

Entwicklung und Einsatz eines bauteilspezifischen Datengenerators „Dieselmotor“

Helmut Horeschi, Günter Widdecke

1. Einleitung

Die Finite-Elemente-Methode (FEM) steht seit einiger Zeit als wirksames Hilfsmittel für ingenieurwissenschaftliche Untersuchungen zur Verfügung. Nach Jahren grundlegender Forschung und Formulierung geeigneter mathematischer Ansätze hat sie sich als Berechnungsverfahren zur Durchführung von Analysen an kompliziert geformten Bauteilen durchgesetzt.

Eine erfolgreiche und breite Anwendung eines FEM-Programmes in der Praxis wird heute in hohem Maße von seiner Nutzerfreundlichkeit bestimmt [1]. Hierunter versteht man, daß

- die Datenaufbereitung in einer übersichtlichen Form und in ökonomisch vertretbaren Zeiten fehlerfrei vorgenommen werden kann,
- bei der rechnerinternen Abarbeitung der Aufgabe eine umfassende Information über den Bearbeitungsstand erfolgt und
- die Ergebnisdarstellung über eine hohe Aussagefähigkeit verfügt.

Von den drei genannten Kriterien nimmt das erste Kriterium eine zentrale Stellung ein. In Abhängigkeit von den bestehenden Möglichkeiten seiner Gestaltung wird vorrangig die Lösung der gestellten Aufgabe bestimmt. Für die Durchführung einer Analyse mit Hilfe der FEM ist das zu untersuchende Bauteil rechnerintern abzubilden. Die Realisierung dieser Aufgabe bereitet naturgemäß bei räumlichen Strukturen erhebliche Schwierigkeiten und ist ohne eine rechnergestützte Datenaufbereitung nur schwer zu verwirklichen. Hieraus ergibt sich, daß der Entwicklung von Datengeneratoren, mit deren Hilfe für konkrete Anwenderbereiche eine rationelle und fehlerfreie Datenbereitstellung vorgenommen werden kann, besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß. Unter Ausnutzung der Vorteile der Substrukturtechnik läßt sich der Prozeß der topologischen und geometrischen Beschreibung kompliziert geformter Bauteile effektiv gestalten [2]. Das Ziel dieses Beitrages besteht darin, Wege aufzuzeigen, die den Einsatz der FEM im Dieselmotorenbau über die Anwendung von Standardstrukturen rationell ermöglicht.

2. Modell- und Strukturfindung

Mit dem Übergang zur räumlichen Betrachtungsweise hat es sich für die Sicherung einer effektiven Datenbereitstellung als zweckmäßig erwiesen, sowohl eine Modell- als auch eine Strukturfindung durchzuführen.

Bereits bei der Modellfindung wird darüber entschieden, mit welcher Genauigkeit die später durchzuführende

Analyse erfolgt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß zwar theoretisch die Möglichkeit besteht, mit Hilfe der FEM ein Bauteil weitestgehend originalgetreu abzubilden, aus Kapazitätsgründen des Rechners in bezug auf Rechenzeit und Speicherkapazität dem jedoch Grenzen gesetzt sind. So lassen sich bei einem räumlichen Bauteil nicht alle konstruktiven Details erfassen. Hier liegt es in der Verantwortung des Berechnungsingenieurs, ein solches Modell zu entwickeln, welches im Endergebnis aussagefähige Ergebnisse liefert. Nachstehende Gesichtspunkte sollten bei der Modellfindung beachtet werden:

- Die vorzunehmenden Veränderungen sind so auszuführen, daß die Funktion des Bauteils zu keiner Zeit in Frage gestellt wird. Gegebenenfalls sind angrenzende Bauteile mit in die Untersuchung einzubeziehen.
- Auf die Abbildung konstruktiver Details, die keinen Einfluß auf das Steifigkeitsverhalten des Bauteils haben, ist zu verzichten.
- Vorhandene Symmetrieeigenschaften des Bauteils hinsichtlich der Geometrie und der Belastungen [4] sind im Interesse der Reduzierung der Gesamtdatenmenge voll zu nutzen.

