

COSAR – Ein bewährtes System für die Forschung und Praxis

Ulrich Gabbert, Johannes Altenbach

1. Einleitung

Das universelle Finite-Elemente-Programmsystem COSAR (COmputer System for Analysis and Research) ist eine Eigenentwicklung des Wissenschaftsbereiches Festkörpermechanik und dem dazugehörigen Methodisch-Diagnostischen Zentrum „Finite Elemente“ der Technischen Universität „Otto von Guericke“ Magdeburg. Mit der Entwicklung wurde das Ziel verfolgt, ein Softwareprodukt zu schaffen, das sowohl für die industrielle Applikation als auch für die Durchführung wissenschaftlicher Arbeiten geeignet ist. Eine Übersicht über den für die industrielle Applikation einsetzbaren Leistungsumfang enthält das Bild 1.

Die Arbeiten am COSAR-System wurden im Jahre 1975 begonnen. Im Jahre 1980 erfolgte die Erstinstallation des Fachsystems COSAR-Elastostatik (zunächst nur für 3D-Aufgaben) in der Industrie. Die rasche Weiterentwicklung führte dazu, daß im Jahre 1984 ein COSAR-System in die industrielle Nutzung überführt werden konnte, das die elastostatische, elastodynamische und thermische Strukturanalyse unter Verwendung der klassischen Modelle der Mechanik (Balken, Scheibe, Rotationskörper, Platte, Schale, Vollkörper) und unter Berücksichtigung der technisch wichtigsten Belastungen, Rand- und Lagerungsbedingungen ermöglichte. Diese ausführlich dokumentierte Version hat eine weite Verbreitung in der Industrie der DDR erfahren.

Auch in der Folgezeit wurde der systematische Ausbau des COSAR-Systems fortgesetzt. Neben der weiteren fachwissenschaftlichen Qualifizierung des Systems standen dabei insbesondere die Installation des Systems auf unterschiedlichen 16- und 32-Bit-Rechnern und die Arbeiten auf dem Gebiet des interaktiven, grafikorientierten Pre- und Postprocessing im Vordergrund.

Die Entwicklung des COSAR-Systems erfolgte bisher ausschließlich im Rahmen eines Universitätsbereiches in enger Verbindung von Forschung und Lehre. Die praktizierte Einheit von Grundlagenforschung und angewandter Forschung, Softwareentwicklung und -anwendung ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, daß die Entwicklergruppe in der Lage ist, das System dem internationalen Fortschritt auf dem Fachgebiet entsprechend weiterzuentwickeln, kurzfristig Adaptionen zur Lösung neuer Aufgaben vorzunehmen und dabei eigene wissenschaftliche Beiträge zu leisten.

Dieser Entwicklungslinie entsprechend wird im vorliegenden Beitrag zunächst im Abschnitt 2 ein Überblick über den Leistungsumfang der aktuellen COSAR-Vertriebsversion 3.02 gegeben und auf realisierte Weiterentwicklungen und Verbesserungen hingewiesen. Auf einige Schwerpunkte der fachwissenschaftlichen Arbeiten im Zusammenhang mit dem COSAR-Projekt wird im Abschnitt 3 eingegangen.

C O S A R (Computer System for Analysis and Research)			
FACHSYSTEME			
	Statik	Dynamik	Temperaturfeld
Inhalt	Verschiebungs- u. Spannungsberechnung Stabilität Bruchmechanik	Eigenschwingungen stationäre Schwingungen transiente Schwingungen	stationäre Temperaturverteilung instationäre Temperaturverteilung
Modelle	Stäbe, Balken, Scheiben, Platten, Rotationskörper, Schalen, Vollkörper (3D), Kopplung von Modellen, Substrukturtechnik (mehrstufig)		
Materialeigenschaften	linear (isotrop, anisotrop) nichtlinear (Verschiebungs- und Spannungsberechnung bei elast.-plast. Materialverhalten)	linear (isotrop, anisotrop)	linear (isotrop, anisotrop) nichtlinear (zeit- und temperaturabhängig)
Ergebnisse	Verschiebungen, Spannungen, Verzweigungslasten, K-Faktoren	Eigenfrequenzen und -vektoren, Verschiebungen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen,	Temperaturverteilungen
Kopplungen			

Bild 1
Übersicht über den Leistungsumfang des universellen FEM-Systems COSAR

Für die Anwendung der FEM ist die Koppelung des eigentlichen Analysesystems mit leistungsfähigen Pre- und Postprozessoren und die Einbindung in den CAD-Prozeß von besonderer Bedeutung. Derartige flexible Koppelungen lassen sich sehr effektiv über standardisierte Datenschnittstellen realisieren. Dieser Problemkreis wird im Abschnitt 4 behandelt.

Für den potentiellen Nutzer ist es wichtig zu wissen, daß die COSAR-Vertriebsversion jeweils den umfassend getesteten und dokumentierten und damit unabhängig von der Entwicklergruppe einsetzbaren Leistungsumfang des Systems enthält. Die COSAR-Entwicklungsversionen gehen über diesen Leistungsumfang weit hinaus; eine Nutzung dieses Potentials ist jedoch nur im Zusammenwirken mit der Entwicklergruppe auf der Grundlage gesonderter Vereinbarungen möglich.

Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, im Rahmen von Forschungsvereinbarungen das System speziellen Kundenwünschen entsprechend weiterzuentwickeln.

Der Vertrieb, die Pflege und die Wartung des COSAR-Systems erfolgt durch die FEMCOS GmbH Magdeburg.

2. Kurzcharakteristik des Leistungsumfangs von COSAR

(Vertriebsversion 3.02)

2.1. Systemübersicht

COSAR besteht aus folgenden wesentlichen Systemkomponenten:

- Systemkern
- Fachsystem Elastostatik

Tabelle 1

Übersicht über den Elementkatalog von COSAR

- E,D - Fachsystem Elastostatik, Dynamik
- T - Fachsystem Temperatur
- n - Zahl der Elementknoten
- ieltyp - Elementtypindikator

Element	E,D	T	n	ieltyp
Dreidimensionale Modelle				
HEXAEDER	HK60	HK20	20	301
ANVIL	AK54	HK18	18	302
PENTAEDER	PK45	HK15	15	303
WEDGE	WK39	HK13	13	304
CHISEL	CK36	HK12	12	305
TETRAEDER	TK30	HK10	10	306
VIERECK-MEMBRAN	RKM24	RKM8	8	201
DREIECK-MEMBRAN	DKM18	DKM6	6	202
MEMBRAN-STAB-3D	SKM9	SKM3	3	101
HEXAEDER-JOIN 4	HK99	HK33	33	363
HEXAEDER-JOIN 2	HK75	HK25	25	364
HEXAEDER-JOIN 1	HK66	HK22	22	365

- Fachsystem Dynamik
- Fachsystem Temperaturfeld- und Potentialprobleme
- Pre- und Postprozessorbauweise

2.2. Programmiersprache, Hardware

Programmiersprache: FORTRAN 77

Hardware: 32-Bit-Rechner (z. B. VAX, SIEMENS, K1840)
16-Bit-Rechner (z. B. IBM-AT und kompatible PC's, EGA- und VGA-Karte)

Die Einbindung der grafischen Peripherie erfolgt im Rahmen von COSAR auf der Grundlage der standardisierten Grafikschnittstelle GKS, d. h., alle Geräte, für die eine GKS-Implementierung vorliegt, können verwendet werden. Darüber hinaus werden vom Entwickler für ausgewählte Gerätekonfigurationen GKS-Simulationspakete bereitgestellt (siehe Teil VI der Nutzerhandbücher [1]). Eine UNIX-Version des COSAR-Systems ist verfügbar.

2.3. Leistungsumfang der Systemkomponenten

2.3.1. Allgemeine Eigenschaften

- Es stehen topologisch und geometrisch einheitliche Elementkataloge für alle Fachsysteme mit bewährten Elementen (siehe Tabelle 1) für folgende Modelle der Mechanik zur Verfügung:

1D: Stäbe, Balken, Stabschalen

2D: Scheiben, Rotationskörper

2,5D: Platten, Faltwerke, Schalen

3D: Vollkörper

Es werden überwiegend isoparametrische Elemente mit Eck- und Seitenmittenknoten angeboten. Die Elemente sind teilweise miteinander koppelbar (z. B. Vollkörper/Schalen, Rotationskörper/Rotationsschalen, Balken/Schalen). Für die 2D- und 3D-Elementgruppen sind spezielle Elemente für Netzverfeinerungen vorhanden.

