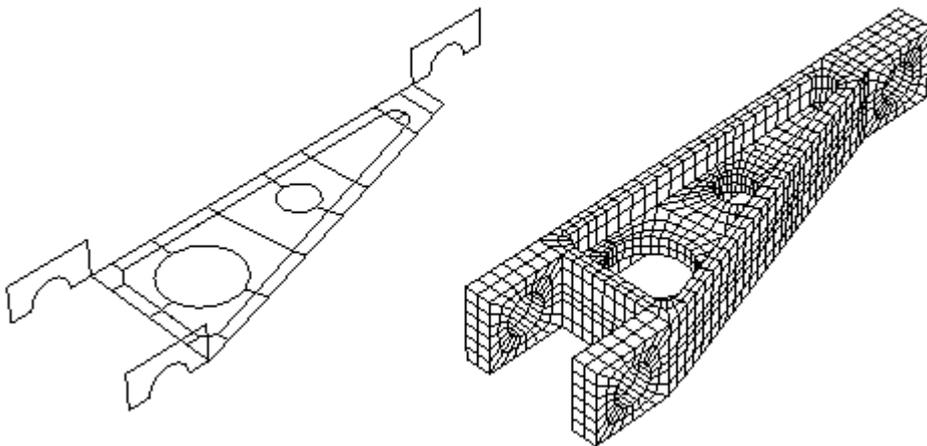


MAKROS

Pre- und Postprozessing für Finit Elemente
AutoCAD-Erweiterung zur Generierung von
FE-Modellen



Demo-Installation: <ftp://ftp.bauv.unibw-muenchen.de/pub/Makros-A/>

Prof. Dr.-Ing. Günther Böge
Universität der Bundeswehr München
D-85577 Neubiberg
Guenther.Boege@unibw-muenchen.de
Tel +49 89 60 04 34 04
Fax +49 89 60 04 41 36

MAKROS

MAKROS

Allgemeines	5
Programmversionen	5
Programmfunktionen	5
Programmstart: makrosarx, makrosa, makros	6
Programmsteuerung (AutoCAD ↔ MAKROS)	6
Programmierschnittstelle	7
Grafische Darstellungen, OpenGL-Displaylisten (Layer)	7
Filennamen	7
Automatische Datensicherung	8
Undo – Funktion	8
Elementauswahl	9
Grafische Selektion von Knoten und Elementen im OpenGL-Fenster	9
Externe Knoten und Elementnummern, Knotenelemente	10
Demo-Dateien, Tutorial	11
Demo-Installation	11
Elementtypen	13
Definition von Makroelementen in AutoCAD	25
Kommandos zur Bearbeitung der Gesamtstruktur	29
Übersicht	29
Beschreibung der Kommandos	29
Kommandos zur Erzeugung neuer Knoten und Elemente	37
Übersicht	37
Beschreibung der Kommandos	37
Bearbeitung von VDAFS-Daten	55
Übersicht	55
Beschreibung der Kommandos	58
Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente	71
Übersicht	71
Beschreibung der Kommandos	73
Teilungsmuster	85
Allgemeine Kommandos	93
Übersicht	93
Beschreibung der Kommandos	93
Kommandos für die grafische Darstellung	109
Übersicht	109

MAKROS

Beschreibung der Kommandos	109
Kommandos zur Spezifikation von Lasten, Materialien, Querschnitten und Randbedingungen	129
Übersicht	129
Beschreibung der Kommandos	130
Schnittstellen zu FE-Programmen	149
Allgemeines	149
NASTRAN – Schnittstelle	149
PATRAN Neutral File	156
ASCII- Dateien schreiben	159
ASCII- Dateien lesen	159
Eigene Schnittstellen Funktionen aus DLL aufrufen	161
Eigene Schnittstelle entwickeln	165
Berechnungsergebnisse visualisieren (Postprocessing)	167
Übersicht	167
Daten für Postprocessing bereitstellen	167
Skalarfelder plotten	171
Vektorfelder plotten	185
Demo-Dateien, Tutorial	191
Kommando Demo File	191
Tutorial	193
Anhang A: Linux / Unix	202
Anhang B: Stichwortverzeichnis (Links)	205

Allgemeines

Programmversionen

Das Programm ist in drei Versionen verfügbar:

Makros.exe/Makrose.exe: Selbständiges Programm (deutsch/englisch),
Makrosa.exe/Makrosae.exe: ADS-Applikation zu AutoCAD (deutsch/englisch),
Makrosarx.arx/Makrosarxe.arx: ARX-Applikation zu AutoCAD (deutsch/englisch).

Bei der ARX-Version ist der Datenaustausch zwischen MAKROS und AutoCAD um ein Vielfaches schneller.

Programmfunktionen

MAKROS ist ein Programmsystem für das grafisch-interaktive Pre- und Postprocessing von Finite Elemente Modellen. Es kann als selbständiges Programm oder als ARX- bzw. ADS-Applikation von AutoCAD aus gestartet werden. Als ARX- bzw. ADS-Applikation ermöglicht es den direkten Datenaustausch mit AutoCAD.

Das Programm umfaßt die folgenden Funktionen:

- **Generierung von FE-Modellen**

Die Generierung erfolgt in folgenden Schritten:

- 1) Mit den Kommandos von AutoCAD oder den Generierungskommandos von MAKROS wird zunächst ein Geometrie-Modell erstellt, welches unter Verwendung von möglichst wenigen Makro-Elementen die Geometrie des Berechnungsmodells approximiert. Hierin sind "Makro-Elemente" großräumige Elemente, deren Kanten auch 3D-Spline-Kurven sein können.
- 2) Das Makro-Modell wird ggf. von AutoCAD nach MAKROS übertragen.
- 3) Mit Kommandos von MAKROS wird festgelegt, wie fein die Kanten des Makro-Modells unterteilt werden sollen.
- 4) MAKROS führt die Aufteilung der Makro-Elemente in Finite Elemente durch und erzeugt so ein FE-Netz, welches ggf. nach AutoCAD übertragen werden kann.
- 5) Mit Kommandos von MAKROS wird das FE-Netz überprüft; ggf. kann es in AutoCAD oder mit MAKROS Kommandos modifiziert werden.
- 6) Mit Kommandos von MAKROS können Knotenrandbedingungen, Knotenlasten und Materialien zugeordnet werden.
- 7) Das endgültige FE-Berechnungsmodell wird unter Verwendung der neutralen PATRAN-Schnittstelle, der NASTRAN- oder einer eigenen Schnittstelle in einer Datei abgelegt

Für die Generierung von Elementen können auch selbst entwickelte Funktionen aufgerufen werden (vergl. Kommando „Lade DLL-Datei“).

- **Schnittstelle zwischen AutoCAD und anderen Programmsystemen**

MAKROS kann eingesetzt werden, um AutoCAD-Daten für die Verarbeitung in anderen Programmsystemen umzusetzen. Die AutoCAD-Daten können direkt aus AutoCAD oder von einem DXF-File gelesen werden. Die AutoCAD-Entities werden in Linien-, Flächen- oder Volumenelemente umgewandelt. Die Geometriedaten werden in MAKROS überprüft und ggf. mit verschiedenen Funktionen modifiziert und in einfach strukturierten ASCII-Dateien (vergl. Kommando „Schreibe ASCII“ für die Weiterverarbeitung bereitgestellt. MAKROS ist in der Lage, die meisten Entity-Typen von AutoCAD zu lesen. Hierfür müssen jedoch Blöcke, sowie aus Linien- und Kreisbogensegmenten zusammengesetzte Polygonzüge, zuvor mit dem AutoCAD-Kommando "xplode" in elementare Entities aufgelöst werden.

- **Postprocessing**

MAKROS stellt Funktionen zur Verfügung, die es ermöglichen, Berechnungsergebnisse von anderen Programmsystemen zu visualisieren.

Programmstart: makrosarx, makrosa, makros

Die ARX-Version von MAKROS wird von AutoCAD aus mit dem Kommando ARX/Load aufgerufen. Es erscheint ein Dateiwahlfenster, in dem die DLL-Datei makrosarx.arx aus dem bin-Verzeichnis von MAKROS auszuwählen ist. Die ARX-Version kann nicht mit dem Kommando ARX/Unload wieder entfernt werden, sie bleibt bis zum Abbruch von AutoCAD geladen. Das Programm kann auch mit dem Kommando (arxload „makrosarx“) geladen werden, wenn das bin-Verzeichnis von MAKROS im Supportpfad von AutoCAD eingetragen ist.

Die ADS-Version wird von AutoCAD aus mit dem Kommando (xload „makrosa“) geladen. Hierfür müssen im Support-Suchpfad von AutoCAD die Verzeichnisse in denen das Exefile und die Menüdefinitionen von MAKROS gespeichert sind, ergänzt werden (siehe AutoCAD-Dialogfenster „Werkzeuge/Voreinstellungen/Dateien/Supportdateien“). Mit (xunload „makrosa“) kann die ADS-Applikation wieder entfernt werden

Sofern bereits eine Makrostruktur von AutoCAD gelesen und in einer Datei gesichert wurde oder die AutoCAD-Daten aus einem DXF-File gelesen werden, oder das Geometriemodell vollständig mit MAKROS Kommandos erstellt wird, können makros.exe und makrosa.exe auch unabhängig von AutoCAD gestartet werden. Nach dem Start versucht makrosa.exe eine Verbindung zu AutoCAD aufzubauen. Diese Verbindung kommt nur zustande, wenn das Programm von AutoCAD aus aufgerufen wird. Bei Windows NT wird der Versuch nach einem Timeout abgebrochen und makrosa.exe wird nach einer Meldung automatisch als selbständiges Programm gestartet. Bei Windows 95 funktioniert dieses jedoch nicht, das Programm bleibt in einer AutoCAD-Routine für den Verbindungsaufbau hängen. Unter Windows 95 muß deshalb ggf. makros.exe als selbständiges Programm verwendet werden.

Makros.exe kann mit verschiedenen Dateitypen verknüpft und durch Doppelklick auf einen Dateinamen des entsprechenden Typs automatisch als selbständiges Programm gestartet werden. Die zulässigen Dateitypen für die Verknüpfung sind:

- *.dem: Es wird ein Demolauf mit automatischer Bildfolge gestartet.
- *.mes: Es wird die binäre Datei einer Makrostruktur geladen und dargestellt.
- *.fes: Es wird die binäre Datei einer FE-Struktur geladen und dargestellt.

Programmsteuerung (AutoCAD ↔ MAKROS)

Die Programmsteuerung von MAKROS erfolgt mit Kommandos, die durch Anklicken von Menüpunkten in der Menüleiste des Protokollfensters von MAKROS gestartet werden.

Jedem Kommando ist ein Dialogfenster zugeordnet, in dem Parameter des Kommandos eingestellt werden können. Hilfeinformationen zu den Kommandoparametern können mit einer "Hilfe-Schaltfläche" in dem Dialogfenster angefordert werden.

Mit der "OK"-Schaltfläche wird die Kommandoausführung gestartet, mit der Schaltfläche "Abbrechen" kann jedes Kommando auch ohne Ausführung beendet werden.

Meldungen bei der Kommandoausführung erfolgen im Protokollfenster von MAKROS.

Wird MAKROS von AutoCAD aus gestartet, so liegt die Ablaufkontrolle im folgenden entweder bei AutoCAD oder bei MAKROS, nur in dem jeweils aktiven Programm können Kommandos ausgeführt werden. Umgeschaltet wird die Ablaufkontrolle mit den Kommandos „MAKROS“ bzw. „AutoCAD“. Liegt die Ablaufkontrolle bei MAKROS, so ist in dessen Protokollfenster eine Menüzeile sichtbar, aus der MAKROS-Kommandos selektiert werden können, in diesem Fall werden Eingaben oder Menüselektionen in AutoCAD nicht bearbeitet. Mit dem MAKROS-Kommando „AutoCAD“ wird die Kontrolle an AutoCAD zurückgegeben und die Menüzeile im Protokollfenster von MAKROS verschwindet.

Wird die ADS-Version von AutoCAD aus gestartet, so wird die Menüzeile von AutoCAD automatisch um die Menügruppe „MAKROSA“ erweitert. Bei der ARX-Version muß zum ersten Aufruf von MAKROS in der Kommandozeile von AutoCAD das Kommando „m_makrosa“ eingegeben werden, daraufhin erscheint das AutoCAD Dialogfenster zum Kommando „menülad“, mit dem die im bin-Verzeichnis von MAKROS enthaltene AutoCAD-Menüdatei „makrosa“ geladen und in die Menüzeile von AutoCAD eingefügt werden kann.

Die Menügruppe „MAKROSA“ enthält nur den Menüpunkt „MAKROSA“ mit dem Kommando „m_makrosa“, mit dem die Programmkontrolle von AutoCAD an MAKROS übergeben wird.

Programmierschnittstelle

Das Programm kann um eigene Funktionen zur Generierung von Elementen und für Schnittstellen zu eigenen Programmen erweitert werden, indem diese Funktionen in einer oder mehreren DLLs zur Verfügung gestellt werden. Die Kommandos **DLL-Funktion** (vgl. Kapitel 5) und **Schnittstelle(DLL)** (vgl. Kapitel 11) ermöglichen den Aufruf eigener Funktionen aus DLLs. Im Verzeichnis „makros/dll“ sind Beispiele für die Entwicklung von DLLs angegeben.

Grafische Darstellungen, OpenGL-Displaylisten (Layer)

Grafik-Ausgaben erfolgen in einem Grafikfenster von MAKROS.

Die Elementmodelle können jedoch auch nach AutoCAD übertragen und im aktiven Grafik-Fenster von AutoCAD dargestellt und mit AutoCAD-Kommandos modifiziert werden.

Folgende Informationen können grafisch dargestellt werden:

- Die aktuell geladene Makrostruktur
- die aktuell geladene Finite-Elemente-Struktur
- die Elementnummer, Gruppennummer, mechanische Typnummer, Orientierungsvektor der Elemente ect.
- die Kanteinteilung der Makroelemente
- die externen Knotennummern der Knoten
- Randbedingungen und Knotenlasten.
- die Verteilung von Skalarfeldern
- die Verteilung von Vektorfeldern
- die Simulation dynamischer Geometrieänderungen

Das Elementmodell kann wahlweise als Kanten-, als Bruchkanten- oder als Flächenmodell dargestellt werden. Das Flächenmodell kann schattiert oder gerendert werden. Teile des Elementmodells können farblich unterschieden werden.

Für die Grafik werden die OpenGL-Routinen von Windows NT bzw. Windows 95 verwendet. Hierbei werden Teile der Grafik in Displaylisten gespeichert. Die Verwendung von Displaylisten ermöglicht es, Ansichten zu ändern, ohne daß die Grafik vollständig neu berechnet werden muß.

Hinweis: Für die OpenGL-Grafik sollte als Farbpalette „True Color“ eingestellt werden (siehe Dialog Display/Settings/Color Palette).

Entsprechend der Notation von AutoCAD werden im folgenden die OpenGL-Displaylisten auch als Layer bezeichnet. Verschiedenen Teilen der Struktur können verschiedene Layernummern und den Layernummern können Namen zugeordnet werden, so daß Strukturteile mit Namen identifiziert werden können. Wird eine Struktur von AutoCAD gelesen, so werden die Layerinformationen wie auch die Layerfarben von AutoCAD übernommen. Die Layerinformationen werden mit den Strukturdaten auf Platte gesichert.

Wird die Struktur in mehreren Layern dargestellt, so können auch bei OpenGL Layer aus- und eingeblendet werden.

Für die Einstellung der 3D-Ansichten stehen zwei Dialogfenster zur Verfügung, die mit Schieberegler eine rasche Drehung oder ein Zoomen des Modells ermöglichen.

Die Pixelgrafik des OpenGL-Fensters kann auch auf Drucker ausgegeben werden (vergl. die Kommandos InitDrucker, CloseDrucker).

Filenamen

Für die Speicherung der Daten in Dateien werden feste Dateinamenserweiterungen verwendet. Diese sind:

- *.mes: binäre Speicherung der Makro-Element-Struktur
- *.mut: binäre Speicherung der Makrounterteilungsangaben
- *.fes: binäre Speicherung der Finite-Elemente-Struktur

MAKROS

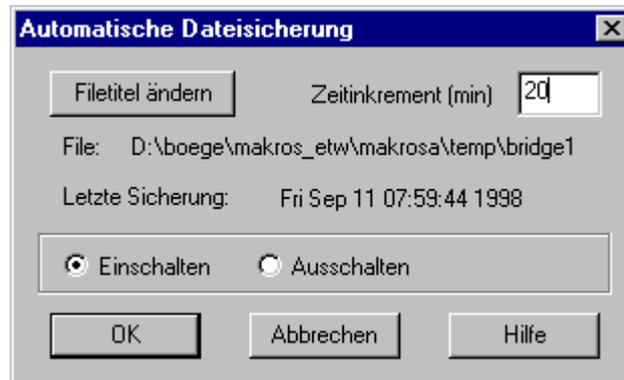
*.efp:	ASCII-Datei mit Knotenkoordinaten
*.efe:	ASCII-Datei mit Elementbeschreibungen
*.vda	ASCII-Datei mit VDAFS-Daten
*.vd	binäre Speicherung von VDAFS-Daten und zugehörigen Makro-Definitionen
*.lqd:	binäre Speicherung von Lasten und Randbedingungen
*.pos:	binäre Speicherung von Postprocessingdaten
*.ews:	Speicherung von Elementauswahlsets
*.btx:	Speicherung von Textgruppen
*.dem:	Demo-Dateien

Bei Anforderung eines Filetitels erscheint ein Dateiauswahlfenster in dem eine vorhandene Datei im Dateisystem selektiert, oder ein neuer Filetitel eingestellt werden kann. Von dem eingegebenen Filetitel wird eine vorhandene Dateinamenserweiterung ggf. entfernt und die feste Dateinamenserweiterung wird entsprechend dem Typ der Datei ergänzt. In dem Dateiauswahlfenster werden nur die dem Typ der Daten entsprechenden Dateien angezeigt.

Automatische Datensicherung

Mit dem Kommando **Datensicherung** kann ein Zeitinkrement für eine automatische Datensicherung in regelmäßigen Zeitabständen eingestellt werden. Anzugeben sind ein Zeitinkrement und ein Basisdateititel. Der Basisdateititel wird um _1 bzw. _2 und die Dateinamenserweiterung des Datentyps erweitert. Es wird abwechselnd in den Dateien mit den Erweiterungen _1 bzw. _2 gesichert, so daß jeweils zwei Sicherungskopien von zwei verschiedenen Zeiten zur Verfügung stehen. Gesichert werden die Makro- und die FE-Struktur, die Unterteilungsdatei und die Lastdatei. Hinweis: Wird ein Fehler festgestellt, so sollte sofort die automatische Sicherung vorübergehend ausgeschaltet werden, damit nicht die letzte gültige Version überschrieben wird.

Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:



Filetitel ändern: In einem Dateiwahlfenster ist ein Filetitel anzugeben, der als Basititel für die Sicherungskopien verwendet werden soll, der Filetitel wird in dem Dialogfenster angezeigt.

Zeitinkrement: Anzugeben ist das Zeitinkrement für die automatische Sicherung in Minuten. Der Zeitpunkt der letzten Sicherung wird in dem Dialogfenster angezeigt.

Einschalten: Mit dieser Option wird die automatische Sicherung eingeschaltet.

Ausschalten: Mit dieser Option wird die automatische Datensicherung ausgeschaltet.

Undo – Funktion

Die meisten Kommandos zur Erzeugung von Knoten und Elementen haben eine „Undo“-Funktion. Neue Elemente werden nach ihrer Erzeugung zunächst in gelber Farbe geplottet und können unmittelbar danach mit der Schaltfläche „Undo“ wieder entfernt werden. Dieses muß jedoch erfolgen, bevor eine neue Aktion, wie z. B. Auswahl neuer Elemente etc., begonnen wird; danach können neue Elemente nur mit dem Kommando „Lösche Elemente“ wieder gelöscht werden und bei der Elementgenerierung überschriebene Elemente oder Knoten sind

nicht mehr verfügbar. Aus Sicherheitsgründen kann es bei einigen Kommandos, wie z. B. Löschen von Elementen oder Änderung des Elementtyps, sinnvoll sein, die aktuelle Struktur zuvor mit dem Kommando **Sichern alles** auf Platte zu sichern, um ggf. den vorigen Zustand einfach wieder herstellen zu können. Des weiteren kann es sinnvoll sein, mit dem Kommando **Datensicherung** eine automatische Datensicherung in regelmäßigen Zeitinkrementen einzuschalten.

Elementauswahl

Kommandos, die für eine Elementauswahl wirksam werden, enthalten die in nachfolgendem Dialogfenster dargestellten Optionen für die Spezifizierung der Elementauswahl:



Alle

Alle Elemente der aktiven Struktur werden in die Kommandoausführung eingebezogen.

Gruppen

Alle Elemente mit den in dem Eingabefeld angegebenen Gruppennummern werden einbezogen. Werden genau zwei Gruppennummern angegeben, so werden diese als kleinste und größte Nummer eines Bereiches von Gruppennummern interpretiert, sonst als einzelne Gruppennummern

S1, S2, S3

Elementauswahlen können für mehrfache Verwendung in Auswahlsets gespeichert werden (vergl. Kommando **Elementauswahl**). Bei diesen Optionen wird die aktuell in dem Auswahlset gespeicherte Elementauswahl verwendet.

Grafische Selektion

Nach Anklicken der Option sind die Elemente für das Kommando mit Cursor im Grafikfenster auszuwählen (vgl. Kapitel 1).

Neue Auswahl

Wird diese Option angeklickt, so wird das Kommando **Elementauswahl** aktiviert, welches weitere Optionen für die Spezifizierung einer Elementauswahl bereitstellt.

Plot

Die Anzahl der in der aktuellen Auswahl befindlichen Elemente wird in dem Dialogfenster angezeigt. Der Button ermöglicht eine grafische Überprüfung der Auswahl. Alle in der Auswahl befindlichen Elemente werden hierbei im Grafikfenster mit einem Symbol markiert.

Grafische Selektion von Knoten und Elementen im OpenGL-Fenster

Mehrere Kommandos enthalten in dem zugehörigen Dialogfenster eine Option, welche die grafische Selektion von Knotenpunkten oder Elementen im OpenGL-Grafikfenster einleitet.

MAKROS

Bei Auswahl der Option werden alle selektierbaren Knoten bzw. Elemente im Grafikfenster mit einem farbigen Symbol markiert. Diese Symbole können mit Cursor selektiert werden.

Für die grafische Selektion stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung. Welche Selektionsart gerade eingestellt ist, ist am Cursor-Symbol zu erkennen:

Selektion einzelner Punkte (e): Es sind mehrere Einzelpunkte durch Klicken der linken Maustaste zu selektieren. Abgebrochen wird mit der rechten Maustaste oder es wird mit den Tasten **r** oder **p** in einen anderen Modus umgeschaltet. Cursorsymbol ist ein Suchquadrat.

Rechteckbereich (r): Es sind jeweils zwei Ecken eines Rechteckbereiches mit Cursor zu markieren. Selektiert werden hierbei alle Punkte, die in der aktuellen Ansicht in diesem Rechteckbereich liegen. Abbruch erfolgt mit der rechten Maustaste oder den Tasten **e** oder **p**. Cursorsymbol ist eine Ecke des Rechteckbereiches.

Polygonzug (p): Mit Cursor sind die Eckpunkte eines Polygonzuges festzulegen, abgebrochen wird mit der rechten Maustaste, oder den Tasten **e** oder **r**, wobei der Polygonzug geschlossen wird. Selektiert werden hierbei alle Punkte, die in der aktuellen Ansicht innerhalb des Polygonzuges liegen. Der Polygonzug wird fortlaufend geplottet. Cursorsymbol ist eine Gummibandlinie.

Innerhalb einer Selektion können mehrere Einzelpunkte, sowie Punkte von mehreren verschiedenen Rechteckbereichen oder Polygonzugbereichen selektiert werden; die Selektion wird insgesamt mit der rechten oder mittleren Maustaste beendet.

Zwischen den drei Möglichkeiten der Selektion kann durch Drücken einer der folgenden Tasten der Tastatur umgeschaltet werden:

Taste e: Umschalten auf Einzelpunktselektion

Taste r: Umschalten auf Rechteckselektion

Taste p: Umschalten auf Polygonzugselektion.

Diese Tastatureingaben sind jedoch nur wirksam, wenn der Tastatureingabefokus beim Grafikfenster liegt. Der Eingabefokus kann ggf. dem Grafikfenster explizit zugewiesen werden, indem das Symbol des Fensters in der Windows-Task-Leiste angeklickt wird.

Bei der Selektion von Einzelpunkten kann die Modellansicht vor jeder neuen Punktselektion verändert werden, sonst nur unmittelbar vor Festlegung des Suchbereiches. Befinden sich bei der Einzelpunktselektion mehrere selektierbare Punkte in dem Suchquadrat, so wird bei Drahtmodelldarstellung derjenige Punkt verwendet, der der Cursorposition am nächsten liegt. Bei Hiddensurfacedarstellung können sich jedoch nicht sichtbare Punkte im Suchquadrat befinden, deshalb wird in diesem Fall von den Punkten im Suchquadrat der Punkt mit dem geringsten Abstand zur Kameraposition verwendet. Hinweis: Befindet sich kein sichtbarer Punkt im Suchquadrat, so wird evtl ein unsichtbarer Punkt selektiert. Bei Hiddensurfacedarstellung ist nur die Selektion von Einzelpunkten zulässig, da anderenfalls auch ungewollt nicht sichtbare Punkte selektiert werden könnten.

Alle selektierten Punkte werden sofort mit einem andersfarbigen Symbol markiert. Wird versehentlich ein falscher Punkt selektiert, so kann dieser anschließend sofort mit der Taste **d** wieder aus der Selektion entfernt werden. Hierfür muß das Grafikfenster den Eingabefokus besitzen.

Wird die grafische Selektion aus den Dialogfenstern „**Elementauswahl**“ bzw. „**Knotenauswahl**“ aufgerufen, so kann in einem Popup-Fenster neben der Art der Selektion auch die Größe des Suchquadrates in Pixeleinheiten für Einzelpunktselektion eingestellt werden.

Externe Knoten und Elementnummern, Knotenelemente

Knoten und Elemente werden automatisch fortlaufend in der Folge ihrer Definition numeriert. Mit dem Kommando „**Sortieren**“ können auch explizit externe Nummern zugewiesen werden. Da Lasten, Querschnitte etc. nach externen Nummern zugeordnet werden, ist es jedoch günstiger, wenn die Knoten und Elemente fortlaufend von 1 – n numeriert werden, so daß die externe Nummer als Index für die Lokalisierung verwendet werden kann. Eine nicht fortlaufende Numerierung entsteht automatisch, wenn Knoten oder Elemente gelöscht werden. Bei Sicherung der Datei wird geprüft, ob eine fortlaufende Numerierung gegeben ist, ggf wird eine Meldung ausgegeben, die jedoch nur als Hinweis zu verstehen ist. Mit dem Kommando „**Sortieren**“ kann die fortlaufende Numerierung wieder hergestellt werden, dabei werden ggf auch die Nummern in einer vorhandenen Lastdatei angepaßt.

MAKROS-A

Für die grafisch interaktive Definition von Elementen müssen zunächst Knotenpunkte erzeugt werden, wobei diesen automatisch Knotenelemente zugeordnet werden, da keine isolierten Knoten gespeichert werden können. Diese Knotenelemente müssen nach der Elementdefinition explizit wieder gelöscht werden. Bei Sicherung der Datei wird geprüft, ob Knotenelemente vorhanden sind, ist dieses der Fall, so wird eine entsprechende Meldung ausgegeben, die ebenfalls nur als Hinweis gedacht ist.

Demo-Dateien, Tutorial

Kommando-Sequenzen von MAKROS können in einer Datei aufgezeichnet und später in einem Demonstrationsablauf wieder reproduziert werden. Demonstrationsdateien haben die Dateinamenserweiterung .dem.

Verschiedene Demo-Dateien befinden sich auf der Installations-CD und können auch als Tutorial benutzt werden, wobei auch die den Kommandos zugeordneten Dialogfenster mit den aktuell verwendeten Kommandoparameterwerten angezeigt werden. Einzelheiten siehe Kommando „**Demo-File**“ in der Menügruppe „**Hilfe**“.

Lizenz

Das Programm ist urheberrechtlich geschützt, für die kommerzielle Nutzung wird eine Lizenz benötigt. Universitäten und Fachhochschulen sowie Studenten können das Programm ohne Lizenz benutzen.

MAKROS

Elementtypen

Im folgenden werden eine Makrostruktur bestehend aus Makroelementen und eine FE-Struktur bestehend aus Finiten Elementen unterschieden. Makroelemente dienen dazu, die grobe Geometrie der zu berechnenden Struktur festzulegen. Die Makroelementstruktur wird zweckmäßigerweise mit AutoCAD erzeugt, bei einfachen Geometrien kann die Struktur aber auch vollständig mit MAKROS-Kommandos erzeugt werden (vgl. Kapitel 13). Durch Angabe von Kanteinteilungen und Aufteilung der Makroelemente wird aus der Makroelementstruktur die Finite-Elemente-Struktur erzeugt. Finite Elemente werden als Eingabe für ein FE-Berechnungsprogramm verwendet.

In **Tabelle 2.1** sind alle verfügbaren geometrischen Elementtypen dargestellt.

Die geometrische Form der Elemente wird durch eine zwei- oder dreistellige geometrische Typkennzahl unterschieden. Die erste bzw. die ersten zwei Ziffern dieser Kennzahl gibt, mit Ausnahme der Ziffern 7, die Anzahl Eckknoten an:

- 1 = Punktelement
- 2 = Linienelement
- 3 = Dreieckselement
- 4 = Viereckselement
- 6 = Pentaeder
- 7 = Tetraeder
- 8 = Hexaeder
- 10 = ebenes Flächen- oder Volumenelement mit bis zu 10 geraden oder gekrümmten Kanten.
- 40 = ebenes Flächenelement mit bis zu 40 Knoten, die Kanten können Geraden oder Kreisbögen sein.

Mit der zweiten Ziffer wird unterschieden, wie viele Zwischenknoten auf den Elementkanten und im Innern der Elementflächen angeordnet sind:

- 0 = gerade Elementkanten ohne Zwischenknoten (Ausnahme Typ 400)
- 2 = gekrümmte Elementkanten mit einem Zwischenknoten
- 3 = gekrümmte Elementkanten mit zwei Zwischenknoten
- 5 = gekrümmte Elementkanten mit variabler Anzahl von Zwischenknoten
- 6 = ein Zwischenknoten auf den Kanten, ein Zwischenknoten auf der Fläche
- 7 = zwei Zwischenknoten auf den Kanten und 2*2 Zwischenknoten auf der Fläche (bzw. 1 Zwischen-Knoten auf der Fläche bei Dreieckselementen).

Als Makroelemente können nur die Typen x0, x2, x5 verwendet werden, mit x = 2,3,4,6,8,10,40. Als Finite Elemente können alle Typen, mit Ausnahme von x5 und 400 verwendet werden. Mit dem Kommando **Typ2Typ** (Kapitel 5) kann eine Umwandlung von einigen Elementtypen durchgeführt werden, wobei Zwischenknoten auf den Elementkanten und Elementflächen automatisch berechnet werden.

Für jedes Element werden die folgenden Daten gespeichert:

- eine frei wählbare externe Elementnummer,
- eine geometrische Typkennzahl,
- eine mechanische Typkennzahl,
- eine Gruppennummer,
- eine Layernummer
- ein Farbindex
- die externen Nummern der Elementknotenpunkte in der in Tabelle 2.1 angegebenen Folge.

Mit der mechanischen Typkennzahl können Elemente gleicher geometrischer Form als Scheibenelemente, Plattenelemente etc. unterschieden werden. Die Bedeutung der mechanischen Typkennzahl ist abhängig von dem verwendeten FE-Berechnungsprogramm (siehe z. B. die NASTRAN-Schnittstelle).

MAKROS

Mit der Gruppennummer können mehrere Elemente zu einer Gruppe zusammengefasst werden, z.B. für unterschiedliche farbige Darstellung, Zusammenfassung von Elementen mit gleichem Material etc.

Die verschiedenen Elementtypen werden i.d.R. automatisch aus den AutoCAD-Entities oder bei der Unterteilung der Makroelemente generiert. Sollen in Sonderfällen einzelne Elemente numerisch definiert werden, so ist folgendes zu beachten:

Bei den Elementtypen 10 – 85 werden zunächst die Eckknoten der Elemente und dann die Zwischenknoten auf den Kanten und zuletzt die Knoten im Innern der Elemente angegeben.

Hinweis: Zwischenknoten auf geraden Elementkanten können bei Makroelementen auch zu 0 angegeben werden, bei Finiten Elementen ist zu prüfen, ob das verwendete FE Berechnungsprogramm dieses zulässt (Übergangselemente).

Beim Elementtyp x5 (außer Typ 105) erhält der letzte Zwischenknoten für jede Kante ein negatives Vorzeichen, um das Ende der Zwischenknoten für eine Kante anzuzeigen. Eine 0 wird für eine Kante eingetragen, wenn diese keine Zwischenknoten enthält.

Da beim Elementtyp 105 die Anzahl der Eckknoten und der Zwischenknoten variabel ist, werden bei diesem Typ die Knoten in fortlaufender Folge wie bei einem Polygonzug angegeben und alle Zwischenknoten von gekrümmten Kanten werden mit einem negativen Vorzeichen gekennzeichnet. Der erste und der letzte Knoten des Polygonzuges müssen identisch sein. Zwischen den Eckknoten können 0 oder mehrere Zwischenknoten angegeben werden, bei nur einem Zwischenknoten wird ein Kreisbogen und bei mehreren Zwischenknoten eine Splinekurve für die Kante generiert. Die Elemente vom Typ 105 können eine Objekthöhe besitzen, diese wird durch einen zusätzlichen Knotenpunkt gespeichert. Die Verbindung dieses Knotens mit dem ersten Knoten des Elementes bildet entsprechend Tabelle 2.1g die erste senkrechte Kante des Volumenelementes, alle anderen senkrechten Kanten werden parallel zu dieser Kante generiert. Mit dem Kommando **3D-Erweiterung** können aber auch nach der Vernetzung sehr einfach finite Volumenelemente erzeugt werden.

Elemente des Typs 105 können frei oder mit einem regelmäßigen Muster für Viereckselemente vernetzt werden. Für die regelmäßige Vernetzung muss bekannt sein, welche Polygonknoten als Eckknoten eines Viereckselementes für die Vernetzung verwendet werden sollen. Die externen Nummern dieser Knoten können bei der Definition explizit angegeben werden, sie werden nach dem Knotenpunkt für die Objekthöhe gespeichert. Der erste Knoten des Elementes wird automatisch als erster Eckknoten verwendet, nur die drei weiteren Eckknoten müssen angegeben werden. Werden keine Eckknoten angegeben, so werden für eine Unterteilung mit regelmäßigem Muster automatisch die 3 Ecken des Polygonzuges mit den kleinsten Eckwinkeln als Eckknoten des Viereckselementes verwendet.

Der Elementtyp 400 kann bis zu 40 in einer Ebene liegende Knoten umfassen, die in einer Folge als Polygonzug angegeben werden, der erste und der letzte Knoten müssen identisch sein. Die Kanten können Geraden oder Kreisbögen sein, unterschieden wird dieses dadurch, dass die Zwischenknoten von Kreisbögen ein negatives Vorzeichen erhalten, wobei nur ein Zwischenknoten je Kante zulässig ist.

Bei den Elementtypen 105 und 400 können Löcher im Innern des Elementes vorhanden sein, die Löcher werden durch eine gerade Kante mit dem äußeren Rand verbunden. Die Verbindungskante wird dann im Polygonzug zweifach in entgegengesetzter Richtung durchlaufen (vgl.. Beispiel unten).

Der Unterschied zwischen den Elementtypen 105 und 400 besteht darin, dass beim Elementtyp 105 mehrere Zwischenknoten auf einer Kante vorhanden sein können und dass eine Unterteilung mit regulärem Muster möglich ist.

Mit dem Kommando "**Elementdefinition**" können einzelne Elemente durch numerische Angaben der Nummern der Knotenpunkte definiert werden. Zum Beispiel sind die in Tabelle 2.1 dargestellten Elemente wie folgt zu definieren (Folge der Knotennummern):

Typ 45: 1, 2, 3, 4, 5, 6, -7, -8, 9, 10, -11, -12

Typ 85: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, -10, 11, -12, 13, -14, 15, -16, 17, -18, 19, -20, 21, -22, 23, -24, 25, -26, 27, -28, 29, -30, 31, -32

Typ 105: 1, 2, 3, -4, 5, 6, -7, 8, 9, 1

Mit Objekthöhe (Knoten 11) und expliziter Festlegung von Eckknoten für die Unterteilung mit regelmäßigem Teilungsmuster (Knoten 1,2,5,9) wäre der abgebildete Typ 105 wie folgt zu definieren.