Das Ziel der Strukturfindung ist es, aus dem Modell des zu untersuchenden Bauteils (Gesamtstruktur) solche Grundstrukturen (Substrukturen) herauszuarbeiten, für die die mathematischen Gesetzmäßigkeiten zur topologischen und geometrischen Beschreibung zur Erzeugung des rechnerinternen Modells bereits formuliert sind, beziehungsweise bei Notwendigkeit mit einem geringen Aufwand abgeleitet werden können. Bei der Strukturfindung hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Gesamtstruktur zunächst in Teilstrukturen und erst hiernach in Substrukturen zu zerlegen. Hierdurch wird die Voraussetzung geschaffen, insbesondere kompliziert geformte Modelle mittels der mehrstufigen Substrukturtechnik einer Untersuchung zuzuführen.

Die Gesamtstruktur, die das Modell widerspiegelt, wird aus einer endlichen Anzahl von Teilstrukturen aufgebaut. Jede Teilstruktur setzt sich in der Regel aus mehreren Substrukturen zusammen. Besteht die Teilstruktur nur aus einer Substruktur, dann ist die Teilstruktur zugleich Substruktur. Jede Substruktur wird durch ein Finite-Elemente-Ensemble dargestellt.

Der Kontakt zwischen den Substrukturen wird entsprechend der Substruktur-Superelementtechnik über externe Knoten mittels einer übergeordneten Struktur verwirklicht. Kann auf der Grundlage der oben genannten mathematischen Gesetzmäßigkeiten die topologische und geometrische Beschreibung der Substruktur rechnerintern mit Hilfe weniger Basiswerte aufgebaut werden, dann erhält die Substruktur den Status einer Standard-

struktur. Durchgeführte Untersuchungen haben gezeigt, daß bei räumlichen Bauteilen der Aufbau des rechner-internen Modells der Geometrie nur dann effektiv ist, wenn er vorrangig durch Standardstrukturen erfolgt.

3. Entwicklungsprinzipien des Strukturkataloges „Dieselmotor“

Ausgehend von den bisher gemachten Aussagen wurden umfangreiche Untersuchungen zur Modell- und Strukturfindung an einer Reihe von Bauteilen von Dieselmotoren durchgeführt. Als Grundlage hierfür dienten Konstruktionsunterlagen bereits ausgeführter Motoren. Für die im Ergebnis der Analyse herausgearbeiteten Substrukturen wurde ein Standardstrukturkatalog „Dieselmotor“ konzipiert und die hierzu notwendige Softwareentwicklung vorgenommen. Der Standardstrukturkatalog „Dieselmotor“ ist zum Programmsystem COSAR kompatibel und als ein offenes System ausgelegt.

Für die topologische Beschreibung der Standardstrukturen wurden Nummerungssysteme mit vorgegebenen Nummerierungsrichtungen eingeführt. Im Unterschied zur Topologie können geometrisch unterschiedliche Standardstrukturen mit topologisch übereinstimmenden Vernetzungen erzeugt werden.

Die geometrische Beschreibung der Standardstrukturen erfolgt jeweils in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem. Jeder Standardstruktur ist ein bestimmter Strukturtyp zugeordnet. Es besteht die Möglichkeit, die auf der Grundlage weniger Basiswerte automatisch generierten Koordinaten nachträglich zu korrigieren, um eine Anpassung an spezielle geometrische Formen zu erreichen.

Am Beispiel der Standardstrukturen 591 \leq isttyp \leq 596 soll der hier aufgezeigte Sachverhalt näher vorgestellt werden. Die Anwendung dieser Strukturtypen, die über eine gemeinsame Topologie verfügen, setzt voraus, daß für die Vernetzung HK60- und PK45-Elemente des Elementkataloges COSAR [3] in regelmäßiger topologischer Anordnung verwendet werden. Die Lage des eingeführten Nummerierungssystems mit den Nummerierungsrichtungen 1, 2 und 3 und die Reihenfolge, in der die Knotenpunkte nach Festlegung der Anzahl der Elemente in den Nummerierungsrichtungen automatisch numeriert werden, sind aus dem Bild 1 zu entnehmen.