Scheiben und Rotationskörper				
VIERECK-SCHEIBE	SRK16	SRK8	8	222
DREIECK-SCHEIBE	SDK12	SDK6	6	221
MEMBRAN-STAB-2D	SKM6	SKM3	3	102
VIERECK-SCHEIBE-JOIN 2	SRK24	SRK12	12	262
VIERECK-SCHEIBE-JOIN 1	SRK20	SRK10	10	261
VIERECK-RING	RRK16	RRK8	8	224
DREIECK-RING	RDK12	RDK6	6	223
MEMBRAN-RING	RKM6	RKM3	3	104
VIERECK-RING-JOIN 2	RRK24	RRK12	12	264
VIERECK-RING-JOIN 1	RRK20	RRK10	10	263
RING-SCHALE-MINDLIN	RKS6	-	2	131
Platten und Schalen				
VIERECK-AHMAD-PLATTE	PDRK24	-	8	226
DREIECK-AHMAD-PLATTE	PDDK18	-	6	225
VIERECK-AHMAD-SCHALE	SDRK40	-	8	228
DREIECK-AHMAD-SCHALE	SDDK30	-	6	227
VIERECK-SEMILOOF-PLATTE	SLRK16	-	8	256
DREIECK-SEMILOOF-PLATTE	SLDK12	-	6	255
VIERECK-SEMILOOF-SCHALE	SLRK32	-	8	258
DREIECK-SEMILOOF-SCHALE	SLDK24	-	6	257
VIERECK-SEMILOOF-TEMPERATUR	-	SLRK16	8	258
DREIECK-SEMILOOF-TEMPERATUR	-	SLDK12	6	257
Balkentragwerke				
BALKEN-3D	BR12	-	2	111
BALKEN-2D	BE6	-	2	121
FACHWERK-STAB-3D	SR6	-	2	112
FACHWERK-STAB-2D	SE4	-	2	123
GITTERROST-2D	GE6	-	2	122
VLASOV-STAB-GERADE	VSS14	-	2	161
VLASOV-STAB-GEKRÜMMT	VSS21	-	3	162
SEMILOOF-BALKEN-3D	SLBK17	-	3	158

- Es ist eine mehrstufige Substruktur-/Superelement-technik und die Anwendung von „Copy“-Strukturen möglich.
- Es steht ein Katalog von Standardstrukturen zur automatischen Vernetzung topologisch und geometrisch regelmäßiger Substrukturen zur Verfügung.
- Wiederanlaufstrategien bei modifizierten Lasten und Substrukturen ermöglichen eine effektive Problemlösung.

2.3.2. Systemkern

Zum Systemkern gehören:

- die Dateneingabe, die im freien Format über eine sequentielle Eingabedatei entsprechend der Eingabevorschrift [1]) erfolgt,

- das Data-Management-System (virtuelles, FEM-spezifisches Speicherkonzept), das die Arbeit in kleinen (mindestens 640 KByte) oder beliebig großen Operativspeicherpartitions ermöglicht,
- ein Fehlerdiagnosesystem und eine Programmablaufverfolgung, die die Fehlersuche und die Kontrolle der Programmabarbeitung erleichtern,
- die numerischen Lösungsverfahren,
- die Ergebnisausgabe in Form aufbereiteter Listen,
- die Ablaufsteuerung einschließlich Wiederanlauf- und Datensicherungsstrategien.

2.3.3. Fachsystem Elastostatik – COSAR/ELAS

Separat nutzbare Bausteine:

- ELAS-1D: Stäbe, Balken
- ELAS-2D: Scheiben und Rotationskörper
- ELAS-2,5D: Schalen, Platten
- ELAS-3D: Vollkörper

Wesentliche Leistungen:

- Inhalt: Verformungs- und Spannungsrechnung auf der Grundlage der linearen Elastizitätstheorie
- Material: isotrop, beliebig anisotrop, Elastizitätsmodul, Querkontraktionszahl, Dichte, Wärmeausdehnungskoeffizient können struktur- und elementweise veränderlich sein
- Belastung: Einzelkräfte und -momente, Linien- und Flächenlasten, Volumenlasten (Fliehkraft, Eigengewicht), Temperatur
- Randbedingungen: verhinderte und vorgeschriebene Verschiebungen (gegebenenfalls Verdrehungen) an Knotenpunkten, allgemeine Zwangsbedingungen, elastische Lagerungen, Sektorsymmetrie
- Ergebnisse: Verschiebungen an den Knotenpunkten, Spannungen (gegebenenfalls Schnittgrößen) an den Knotenpunkten und den Gausspunkten
- Besonderheiten: Übernahme von Temperaturverteilungen aus Temperaturfeldberechnungen mittels COSAR/TEMP, Übernahme von Verschiebungswerten an vorgegebenen Zeitpunkten aus dynamischen Berechnungen mittels COSAR/DYNA und Berechnung der zugehörigen Spannungsverteilungen

2.3.4. Fachsystem Dynamik – COSAR/DYNA

Separat nutzbare Bausteine:

- DYNA-1D: Stäbe, Balken
- DYNA-2D: Scheiben und Rotationskörper
- DYNA-2,5D: Schalen, Platten
- DYNA-3D: kompakte Körper

Wesentliche Leistungen:

- Inhalt:
 - Eigenschwingungen: Eigenfrequenzen und -vektoren
 - stationäre Schwingungen: periodische oder harmonische Kraft- bzw. Wegerregung, Berechnung der Amplituden und der zeitabhängigen Verschiebungen, Überlagerung verschiedener dynamischer Lastfälle zu bestimmten Zeitpunkten, Berechnung der

Spannungen zu bestimmten Zeiten

- transiente Schwingungen: beliebige deterministische Kraft- bzw. Wegerregung, Zeitintegration mit expliziten oder impliziten Verfahren (direkt oder modal), Ermittlung der Verschiebungen und Spannungen zu bestimmten Zeitpunkten
- segmentsymmetrische Bauteile: aufwärtsreduzierte Berechnung freier und stationärer Schwingungen für segmentsymmetrische Bauteile

Material: isotrop, beliebig anisotrop, Elastizitätsmodul, Querkontraktionszahl, Dichte, Wärmeausdehnungskoeffizient können struktur- und elementweise veränderlich sein

Dämpfung: kleine Dämpfungen, Rayleigh-Dämpfung, explizite Dämpferelemente

Belastung: Einzelkräfte und -momente, Linien- und Flächenlasten, Volumenlasten (Fliehkraft, Eigengewicht), Temperatur, zeitliche Veränderungen der Last durch Zeitfunktionen beschrieben (bei periodischen Schwingungen ist eine automatische Fourierentwicklung möglich)

Randbedingungen: verhinderte und vorgeschriebene Verschiebungen (gegebenenfalls Verdrehungen) an Knotenpunkten, allgemeine Zwangsbedingungen, elastische Lagerungen, Sektorsymmetrie, zusätzliche Punkt- und Drehmassen können als Starrkörperelemente behandelt werden.

2.3.5. Fachsystem Temperaturfeld – COSAR/TEMP

Separat nutzbare Bausteine:

- TEMP-1D, 2D: ein- und zweidimensionale Probleme (Stäbe, Scheiben, Rotationskörper)
- TEMP-2,5D: Schalen, Platten (2D-Probleme mit linearer Temperaturverteilung über die Dicke)
- TEMP-3D: kompakte Körper

Wesentliche Leistungen:

- inhalt: stationäre Berechnung von Temperaturverteilungen und anderen Feldgrößen, die durch eine der Wärmeleitungsgleichung äquivalente mathematische Beschreibung charakterisiert sind (z. B. Potentialströmungen)

Material:	isotrop, anisotrop, Wärmeleitfähigkeitszahl und Wärmekapazitätszahl temperaturabhängig
Belastung/ Randbedingung:	Wärmequellen, Wärmeströme, Wärmeübergänge, Strahlung, vorgeschriebene Temperaturen an Knotenpunkten, Zeit- bzw. Temperaturabhängigkeit kann berücksichtigt werden
Ergebnisse:	Knotentemperaturen, Temperatur-Zeitverhalten, Temperaturgradienten, Temperaturen an bestimmten Zeitschritten, Übernahme von Temperaturen zur Spannungsberechnung mittels COSAR/ELAS

2.3.6. Pre- und Postprozessorbausteine

Separat nutzbare Bausteine:

PREGRAF:	interaktive grafische Netzkontrolle
POSTGRAF:	interaktive grafische Ergebnisauswertung
PREPRO:	interaktiver grafischer Prozessor zur Modellerstellung

Die Bausteine bestehen aus weiteren selbständigen Programmen (Processoren), denen bestimmte Funktionen zugeordnet sind [6]. Die Processoren werden ständig erweitert und vervollkommen. Dabei wird darauf orientiert, besonders im Bereich der grafisch-interaktiven Modellerstellung auch andere leistungsfähige Preprozessoren einzusetzen. In COSAR kann die Kopplung mit solchen Processoren über die standardisierte FE-Datenschnittstelle FEMDAS gewährleistet werden (siehe Abschnitt 4).