Typ105: 1, 2, 3, -4, 5, 6, -7, 8, 9, 1, 11, 2, 5, 9

Typ 400 (mit Kreisbögen und Löchern):

MAKROS

1, -2, 3, 4, -5, 6, 7, -8, 9, -10, 7, 6, -13, 14, 15, -16, 17, 18, -19, 20, -21, 18, 17, -24, 15, 14, -27, 28, 29, -30, 31, -32, 29, 28, -35, 4, 3, -38, 1

MAKROS

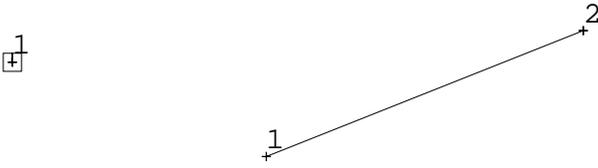
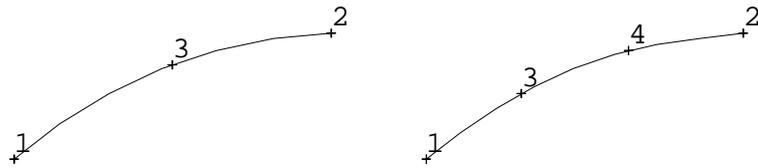
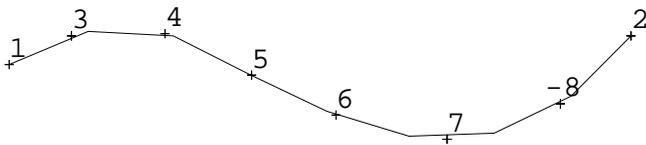
Typ-Kennzahl	Knoten-Anzahl	geometrische Form
<p style="text-align: center;">1 20</p>	<p style="text-align: center;">1 2-5</p>	 <p>The diagram shows a single straight line segment connecting two nodes. Node 1 is at the bottom left, and node 2 is at the top right. A small square symbol with a plus sign is positioned above node 1.</p>
<p style="text-align: center;">22 23</p>	<p style="text-align: center;">3-5 4</p>	 <p>The diagram shows two curved line segments. The left curve starts at node 1 (bottom left), goes up to node 3 (middle), and then down to node 2 (top right). The right curve starts at node 1 (bottom left), goes up to node 3 (middle), then to node 4 (top), and finally down to node 2 (top right).</p>
<p style="text-align: center;">25</p>	<p style="text-align: center;"><=10</p>	 <p>The diagram shows a complex curved line segment with eight nodes labeled 1 through 8. Node 1 is at the bottom left, node 2 is at the top right, and nodes 3 through 8 follow the curve in between.</p>

Tabelle 2.1a Makro- bzw. Finite-Elemente Typen

MAKROS

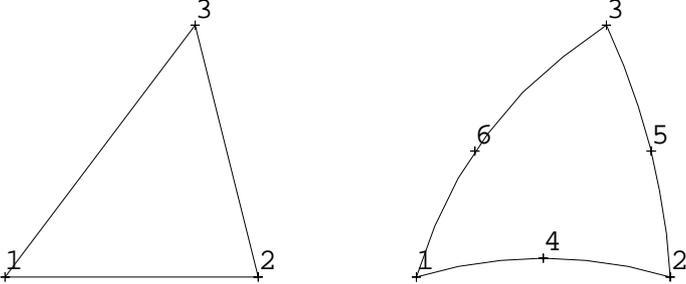
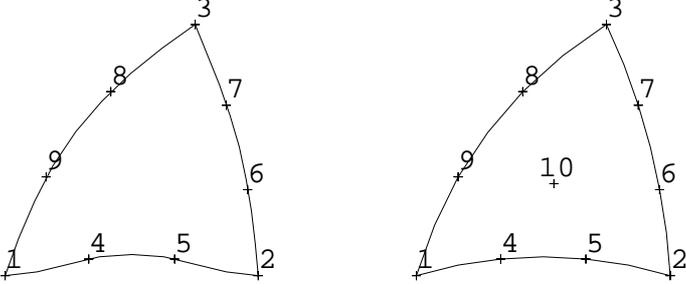
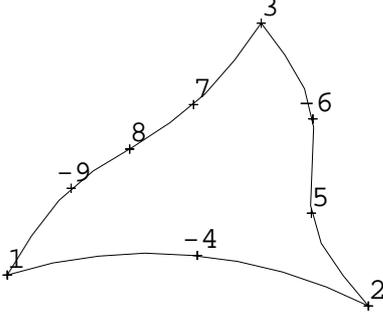
Typ-Kennzahl	Knoten-Anzahl	geometrische Form
<p style="text-align: center;">30 32</p>	<p style="text-align: center;">3 6</p>	
<p style="text-align: center;">33 37</p>	<p style="text-align: center;">9 10</p>	
<p style="text-align: center;">35</p>	<p style="text-align: center;">≤ 30</p>	

Tabelle 2.1b

MAKROS

Typ-Kennzahl	Knoten-Anzahl	geometrische Form
40 42	4 8	
46 43	9 12	
47 45	16 ≤40	

Tabelle 2.1c

MAKROS

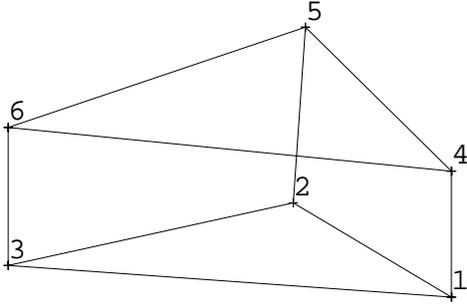
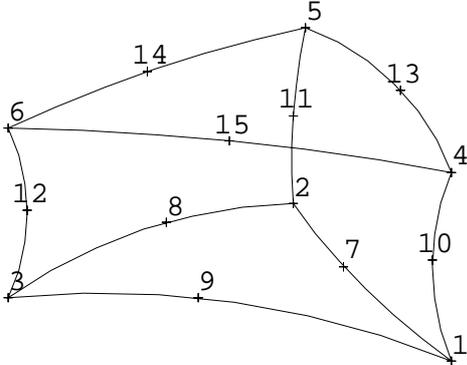
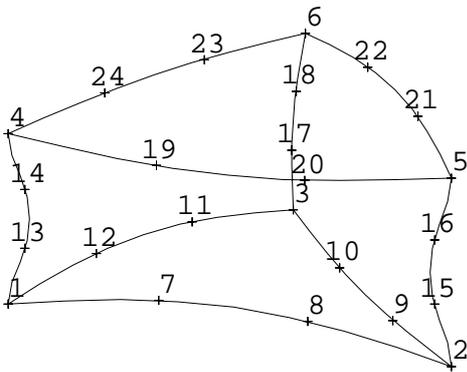
Typ-Kennzahl	Knoten-Anzahl	geometrische Form
60	6	
62	15	
63 65	24 ≤40	

Tabelle 2.1d

MAKROS

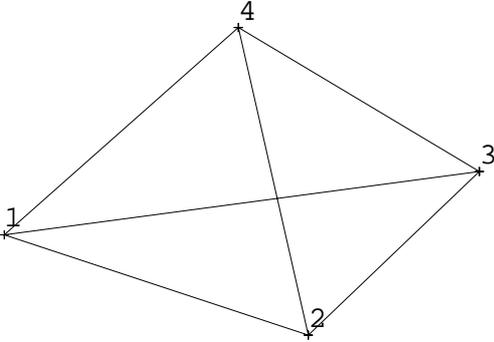
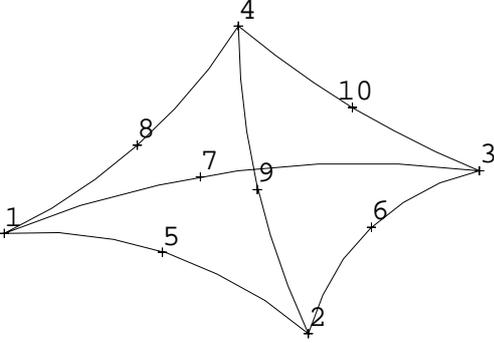
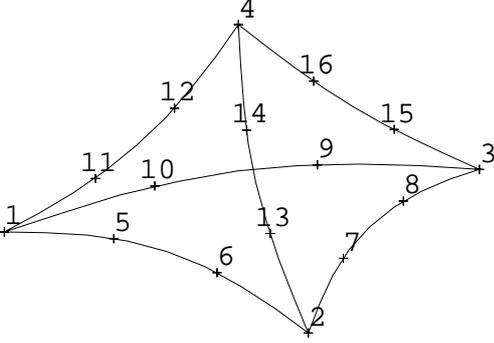
Typ-Kennzahl	Knoten-Anzahl	geometrische Form
70	4	
72	10	
73 75	16 ≤40	

Tabelle 2.1e

MAKROS

Typ-Kennzahl	Knoten-Anzahl	geometrische Form
80	8	
82	20	
83 85	32 ≤40	

Tabelle 2.1f

MAKROS

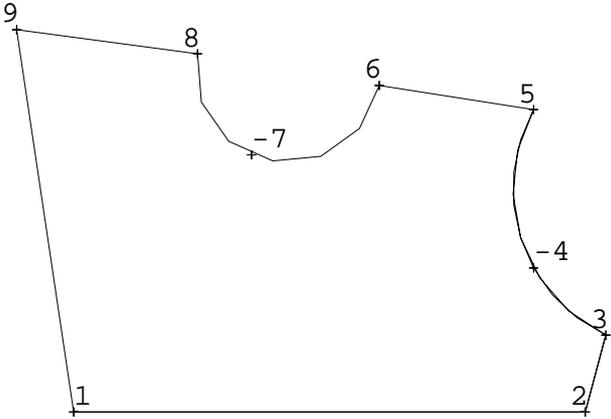
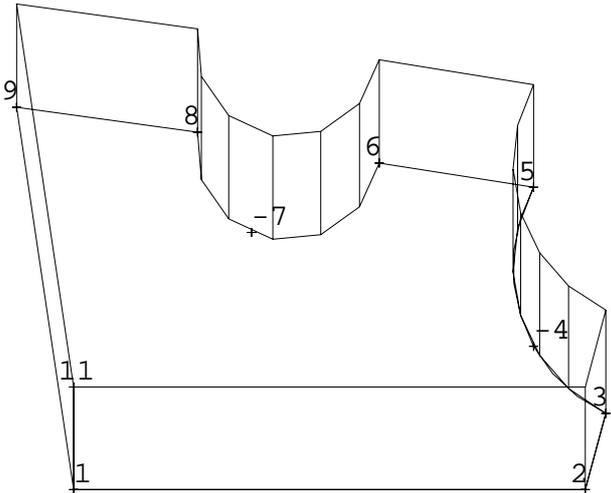
Typ-Kennzahl	Knoten-Anzahl	geometrische Form
105	<=40	 <p>A 2D geometric form with 9 nodes. Node 1 is at the bottom left, node 2 at the bottom right, node 3 at the bottom right corner, node 4 on a curved edge, node 5 at the top right, node 6 at the top right, node 7 at the top center, node 8 at the top left, and node 9 at the top left. The form is a complex polygon with a curved edge between nodes 4 and 5.</p>
105	<=40	 <p>A 3D geometric form with 9 nodes, shown as a wireframe. The nodes are arranged in a similar pattern to the 2D diagram above, but with vertical lines connecting the top and bottom nodes (e.g., 1-1, 2-2, 3-3, 4-4, 5-5, 6-6, 7-7, 8-8, 9-9), creating a prism-like structure with a curved top edge.</p>

Tabelle 2.1g

MAKROS

Typ-Kennzahl	Knoten-Anzahl	geometrische Form
400	<= 40	
400	<= 40	

Tabelle 2.1h

MAKROS

Definition von Makroelementen in AutoCAD

Die Makrostruktur beschreibt unter Verwendung großflächiger Elemente die geometrische Form des Berechnungsmodells. Hierbei ist es wichtig, die Bruchkanten des Berechnungsmodells zu erfassen, die Flächen dazwischen werden mit C^0 -Coons-Flächen approximiert. Die Makroelemente werden durch Knotenpunkte in den Ecken und auf den Kanten der Elemente definiert, wobei je Kante maximal 10, je Flächenelement maximal 20 (40 beim Elementtyp 105 und 400) und je Volumenelement maximal 40 Knotenpunkte angegeben werden können. Jede Elementkante mit mehr als einem Zwischenknoten wird mit kubischen Splines interpoliert. Bei nur einem Zwischenknoten wird die Kante als Kreisbogen approximiert.

Ausgegangen wird von dem AutoCAD-Konstruktionsmodell. Für die Definition der Makroelemente werden zweckmäßig in einem Hilfslayer mit AutoCAD-Kommandos Konstruktionsschnitte und anschließend mit AutoCAD-Kommandos Knoten auf Modellkanten und Schnittkanten erzeugt.

Makroelemente können dann wie folgt definiert werden:

Linielemente

Linielemente werden durch einen ebenen oder dreidimensionalen offenen Polygonzug definiert. Aus einem Polygonzug mit nur 2 Knoten wird der Elementtyp 20, sonst der Elementtyp 25 erzeugt.

Durch einen geschlossenen Polygonzug definierte Flächenelemente

Am einfachsten erfolgt die Definition von Flächenelementen mit Hilfe eines ebenen oder dreidimensionalen geschlossenen Polygonzuges, der in einer Folge die Eckknoten und die Kantenzwischenknoten des Flächenelementes verbindet.

Für die Unterscheidung zwischen Elementeckknoten und Kantenzwischenknoten werden entweder die Winkel zwischen den aufeinanderfolgenden Kantenstücken oder doppelte Knoten benutzt. (siehe folgende Abbildung).

Die Interpretation eines von AutoCAD gelesenen geschlossenen Polygonzuges geschieht nach folgenden Regeln:

Der erste Knoten des Polygonzuges ergibt den ersten Elementeckknoten.

Der Polygonzug gilt als geschlossen, wenn der Abstand zwischen dem ersten und letzten Knoten kleiner als 1/50 der größten Kantenlänge ist, oder wenn die Typkennzahl des Polygonzuges in der internen AutoCAD-Repräsentation diesen als geschlossen markiert

Enthält der Polygonzug 4 Knoten, so wird der Elementtyp 30, bei 5 Knoten der Elementtyp 40 angenommen (erster und letzter Knoten identisch).

Polygonzüge mit mehr als 5 Knoten können wahlweise als Dreiecks- oder Viereckselemente mit gekrümmten Rändern (Option T45) oder als Elemente vom Typ 105 (Option T105) bzw. 400 (Option T400) gespeichert werden. Ist die Option T400 markiert, so werden von AutoCAD gelesene Elemente mit mehr als 5 Knoten als Elemente vom Typ 400 mit geraden Kanten gespeichert. Sollen einzelne Kanten Kreisbögen sein, so sind nachträglich die Zwischenknoten auf den Kreisbögen mit dem Kommando „Elementdefinition“ mit einem negativen Vorzeichen zu versehen.

Bei den anderen Elementtypen mit gekrümmten Rändern müssen Elementeckknoten und Kantenzwischenknoten unterschieden werden. Die Kennzeichnung der Eckknoten kann wahlweise durch doppelte Angabe der Knoten in dem Polygonzug oder durch die Winkel zwischen den beiden Schenkeln im Eckknoten erfolgen. Für die Ermittlung der Eckknoten des Flächenelementes wird zunächst geprüft, ob aufeinanderfolgende Knoten im Innern des Polygonzuges doppelt vorkommen bzw. einen Knotenabstand kleiner als 1/50 der größten Kantenlänge besitzen (ein anderer zulässiger Abstand für doppelte Knoten kann in dem Dialogfenster angegeben werden). (Ist ein Knoten mehr als zweifach vorhanden, so wird der Knoten wie ein doppelter Knoten behandelt). Ein doppelter Knoten wird als Eckknoten des Flächenelementes interpretiert. Ist ein doppelter Knoten als Kennzeichen eines Elementeckknotens vorhanden, so müssen alle Eckknoten des Elementes durch doppelte Knoten definiert werden.

MAKROS

Bei zwei doppelten Knoten im Innern des Polygonzuges wird der Elementtyp 35, bei drei doppelten Knoten der Elementtyp 45 und bei mehr als drei doppelten Knoten der Elementtyp 105 erzeugt.

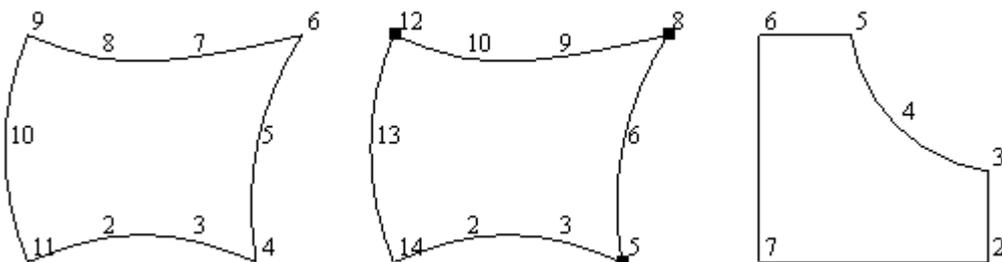
Werden keine doppelten Knoten im Innern des Polygonzuges gefunden, so werden an den inneren Knoten des Polygonzuges die Winkel zwischen den angrenzenden Kanten berechnet und die Knoten mit den kleinsten Winkeln werden als Eckknoten des Makroelementes verwendet. Die Winkel in Elementeckknoten müssen kleiner als 150 Grad sein (ein anderer zulässiger Winkel kann in dem Dialogfenster angegeben werden). Werden drei oder mehr Knoten mit Eckwinkeln kleiner als 150 Grad gefunden, so wird der Elementtyp 45 erzeugt, wobei zusätzlich zum ersten Knoten die 3 Knoten mit den kleinsten Eckwinkeln als Elementeckknoten verwendet werden. Bei zwei inneren Eckknoten wird der Elementtyp 35 erzeugt. Polygonzüge mit mehr als drei Knoten mit Eckwinkeln kleiner als dem eingestellten Winkel können wahlweise auch als Elementtyp 105 gespeichert werden. Hiefür muss die Option T105 vor dem Lesen der Polygonzüge explizit ausgewählt werden.

Zwischen den Elementeckknoten können 0 oder mehrere Zwischenknoten auf den Elementkanten angegeben werden, wobei je Kante maximal 8 Zwischenknoten und für das gesamte Makroelement maximal 20 (beim Elementtyp 105 und 400 maximal 40) Knotenpunkte zulässig sind (ohne doppelte Knoten).

Ist auf allen Kanten genau ein Zwischenknoten vorhanden, so wird der Typ x5 in den Typ x2 umgewandelt. Sind auf allen Kanten genau zwei Zwischenknoten vorhanden, so wird bei der FE-Struktur der Typ x5 in den Typ x3 umgewandelt.

Beim Elementtyp 105 und 400 müssen alle Knoten in einer Ebene liegen. Zweckmäßigerweise werden solche Elemente als 2D-Polygonzüge in einem lokalen Koordinatensystem definiert.

Beispiel: In der folgenden Abbildung sind das erste und dritte Element durch einfache Polygonzüge definiert, während das zweite Element durch einen Polygonzug mit doppelten Knoten definiert ist. In der Abbildung sind die Knoten der Polygonzüge fortlaufend nummeriert, die doppelten Knoten sind mit einem Punkt markiert. Der linke Polygonzug besteht aus 11 Knoten; die Knoten 4, 6, 9 werden automatisch als Eckknoten des Flächenelementes vom Typ 45 verwendet, da der Eckwinkel in diesen Knoten am kleinsten ist. Der zweite geschlossene Polygonzug besteht aus 14 Knoten, wobei die Knoten (4, 5), (7, 8) und (11, 12) identisch sind und deshalb als Eckknoten des Flächenelementes vom Typ 45 verwendet werden. Der dritte Polygonzug hat 4 innere Ecken mit einem Winkel kleiner als 150 Grad, um hieraus ein Element vom Typ 105 zu erzeugen, muß in dem Dialogfenster die Option für die Generierung von Elementen des Typs 105 (T105) eingeschaltet sein.



AutoCAD Flächenelemente

Verschiedene mit AutoCAD Kommandos erzeugte Flächenelemente können ebenfalls gelesen und direkt in Makroelemente umgewandelt werden. Hierzu gehören insbesondere: 3D-Flächen, 3D-Polygonnetze, Vielfächennetze.

3D-Flächen werden je als ein Element vom Typ 40 bzw. 30 gespeichert.

Bei Vielfächennetzen wird jede Einzelfläche als ein Element vom Typ 40 oder 30 gespeichert.

MAKROS

Aus 3D-Polygonnetzen werden wahlweise die Elementtypen 40, 42 oder 45 erzeugt. Hierbei kann noch angegeben werden, ob alle Netzlinien verwendet, oder einzelne Netzlinien ausgelassen werden sollen. Die Polygonnetze können einfach (z. B. Zylinderfläche) oder doppelt (z. B. Torusfläche) geschlossen sein.

Durch einen mehrfach geschlossenen Polygonzug definierte Volumelemente

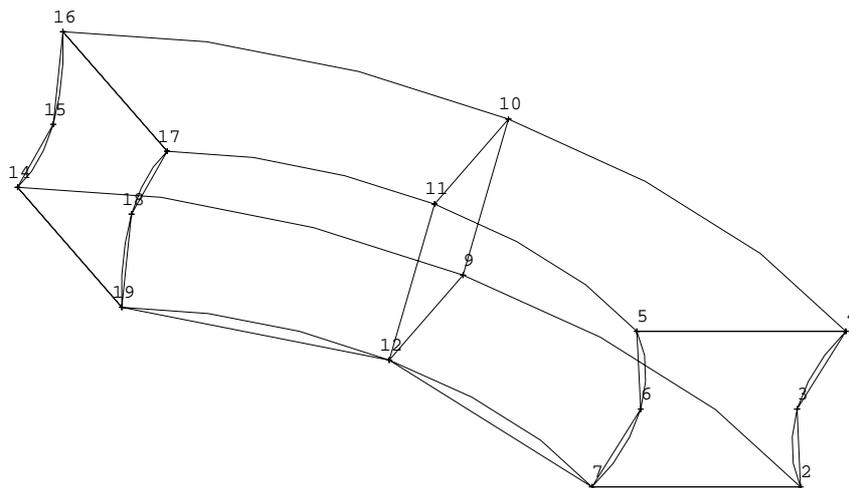
Volumenelemente werden durch einen Polygonzug definiert, der entsprechend folgender Abbildung mindestens zwei innere geschlossene Polygonzüge enthält. Die Interpretation des von AutoCAD gelesenen Polygonzuges erfolgt nach folgenden Regeln:

Ausgehend vom Knoten 1 wird der nächste innerhalb von eps mit diesem Knoten zusammenfallende Polygonzugknoten gesucht (Knoten k1, Knoten 7 in der Abbildung). Dieser erste geschlossene Polygonzug wird wie vor beschrieben als Flächenelement vom Typ 3x oder 4x interpretiert ($x = 0$ oder 5), diese Fläche bildet die Grundfläche des Volumelementes. Der auf k1 folgende Knoten wird als Anfangsknoten des nächsten geschlossenen Polygonzuges verwendet und es wird der nächste innerhalb von eps mit diesem Knoten zusammenfallende Eckknoten des Bereiches gesucht (Knoten k2, Knoten 12 in der Abbildung). Der Bereich wird entsprechend dem Typ der Grundfläche als Typ 3x oder 4x interpretiert. Auf k2 können weitere Polygonzugbereiche mit je einem eindeutigen Anfangs- und Endknoten folgen. Der letzte Bereich wird als Deckfläche des Volumelementes verwendet.

Enthält das Volumelement nur gerade Kanten, so fallen beim Elementtyp 60 der 4. und 1. sowie der 5. und 8. Knoten zusammen und beim Elementtyp 80 der 1. und 5. sowie der 6. und 10. Polygonzugknoten. Diese Möglichkeiten werden als erstes geprüft. Beim Typ 65 oder 85 können je Kante maximal 8 Zwischenknoten vorhanden sein. Das gesamte Makroelement darf maximal 40 Knotenpunkte umfassen.

Volumenelemente können in AutoCAD auch als geschlossene 2D-Polygonzüge mit Objekthöhe definiert werden. Hieraus ergibt sich ein Volumelement mit der durch den Polygonzug definierten Grundfläche und einer konstanten Höhe. Dreiecks- oder Viereckselemente mit Objekthöhe werden als Elementtyp 6x bzw. 8x gespeichert. Bei mehr als 4 Eckknoten wird der Elementtyp 105 erzeugt, wobei für die Objekthöhe ein zusätzlicher Knoten erzeugt wird.

In der folgenden Abbildung wird das Volumelement durch einen Polygonzug mit 19 Knoten definiert (die Knoten sind in der Abbildung fortlaufend durchnummeriert), wobei die Knoten (1, 7), (8, 12) und (13, 19) innerhalb der zulässigen Toleranz gleiche Koordinaten besitzen. Aus dem Polygonzug wird ein Volumelement vom Typ 82 erzeugt.



Kommandos zur Bearbeitung der Gesamtstruktur

Übersicht

In der Menügruppe **Struktur** sind die folgenden Kommandos zusammenfasst:

Aktiviere FE-/Makro-Str	Zwischen Makro- und FE-Struktur umschalten
Lade	Elementstruktur von einer Datei laden
Sichern	Elementstruktur in einer Datei sichern
Sichern alles	Alle offenen Dateien sichern
Datensicherung	Automatische Datensicherung ein-/ausschalten
LeseAutoCAD	Elemente von AutoCAD bzw. aus einem DXF-File lesen
Löschen	Gesamtstruktur oder einzelne Elemente löschen
Lösche alles	Alle Daten im Arbeitsspeicher löschen
Makro <-> FE	Makroelemente zur FE-Struktur hinzufügen bzw umgekehrt

Mit dem Kommando **Aktiviere FE-/Makro-Str** wird festgelegt, welcher Strukturtyp (Makroelemente oder Finite Elemente) anschließend bearbeitet werden soll. Mit **Lade** wird eine vorhandene Struktur von einer binären Datei gelesen, mit **Sichern** wird die aktuell im Arbeitsspeicher befindliche Struktur in binärer Form in einer Datei gesichert. Mit **LeseAutoCAD** werden Elemente von einem DXF-File bzw. direkt von AutoCAD gelesen. Das Kommando **Makro <-> FE** ermöglicht es, Elemente zwischen den beiden Strukturtypen auszutauschen.

Beschreibung der Kommandos

Aktiviere FE-/Makro-Str: Zwischen Makro- und FE-Struktur umschalten

Die Makro- und FE-Struktur eines Projektes können gleichzeitig im Arbeitsspeicher geladen sein, jedoch ist immer nur ein Strukturtyp für die Bearbeitung aktiv, d. h. eingegebene Kommandos sind immer nur für den aktiven Strukturtyp wirksam. Welcher Strukturtyp aktiv ist, wird in der Titelzeile des Grafikfensters angezeigt. Das Kommando wirkt als Schalter, d. h. der aktuell aktive Strukturtyp wird deaktiviert und der andere Strukturtyp aktiviert. Die Beschriftung des Menübuttons zeigt, welcher Strukturtyp mit dem Kommando aktiviert wird.

Hinweis: Bei begrenztem Arbeitsspeicher und großen Strukturen sollte immer nur ein Strukturtyp im Arbeitsspeicher gehalten werden.

Lade: Makroelemente bzw. Finite Elemente von einer binären Datei laden

Mit dem Kommando kann eine Struktur die mit **Sichern** gesichert wurde wieder geladen werden. Ist schon eine Struktur geladen, so wird ggf. angefragt, ob diese vorher gesichert werden soll. Zur Auswahl des Filetitels erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

MAKROS



Projektdatei

Anklicken des Buttons bewirkt, dass die unter dem Projekttitel gespeicherte Struktur in den Arbeitsspeicher geladen wird.

Andere Datei

Anklicken des Buttons bewirkt, dass Elemente aus einer anderen Datei gelesen werden, wobei der Projekttitel erhalten bleibt.

File-Titel:

Projekttitel: Angezeigt wird der bisher verwendete Projekttitel, der wieder verwendet werden kann.

Projekttitel ändern: Es erscheint ein Dateiwahlfenster, in dem ein neuer Titel für das Projekt eingestellt werden kann.

Anderer Filetitel: Es erscheint ein Dateiwahlfenster, in dem ein Filetitel für das Sichern der Daten eingestellt werden kann. Der Projekttitel wird nicht geändert.

Ergänzen

Vorh. Elemente löschen: Bei Auswahl dieser Option werden vorhandene Elemente im Speicher gelöscht.

Ergänzen: Die Elemente und Knoten aus der Datei werden an vorhandene Elemente und Knoten angefügt. Die Nummern der Elemente werden ggf. entsprechend geändert, so dass keine doppelten Elementnummern entstehen.

Gruppennummer

Übernehmen: Die gespeicherte Gruppennummer bleibt unverändert.

Neu: Den gelesenen Elementen wird die im Eingabefeld eingetragene Gruppennummer zugeordnet.

Sichern: Makroelemente bzw. Finite Elemente in einer binären Datei sichern

Mit dem Kommando wird die gesamte Makro- bzw. FE-Struktur in binärer Form in einer Datei mit der Dateinamenserweiterung .mes bzw. .fes gesichert. Beim erstmaligen Sichern erscheint automatisch ein Dateiwahlfenster, in dem der Titel einer vorhandenen Datei im Dateisystem selektiert werden oder ein neuer Filetitel eingetragen werden kann. Von dem selektierten Filetitel wird eine eventuell vorhandene Dateinamenserweiterung entfernt und die feste Erweiterung .mes bzw. .fes wird ergänzt. Der Filetitel wird als Projekttitel in dem Protokollfenster angezeigt.

MAKROS

Es erscheint das gezeigte Dialogfenster in dem folgende Optionen eingestellt werden können, bevor die Daten mit den Schaltflächen „Projektdatei“ oder „Andere Datei“ auf Platte übertragen werden. Wird beim Sichern eine vorhandene Datei überschrieben, so muss zur Sicherheit in einem Dialogfenster bestätigt werden, dass überschrieben werden soll.



File-Titel:

Projekttitel: Anzeigt wird der bisher verwendete Projekttitel, der wieder verwendet werden kann.

Anderer Filetitel: Es erscheint ein Dateiwahlfenster, in dem ein Filetitel für das Sichern der Dateien eingestellt werden kann. Der Projekttitel wird nicht geändert. Mit dieser Option können Sicherungen verschiedener Zustände angelegt werden.

Sichern alles: Alle Dateien sichern

Das Kommando bewirkt, dass alle aktuell im Arbeitsspeicher befindlichen Dateien auf Platte gesichert werden. Dabei wird der beim Laden der Datei verwendete Projekttitel verwendet. Ist kein Projekttitel definiert, so erscheint ein Dateiwahlfenster, in dem ein Projekttitel anzugeben ist.

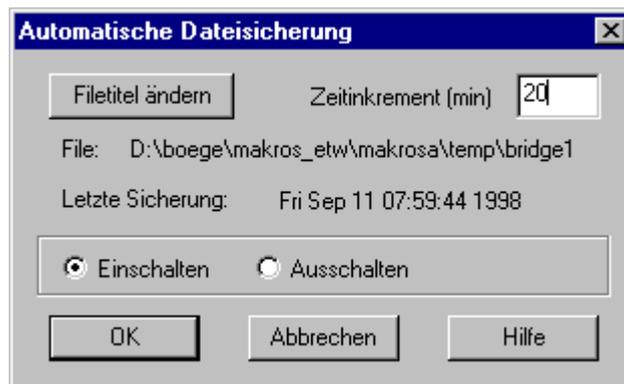
Achtung: Vorhandene Dateien werden ohne Anfrage überschrieben.

Datensicherung: Automatische Datensicherung ein-/ausschalten

Mit dem Kommando kann ein Zeitinkrement für eine automatische Datensicherung in regelmäßigen Zeitabständen eingestellt werden. Anzugeben sind ein Zeitinkrement und ein Basisdateititel. Der Basisdateititel wird um _1 bzw. _2 und die Dateinamenserweiterung des Datentyps erweitert. Es wird abwechselnd in den Dateien mit den Erweiterungen _1 bzw. _2 gesichert, so dass jeweils zwei Sicherungskopien von zwei verschiedenen Zeiten zur Verfügung stehen. Gesichert werden die Makro- und die FE-Struktur, die Unterteilungsdatei und die Lastdatei. Hinweis: Wird ein Fehler festgestellt, so sollte sofort die automatische Sicherung vorübergehend ausgeschaltet werden, damit nicht die letzte gültige Version überschrieben wird.

Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

MAKROS



Filetitel ändern: In einem Dateiwahlfenster ist ein Filetitel anzugeben, der als Basistitel für die Sicherungskopien verwendet werden soll, der Filetitel wird in dem Dialogfenster angezeigt.

Zeitinkrement: Anzugeben ist das Zeitinkrement für die automatische Sicherung in Minuten. Der Zeitpunkt der letzten Sicherung wird in dem Dialogfenster angezeigt.

Einschalten: Mit dieser Option wird die automatische Sicherung eingeschaltet.

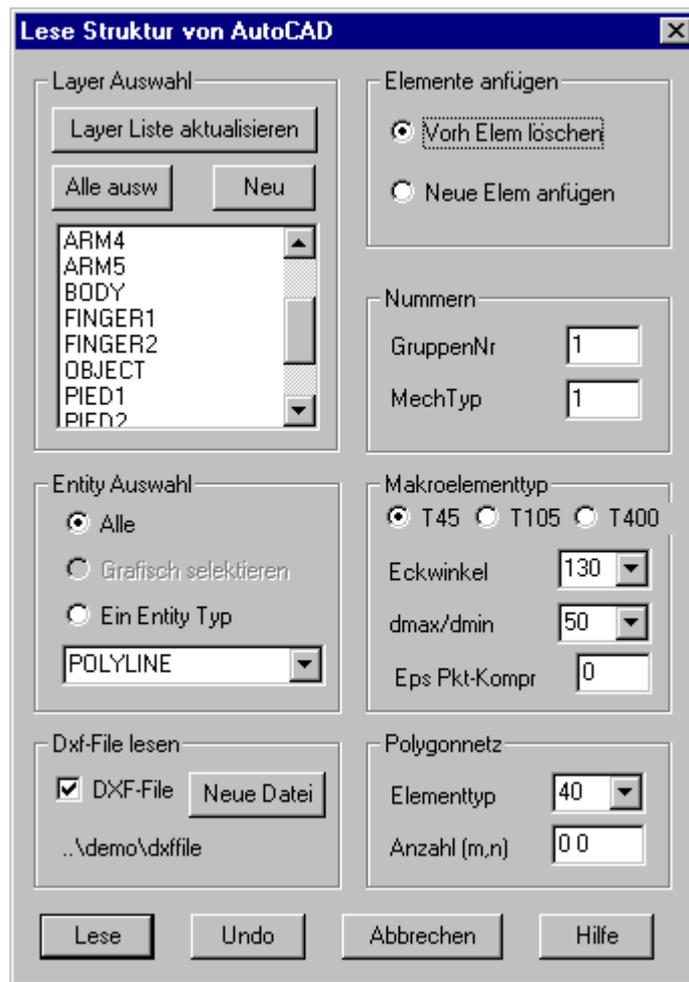
Ausschalten: Mit dieser Option wird die automatische Datensicherung ausgeschaltet.

LeseAutoCAD: Elemente von AutoCAD bzw. aus DXF-File lesen

Mit dem Kommando werden Elemente von einem oder mehreren AutoCAD-Layern bzw. von einem DXF-File gelesen.

Im Kapitel 3 ist beschrieben, welche Typen von AutoCAD-Entities gelesen werden können. Gelesen werden nur einzelne Entities, Blöcke oder aus Linien- und Bogensegmenten zusammengesetzte Polygone sind ggf. in Einzelelemente aufzulösen. Sofern einzelne Entities nicht in Makro-Elemente umgewandelt werden können (z.b. nur zwei Eckpunkte bei einem gekrümmten Flächenelement), werden diese ohne Meldung ausgelassen. Gelesene Elemente werden an bereits gespeicherte Elemente angefügt, sofern nicht die Option "vorhandene Elemente löschen" eingeschaltet ist. Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster, in dem die nachfolgend beschriebenen Optionen eingestellt werden können. Mit der Schaltfläche "Lese" wird das Lesen der AutoCAD-Entities aktiviert.

MAKROS



Layer Auswahl:

In der Liste werden alle vorhandenen AutoCAD-Layer angezeigt. Die Liste wird automatisch generiert, wenn das Kommando aufgerufen wird oder ein neues DXF-File geöffnet wird. Mit der Schaltfläche „Layerliste aktualisieren“ kann die Liste neu aufgebaut werden; hierbei wird die Layertabelle von AutoCAD bzw. des DXF-Files abgefragt.

Es können gleichzeitig mehrere Layer markiert werden, von denen Entities gelesen werden sollen. Mit der Schaltfläche „Alle auswählen“ werden alle Layer ausgewählt, mit „Neu“ wird eine vorhandene Layerauswahl wieder aufgehoben.

Die AutoCAD-Layer werden fortlaufend durchnummeriert. Die Nummer des Ursprungslayers wird den von AutoCAD gelesenen Elementen als Layernummer zugeordnet.

Entity Auswahl:

Wahlweise werden alle Entities der ausgewählten Layer gelesen (Option „Alle“) oder es können im AutoCAD-Fenster grafisch die Entities selektiert werden, die gelesen werden sollen (Option „Grafisch selektieren“), für diesen Fall darf nur ein Layer ausgewählt werden. Die Selektion von AutoCAD-Entities ist nach Anklicken der Schaltfläche "Lese" durchzuführen und wird mit der Return-Taste beendet. In einem Popup-Fenster muss zuvor bestätigt werden, dass anschließend die Selektion im AutoCAD Fenster durchgeführt wird.

Des weiteren ist es auch möglich einen einzelnen Entitytyp in der aufklappbaren Liste auszuwählen der gelesen werden soll (Option „Ein Entity Typ“). Mögliche Entitytypen sind: POLYLINE, LINE, CIRCLE, ARC, SOLID, 3DFACE, TRACE, POINT.

MAKROS

Die Interpretation der gelesenen Entities erfolgt wie in Kapitel 3 beschrieben, die Speicherung der Elemente erfolgt wie in Kapitel 2 beschrieben.

DXF-File lesen:

Wird die Option „DXF-File“ markiert, so ist anschließend in einem Dateiwahlfenster eine DXF-Datei anzugeben, aus der AutoCAD-Daten gelesen werden sollen. Die in der Datei enthaltenen Layer werden in der Layer-Liste angezeigt, auch in diesem Fall können einzelne Layer und Entitytypen ausgewählt werden. Der Filetitel der Datei wird in dem Fenster angezeigt.

Elemente anfügen:

Vorhandene Elemente löschen: Bei Auswahl dieser Option werden bereits gespeichert Elemente im Arbeitsspeicher gelöscht.

Neue Elemente anfügen: Bei Auswahl dieser Option werden neu gelesene Elemente an vorhandene Elemente angefügt.

Nummern:

GruppenNr: Angegeben werden kann eine Gruppennummer für die neuen Elemente. Voreinstellung: größte vorhandene Gruppennummer +1.

MechTyp: Angegeben werden kann eine mechanische Typnummer für die neuen Elemente. Voreinstellung: größte vorhandene mechanische Typnummer +1.

Makroelementtyp:

T 105: Bei dieser Option werden geschlossene Polygonzüge mit mehr als 4 Eckknoten (Ecken mit einem Winkel kleiner als dem angegebenen Eckwinkel), als Typ 105 gespeichert (vgl. Kapitel 2).

T400: Bei diese Option werden geschlossene Polygonzüge mit mehr als 5 Knoten als Elemente vom Typ 400 mit geraden Kanten gespeichert. Sollen einzelne Kanten Kreisbögen sein, so müssen die zugehörigen Kantenzwischenknoten nachträglich mit dem Kommando „Elementdefinition“ mit einem negativen Vorzeichen versehen werden.

T45: Bei dieser Option werden geschlossene Polygonzügen mit mehr als 4 Eckknoten (Ecken mit einem Winkel kleiner als dem angegebenen Eckwinkel), als Typ 45 gespeichert, wobei nur die 3 inneren Ecken mit den kleinsten Winkeln als Eckpunkte des Elementes verwendet werden.

Eckwinkel: In dem Eingabefeld kann ein Winkel für die Interpretation von Polygonzügen eingetragen werden. Alle Ecken des von AutoCAD gelesenen Polygonzuges mit kleinerem Winkel werden als Elementeckknoten interpretiert. Sind Polygonzugknoten doppelt vorhanden, so werden nur diese Knoten als Elementeckknoten und die anderen Knoten als Kantenzwischenknoten interpretiert. (vgl. Kapitel 3).

dmax/dmin: In dem Eingabefeld kann eine Verhältniszahl m eingetragen werden. Alle Knoten mit einem Abstand kleiner als d_{max}/m werden als doppelte Knoten interpretiert, wobei d_{max} die größte Kantenlänge des Polygonzuges ist.

Eps Pkt Komprimierung: Nach dem Lesen von AutoCAD-Entities werden alle Knoten mit einem Abstand kleiner als eps zu einem einzigen Knoten verschmolzen. Die Zahl eps wird automatisch in Abhängigkeit von der kleinsten Kantenlänge aller Elemente ermittelt, sofern nicht in dem Eingabefeld ein Wert größer als Null hierfür vorgegeben wird. Durch Vorgabe eines Wertes für eps kann verhindert werden, dass dicht beieinander liegende Knoten zu einem Knoten verschmolzen werden.

Polygonnetz

Elementtyp: Bei Polygonnetzen können wahlweise die Elementtypen 40, 42 und 45 erzeugt werden. Bei der Voreinstellung wird jedes Netzfeld als ein Viereckselement gespeichert. Wird der Elementtyp 42 eingestellt, so werden je $2 * 2$ benachbarte Netzfelder zu einem Element mit einem Zwischenknoten auf den Kanten zusammengefasst. Wird der Elementtyp 45 eingestellt, so werden je $4 * 4$ benachbarte Netzfelder zu einem Element mit 3 Zwischenknoten auf den Kanten zusammengefasst.

MAKROS

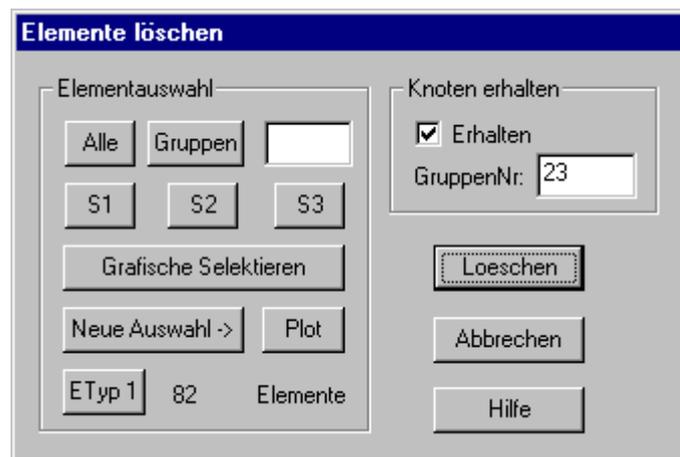
Anzahl: In dem Eingabefeld kann die Anzahl der zu erzeugenden Elemente für die x- und die y-Richtung vorgegeben werden. Die Vorgabe bewirkt, dass gegebenenfalls nicht alle Netzlinien des Polygonnetzes für die Generierung der Elemente verwendet werden. Hat z. B. das Polygonnetz 128 Segmente in einer Richtung und soll nur jede zweite Netzlinie für den Typ 45 verwendet werden, so ist die Anzahl der Elemente mit 16 vorzugeben.

