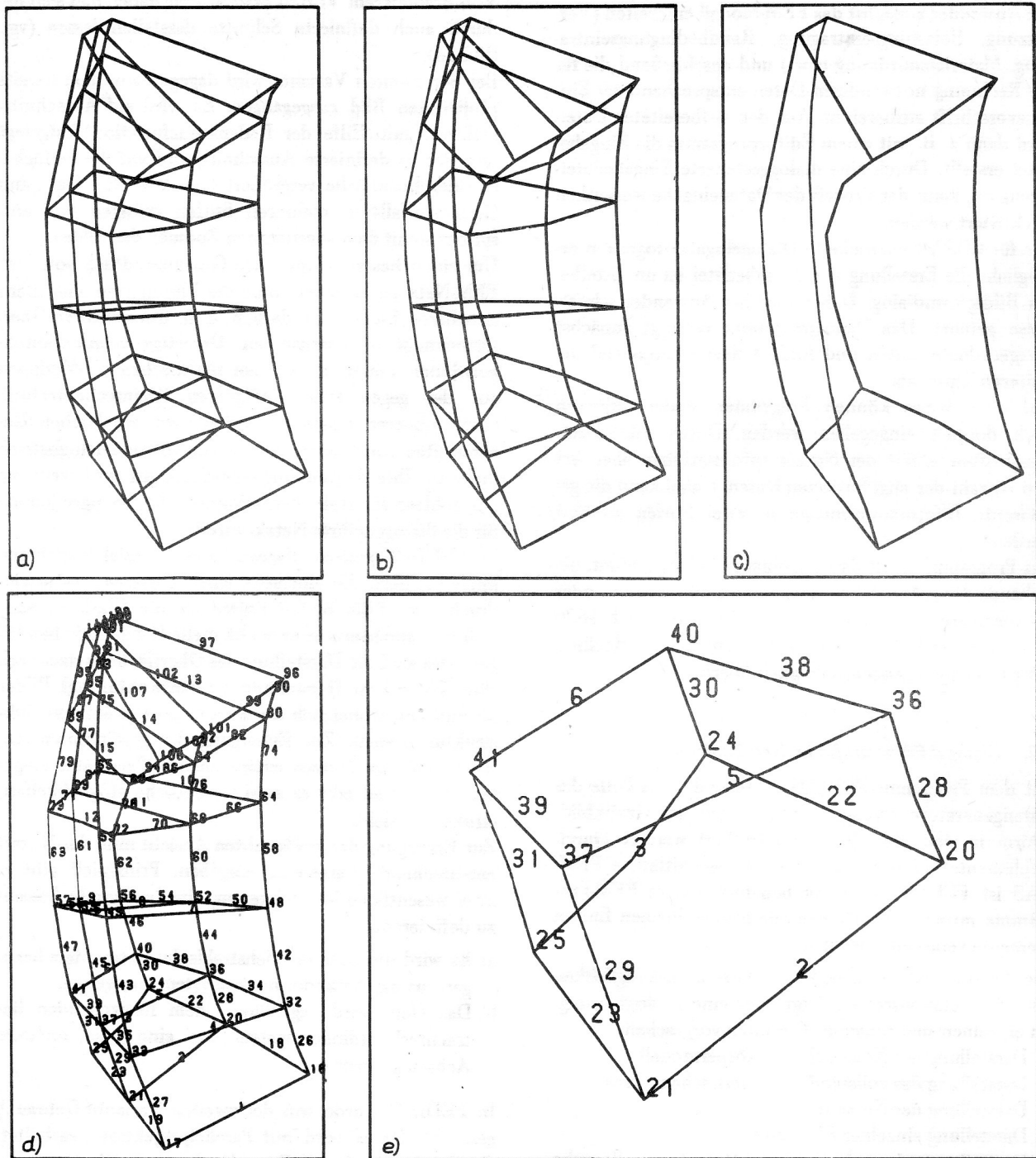


Bild 3
 Darstellungsvarianten am Beispiel einer Struktur
 a) Glaskörperdarstellung
 b) Oberflächennetz
 c) Netzkontur
 d) Numerierung der Knoten
 e) Auskopplung eines Elementes

len Erstellung von räumlichen Netzzeichnungen für die Datenaufbereitung verwendet wird. D. h., man geht von einer Koordinatenebene aus und fixiert die Tiefenachse in irgendeiner Schräglage. Bild 4b verdeutlicht das an der üblichen perspektivischen Darstellung eines Würfels. Vorder- und hintere Fläche werden unverzerrt gezeichnet, die Perspektive wird durch schrägliegende Tiefenlinien