Die folgende Zusammenstellung gibt einen Überblick über die für COSAR entwickelten Grafikprogramme und deren Funktionen.

Baustein	Prozessor	Funktion
PREPRO	PREPRO2D	Grafisch interaktive Generierung von ebenen Strukturen (Scheiben, Platten, Rotationskörper, ebene Schalenstrukturen) sowie interaktive Zuordnung von Lasten, Lagern und Materialwerten
	PREPRO25	Grafisch interaktive Generierung beliebig gekrümmter Schalenstrukturen
PREGRAF	PREGRA1	Netzkontrolle nach den verschiedensten Gesichtspunkten
	PREGRA2	Netzdarstellung mit Ausblendung verdeckter Linien als Liniengrafik
	PREGRA3	Netzdarstellung mit Ausblendung verdeckter Flächen als Farbflächengrafik
POSTGRAF	POSTGRA1	Darstellung des verformten Netzes mit wahlweiser Eintragung des unverformten Netzes
	POSTGRA2	Darstellung beliebiger Ergebniskomponenten mit Farbflächengrafik
	POSTGRA3	Darstellung beliebiger Ergebniskomponenten in Isolinienform

Die Programme sind für die Graficarbeitsplätze auf der Basis von 16- und 32-Bit-Rechnern konzipiert. Je nach Gerätekonfiguration kann getrennt mit alphanumerischem und grafischem Bildschirm (Zweibildschirmvariante) oder nur mit einem Grafikbildschirm (Einbildschirmvariante) gearbeitet werden.

Durch Verwendung der standardisierten Grafikschnittstelle GKS können alle Geräte eingesetzt werden, für die eine entsprechende GKS-Implementation vorliegt. Für ausgewählte Grafikadapter wird GKS-Simulationssoftware bereitgestellt, so daß keine gesonderte GKS-Implementation erforderlich ist.

Die Kommunikation zwischen den Grafikprogrammen und dem FE-System erfolgt über COSAR-spezifische Datenschnittstellen.

Der detaillierte Leistungsumfang der Grafikprogramme, die Anwendungsbeschreibung, konkrete Angaben zu den einsetzbaren Geräten und spezielle Installationshinweise befinden sich im COSAR-Nutzerhandbuch, Teil VI: „Grafische Pre- und Postprozessoren“ [1].

2.4. Installations- und Benutzungshinweise

Die Installation des COSAR-Systems auf einem Computer und wichtige Erläuterungen zu seiner menügesteuerten Nutzung sind ausführlich im Teil V der COSAR-Nutzerhandbücher dargestellt [1], so daß hier nur einige prinzipielle Erläuterungen erforderlich sind. Für Mikrocomputer wird das komplette System auf 5 1/4"-Disketten übergeben und mit Hilfe von mitgelieferten Installationsprogrammen auf dem Rechner des Nutzers installiert.

Die Nutzung des Systems erfolgt menügesteuert. Das Grundmenü zeigt Bild 2.

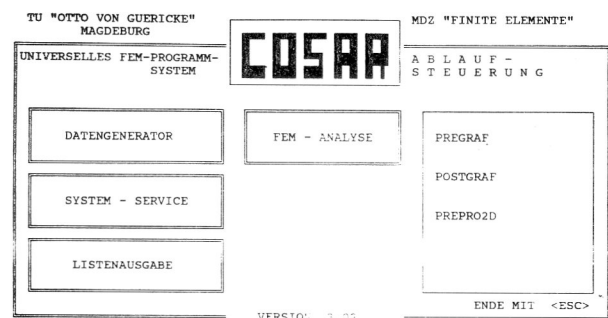


Bild 2
Ausgangsmenü des COSAR-Systems

Die Funktionsauswahl erfolgt über Cursor-Tasten, und es werden so schrittweise weitere Untermenüs aktiviert, die die vollständige Beschreibung der Problemlösung ermöglichen.

Die Abarbeitung einer Aufgabe vollzieht sich üblicherweise in der Reihenfolge DATENGENERIERUNG → FEM-ANALYSE → ERGEBNISAUSWERTUNG (GRAFIK-PROZESSOR und/oder LISTENAUSGABE). Dabei sind verschiedene Möglichkeiten des Unterbrechens und der Weiterführung der Bearbeitung einer Aufgabe vorgesehen.

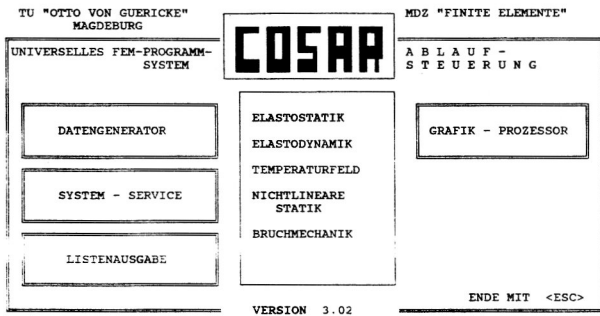


Bild 3
COSAR-Menü zur Auswahl des Fachsystems

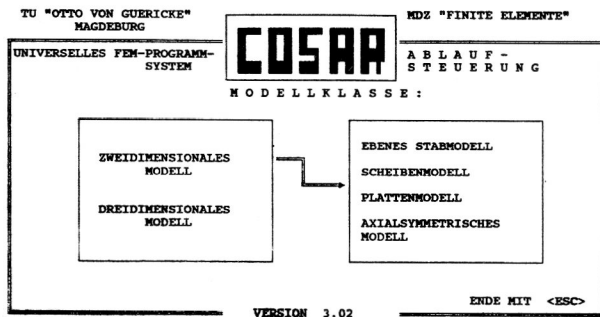


Bild 4
COSAR-Menü zur Auswahl der Modellklasse

Das Bild 3 zeigt das Untermenü, das nach der Aktivierung der FEM-ANALYSE im Grundmenü erscheint, und Bild 4 zeigt die Modellklassen, die bei der Auswahl des Fachsystems ELASTOSTATIK zur Verfügung stehen.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß durch die hier beschriebenen Auswahlmenüs die Ablaufsteuerung für das COSAR-System organisiert wird. Voraussetzung ist das Vorhandensein einer unabhängig erstellten Eingabedatei. Die Vorschrift zur Erstellung dieser Eingabedatei ist das Nutzerhandbuch Teil II [1].

Eine interaktive grafikunterstützte Netzgenerierung einschließlich der Zuordnung von Materialeigenschaften (zunächst Standardwerte), Belastungen und Randbedingungen ist im Rahmen der PREPRO-Programme zunächst für 2D-Modelle möglich. Ergebnis ist eine COSAR-Eingabedatei, die weiter editiert werden kann (Ergänzungen entsprechend der Eingabevorschrift).

2.5. Übersicht über die numerischen Verfahren

In den für die industrielle Applikation eingesetzten COSAR-Fachsystemen sind bewährte numerische Verfahren zur Lösung von linearen Gleichungssystemen, linearen Eigenwertproblemen, transienten dynamischen und thermischen Vorgängen und nichtlinearen Gleichungssystemen implementiert, die vor allem durch eine große Zuverlässigkeit und Robustheit gekennzeichnet sind.