Undo

Mit der Schaltfläche können die zuletzt erzeugten Elemente wieder entfernt werden, sofern nur einzelne Layer oder Entitytypen gelesen wurden.

Lösche: Elemente im Speicher löschen

Mit dem Kommando können einzelne oder alle Elemente der aktiven Struktur gelöscht werden. In der Regel werden mit den Elementen automatisch auch die nicht mehr benötigten Knotenpunkte in der Knotendatei gelöscht. Wird jedoch die Option „Knotenpunkte erhalten“ eingeschaltet, so bleiben alle Knoten für nachfolgende neue Elementdefinitionen erhalten. Knoten, die bei keinem Element mehr verwendet werden, wird ein Element vom Typ 1 (Knotenelement) mit der angegebenen Gruppennummer zugewiesen. Nicht mehr benötigte Knoten können dann durch Löschen dieser Knotenelemente endgültig entfernt werden. Mit der Schaltfläche „ETyp1“ werden alle Elemente von Typ 1 selektiert.



Lösche Alles: Alle Daten im Arbeitsspeicher löschen

Mit dem Kommando können alle im Arbeitsspeicher befindlichen Daten gelöscht werden.

MAKROS

Makro <-> FE: Makroelemente zur FE-Struktur hinzufügen bzw. umgekehrt

Mit dem Kommando können einzelne oder alle Elemente der aktiven Struktur zur inaktiven Struktur hinzugefügt werden, ohne dass sie in der aktiven Struktur gelöscht werden. Die Elementauswahl ist in einem Dialogfenster anzugeben. Wird die Option „anfügen“ nicht markiert, so wird die inaktive Struktur zuvor gelöscht.

Kommandos zur Erzeugung neuer Knoten und Elemente

Übersicht

In der Menügruppe **Definition** sind Kommandos zusammengefaßt, die dazu dienen neue Strukturknoten und Elemente zu erzeugen. Mit dem Kommando **Aktiviere FE-/Makro-Struktur** (vgl. Kapitel 4) ist zuvor festzulegen, ob eine Makro- oder eine FE-Struktur bearbeitet werden soll.

Element definieren	Einzelelemente grafisch oder numerisch neu definieren
ZusatzKnoten	Neue Knoten erzeugen , Knotenkoordinaten ändern
3D Erw/Translation	Flächenelemente in Volumenelemente umwandeln, Knoten verschieben
Spiegelung	Struktur an einer Ebene spiegeln
Schnitt	Knoten auf der Schnittkurve zweier Regelflächen berechnen
Balken	Zusatzknoten bei Balkenelementen zuordnen
Netzverfeinerung	Ebenes Elementnetz lokal verfeinern
Typ2Typ	Elementtyp umwandeln
KoorSystem	Lokale Koordinatensysteme definieren
Unterteilung	Makroelemente in Finite Elemente unterteilen
DLL Funktion	Eigene Funktionen aus DLL aufrufen

Mit den Kommandos **Element definieren** und **Zusatzknoten** werden einzelne neue Elemente bzw. Knotenpunkte erzeugt. **3DErw/Translation** ermöglicht es, Flächenelemente in Volumenelemente umzuwandeln, bzw. durch translatorische Verschiebung mehrere Elementschichten zu erzeugen, oder Elementgruppen an anderer Position zu duplizieren. Mit **Spiegelung** werden neue Elemente durch Spiegelung vorhandener Elemente an einer Spiegelebene erzeugt. Das Kommando **Schnitt** ermöglicht es, Knotenpunkte auf der Schnittkurve von Regelflächen zu erzeugen. Mit **Balken** werden Stabelementen weitere Zusatzknoten für die Festlegung der Hauptachsen und für exzentrische Anschlüsse zugeordnet. Mit **Netzverfeinerung** können lokale Bereiche eines ebenen Netzes aus Vierecks- und Dreieckselementen verfeinert werden. Mit **Typ2Typ** können Zusatzknoten auf Elementkanten und im Innern von Flächenelementen erzeugt werden. Das Kommando **Unterteilung** stellt Funktionen für die Unterteilung von Makroelementen in Finite Elemente zur Verfügung, diese sind in Kapitel 7 beschrieben.

Verschiedene Kommandos können Knotenkoordinaten bezüglich lokaler Koordinatensysteme verarbeiten. Die zugehörigen Koordinatensysteme werden mit dem Kommando **KoorSystem** definiert.

Beschreibung der Kommandos

Elementdefinition: Einzelelemente grafisch oder numerisch definieren.

Das Kommando ermöglicht es, einzelne Makro- oder Finite Elemente neu zu definieren, wobei vorausgesetzt wird, daß die zugehörigen Knotenpunkte vorhanden sind. Aus diesem Grunde kann es ggf. sinnvoll sein, zunächst neue Elemente zu definieren, bevor vorhandene Elemente gelöscht werden, da beim Löschen von Elementen i. d. R. auch die nicht mehr benötigten Knotenpunkte gelöscht werden, sofern nicht explizit angegeben wird, daß isolierte Knoten als Punktelemente erhalten bleiben sollen. Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit der Schaltfläche "Abbrechen" geschlossen wird.

MAKROS

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

The dialog box titled "Neue Elemente grafisch oder numerisch definieren" contains the following elements:

- Nummern:** A button "Vorh Element selektieren" and three input fields: "Nächste ElementNr" (55), "Nächste GruppenNr" (6), and "Nächste mechTypNr" (5).
- Digitalisierbare Knoten:** A button "Alle", three buttons "S1", "S2", and "S3", a button "Neue Knotenwahl ->", and a label "28 Knoten".
- Geometr Typ:** A dropdown menu set to "400", a "Digitalisieren" button, and a "Neu" button.
- Knotennummern:** A text box containing the sequence "|12 -24 16 4 -8 1 13 -18 9 -17 13 1 -5 2 15 -21 11 25 -27 26 -28 2".
- Buttons:** "Speichern", "Undo", "LöscheEI", "Abbrechen", and "Hilfe".

Nummern

Vorhandenes Element selektieren: Wird die Schaltfläche angeklickt, so kann anschließend ein Element grafisch selektiert werden. Die Parameter dieses Elementes und die Nummern der Elementknotenpunkte werden in dem Dialogfenster angezeigt. Das Element kann dann modifiziert und mit der Schaltfläche „Speichern“ überschrieben werden. Beispielsweise können die maßgebenden Eckknoten für die regelmäßige Unterteilung eines Elementes von Typ 105 ergänzt werden, oder den Kantenzwischenknoten beim Elementtyp 400 kann nachträglich ein negatives Vorzeichen zugeordnet werden, da diese Zuordnung nicht automatisch erfolgt, wenn die Elemente vom Typ 400 von AutoCAD gelesen werden.

Nächste Elementnr.: In dem Eingabefeld ist die Elementnummer für ein neues Element einzutragen. Nach jedem Speichern wird automatisch die größte vorhandene Elementnummer um 1 erhöht. Diese Nummer wird auch eingetragen, wenn die Schaltfläche angeklickt wird. Wird die Nummer eines vorhandenen Elementes eingetragen, so wird vor dem Speichern angefragt, ob das vorhandene Element überschrieben werden soll.

Nächste Gruppennr.: In dem Eingabefeld ist die Gruppennummer für neue Elemente einzutragen. Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird automatisch die um 1 erhöhte größte vorhandene Gruppennummer eingesetzt.

Nächste mechanische Typnr.: In dem Eingabefeld ist die mechanische Typnummer für neue Elemente einzutragen. Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird automatisch die um 1 erhöhte größte vorhandene mechanische Typnummer eingesetzt.

Digitalisierbare Knoten

Die Einstellung einer Knotenauswahl ist von Bedeutung, wenn die Elementknoten grafisch selektiert werden. Die ausgewählten Knoten werden mit einem farbigen Symbol markiert, und nur diese Knoten können dann grafisch selektiert werden. Bei der Voreinstellung sind alle Knoten der im Grafikfenster dargestellten Elemente selektierbar.

Geometrischer Typ

Einzustellen ist der geometrische Typ der neu zu definierenden Elemente. Nur die in der aufklappbaren Liste angezeigten Elementtypen können grafisch neu definiert werden.

Knotennummern

Einzutragen sind die internen Nummern der Elementknotenpunkte in der in Kapitel 2 beschriebenen Reihenfolge, wobei beim Typ x5 der letzte Punkt einer gekrümmten Kante ein negatives Vorzeichen

MAKROS

erhält. Beim Typ 105 erhalten die Eckknoten ein negatives Vorzeichen und beim Typ 400 die Zwischenknoten von Kanten mit Kreisbögen (vgl. Kapitel 2).

Neu

Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird in dem Eingabefeld für die Elementnummer die nächste freie Nummer für ein neu zu definierendes Element eingetragen, und das Eingabefeld für die Knotennummern wird gelöscht.

Digitalisieren

Wird die Schaltfläche angeklickt, so sind anschließend die Knotenpunkte des neuen Elementes grafisch zu selektieren. Die Nummern der selektierten Knoten werden in dem Eingabefeld für die Knotennummern angezeigt. Die Anzahl der zu selektierenden Knoten richtet sich nach dem Elementtyp. Bei variabler Anzahl (z.B. Typ 45, Typ 105, Typ 400), wird die Knotenselektion mit der rechten Maustaste abgebrochen. Die Einzelpunktselektion erfolgt mit der linken Maustaste. Wird vorher die -Taste gedrückt, so wird die Knotennummer des selektierten Knotens mit einem negativen Vorzeichen versehen (letzter Knoten bei Splinerändern, Kantenzwischenknoten beim Typ 105 und beim Typ 400). Selektierte Knoten werden mit einem farbigen Symbol markiert, mit der Taste d kann ein falsch selektierter Knoten sofort wieder gelöscht werden. Ist beim Elementtyp x5 ein Rand gerade, so ist für den Randknoten eine 0 einzutragen, bei der grafischen Selektion der Elementknoten ist hierfür die 0-Taste zu drücken. Es können fortlaufend mehrere Elemente definiert werden. Jedes neue Element wird sofort grafisch angezeigt und kann mit der Schaltfläche „Undo“ sofort wieder gelöscht werden.

Speichern

Mit der Schaltfläche „Speichern“ wird ein neu definiertes Element gespeichert, gleichzeitig wird es farbig im OpenGL-Fenster dargestellt und kann damit sofort überprüft und ggf. mit der Schaltfläche „Undo“ wieder entfernt werden. Wird ein vorhandenes Element neu definiert, so muß in einem Dialogfenster bestätigt werden, daß das vorhandene Element überschrieben werden soll.

Undo

Die Schaltfläche bewirkt, daß das zuletzt definierte Element wieder entfernt wird.

Lösche Elemente

Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint das Dialogfenster zum Löschen von Elementen.

Zusatzknoten: Neue Knoten erzeugen, Knotenkoordinaten ändern

Mit dem Kommando können neue zusätzliche Knoten für Elementdefinitionen mit dem Kommando „**Element definieren**“ erzeugt werden. Die Knotenkoordinaten sind in dem dargestellten Dialogfenster anzugeben. Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit der Schaltfläche „Abbrechen“ beendet wird. Das Kommando bietet folgende Optionen:

MAKROS

Neue Knoten-Elemente erzeugen / Koordinaten

Neue Knoten erzeugen

Koordinatensystem 0

Einzelknoten x y z = 25,25,13.33

Gerade unterteilen m = 0

Gerade: 2 Knoten + Zwischenknoten digitalisieren

Kreisbogen: 3 Knoten + ZwKnoten digitalisieren

Ebene: Randknoten selektieren, ZwKnoten mit Cursor

Gruppennummer der Elemente 23

Neue Koordinaten für vorhandene Knoten

KnotenNr. 0 Grafisch

Koordinaten

Speichern

Undo Lösche Elem Abbrechen Hilfe

Koordinatensystem

Wird ein lokales Koordinatensystem ausgewählt, so beziehen sich die angegebenen Koordinatenwerte auf dieses Koordinatensystem, anwendbar nur bei „Einzelknoten“ und „Gerade unterteilen“.

Einzelknoten

In dem Eingabefeld sind die Koordinaten eines Einzelknotens einzutragen.

Gerade unterteilen

Bei Auswahl dieser Option werden Zwischenknoten in äquidistanten Abständen auf einer Geraden erzeugt. Die Anzahl der Zwischenknoten ist in dem Eingabefeld anzugeben. Wurde ein lokales Koordinatensystem ausgewählt, so werden die Endpunkte der Geraden vor der Unterteilung in das lokale Koordinatensystem transformiert, so dass Zwischenknoten auf Zylinderflächen oder Torusflächen erzeugt werden. Hierbei ist jedoch der Richtungssinn von Bedeutung, d.h. der Winkelbereich darf sich nicht über 360° erstrecken. Sind die Winkel der Endpunkte einer Geraden in Zylinderkoordinaten z. B. 350° und 10° , so wird das große Bogenstück von 10° bis 350° und nicht das kurze Bogenstück von -10° bis 10° unterteilt. Nach Auswahl der Option sind fortlaufend zwei Endpunkte einer Geraden durch grafische Selektion auszuwählen, bis mit der rechten Maustaste abgebrochen wird.

Gerade: 2 Knoten und Zwischenknoten digitalisieren

Wird diese Schaltfläche angewählt, so sind anschließend zunächst zwei Knoten für eine Gerade zu selektieren, die Knoten werden mit einer farbigen Linie verbunden. Danach ist mit Cursor (linke Maustaste) festzulegen, an welchen Stellen Zusatzpunkte auf dieser Geraden eingefügt werden sollen. Abgebrochen wird mit der rechten Maustaste.

Kreisbogen: 3 Knoten und Zwischenknoten digitalisieren

Wird diese Schaltfläche angewählt, so sind anschließend zunächst drei Knoten zu selektieren, durch die ein farbiger Kreisbogen gezeichnet wird. Danach ist mit Cursor (linke Maustaste) festzulegen, an welchen

MAKROS

Stellen Zusatzknoten auf dem Kreisbogen eingefügt werden sollen. Abgebrochen wird mit der rechten Maustaste.

Ebene: Randknoten selektieren, Zwischenknoten mit Cursor

Mit Cursor sind zunächst vorhandene Knoten auf dem Rand eines ebenen Gebietes zu selektieren, der Rand wird geplottet und dient nur zur Orientierung. Der erste, zweite und letzte Knoten des Randes wird zur Bestimmung der Ebene benutzt, der Eckwinkel im ersten Knoten sollte möglichst nahe bei 90° liegen. Die Selektion von Randknoten wird mit der rechten Maustaste beendet. Mit Cursor kann die Lage von beliebig vielen Zusatzknoten auf der Ebene festgelegt werden. Abgebrochen wird jeweils mit der rechten Maustaste. Hinweis: Es sollte Parallelprojektion eingestellt werden, da sonst die berechneten Knoten auf der Ebene von der Cursorposition abweichen können. Wird die Ansicht verändert, so müssen die Bestimmungspunkte der Ebene im Fenster verbleiben.

Gruppennummer der Elemente:

Den erzeugten Knotenpunkten wird ein Punktelement zugeordnet. In dem Eingabefeld kann für diese Punktelemente eine Gruppennummer zur raschen Identifikation der Elemente angegeben werden. Voreingestellt ist die größte vorhandene Gruppennummer +1.

Neue Koordinaten für vorhandene Knoten

KnotenNr: In dem Eingabefeld ist die Nummer des Knotens anzugeben, dessen Koordinaten geändert werden sollen. Wird die Schaltfläche „Grafisch“ angeklickt, so kann anschließend ein vorhandener Knoten grafisch selektiert werden, die Nummer und die Koordinaten dieses Knotens werden in dem Dialogfenster eingetragen.

Koordinaten: In dem Eingabefeld sind die neuen Koordinaten des Knotens einzutragen.

Speichern: Mit der Schaltfläche werden die neuen Koordinaten abgespeichert.

Undo

Mit der Schaltflächen können die zuletzt erzeugten Knoten wieder entfernt werden.

Lösche Elemente

Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint das Dialogfenster zum Löschen von Elementen.

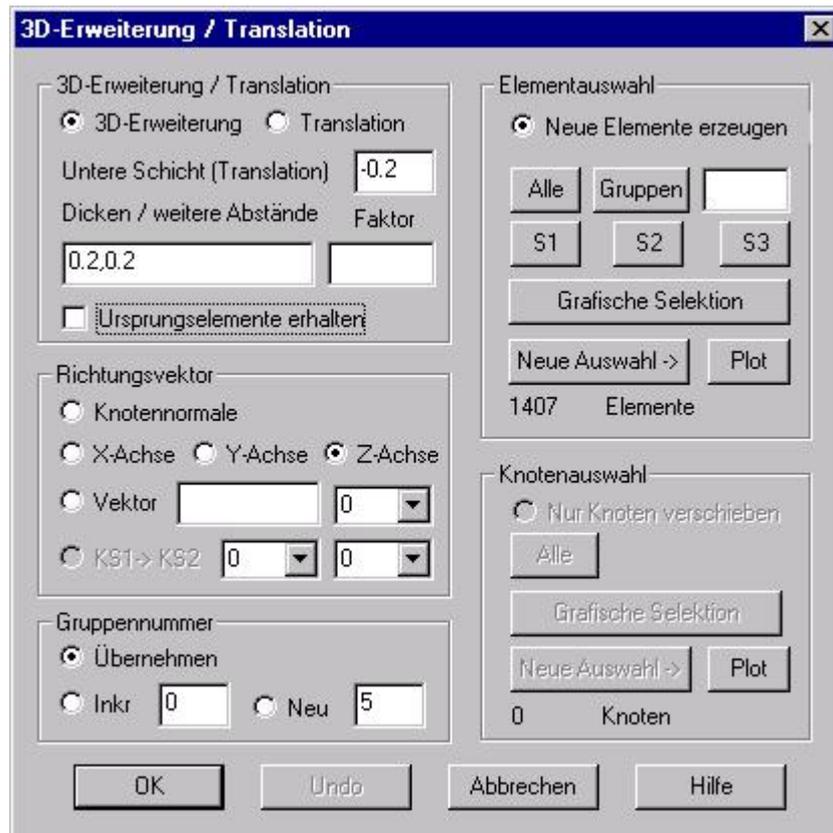
3D-Erweiterung/Translation: Flächenelemente in Volumenelemente umwandeln / Elemente translatorisch verschieben oder kopieren

Das Kommando ermöglicht es, aus Flächenelementen mehrere Schichten übereinander liegender Volumenelemente zu erzeugen und Elemente translatorisch zu verschieben oder zu kopieren.

Die Option „**3D-Erweiterung**“ ist auszuwählen, wenn Volumenelemente erzeugt werden sollen. Hierbei werden in Richtung des angegebenen Vektors neue Knoten erzeugt. Anzugeben sind der Abstand der ersten neuen Knotenschicht von den Ursprungsknoten (Knoten der ausgewählten Flächenelemente) und die Dicke für eine oder mehrere Schichten von Volumenelementen.

Wird die Option „**Translation**“ eingeschaltet, wo wird unterschieden, ob Elemente oder Knoten verschoben werden sollen. Wird die Option „**Nur Knoten verschieben**“ eingeschaltet, so werden die in der Knotenauswahl enthaltenen Knoten in Richtung des angegebenen Vektors verschoben. Das Maß der Verschiebung ist in dem Eingabefeld „**Untere Schicht/Translation**“ anzugeben. Wird die Option „**Elemente verschieben**“ eingeschaltet, so werden wie bei „**3D-Erweiterung**“ eine oder mehrere neue Knotenschichten mit neuen Flächenelementen in diesen Schichten erzeugt. Die Lage der unteren Schicht und die Abstände für weitere Schichten sind anzugeben.

Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:



3D-Erweiterung / Translation

3D-Erweiterung: Die Funktion „3D-Erweiterung“ wird eingeschaltet.

Translation: Die Funktion „Translation“ wird eingeschaltet.

Untere Schicht (Translation): In dem Eingabefeld ist anzugeben, welchen Abstand die erste neu erzeugte Knotenschicht von den Ausgangsknoten haben soll, bzw. um welches Maß bei einer Knotenauswahl diese Knoten verschoben werden sollen.

Dicken / weitere Abstände: Wird eine Elementauswahl angegeben, so können in dem Eingabefeld die Dicken mehrerer Schichten von zu erzeugenden Volumenelementen bzw. die Abstände für weitere Schichten von Flächenelementen angegeben werden. Bei Knotenauswahl sind Einträge in diesem Eingabefeld ohne Bedeutung.

Faktor: Werden Elementgruppen von einem Koordinatensystem in ein anderes verschoben bzw. kopiert, (Option KS1->KS2) so können in diesem Eingabefeld Skalierungsfaktoren für die Koordinatenrichtungen angegeben werden.

Ursprungselemente erhalten: Wird die Option angekreuzt, so bleiben die Ursprungselemente erhalten, im anderen Fall werden sie durch die neu erzeugten Volumenelemente bzw. translatorisch verschobenen Elemente ersetzt.

Richtungsvektor

Knotennormale: Bei dieser Option wird für die Richtung der 3D-Erweiterung bzw. Translation für jeden Knoten ein Normalenvektor als Mittel der Normalenvektoren der am Knoten angrenzenden Flächenelemente ermittelt. Es ist vorher zu prüfen, ob alle Flächen in gleichem Sinne orientiert sind. Diese Option kann nur bei Dreiecks- und Viereckselementen verwendet werden.

X-Achse, Y-Achse, Z-Achse: Translation bzw. 3D-Erweiterung in Richtung einer Koordinatenachse.

Vektor: In dem Eingabefeld können die Komponenten eines Vektors für die 3D-Erweiterung bzw. Translation angegeben werden. Wird hierbei in der folgenden Liste ein lokales Koordinatensystem eingestellt, so werden die Knoten zunächst in dieses Koordinatensystem transformiert und dann in

MAKROS

Richtung des angegebenen Vektors in diesem System verschoben (z. B. Normalenvektor (1, 0, 0) in einem Toruskoordinatensystem).

KSI->KS2: Diese Option ermöglicht es Elementgruppen an beliebige andere Positionen zu verschieben oder zu duplizieren. Die ausgewählten Knoten werden zunächst in das links ausgewählte Koordinatensystem transformiert, anschließend werden die Koordinatenwerte mit den unter „Faktor“ angegebenen Skalierungsfaktoren multipliziert und dann als lokale Koordinaten des rechts ausgewählten Koordinatensystems interpretiert und wieder ins globale System transformiert. Das globale Koordinatensystem hat hierbei die Identifikationsnummer 0.

Elementauswahl

Die Option „Elemente verschieben“ ist einzuschalten, wenn Flächenelemente in Volumenelemente umgewandelt, oder wenn eine oder mehrere Schichten neuer Flächenelemente erzeugt werden oder Elemente an eine andere Stelle verschoben werden sollen. Die verschiedenen Schaltflächen ermöglichen die Spezifizierung der Elementauswahl für die Ursprungselemente.

Knotenauswahl

Die Option „Nur Knoten verschieben“ ist einzuschalten, wenn einzelne Knoten translatorisch verschoben werden sollen. Die verschiedenen Schaltflächen ermöglichen die Spezifizierung der zu verschiebenden Knoten. Die Option steht bei 3D-Erweiterung nicht zur Verfügung.

Gruppennummer

Bleiben die Ursprungselemente erhalten, so kann es sinnvoll sein, den neuen Elementen eine andere Gruppennummer zuzuordnen. Es bestehen folgende Alternativen:

Übernehmen: Gruppennummer des Ursprungselementes wird übernommen.

Inkrement: Die Gruppennummer des Ursprungselementes wird um das angegebene Inkrement verändert.

Neu: Die neuen Elemente erhalten die im Eingabefeld eingetragene Gruppennummer.

Undo

Mit der Schaltfläche können die zuletzt erzeugten Elemente wieder entfernt werden.

Spiegelung: Struktur an einer Ebene spiegeln

Das Kommando ermöglicht es, Strukturteile an einer Symmetrieebene zu spiegeln. Die Parameter sind in dem dargestellten Dialogfenster einzutragen. Nach Angabe der Optionen erfolgt die Durchführung der Spiegelung durch Anklicken der Schaltfläche „Spiegeln“.



Ebene

x = : Die Spiegelebene liegt parallel zur (y, z)-Koordinatenebene des globalen Koordinatensystems. Für x kann in dem Eingabefeld ein Zahlenwert eingetragen werden.

y = : Die Spiegelebene liegt parallel zur (x, z)-Koordinatenebene des globalen Koordinatensystems. Für y kann in dem Eingabefeld ein Zahlenwert eingetragen werden.

z = : Die Spiegelebene liegt parallel zur (x, y)-Koordinatenebene des globalen Koordinatensystems. Für z kann in dem Eingabefeld ein Zahlenwert eingetragen werden.

3 Knoten: Bei dieser Option sind in dem Eingabefeld die Nummern von drei Knotenpunkten auf der Spiegelebene anzugeben. Wird die Schaltfläche „Grafisch“ angeklickt, so können anschließend drei Knotenpunkte grafisch selektiert werden. Die Nummern dieser Knoten werden in dem Eingabefeld eingetragen.

Gruppennummer

Ursprungselement: Die neu erzeugten Elemente erhalten dieselbe Gruppennummer wie die Ursprungselemente.

Inkrement: Die neu erzeugten Elemente erhalten eine Gruppennummer, die um das im Eingabefeld eingetragene Inkrement größer ist als die Gruppennummer der Ursprungselemente.

Neu: Die neu erzeugten Elemente erhalten die im Eingabefeld eingetragene Gruppennummer.

Elementauswahl

Nur die in der Elementauswahl enthaltenen Elemente werden gespiegelt, wobei Elemente vom Typ 105 bzw. 400 nicht gespiegelt werden können. Diese Elementtypen sind ggf. durch Translation in ein anderes lokales Koordinatensystem zu duplizieren (vgl. Kommando „3D-Erweiterung/Translation“).

Undo

Mit der Schaltfläche können die zuletzt erzeugten Elemente wieder entfernt werden.

Schnitt: Schnittkurve zweier Regelflächen berechnen

Das Kommando ermöglicht es, Knoten auf der Schnittkurve von zwei Regelflächen zu berechnen. Folgende Typen von Regelflächen werden unterstützt: Ebene, Kreiszylinder, Kugel, Kegel und Torus.

MAKROS

Das Kommando wird benötigt, um Einzelknoten für die Definition von Makroelementen zu erzeugen, da AutoCAD keine Funktion für die Berechnung von Schnittkurven zwischen Flächen bereitstellt, oder um die bei der Unterteilung von Makroelementen berechneten FE-Knoten auf eine Regelfläche zu verschieben und damit die Oberfläche zu glätten. Die Erzeugung der Schnittpunkte erfolgt in der Weise, daß zunächst Hilfsknoten erzeugt und diese dann in Richtung eines vorgegebenen Vektors auf die Regelfläche verschoben werden. Indem z.B. Knoten auf einer Kreiszyylinderfläche in Richtung der Zylinderachse auf eine Torusfläche verschoben werden, werden Knoten auf der Schnittkurve zwischen einem Kreiszyylinder und einem Torus berechnet. Wahlweise werden neue Knoten erzeugt, oder vorhandene Knoten verschoben. Werden neue Knoten erzeugt, so wird diesen ein Punktelement (Elementtyp 1) zugeordnet, da nur Knotenpunkte von Elementen in dem Punktfeld gespeichert werden können.

Nach Spezifizierung der Parameter im zugehörigen Dialogfenster, sind die Knoten anzugeben, welche auf die Regelfläche verschoben werden sollen. Die Anzahl der in der Auswahl enthaltenen Knoten wird angezeigt. Mit der Schaltfläche "Schnittpunkte" wird die Berechnung der Schnittpunkte veranlaßt. Es können mehrfach neue Knotenauswahlen angegeben werden. Mit "Abbrechen" wird das Kommando beendet.

Können keine Schnittpunkte berechnet werden, z.B. weil die drei Festpunkte der Grundebene auf einer Geraden liegen oder in der angegebenen Richtung keine Schnittpunkte berechnet werden können, so erfolgt eine Fehlermeldung. Im anderen Fall wird die Anzahl der berechneten Schnittpunkte protokolliert.

Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

The dialog box 'Schnittpunkte auf einer Regelfläche' contains the following options:

- Knotenauswahl:** 'Neue Knotenwahl ->', 'Grafisch selektieren', '12 Knoten', 'Plot'
- Schnitttrichtung:** 'Normal' (selected), '2 Knoten', 'Grafisch', '39 128'
- Speichern:** 'Neue Knoten', 'Gruppe: 26', 'Überschreiben' (selected)
- Regelfläche:** 'Ebene (3 Punkte)', 'Kreiszyylinder (2 Punkte + R)', 'Kreiszyylinder (3 Punkte + R)', 'Kugel (1Punkt + R)', 'Kegel (2 Punkte + R1 + R2)', 'Torus (3 Punkte + R1 + R2)' (selected)
- Punkte:** '3 Koordinaten o. KnotenNr.', P1: '0,0,0', P2: '10,0,0', P3: '0,10,0', each with a 'Grafisch' button
- Radius:** 'R1: 10', 'R2: 3'
- Buttons:** 'Schnittpunkte', 'Undo', 'Abbrechen', 'Hilfe'

In dem dargestellten Dialogfenster stehen folgende Alternativen zur Verfügung:

Regelfläche

Ebene: Anzugeben sind 3 Punkte für die Festlegung der Ebene

Kreiszyylinder: Anzugeben sind zwei Punkte auf der Zylinderachse und der Radius der Kreiszyylinderfläche

Kreiszyylinder: Anzugeben sind drei Punkte einer Ebene senkrecht zur Zylinderachse und der Radius der Kreiszyylinderfläche. Der erste Punkt wird als Mittelpunkt der Kreisebene verwendet.

Kugel: Anzugeben sind der Mittelpunkt und der Radius der Kugelfläche.

MAKROS

Kegel: Anzugeben sind zwei Punkte auf der Kegellachse und die beiden Radien der Kegelfläche an diesen Punkten.

Torus: Anzugeben sind drei Punkte in der Ebene des Torus und die beiden Radien der Torusfläche. Der erste Punkt wird als Mittelpunkt des Torus verwendet.

Punkte P1 - P3: Anzugeben sind wahlweise je drei Koordinatenwerte oder die externe Nummer eines vorhandenen Knotens

Wird die Schaltfläche „Grafisch“ angeklickt, so ist anschließend der Knoten im Grafikfenster zu selektieren. Die Koordinaten des Knotens werden in dem Eingabefeld eingetragen.

R1, R2: Sofern erforderlich sind die Werte der Radien anzugeben.

Schnitttrichtung

Anzugeben sind wahlweise drei Vektorkomponenten für die Richtung in der die Knoten verschoben werden sollen, oder die externen Nummern von zwei vorhandenen Knotenpunkten; der Richtungsvektor wird dann aus der Differenz der Koordinaten dieser Knoten berechnet. Die Schnitttrichtung ist in der Regel beliebig, außer beim Torus, hier muß der Richtungsvektor entweder parallel oder senkrecht zur Ebene des Torus sein. Wird die Schaltfläche „Grafisch“ angeklickt, so sind zwei Knoten für die Schnitttrichtung grafisch zu selektieren. Wird die Option „Normal“ ausgewählt, so wird der Normalenvektor der Oberfläche als Richtungsvektor verwendet.

Speichern

Neue Knoten: Die berechneten Schnittpunkte werden als neue Knoten mit einem Punktelement gespeichert. In dem Eingabefeld Gruppe kann den neu erzeugten Punktelementen eine spezielle Gruppennummer zugeordnet werden.

Überschreiben: Die Koordinaten der Ausgangsknoten werden durch die Koordinatenwerte der berechneten Schnittpunkte ersetzt, d.h. die Ausgangsknoten werden auf die Regelfläche verschoben.

Knotenauswahl

In dem Dialogfenster für Knotenauswahl kann mehrfach eine neue Auswahl für die Ausgangsknoten, die verschoben werden sollen, spezifiziert werden, oder Knoten werden grafisch selektiert. Mit der Schaltfläche „Plot“ kann die Knotenauswahl grafisch überprüft werden.

Undo

Mit der Schaltfläche können die zuletzt erzeugten Knoten wieder entfernt, bzw. kann die Knotenverschiebung wieder aufgehoben werden

Balken: Zusatzknoten für Balkenelemente

Mit dem Kommando können Elementen vom Typ 20 drei Zusatzknoten zugeordnet werden. Der erste Zusatzknoten (3. Elementknoten) bestimmt die Richtung der Hauptachse des Balkenelementes. Der 4. Elementknoten ist vorgesehen für einen exzentrischen Anschluß des linken Balkenendes und der 5. Knoten für einen exzentrischen Anschluß am rechten Balkenende.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Angaben gemacht werden:



3. Knoten/ 4. Knoten/ 5. Knoten

Grafisch: Nach Anklicken der Schaltfläche ist der Knoten grafisch zu selektieren. Die Knotennummer des selektierten Knotens wird in dem Eingabefeld für die Knotennummer eingetragen.

xyz: In dem Eingabefeld sind die Koordinaten des Zusatzknotens einzutragen. Es wird ein neuer Knoten erzeugt.

Knotennummer: In dem Eingabefeld ist die Nummer eines vorhandenen Knotens einzutragen.

Aus: Ist diese Option ausgewählt, so wird der entsprechende Knoten in der Elementdefinition nicht geändert.

Elementauswahl

Auszuwählen sind die Elemente, denen Zusatzknoten zugeordnet werden sollen, wobei nur Elemente vom Typ 20 berücksichtigt werden.

Speichern

Mit der Schaltfläche werden die Eintragungen für die ausgewählten Elemente durchgeführt.

Plot

Mit der Schaltfläche können die Zusatzknoten, der in der aktuellen Elementauswahl enthaltenen Elemente vom Typ 20, grafisch überprüft werden. Die Hauptachse des Balkenelementes wird durch einen Richtungsvektor im Schwerpunkt des Elementes in Richtung des 3. Knotens, oder falls die Option „Knoten 1->3“ eingeschaltet ist, durch eine farbige Verbindungslinie vom 1. zum 3. Knoten des Elementes visualisiert. Der 4. Elementknoten wird mit dem linken und der 5. Elementknoten wird mit dem rechten Elementende mit einer farbigen Linie verbunden.

KoorSystem: Lokales Koordinatensystem definieren

Mit dem Kommando können verschiedene Koordinatensysteme definiert werden, die für die Kommandos **3DERweiterung/Translation**, **Sortieren**, **Glättung**, **Knotenrandbedingungen**, **Knotenlasten** benötigt werden. Die Koordinatensysteme werden zusammen mit den Knoten der Makro- und der FE-Struktur gesichert. Wird eine neue Struktur von Platte geladen, so bleiben die aktuell im Speicher

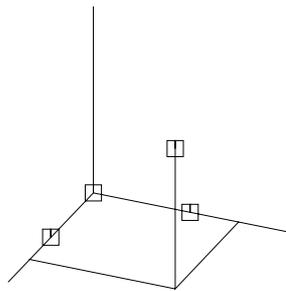
MAKROS

vorhandenen Koordinatensysteme erhalten, sofern sie nicht bei gleicher Bezugsnummer überschrieben werden. Nicht mehr benötigte Koordinatensysteme müssen explizit gelöscht werden. Die Anzahl aktuell definierter Koordinatensysteme wird in dem Dialogfenster angezeigt.

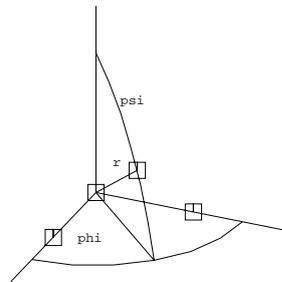
Die Lage der Koordinatensysteme wird durch drei Punkte festgelegt. Einzugeben sind wahlweise die globalen (x,y,z)-Koordinaten oder die Nummern der Knoten

Der Punkt P1 legt den Ursprung, P2 die Richtung der positiven x-Achse und P3 die positive (x,y)-Ebene fest (Ausnahme: „Zylindrisch2“). Die lokale z-Achse bildet mit x,y ein Rechtssystem. Beim Toruskoordinatensystem ist der Punkt P2 Ursprung des Koordinatensystems, d.h. die Strecke P1 - P2 bestimmt den Radius des Torus.

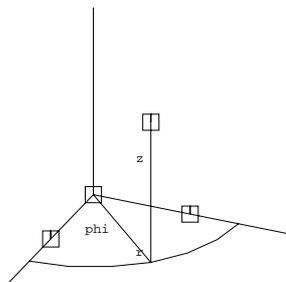
Das folgende Bild zeigt die verfügbaren Koordinatensysteme und die Lage der Festpunkte.



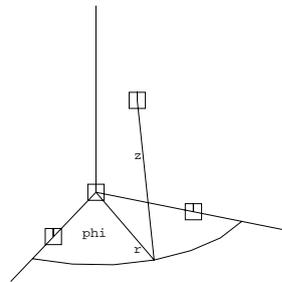
Cartesian coordinates (x,y,z)



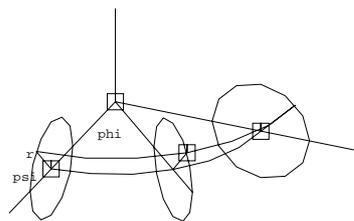
Spherical coordinates (r,phi,psi)



Cylindrical coordinates (r,phi,z)



Conical coordinates (r,phi,z)



Toroidal coordinates (r,phi,psi)



1CM= 1.275

Die Option "Randkurve" ermöglicht es, mit einem Kommando mehreren Knoten einer Randkurve ein lokales Koordinatensystem, z.B. für die Definition von senkrecht oder tangential zum Rand orientierten Knotenkräften oder Randbedingungen, zuzuordnen. Die Knotenpunkte des Randes sind anschließend in dem Dialogfenster für **Knotenauswahl** oder durch grafische Selektion anzugeben. In jedem Punkt wird der Tangentenvektor der Randkurve berechnet. Die x-Achse des Koordinatensystems ist dann senkrecht zu diesem Vektor und senkrecht zum angegebenen z-Vektor orientiert. Die Koordinatensysteme erhalten eine Nummer die gleich der Nummer des Randknotens, erhöht um das angegebene Inkrement ist. Maximal können 500 lokale Koordinatensysteme gespeichert werden.

MAKROS

Die Option "Drehen" ermöglicht es, die Orientierung bereits definierter Koordinatensysteme durch Drehen um eine lokale Achse zu ändern. Es ist die Achse auszuwählen, um die gedreht werden soll und der Drehwinkel in Grad anzugeben. In dem Eingabefeld für die Nummer kann in diesem Fall ein Nummernbereich nr1, nr2 angegeben werden.

Mit der Schaltfläche "Lösche" können gespeicherte Koordinatensysteme wieder gelöscht werden. In dem Eingabefeld für die Nummer ist in diesem Fall die Nummer des zu löschenden Koordinatensystems oder der Nummernbereich nr1 - nr2 für mehrere zu löschende Koordinatensysteme einzutragen.

Mit der Schaltfläche „Plot“ können die Koordinatensysteme geplottet werden. In dem Eingabefeld für die Nummer ist in diesem Fall die Nummer des zu plottenden Koordinatensystems oder der Nummernbereich nr1 - nr2 für mehrere Koordinatensysteme einzutragen (0 entspricht alle). Neu definierte Koordinatensysteme werden automatisch geplottet. Für den Plot der Koordinatensysteme ist in dem Eingabefeld „Länge“ die Länge der Achsen anzugeben.