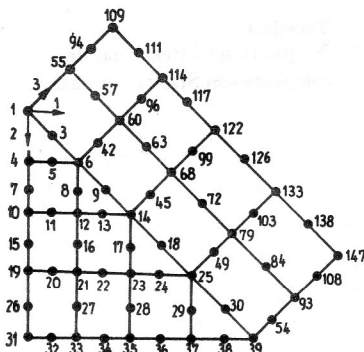


Bild 1
Topologie der Standardstrukturen isttyp = 591, . . . , 596

Die Numerierung der Elemente und die Zuordnung der Knoten- zu den Elementnummern wird programmintern verwirklicht. Enthält die Struktur externe Knoten, denen entsprechend dem Substrukturkonzept die höchsten Knotennummern zugeordnet werden müssen, so erfolgt nach Festlegung der Anzahl der Bereiche und nach Definition der Lage der zu den Bereichen gehörenden externen Knoten eine automatische Umnummerierung bei gleichzeitiger Ermittlung der Anzahl der externen Knoten.

Hinsichtlich der geometrischen Beschreibung beschränken sich die Aussagen auf die Standardstruktur isttyp = 592. Dieser Strukturtyp ist einzusetzen, wenn die Substruktur geometrisch ein rechtwinkliges, gleichschenkeliges Dreiecksprisma darstellt und bei dem die Fläche, die durch die Hypotenuse und der Nummerierungsrichtung 3 aufgespannt wird, kreisförmig gekrümmt ist.

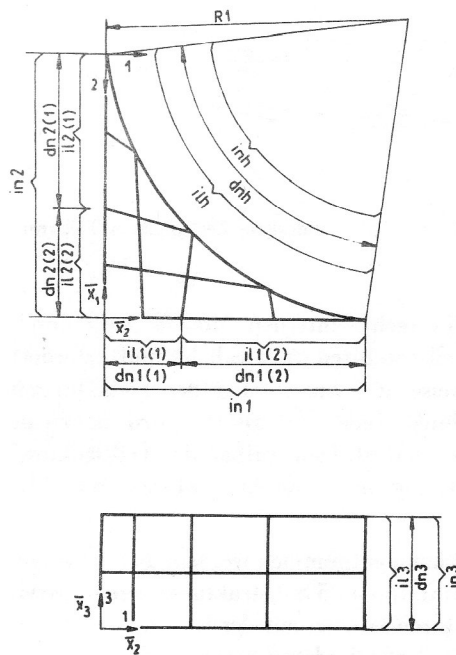


Bild 2
Geometrie der Standardstruktur isttyp = 592

Die Beschreibung der Geometrie wird durch die Angabe von Kantenlängen in den Nummerierungsrichtungen, einer Winkeldifferenz und eines Radius verwirklicht. Der Ursprung des Radius liegt auf einer Geraden, die gegenüber der x-Achse im Uhrzeigersinn um 45° gedreht ist und durch den Ursprung des eingeführten kartesischen Koordinatensystems verläuft. Für den ordnungsgemäßen geometrischen Aufbau der Standardstruktur sind die Bedingungen

$$\begin{aligned} \sum dn1 &= \sum dn2 \\ R1 &\geq \sum dn1 \\ dnh &= 2 * \arcsin(\pi/4 * \sum dn1/R1) \end{aligned}$$

zu erfüllen.

Weitergehende Informationen, die insbesondere eine detaillierte Beschreibung aller Standardstrukturen des Strukturkataloges „Dieselmotor“ und die Eingabevorschrift zum Inhalt haben, sind aus [4] zu entnehmen.

4. Demonstrationsbeispiel

Wie bereits aufgezeigt, stellt das geometrische Modell eine Idealisierung des zu untersuchenden Bauteils dar, bei dem jene konstruktiven Details unberücksichtigt bleiben, die keinen oder nur einen geringfügigen Einfluß auf die durchzuführende Analyse haben. Die für einen Zylinderkopf ausgeführte Modell- und Strukturfindung ist in Bild 3 zu sehen.