Lineare Gleichungssysteme:

Block-Cholesky-Verfahren unter Nutzung der Skyline-Technik, d. h., die Verarbeitung von Nullblöcken wird unterdrückt

Lineare Eigenwertprobleme:

Subspace-Iteration in einer rechenzeiteffektiven Variante nach McCormik/Noe

Stationäre Schwingungen:

Lösung des Eigenwertproblems, Entkoppelung des Eigenwertproblems mittels der Modalmatrix und Lösung des entkoppelten Systems

Transiente Schwingungen:

Lösung mittels der modalen Technik sowie direkte Lösung des Matrixdifferentialgleichungssystems mittels Zeitintegration; dazu stehen die „Zentrale Differenzenmethode“, das „WILSON-THETA-Verfahren“ und das „NEWMARK-Verfahren“ zur Verfügung

Transiente thermische Probleme:

direkte Zeitintegration des Differentialgleichungssystems mittels „Einschritt-Theta-Verfahren“

Nichtlineare Gleichungssysteme:

Iterationstechniken auf der Grundlage des Newton-Raphson-Verfahrens (Standardverfahren und modifiziertes Verfahren); bei transienten Vorgängen wird eine inkrementelle Technik (Zerlegung der Last in Lastinkremente oder der Zeit in Zeitschritte) benutzt.

Wesentlich für alle in COSAR implementierten Verfahren ist, daß die großdimensionalen Matrizen und Vektoren in Submatrizen segmentiert werden, deren Verwaltung und Verarbeitung mit Hilfe des COSAR-Datenverwaltungssystems FEDAM (Finite-Element-Date-Management-System) erfolgt. Dadurch ist es ohne Probleme möglich, sowohl mit einem kleinen (Minimum ca. 600 KByte) als auch großen Hauptspeicher zu arbeiten, wobei bei einem kleinen Hauptspeicher durch den erforderlichen steigenden Datentransfer zum Externspeicher die Rechenzeit steigt.

2.6. Verbesserung und Weiterentwicklungen der Vertriebsversion

Gegenüber dem auf der 1. COSAR-Konferenz 1987 vorgestellten Leistungsumfang sind eine ganze Reihe von Verbesserungen und Weiterentwicklungen erfolgt, die bereits fester Bestandteil der Vertriebsversion 3.02 sind. Dazu gehören unter anderem Erweiterungen des Elementkataloges, Verbesserungen bezüglich der Nutzung der Substrukturtechnik und der Beschreibung von Externknoten, Verfügbarkeit eines Algorithmus zur internen Umnummerierung der Knotenpunkte mit dem Ziel der Bandweitenreduktion, Erweiterungen im Fachsystem Dynamik. Auf einige Erweiterungen wird nachfolgend kurz eingegangen.

2.6.1. Elementkatalog

Für 3D- und 2D-Modelle (Scheiben und Rotationskörper) stehen spezielle Übergangselemente zur Netzverfeinerung (JOIN-Elemente, siehe Tabelle 1) jetzt für alle Modellklassen zur Verfügung [7].

Für die Berechnung von rotationssymmetrischen Schalen wurde das RING-SCHALE-MINDLIN-Element implementiert. Das Element ist für elastostatische Berechnungen einsetzbar und berücksichtigt näherungsweise den Einfluß des Querkraftschubes.

Aus der Familie der Semiloof-Elemente stehen jetzt auch die entsprechenden Plattenelemente (Viereck und Dreieck) zur Verfügung. Zusätzlich wurden mit den Semiloofelementen kompatible „Temperaturelemente“ entwickelt [8] und in das Fachsystem COSAR/TEMP implementiert. Diese Elemente berücksichtigen eine lineare Temperaturverteilung über die Wanddicke und sind somit paßfähig zu den Semiloof-Elementen im Fachsystem COSAR/ELAS.

Für die Berechnung dünnwandiger stabartiger Konstruktionen wurden im Rahmen des COSAR-Projektes spezielle Vlasov-Stabelemente entwickelt und in die Vertriebsversion implementiert [9]. Diese Elemente ermöglichen die Berechnung von Konstruktionen mit

- offenem Querschnittsprofil und gerader Stabachse (VSS14, ieltyp= 161) und
- offenem und auch geschlossenem Querschnittsprofil und gerader oder eben gekrümmter Stabachse (VSS21, ieltyp= 162).

Bei Stäben mit Vollquerschnitt und dünnwandigen geschlossenen Profilen wird die Querschnittsverwölbung nicht berücksichtigt, d. h., es wird St. Vernantsche Torsion vorausgesetzt. Die Stabschalenelemente lassen sich mit Semiloof-Schalenelementen koppeln, so daß die modellierung dünnwandiger, durch Stabschalen versteifter Konstruktionen möglich ist. Dadurch wird der Vernetzungs- und vor allem der Berechnungsaufwand gegenüber einem reinen Schalenmodell wesentlich verringert, während unter Beachtung der entsprechenden Anwendungsbedingungen keine wesentlichen Abstriche an der Ergebnisqualität zu verzeichnen sind. Die Anwendung der Vlasov-Stabelemente setzt Spezialkenntnisse auf dem Gebiet der Torsionstheorie dünnwandiger Stäbe und der theoretischen Grundlagen (insbesondere der Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen) der entwickelten speziellen Stabschalenelemente voraus.

2.6.2. Automatische Substrukturbildung

Die Anwendung der Substrukturtechnik wurde durch folgende Maßnahmen deutlich verbessert:

- Die Externknoten müssen bei Nicht-Standardstrukturen nicht mehr die höchsten Knotennummern aufweisen. Es kann nachträglich die Definition der externen Knoten erfolgen.
- Die topologische Beschreibung der Hyperstruktur kann entfallen (in der Version 3.02 zunächst nur bei einer einstufigen Substrukturtechnik); die Hyperstruktur wird automatisch gebildet.

Die automatische Hyperstrukturbildung erfolgt so, daß für die an den einzelnen Substrukturen definierten Externkno-

ten ein Koordinatenvergleich durchgeführt wird. Es werden diejenigen Knoten in der Hyperstruktur „verschmolzen“, die im Rahmen eines Fangbereiches (kann vom Nutzer durch Eingabedaten modifiziert werden) identische Koordinaten haben.

Es entfällt somit die aufwendige topologische Beschreibung der Hyperstruktur.

2.6.3. Bandweitenreduktion

Durch die erweiterten Möglichkeiten der automatischen Netzverfeinerung, die Übernahme von „fremderzeugten“ FE-Netzen über die FEMDAS-Schnittstelle, den automatischen Aufbau der Hyperstrukturen und die Arbeiten zur adaptiven Netzverfeinerung muß davon ausgegangen werden, daß FE-Netze mit einer willkürlichen Knotenverfeinerung vorliegen. Um in diesen Fällen zu einer rechenzeit- und speichergünstigen Lösung zu gelangen, wurde den Analyseprozessoren ein Prozessor zur Bandweitenreduktion vorgelagert. Zunächst wurde ein einfaches graphentheoretisches Verfahren entwickelt, das im wesentlichen auf der klassischen Cuthill/McKee-Strategie basiert. Das Verfahren führt ausgehend von einer Menge von Starknoten auf direktem Weg zu einer internen Umnummerierung der lokalen Knoten einer Struktur. Die Vorgabe der Starknoten beeinflusst wesentlich die Qualität der Umnummerierung. Bei flächenhaften Strukturen mit einer im weitesten Sinne rechteckigen Grundstruktur, ist es zweckmäßig, alle Knoten auf der kürzesten Begrenzungslinie des Rechtecks vorzugeben; analog ist es bei dreidimensionalen Strukturen mit einer im weitesten Sinne quaderförmigen Grundstruktur zweckmäßig, alle Knoten auf der kleinsten Begrenzungsfläche vorzugeben.

Wesentlich für den Nutzer ist, daß alle intern erzeugten Knotennummern intern bleiben, d. h., der Nutzer bezieht sich bei seinen Eingaben stets auf die Ausgangsnummerierung.

2.6.4. Dynamik

Wesentliche Erweiterungen des Fachsystems COSAR/DYNA sind:

- Modellierung starrer Zusatzmassen durch ein „Starrkörperelement“ (Element 384)
- Berücksichtigung von Vorspannungen bei der Eigenschwingungsberechnung (Vorspannungen müssen vorab durch eine Berechnung im Fachsystem COSAR/ELAS bereitgestellt werden)
- Eine mehrstufige Substrukturtechnik ist jetzt auch für alle Aufgabenklassen der Dynamik einsetzbar
- Die zyklische Symmetrie eines Bauteils kann bei der Eigenschwingungsanalyse ausgenutzt werden. Durch Anwendung einer Fourier-Reihenentwicklung ist es möglich, die Eigenwerte und Eigenformen des gesamten Bauteils zu berechnen [10].