In dem dargestellten Dialogfenster sind weitere Angaben zu machen:

The dialog box 'Lokales Koordinatensystem definieren' contains the following elements:

- Koor-System:** A text field 'Neue Nr.' with the value '1'. Below it are radio buttons for 'Kartesisch', 'Zylindrisch', 'Zylindrisch2' (selected), 'Sphärisch', 'Torus', and 'Randkurve'.
- Drehen:** A text field with the value '0' and radio buttons for 'z', 'x', and 'y'.
- Punkte (nr oder xyz):** Three rows of input fields: 'P1: 0,0,0', 'P2: 0,0,10', and 'P3: 10,0,0'. Each row has a 'Grafisch' button to its right.
- Rand-Koordinatensysteme:** Two buttons: 'Knotenwahl ->' and 'Selekt Knoten'.
- Knoten:** Two text fields: 'Inkrement' with the value '1000' and 'z-Richtung' with the value '0,0,1'.
- Laenge:** A text field with the value '0.7000' and a label 'Anzahl: 17'.
- Buttons:** 'OK', 'Lösche', 'Plot', 'Abbrechen', and 'Hilfe' at the bottom.

Koor-System

Numme: In dem Eingabefeld ist eine Nummer für das neue Koordinatensystem bzw. ein Nummernbereich für mehrere zu löschende oder zu rotierende oder zu plottende Koordinatensysteme einzutragen. Wird die Schaltfläche „Neue Nr.“ angeklickt, so wird in dem Eingabefeld vom Programm die nächste freie Nummer eingetragen.

Kartesisch: Kartesisches Koordinatensystem: x,y,z

Zylindrisch: Zylinderkoordinatensystem: r,phi,z; z-Achse senkrecht zur Ebene P1 - P2 - P3

Zylindrisch2: Zylinderkoordinatensystem: r,phi,z; P1 - P2 = z-Achse, P1 - P3 = x-Achse

Sphärisch: Kugelkoordinatensystem: r,phi,psi; P1 = Mittelpunkt

Torus: Toruskoordinatensystem: r,phi,psi

Randkurve: Tangential zu einer Randkurve orientierte kartesische Koordinatensysteme definieren. Die Randkurve ist anschließend in dem Dialogfenster für Knotenauswahl oder durch grafische Selektion festzulegen.

Drehen: Orientierung ein oder mehrerer bereits definierter Koordinatensysteme durch Drehung um die ausgewählte lokale x-, y- oder z-Achse ändern. Der Drehwinkel ist in Grad anzugeben. Der Nummernbereich der Koordinatensysteme ist anzugeben. Anzuwenden vorwiegend bei Koordinatensystemen in Randkurven.

Punkte (nr oder xyz)

P1: Ursprung des Koordinatensystems. Einzutragen sind die (x,y,z)-Koordinaten, oder die Nummer eines gespeicherten Knotens

P2: Punkt auf der x-Achse bzw. Zylinderachse bei „Zylindrisch2“

P3: weiterer Punkt der (x,y)-Ebene

Grafisch: Der Knoten ist anschließend im OpenGL-Fenster zu selektieren. Die Nummer des Knotens wird in das Eingabefeld eingetragen.

Rand-Koordinatensysteme

Bei Auswahl der Option "Randkurve" sind folgende ergänzende Angaben erforderlich:

Knotenauswahl: Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint das Dialogfenster für Knotenauswahl, in dem die Knotenpunkte der Randkurve festzulegen sind. Zur Randkurve zählen alle Elementkanten, deren Knoten in der Knotenauswahl enthalten sind.

Selekt Knoten: Die Knoten der Randkurve sind anschließend durch grafische Selektion festzulegen.

Inkrement: Anzugeben ist ein Inkrement zur Knotennummer (0 ist zulässig) für die Bezugsnummern der Koordinatensysteme.

z-Richtung: Anzugeben ist ein Richtungsvektor für die lokale z-Achse der Koordinatensysteme, der nicht in der Ebene der Randkurve liegen darf.

Typ2Typ: Elementtyp umwandeln

Das Kommando ermöglicht es, den geometrischen Elementtyp von ausgewählten Elementen zu verändern, indem automatisch zusätzliche Knotenpunkte auf den Elementkanten oder im Innern der Elemente durch Interpolation erzeugt oder Knotenpunkte gelöscht werden. Es können auch automatisch Viereckselemente mit zu großer Verwindung oder zu großen Eckwinkeln (vergleiche Kommando **Kontrolle**) in zwei Dreieckselemente umgewandelt werden.

Die Typumwandlung kann auch erforderlich sein, wenn Finite Elemente durch Teilung von Makroelementen erzeugt werden, da hierbei nur Elemente mit einem Zwischenknoten auf den Kanten erzeugt werden können.

Des weiteren ist die Typumwandlung erforderlich, wenn Elemente mit Knoten im Flächeninnern in AutoCAD dargestellt und wieder gelesen werden. Hierbei gehen Knoten im Flächeninnern verloren.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Optionen eingestellt werden:



Elementtyp

Alter Typ: In der aufklappbaren Liste werden alle in der Elementdatei vorhandenen Elementtypen angezeigt. Es ist auszuwählen, welcher Elementtyp umgewandelt werden soll.

MAKROS

Neuer Typ: In der aufklappbaren Liste wird angezeigt, in welche neuen geometrischen Typen der ausgewählte alte Elementtyp umgewandelt werden kann. Es ist ein neuer Elementtyp auszuwählen.

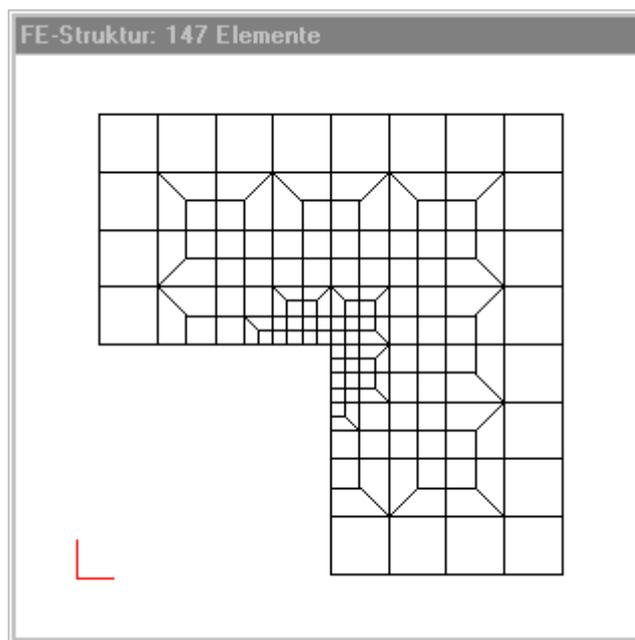
Elementauswahl

Es sind die Elemente auszuwählen, die umgewandelt werden sollen. Von der Auswahl werden nur die Elemente berücksichtigt, welche den angegebenen alten Elementtyp besitzen. Mit „PlotEWahl“ kann die Auswahl grafisch überprüft werden.

Netzverfeinerung/Netzentzerrung: Ebenes Elementnetz lokal verfeinern / Netz glätten

Netzverfeinerung: Mit dieser Option kann ein ebenes oder räumliches Netz aus Dreiecks- und Viereckselementen lokal durch einfache Teilung der Elemente verfeinert werden. Aus einem Dreieckselement werden hierbei drei Viereckselemente erzeugt, in dem ein Zwischenknoten auf den Elementkanten und ein Knoten im Elementschwerpunkt des Ursprungselementes eingefügt werden. Aus einem Viereckselement werden 4 Viereckselemente erzeugt, indem ein Zwischenknoten auf den Elementkanten und ein Knoten im Schwerpunkt des Ursprungselementes eingefügt werden. Durch Elementwahl ist zunächst das lokale Gebiet anzugeben, welches unterteilt werden soll. Zunächst wird dann der Rand des ausgewählten Gebietes ermittelt, bei den Randkanten wird unterschieden zwischen Kanten, an die weitere Elemente angrenzen und Kanten, die zum äußeren Rand des Gesamtgebietes gehören. In dem Dialogfenster ist auszuwählen, welche dieser beiden Typen von Randknoten mit unterteilt werden sollen.

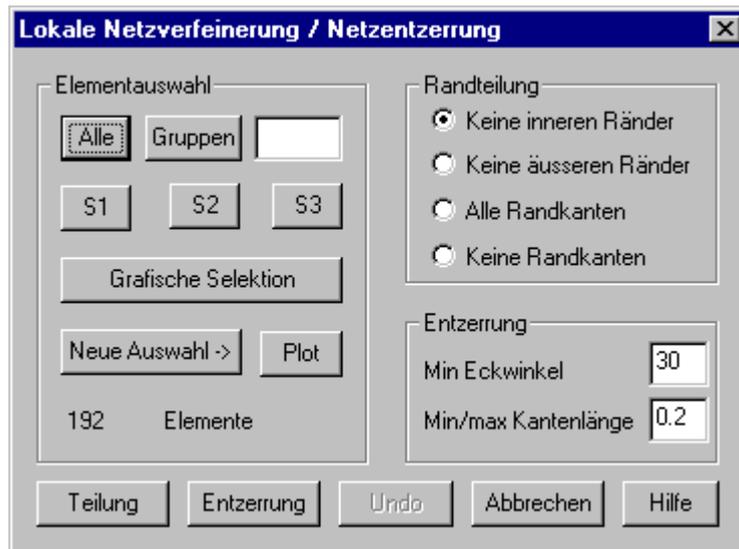
Hinweis: Die Anzahl einer Folge von Randelementen sollte gerade gewählt werden, damit nur Viereckselemente erzeugt werden (vergl. Abbildung), anderenfalls werden auch Dreieckselemente erzeugt.



Netzentzerrung: Diese Option ermöglicht es, ein ebenes Netz aus Dreiecks- und Viereckselementen zu glätten. Die Glättung erfolgt nach folgendem Algorithmus: Für jeden inneren Knoten des ausgewählten Gebiets werden zunächst die Kanten gesucht, welche an den Knoten anschließen. Anschließend werden die (x, y)-Koordinaten des Knotens so korrigiert, daß diese gleich dem Mittelwert der Koordinatenwerte der umliegenden Knoten sind. Der Algorithmus wird mehrfach für alle Innenknoten des Gebietes wiederholt. Für die Netzentzerrung kann ein Mindestwinkel für die Eckwinkel bei Viereckselementen angegeben werden. Die Verschiebung der Knoten unterbleibt, wenn dabei bei einem Element dieser Eckwinkel unterschritten wird bzw. größer als 180 Grad – diesem Wert wird. Des Weiteren kann ein Mindestwert für das Verhältnis der kleinsten zur größten Kantenlänge der Elemente angegeben werden. Die Änderung der Knotenkoordinaten unterbleibt, wenn bei der Verschiebung der Knoten bei einem Element dieser Wert unterschritten wird.

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

MAKROS



Elementauswahl

Es sind alle Elemente auszuwählen, welche unterteilt bzw. deren Knoten verschoben werden sollen. Nur Elemente des Typs 30 bzw. 40 werden berücksichtigt.

Randteilung

Auszuwählen ist, welche Kanten auf den Rändern des ausgewählten Gebietes mit unterteilt werden sollen, z. B. nur die Kanten auf den Außenrändern des Gesamtgebietes („Keine inneren Ränder“).

Entzerrung

Min Eckwinkel: Anzugeben ist der Mindestwinkel in den Eckpunkten von Viereckselementen in Grad.

Min/max Kantenlänge: Anzugeben ist die minimale Kantenlänge der Elementkanten im Verhältnis zur maximalen Kantenlänge.

Teilung

Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird die Teilung der Elemente des ausgewählten Gebietes durchgeführt.

Entzerrung

Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird die eine Glättung des ausgewählten Gebietes durchgeführt.

Unterteilung: Makroelemente in Finite Elemente unterteilen

Mit dem Kommando wird die Art der Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente festgelegt und die Unterteilung durchgeführt. Die Funktionen sind in Kapitel 7 beschrieben.

DLL-Funktion: Eigene Funktionen aus DLL aufrufen

Das Kommando ermöglicht es, eigene Funktionen zur Erzeugung neuer Knoten und Elemente aufzurufen. Die Funktionen müssen in einer oder mehreren DLLs zur Verfügung gestellt werden.

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

MAKROS



DLL Datei

Neue Datei laden: Wird der Button angeklickt, so erscheint ein Dateiwahlfenster in dem die DLL-Datei auszuwählen ist, die geladen werden soll.

DLL entfernen: In der aufklappbaren Liste werden die Namen aller DLLs angezeigt, die geladen sind. Wird der Button angeklickt, so wird die in dem Eingabefeld angezeigte DLL entfernt.

DLL-Funktionen

Funktion aufrufen: Wird der Button angeklickt, so wird die Funktion aufgerufen, deren Name in dem Eingabefeld angegeben ist. Beim erstmaligen Aufruf der Funktion muß zuvor in der Liste der DLL-Namen die DLL selektiert werden, in der die Funktion enthalten ist. Wird die Funktion in der DLL gefunden, so wird deren Adresse gespeichert und der Funktionsname in der aufklappbaren Liste angezeigt. Die Funktion kann dann mehrfach aufgerufen werden, bis die zugehörige DLL entfernt wird.

Beim erstmaligen Aufruf des Kommandos wird geprüft, ob in dem bin Verzeichnis von MAKROS eine Datei „maka_interface.ini“ mit Einträgen des folgenden Typs existiert:

```
#dll kf funktion verzeichnis
```

„kf“ ist hierin die Typkennzahl der Funktion, „funktion“ der Name einer Funktion und „verzeichnis“ der Pfadname der DLL in der die Funktion enthalten ist.

Zum Beispiel:

```
#dll 0 funct1 G:\boege\makrosa\testdll\dll1\debug\dll1.dll
#dll 0 funct2 G:\boege\makrosa\testdll\dllmfc\debug\dllmfc.dll
#dll 1 testInterface G:\boege\makrosa\testdll\interf\debug\interface.dll
```

Werden entsprechende Einträge gefunden, so werden die darin angegebenen DLLs sofort geladen und die Einsprungstellen des Funktionen ermittelt und gespeichert. Die DLLs und Funktionsnamen werden in die entsprechenden Listen des Dialogfensters eingetragen und können nachfolgend aufgerufen werden.

Prototyp der aufgerufenen Funktionen

Die aufgerufenen Funktionen müssen den folgenden Prototyp aufweisen:

```
typedef struct
{
    int nev;           // Anzahl Elemente
    int nn1;          // Dimension einer Elementzeile
    int npv;          // Anzahl Knoten
    int **nel;        // Elemente nel [nev+1][nn1]
    float (*pkt)[3]; // Knotenkoordinaten
} feststruct;
```

MAKROS

extern „C“

```
void funktion (CWnd *pWnd, festruct *ein, festruct *aus, int kzfree, int kzf, void *p);
```

pWnd ist ein Zeiger auf das Protokollfenster von MAKROS. Sofern die Funktion Dialoge verwendet, sollte pWnd als parent window verwendet werden.

ein ist die Adresse einer Struktur, in der die Elementbeschreibungen und Knotenkoordinaten aller Elemente der aktuell aktiven Struktur angegeben sind. Für jedes Element werden folgende Daten angegeben: externe Elementnummer, Typkennzahl des Elementes, mechanische Typkennzahl, Gruppennummer, interne Indizes der Elementknoten. Elemente und Knoten sind ab dem Index 1 in den Feldern nel bzw. pkt gespeichert.

aus ist die Adresse einer Struktur, in der neue Elemente zurückgegeben werden können. Die zugehörigen Parameter bzw. Adressen sind in der Struktur zu speichern. Zurückgegebene Elemente werden an die vorhandenen Elemente angefügt.

kzfree ist eine Kennzahl, die Funktion wird zunächst mit kzfree = 0 aufgerufen, danach werden evtl. zurückgegebene neue Elemente in die Struktur eingefügt und unmittelbar danach wird die Funktion erneut mit kzfree = 1 aufgerufen. Bei diesem zweiten Aufruf sollte lediglich der für neue Elemente reservierte Speicher wieder freigegeben werden.

kzf ist die Funktionstypkennzahl der Funktion und muß 0 sein bei diesem Funktionstyp.

p wird nicht verwendet bei diesem Funktionstyp.

In dem Verzeichnis **dll** sind zwei Musterbeispiele für eigene Funktion mit bzw. ohne Dialogfenster angegeben. Bei Bedarf kann die Programmierschnittstelle um weitere Funktionen mit anderem Prototyp erweitert werden.

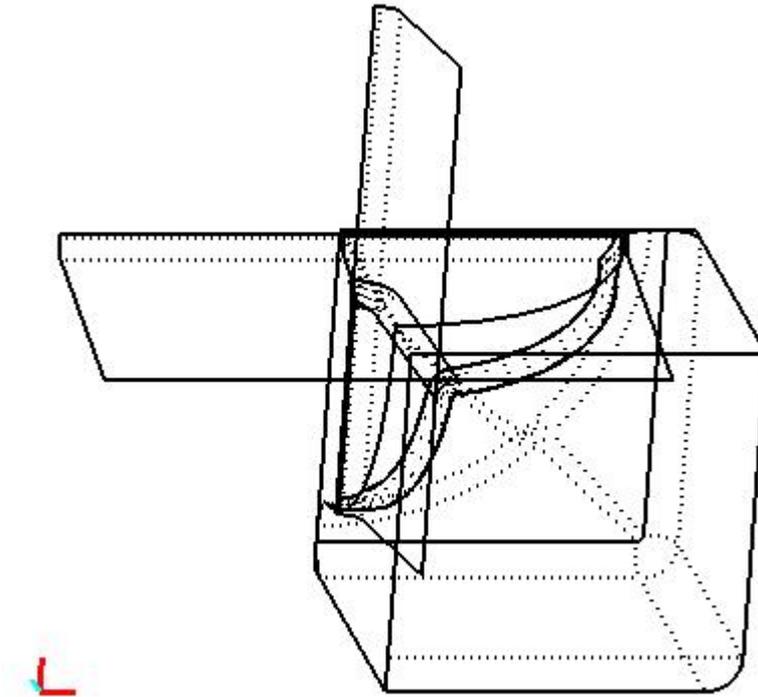
Bearbeitung von VDAFS-Daten

Übersicht

VDA-Flächenschnittstelle (VDAFS)

VDAFS ist eine vom Verband der Automobilindustrie (VDA) entwickelte Schnittstelle für den Austausch von CAD-Geometriedaten zwischen verschiedenen CAD- und anderen Programmsystemen, wobei der Übergabe von Freiformflächen (z.B. Karosserieoberflächen) und begrenzten Flächen eine besondere Bedeutung zukommt.

Die folgende Abbildung zeigt das aus 8 begrenzten Flächen bestehende CDA-Modell eines Bechergesenkes (vgl. Demofile „vdafs.vda“)



Bezüglich einer detaillierten Beschreibung der VDA-Flächenschnittstelle wird auf die DIN 66301 verwiesen.

Mit MAKROS-A können die folgenden VDAFS - Elementtypen von einem ASCII-File gelesen und weiter verarbeitet werden:

POINT:	(x, y, z) – Koordinaten von Einzelpunkten
PSET:	Folge von Einzelpunkten
CIRCLE:	Kreisbogen
CURVE:	Raumkurve
CONS:	Kurve auf einer Fläche
SURF:	Raumfläche
FACE:	Begrenzte Raumfläche

Speziell für die Bearbeitung begrenzter Flächen (Typ FACE) stellt MAKROS-A Hilfsmittel zur Verfügung, die es ermöglichen grafisch interaktiv Makroelemente auf den Flächen zu definieren und diese mit einem FE-Netz zu vernetzen (vgl. Demodatei „vdafs.dem“).

Verarbeitung von VDAFS - Elementen mit MAKROS-A

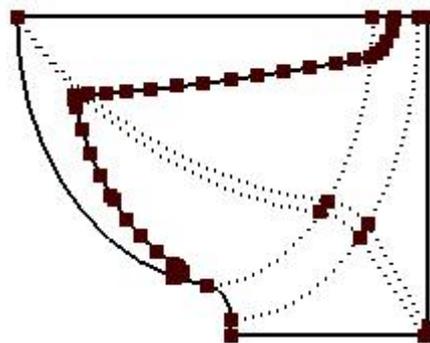
Punkte und Raumkurven

Elemente vom Typ POINT und PSET werden als einfache Knotenelemente gespeichert. Sie ermöglichen die Übergabe der Koordinatenwerte von einzelnen Festpunkten des CAD-Modells. VDAFS-Elemente vom Typ CIRCLE und CURVE werden durch Makroelemente von Typ 22 (Kreisbogen) approximiert.

Begrenzten Flächen (FACE) und Raumflächen (SURF)

Begrenzte Flächen werden im VDAFS-Format durch eine Raumfläche und eine oder mehrere geschlossene Kurven (CONS) auf der Fläche definiert. Die Fläche und die Begrenzungskurven bestehen in der Regel aus mehreren Segmenten. Bei der grafischen Darstellung werden in MAKROS-A innere Begrenzungslinien von Flächensegmenten als gestrichelte Linien gezeichnet.

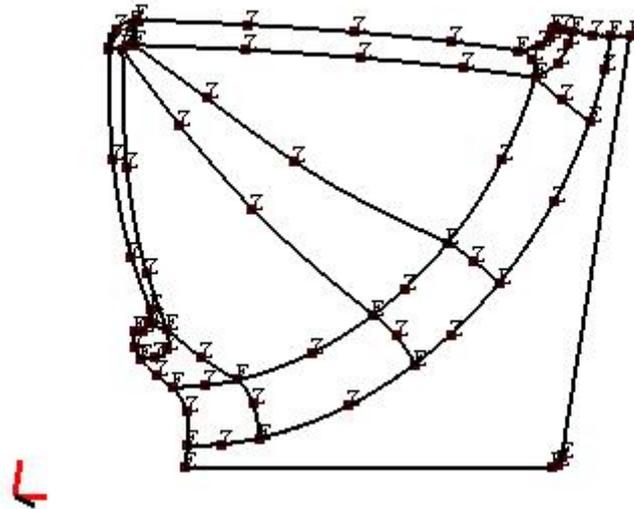
Die folgende Abbildung zeigt ein FACE-Element mit automatisch erzeugten Knotenpunkten in den Eckpunkten der SURF-Segmente und an den Endpunkten der CONS-Segmente.



Die grafisch interaktive Generierung von Makroelementen auf einer einzelnen („aktiven“) begrenzten Fläche geschieht in folgenden Arbeitsschritten:

- a) Erzeugung von Knotenpunkten auf der SURF-Fläche. Hierfür stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung (vgl. Registerkarte „Knoten“).
- b) Definition von Makroelementen (vgl. Registerkarte „Elementdefinition“). Hierbei ist auf Verträglichkeit benachbarter Makroelemente zu achten. Auf den Rändern der begrenzten Flächen müssen die auf verschiedenen SURF-Flächen definierten Knotenpunkte der benachbarten Makroelemente etwa gleiche Koordinaten haben, damit diese Knoten bei der Erzeugung der gesamten Makrostruktur zu einem Knoten verschmolzen werden können und benachbarte Makroelemente dann gemeinsame Kanten besitzen. Nur so kann die Verträglichkeit der Unterteilung der Makroelemente vom Programm automatisch überprüft werden. Um Nachbarknoten zu identifizieren werden beim Plot der Makroelemente Eckknoten mit einem „E“ und Kantenzwischenknoten mit einem „Z“ markiert. Die folgende Abbildung zeigt die Makroelemente von zwei benachbarten SURF-Flächen mit Markierung der Knotenpunkte.

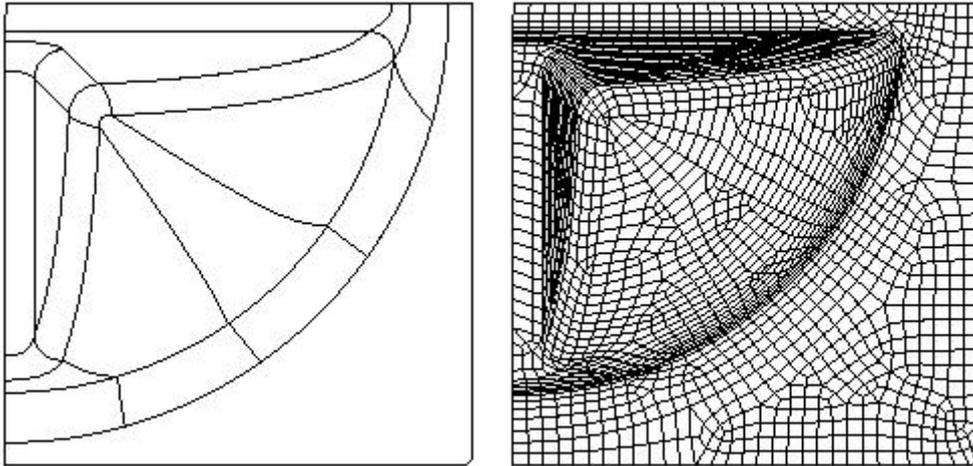
MAKROS



- c) Unterteilung der Makroelemente (vgl. Registerkarte „Makro-/FE-Struktur“). Nachdem die Geometrie aller begrenzten Flächen mit Makroelementen approximiert ist, wird aus den Makroelementen aller SURF-Flächen eine Makrostruktur erzeugt. Hierbei werden die Knoten auf den gemeinsamen Rändern benachbarter SURF-Flächen zu einem Knoten verschmolzen, sofern sie innerhalb einer berechneten Toleranz identische Koordinaten besitzen.
- d) Erzeugung des FE-Netzes aus der Makrostruktur durch Unterteilung der Makroelemente (vgl. Registerkarte „Makro-/FE-Struktur“).
- e) Glättung des FE-Netzes (vgl. Registerkarte „Makro-/FE-Struktur“). Die Berechnung der FE-Knotenpunkte bei der Unterteilung der Makroelemente erfolgt durch C^0 -Coons-Interpolation zwischen den gegenüberliegenden Kanten der Makroelemente. Abhängig von der Größe und Krümmung der Makroelemente werden die berechneten FE-Knoten mehr oder weniger stark von der Oberfläche der SURF-Fläche abweichen. Diese Abweichung kann durch nachträgliche Glättung des FE-Netzes beseitigt werden. Hierbei wird folgender Algorithmus angewendet: Für jedes Makroelement wird eine optimale Ebene bestimmt, auf welche die Knoten der zugehörigen finiten Elemente durch senkrechte Projektion abgebildet werden. Anschließend werden Knoten auf der SURF-Fläche bestimmt, welche in der Projektion auf die Ebene gleiche Koordinaten besitzen. Diese Knoten der SURF-Fläche ersetzen dann die durch C^0 -Coons-Interpolation berechneten FE-Knoten. Damit eine optimale Ebene bestimmt werden kann, sollten keine sehr schmalen Makroelemente verwendet werden. Ferner dürfen sich keine Bereiche des Makroelementes in der Projektion überdecken.

Die folgende Abbildung zeigt die Makrostruktur und die hieraus generierte FE-Struktur für das obige Bechergesenk (vgl. Demobeispiel „vdafs.dem“):

MAKROS



Beschreibung der Kommandos

Die Kommandos zur Bearbeitung von VDAFS-Daten sind in einem Dialogfenster mit folgenden Registrierkarten zusammengefasst:

Datei	VDAFS-Eingabefile lesen, Binärdatei sichern bzw. laden
Plot	VDAFS-Elemente grafisch darstellen
Knoten	Knotenpunkte auf SURF-Flächen definieren
Elementdefinition	Makroelemente auf SURF-Flächen definieren
Makro-/FE-Struktur	Makro- und FE-Struktur erzeugen, FE-NETZ glätten
Auswahl / Löschen	VDAFS-Elementauswahl definieren, VDAFS-Elemente löschen

Das Dialogfenster wird mit dem Kommando „**VDAFS-Daten**“ in der Menüauswahl „**Definition**“ aktiviert und mit der Schaltfläche „Beenden“ geschlossen.

Solange das Dialogfenster aktiv ist können keine anderen MAKROS-A Kommandos zur Bearbeitung der Makro- oder FE-Struktur aufgerufen werden.

Hinweis: Wird eine VDAFS-Eingabedatei gelesen, oder eine binäre VDAFS-Datei geladen, so werden zuvor alle im Arbeitsspeicher befindlichen Daten (Makrostruktur, FE-Struktur, VDAFS-Daten etc.) nach einer Anfrage gelöscht, vorhandene Daten müssen ggf. zuvor gesichert werden. Sollen mehrere VDAFS-Dateien zu einer Gesamtstruktur zusammengeführt werden, so geht dieses nur in der Weise, dass für jede VDAFS-Datei eine Makro- und FE-Struktur erzeugt und in eigenen Dateien gesichert wird. Mit dem Kommando „**Laden**“ können dann mehrere Dateien zu einer Gesamtstruktur zusammengefügt werden.

Registerkarte „Datei“

Die Registerkarte ist zum Lesen einer neuen VDAFS-Eingabedatei, sowie zum „Sichern“ oder „Laden“ einer binären Datei zu aktivieren. VDAFS-Eingabedateien müssen die Endung .vda und binären Dateien die Endung .vd besitzen. Die Endung .vd wird automatisch ergänzt.

Das dargestellte Dialogfenster bietet folgende Optionen:



VDAFS-ASCII-Datei lesen/schreiben

File Titel: Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint ein Dateiwahlfenster, in dem der Titel der Eingabedatei auszuwählen ist. Nach Angabe des Filetitels wird die Anzahl der verschiedenen VDAFS-Elementtypen in der Datei festgestellt und in dem Dialogfenster angezeigt.

Elementtyp und Anzahl VDA-Elemente in der Datei: Sollen nicht alle VDAFS-Elementtypen gelesen werden, so kann angekreuzt werden, welche Typen gelesen werden sollen.

Lese VDA-Typ: Mit dieser Schaltfläche werden die ausgewählten Elementtypen gelesen, wobei alle in der Datei vorhandenen Elemente eines Typs gelesen werden. Mit der Registerkarte „Auswahl / Löschen“ können nicht benötigte VDAFS-Elemente wieder gelöscht werden.

Alle Typen lesen: Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden alle VDAFS-Elementtypen der Eingabedatei gelesen.

VDA-File schreiben (Ausw): Mit dieser Schaltfläche kann eine neue VDAFS-Eingabedatei im ASCII-Format erstellt werden. Der Filetitel der Datei wird angefordert. In die Datei werden alle VDAFS-Elemente geschrieben, die in der aktuellen Auswahl enthalten sind (Registerkarte „Auswahl / Löschen“).

Anzahl gelesener Elemente: Es wird protokolliert, wie viele Elemente der verschiedenen VDAFS-Elementtypen aktuell im Arbeitsspeicher vorhanden sind.

Binäre Datei erzeugen bzw. laden

MAKROS

Filetitel ändern: Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint ein Dateiwahlfenster in welchem der Titel der binären VDAFS-Datei anzugeben ist. Die Endung .vd wird automatisch ergänzt.

Sichern: Mit dieser Schaltfläche werden die aktuell im Arbeitsspeicher befindlichen VDAFS-Daten einschließlich der den SURF-Flächen zugeordneten Knoten und Makroelemente in der angegebenen Datei gesichert.

Laden: Mit dieser Schaltfläche werden die in der angegebenen Binärdatei gespeicherten Daten in den Arbeitsspeicher geladen. Sämtliche vorhandenen Daten werden wie beim Lesen einer neuen Eingabedatei zuvor gelöscht.

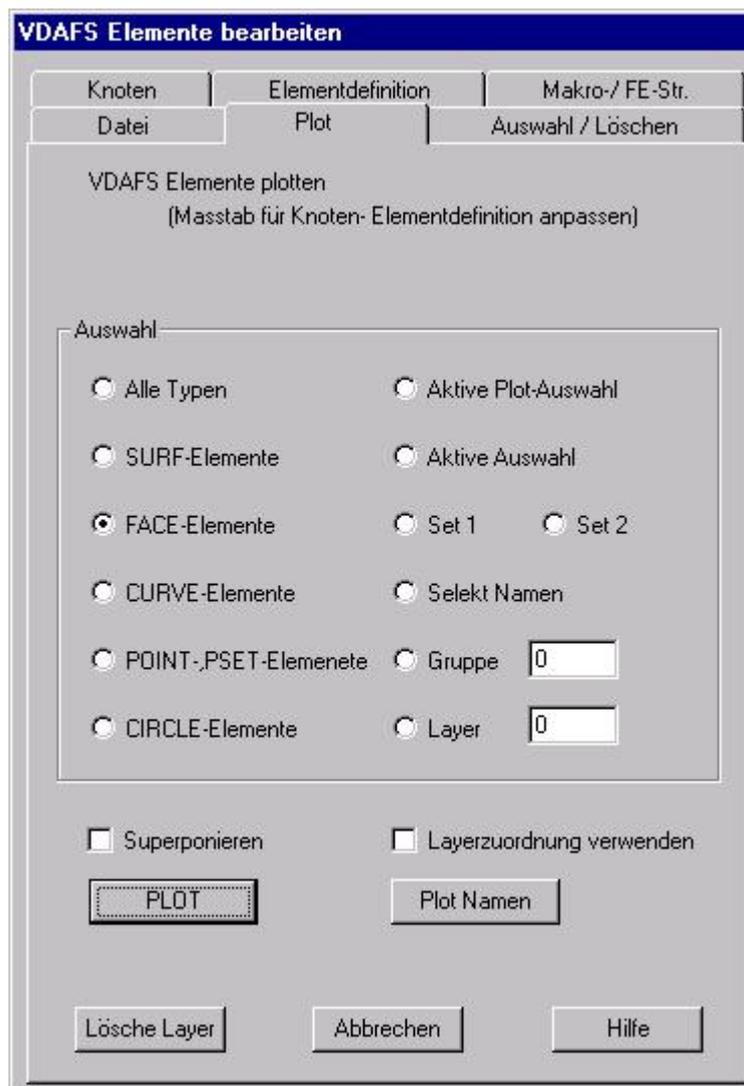
Alles löschen

Wird diese Schaltfläche angeklickt, so werden alle im Arbeitsspeicher befindlichen Daten gelöscht.

Registerkarte „Plot“

Das Dialogfenster ermöglicht es ausgewählte VDAFS-Elementtypen oder VDAFS-Elemente grafisch darzustellen. Die geplotteten Elemente ergeben die „aktive Plotauswahl“, die für die Anpassung des Maßstabs und die grafische Selektion von Elementen benutzt wird. Ist die Option „Superponieren“ angekreuzt so werden neue Auswahlen zur aktiven Plotauswahl hinzugefügt.

Das dargestellte Dialogfenster bietet folgende Optionen:



Auswahl

Es ist anzugeben, ob alle VDAFS-Elementtypen oder nur ein bestimmter VDAFS-Typ geplottet werden soll. Bei den Optionen „Aktive Auswahl“, „Set 1“ und „Set 2“ werden die in den entsprechenden Auswahlen enthaltenen Elemente geplottet (Registerkarte „Auswahl/Löschen“). Wird die Option „Selekt Namen“ ausgewählt, so scheint beim Anklicken der Schaltfläche „Plot“ ein Textfenster mit den Namen aller vorhandenen VDAFS-Elemente. In diesem Fenster sind die Namen der zu plottenden Elemente mit Cursor zu markieren. Die Auswahl ist in dem Textfenster mit der Schaltfläche „OK“ zu bestätigen.

Plot: Mit der Schaltfläche erfolgt die grafische Darstellung aller in der aktiven Plotauswahl enthaltenen Elemente.

Plot Namen: Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden die Namen der in der aktiven Plotauswahl enthaltenen VDAFS-Elemente im Schwerpunkt der Elemente geplottet.

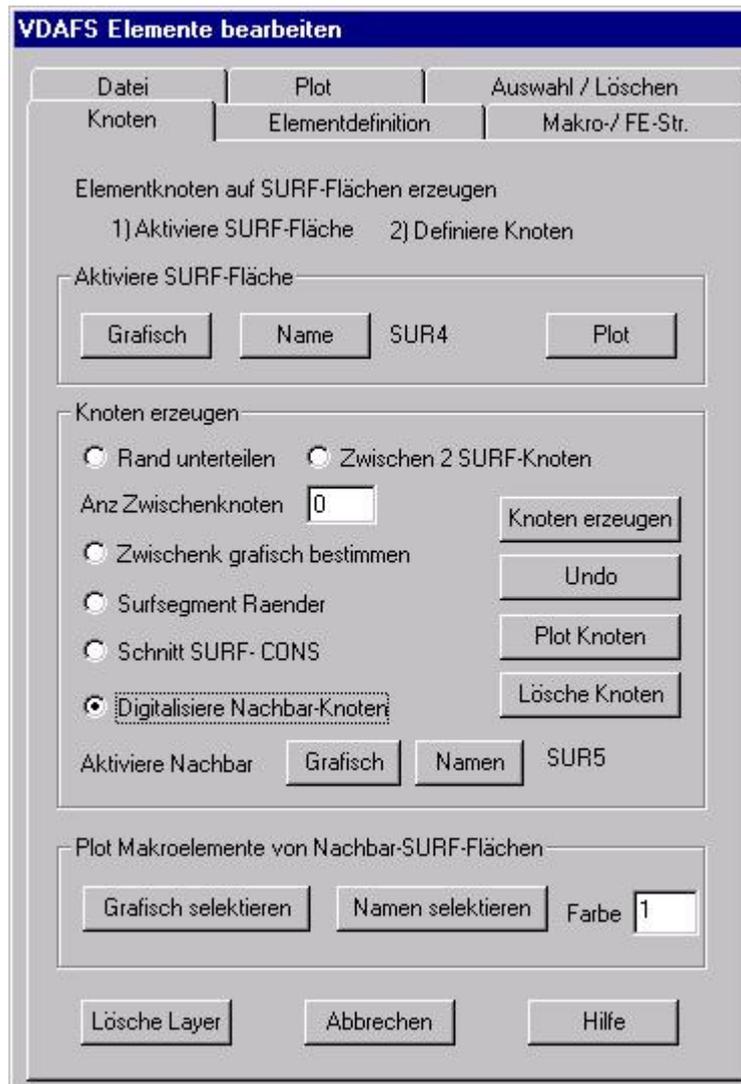
Superponieren: Wird die Option nicht angekreuzt, so wird eine neue aktive Plotauswahl definiert; anderenfalls werden die aktuell ausgewählten Elemente zu der aktiven Plotauswahl hinzugefügt und der Maßstab neu bestimmt.

Layerzuordnung verwenden: Mit der Registerkarte „Auswahl / Löschen“ kann den VDAFS-Elementen eine Layer ID zugeordnet werden. Ist die Option angekreuzt, so werden die Elemente in verschiedenen Displaylisten geplottet, so dass mit dem Kommando „Layer“ sehr einfach Teile der Struktur ein- und ausgeblendet werden können.

Registerkarte „Knoten“

Mit diesem Dialogfenster werden Knotenpunkte für die Definition von Makroelementen erzeugt. Die Knotenpunkte werden den SURF-Elementen zugeordnet. Es muss also jeweils eine SURF-Fläche aktiv sein. Existiert ein FACE-Element zur aktiven SURF-Fläche, so werden beim Plot des aktiven Elementes auch die Begrenzungskurven auf der SURF-Fläche geplottet.

Das Dialogfenster bietet folgende Optionen:



Aktiviere SURF-Fläche

Grafisch: Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden die Namen der in der aktiven Plotauswahl befindlichen SURF-Elemente mit einem Symbol geplottet. Mit Cursor ist anschließend dasjenige SURF-Element auszuwählen, welches aktiviert werden soll. Das aktive Element wird grafisch dargestellt. Der Name des aktiven Elementes wird in dem Dialogfenster angezeigt.

Name: Wird diese Schaltfläche angeklickt, so erscheint ein Textfenster mit den Namen aller SURF-Elemente. Mit Cursor ist der Name einer SURF-Fläche zu markieren. Mit der Schaltfläche „OK“ wird das Textfenster geschlossen und die SURF-Fläche mit dem markierten Namen aktiviert.