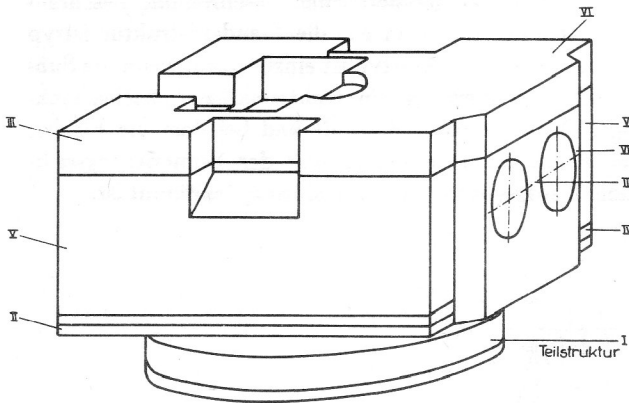
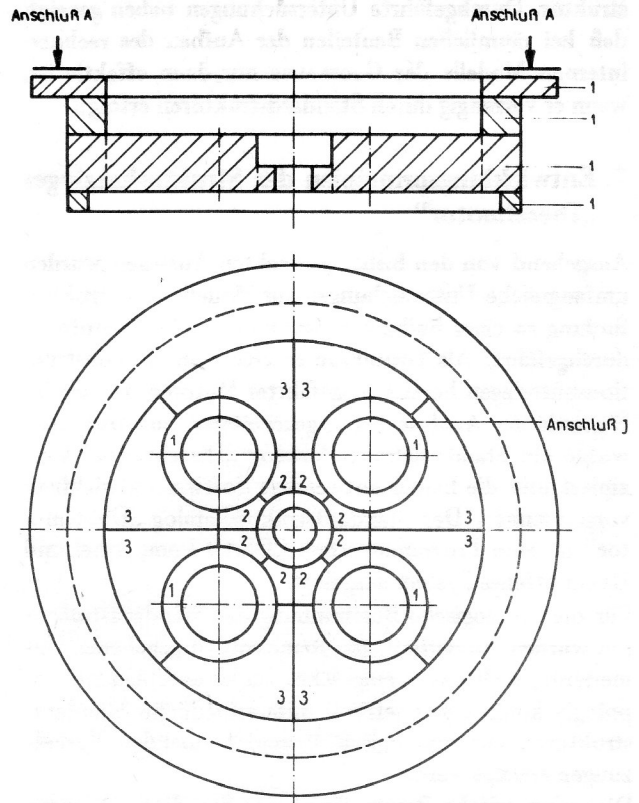


Bild 3
Modell eines Zylinderkopfes und seine Zerlegung in Teilstrukturen

Der Aufbau des rechnerinternen Modells wird durch insgesamt 7 Teilstrukturen verwirklicht und erfordert zweckmäßigerweise die Anwendung der mehrstufigen Substrukturtechnik. Jede Teilstruktur wird nochmals in Substrukturen zerlegt. Den Aufbau der Teilstruktur I und ihre Zerlegung in Standardstrukturen zeigt das Bild 4.

Aus dem Bild 4 kann entnommen werden, daß die vorgestellte Teilstruktur durch 25 Substrukturen erzeugt wird. Diese Substrukturen können auf der Grundlage weniger Basiswerte durch 3 Standardstrukturen des Strukturkataloges „Dieselmotor“ und des allgemeinen Datengenerators bei freier Wahl der Vernetzung aufgebaut werden. Eine Übersicht über die gewählte Feinheit der Vernetzung, die Zahl der bereitgestellten und erzeugten Daten des rechnerinternen Modells der Geometrie der Teilstruktur I ist in der Tabelle 1 gegeben.



Struktur-Nr	i typ
1	201
2	107
3	112

A – Anschluß zur Teilstruktur II
J – Anschluß zur Teilstruktur VII

Bild 4
Teilstruktur I und ihre Zerlegung in Standardstrukturen

Unter Einsatz der entwickelten Software wurde eine durchschnittliche Reduzierung der Eingabedatenmenge um 98,7 % erreicht. Besonders beachtenswert ist hierbei auch die Einsparung, die sich durch die Anwendung von Copy-Strukturen ergibt. Eine notwendige Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Durchführung einer Analyse besteht im Nachweis der Fehlerfreiheit des erzeugten rechnerinternen Modells. Dieser Nachweis, der grundsätzlich für alle Strukturen zu erbringen ist, kann am wirkungsvollsten durch eine visuelle Kontrolle erfolgen. Hierzu ist die Erstellung von Plotterzeichnungen not-