3. Ausgewählte Schwerpunkte der Weiterentwicklung des COSAR-Systems

3.1. Festigkeitsberechnungen unter Berücksichtigung elastisch-plastischen Materialverhaltens

Die Berücksichtigung elastisch-plastischen Materialverhaltens bei Festigkeitsberechnungen mit Hilfe der FEM gewinnt zunehmend außer im Forschungsbereich auch für viele Ingenieur Anwendungen an Bedeutung. Unter der Bezeichnung COSAR/N (nichtlinear) entsteht ein Fachsystem, das die Erfassung physikalischer und geometrischer Nichtlinearitäten erlaubt. COSAR/N ist als spezielles Programmpaket in das Gesamtsystem COSAR integriert. Dies bedeutet die Nutzung vorhandener und bewährter Teilprozessoren (Pre- und Postprocessing, Gleichungssystemlöser), der Substrukturtechnik und des vorhandenen Elementkataloges auch für nichtlineare Berechnungsaufgaben. COSAR/N berücksichtigt im Besonderen die Anforderungen typischer maschinenbautechnischer Problemstellungen. Das Materialverhalten kann elastoplastisch, viscoplastisch oder nichtlinear-elastisch sein. In der ersten Version von COSAR/N wird geometrisch lineares Verhalten vorausgesetzt. Die Lösungsstrategie beruht auf der inkrementell-interaktiven Vorgehensweise [11]. Die Belastung wird in Last- oder Zeitschritten aufgebracht. Der in jedem Schritt entstehende Gleichgewichtsfehler wird in einem Iterationsprozeß beseitigt. Zur Iteration stehen das Newton-Raphson-Verfahren in verschiedenen Modifikationen und die BFGS-Methode als ein Quasi-Newton-Verfahren zur Verfügung. Zur Vergrößerung der Konvergenzgeschwindigkeit sind speziell für das modifizierte Newton-Raphson-Verfahren (konstante Steifigkeitsmatrix) Beschleunigungsalgorithmen vorgesehen.

Die Vielfalt spezieller Materialgesetze in den verschiedenen Materialklassen macht eine einheitliche Erfassung der Deformationsgesetze in einer standardisierten Beschreibungsform wünschenswert. Daher wurde eine von Bergander [12] vorgeschlagene Standardformulierung für Deformationsgesetze in COSAR/N implementiert. Das hierfür abgeleitete Differentialgleichungssystem für die Spannungen, Dehnungen und die internen Materialparameter erlaubt einen relativ einfachen Austausch der materialbeschreibenden Routinen in COSAR/N.

In der jetzigen Bearbeitungsstufe liegt eine Version von COSAR/N vor, die die Erfassung von elastisch-plastischem Materialverhalten gestattet. Damit sind Berechnungen von ebenen, axialsymmetrischen und räumlichen Bauteilen mit den Elementen des COSAR-Elementkataloges möglich. Die Beschreibung der elastisch-plastischen Zusammenhänge erfolgt auf der Grundlage der Fließtheorie. Für den Fließ- und Verfestigungsbereich gelten die differentiellen Beziehungen nach Prandtl und Reuss. Die Fließbedingung zur Abgrenzung des elastischen vom plastischen Bereich hat die Form eines elliptischen Zylinders und gestattet die Erfassung wesentlicher Materialeffekte. Sie hat keine singulären Punkte und ist damit mathematisch relativ einfach zu handhaben. Als Sonderfall ist die Fließbedingung nach von Mises enthalten. Es können Materialgesetze mit kinematischer, isotroper und anisotroper Verfestigung nachgebildet werden.

Als ein wesentlicher Vorteil gegenüber einer großen Anzahl anderer FEM-Programme zur nichtlinearen Analyse hat sich die bewußte Nutzung der in COSAR möglichen Substrukturtechnik zur Gestaltung einer effektiven Abarbeitung herausgestellt. Eine oftmals schon bei der Modellierung des Problems mögliche Substrukturierung unter dem Gesichtspunkt „lineare“ und „nichtlineare“ Teilstrukturen kann unter Umständen zu einer erheblichen Rechenzeiteinsparung bei der Lösung führen, da sich der eigentliche nichtlineare Berechnungsprozeß dann nur auf die Substrukturen mit nichtlinearen Bereichen und die Hyperstruktur erstreckt.

3.2. Die Lösung gekoppelter Feldprobleme

Im Zusammenhang mit den Entwicklungsarbeiten am Fachsystem COSAR/N rücken verstärkt Aufgabenstellungen in den Blickpunkt, die durch eine mehr oder weniger starke Kopplung zwischen der Materialstruktur sowie thermischen und mechanischen Phänomenen charakterisiert sind (Bild 5).

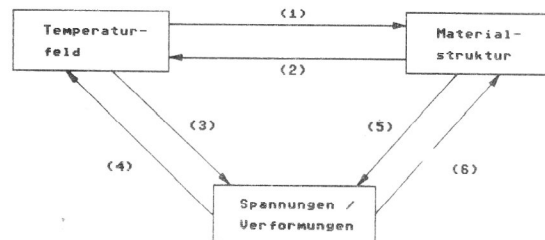


Bild 5

Wechselseitige Abhängigkeiten zwischen der Materialstruktur und thermischen und mechanischen Phänomenen

Die Analyse derartiger Prozesse kann grob in zwei Bereiche eingeteilt werden. Einerseits ist die Verhaltensweise des Materials unter gekoppelten thermischen und mechanischen Wirkungen physikalisch zu erfassen und mathematisch zu formulieren. Als theoretische Basis wurde hierfür im PS COSAR wieder die von Bergander [12] vorgeschlagene Standardformulierung in Form eines Satzes von Differentialoperatoren erster Ordnung bezüglich der Zeit verwendet. Andererseits verbleibt die Frage nach dem Verhalten des gesamten Körpers; hierzu sind insbesondere instationäre, gekoppelte Temperatur- und Verformungsfelder unter Berücksichtigung mechanischer und thermischer Randbedingungen zu ermitteln.

Eine Erweiterung des PS COSAR zur Analyse gekoppelter thermomechanischer Vorgänge bietet die Möglichkeit der besseren Modellierung z. B. für Thermoschockprobleme oder formgebende bzw. formzerstörende Vorgänge. Effekte wie die Selbsterwärmung durch mechanische Dissipationsenergie während der Deformation oder die Materialdämpfung werden auf diese Art einer Untersuchung zugänglich [13]. Für die Berechnung gekoppelter Feldprobleme bieten sich im wesentlichen zwei Vorgehensweisen an.

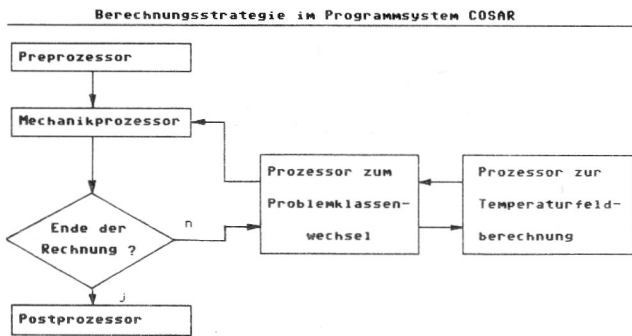


Bild 6

Berechnungsstrategie zur Lösung gekoppelter Feldprobleme im COSAR-System

- 1) die simultane Iteration über alle zu bestimmenden Variablen
- 2) die sukzessive Lösung der Teilprobleme mit interaktiver Berücksichtigung der Kopplung

Die zweite Variante erweist sich besonders bei der Modifikation bestehender Programme bzw. Programmsysteme als effektiv, da bereits vorhandene Programmkomponenten weiter genutzt werden können. Daher wurde bei der Erweiterung des PSCOSAR ebenfalls diese Vorgehensweise gewählt.