Plot: Mit der Schaltfläche wird das aktive SURF-Element mit den Begrenzungskurven neu geplottet.

Knoten erzeugen

Zur Erzeugung von Knotenpunkten auf der aktiven SURF-Fläche stehen folgende Optionen zur Verfügung:

Rand unterteilen: Bei dieser Option werden Knotenpunkte auf den Begrenzungskurven der SURF-Fläche (VDAFS-Elementtyp CONS) erzeugt. Knotenpunkte werden an den Segmentgrenzen der Begrenzungskurven erzeugt. Wird die Anzahl Zwischenknoten mit $m > 0$ angegeben, so werden zusätzlich m Zwischenknoten im Innern der Segmente erzeugt.

Zwischen 2 SURF-Knoten: Bei dieser Option sind anschließend jeweils 2 vorhandene Knoten der SURF-Fläche mit Cursor zu selektieren, zwischen denen weitere Knoten erzeugt werden sollen. Die Anzahl Zwischenknoten ist in dem Eingabefeld anzugeben, fehlt die Angabe, so wird 1 Zwischenknoten erzeugt.

MAKROS

Anzahl Zwischenknoten: In dem Eingabefeld ist für die beiden oberen Optionen die Anzahl der Zwischenknoten anzugeben.

Zwischenknoten grafisch bestimmen: Wird diese Schaltfläche angewählt, so sind anschließend zunächst zwei vorhandene Knoten für eine Verbindungslinie im (s,t)-Raum der VDAFS-Fläche zu selektieren, diese Knoten werden mit einer farbigen Linie verbunden. Danach ist mit Cursor (linke Maustaste) festzulegen, an welchen Stellen neue Knoten auf dieser Verbindungslinie eingefügt werden sollen. Abgebrochen wird die Festlegung neuer Knoten mit der rechten Maustaste, danach sind entweder erneut zwei vorhandene Endknoten zu selektieren oder es ist nochmals die rechte Maustaste zu drücken um vollständig abubrechen.

SURF-Segment-Eckpunkte: Bei dieser Option wird ein Knoten in den Eckpunkten aller Segmente der aktiven SURF-Fläche erzeugt.

Schnitt SURF-CONS: Bei dieser Option wird ein Knotenpunkt an den Schnittpunkten der SURF-Segmentgrenzen mit den Begrenzungskurven der Fläche erzeugt.

Digitalisiere Nachbarknoten: Diese Option ermöglicht es, Knoten auf der Begrenzungskurve zu erzeugen, mit etwa gleichen Koordinaten wie vorhandene Knoten von benachbarten SURF-Flächen. Zunächst ist mit der Schaltfläche „Grafisch“ oder „Namen“ ein benachbartes SURF-Element zu aktivieren. Die für die Makroelementdefinition dieser SURF-Fläche verwendeten Makroelementeckknoten und Kantenzwischenknoten werden anschließend mit den Symbolen „E“ bzw. „Z“ markiert. Diese Knoten können dann grafisch selektiert werden. Für jeden selektierten Knoten wird dann ein zugehöriger Knoten auf der Begrenzungskurve des aktiven SURF-Elementes berechnet. Hierbei muss der selektierte Knoten innerhalb einer Toleranz in der Nähe der Begrenzungskurve liegen.

Grafisch: Mit dieser Schaltfläche wird eine benachbarte SURF-Fläche für die Option „Digitalisiere Nachbarknoten“ aktiviert. Nur die Elementknoten dieser Fläche sind anschließend selektierbar.

Namen: Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint ein Textfenster mit den Namen aller SURF-Flächen. Der Name der benachbarten SURF-Fläche ist mit Cursor zu markieren und mit der Schaltfläche „OK“ des Textfensters zu bestätigen.

Knoten erzeugen: Nach Auswahl der Option wird mit dieser Schaltfläche die Erzeugung der Knotenpunkte durchgeführt. Neu erzeugte Knoten werden sofort geplottet.

Undo: Wird diese Schaltfläche angeklickt, so werden die zuletzt erzeugten Knoten wieder gelöscht.

Plot Knoten: Mit dieser Schaltfläche werden alle Knoten der aktiven SURF-Fläche neu geplottet.

Lösche Knoten: Mit dieser Schaltfläche werden alle Knotenpunkte gelöscht, die noch nicht für die Definition von Makroelementen verwendet wurden, ggf. sind zunächst die Makroelemente zu löschen.

Plot Makroelemente von Nachbar-SURF-Flächen

Grafisch selektieren: Nach Anklicken der Schaltfläche sind grafisch die benachbarten SURF-Flächen zu selektieren, deren Makroelemente geplottet werden sollen. Die Knotenpunkte dieser Elemente werden mit den Symbolen „E“ bzw. „Z“ markiert. Farbindex für die Beschriftung der Knoten ist anzugeben. Für die Beschriftung wird der Font-Index 2 verwendet.

Namen selektieren: Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint ein Textfenster mit den Namen aller SURF-Flächen. Die Namen aller zu selektierenden Elemente sind mit Cursor zu markieren. Mit „OK“ wird das Textfenster geschlossen.

Registerkarte „Elementdefinition“

Mit diesem Dialogfenster werden grafisch interaktiv Makroelemente definiert. Die Knotenpunkte hierfür müssen zuvor erzeugt worden sein. Zwischen den Dialogfenstern „Knoten“ und „Makroelemente“ kann beliebig umgeschaltet werden, z.B. um fehlende Knoten für neue Makroelemente zu definieren. Die erzeugten Makroelemente werden der aktiven SURF-Fläche zugeordnet.

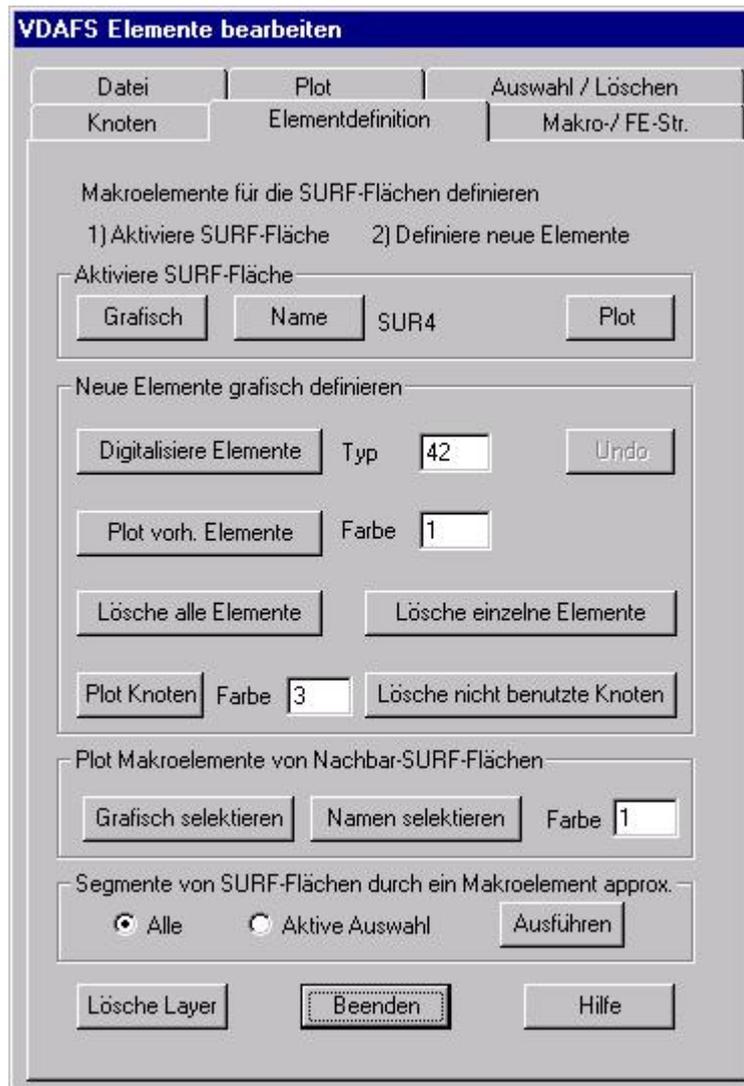
Wird die Schaltfläche „Digitalisiere Elemente“ angeklickt, so sind anschließend die Knotenpunkte des neuen Elementes grafisch zu selektieren. Die Anzahl der zu selektierenden Knoten richtet sich nach dem Elementtyp. Bei variabler Anzahl (z.B. Typ 35, 45, 105, 400), wird die Knotenselektion mit der rechten Maustaste abgebrochen. Die Einzelpunktselektion erfolgt mit der linken Maustaste. Wird vorher die -Taste gedrückt, so

MAKROS

wird die Knotennummer des selektierten Knotens mit einem negativen Vorzeichen versehen (letzter Zwischenknoten der Kanten beim Elementtyp 35 und 45, alle Kantenzwischenknoten beim Typ 105 und 400). Selektierte Knoten werden mit einem farbigen Symbol markiert, mit der Taste d kann ein falsch selektierter Knoten sofort wieder gelöscht werden. Ist beim Elementtyp 35 bzw. 45 ein Rand gerade, so ist für den Randknoten eine 0 einzutragen, bei der grafischen Selektion der Elementknoten ist hierfür die 0-Taste zu drücken. Es können fortlaufend mehrere Elemente definiert werden. Jedes neue Element wird sofort grafisch angezeigt und kann mit der Schaltfläche „Undo“ sofort wieder gelöscht werden.

Nach erfolgter Definition aller Makroelemente der aktiven SURF-Fläche sollten mit der Schaltfläche „Lösche nicht benutzte Knoten“ alle nicht benötigten Knoten der SURF-Fläche gelöscht werden.

Das dargestellte Dialogfenster bietet folgende Optionen:



Aktiviere SURF-Fläche

Grafisch: Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden die Namen der in der aktuellen Plotauswahl befindlichen SURF-Elemente mit einem Symbol geplottet. Mit Cursor ist anschließend dasjenige SURF-Element auszuwählen, welches aktiviert werden soll. Das aktive Element wird grafisch dargestellt. Der Name des aktiven Elementes wird in dem Dialogfenster angezeigt.

Name: Wird diese Schaltfläche angeklickt, so erscheint ein Textfenster mit den Namen aller SURF-Elemente. Mit Cursor ist der Name einer SURF-Fläche zu markieren. Mit der Schaltfläche „OK“ wird das Textfenster geschlossen und die SURF-Fläche mit dem markierten Namen aktiviert.

Plot: Mit der Schaltfläche wird das aktive SURF-Element mit den Begrenzungskurven neu geplottet.

Neue Elemente grafisch definieren

MAKROS

Digitalisiere Elemente: Mit dieser Schaltfläche wird die Digitalisierung der Makroelemente eingeleitet. Der Typ des Elementes muss in dem Eingabefeld angegeben werden, zulässig sind die Typen 30, 32, 35, 40, 42, 45, 105, 400. Die Digitalisierung erfolgt wie beim Kommando „Elementdefinition“ (vgl. Kapitel 5). Jedes neue Element wird sofort geplottet.

Undo: Wird diese Schaltfläche angeklickt, so wird jeweils das letzte Element in der Liste der der SURF-Fläche zugeordneten Makroelemente wieder gelöscht.

Plot vorhandene Elemente: Wird diese Schaltfläche angeklickt, so werden die existierenden Makroelemente der aktiven SURF-Fläche neu geplottet, wobei Eckknoten mit „E“ und Kantenzwischenknoten mit „Z“ beschriftet werden.

Lösche alle Elemente: Mit dieser Schaltfläche werden alle Makroelemente der aktiven SURF-Fläche gelöscht.

Lösche einzelne Elemente: Wird diese Schaltfläche angeklickt, so sind anschließend die Elemente grafisch zu selektieren, die gelöscht werden sollen.

Plot Knoten: Mit dieser Schaltfläche werden die vorhandenen Knotenpunkte der aktiven SURF-Fläche neu geplottet.

Lösche nicht benutzte Knoten: Mit dieser Schaltfläche werden alle Knoten der aktiven SURF-Fläche entfernt, die nicht für die Elementdefinition verwendet wurden.

Plot Makroelemente von Nachbar-SURF-Flächen

Mit diesen Optionen werden Makroelemente, die bereits für benachbarte SURF-Flächen definiert sind geplottet, wobei Elementeckknoten mit dem Symbol „E“ und Kantenzwischenknoten mit dem Symbol „Z“ markiert werden. Diese Option dient dazu, die Verträglichkeit der Elementdefinitionen benachbarter SURF-Flächen zu gewährleisten. Die benachbarten SURF-Flächen sind wie folgt auszuwählen:

Grafisch selektieren: Alle SURF-Elemente der aktiven Plot-Auswahl werden mit einem Symbol markiert und ihren Namen beschriftet. Die Symbole können anschließend grafisch selektiert werden.

Namen selektieren: Es erscheint ein Textfenster mit den Namen aller SURF-Elemente. In diesem Textfenster sind die Namen der auszuwählenden Elemente mit Cursor zu markieren. Mit der „OK“-Schaltfläche des Textfensters wird die Auswahl abgeschlossen.

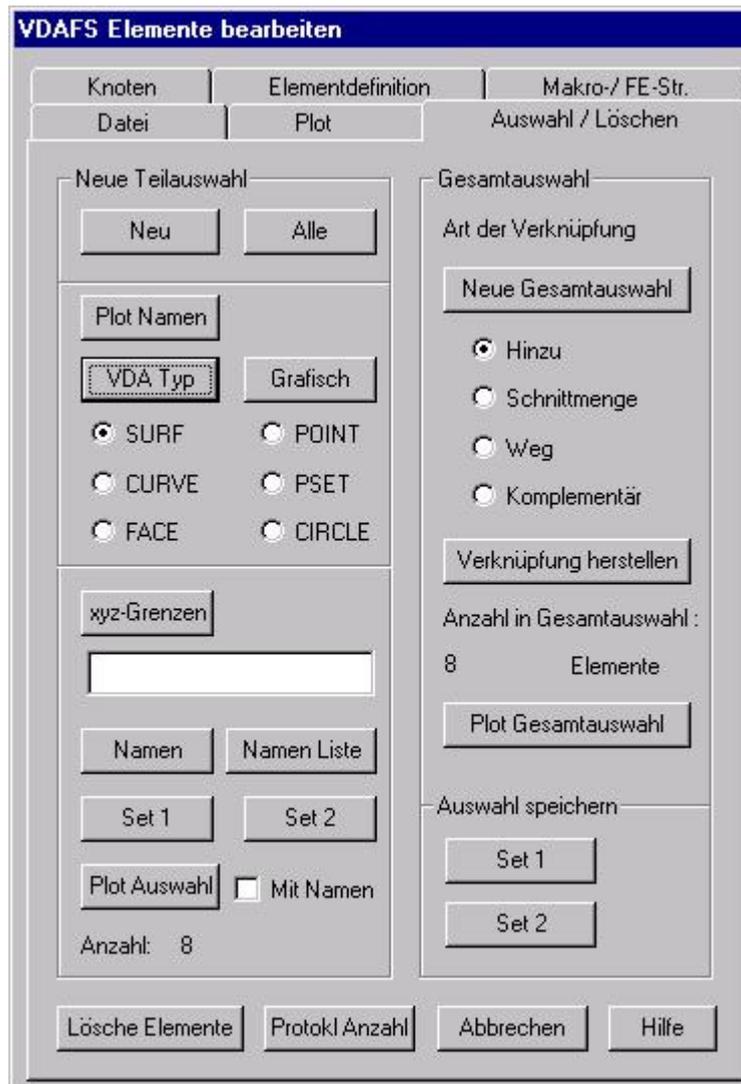
Segmente von SURF-Flächen durch ein Makroelement approximieren

Mit der Schaltfläche „Ausführen“ werden die Segmente aller SURF-Flächen bzw. der in der aktuellen Auswahl enthaltenen SURF-Flächen durch ein Makroelement vom Typ 42 approximiert. Diese Option ist von Bedeutung, wenn keine begrenzten Flächen (VDAFS-Typ FACE) existieren. Die Auswahl ist ggf. mit dem Dialogfenster „Auswahl / Löschen“ festzulegen.

Registerkarte „Auswahl / Löschen“

Mit dem Kommando kann eine aktive Auswahl von VDAFS-Elementen definiert werden, die bei anderen Kommandos von Bedeutung ist. Die aktive Auswahl wird ggf. in mehreren Schritten aus verschiedenen Teilauswahlen wie beim Kommando „Elementauswahl“ (vgl. Kapitel 8) zusammengesetzt.

Das dargestellte Dialogfenster bietet folgende Alternativen:



Neue Teilauswahl

Neu: Die aktuelle Teilauswahl wird gelöscht

Alle: Alle VDAFS-Elemente werden in die Teilauswahl aufgenommen

VDA Typ: Alle Elemente des gewählten Typs werden in die Teilauswahl aufgenommen.

Grafisch: Wird die Schaltfläche angeklickt, so können anschließend VDAFS-Elemente für die Teilauswahl grafisch selektiert werden.

XYZ-Grenzen: Alle VDAFS-Elemente, die vollständig innerhalb des angegebenen Koordinatenbereiches liegen, werden in die Teilauswahl übernommen. Der Koordinatenbereich ist in dem Eingabefeld in der Folge, $x_1, x_r, y_1, y_r, z_1, z_r$ anzugeben.

Gruppe: Ausgewählt werden alle Elemente mit der angegebenen Gruppennummer.

Layer: Ausgewählt werden alle Elemente mit der angegebenen Layernummer.

Namen: Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden in einem Textfenster die Namen aller vorhandenen VDAFS-Elemente nach Typ sortiert angezeigt. In diesem Fenster können Namen mit Cursor markiert werden (Textmarkierung). Wird danach die Schaltfläche „OK“ des Textfensters angeklickt, so werden alle VDAFS-Elemente in die Teilauswahl übernommen, deren Namen in dem Textfenster markiert sind.

Namen Liste: Mit dieser Schaltfläche wird nur das Textfenster mit den Namen aller VDAFS-Elemente angezeigt.

Set 1, Set 2: Mit diesen Schaltflächen werden die in den Auswahlsets 1 bzw. 2 gespeicherten Elemente in die Teilauswahl übernommen.

MAKROS

Plot Auswahl: Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden zur grafischen Überprüfung die Elemente der Teilauswahl mit einem Symbol markiert und wahlweise mit ihren Namen beschriftet (Option „Mit Namen“)

Gesamtauswahl

Die Gesamtauswahl wird in der Regel aus mehreren Teilauswahlen aufgebaut. Hierfür ist anzugeben, wie die aktuelle Gesamtauswahl mit der neuen Teilauswahl verknüpft werden soll. Folgende Alternativen sind möglich:

Neue Gesamtauswahl: Die aktuelle Gesamtauswahl wird gelöscht.

Hinzu: Elemente der Teilauswahl werden hinzugefügt.

Schnittmenge: Es wird eine Schnittmenge gebildet; in der neuen Gesamtauswahl sind nur diejenigen Elemente enthalten, die zuvor in der Gesamtauswahl und der Teilauswahl enthalten waren.

Weg: Die Elemente der Teilauswahl werden aus der aktuellen Gesamtauswahl entfernt.

Komplementär: Die neue Gesamtauswahl besteht aus allen VDAFS-Elementen, die nicht in der Teilauswahl enthalten sind.

Verknüpfung herstellen: Wird diese Schaltfläche angeklickt so wird die Verknüpfung zwischen der aktuellen Gesamtauswahl und der Teilauswahl entsprechend der ausgewählten Alternative hergestellt. Die neue Anzahl Elemente der Gesamtauswahl wird in dem Dialogfenster angezeigt.

Plot Gesamtauswahl: Mit dieser Schaltfläche werden zur grafischen Überprüfung die Elemente der aktiven Gesamtauswahl mit einem Symbol markiert und wahlweise mit ihren Namen beschriftet (Option „Mit Namen“).

Auswahl speichern

Zwei verschiedene Auswahlen können als Auswahlset gespeichert und später sehr einfach wieder aktualisiert werden.

GruppenNr., Layer, Farbindex zuordnen

In dem Eingabefeld ist die Gruppennummer, Layernummer oder der Farbindex anzugeben, welche den Elementen der aktiven Gesamtauswahl zugeordnet werden soll. Mit der Schaltfläche „Zuordnen“ erfolgt die Zuordnung entsprechend der ausgewählten Option. Bei der Erzeugung der Makrostruktur werden die Zuordnungen für die SURF-Flächen auch für die Makroelemente und die daraus generierten Finiten Elemente übernommen.

Lösche Elemente

Mit dieser Schaltfläche werden die in der aktuellen Gesamtauswahl enthaltenen VDAFS-Elemente im Arbeitsspeicher gelöscht.

Protokolliere Anzahl

Mit dieser Schaltfläche wird im Protokollfenster angezeigt, wie viele VDAFS-Elemente der verschiedenen Typen vorhanden sind.

Registerkarte „Makro-/FE-Struktur“

Nach der Approximation aller SURF-Flächen durch Makroelemente wird aus diesen Makroelementen eine Makrostruktur erzeugt. Hieraus wird dann wie im Kapitel 7 beschrieben durch Unterteilung der Makroelemente das FE-Netz erzeugt. Dieses FE-Netz kann dann anschließend unter Verwendung der zugehörigen SURF-Flächen noch geglättet werden.

Es ist unbedingt folgende Reihenfolge einzuhalten:

a) Erzeugung der Makrostruktur mit der Schaltfläche „Makrostruktur erzeugen“. Hierbei wird ein Flag gesetzt, welches sicherstellt, dass bei der Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente alle Informationen

MAKROS

gespeichert werden, die es ermöglichen die erzeugten Finiten Elemente eindeutig den Ursprungs-SURF-Flächen zuzuordnen.

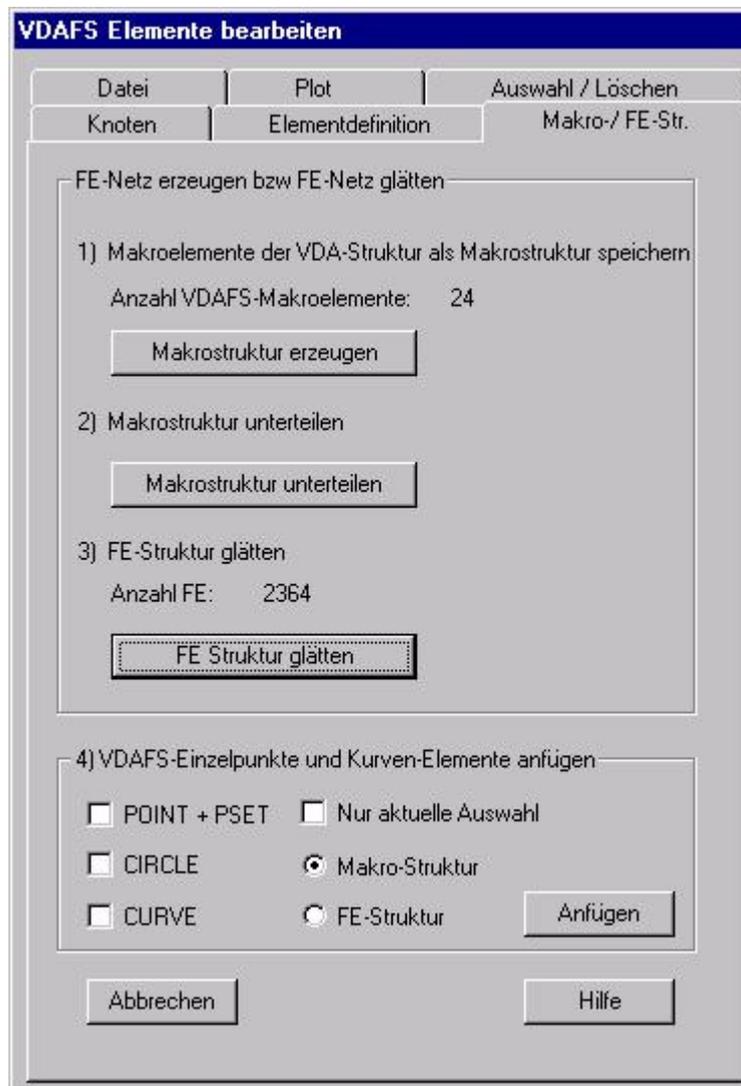
b) Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente. Wird die Schaltfläche „Makrostruktur unterteilen“ angeklickt, so wird das VDAFS-Dialogfenster unsichtbar geschaltet und es erscheint das Dialogfenster „Makrostruktur unterteilen“, mit dem wie im Kapitel 7 beschrieben die FE-Struktur durch Unterteilung der Makroelemente erzeugt wird. Nach Schließen des Dialogfensters wird das VDAFS-Dialogfenster erneut aktiviert.

c) Glättung der FE-Struktur mit der Schaltfläche „FE-Struktur glätten“. Unmittelbar nach Erzeugung der FE-Struktur kann diese unter Verwendung der Ursprungs-SURF-Flächen wie oben („Übersicht“) beschrieben geglättet werden.

d) Übernahme weiterer VDAFS-Elementtypen. Bei der Erzeugung der Makrostruktur mit der Schaltfläche „Makrostruktur speichern“ werden nur die den SURF-Flächen zugeordneten Makroelemente berücksichtigt. Sofern auch Einzelpunkte (POINT, PSET), Kreisbögen und Raumkurven aus der VDAFS-Datei übernommen werden sollen, muss dieses nach der Glättung des FE-Netzes erfolgen.

Hinweis: Wird die Registerkarte geschlossen, so werden die Daten für die Zuordnung von Finiten Elementen zu SURF-Flächen gelöscht und stehen nicht mehr für die Glättung zur Verfügung.

Das dargestellte Dialogfenster bietet folgende Optionen:



Makrostruktur erzeugen:

Aus den Makroelementen aller SURF-Flächen wird eine Makrostruktur erzeugt.

Makrostruktur unterteilen

MAKROS

Es erscheint das Dialogfenster zur Spezifizierung und Durchführung der Unterteilung der Makroelemente in Finit Elemente. Die Unterteilung der Makroelemente erfolgt wie im Kapitel 7 beschrieben.

FE-Struktur glätten

Die aus der Makrostruktur erzeugte FE-Struktur wird unter Verwendung der Ursprungs-SURF-Flächen geglättet.

VDAFS-Einzelpunkte und Kurven-Elemente anfügen

POINT + PSET: Punkte werden als Punkt-Elemente gespeichert.

CIRCLE: Aus VDAFS-Kreisbogenelementen werden ein oder zwei Elemente vom Typ 22 erzeugt.

CURVE: Jedes Segment der Raumkurve wird durch ein Element vom Typ 22 approximiert.

Nur aktuelle Auswahl: Ist die Option markiert, so werden nur die Elemente der selektierten Typen übernommen, die in der aktiven VDAFS-Elementauswahl enthalten sind.

Makro-Struktur / FE-Struktur: Es ist auszuwählen, ob die VDAFS-Elemente zur Makro- oder zur FE-Struktur hinzugefügt werden sollen.

Anfügen: Mit der Schaltfläche werden die VDAFS-Elemente zur Makro- bzw. FE-Struktur hinzugefügt.

Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente

Übersicht

Die Kommandos zur Unterteilung der Makrostruktur in eine Finite-Elemente-Struktur sind in einem Dialogfenster mit mehreren Registerkarten angeordnet. Das Dialogfenster wird mit dem Kommando **Unterteilung** aktiviert, es bleibt aktiv, bis es mit der Schaltfläche „Abbrechen“ beendet wird. Mit der Schaltfläche „Plot“ werden die aktuellen Teilungszwischenpunkte geplottet.

Es stehen die folgenden Kommandos zur Verfügung:

Division	Makro-Elementkanten in etwa gleiche Längen unterteilen
Muster	Unterteilungsparameter für einzelne Makroelemente angeben
Kanten	Anzahl Zwischenknoten für einzelne Elementkanten angeben
Fortsetzung	Vorhandene Kanteinteilungen gleichmäßig fortsetzen
Festpunkte	Unterteilungsfestpunkte auf Makroelementkanten definieren
Kontrolle	Verträglichkeit der Kanteinteilungen prüfen und ggf. korrigieren
Löschen	Teilungsangaben löschen
Datei	Teilungsangaben in einer binären Datei sichern, bzw. von Datei laden
Unterteilung	Unterteilung der Makrostruktur durchführen

Die Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente erfolgt nach einem bestimmten Teilungsmuster. Hierbei wird zwischen regelmäßiger Unterteilung, bei der gegenüberliegende Kanten in gleicher Weise unterteilt werden und unregelmäßiger Teilung unterschieden. Die Teilungsmuster werden durch eine Kennzahl identifiziert.

Regelmäßige Unterteilung wird durch die Kennzahlen 20, 40, 40 für die Makroelementtypen 2x, 4x, 8x und die Kennzahl 134 oder 30 für die Makroelementtypen 3x und 6x angegeben ($x = 0, 2, 5$). Regelmäßige Unterteilung wird bei Initialisierung der Unterteilungsdatei für alle Makroelemente voreingestellt und braucht nicht explizit angegeben zu werden.

Unregelmäßige Unterteilung ermöglicht eine stufenweise Verfeinerung des Elementnetzes; hierfür stehen bestimmte Übergangsmuster zur Verfügung, die nachfolgend skizziert sind. Übergangsmuster werden durch eine Kennzahl größer 100 angegeben. Am flexibelsten sind die Muster 142 und 150, bei denen für alle Kanten eine unterschiedliche Anzahl von Unterteilungen angegeben werden kann.

Bei Volumenelementen gilt ein Übergangsmuster immer nur für die Grundfläche des Makroelementes. Die dritte Richtung (z-Richtung) kann nur gleichmäßig unterteilt werden. Die Anzahl Teilungen hierfür wird bei allen Teilungsmustern immer mit dem Kommando **Muster** angegeben.

Zusätzlich zum Teilungsmuster muss für jedes Makroelement angegeben werden, wie oft die Kanten des Elementes unterteilt werden sollen. Angegeben wird die Anzahl der Zwischenknoten für alle Kanten der Grundfläche des Makroelementes entgegen Uhrzeigersinn. Bei Volumenelementen ist zusätzlich die Anzahl Zwischenknoten für die Richtung senkrecht zur Grundfläche anzugeben. Bei regelmäßiger Unterteilung kann außer der Anzahl der Zwischenknoten auch ein Teilungsverhältnis für die Längen der letzten zur ersten Teilstrecke einer Kante für eine oder zwei Richtungen angegeben werden.

Die Unterteilungsspezifikation kann grafisch überprüft werden, hierbei werden die Zwischenpunkte auf den Kanten mit einem farbigen Symbol dargestellt. Bei geschrumpfter Darstellung werden besonders

MAKROS

Unverträglichkeiten auf benachbarten Kanten sichtbar. Beim Plot wird auch die erste Hauptrichtung der Elemente hervorgehoben. Die Kenntnis der Hauptrichtungen ist für das Kommando **Muster** von Bedeutung.

Für die Spezifikation der Unterteilung stehen die folgenden Kommandos zur Verfügung:

Mit **Muster** werden Unterteilungsangaben (Teilungsmuster + Anzahl Teilungen für die Kanten) für einzelne ausgewählte Elemente gemacht.

Mit **Kanten** wird die Unterteilung für einzelne Elementkanten der Struktur festgelegt, wobei wahlweise eine gleichmäßige Fortsetzung über die gesamte Struktur oder ausgewählte Elemente erfolgt, indem jeweils den gegenüberliegenden Kanten der Elemente dieselbe Unterteilung zugewiesen wird.

Mit **Fortsetzung** wird angegeben, dass vorhandene Kantenteilungen (z.B. mit **Muster** für einzelne Elemente festgelegt) wie beim Kommando **Kanten** gleichmäßig auf ausgewählte Elemente fortgesetzt werden sollen.

Mit dem Kommando **Division** wird angegeben, dass die Kanten ausgewählter Makroelemente oder einer Kantenauswahl so unterteilt werden sollen, dass die Kantenlänge der generierten FE kleiner einer angegebenen Länge ist. Hierbei kann noch vorgegeben werden, dass gegenüberliegende Kanten in gleicher Weise unterteilt werden. Für alle Kanten der ausgewählten Makroelemente wird dann sofort die Anzahl der Zwischenknoten aus der Kantenlänge errechnet und gespeichert.

Mit dem Kommando **Festpunkte** können Punkte auf den Kanten von Makroelementen festgelegt werden, welche bei Unterteilung der Makroelemente berücksichtigt werden sollen, so dass an diesen Punkten Eckknoten von Finiten Elementen entstehen.

Mit dem Kommando **Kontrolle** kann überprüft werden, ob die Teilungsangaben benachbarter Elemente miteinander verträglich sind, wahlweise kann eine vorhandene Unverträglichkeit automatisch korrigiert werden.

Hinweis: Die Überprüfung der Verträglichkeit der Unterteilungsangaben für benachbarte Elemente, sowie die Fortsetzung einer Teilungsangabe auf benachbarte Elemente setzen voraus, dass aneinandergrenzende Kanten gleiche Knotenpunkte besitzen. Dieses kann durch Plot der Randkanten geprüft werden. Mit dem Kommando **Knotenkomprimierung** können ggf. dicht beieinander liegende Knoten zu einem Knoten zusammengefasst werden.

Die einfachste Spezifizierung der Unterteilungen erfolgt mit dem Kommando **Division**. Hierbei können Bereiche der Gesamtstruktur unterschiedlich fein unterteilt werden, indem das Kommando mehrfach mit anderer Kantenlänge für eine verschiedene Auswahl von Elementen angegeben wird. Mit dem Kommando **Kontrolle** kann die Verträglichkeit der Kantenteilung für die gemeinsamen Kanten benachbarter Bereiche hergestellt werden.

Soll überwiegend eine gleichmäßige Unterteilung der Makroelemente erfolgen, so ist folgende Reihenfolge zweckmäßig:

Spezifizierung der Unterteilung für die Makroelemente mit Übergangsmustern mit dem Kommando **Muster**.

Gleichmäßige Fortsetzung der Unterteilung auf die angrenzenden Makroelemente mit dem Kommando **Fortsetzung**.

Gleichmäßige Unterteilung der restlichen Makroelementkanten mit dem Kommando **Division** und der Option "Fortsetzung".

Beseitigung eventueller Unverträglichkeiten mit dem Kommando **Kontrolle**.

Hinweise: Bei der Unterteilung der Makroelemente können nur Finite Elemente mit geraden Kanten oder einem Zwischenknoten auf den Kanten erzeugt werden. Um Elemente mit zwei Zwischenknoten auf den Elementkanten bzw. zusätzlichen Zwischenknoten im Innern der Elemente zu erhalten, müssen die Elemente nachträglich mit dem Kommando **Typ2Typ** in den gewünschten Elementtyp umgewandelt werden.

Hinweis: Die Anzahl Teilungspunkte für eine Kante ist auf 60 begrenzt. Ggf. können die Elemente in mehreren Stufen unterteilt werden, indem die durch Unterteilung erzeugte FE-Struktur mit dem Kommando **Makro <-> FE** zu einer Makrosstruktur gemacht und dann weiter unterteilt wird.

Hinweis: Bei der Verwendung von Übergangsmustern können Dreieckselemente entstehen. Ggf. sollten zunächst Finite Elemente mit doppelter Kantenlänge erzeugt werden, die dann anschließend noch einmal mit einem regelmäßigen Muster und einem Zwischenknoten je Kante unterteilt werden.

Durchführung der Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente

Die Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente geschieht mit dem Kommando **Unterteilung**. Die Berechnung der Zwischenknoten bei der Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente geschieht auf der Basis der zugeordneten Muster durch C^0 -Coons-Interpolation der Oberflächen im globalen Koordinatensystem. In manchen Fällen, z.B. Knoten auf Kugel- oder Zylinderflächen, ist es notwendig, die Oberflächenknoten mit dem Kommando **Glättung** nachträglich noch zu glätten, z.B. wenn ein Ausschnitt aus einer Zylinderoberfläche durch ein Element mit Spline-Rändern beschrieben wird.

Die Nummerierung der Knotenpunkte der erzeugten FE-Struktur erfolgt nach folgendem Schema: Der dreidimensionale Raum, in dem die gesamte FE-Struktur liegt, wird in kleine Quader unterteilt. Die Knoten werden dann entsprechend ihrer Lage in den Quadern fortlaufend nummeriert, wobei zuerst in x-, dann in y- und zuletzt in z-Richtung gezählt wird. Mit dem Kommando **Sortieren** kann die Nummerierung geändert werden.

Jedes Makroelement wird für sich, entsprechend den Unterteilungsparametern des Makroelementes, in Finite Elemente unterteilt. Anschließend werden Knotenpunkte, die bei 2D-Elementen auf gemeinsamen Kanten liegen, bzw. bei Volumenelementen innerhalb eines Toleranzbereiches gleiche Koordinaten besitzen, zu einem einzigen Knotenpunkt zusammengefasst (vgl. Parameter eps des Kommandos **Unterteilung**).

Hinweis: Wird für die Zusammenfassung von Knotenpunkten keine Toleranz vorgegeben, so ermittelt das Programm einen Wert für eps in Relation zur kleinsten Kantenlänge aller Elemente. Dieser Wert könnte eventuell zu klein sein, deshalb sollte in jedem Fall mit dem Kommando **Knotenkomprimierung** oder durch Plot von Bruchkanten überprüft werden, ob dicht zusammenfallende Knoten im Innern der Struktur vorkommen.

Die Verträglichkeit des FE-Netzes auf den aneinandergrenzenden Makroelementkanten ist nur gesichert, wenn die benachbarten Makroelemente dieselben Kanten mit denselben Knotenpunkten besitzen, und wenn die Unterteilungsparameter der Makroelemente übereinstimmen. Diese Verträglichkeit der Unterteilungsparameter wird vor Durchführung der FE-Unterteilung automatisch überprüft. Unverträglichkeiten werden grafisch angezeigt. Bei Unverträglichkeit wird angefragt, ob die Unterteilung dennoch durchgeführt werden soll. Die Verträglichkeit kann auch mit dem Kommando **Kontrolle** überprüft werden, wobei Kanten mit unverträglichen Teilungsangaben grafisch angezeigt und Unverträglichkeiten wahlweise automatisch beseitigt werden.

Hinweis: Wird bei Balkenelementen (Typ 20,21,22) ein zusätzlicher Knoten für die Festlegung der Hauptebene angegeben, so wird dieser Knoten auch bei den Finiten Elementen gespeichert.

Hinweis: Die Unterteilung eines Makroelementes nach einem bestimmten Muster erfolgt zunächst in einem Einheitselement. Anschließend wird die Unterteilung auf die Geometrie des Makroelementes abgebildet. Ist die Geometrie stark verzerrt, so kann es hierbei zu ungünstigen Elementen kommen. Ggf. ist es sinnvoll durch Aufteilung des Makroelementes neue Makroelemente mit geringerer Verzerrung zu generieren.

Beschreibung der Kommandos

Division: Makroelementkanten in etwa gleiche Längen unterteilen

Mit dem Kommando kann mit einer Anweisung eine Unterteilung der gesamten Makrostruktur oder ausgewählter Elemente, oder ausgewählter Kanten angegeben werden. Nach Einstellung der Parameter in dem nachfolgend dargestellten Dialogfenster wird mit der Schaltfläche „Division“ die Unterteilung der Kanten berechnet und gespeichert. Sind für einzelne Kanten Festpunkte definiert, so wird die Unterteilung für jede Teilstrecke der Kante durchgeführt. Mit der Schaltfläche „Plot“ wird die Unterteilung der Kanten grafisch angezeigt.



Teilungsmuster:

Regelmäßig fortsetzen: Ist diese Option eingeschaltet, so werden die ausgewählten Makroelemente gleichmäßig unterteilt, so dass die gegenüberliegenden Kanten eines Elementes gleiche Anzahl Zwischenknoten erhalten (Teilungsmuster 40 bei Viereckselementen). Hierbei werden von einer noch nicht unterteilten Kante ausgehend, zunächst alle Kanten ermittelt, die bei gleichmäßiger Fortsetzung der Unterteilung betroffen sind. Von diesen Kanten wird die Kante mit der größten Länge ermittelt und hieraus wird die Anzahl der Teilungszwischenknoten für alle von der Fortsetzung betroffenen Kanten errechnet. Regelmäßige Fortsetzung ist nur bei Dreiecks- und Viereckselementen, nicht jedoch beim Typ 105 und 400 wirksam.