erreicht. Durch unterschiedliche Schräglage der Tiefenlinien läßt sich außerdem eine Betrachtung des Bildes von rechts oben, links oben, rechts unten usw. simulieren (vgl. Bild 5).
 In FEDIAG wurde die Möglichkeit eingeräumt, der Tiefenachse eine beliebige Schräglage zuzuordnen. In Verbindung mit Drehungen des Netzkoordinatensystems um $\pm 90^\circ$ bzw. $\pm 180^\circ$ gegenüber der Ausgangslage kann der Anwender genau die Darstellungen erzeugen, die seinen Vernetzungsskizzen entsprechen, und damit sehr gut das generierte Netz auf Richtigkeit überprüfen. Bild 5 vermittelt an einem einfachen Beispiel einen Eindruck von den erzeugbaren Ansichten durch Vorgabe der Projek-

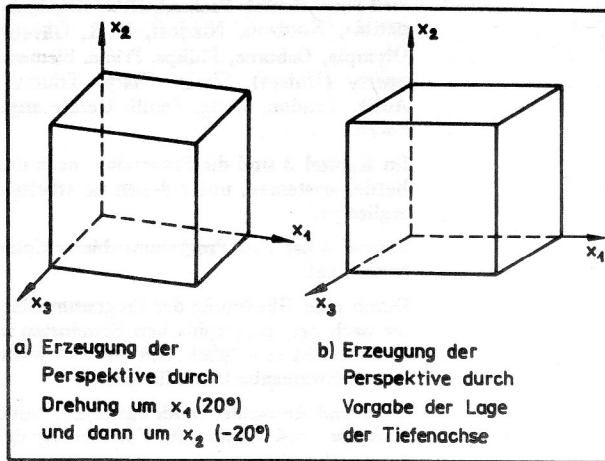


Bild 4
Möglichkeiten der Erzeugung einer perspektivischen Darstellung am Beispiel eines Würfels

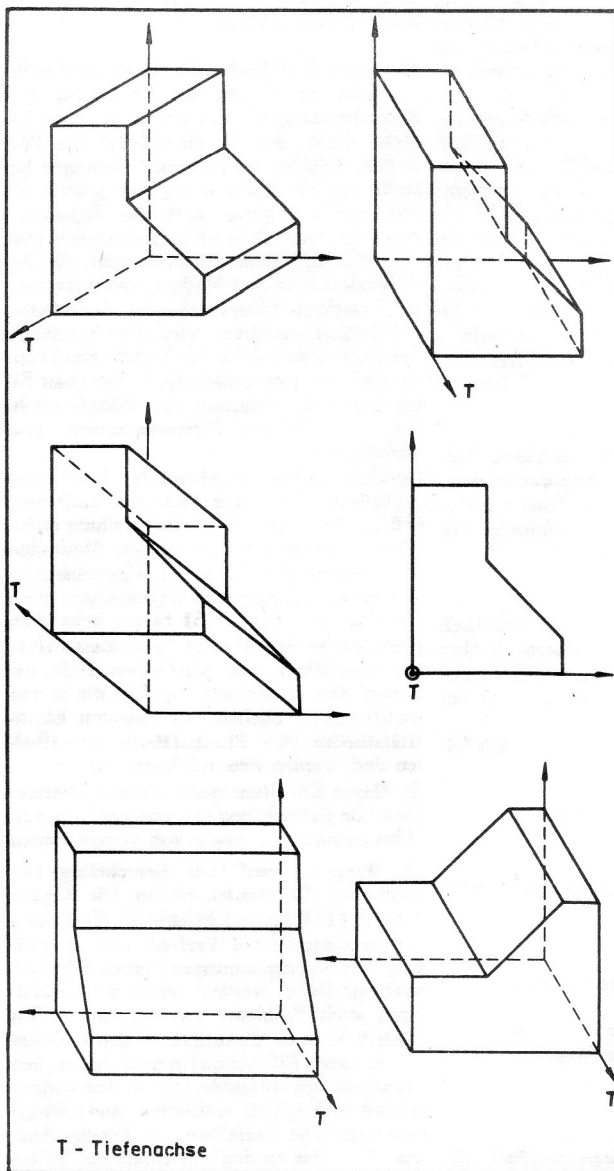


Bild 5
Erzeugung verschiedener Ansichten durch unterschiedliche Projektion der Tiefenachse und durch Drehung

tion der Tiefenachse und der Drehung des Netzes um Koordinatenachsen. Als Sonderfall kann die Tiefenachse zu einem Punkt degenerieren, wodurch Frontalansichten entstehen (z. B. Vorderansicht, Seitenansicht usw.).