Das Kernstück einer derartigen Erweiterung ist ein Koppelprozessor, der den Berechnungsablauf (Problemklassenwechsel) steuert und den Datenaustausch zwischen den Fachsystemen organisiert (Bild 6). Als Koppelparameter zwischen thermischen und mechanischen Feldgrößen treten die Temperatur (Wärmedehnungen und Temperaturabhängigkeit der Materialparameter), die Dissipationsleistung (Wärmequellung), die Deformationsgeschwindigkeit (verallgemeinerte Wärmeleitfähigkeit oder Wärmequellung) sowie die aktuelle Geometrie auf.

Es wurde zunächst eine Programmversion zur quasistatischen Analyse gekoppelter thermoelastischer Aufgabenstellung unter der Beschränkung auf kleine Deformationen realisiert, um erste Erfahrungen zu sammeln [13].

Der Prozessor wurde derart verändert, daß nach einer einmaligen Aktivierung alle erforderlichen Daten sowohl für das mechanische als auch für das thermische Problem zur Verfügung stehen. Der Anfangszustand für die Zeitintegration wird für das Temperaturfeld in Form eines Startvektors durch den Nutzer bereitgestellt, während die mechanischen Größen in einer Anlaufrechnung ermittelt werden. Die Zeitintegration für die thermische Teilaufgabe wird durch selbststartende Einschrittverfahren realisiert, wobei sich in jedem Zeitschritt an die Berechnung des Temperaturfeldes die quasistatische Analyse der mechanischen Teilaufgabe und die interaktive Berücksichtigung der Koppelgrößen anschließt. Da signifikante thermomechanische Effekte erst bei inelastischem Materialverhalten, großen Deformationen bzw. starken zeitlichen Änderungen der thermischen und/oder mechanischen Feldgrößen zu erwarten sind, werden sich die weiteren Entwicklungsarbeiten vor allem auf die Berücksichtigung der Trägheitswirkungen (dynamische Betrachtungsweise) und des nichtlinearen Materialverhaltens (Plasizität, Viskoplasizität)

konzentrieren. Die Beschränkung auf kleine Deformationen soll zunächst erhalten bleiben.

In [13] sind die theoretischen Grundlagen zur Analyse gekoppelter Feldprobleme mit COSAR zusammengefaßt.

3.3. COSAR/CRACK (Bruchmechanik)

Die konventionellen Methoden der Festigkeitsberechnung reichen nicht aus, um die Beanspruchung von Bauteilen in der Umgebung von Rissen zu beurteilen und ein Versagen durch Bruch zu vermeiden. Das gilt im besonderen Maße für Sprödbrüche, die infolge technologisch bedingter oder während des Betriebs entstandener Risse schon weit innerhalb der konventionell zulässigen Beanspruchung aufgelöst werden können.

Ausgehend von theoretischen Untersuchungen zur Modellierung von Aufgaben der Schädigungs- und der Bruchmechanik werden im Rahmen eines Fachsystems COSAR/C zunächst die Methoden der linear-elastischen Bruchmechanik für die umfassende praktische Nutzung im Rahmen des Gesamtsystems COSAR aufbereitet und damit der Leistungsumfang des Systems weiter erhöht. Berücksichtigung finden vor allem solche bruchmechanischen Bewertungsmethoden, die für beliebige Rißgeometrien und allgemeine Belastungsarten einsetzbar sind [14].

Wie auch in dem anderen Fachsystem wird für COSAR/C eine hohe Nutzerfreundlichkeit angestrebt. Dies macht problemorientierte Netzgeneratoren erforderlich. Neben isoparametrischen 8-Knoten-Standardelementen verwendet der Netzgenerator auch kompatible 10-Knoten-Übergangselemente und unmittelbar an der Rißspitze knotendistordierte 6-Knoten-Dreieckselemente (Viertelpunktelemente).

Diese Makrorißvernetzung gewährleistet eine hohe Ergebnisgenauigkeit. Eine analoge Vernetzungsstrategie wird auch für 3D-Aufgaben angewandt.

Nach Erzeugung des Netzes für das rißbehaftete Bauteil erfolgt eine konventionelle Berechnung der Verschiebungs-, Spannungs- oder Temperaturwerte. Für die Berechnung der gesuchten Rißbeanspruchungsparameter steht ein Postprozessor zur Verfügung.

In COSAR/C sind z. Z. folgende Lösungsmethoden realisiert:

- Extrapolation der Spannungsintensitätsfaktoren K_I , K_{II} und K_{III} aus den Verschiebungsdifferenzen der Rißuferknoten oder den Knotenspannungen des Rißbiegemomentes.
- Berechnung des J-Integralwertes auf der Basis einer äquivalenten Gebietsintegralformulierung unter Einbeziehung der Randintegrale auf den Rißflächen.
- Bestimmung der Energiefreisetzungsraten G mit Hilfe der virtuellen Rißausbreitungstechnik bei direkter Minimierung des elastischen Potentials

3.4. Fehlerschätzungen und lokale Netzverfeinerungen

Ein Anwender der FEM sollte a priori folgende Kenntnisse zur Ergebnisqualität des von ihm benutzten Programmpakets haben:

- Sichern die verwendeten finiten Elemente bei feinerer Unterteilung und/oder Erhöhung der Approximations-

ansätze eine Konvergenz der FEM-Lösung gegen die wirkliche Lösung des mathematisch-mechanischen Modells?

- Gibt es Aussagen zur Ordnung und zur Richtung der Konvergenz?
- Welche Anforderungen sollte ein gutes Startnetz erfüllen?

Die Genauigkeit einer FEM-Lösung kann man wegen der Vielfalt der Einflußparameter bei realen, angewandten Aufgabenstellungen nur in Ausnahmefällen vor einer Berechnung abschätzen. Sie muß daher aus der Näherungslösung, d. h. a-posteriori, abgeschätzt werden.

Besonderer Schwerpunkt der internationalen Forschung ist gegenwärtig die Schaffung leistungsfähiger, allgemein einsetzbarer adaptiver Algorithmen zur automatischen Netzsteuerung, die die Qualität der FE-Lösung schrittweise erhöht. Grundlage dafür ist die Kenntnis der Fehlerverteilung der FE-Lösung. Bei der Steuerung der Qualität der FE-Lösung wird zwischen der h-Version, der p-Version und der h-p-Version unterschieden.

Die Fehleranalyse für das Programmsystem COSAR beschränkt sich z. Z. auf das Fachsystem Elastostatik und die h-Version für die Netzverbesserung. Getestet wurden die folgenden Fehlerindikatoren für eine lokale Fehlerbetrachtung (siehe auch [16])

$$\lambda_{\sigma R}^2 = K_1 \int_{\Omega^{(e)}} \underline{r}^T \underline{r} d\Omega^{(e)} + K_2 \int_{\Gamma^{(e)}} J^T(\sigma) J(\sigma) d\Gamma^{(e)}$$

$$\lambda_{\sigma L_2}^2 = \int_{\Omega^{(e)}} \underline{e}_\sigma^T \underline{e}_\sigma d\Omega^{(e)} = \|\underline{e}_\sigma\|_{L_2}^2$$

$$\lambda_{\sigma E}^2 = \int_{\Omega^{(e)}} \underline{e}_\sigma^T \underline{E}^{-1} \underline{e}_\sigma d\Omega^{(e)} = \|\underline{e}_\sigma\|_E^2$$

Dabei sind

$\underline{e}_u = \underline{u} - \underline{\bar{u}}$ \underline{u}, σ exakter Verschiebungs-, Spannungsverlauf

$\underline{e}_\sigma = \underline{\sigma} - \underline{\bar{\sigma}}$ $\underline{\bar{u}}, \underline{\bar{\sigma}}$ Näherungslösungen

$\|\underline{e}_u\|_E, \|\underline{e}_\sigma\|_{L_2}$ Energienorm bzw. L_2 -Norm

$\Omega^{(e)}, \Gamma^{(e)}$ Elementgebiet, Elementrand

r, J Vektoren des Residuums der Dgln. und der Spannungssprünge

K_1, K_2 Konstanten

Zur Schätzung des Gesamtfehlers wird der Fehlerestimator

$${}^o \|\underline{e}\|^2 = \sum_{(e)} \lambda_{(e)}^2$$

bzw. der relative Fehlerestimator

$$\eta \approx \left(\frac{{}^o \|\underline{e}\|^2}{\|\underline{\bar{u}}\|^2 + {}^o \|\underline{e}\|^2} \right)^{1/2} \cdot 100 \%$$

eingesetzt.