Jede Kante für sich unterteilen: Ist die Option eingeschaltet, so wird die Anzahl Zwischenknoten für jede Kante aus der Länge der Kante und der angegebenen Elementlänge l-max berechnet. Den ausgewählten Elementen wird das Teilungsmuster 150 bzw. 142 zugeordnet. Das Muster 142 wird zugeordnet, wenn bei Viereckselementen die Eckwinkel des Makroelementes nicht zu stark von 90 Grad und bei Dreieckselementen nicht zu stark von 60 Grad abweichen.

Kantenlänge:

lmax: Angegeben wird eine maximale Länge für die Kanten der Finiten Elemente. Die Anzahl Zwischenknoten für die Kanten der Makroelemente wird so errechnet, dass die Kantenlängen der FE kleiner lmax werden.

Ungerade Anzahl: Ist diese Option eingeschaltet, so wird die Anzahl der errechneten Zwischenknoten um 1 erhöht falls sie gerade ist (gilt nicht bei gleichmäßiger Fortsetzung). Hierdurch wird erreicht, dass überwiegend nur viereckige FE generiert werden, dieses ist insbesondere bei dem Teilungsmuster 150 von Bedeutung, hier wird ggf. die Unterteilung zunächst mit der doppelten Kantenlänge durchgeführt und alle Elemente werden dann nochmals in 4 bzw. 3 Viereckselemente unterteilt.

Elementauswahl:

Es sind die Elemente auszuwählen, auf welche das Kommando angewendet werden soll.

Kantenauswahl

MAKROS

Restliche Kanten: Für alle Kanten der ausgewählten Elemente, denen noch keine Unterteilung zugeordnet ist, wird die Anzahl Zwischenknoten wie vor beschrieben berechnet.

Alle Kanten: Für alle Kanten der ausgewählten Elemente wird die Anzahl Zwischenknoten neu berechnet, vorhandene Teilungsangaben werden überschrieben.

Kantenauswahl: Grafisch oder in dem Dialogfenster für Knotenauswahl ist eine Knotenauswahl anzugeben. Für alle Kanten, deren Endknoten in der Knotenauswahl enthalten sind, wird eine neue Teilung berechnet und eingetragen. Die Elementauswahl ist in diesem Fall ohne Bedeutung, sie wird automatisch der Knotenauswahl angepasst.

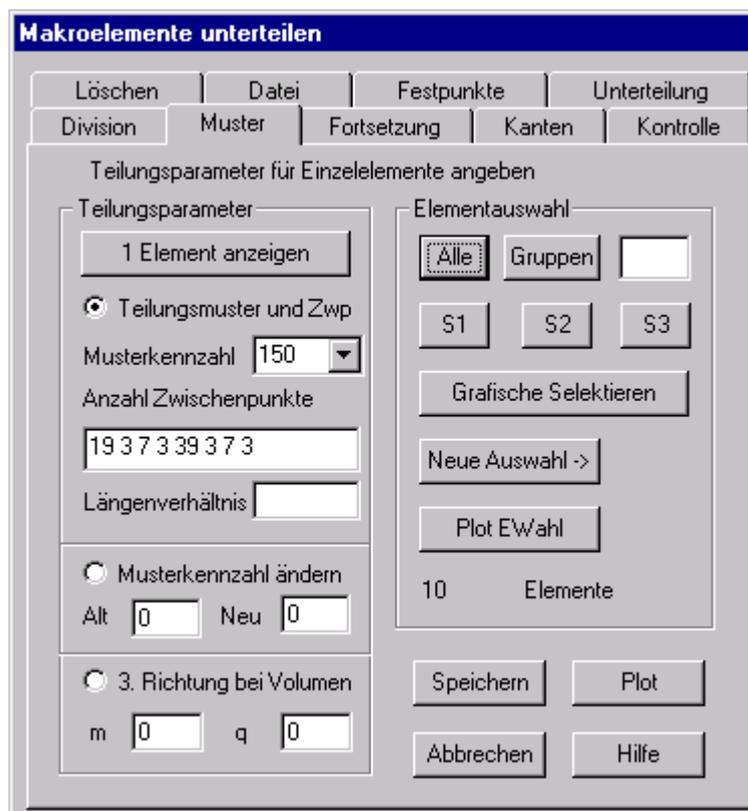
Hinweis: Bei Volumenelementen werden mit dem Kommando nur die Anzahl der Zwischenknoten für die Kanten der Grundfläche berechnet. Die Anzahl Unterteilungen für die dritte Richtung ist mit dem Kommando **Muster** nachträglich anzugeben.

Muster: Unterteilungsparameter für einzelne Makroelemente angeben bzw. anzeigen

Mit dem Kommando wird für einzelne Makroelemente angegeben, wie diese unterteilt werden sollen. Das Kommando dient insbesondere dazu, einzelnen Elementen ein spezielles Übergangsmuster zuzuweisen, oder bei Volumenelementen die Teilungsangaben für die Richtung senkrecht zur Grundfläche des Volumenelementes festzulegen.

Mit der Schaltfläche „Speichern“ werden die aktuellen Eintragungen den ausgewählten Elementen zugeordnet.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Eintragungen gemacht werden:



Teilungsparameter

Ein Element anzeigen

MAKROS

Wird diese Schaltfläche angeklickt, so kann anschließend ein einzelnes Element grafisch mit Cursor selektiert werden. Für dieses Element werden die gespeicherten Teilungsparameter in dem Dialogfenster eingetragen und können dann ggf. korrigiert werden. Die geänderten Eintragungen müssen mit der Schaltfläche „Speichern“ explizit abgespeichert werden.

Teilungsmuster und Zwischenpunkte

Diese Option ist auszuwählen, wenn den Elementen ein Teilungsmuster und Teilungsparameter für die Kanten zugeordnet werden sollen.

Musterkennzahl: Anzugeben ist die Kennzahl für das Teilungsmuster. Bei Volumenelementen bezieht sich dieses Teilungsmuster auf die Grundfläche der Volumenelemente. Die verfügbaren Muster sind nachfolgend abgebildet. Das Teilungsmuster kann aus einem aufklappbaren Listenfeld ausgewählt werden, jedoch sind nicht alle verfügbaren Teilungsmuster eingetragen.

Anzahl Zwischenpunkte: Für die Unterteilung der Makroelemente ist die Anzahl Zwischenknoten für alle Kanten der Grundfläche des Makroelementes entgegen Uhrzeigersinn anzugeben, wobei bei einigen regelmäßigen Mustern einige Angaben ggf. automatisch ergänzt bzw. korrigiert werden. Beim Muster 150 ist zu beachten, dass das Verhältnis der größten zur kleinsten Kantenlänge der FE nicht größer als 4 sein darf.

Längenverhältnis: Bei gleichmäßiger Teilung kann für die Richtungen 1 und 2 ein Teilungsverhältnis der ersten zur letzten FE-Kantenlänge angegeben werden.

Musterkennzahl ändern

Mit dieser Option kann die Kennzahl des zugewiesenen Teilungsmusters für ausgewählte Elemente geändert werden, bei unveränderter Anzahl Teilungszwischenknoten auf den Kanten. Z.B. kann es sinnvoll sein die Muster 142 und 150 auszutauschen.

3. Richtung bei Volumenelementen

Diese Option ist auszuwählen, wenn bei Volumenelementen die Anzahl Teilungszwischenpunkte für die Richtung senkrecht zur Grundfläche eingetragen werden soll. Anzugeben sind die Anzahl Zwischenknoten (m) und wahlweise das Teilungsverhältnis (q) der ersten zur letzten FE-Kantenlänge.

Elementauswahl

Es sind die Elemente auszuwählen, auf welche das Kommando angewendet werden soll.

Fortsetzung: Vorhandene Kantenteilungen gleichmäßig fortsetzen

Das Kommando bewirkt, dass vorhandene Teilungsspezifikationen für einzelne Elemente bzw. Kanten gleichmäßig auf angrenzende Elemente fortgesetzt werden. Anzugeben ist in dem Dialogfenster eine Elementauswahl. Die Elemente dieser Auswahl werden in der Folge ihrer Speicherung abgearbeitet. Vorhandene Kantenteilung wird gleichmäßig auf benachbarte Elemente und dazu benachbarte Elemente usw. übertragen, bis eine Randkante oder eine Kante angetroffen wird, für die schon eine Teilung eingetragen ist. Die Fortsetzung erstreckt sich nur über die in der Elementauswahl enthaltenen Elemente. Wird eine Kante mit vorhandener Teilung angetroffen, so wird eine eventuelle Unverträglichkeit nicht korrigiert. Dieses kann ggf. mit dem Kommando **Kontrolle** erfolgen. Regelmäßige Fortsetzung über Elemente vom Typ 30, 105 oder 400 hinweg ist nicht möglich.

Bei Volumenelementen erfolgt Fortsetzung nur für die Kanten der Grundfläche. Die Teilung für die senkrechte Richtung hierzu ist mit dem Kommando **Muster** festzulegen.

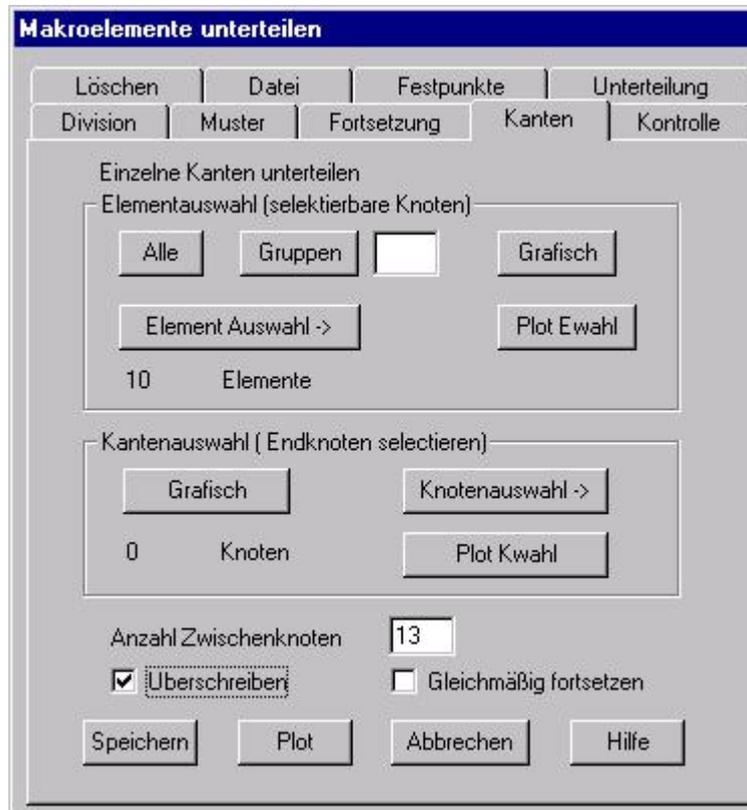
Kanten: Anzahl Zwischenknoten für einzelne Elementkanten angeben

Mit dem Kommando kann die Anzahl Zwischenknoten für einzelne Elementkanten angegeben werden.

MAKROS

Bei Volumenelementen können nur Kanten der Grundfläche der Makroelemente angegeben bzw. selektiert werden. Die Fortsetzung erfolgt hierbei ggf. ebenfalls nur für Kanten der Grundfläche. Die Unterteilung in der senkrechten Richtung zur Grundfläche ist mit dem Kommando **Muster** festzulegen.

In dem dargestellten Dialogfenster sind die folgenden Angaben zu machen:



Elementauswahl

Mit einer Elementauswahl kann die Menge der selektierbaren Knoten eingeschränkt werden.

Kantenauswahl

Durch grafische Selektion oder durch Auswahl mit dem Kommando „Knotenauswahl“ sind alle Endknoten derjenigen Kanten zu spezifizieren, die mit dem Kommando unterteilt werden sollen. Es werden alle Kanten betroffen, deren Endknoten in der aktuellen Knotenauswahl enthalten sind, dadurch ist es z.B. nicht möglich, bei Viereckselementen gleichzeitig zwei gegenüberliegende Kanten auszuwählen, da hierbei alle 4 Kanten in der Auswahl enthalten wären. Bei Volumenelementen können nur Knoten der Grundfläche grafisch selektiert werden. Mit „Plot Kwahl“ kann die aktuelle Knotenauswahl grafisch überprüft werden.

Anzahl Zwischenpunkte:

Einzutragen ist die Anzahl Zwischenknoten für die ausgewählten Kanten

Überschreiben

Wird die Option nicht markiert, so wird eine bereits gespeicherte Teilungsangabe für einzelne Kanten nicht überschrieben.

Gleichmäßig fortsetzen

Wird die Option eingeschaltet, so wird eine gleichmäßige Fortsetzung der Kantenteilung wie beim Kommando „Fortsetzung“ durchgeführt.

Speichern

Nach Anklicken der Schaltfläche wird die angegebene Anzahl Zwischenknoten für die betroffenen Kanten eingetragen.

Festpunkte: Unterteilungsfestpunkte auf Makroelementkanten definieren

Das Kommando ermöglicht es, auf einzelnen Kanten von drei- oder viereckigen Makroelementen Festpunkte zu definieren, die bei der Unterteilung der Makroelemente Eckknoten der generierten Finiten Elemente werden sollen. Die Festpunkte werden Makroelementkanten zugeordnet, die Eckknoten der entsprechenden Kanten sind grafisch zu selektieren. Gespeichert werden die externe Nummer der Elemente, der Index der Kante, die Anzahl und relative Lage der Festpunkte, sowie die Anzahl der Teilungszwischenpunkte auf den Kantenstücken zwischen den Festpunkten bei Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente. Für eine Kante können maximal 4 Festpunkte angegeben werden. Die Anzahl der Teilungszwischenpunkte kann außer mit dem Kommando **Festpunkte** auch mit dem Kommando **Division** festgelegt werden, bei Division der Kanten wird für jede Kante geprüft, ob hierfür Festpunkte definiert sind, ggf. wird jedes Kantenstück für sich unterteilt.

Die Definition der Festpunkt wird mit allen Unterteilungsdefinitionen in der Datei „projekt.mut“ gespeichert.

In vielen Fällen ist folgende Reihenfolge sinnvoll (vergleiche Demobeispiel „referencepoint.dem“).

- 1) Festlegung der Lage der Festpunkte, ohne Angabe wie die Teilkanten unterteilt werden sollen.
- 2) Unterteilung aller Kanten mit dem Kommando **Division**.
- 3) Grafische Überprüfung der entstehenden Teilung für einzelne Makroelemente mit dem Kommando „Unterteilung“ und der Option „Einzelne Elemente testen“.
- 4) Falls bei der Unterteilung Dreieckselemente erzeugt werden, Korrektur der Anzahl Zwischenknoten für einzelne Kantenstücke mit der Option „Anzahl Zwischenknoten anzeigen / Speichern“.

Das dargestellte Dialogfenster zeigt die möglichen Optionen:



Teilungsfestpunkte definieren

Festpunkte grafisch selektieren: Wird diese Option markiert, so sind nach Selektion der Eckknoten der Elementkante, Knoten für die Festpunkte grafisch zu selektieren. Diese Festpunkte müssen innerhalb einer Toleranz auf den Elementkanten liegen. Abgebrochen wird die Selektion der Festpunkte mit der rechten Maustaste, danach kann unmittelbar die nächste Kante mit Festpunkten selektiert werden.

Relative Lage: Bei dieser Option ist in dem Eingabefeld die relative Lage ($0 < s < 1$) von bis zu vier Festpunkten einzutragen.

Anzahl Zwischenknoten: Bei dieser Option ist in dem Eingabefeld für jedes Kantenstück anzugeben, wie viele Zwischenknoten bei der Unterteilung des Makroelementes auf der Elementkante erzeugt werden sollen. Für fehlende Werte wird 0 eingesetzt, z. B. kann die Anzahl Zwischenknoten auch nachträglich mit dem Kommando **Division** bestimmt werden.

FE-Kantenlänge: Bei dieser Option ist wie beim Kommando **Division** in dem Eingabefeld die maximale Kantenlänge für die FE-Kanten anzugeben. Die Anzahl Zwischenknoten wird dann durch Teilung der Kantenstücke durch diesen Wert bestimmt.

Definiere: Nach Auswahl der Optionen für die Lage der Festpunkte und der Anzahl Zwischenknoten wird mit dieser Schaltfläche die Definition der Festpunkte eingeleitet. Mit Cursor sind jeweils die Endknoten einer Makroelementkante und ggf. Festpunkte auf der Kante zu selektieren. Mit der rechten Maustaste wird die Selektion der Kanten abgebrochen.

Sind für eine Kante bereits Festpunkte gespeichert, so werden diese durch die Neudefinition überschrieben.

Anzahl Zwischenknoten anzeigen / Speichern: Wird die erste Schaltfläche angeklickt, so werden anschließend für selektierte Kanten die relative Lage der für diese Kanten gespeicherten Festpunkte sowie die Anzahl angegebener bzw. durch Division berechneter Zwischenknoten auf den Kantenstücken in dem Dialogfenster angezeigt. Die Anzahl Zwischenknoten kann dann in dem Eingabefeld abgeändert und durch Anklicken der Schaltfläche „Speichern“ sofort für die zuletzt selektierte Kante wieder gespeichert werden.

Lösche Kante

MAKROS

Wird die Schaltfläche angeklickt, so sind anschließend die Endknoten derjenigen Kanten zu selektieren, deren Festpunkte gelöscht werden sollen. Abgebrochen wird mit der rechten Maustaste.

Lösche alles

Wird diese Schaltfläche angeklickt, so werden alle gespeicherten Festpunkte in der Datei gelöscht.

Plot Festpunkte

Mit der Schaltfläche werden die gespeicherten Festpunkte und die Zwischenknoten auf den Kanten grafisch hervorgehoben.

Lösche Layer

Mit dieser Schaltfläche wird die grafische Darstellung der Festpunkte und der Teilungspunkte gelöscht.

Plot

Mit dieser Schaltfläche werden die Teilungspunkte für alle Makroelementkanten geplottet.

Kontrolle: Verträglichkeit der Unterteilungsangaben überprüfen.

Überprüft wird, ob die für die einzelnen Elemente und Richtungen bzw. Kanten angegebenen Unterteilungen miteinander verträglich sind. Die Verträglichkeit kann jedoch nur bei aneinanderstoßenden Elementkanten geprüft werden, die dieselben Endknotenpunkte besitzen. Kanten mit unverträglichen Teilungsangaben werden grafisch hervorgehoben. Bei Volumenelementen erfolgt die Kontrolle nur für die Kanten der Grundfläche der Elemente.

In dem dargestellten Dialogfenster können noch folgende Optionen eingeschaltet werden:

MAKROS



Elementauswahl

Es sind die Elemente auszuwählen, auf welche das Kommando angewendet werden soll.

Unverträglichkeit korrigieren

Nur grafisch anzeigen: Unverträglichkeiten werden nur grafisch angezeigt

Kleinste Anzahl Zwischenknoten: Unverträglichkeiten werden automatisch korrigiert, indem bei allen an die Kante angrenzenden Elementen für die Kante die kleinste Teilungsangabe aller angrenzenden Elemente übernommen wird. Dieses kann ggf. auch 0 sein, wenn für ein Element keine Teilung angegeben ist.

Größte Anzahl Zwischenknoten: Wie vor, jedoch wird die größte Teilungsangabe für alle angrenzenden Elemente übernommen.

Schrumpfungsfaktor:

Für den Plot kann ein Schrumpfungsfaktor eingestellt werden. Damit werden Unverträglichkeiten deutlicher hervorgehoben.

Plot Musterkennzahl

Wird die Option eingeschaltet, so werden beim Plot der Kantenteilungen alle Makroelemente mit einem unregelmäßigen Teilungsmuster in ihrem Schwerpunkt mit der Kennzahl des zugeordneten Teilungsmusters beschriftet.

Loeschen: Teilungsangaben löschen

Mit der Schaltfläche „Löschen“ werden Teilungsangaben für einzelne oder alle Elemente wieder gelöscht. Die Elementauswahl ist anzugeben.

Datei: Maktrounterteilungsdatei laden bzw. sichern

Die Schaltfläche „Sichern“ bewirkt, dass die Teilungsangaben in einer binären Datei mit der Dateinamenserweiterung .mut gesichert werden.

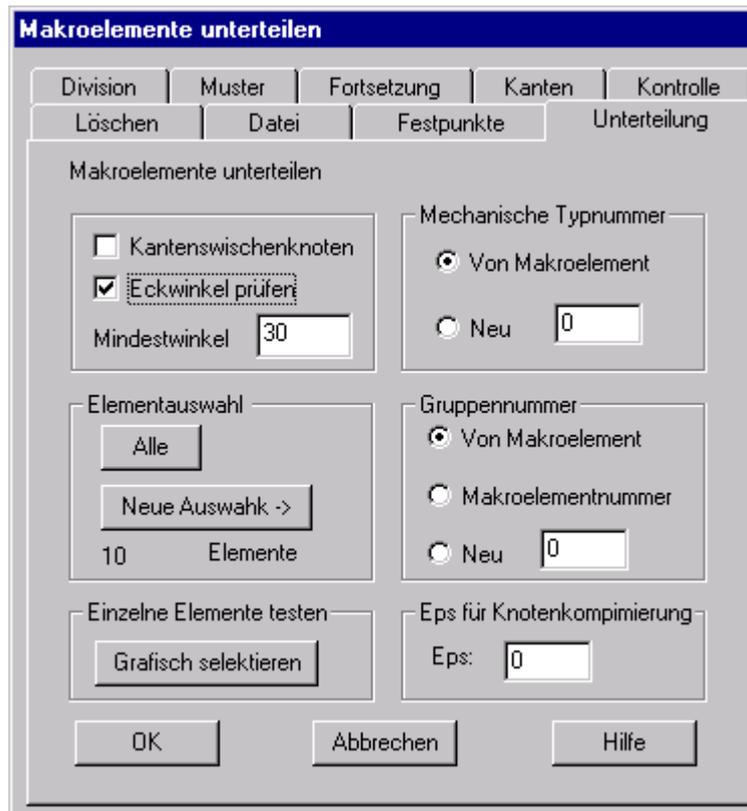
Mit der Schaltfläche „Laden“ kann eine binäre Unterteilungsdatei wieder geladen werden. Die Zuordnung zu den Elementen erfolgt über die externen Elementnummern, d. h. die Elementnummerierung sollte nicht mehr geändert werden, nachdem Teilungsangaben in einer Datei gesichert wurden.

In dem Dialogfenster wird der aktuelle Projekttitle angezeigt. Mit den Schaltflächen „Neues Projekt“ bzw. „Anderer Filetitle“ kann ein neuer Filetitle eingestellt werden, z.B. um unterschiedliche Teilungsvarianten für dieselbe Makrostruktur zu sichern.

Unterteilung: Unterteilung der Makrostruktur durchführen

Nachdem die Unterteilung der Makrostruktur spezifiziert worden ist, wird mit dem Kommando die Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente durchgeführt.

In dem dargestellten Dialogfenster sind folgende Angaben zu machen:



Kantenzwischenknoten

Wird die Option eingeschaltet, so wird auf allen FE-Kanten ein Zwischenknoten erzeugt, dieses erfolgt außer bei den Makroelementtypen 105 und 400 bereits bei der Unterteilung des Einheitselementes, so dass bei der Übertragung des Musters auf die Geometrie des Makroelementes gekrümmte Kanten und Flächen erhalten bleiben. Bei den Typen 105 und 400 werden die Kantenzwischenknoten nach der Unterteilung des Makroelementes eingefügt.

Eckwinkel prüfen

Wir die Option eingeschaltet, so werden bei allen generierten Viereckselementen die Eckwinkel überprüft, ist ein Winkel kleiner als der angegebene Mindestwinkel oder größer als 180 Grad – diesem Winkel, so wird das Viereckselement in zwei Dreieckselemente umgewandelt.

Elementauswahl

Durch Spezifizieren einer Elementauswahl ist es möglich, die Unterteilung auf einzelne Elemente zu beschränken.

Mechanische Typnummer

Von Makroelement: Die bei den Makroursprungselementen eingetragene mechanische Typnummer wird bei den FE übernommen.

Neu: Die FE erhalten die angegebene Nummer als mechanische Typnummer.

Gruppennummer

Von Makroelement: Die Gruppennummer des Makroursprungselementes wird bei den finiten Elementen übernommen.

Makroelementnummer: Die FE erhalten die Elementnummer des Makroursprungselementes als Gruppennummer.

MAKROS

Neu: Die FE erhalten die angegebene Nummer als Gruppennummer.

Eps für Knotenkomprimierung

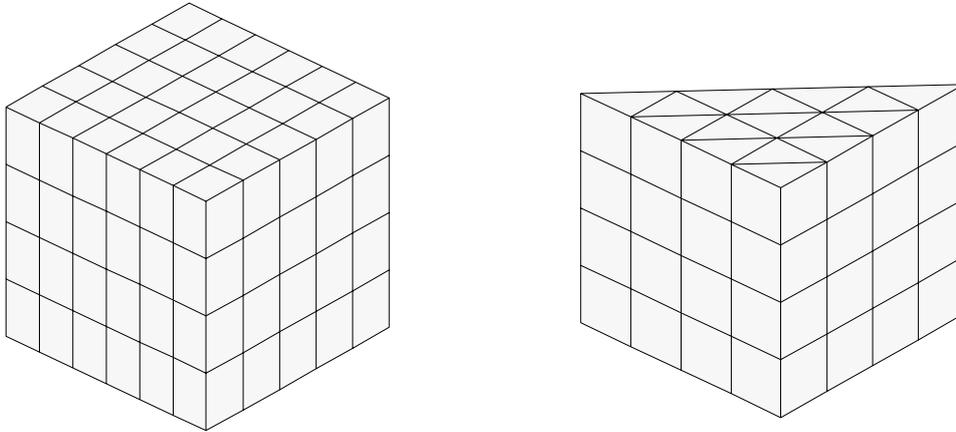
Wahlweise kann ein Toleranzmaß für die Verschmelzung nahe bei einander liegender Knoten angegeben werden. Fehlt die Angabe, so wird automatisch ein geeigneter Wert für eps vom Programm ermittelt. Knoten, deren Abstand kleiner eps ist, werden zu einem Knoten zusammengefasst. Hinweis: Es sollte überprüft werden, ob dicht zusammenfallende Knoten im Innern der FE-Struktur vorkommen, da eps evtl. zu klein gewählt wird.

Einzelne Elemente testen

Grafisch selektieren: Wird diese Schaltfläche angeklickt und werden anschließend einzelne Makroelemente grafisch selektiert, so werden diese nach Abschluss der Selektion sofort unterteilt und die generierten Finiten Elemente werden mit anderer Farbe mit der Makrostruktur im Grafikfenster überlagert, so dass die geeignete Wahl des Teilungsmusters sofort für einzelne Makroelemente grafisch überprüft werden kann.

Teilungsmuster

Die Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente erfolgt immer nach einem Teilungsmuster, wobei zwischen regelmäßiger Teilung und unregelmäßiger Teilung (Übergangsmuster) unterschieden wird. Bei regelmäßiger Unterteilung werden entsprechend nachfolgendem Bild gegenüberliegende Kanten mit der gleichen Anzahl Zwischenknoten unterteilt.



Bei unregelmäßiger Unterteilung ist bei mindestens zwei gegenüberliegenden Kanten die Anzahl Zwischenknoten ungleich, hierdurch wird eine Verfeinerung des Netzes in einer oder zwei Richtungen ermöglicht. Nach welchem Muster die Makroelemente unterteilt werden sollen, wird durch eine zweistellige Kennzahl bei regelmäßiger Teilung und eine dreistellige Kennzahl bei unregelmäßiger Teilung angegeben. Die Kennzahl für regelmäßige Unterteilung ist 20 für die Makroelemente 20-25, 30 für die Makroelemente 30-35, 60-65 und 40 für die Makroelemente 40-45, 80-85. Wird kein anderes Teilungsmuster zugewiesen, so wird regelmäßige Teilung angenommen.

Außer der Kennzahl für das Teilungsmuster ist die Anzahl der Zwischenknoten für die einzelnen Kanten des Makroelementes anzugeben.

Zusätzlich kann bei einigen Mustern noch eine Verhältniszahl q für die Länge der letzten zur ersten FE-Kantenlänge für eine oder zwei Richtungen angegeben werden. Die FE-Kantenlänge wird für $q > 1$ linear vergrößert und für $q < 1$ linear verkleinert.

Bei Volumenelementen wird ein gewähltes Teilungsmuster auf die Grundfläche und die Deckfläche des Makroelementes angewendet. In senkrechter Richtung wird immer gleichmäßig unterteilt, für diese Richtung ist nur eine Anzahl Zwischenknoten und wahlweise eine Verhältniskennzahl für die Länge der letzten zur ersten FE-Kantenlänge anzugeben.

Die Anzahl Zwischenknoten für die Kanten 1-4 des viereckigen Makroelementes werden nachfolgend mit m_1, m_2, m_3, m_4 bezeichnet, wobei die Kanten vom ersten Elementknoten beginnend, entgegen Uhrzeigersinn gezählt werden. Die Richtung R1 verläuft vom ersten zum zweiten und die Richtung R2 vom zweiten zum dritten Knoten.

Bei regelmäßiger Teilung sind nur die Zahlen für m_1 und m_2 anzugeben, $m_3 = m_1$ und $m_4 = m_2$ werden gesetzt. Ferner können Verhältniszahlen q_1 und q_2 für die zwei Hauptrichtungen bei Viereckselementen angegeben werden.

Bei unregelmäßiger Teilung bestimmen die letzten zwei Ziffern der dreistelligen Teilungskennzahl entsprechend den nachfolgenden Abbildungen das Teilungsmuster. Die erste Ziffer der Teilungskennzahl bestimmt die Drehung des Musters. Das Muster wird zunächst auf ein Einheitselement angewendet und die Unterteilung wird dann auf die Geometrie des Makroelementes abgebildet. Die erste Ziffer der Teilungskennzahl bestimmt hierbei, auf welchen Knoten des Makroelementes (1-4 entgegen Uhrzeigersinn) der erste Knoten des Einheitselementes abgebildet wird.

Die verschiedenen unregelmäßigen Teilungsmuster sind nachfolgend genauer beschrieben.

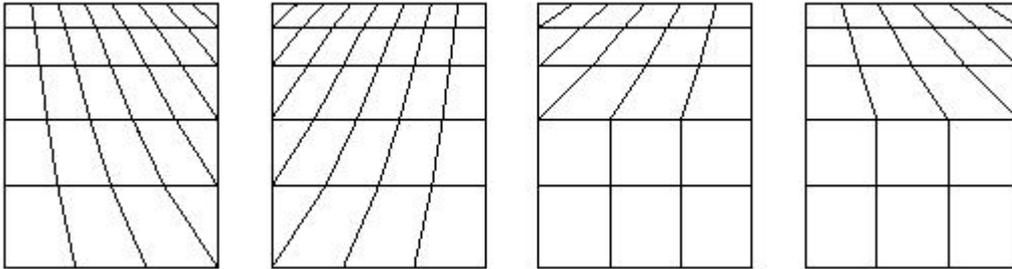
MAKROS

Teilungsmuster 101, 102, 104, 105

Bei den Mustern 101 und 102 erfolgt eine lineare Zunahme der Anzahl Zwischenknoten in Richtung von R2. Anzugeben sind die Anzahl Zwischenknoten für die Kanten 1 (m_1) und 2 (m_2), $m_3 = m_1 + m_2 + 1$ und $m_4 = m_2$ wird gesetzt.

Bei den Mustern 104 und 105 ist zusätzlich auch m_3 anzugeben, mit $\text{abs}(m_3 - m_1) < m_2$. Die kleinere Anzahl Zwischenknoten bleibt zunächst konstant, dann wird fortlaufend um 1 vergrößert.

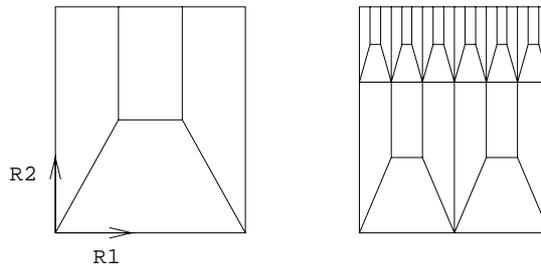
Für die Richtung R2 kann wahlweise ein Teilungsverhältnis q für die letzte zur ersten FE-Kantenlänge angegeben werden.



Teilungsmuster 121

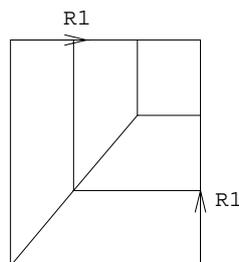
Anzugeben sind m_1 und m_2 , $m_3 = (m_1 + 1) * (3 * (m_2 + 1)) - 1$ und $m_4 = m_2$ wird gesetzt. Das Teilungsmuster für das gesamte Makroelement entsteht aus der Aneinanderreihung eines Grundmusters in den Richtungen R1 und R2 entsprechend nachfolgender Abbildung. Wird das Makroelement nur nach dem Grundmuster unterteilt ($m_1 = m_2 = 0$), so entstehen aus einem Viereckselement 4 Viereckselemente.

Für die Richtungen R2 kann wahlweise ein Teilungsverhältnisse q für die letzte zur ersten FE-Kantenlänge angegeben werden.



Teilungsmuster 122

Das Teilungsmuster ermöglicht entsprechend nachfolgender Abbildung eine Verfeinerung der Unterteilung in zwei Richtungen. Anzugeben sind die Unterteilungsparameter m , q für die Richtung R1. $m_1 = m_4 = 0$ und $m_2 = m_3 = m$ wird gesetzt.



MAKROS

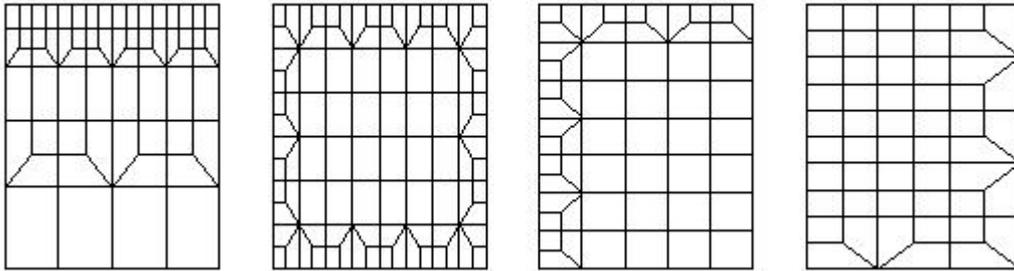
Teilungsmuster 123, 124, 125, 126

Das Teilungsmuster 123 bewirkt eine Netzverfeinerung in Richtung R2. Anzugeben sind m_1, m_2, m_3 , $m_4 = m_2$ wird gesetzt. m_1 muss ungerade sein. Für m_3 ist entsprechend nachfolgender Abbildung die Bedingung einzuhalten, dass bei jeder Verfeinerung die Kantenlänge halbiert wird ($m_3 = (m_1 + 1) \cdot (2^n) - 1$ mit $n \leq m_2 + 1$). Für die Richtung R2 kann wahlweise ein Teilungsverhältnis q für die letzte zur ersten FE-Kantenlänge angegeben werden.

Beim Teilungsmuster 124 sind m_1 und m_2 anzugeben, $m_3 = m_1$ und $m_4 = m_2$ wird gesetzt.

Beim Teilungsmuster 125 sind m_1 und m_2 anzugeben, $m_3 = 2 \cdot m_1 + 1$ und $m_4 = 2 \cdot m_2 + 1$ wird gesetzt.

Beim Teilungsmuster 126 sind m_1 und m_2 anzugeben, $m_3 = 2 \cdot m_1 + 1$ und $m_4 = 2 \cdot m_2 + 1$ wird gesetzt.

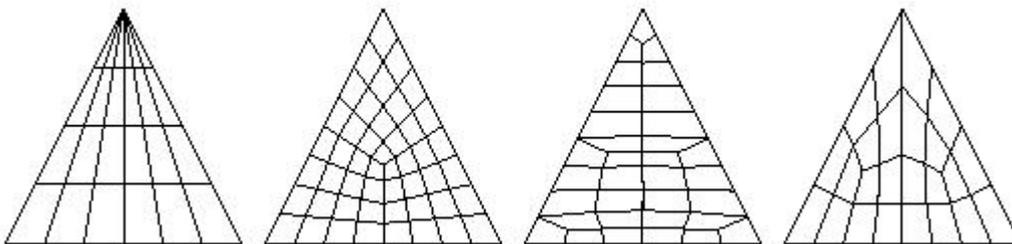


Teilungsmuster 133, 134, 135, 136

Teilungsmuster für Makroelemente mit dreieckiger Grundfläche. ($m_3 = m_2$)

Beim Teilungsmuster 134 erhalten alle Kanten dieselbe Anzahl Unterteilungen $m_3 = m_2 = m_1$, wobei m_1 ungerade sein muss.

Beim Teilungsmuster 135 muss m_1 ungerade und mindestens 1 und m_2 mindestens 3 sein, m_1 und m_2 sind unabhängig voneinander.



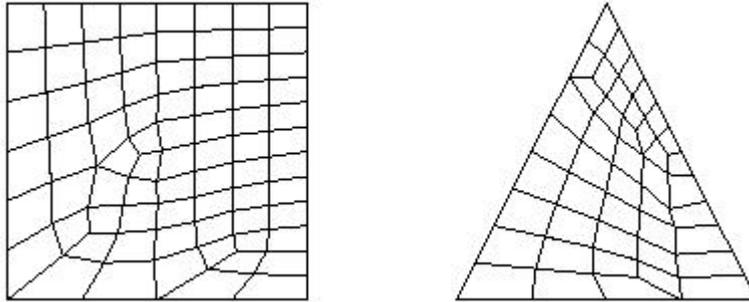
Das Teilungsmuster 136 wird aus zwei Dreiecken mit dem Teilungsmuster 134 erzeugt. m_1 muss mindestens 3 sein. Zwischen m_1 und m_2 besteht die Beziehung $m_1 = 2 \cdot m_2 + 1$, wobei m_2 ungerade sein muss. Es braucht nur m_1 angegeben zu werden, $m_3 = m_2 = (m_1 - 1) / 2$ wird gesetzt. Teilungsmuster 136 ist z. B. für die Unterteilung einer mit dem Makroelementtyp 32 modellierten Halbkreisfläche in Viereckselemente geeignet.

Das Teilungsmuster 134 ist die Standardeinstellung für Makroelemente des Typs 30-35 und 60-65

Teilungsmuster 142

Beim Teilungsmuster 142 kann die Anzahl der Zwischenknoten für alle Kanten des Makroelementes verschieden sein, es wird ein stetiger Übergang zwischen der Anzahl Teilungen der gegenüberliegenden Kanten hergestellt. Ist die Summe der Zwischenknoten aller Elementkanten beim Viereckselement gerade und beim Dreieckselement ungerade, so werden nur Viereckselemente erzeugt, ist die Summe ungerade bzw. bei Dreieckselementen gerade, so wird ein zusätzliches Dreieckselement erzeugt.