Um die Netzbilder zu dokumentieren, kann der Anwender vor jeder Bildschirmlöschung die Erzeugung eines Bildfiles veranlassen, mit dem in einem separaten Prozess eine Plotterzeichnung angefertigt werden kann.

FEDIAG wurde auf 16-Bit-Rechentechnik entwickelt und bereits erfolgreich auf Rechnern unterschiedlicher Typen und mit unterschiedlicher grafischer Gerätetechnik implementiert. Da bei der Erarbeitung konsequent auf die in Abschnitt 3.2. angegebenen grafischen Grundfunktionen auf der Basis des GKS-Formates orientiert wurde, war die Übertragung relativ problemlos möglich.

4.3. Dialoggeführte grafische Ergebnisdarstellung

Da für grafische Ergebnisdarstellungen die Abbildung des FEM-Netzes eine wesentliche Grundlage bildet, wurde FEDIAG durch einige Möglichkeiten der Ergebnisdarstellung erweitert.

Im einzelnen wurden folgende Varianten realisiert:

- Darstellung des verformten Netzes separat oder über dem unverformten Netz für Glaskörpermodell, Oberflächenmodell oder Konturmodell
- Darstellung von verschiedenfarbigen Niveauflächen für Temperaturen oder ausgewählte Spannungskomponenten auf dem sichtbaren Oberflächennetz

Dabei können, wie im Abschnitt 4.2. beschrieben, beliebige Ansichten und Ausschnitte dargestellt werden. Bei Niveaufächendarstellung erfolgt über eine Farbskala eine quantitative Zuordnung der Ergebnisgrößen.

5. Zusammenfassung

Am Anfang des Beitrages wird die Zielstellung bei der Pre- und Postprozessorentwicklung im Rahmen des COSAR-Projektes dargestellt. Dabei wird auf die notwendigen hard- und softwaremäßigen Voraussetzungen hingewiesen.

Die Erfüllung der gesteckten Ziele bedeutet einen hohen Arbeitsaufwand und erfordert entsprechende Entwicklungszeiten. Durch stufenweise Erarbeitung einzelner Teilprozessoren konnten jedoch relativ schnell nachnutzbare Programme bereitgestellt werden, die die Einbeziehung der Kleinrechentechnik bei der Anwendung des Programmsystems COSAR ermöglichen und bereits eine wesentlich effektivere Problembearbeitung zulassen. Gleichzeitig wurde z. B. mit dem Dialogeingabeprogramm erreicht, auch Kleinrechentechnik sinnvoll einzubeziehen, die nicht die Leistungsfähigkeit besitzt, wie sie für umfassende Pre- und Postprozessoren erforderlich ist.

LITERATUR

- [1] Gabbert, U., Berger, H., Zehn, M., Fels, D.: Universelles FEM-Programmsystem COSAR – Übersicht über den nachnutzbaren Leistungsumfang. Maschinenbautechnik Berlin 34 (1985), Heft 8, S. 352 – 356.
- [2] Gabbert, U., Berger, H.: Universelles FEM-Programmsystem COSAR – Erfahrungen bei der industriellen Applikation. Wiss. Zeitschrift der TH Magdeburg 30 (1986), Heft 7, S. 90 – 101.

- [3] Autorenkollektiv: Finite Elemente in der Festkörpermechanik. VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1982.
- [4] Gabbert, U., Berger, H.: Die FEM-Datenschnittstelle FEMDAS – Entwurf für einen DDR-Standard. Standardisierung und Qualität 33 (1987), Heft 3, S. 87 – 90.
- [5] Enderle, G., Kansy, K., Pfaff, G.: Computer Graphic Programming GKS – The Graphics Standard. Springer-Verlag Berlin u. a., 1983.
- [6] TGL 4410/01: Grafisches Kernsystem GKS 2-D, 1987.
- [7] Horeschi, H.: Die Generierung des rechnerinternen Modells von Finite-Elemente-Programmsystemen. TH Magdeburg, Diss. B, 1985.