Die Berechnung der Fehlerindikatoren erfolgte unter Verwendung der Daten- und Programmstruktur von COSAR/E. Der Berechnungsaufwand ist für die drei angegebenen Indikatoren vertretbar und zeigt keine signifikanten

Unterschiede. Bei der Schätzung des globalen prozentualen Fehlers sollten Elemente mit singulärem Lösungsverhalten ausgeschlossen werden.

Bei Kenntnis der lokalen Fehlerverteilung kann die lokale Netzverfeinerung gesteuert werden. Die Netzverfeinerung soll möglichst so erfolgen, daß die Elementgeometrie optimal ist. In COSAR/E stehen für die unkonventionelle Elementverknüpfung kompatible Übergangselemente zur Verfügung. Es kann auch eine Penalty-Zwangskopplung erfolgen.

4. CAD/FEM-Koppelung, die Datenschnittstelle FEMDAS

Für die praktische Nutzung der FEM haben in den letzten Jahren die mit der Integration unterschiedlicher Softwarebausteine zusammenhängenden Fragen eine dominierende Bedeutung erlangt. Parallel zur fachlichen Weiterentwicklung der FEM-Analysesysteme wurden umfangreiche Arbeiten im Bereich des graphisch-interaktiven Pre- und Postprocessing einschließlich der Koppelung zu CAD-Systemen geleistet.

Ein flexibles Zusammenwirken unterschiedlicher Softwareprodukte ist nur möglich, wenn es gelingt, den erforderlichen Datenaustausch zu sichern. Die gegenwärtige Situation ist dadurch gekennzeichnet, daß für die Lösung von Teilproblemen eine große Vielzahl von Softwareprodukten existiert. Der notwendige Datenaustausch über standardisierte Datenschnittstellen ist die einzige Alternative, die mit geringem Aufwand eine flexible Koppelung unterschiedlicher Softwareprodukte ermöglicht. Die großen Anstrengungen, die international unternommen werden, unterstreichen die Bedeutung dieser Entwicklung.

Im Zusammenhang mit der Finite-Elemente-Methode sind die im Bild 7 dargestellten Schnittstellen bedeutsam. Auf die Schnittstelle zwischen dem Pre-Prozessor und dem Analyse-Prozessor und zwischen dem Analyse-Prozessor und dem Postprozessor wird nachfolgend näher eingegangen.

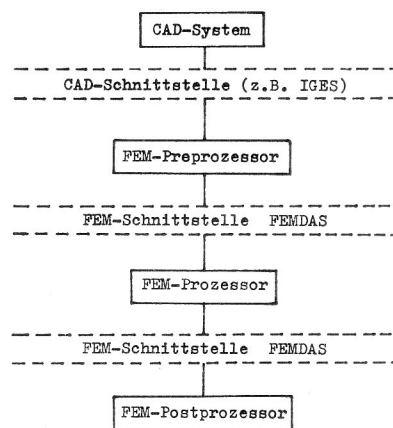


Bild 7
Datenschnittstellen im Zusammenhang mit der CAD/FEM-Koppelung

4.1. Die Datenschnittstelle FEMDAS

4.1.1. Aufbau von FEMDAS

Für den Austausch von FEM-Daten wurde von einer Entwicklergruppe der DDR unter Federführung des Methodisch-Diagnostischen Zentrums „Finite Elemente“ die Datenschnittstelle FEMDAS (FEM-Datenstandard) entwickelt (in der DDR unter TGL 44640 seit 1. 5. 1989 standardisiert) [18], [19]. FEMDAS orientiert sich bezüglich der Struktur an dem IGES-Standard und baut auf Erfahrungen aus der FEDIS-Entwicklung auf [20]. FEMDAS geht jedoch über den dort erreichten Stand deutlich hinaus und berücksichtigt die wesentlichen Anforderungen aus der praktischen Anwendung der FEM.

Die Entwicklung der Datenschnittstelle FEMDAS basiert auf folgenden Grundsätzen:

- Es werden nur die wesentlichen Daten, die ein FEM-Modell beschreiben (Eingabe- und Ergebnisdaten) standardisiert.
- Der Standard hat eine „offene“ Struktur, so daß einzelne sendende und empfangende Stellen Erweiterungen für die Übertragung nicht-standardisierter Daten vereinbaren können.
- Der Standard enthält die Daten in der einfachsten Form der Darstellung bei eindeutiger Identifikation der Daten (unabhängig von der Reihenfolge und der Anordnung der Daten), wobei eine weitgehend redundanzfreie Speicherung verwirklicht ist.
- Der Standard berücksichtigt die wesentlichen Forderungen der FEM-Softwareentwickler und die Anforderungen aus der vorhandenen und in der Entwicklung befindlichen Software.
- Bezüglich des physischen Aufbaus ist der Standard eine sequentielle Datei im ASCII-Code mit einer Satzlänge von 80 Byte.
- Bezüglich des logischen Aufbaus ist der Standard im Prinzip ein Entity-Relationship-Modell verwirklicht. Es werden fünf Datenbereiche (sogenannte Sektionen) unterschieden: START-, GLOBAL-, DIRECTORY-, PARAMETER-, TERMINATE-Sektion (diese Aufteilung entspricht dem IGES-Standard). Von entscheidender Bedeutung sind die DIRECTORY- und die PARAMETER-Sektion. Der Aufbau eines Entities wird in der DIRECTORY-Sektion definiert, die eigentlichen Daten finden sich entsprechend dieser Definition in der PARAMETER-Sektion.

4.1.2. Verarbeitung von FEMDAS

Die Verarbeitung von Schnittstellen, die in definierter Form in Dateien abgelegt sind, erfordert Adaptersoftware, die die Transformation der Daten in das interne Modell eines Verarbeitungsprogramms (FEM-System) und zurück durchführt. Diese Adaptersoftware läßt sich so gestalten, daß sie aus einer vom internen Modell unabhängigen Schicht besteht. Die unabhängige Schicht muß Softwarewerkzeuge in Form von Prozeduren bereitstellen, die den Zugriff auf die Standard-Dateien unterstützen. Ein Beispiel für ein derartiges Softwarewerkzeug ist das für die Verarbeitung von FEMDAS-Dateien von GROCHLA entwickelte Programmpaket FEDEX [21]. Durch FEDEX wird eine Un-

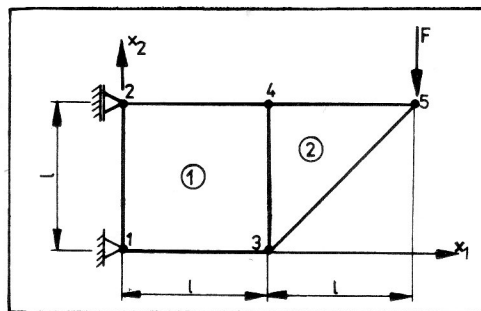


Bild 8

Demonstrationsbeispiel zur Nutzung von FEMDAS

Charakteristik des Beispiels:

Datenaustausch: PRE-Prozessor/FEM-Berechnungssystem
 FEM-Modell: Scheibe, modelliert mit 2 finiten Elementen
 Geometrie: $l = 50 \text{ mm}$
 $d = 6 \text{ mm}$ (Dicke)
 Material: $E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ (Elastizitätsmodul)
 $P = 0,3$ (Querkontraktionszahl)
 Belastung: $F = 45 \text{ kN}$

Demonstrationsbeispiel 1	S	1
...;DEMO1,FEMDAS,COSAR,1986,	G	1
11286,GABBERT/BERGER,	G	2
TU MAGDEBURG;	G	3
CTRL,1,1,DF,DL;	D	1
HEAD,2,KH,NRH,NRT;	D	2
ETOP,4,2,NTYP,NRE,NRM,NRP,(N);	D	3
NODE,6,5,NRN,X1,X2;	D	4
MAT1,11,1,NRM,(KM,IM);	D	5
PDAT,12,1,NRP,KP1,IP1;	D	6
BCON,13,3,NRB,NRN,KZ1;	D	7
NLOD,16,1,NRL,NRN,KZ1,NF1;	D	8
FUNC,17,4,NRF,KF,X1,F1;	D	9
TEXT,21,2,NRT,TEX;	D	10
CTRL,'N','MM';	1P	1
HEAD,0,0,1;	2P	2
HEAD,1,1,2;	2P	3
ETOP,20201,1,1,1,1,3,4,2;	3P	4
ETOP,20101,2,1,1,3,5,4;	3P	5
NODE,1,0,0;	4P	6
NODE,2,0,50;	4P	7
NODE,3,50,0;	4P	8
NODE,4,50,50;	4P	9
NODE,5,100,50;	4P	10
MAT1,1,10,1,20,2;	5P	11
PDAT,1,60,3;	6P	12
BCON,1,1,1;	7P	13
BCON,1,1,2;	7P	14
BCON,1,2,1;	7P	15
NLOD,1,5,52,4;	8P	16
FUNC,1,0,0,200000;	9P	17
FUNC,2,0,0,0,3;	9P	18
FUNC,3,0,0,6;	9P	19
FUNC,4,0,0,-45000;	9P	20
TEXT,1,'DEMO-BEISPIEL	10P	21
TEXT,2,'Einzelkraft';	10P	22
1,3,10,22;	T	1