Lfd.-Nr.	Strukturtyp	Anzahl der Elemente	Eingabedaten		Erzeugte Dat.		Einsparung in %	
			Topol.	Geometr.	Topol.	Geometr.	Topol.	Geometr.
1	201	48	19	12	1056	1248	98,2	99,0
2	201	32	19	12	704	912	97,3	98,7
3	201	64	25	12	1408	1440	98,2	99,2
4	201	16	13	12	352	576	96,3	97,9
5	201	8	13	12	176	288	92,6	95,8
6	201	24	13	14	528	684	97,5	97,9
7...9	201	24	0	0	528	684	100,0	100,0
10	107	12	39	18	264	333	85,2	94,6
11...17	107	12	0	0	264	333	100,0	100,0
18	112	12	39	16	264	333	85,2	95,2
19...25	112	12	0	0	264	333	100,0	100,0
Insgesamt		456	180	108	10032	12528	98,2	99,1

Tabelle 1
Nachweis der Effektivität des Einsatzes von Standardstrukturen

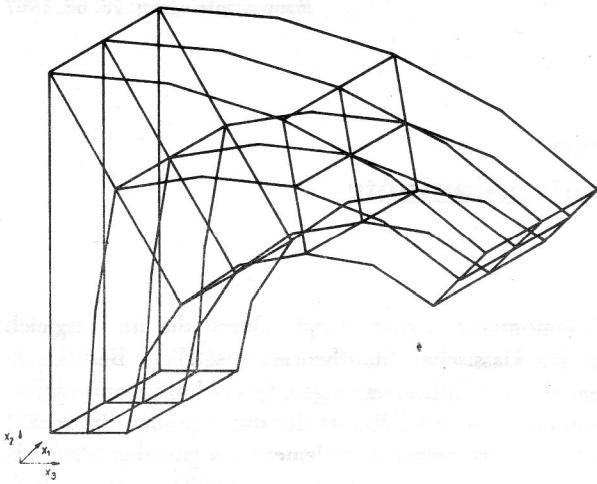


Bild 5
Vernetzung der Standardstruktur isttyp = 112
(Plotterzeichnung)

wendig, aus denen die erzeugte Vernetzung sichtbar wird. In Bild 5 ist eine räumliche Darstellung der vernetzten Standardstruktur isttyp = 112 enthalten.

Wie man sofort erkennt, wird die Struktur aus 12 Elementen gebildet und fehlerfrei aufgebaut.

5. Zusammenfassung

Der effektive Einsatz von FEM-Programmsystemen erfordert das Vorhandensein von anwenderfreundlichen Pre- und Postprozessoren. Allgemeine Preprozessoren können durch industriezweig- und bauteilspezifische Komponenten ergänzt und in ihrer Wirksamkeit ganz

wesentlich verbessert werden. Mit der Entwicklung und dem Einsatz des Standardstrukturkataloges „Dieselmotor“ wurden die Voraussetzungen geschaffen, in diesem Erzeugnisbereich den Durchbruch zu einer rechnergestützten Konstruktionsarbeit zu realisieren. Zugleich konnte auch nachgewiesen werden, daß mit dem Einsatz ergebnisbezogener Preprozessoren wesentliche Einsparungen von Arbeits- und Rechenzeit verbunden sind.

LITERATUR

- [1] Horeschi, H., Widdecke, G.: Erfahrungen bei der Realisierung eines Vernetzungsprogramms auf einer EDVA. Die Generierung der Knotenkoordinaten. Technische Mechanik 3 (1982), Heft 2.
- [2] Horeschi, H.: Die Generierung des rechnerinternen Modells von Finite-Elemente-Programmsystemen. Technische Hochschule „O. v. Guericke“ Magdeburg, Dissertation B, 1984.
- [3] Autorenkollektiv: Nutzerhandbuch COSAR. Technische Hochschule „O. v. Guericke“ Magdeburg, 1984.
- [4] Widdecke, G.: Untersuchungen zur effektiven Anwendung der FEM im Dieselmotorenbau. Technische Hochschule „O. v. Guericke“ Magdeburg, 1985.
- [5] Theilig, H.: Dreidimensionale Analyse rechtwinkliger Rohrverzweigungen mit Finiten Elemente. Maschinenbau-technik (33) 1984, Heft 2.