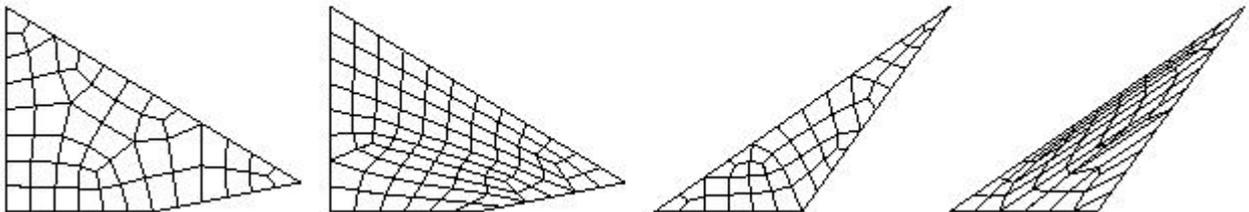
MAKROS



Teilungsmuster 150 bei drei- und viereckigen gekrümmten Makroelementen

Wie beim Teilungsmuster 142 kann auch beim Teilungsmuster 150 die Anzahl Zwischenknoten für alle Kanten unterschiedlich sein. Im Gegensatz zum Muster 142 wird hier jedoch das Muster für die Unterteilung des Makroelementes unter Berücksichtigung der Geometrie des Makroelementes berechnet. Hierzu wird das Makroelement auf eine Ebene durch die drei ersten Eckknoten des Elementes projiziert. Die projizierte Fläche in dieser Ebene wird unter Berücksichtigung der Anzahl Zwischenknoten der Elementkanten wie beim Elementtyp 400 beschrieben frei vernetzt. Das entstehende Netz wird dann auf ein Einheitsselement abgebildet und dieses Muster wird auf die Geometrie des Makroelementes übertragen. Voraussetzung hierfür ist, dass das Verhältnis der größten zur kleinsten FE-Kantenlänge nicht größer als 4 ist.

Das Muster 150 sollte immer dann verwendet werden, wenn das Makroelement sehr spitze oder sehr stumpfe Winkel aufweist. In der folgenden Abbildung sind für ein Vierecks- und ein Dreieckselement die Muster 150 (links) und 142 (rechts) für gleiche Anzahl von Zwischenknoten auf den Kanten gegenübergestellt.

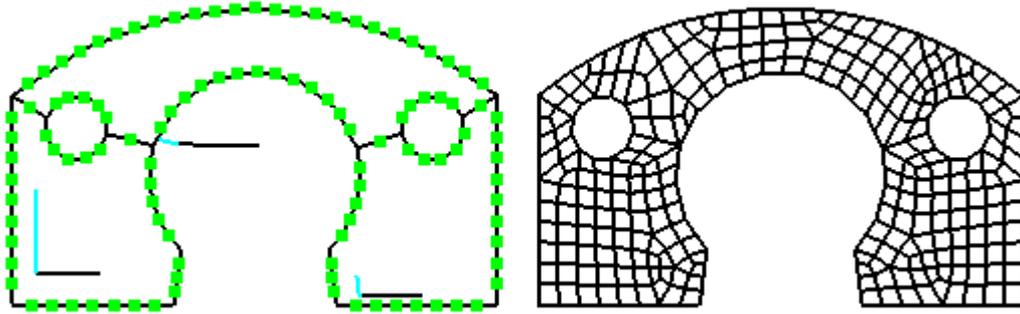


Teilungsmuster für den Elementtyp 105

Das Makroelement vom Typ 105 ist ein ebenes Element mit bis zu 10 Kanten, die jeweils Geraden, Kreisbögen oder Splinekurven sein können. Für jede Kante muss in der Folge der Kanten entgegen Uhrzeigersinn mit den Kommandos **Division** oder **Muster** die Anzahl Zwischenknoten für die Unterteilung des Makroelementes in Finite Elemente festgelegt werden. Mit dem Kommando **Muster** können dem Elementtyp die folgenden Teilungsmuster zugeordnet werden.

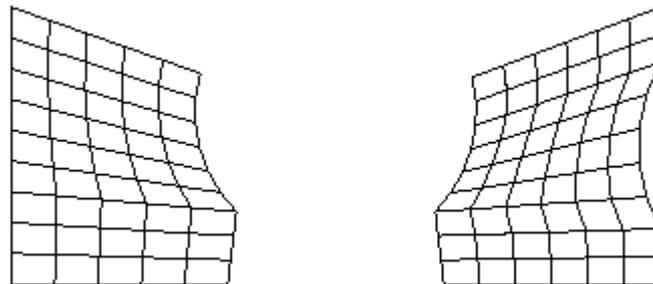
Teilungsmuster 150

Es erfolgt eine freie Vernetzung des Elementes wie beim Teilungsmuster für Elementtyp 400 beschrieben. Hinweis: Die Anzahl Zwischenknoten sollte für alle Kanten etwa so gewählt werden, dass die Kantenlänge für alle FE etwa gleich ist. Das Verhältnis größter zur kleinster Kantenlänge darf nicht größer als 4 sein. Die Vernetzung des gesamten Gebietes erfolgt mit einer konstanten Länge gleich dem Mittelwert aus allen Kanten.



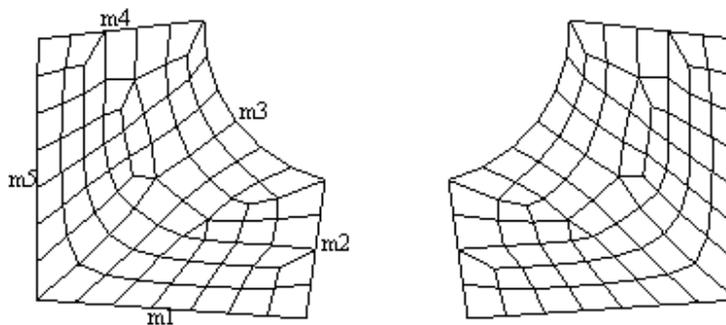
Teilungsmuster 40

Das Muster 40 kann verwendet werden, wenn 4 Eckknoten des umlaufenden Polygonzuges als Eckknoten eines Viereckselementes festgelegt werden. Erster Eckknoten ist immer der erste Knoten des Polygonzuges. Die drei weiteren Eckknoten können mit dem Kommando **Elementdefinition** angegeben werden, sie werden nach dem Knoten für die Elementhöhe gespeichert. Werden keine Eckknoten für das der Elementteilung zugrunde liegende Viereckselement angegeben, so werden vom Programm die Polygonecken mit den kleinsten Eckwinkeln als Eckpunkte des Viereckselementes verwendet.



Teilungsmuster 151 bis 551

Diese Typkennzahlen können bei Elementen mit 5 Kanten verwendet werden. Hierbei wird zunächst von einer Ecke des Polygonzuges ausgehend, das Element in zwei Viereckselement aufgeteilt, die dann anschließend entsprechend den Teilungsangaben für die 5 Kanten mit dem Muster 142 weiter unterteilt werden. Die erste Ziffer der Typkennzahl bestimmt, welche Ecke des Polygonzuges für die Unterteilung in zwei Viereckselemente verwendet wird. Das folgende Bild zeigt die Muster 151 und 251 unter der Voraussetzung, dass der linke untere Eckpunkt der erste Elementknoten ist.

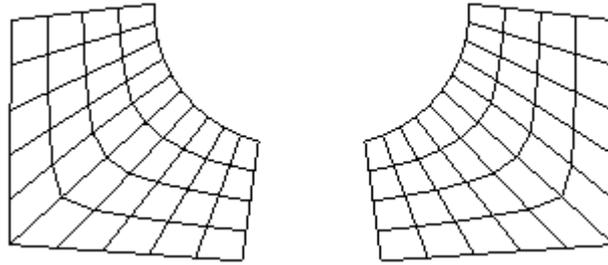


Teilungsmuster 152 bis 552

Das Teilungsmuster entspricht den Mustern 151 - 551, mit dem Unterschied, dass Bedingungen für die Kanteinteilung der Kanten 3 und 4 so einzuhalten sind, dass eine regelmäßige Unterteilung in Viereckselementen möglich ist. Die Bedingungen sind: $m4 = m2$ und $m3 = m1 + m5 + 1$; $m4$ und $m3$

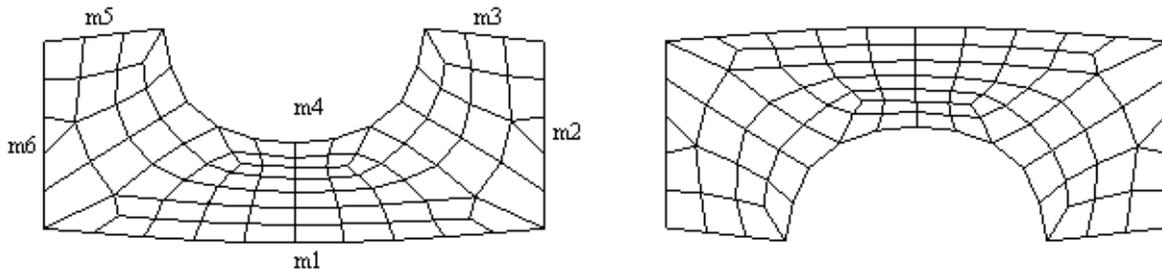
MAKROS

werden ggf. automatisch korrigiert. Die erste Kennzahl bestimmt, von welcher Ecke des Elementes aus die Unterteilung in zwei Viereckselemente beginnt (vgl. Demo „pattern15x.dem“).



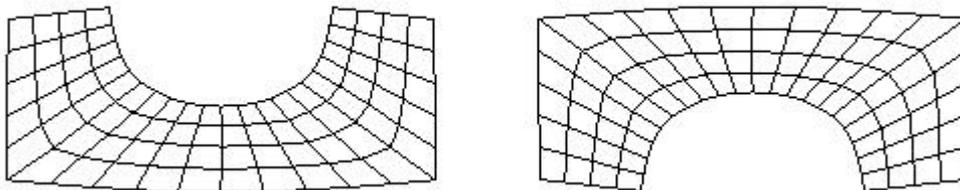
Teilungsmuster 161 bis 661

Die Typkennzahlen können bei Elementen mit 6 Kanten verwendet werden. Hierbei wird von zwei aufeinanderfolgenden Eckpunkten ausgehend, das Element zunächst in drei Viereckselemente aufgeteilt, die dann anschließend entsprechend der Teilungsangaben für die Kanten nach dem Muster 142 weiter unterteilt werden. Die erste Ziffer der Typkennzahl bestimmt den ersten Eckknoten für die Unterteilung in drei Viereckselemente. Das folgende Bild zeigt die Muster 161 und 561, wenn der linke untere Knoten der erste Knoten des Elementes ist.



Teilungsmuster 162 bis 662

Das Teilungsmuster entspricht den Mustern 161 - 661, mit dem Unterschied, dass Bedingungen für die Kantenteilungen der Kanten 4 und 5 so einzuhalten sind, dass eine regelmäßige Unterteilung in Viereckselemente möglich ist. Die Bedingungen sind: $m5 = m3$ und $m4 = m1 + m2 + m6 + 2$; $m5$ und $m4$ werden ggf. automatisch korrigiert (vgl. Demo „pattern16x.dem“).

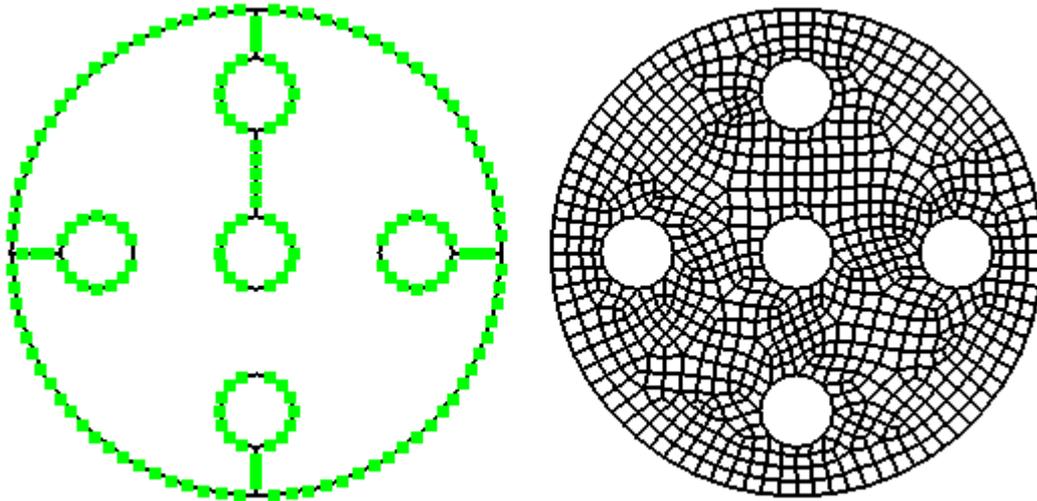


Teilungsmuster 150 für den Elementtyp 400

Das Makroelement vom Typ 400 ist ein ebenes Element mit bis zu 39 Kanten, die jeweils Geraden oder Kreisbögen sein können. Für die Unterteilung des Makroelementes in Finite Elemente wird mit dem Kommando **Division** die maximale Kantenlänge der zu generierenden FE angegeben. Der umlaufende Rand des Elementes wird zunächst entsprechend dieser FE Kantenlänge unterteilt. Von den Rändern ausgehend werden dann fortlaufend Vierecks- und Dreieckselemente gebildet, bis das gesamte Gebiet vernetzt ist. Ist die Anzahl der Zwischenknoten auf allen Kanten ungerade, so erfolgt zunächst eine Vernetzung mit der doppelten Kantenlänge der FE, anschließend werden alle Viereckselemente nochmals in 4 und alle Dreieckselemente in 3 Viereckselemente unterteilt, so dass insgesamt nur Viereckselemente generiert werden. Stark gekrümmte Ränder

MAKROS

müssen hierfür jedoch mindestens 3 Zwischenknoten besitzen. Mit dem Kommando **Muster** kann auch die Anzahl Teilungszwischenknoten für die einzelnen Kanten entgegen Uhrzeigersinn angegeben werden, jedoch darf das Verhältnis der größten zur kleinsten FE Kantenlänge nicht größer als 4 sein. Das gesamte Gebiet wird mit einer Kantenlänge vernetzt, die gleich dem Mittelwert der FE Kantenlängen aller Makroelementkanten ist.



Allgemeine Kommandos

Übersicht

In der Menügruppe **Allgemein** sind weitere Kommandos zusammengefasst. Die Kommandos sind für die Elemente der aktiven Struktur wirksam (vgl. Kommando Aktiviere FE-/Makro-Str)

Information	Information über Anzahl Gruppen, Knotenkoordinaten ect.
Gruppe	Gruppennummer, Farbindizes, Layer etc. zuordnen
Layernamen	Layernamen definieren
Sortieren	Elemente/Knoten neu numerieren
Glättung	Oberfläche glätten
Knotenkomprimierung	Dicht beieinanderliegende Knoten verschmelzen
Kontrolle	Eckwinkel, Umlaufsinn etc. kontrollieren
ElementAuswahl	Elemente auswählen
KnotenAuswahl	Knoten auswählen
Stop	Programm beenden
MAKROS	Programmsteuerung an MAKROS abgeben (AutoCAD-Kommando)
AutoCAD	Programmsteuerung an AutoCAD abgeben (nur bei Start von AutoCAD aus)
Xunload	MAKROS beenden (AutoCAD-Kommando)

Mit **Information** kann aufgelistet werden, welche Gruppen, Layer etc. existieren. Mit **Layernamen** können den Layernummern alphanumerische Bezeichnungen zugeordnet werden, so dass Strukturteile mit Namen identifiziert werden können. Das Kommando **Sortieren** ermöglicht es den Knoten und Elementen entsprechend ihrer räumlichen Lage externe Nummern zuzuordnen, gleichzeitig werden Knoten und Elemente nach diesen Nummern aufsteigend sortiert. Mit **Glättung** können Knotenpunkte auf Regelflächen verschoben werden. Das Kommando **Knotenkomprimierung** dient dazu, dicht beieinanderliegende Knoten zu einem Knoten zu verschmelzen. Mit dem Kommando **Kontrolle** können Eckwinkel, Verwindung von Flächenelementen etc überprüft werden.

Mit den Kommandos **Elementauswahl** und **Knotenauswahl** können Auswahlen von Elementen bzw. Knoten definiert und für die Verwendung in anderen Kommandos gespeichert werden. Mit **Gruppe** werden Elementen Gruppennummern, Farbindizes, Layernummern etc zugeordnet.

Mit **Stop** wird der Programmablauf beendet. Mit **MAKROS** und **AutoCAD** wird bei Start des Programms von AutoCAD aus die Ablaufkontrolle zwischen MAKROS und AutoCAD umgeschaltet.

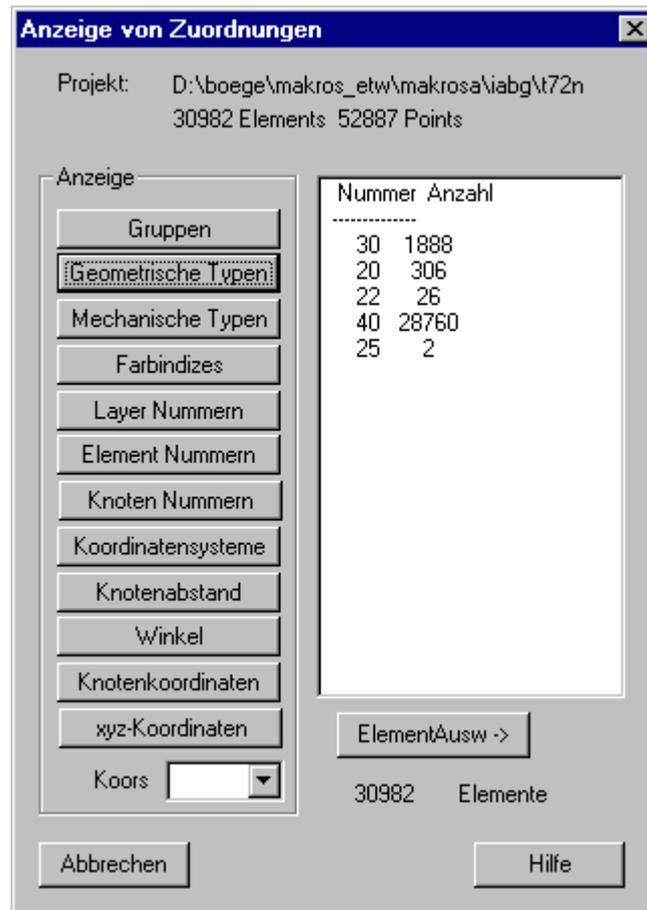
Beschreibung der Kommandos

Information: Informationen über Anzahl Gruppen, Knotenkoordinaten etc. anzeigen

Mit dem Kommando kann für eine Elementauswahl angezeigt werden, welche Gruppennummern, Elementnummern etc. zugeordnet sind. Mit der Schaltfläche "Elementauswahl" kann mehrfach eine neue Elementauswahl eingestellt werden, für die dann die vorhandenen Zuordnungen angezeigt werden.

In dem gezeigten Dialogfenster können folgende Optionen eingestellt werden:

MAKROS



Anzeige

Gruppen, Geometrische Typen, Mechanische Typen, Farbindizes, Layer Nummern: Bei diesen Auswahlen wird jeweils in der rechten skrollbaren Tabelle angezeigt, welche Nummern in der gesamten Struktur existieren und wie vielen Elementen dieselbe Nummer zugeordnet ist.

ElementNummern: Angezeigt wird die Verteilung der Elementnummern. Für jeden Bereich aufeinanderfolgender Nummern wird jeweils die erste und letzte Nummer protokolliert.

KnotenNummern: Angezeigt wird die Verteilung der externen Knotennummern. Für jeden Bereich aufeinanderfolgender Nummern wird jeweils die erste und letzte Nummer protokolliert.

Koordinatensysteme: Aufgelistet werden die Nummern und der Typ aller definierter lokaler Koordinatensysteme.

KnotenAbstand: Nach dem Anwählen der Option sind im OpenGL-Fenster fortlaufend zwei Knoten grafisch zu selektieren. Der Abstand von jeweils zwei Knoten wird berechnet und angezeigt. Die selektierbaren Knoten werden mit einem farbigen Symbol markiert. Nur die Knoten der in der Elementauswahl enthaltenen Elemente sind selektierbar. Die Selektion wird mit der rechten Maustaste beendet.

Winkel: Nach dem Anwählen der Option sind im OpenGL-Fenster fortlaufend je drei Knoten zu selektieren. Der Eckwinkel im ersten Knoten wird berechnet und angezeigt. Für die Knotenselektion gilt dasselbe wie bei KnotenAbstand.

Knotenkoordinaten: Nach dem Anwählen der Option sind grafisch die Knoten zu selektieren, deren Koordinaten angezeigt werden sollen. Falls ein lokales Koordinatensystem in dem Eingabefeld eingestellt ist, werden die Koordinaten der selektierten Knoten bezüglich dieses Koordinatensystems angezeigt.

xyz-Koordinaten: Angezeigt werden die kleinste und größte x-, y- und z-Koordinate für die Knoten der in der aktuellen Auswahl enthaltenen Elemente. Falls ein lokales Koordinatensystem angegeben ist, werden die Koordinaten bezüglich dieses Koordinatensystems angezeigt.

Gruppe: Gruppennummern, Farbindizes, Layer etc. zuordnen

Mit dem Kommando können den Elementen eine Gruppennummer, eine mechanische Typkennzahl, ein Farbindex und eine Layernummer zugeordnet werden. Das Kommando kann mehrfach auf verschiedene Auswahlen angewendet werden. Eingestellt werden müssen jeweils eine Elementauswahl und eine Zuordnung. Die Schaltfläche "Aktualisieren" bewirkt dann, dass die Zuordnungen vorgenommen werden.



Die Alternativen in dem dargestellten Dialogfenster haben folgende Bedeutung:

Neue Zuordnung

Neue Nummern: Angegeben werden können eine Gruppennummer, eine mechanische Typkennzahl, ein Farbindex und eine Layernummer, eine oder alle Optionen können markiert werden.

Farbindex = f(Gruppe): Jeder vorhandenen Gruppe wird ein anderer Farbindex zugewiesen, so dass beim Plot die Gruppen farblich unterschieden werden können. Der Index der ersten Farbe ist in dem Eingabefeld für ix1 einzutragen.

Farbindex = f(mechTyp): Jeder vorhandenen mechanischen Typkennzahl wird ein anderer Farbindex zugewiesen, so dass die mechanischen Typen farblich unterschieden werden können. Der Index der ersten Farbe ist in dem Eingabefeld für ix1 einzutragen.

Layernummer = f(Gruppe): Jeder vorhandenen Gruppe wird eine andere Layernummer zugeordnet.

Layernummer = f(mechTyp): Jeder vorhandenen mechanischen Typkennzahl wird eine andere Layernummer zugeordnet.

Gruppe = MechTyp: Für die ausgewählten Elemente wird die Gruppennummer gleich der mechanischen Typnummer gesetzt. Dieses könnte die Elementauswahl vereinfachen, da die meisten Kommandos eine direkte Elementauswahl entsprechend der Gruppennummer erlauben.

MechTyp = Gruppe: Für die ausgewählten Elemente wird die Mechanische Typnummer gleich der Gruppennummer gesetzt.

MAKROS

Elementauswahl

Den ausgewählten Elementen werden neue Nummern zugeordnet.

Layernamen definieren

Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint das Dialogfenster zum Kommando **Layernamen** mit dem die Layernamen der verwendeten Layernummern angezeigt und neu definiert werden können.

Plot

Wird die Schaltfläche „Plot“ angeklickt, so erscheint das dem Kommando **PlotNum** zugeordnete Dialogfenster.

Layernamen: Layernamen definieren

Den Elementen kann mit dem Kommando **Gruppe** eine Layernummer zugeordnet werden. Mit dem Kommando werden den Layernummern alphanumerische Namen mit maximal 30 Zeichen zugeordnet. Die Verwendung von Layern ermöglicht es, Strukturteile mit Namen zu identifizieren. Die Layernummern und Layernamen werden beim Sichern der Datei mit auf Platte gesichert.

Werden Elemente von AutoCAD gelesen, so werden die AutoCAD-Layer fortlaufend durchnummeriert und die Layernummern der Ursprungslayer sowie deren Namen den Elementen zugeordnet.

Makroelementen können die Layernummern 1 - 100 und Finiten Elementen die Layernummern 101 - 199 zugeordnet werden. Werden Makroelemente in Finite Elemente unterteilt, so erhalten diese automatisch die Layernummer der Ursprungselemente + 100 zugewiesen. An die Layernamen der Ursprungselemente wird hierbei automatisch die Endung -fe angehängt.

Mit dem dargestellten Dialogfenster können die Namen von Layern geändert werden. Die Dialogelemente haben folgende Bedeutung:



Layernummer

Die aufklappbare Liste zeigt alle verwendeten Layernummern und die zugeordneten Namen für die Makro- bzw. FE-Struktur. Aus der Liste kann ein Layer ausgewählt werden.

Neuer Name

In dem Eingabefeld kann ein neuer Name eingetragen werden.

Farbindex:

MAKROS

Zugehörig zu jedem Layernamen wird eine Layerfarbe gespeichert.

Speichere Namen

Mit der Schaltfläche wird der neue Name gespeichert.

Standardnamen

Mit dieser Schaltfläche wird allen Layernummern, denen kein Name zugeordnet ist, der Standardname `m_elem_xx` zugeordnet, wobei für `xx` die Layernummer eingesetzt wird.

Alle löschen

Mit dieser Schaltfläche werden alle Namen gelöscht.

Lösche nicht verwendete Layer

Wird die Zuordnung von Layernummern zu den Elementen geändert (Kommando **Gruppe**), so können Layernamen übrig bleiben, denen keine Elemente zugeordnet sind. Mit der Schaltfläche werden diese Layernamen aus der Liste entfernt.

Liste

In einem Fenster werden alle Layer aufgelistet, die definiert sind, mit Angabe der Layerfarbe und der Anzahl Elemente, denen der Layer zugewiesen ist.

Sortieren: Elemente/Knoten neu nummerieren und sortieren

Das Kommando ermöglicht es, Elemente und Knoten nach ihrer geometrischen Lage zu sortieren. Die Elemente/Knoten erhalten zunächst neue externe Nummern entsprechend ihrer Lage und werden anschließend nach diesen Nummern aufsteigend sortiert.

Die Nummerierung nach der Lage erfolgt nach folgenden Regeln:

Es wird der Ausschnitt ermittelt, in dem alle Knoten liegen.

Der Ausschnitt wird in Richtung der Achsen in 1024 Schichten unterteilt, so dass eine 3D-Struktur in 2×30 kleine Quader unterteilt wird. Bei der Auswahl der Reihenfolge der Sortierung kann angegeben werden, dass in einer Richtung keine Unterteilung erfolgen soll.

Die entstehenden Quader werden fortlaufend nummeriert, z.B. bei der Sortierung in der Folge `xyz` ist die Reihenfolge $((ix = 1, 1024), iy = 1, 1024), iz = 1, 1024)$; `ix`, `iy`, `iz` sind hierin die Nummern der Schichten in Richtung der Koordinatenachsen.

Die Knoten werden auf die Quader verteilt und entsprechend der Nummerierung der Quader fortlaufend nummeriert.

Wird ein lokales Koordinatensystem angegeben, so werden die Knoten zunächst in das lokale Koordinatensystem transformiert und dann nach ihrer Lage in dem lokalen Koordinatensystem sortiert.

Bei der Sortierung der Elemente werden die Koordinaten des Elementschwerpunktes für die Festlegung der Elementlage verwendet.

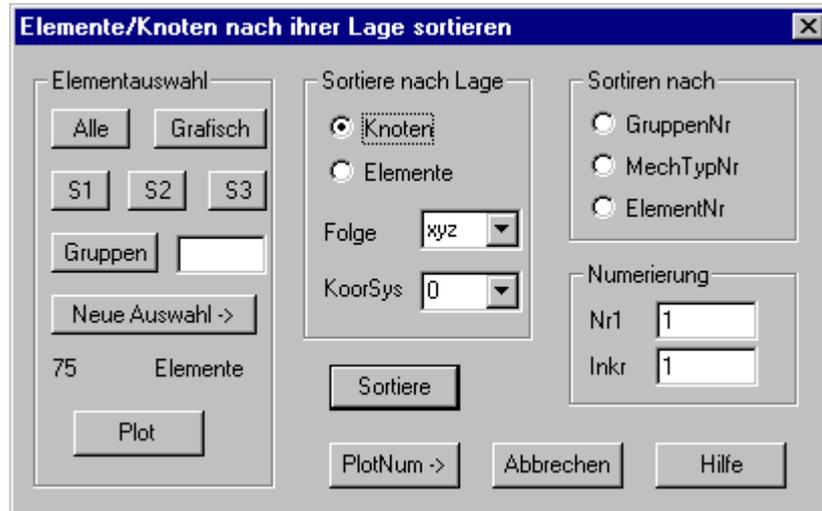
Hinweis: Werden externe Knoten- oder Elementnummern der FE-Struktur geändert, so wird geprüft, ob eine Lastdatei „projekt.lqd“ existiert und ggf. wird angefragt, ob externe Nummern in dieser Lastdatei entsprechend geändert werden sollen. Bei positiver Antwort wird die Lastdatei geladen, die externen Nummern werden angepasst und die Lastdatei wird wieder auf Platte zurückgeschrieben, dabei wird vorausgesetzt, dass Änderungen in der Lastdatei auf Platte gesichert wurden. Bei negativer Antwort wird angefragt, ob die Neunummerierung durchgeführt werden soll. Diese Anfrage ist zu verneinen, wenn z.B. die Lastdatei zuvor noch gesichert werden soll. Werden externe Nummern in der Lastdatei geändert, so ist es wichtig, auch die geänderte FE-Struktur auf Platte zu sichern, da sonst die Nummerierung der Knoten bzw. Elemente in den Dateien „projekt.fes“ und „projekt.lqd“ nicht verträglich ist. Werden externe Elementnummern der Makro-

MAKROS

Struktur geändert, so wird geprüft, ob eine Unterteilungsdatei existiert und ggf. wird angefragt, ob externe Nummern in dieser Datei entsprechend geändert werden sollen.

Nach Einstellung der Parameter wird die Neunummerierung und Umspeicherung mit der Schaltfläche „Sortieren“ aktiviert.

In dem dargestellten Dialogfenster sind folgende Angaben zu machen:



Sortiere nach Lage

Knoten: Knotenpunkte sortieren

Elemente: Elemente sortieren

Folge: Aus der aufklappbaren Liste ist anzugeben, in welcher Reihenfolge die Nummerierung erfolgen soll. Mögliche Alternativen sind (xy), (yx), (xz), (zx), (yz), (zy), (xyz), (xzy), (yxz), (yzx), (zxy), (zyx). Bei Angabe von nur zwei Richtungen werden die Koordinatenwerte für die dritte Richtung nicht unterschieden. Die Auswahl (xy) ist z.B. bei räumlichen Schalenflächen sinnvoll, bei denen keine Sortierung in z-Richtung erfolgen soll.

KoorSys: Wird die Nummer eines lokalen Koordinatensystems eingetragen, so werden die Elemente/Knoten entsprechend ihrer Lage in diesem lokalen Koordinatensystem sortiert. Die Liste zeigt alle definierten Koordinatensysteme an.

Sortiere nach

Gruppennummer: Elemente werden nach ihrer Gruppennummer aufsteigend sortiert

Mech. TypNr.: Elemente werden nach ihrer mechanischen Typnummer aufsteigend sortiert

ElementNr.: Elemente werden nach ihrer Elementnummer aufsteigend sortiert.

Elementauswahl

Nur die ausgewählten Elemente und zugehörigen Knotenpunkte werden in den Sortierprozess einbezogen.

Numerierung

Nr.1: Nummer des 1. Elementes/Knotens

Inkr: Inkrement für die Nummerierung

Sortieren

Mit der Schaltfläche wird die Änderung der externen Knoten- bzw. Elementnummern durchgeführt.

PlotNum

MAKROS

Mit der Schaltfläche wird das Dialogfenster zum Kommando „Plot Nummern“ aktiviert, mit der die Zuordnungen grafisch überprüft werden können.

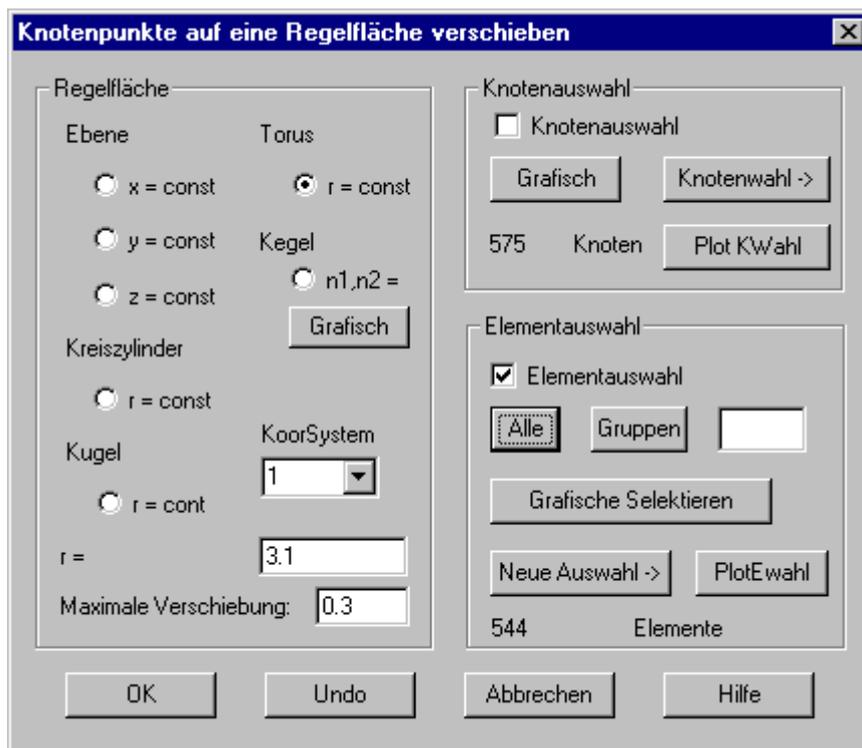
Glättung: Knotenpunkte auf eine Regelfläche verschieben

Das Kommando ermöglicht es, ausgewählte Knoten auf eine Regeloberfläche zu verschieben und damit die Struktur zu glätten. Glättung ist insbesondere erforderlich, wenn Makroelemente mit gekrümmten Rändern in Finite Elemente unterteilt werden. Die Berechnung der Zwischenknoten erfolgt hierbei mit C^0 -Coons-Interpolation, bei der ein linearer Übergang zwischen den gegenüberliegenden gekrümmten Rändern hergestellt wird. Hierbei können sich insbesondere bei Kugelflächen oder Torusflächen größere Abweichungen von der Regelfläche ergeben.

Die Lage der Regeloberfläche wird in einem lokalen Koordinatensystem festgelegt. Wird kein lokales Koordinatensystem angegeben, so erfolgt die Verschiebung im globalen Koordinatensystem. Die ausgewählten Knoten werden auf die Regeloberfläche verschoben, wobei jedoch mit der Option „maximale Verschiebung“ ein Maximalwert für die Verschiebung festgelegt werden kann. Knoten, die weiter als der eingetragene Wert von der Regeloberfläche entfernt sind werden nicht verschoben. Die Verschiebung erfolgt senkrecht zur Regeloberfläche.

Die Verschiebung von Knoten kann auch mit dem Kommando **Schnitt** durchgeführt werden, welches eine Verschiebung in Richtung eines Vektors und damit die Verschneidung von zwei Regeloberflächen ermöglicht.

In dem dargestellten Dialogfenster stehen folgende Alternativen zur Verfügung:



Regelfläche

Ebene: Festgelegt werden kann, ob für den x-, y- oder z-Wert der Knoten im ausgewählten Koordinatensystem ein konstanter Wert eingesetzt werden soll. Der entsprechende Zahlenwert ist in dem Eingabefeld anzugeben. Damit werden die Knoten auf Ebenen senkrecht zu den Koordinatenachsen verschoben.

Kreiszyylinder: Anzugeben ist der Radius des Kreiszyinders. Die z-Achse des ausgewählten Koordinatensystems wird als Zylinderachse verwendet.

Kugel: Anzugeben ist der Radius der Kugelfläche. Der Ursprung des ausgewählten lokalen Koordinatensystems wird als Kugelmittelpunkt verwendet.

MAKROS

Torus: Anzugeben ist der Radius der Torusfläche. Die Punkte P1 und P2 des lokalen Koordinatensystems bestimmen den Radius des Torus. Das lokale Koordinatensystem muss als Torus-System definiert sein.

Kegel: Anzugeben sind die Nummern von zwei vorhandenen Knoten, die auf der Kegelfläche liegen. Wird die Schaltfläche „Grafisch“ angeklickt, so können diese Knoten grafisch selektiert werden. Die z-Achse des ausgewählten Koordinatensystems wird als Kegelachse verwendet, wobei das Koordinatensystem als Zylindersystem definiert sein muss. Die Verschiebung der Knoten erfolgt senkrecht zur Zylinderachse in Richtung des Radius.

Parameterwerte: In der Eingabezeile sind die der Auswahl entsprechenden Parameterwerte einzutragen.

KoorSystem: Anzugeben ist die Nummer eines gespeicherten Koordinatensystems. In der aufklappbaren Liste werden die Nummern der definierten Koordinatensysteme angezeigt. 0 bedeutet globales Koordinationssystem.

Maximale Verschiebung: Wahlweise kann ein maximaler Wert für die Verschiebung angegeben werden.

Knotenauswahl

Anzugeben ist die Auswahl der Knoten, die verschoben werden sollen.

Elementauswahl

Wird eine Elementauswahl angegeben, so werden alle Knoten dieser Elemente in das Kommando einbezogen.

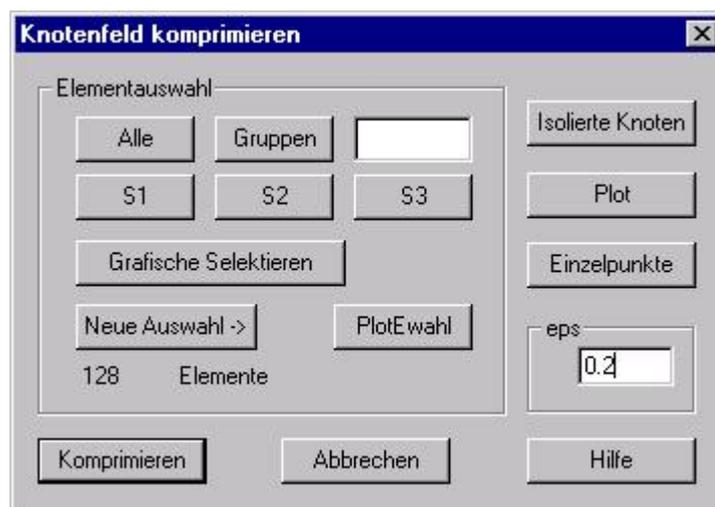
Undo

Mit der Schaltfläche kann die Verschiebung der Knoten wieder aufgehoben werden.

Knotenkomprimierung : Dicht beieinander liegende Knoten verschmelzen

Mit dem Kommando werden innerhalb einer vorgegebenen Toleranz zusammenfallende Knoten in der Struktur zu einem Knoten verschmolzen. Bevor dicht zusammen liegende Knoten zu einem Knoten zusammengefasst werden, können diese mit der Schaltfläche „Plot“ angezeigt und grafisch überprüft werden. Mit der Schaltfläche „Komprimieren“ wird die Komprimierung durchgeführt.

In dem dargestellten Dialogfenster sind folgende Angaben zu machen:



Elementauswahl

Die Knoten aller in der Elementauswahl enthaltenen Knoten werden in den Komprimierungsprozess einbezogen.

Eps

MAKROS

Anzugeben ist der zulässige Abstand für zusammenfallende Knoten. Alle Knoten, deren Abstand kleiner als eps ist, werden zu einem Knoten verschmolzen. Wird eine Struktur von AutoCAD gelesen, so wird automatisch eine Knotenkomprimierung durchgeführt.

Isolierte Knoten

Es wird geprüft, ob Knoten existieren, die bei keinem Element benutzt werden. Diese Knoten werden entfernt.

Plot

Innerhalb der angegebenen Toleranz eps zusammenfallende Knoten werden mit einem farbigen Symbol markiert.