Die nutzerfreundliche Gestaltung der Softwareoberflächen (einfache Menüführung) und die Werbeaussagen der Anbieter haben insbesondere bei Führungskräften zu der Auffassung geführt, daß die Lösung der anstehenden praktischen Probleme mit der formalen Handhabung der FEM-Software ohne größeren Aufwand auch von kaum mit der Festkörpermechanik vertrauten Mitarbeitern bewältigt werden kann.

Wenn man jedoch bedenkt, daß die eigentliche Aufgabe des Berechnungsingenieurs die Erarbeitung eines vereinfachten Modells des technischen Problems ist und die erhaltene FEM-Lösung nur ein Teil der Informationen für die Einschätzung des zu erwartenden Verhaltens des realen Bauteils unter den notwendigerweise oft nicht determinierten und komplizierten Betriebsbedingungen darstellt, wird deutlich, daß die fachwissenschaftliche Qualifikation des Berechnungsingenieurs sowohl über den Erfolg der Berechnung als auch über den dafür erforderlichen Aufwand und die Kosten entscheidet.

Neben der Frage nach dem geeigneten Softwareprodukt ist gleichrangig die Frage nach der Qualifikation der Mitarbeiter, die mit diesem Softwareprodukt arbeiten sollen, entscheidend.

Spezialkenntnisse auf dem jeweiligen Fachgebiet sollten zu den selbstverständlichen Voraussetzungen für die Anwendung eines FEM-Systems gehören!

Der wesentliche Vorteil der COSAR-Software besteht für den Nutzer darin, daß er ein leistungsfähiges Berechnungsinstrument zur Verfügung hat, das fachlich durch die Entwicklergruppe betreut wird, das an spezielle Nutzerwünsche angepaßt werden kann und daß im Rahmen von Forschungsprojekten unter Nutzung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse auf dem Fachgebiet weiterentwickelt wird.

Der Vertrieb von COSAR erfolgt durch die FEMCOS GmbH Magdeburg.

LITERATUR

- [1] Universelles FEM-System COSAR-Nutzerhandbücher:
Teil I: „Übersicht und Leitfaden“
Teil II: „Eingabevorschrift für Standardanwendungen“
Teil V: „Installations- und Benutzungshinweise“
Teil VI: „Grafische Pre- und Postprozessoren“
FEMCOS GmbH Magdeburg, 1990.
- [2] Sonderheft der Zeitschrift Technische Mechanik zur I. COSAR-Konferenz. Technische Mechanik 9, Heft 1, 1988.
- [3] Sonderheft der Zeitschrift Technische Mechanik zur II. COSAR-Konferenz. Technische Mechanik 11, Heft 3, 1990.
- [4] Tagung Festkörpermechanik, Beiträge AVI bis AXII, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1988.
- [5] Gabbert, U.: Die Finite-Elemente-Methode in den Ingenieurwissenschaften unter dem Aspekt der rechentechnischen Realisierung im Rahmen universeller Programmsysteme. Dissertation B, TU Magdeburg, 1987.
- [6] Berger, H., Altenbach, J.: Graphical Representation of Models and Results in the Finite Element System COSAR. Computers & Graphics, Vol. 14, 2(1990).
- [7] Scholz, E.: Kompatible finite Übergangs-, Rand- und Standardstrukturelemente zur effektiven mechanischen Strukturanalyse von Rand- und Übergangsbereichen. Dissertation TH Magdeburg 1986.

- [8] Horn, M.: Analyse thermisch beanspruchter dünnwandiger Konstruktionen mittels der Finite-Element-Methode. Entwurf zur Dissertation, TU Magdeburg, Sektion Maschinenbau, Wissenschaftsbereich Festkörpermechanik, 1988.
- [9] Schneider, F.: Finite Elemente auf der Grundlage verallgemeinerter Vlasov-Stabmodelle und ihr Einsatz bei der statischen und dynamischen FEM-Strukturanalyse dünnwandiger Konstruktionen. Dissertation, TU Magdeburg 1989.
- [10] Kirbs, J.: Dynamische Analyse sektorsymmetrischer Strukturen unter Nutzung der FEM, Dissertation, TU Magdeburg, 1989.
- [11] Köppe, H., Lenz, W., Altenbach, J.: Die Erweiterung des Programmsystems COSAR auf die Lösung nichtlinearer Probleme der Festkörpermechanik. Technische Mechanik 10(1989) Heft 2, S. 92 – 99.
- [12] Bergander, H.: Eine verallgemeinerte Darstellung inelastischer Deformationsgesetze zur Erleichterung der numerischen Lösung des Anfangs-Randwertproblems. ZAMM 58 (489 – 499), 1978.
- [13] Münch, C.: Die Analyse thermomechanischer Vorgänge mit der Finite-Element-Methode, Dissertation TU Magdeburg, 1989.
- [14] Zwicke, M., Altenbach, J.: Bruchmechanische Berechnungen mit dem Programmsystem COSAR, ZfK-Report (im Druck).
- [15] Zehn, M.: Dynamische Bauteil- und Strukturanalysen im Rahmen eines universellen FEM-Programmsystems. Dissertation B, TU Magdeburg, 1989.
- [16] Altenbach, J., Mücke, R.: Testung von Fehlerindikatoren für Finite-Elemente-Lösungen der linearen Elastizitätstheorie. Technische Mechanik 11 (1990), S. 49 – 51.
- [17] Altenbach, J., Gabbert, U.: Das universelle Finite-Elemente-Programmsystem COSAR – gegenwärtiger Stand und Entwicklungstendenzen. Technische Mechanik (1988) S. 7 – 21.
- [18] Gabbert, U.: FEMDAS – standardisierte Datenschnittstelle für den Austausch von FEM-Daten. Zeitschrift Bauplanung – Bautechnik 41. Jg., Heft 5, Mai 1987, S. 198 – 201.
- [19] DDR-Standard-Datenschnittstelle für Finite-Elemente-Modelle (FEMDAS) – TGL 44640.
- [20] Groth, P., Hilber, H. M., Katz, C., Werner, H.: FEDIS – Finite Element Data Interface Standard. Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, PFT-Bericht, KfK-PFT 114, Nov. 1985.
- [21] Grochla, J.: FEDEX-88 – Ein Programmpaket zur Unterstützung der FEM-Datenschnittstelle FEMDAS. TU Magdeburg, Sektion Maschinenbau, Wissenschaftsbereich Festkörpermechanik, 1989 (unveröffentlicht).
- [22] Dobrowolny, V., Kupper, H., Schütze, B., Basteck, A., Gabbert, U., Keil, P.: Produktdatenmodelle für CAD/CAM-Systeme im Maschinenbau. Abschlußbericht, TU Magdeburg, September 1989.
- [23] Theilig, H.: Modellierung bei der Beanspruchungsanalyse mit der Finite-Elemente-Methode, unveröffentlichtes Manuskript, 1989.
- [24] Gabbert, U., Berger, H.: Universelles FEM-System COSAR – Erfahrungen bei der industriellen Applikation. Wiss. Z. TU Magdeburg 30 (1986), Heft 7, S. 90 – 101.

Anschrift der Verfasser:

Dr. sc. techn. U. Gabbert
Prof. Dr. sc. techn. J. Altenbach
Technische Universität „Otto von Guericke“
Sektion Maschinenbau

COSAR Vertrieb:
FEMCOS GmbH – Ingenieurbüro
für wissenschaftlich-technische Berechnungen

Hegelstraße 30
Magdeburg
3 0 1 0