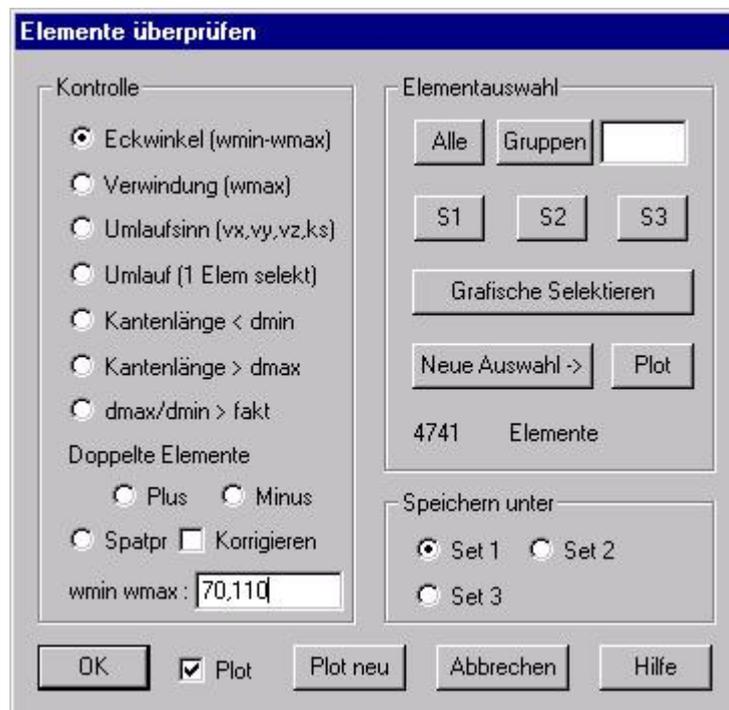
Einzelknoten

Innerhalb der angegebenen Toleranz eps zusammenfallende Knoten werden grafisch markiert. Anschließend sind jeweils zwei Knoten grafisch zu selektieren, die zu einem Knoten verschmolzen werden sollen. Abgebrochen wird mit der rechten Maustaste.

Kontrolle: Eckwinkel, Umlaufsinn etc. kontrollieren

Mit dem Kommando können verschiedene Kontrollen der Finiten Elemente durchgeführt werden. Die Nummern der Elemente, welche die angegebene Bedingung nicht erfüllen, werden als Elementauswahl gespeichert und wahlweise sofort grafisch angezeigt. Diese Elemente können anschließend modifiziert werden, z.B. können mit dem Kommando „**Typ2Typ**“ automatisch Viereckselemente mit zu großem oder zu kleinem Eckwinkel in zwei Dreieckselemente umgewandelt werden.

Das dargestellte Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit „Abbrechen“ geschlossen wird. Nach Einstellung der durchzuführenden Kontrolle wird diese mit „OK“ gestartet. Es können folgende Kontrollen durchgeführt werden:



Kontrolle

MAKROS

Eckwinkel (w_{min} - w_{max}): Überprüft werden die Eckwinkel aller ausgewählten Flächenelemente. Anzugeben sind der kleinste und der größte zulässige Winkel in Grad in den Elementeckknoten.

Verwindung (w_{max}): Überprüft wird der Verwindungswinkel bei Viereckselementen. Anzugeben ist der maximal zulässige Winkel in Grad zwischen den Normalenvektoren in den Knoten 1 und 3 des Viereckselementes.

Umlaufsinn (v_x, v_y, v_z, k_s): Überprüft wird, ob das Skalarprodukt zwischen dem Normalenvektor der ausgewählten Flächenelemente und dem angegebenen Vektor (v_x, v_y, v_z) positiv ist. Für k_s kann die Nummer eines lokalen Koordinatensystems angegeben werden. In diesem Fall bezieht sich der Vektor auf das lokale Koordinatensystem (z.B. Radialvektor in einem Zylinderkoordinatensystem). Werden Elemente gefunden, bei denen das Skalarprodukt negativ ist, so wird angefragt, ob der Umlaufsinn bei diesen Elementen automatisch umgedreht werden soll.

Umlauf (1 Element selektieren): Überprüft wird der Umlaufsinn der Elemente, wobei als erstes ein richtig orientiertes Element grafisch zu selektieren ist. Von diesem Element ausgehend werden alle Elemente gesucht, welche mit den Kanten dieses und der angrenzenden Elemente verbunden sind. Alle Elemente erhalten denselben Umlaufsinn. Die Überprüfung kann sich auf eine Elementauswahl beschränken, wobei nur Elemente vom Typ 30 oder 40 berücksichtigt werden.

Kantenlänge < d_{min} : Gesucht werden alle Elemente, die eine Kantenlänge kleiner als die angegebene Zahl besitzen.

Kantenlänge > d_{max} : Gesucht werden alle Elemente, die eine Kantenlänge größer als die angegebene Zahl besitzen.

$d_{max}/d_{min} > fakt$: Überprüft wird das Verhältnis der größten zur kleinsten Kantenlänge der Elemente, die maximal zulässige Verhältniszahl ist anzugeben.

Doppelte Elemente: Überprüft wird, ob Elemente mit identischen Eck-Knotenpunkten existieren. Zu unterscheiden ist, ob in gleichem Umlaufsinn (Option "plus") oder in entgegengesetztem Umlaufsinn (Option "minus") geprüft werden soll. Werden doppelte Elemente gefunden, so werden die Elementnummern dieser Elemente in den Auswahlen "Set1" und "Set2", jeweils einander zugeordnet, gespeichert. Durch Elementauswahl von Set1 oder Set2 kann anschließend wahlweise eine Hälfte mit dem Kommando **Lösche** gelöscht werden. Zu beachten ist, dass nur Flächenelemente überprüft werden.

Spatprodukt: Überprüft wird bei Volumenelementen ob das Spatprodukt der Kantenvektoren in allen Eckknoten dasselbe Vorzeichen besitzt, wobei das Vorzeichen vom ersten Element genommen wird. Wird die Option „Korrigieren“ eingeschaltet, so wird bei Elementen mit negativem Spatprodukt der Umlaufsinn der Knotenfolge umgekehrt.

Eingabefeld: In dem Eingabefeld sind die numerischen Werte entsprechend der durchzuführenden Kontrolle anzugeben. Winkel sind in Grad anzugeben.

Elementauswahl:

Nur die in der Auswahl enthaltenen Elemente werden überprüft.

Speichern unter

Set1, Set2, Set3: Die Nummern der Elemente bei denen die angegebene Bedingung nicht erfüllt ist, werden als Elementauswahl Set 1 - 3 gespeichert.

Plot

Wird die Option eingeschaltet, so werden die gefundenen Elemente sofort in dem Grafikfenster mit anderer Farbe dargestellt.

Plot neu

Mit der Schaltfläche wird die Grafik erneuert.

ElementAuswahl : Elemente für eine Kommandoausführung auswählen

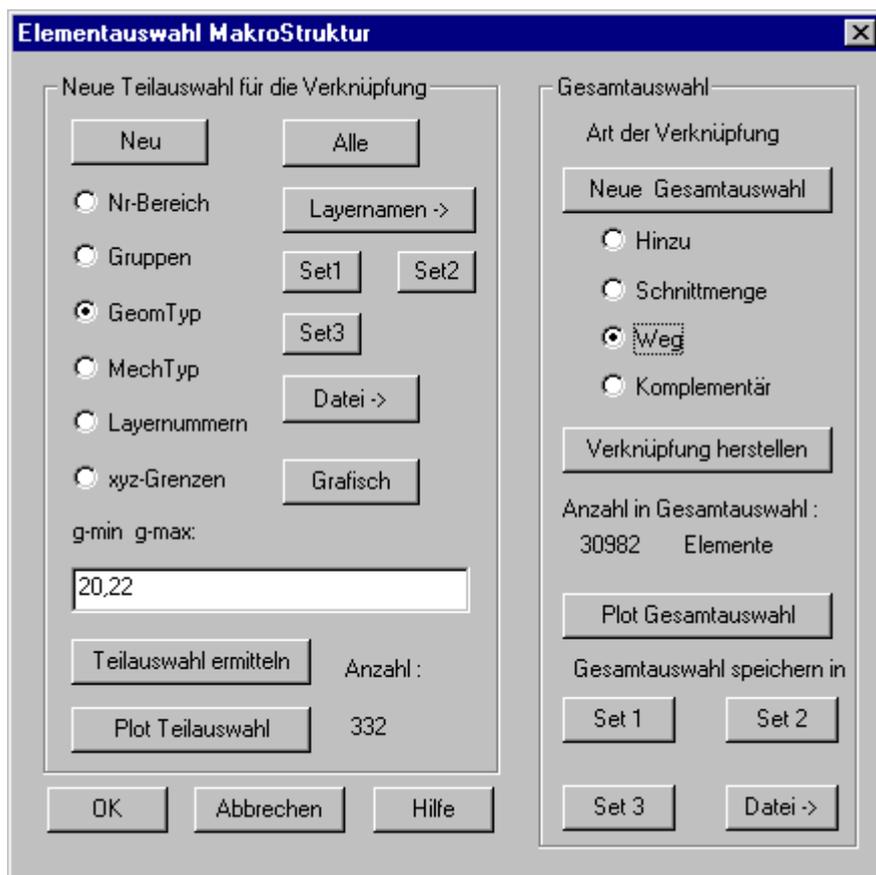
Das dargestellte Dialogfenster für Elementauswahl wird immer dann aktiviert, wenn bei einem Kommando die Option "Neue Elementauswahl" angeklickt wird. Das Kommando kann aber auch unabhängig von einem anderen Kommando aufgerufen werden. Es bietet dann die Möglichkeit, drei verschiedene Auswahlmengen zu spezifizieren und als Auswahlsets zu speichern, die dann in anderen Kommandos direkt aktiviert werden können. Auswahlsets können auch permanent in einer Datei gesichert werden.

Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit "OK" oder "Abbrechen" geschlossen wird. Es können mehrfach neue Elementmengen als eine Teilauswahl spezifiziert werden, die dann mit der aktuell gespeicherten Gesamtauswahl auf verschiedene Weise verknüpft werden können. Die Schaltfläche "Teilauswahl ermitteln" bewirkt, dass die neue Teilauswahl entsprechend der eingestellten Parameter ermittelt und die Anzahl der darin enthaltenen Elemente angezeigt wird.

Mit der Schaltfläche "Plot" kann die aktuelle Gesamtauswahl bzw. Teilauswahl grafisch überprüft werden. In dem Grafikfenster wird hierbei im Schwerpunkt der ausgewählten Elemente ein farbiges Symbol geplottet.

Die Schaltfläche "Verknüpfung herstellen" bewirkt, dass die neue Teilauswahl mit der aktuell gespeicherten Gesamtauswahl entsprechend der eingestellten Option, zu einer neuen Gesamtauswahl verknüpft wird. Die Anzahl der in der Auswahl enthaltenen Elemente wird angezeigt. Voreinstellung für die aktuelle Gesamtauswahl ist die beim letzten Kommando verwendete Elementauswahl, es sei denn, diese enthält alle Elemente, in diesem Fall wird die aktuelle Auswahl Null gesetzt.

In dem dargestellten Dialogfenster sind folgende Angaben zu machen:



Neue Teilauswahl für die Verknüpfung

Für die Spezifizierung einer Elementteilauswahl zur Verknüpfung mit der aktuell gespeicherten Gesamtauswahl stehen folgende Alternativen zur Verfügung:

MAKROS

Neu: Aktuelle Teilauswahl löschen

Alle: Alle Makro- bzw. Finiten Elemente werden in die neue Auswahl übernommen.

Nr.-Bereich: Anzugeben sind die erste und letzte Elementnummer eines Nummernbereiches.

Gruppen: Anzugeben sind die erste und letzte Nummer eines Bereiches von Gruppennummern

GeomTyp: Anzugeben ist die kleinste und größte geometrische Typkennzahl von Elementen. Alle Elemente mit einem geometrischen Typ in diesem Bereich werden in die Auswahl übernommen.

MechTyp: Anzugeben ist die kleinste und größte mechanische Typkennzahl der auszuwählenden Elemente.

Layernummern: Anzugeben sind die kleinste und größte zugeordnete Layernummer der auszuwählenden Elemente.

xyz-Grenzen: Ausgewählt werden alle Elemente, deren Knoten alle innerhalb eines angegebenen Quaders liegen. In der Eingabezeile sind folgende Werte einzutragen: xl, xr, yl, yr, zl, zr, ks. Dabei sind xl, xr, yl, yr, zl, zr die linke, rechte Grenze für x,y,z. ks ist die Nummer eines lokalen Koordinatensystems. Wird ks angegeben (wahlweise), so werden die Punktkoordinaten vor Überprüfung ihrer Lage in das lokale Koordinatensystem ks transformiert.

Layernamen: In einer Liste werden alle definierten Layernamen angezeigt. Aus der Liste können mehrere Layer ausgewählt werden. Alle Elemente dieser Layer werden übernommen.

Set 1 - Set 3: Übernommen werden die Auswahlen, die aktuell in den gespeicherten Auswahlsets 1 - 3 gespeichert sind.

Datei: Auswahlsets aus einer Datei laden. Der Filetitel der Datei ist in einem Dateiauswahlfenster anzugeben.

Grafisch: Die Auswahl ist nach Anklicken der Schaltfläche grafisch im OpenGL-Fenster durchzuführen. Hierfür werden alle selektierbaren Elemente in ihrem Elementmittelpunkt mit einem Symbol markiert.

Eingabefeld: In dem Eingabefeld sind die zugehörigen numerischen Parameter anzugeben, die bei einigen Auswahlalternativen erforderlich sind. Die Zahlenwerte sind durch 1 Leerzeichen oder 1 Komma voneinander zu trennen.

Teilauswahl ermitteln: Nach Einstellung der Option, wie die Teilauswahl ermittelt werden soll, wird mit der Schaltfläche „Teilauswahl“ diese bestimmt und die Anzahl der darin enthaltenen Elemente wird in dem Dialogfenster angezeigt.

Plot Teilauswahl: Mit der Schaltfläche kann die Teilauswahl grafisch überprüft werden.

Art der Verknüpfung

Für die Verknüpfung der aktuell gespeicherten Gesamtauswahl mit der neu spezifizierten Teilauswahl stehen die folgenden Alternativen zur Verfügung:

Neue Gesamtauswahl: Die aktuell gespeicherte Gesamtauswahl wird gelöscht und enthält danach keine Elemente mehr.

Hinzu: Es wird die Vereinigungsmenge der neuen Teilauswahl mit der aktuellen Gesamtauswahl gebildet

Schnittmenge: Es wird die Schnittmenge gebildet, d.h. es werden nur die Elemente übernommen, die in beiden Auswahlen enthalten sind.

Weg: Es wird die Differenzmenge gebildet, d.h. in der aktuell gespeicherten Gesamtauswahl werden die in der neuen Teilauswahl enthaltenen Elemente gelöscht.

Komplementär: Es wird die Komplementärmenge gebildet, d.h. alle Elemente, die nicht in der neuen Teilauswahl enthalten sind, werden in die aktuelle Gesamtauswahl eingetragen.

Verknüpfung herstellen: Nach Anklicken der Schaltfläche wird die Teilauswahl mit der aktuellen Gesamtauswahl verknüpft.

Plot: Gesamtauswahl: Mit der Schaltfläche kann die aktuelle Gesamtauswahl grafisch überprüft werden.

Gesamtauswahl speichern in

MAKROS

Set 1 - Set 3: Die aktuelle Gesamtauswahl wird in dem ausgewählten Auswahlset gespeichert und kann somit bei nachfolgenden Kommandos sehr einfach wieder aktiviert werden. Gespeichert werden die externen Elementnummern, d.h. die Auswahlen bleiben solange gültig, solange die Elementnummerierung nicht mit dem Kommando **Sortieren** geändert wird.

Datei: Die aktuell gespeicherten Auswahlsets können permanent in einer Datei gesichert werden. Der Filetitel der Datei ist in einem Dateiwahlfenster anzugeben, er erhält automatisch die Dateinamenserweiterung .ews.

KnotenAuswahl: Knotenpunkte für eine Kommandoausführung auswählen

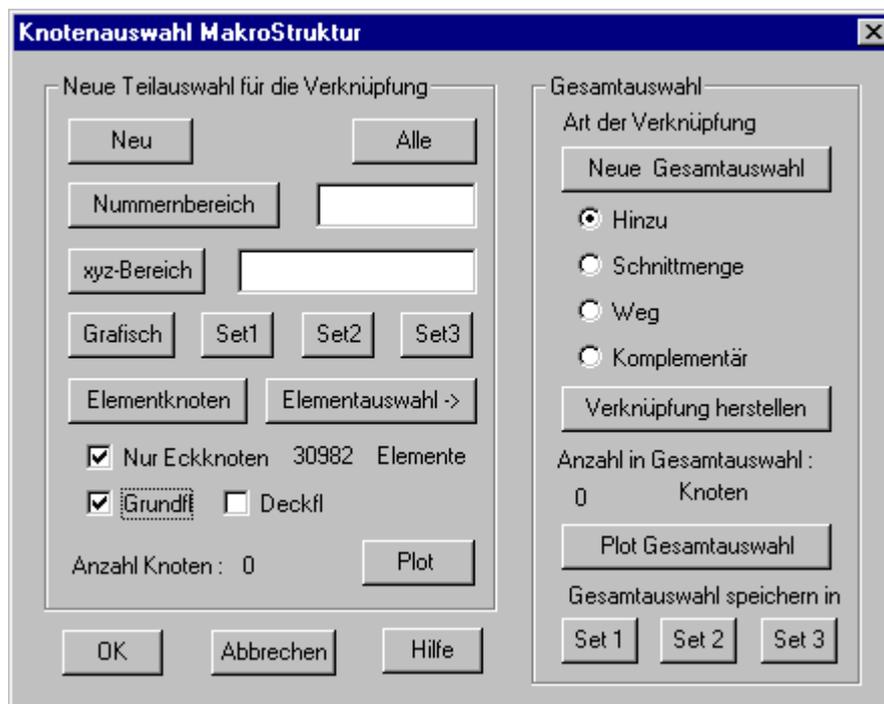
Das dargestellte Dialogfenster für Knotenauswahl wird immer dann aktiviert, wenn bei einem Kommando die Option "Neue Knotenauswahl" angeklickt wird. Das Kommando kann aber auch unabhängig von einem anderen Kommando aufgerufen werden. Es bietet dann die Möglichkeit, drei verschiedene Auswahlmengen zu spezifizieren und als Auswahlsets zu speichern, die dann in anderen Kommandos direkt aktiviert werden können.

Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit "OK" oder "Abbrechen" geschlossen wird. Es können mehrfach neue Teilauswahlen spezifiziert werden, die mit der aktuell gespeicherten Auswahl auf verschiedene Weise verknüpft werden können.

Mit der Schaltfläche "Plot" kann die neue Teilauswahl bzw. die aktuell gespeicherte Gesamtauswahl grafisch überprüft werden. Im Grafikfenster werden hierbei die ausgewählten Knoten mit einem farbigen Symbol geplottet

Die Schaltfläche "Verknüpfung herstellen" bewirkt, dass die neue Teilauswahl mit der aktuell gespeicherten Gesamtauswahl entsprechend der eingestellten Option zu einer neuen Gesamtauswahl verknüpft wird. Die Anzahl der in der Auswahl enthaltenen Knoten wird angezeigt. Voreinstellung für die aktuelle Auswahl ist die beim letzten Kommando verwendete Knotenauswahl, es sei denn, diese enthält alle Knoten, in diesem Fall wird die aktuelle Auswahl Null gesetzt.

In dem dargestellten Dialogfenster sind folgende Angaben zu machen:



Neue Teilauswahl für die Verknüpfung

MAKROS

Für die Spezifizierung einer neuen Knotenteilauswahl zur Verknüpfung mit der aktuell gespeicherten Gesamtauswahl stehen folgende Alternativen zur Verfügung:

Neu: Aktuelle Teilauswahl löschen

Alle: Alle Knoten werden in die neue Gesamtauswahl übernommen.

Nummernbereich: In dem Eingabefeld sind zuvor die erste und letzte Knotennummer eines Nummernbereiches einzutragen

xyz-Bereich: Ausgewählt werden alle Knotenpunkte, deren Koordinaten innerhalb des angegebenen Quaders liegen. In der Eingabezeile sind folgende Werte einzutragen: xl, xr, yl, yr, zl, zr, ks. Dabei sind xl, xr, yl, yr, zl, zr die linke, rechte Grenze für x,y,z. ks ist die Nummer eines lokalen Koordinatensystems. Wird ks angegeben (wahlweise), so werden die Punktkoordinaten vor Überprüfung ihrer Lage in das lokale Koordinatensystem ks transformiert.

Set 1 - Set 3: Übernommen werden die Auswahlen, die aktuell in den Auswahlsets 1 - 3 gespeichert sind

Grafisch: Die Auswahl ist anschließend grafisch im OpenGL-Fenster durchzuführen. Hierfür werden alle selektierbaren Knotenpunkte mit einem Symbol markiert.

Elementknoten: Ausgewählt werden alle Knoten der in der aktuellen Elementauswahl enthaltenen Elemente. Wird die Option "Nur Eckknoten" markiert, so werden nur die Elementeckknoten ausgewählt. Wird die Option „Grundfl“ oder „Deckfl“ markiert, so werden nur die Knoten der Grundfläche bzw. der Deckfläche der Volumenelemente ausgewählt. Mit der Schaltfläche "Elementauswahl" kann zuvor die aktuelle Elementauswahl neu angegeben werden.

Plot: Mit der Schaltfläche kann die Teilauswahl grafisch überprüft werden.

Art der Verknüpfung

Für die Verknüpfung der aktuell gespeicherten Gesamtauswahl mit der neu spezifizierten Teilauswahl stehen die folgenden Alternativen zur Verfügung:

Neue Gesamtauswahl: Die aktuell gespeicherte Auswahl wird gelöscht und enthält danach keine Knotenpunkte mehr.

Hinzu: Es wird die Vereinigungsmenge der neuen Teilauswahl mit der aktuellen Auswahl gebildet

Schnittmenge: Es wird die Schnittmenge gebildet, d.h. es werden nur die Knotenpunkte übernommen, die in beiden Auswahlen enthalten sind.

Weg: Es wird die Differenzmenge gebildet, d.h. in der aktuell gespeicherten Auswahl werden die in der neuen Teilauswahl enthaltenen Knotenpunkte gelöscht.

Komplementär: Es wird die Komplementärmenge gebildet, d.h. alle Knotenpunkte, die nicht in der neuen Teilauswahl enthalten sind werden in die aktuelle Auswahl eingetragen.

Gesamtauswahl speichern in

Die aktuelle Auswahl wird in dem ausgewählten Auswahlset gespeichert und kann somit bei nachfolgenden Kommandos sehr einfach wieder aktiviert werden. Gespeichert werden die internen Knotennummern, d.h. die Auswahlen bleiben nur solange gültig, solange die Knoten nicht mit dem Kommando **Sortieren** umgespeichert oder Knoten gelöscht werden. .

MAKROS: Programmsteuerung an MAKROS abgeben

Das Kommando ist nur in AutoCAD verfügbar, es bewirkt, dass die Programmsteuerung nach MAKROS verlagert wird. In AutoCAD können keine Eingaben mehr gemacht werden. Die MAKROS-Kommandos werden in einer Menüzeile des Protokollfensters sichtbar.

MAKROS

AutoCAD: Programmsteuerung an AutoCAD abgeben

Wurde die Programmsteuerung von AutoCAD mit dem Kommando **MAKROS** an MAKROS übertragen, so kann sie von dort mit dem Kommando **AutoCAD** wieder nach AutoCAD zurückübertragen werden.

MAKROS

xunload: MAKROS beenden

Mit dem AutoCAD-Kommando (xunload „makrosa“) wird MAKROS beendet, wenn es von AutoCAD aus mit (xload „makrosa“) gestartet wurde. Die ARX-Version von MAKROS kann nicht explizit beendet werden, sie bleibt aktiv, bis AutoCAD beendet wird. Ist die aktuell im Arbeitsspeicher gespeicherte Makro- und/oder FE-Struktur seit der letzten Sicherung verändert worden, so wird angefragt, ob die Dateien gesichert werden sollen. Ggf. wird automatisch das Kommando **SichernDatei** aufgerufen.

Kommandos für die grafische Darstellung

Übersicht

In der Menügruppe **Grafik** sind die folgenden Kommandos für grafische Darstellungen zusammengefasst.

Plot Struktur	Elementstruktur plotten
Layer	AutoCAD-Layer bzw. Displaylisten löschen oder ein- und ausschalten
Plot Nummern	Gruppennummer etc. plotten
Ansicht	Kameraposition einstellen
Drehung	Drehung um Modellachsen
LichtQuelle	Parameter für Schattierung einstellen
Farbdefinition	Farben definieren
Postfarben	Lineare Farbabstufungen definieren
Grafiktext	Texte für die Beschriftung der Grafik festlegen
Font einstellen	Schriftgröße und Font einstellen
Postscript	Grafische Ausgabe in ein Postscriptfile

Beschreibung der Kommandos

Plot Struktur: Elementstruktur plotten

Mit dem Kommando können die Elemente der gesamten oder von Teilen der aktiven Elementstruktur (Makro- bzw. FE-Struktur) in einem oder verschiedenen AutoCAD-Layern bzw. Displaylisten grafisch dargestellt werden. Bei der Darstellung der Elemente wird zwischen Kantenplot, Vielflächennetz, Bruchkantenplot, einfachem Flächenplot und Flächenplot mit Schattierung unterschieden. Gekrümmte Elementkanten und Flächen werden durch Berechnung von zusätzlichen Zwischenknoten geglättet. Bei Übertragung nach AutoCAD kann diese Glättung wahlweise ausgeschaltet werden. Sie sollte ausgeschaltet werden, wenn die Elemente, z. B. nach Modifikation in AutoCAD, wieder nach MAKROS zurück übertragen werden sollen.

Beim Kantenplot werden alle Kanten der Elemente gezeichnet. Bei Flächenelementen ergibt dieses für jedes Element einen geschlossenen Polygonzug. Werden Volumenelemente nach AutoCAD übertragen, so werden beim Typ 8x 9 Kanten in einem Polygonzug und drei senkrechte Kanten als zusätzliche Polygonzüge gezeichnet. Die so dargestellten Elemente können mit dem Kommando **LeseAutoCAD** wieder eingelesen werden.

Beim Vielflächennetz (nur bei Übertragung nach AutoCAD verfügbar), werden alle ausgewählten Elemente zu einem AutoCAD-Vielflächennetz zusammengefasst, wobei jedoch nur Elemente vom Typ 30 oder 40 berücksichtigt werden. Der Plot als Vielflächennetz hat den Vorteil, dass bei der Verschiebung von Elementeckknoten in AutoCAD sofort alle an die Knoten angrenzenden Elemente korrigiert werden. Dieses ist nicht der Fall, wenn jedes Element als ein isolierter Polygonzug geplottet wird. Vielflächennetze können wieder gelesen werden. Bei großen Strukturen sollte durch geeignete Elementauswahl und mehrfachen Plot die Gesamtstruktur in mehrere Vielflächennetze zerlegt werden.

Beim Bruchkantenplot werden vom Programm alle Kanten ermittelt, bei denen der Winkel zwischen den Normalenvektoren der an die Kanten angrenzenden Flächen größer als der eingetragene Winkel ist. Nur diese Kanten, sowie Kanten an die nur eine Fläche anschließt, werden geplottet. Hiermit können sehr einfach Löcher

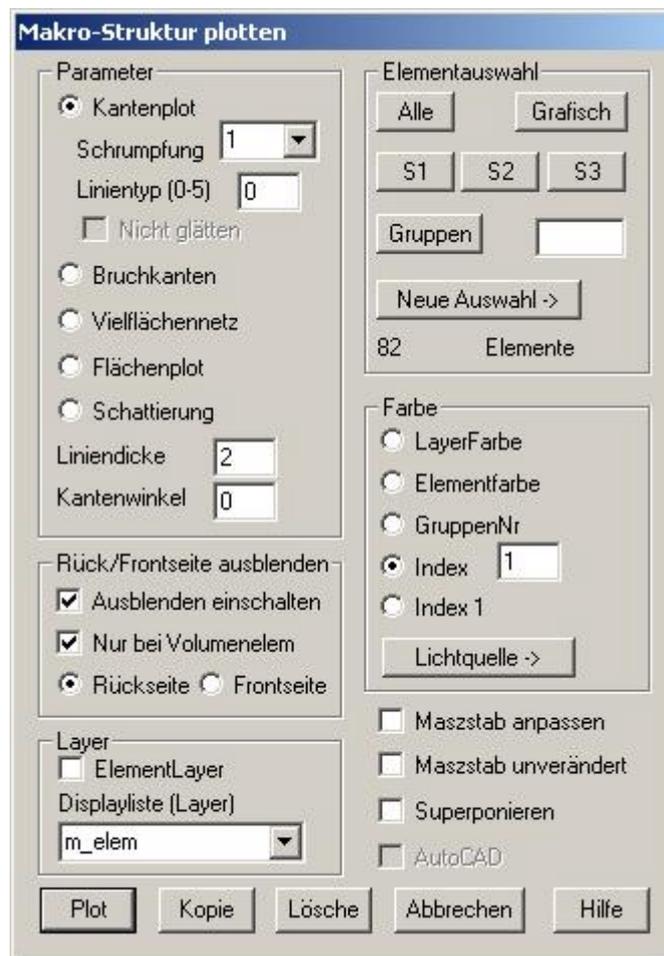
MAKROS

in der Struktur aufgedeckt werden. Bei einer Volumenstruktur werden nur die äußeren Elementoberflächen einbezogen. Der Winkel zwischen den Normalenvektoren ist in Grad anzugeben.

Beim Flächenplot werden Flächenelemente in AutoCAD als ein Polygonnetz gezeichnet. Bei Volumenelementen werden die Oberflächen der Elemente als Polygonnetze geplottet, wobei innere Oberflächen der Gesamtstruktur nicht gezeichnet werden. Der Flächenplot ermöglicht die Schattierung der Struktur mit dem Renderer von AutoCAD. Die Flächendarstellung kann nicht wieder mit dem Kommando **LeseAutoCAD** gelesen werden. Bei grafischer Ausgabe im OpenGL-Fenster werden verdeckte Kanten und Flächen automatisch ausgeblendet, gekrümmte Flächen werden mit Dreiecksflächen approximiert. Hierbei kann die Struktur auch unter Berücksichtigung einer Lichtquelle schattiert werden.

Mit der Schaltfläche „Plot“ wird die grafische Ausgabe durchgeführt. Mit „Lösche“ kann zuvor der Bildschirm gelöscht werden, hierbei werden alle OpenGL-Displaylisten gelöscht. Wird die Schaltfläche „Kopie“ angeklickt, so wird in einem zweiten Grafikfenster eine Kopie der aktuellen Grafik erzeugt, so dass anschließend verschiedene andere Ansichten neben dieser Ansicht betrachtet werden können.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Parameter für die grafische Darstellung eingestellt werden.



Parameter:

Kantenplot: Es werden alle Kanten eines Elementes als ein Polygonzug geplottet. Wird die Option „Nicht glätten“ eingeschaltet, so werden bei Plot in AutoCAD gekrümmte Kanten nicht mit zusätzlichen Zwischenknoten approximiert.

Schrumpfungsfaktor: Bei Angabe eines Schrumpfungsfaktors < 1.0 werden die Elemente mit dem angegebenen Faktor verkleinert dargestellt, wobei um den Elementmittelpunkt geschrumpft wird.

Linientyp: Bei Kantenplot kann für die Linien ein Strichmuster (0-5) eingestellt werden, z. B. um bei Ausgabe auf Drucker verschiedene Strukturteile optisch zu unterscheiden.

MAKROS

Bruchkanten: Es werden nur die Randkanten und Bruchkanten der Struktur geplottet. Der Winkel zwischen den Normalenvektoren ist in Grad anzugeben.

Vielflächennetz: Die Elementauswahl wird als ein Vielflächennetz geplottet (nur Elementtypen 30 und 40).

Flächenplot: Die Oberflächen der Makroelemente werden durch Dreiecke approximiert geplottet und können farbig ausgefüllt werden.

Schattierung: Es werden eine oder mehrere Lichtquellen (vgl. **Lichtquelle**) eingeschaltet, so dass eine schattierte Grafik erzeugt wird. Hierbei ist die Orientierung der Elemente (z.B. negatives Skalarprodukt bei Volumenelementen) von Bedeutung, da der Winkel zwischen dem Normalenvektor der Elemente und dem Vektor zur Lichtquelle für die Helligkeitsabstufung benutzt wird.

Liniendicke: In dem Eingabefeld kann die Strichdicke in Pixeln angegeben werden.

Kantenwinkel: Wird in dem Eingabefeld ein Kantenwinkel > 0 eingetragen, so werden bei Flächenplot und Schattierung nur die Bruchkanten und Randkanten geplottet. Bei der Option „Bruchkanten“ muss hier ein Kantenwinkel für die Ermittlung der Bruchkanten angegeben werden.

Rück/Frontseite ausblenden

Ausblenden einschalten: Ist die Option eingeschaltet, so werden beim Plot von Flächen die Normalenvektoren der Flächen geprüft und nur Frontseiten oder Rückseiten geplottet, d.h. es ist auf einheitliche Orientierung der Elemente zu achten; hiermit kann also auch die Orientierung der Elemente geprüft werden.

Nur bei Volumenelementen: Ist diese Option zusätzlich eingeschaltet, so werden beim Ausblenden von Flächen nur die Flächen berücksichtigt, welche zu Volumenelementen gehören.

Rückseite / Frontseite: Es ist auszuwählen, ob die Rück- oder die Frontflächen ausgeblendet werden sollen. Rückseiten sind Flächen mit vom Betrachter wegweisendem Normalenvektor.

Elementauswahl:

Nur die in der Elementauswahl enthaltenen Elemente werden geplottet.

Layer:

Elementlayer: Ist diese Option markiert, so werden die Elemente in verschiedenen Layern bzw. Displaylisten gezeichnet, wobei die den Layernummern zugeordneten Layernamen verwendet werden. Eine Layernummer muss den Elementen zuvor mit dem Kommando **Gruppe** zugeordnet werden. Ist die Option ausgeschaltet, so wird der in dem Eingabefeld angegebene Name für den Layer bzw. die Displayliste verwendet

Die Verwendung der Layernamen ist von Bedeutung, wenn die Struktur nach AutoCAD übertragen wird, aber auch bei OpenGL können bei Verwendung mehrerer Layer Strukturteile sehr einfach ein- und ausgeblendet werden.

Farbe:

Layerfarbe: Die Elemente werden in der für den Layer eingestellten Farbe geplottet

Elementfarbe: Jedes Element wird mit der dem Element zugeordneten Farbe geplottet.

GruppenNr: Die Gruppennummer des Elements wird als Farbindex verwendet.

Index: Alle ausgewählten Elemente werden mit dem angegebenen Farbindex geplottet. Der Index 1 ist der normale Index der Fordergrundfarbe. Mit dem Kommando „Farbdefinition“ können den Indizes Farben zugeordnet werden.

Lichtquelle: Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint ein Dialogfenster, in dem Parameter für die Schattierung des Modells eingestellt werden können.

Maßstab anpassen

MAKROS

Wird die Option eingeschaltet, so werden beim nächsten Plot der Maßstab und der Bildmittelpunkt neu ermittelt und der Größe des Grafikfensters angepasst, dieses erfolgt sonst nur bei Änderung der Elementauswahl.

Ansicht unverändert

Wird eine neue Elementauswahl geplottet, so werden bei Darstellung im OpenGL-Fenster der Zielpunkt und der Maßstab neu berechnet. Wird diese Option eingeschaltet, so bleibt die Ansicht unverändert. Damit können Strukturteile in verschiedenen Layern mit gleichem Maßstab überlagert werden.

Superponieren

Vor Ausgabe der Grafik werden alle OpenGL-Displaylisten bzw. die verwendeten AutoCAD-Layer gelöscht. Dieses unterbleibt, wenn diese Option markiert wird. Bei OpenGL muss jedoch eine andere Displayliste eingestellt werden. Eine vorhandene Displayliste kann nicht erweitert werden. Beim Einschalten der Option wird automatisch ein neuer Name für den Layer bzw. die Displayliste eingetragen, soll ein anderer Name verwendet werden, so ist dieser anschließend anzugeben. Nach erfolgtem Plot wird die Option automatisch ausgeschaltet und muss ggf. beim nächsten Plot wieder eingeschaltet werden.

AutoCAD

Ist diese Option aktiviert, so wird die Elementstruktur nach AutoCAD übertragen. Andernfalls erfolgt die grafische Darstellung im OpenGL-Fenster. Die Option ist nur verfügbar, wenn MAKROS von AutoCAD gestartet wurde.

Layer: AutoCAD-Layer bzw. Displaylisten löschen oder ein- und ausschalten.

Mit dem Kommando werden alle AutoCAD-Entities eines oder mehrerer Layer gelöscht. Ferner können mit dem Kommando einzelne OpenGL-Displaylisten ein- oder ausgeschaltet und gelöscht werden.

Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Schaltflächen:



Layer

In der Liste sind die Nummern und Namen aller Layer eingetragen, die in dem Grafikfenster geplottet sind, bzw. in AutoCAD existieren. Durch eine 0 oder 1 in der ersten Spalte wird angezeigt, ob die zugehörige Displayliste aktuell ein- oder ausgeschaltet ist.

MAKROS

AutoCAD - Layer löschen

Wird die Option markiert, so werden in der Liste alle AutoCAD-Layer angezeigt. Es können AutoCAD-Layer ausgewählt und mit der Schaltfläche „Löschen“ alle Entities dieser Layer gelöscht werden.

Alle auswählen

Alle in der Liste eingetragenen Layer werden markiert

Neue Auswahl

Die Markierung wird für alle Layer der Liste aufgehoben

Ausschalten

Die markierten Displaylisten werden ausgeschaltet.

Einschalten

Die markierten Displaylisten werden eingeschaltet

Lösche Layer

Die markierten Displaylisten bzw. AutoCAD-Layer werden gelöscht. Entities in AutoCAD Layers werden gelöscht.

Layernamen

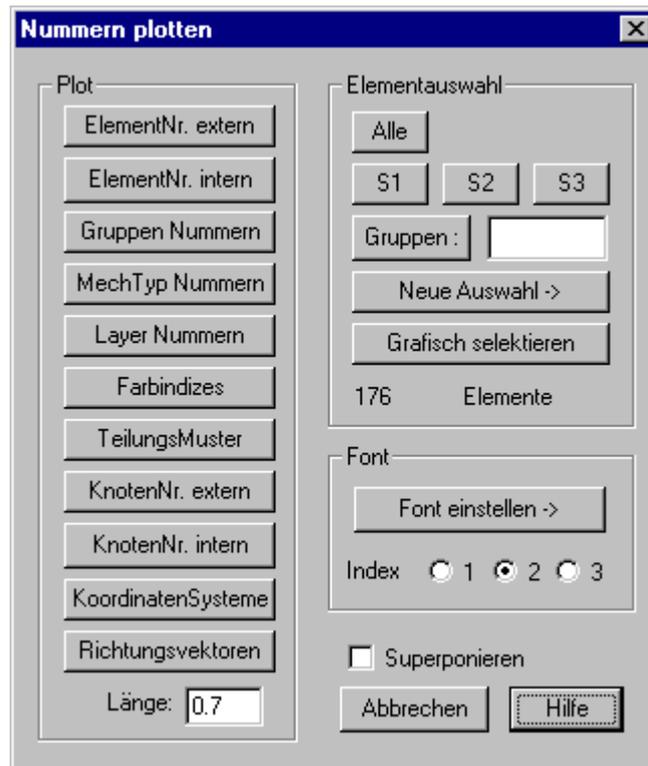
Es erscheint das Dialogfenster, mit dem Layernamen geändert werden können.

Plot Nummern: Gruppennummer etc. plotten

Mit dem Kommando kann grafisch die Zuordnung von Elementnummern, Gruppennummern usw. überprüft werden. Die Nummern werden in einem Hilfslayer geplottet.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Optionen eingestellt werden:

MAKROS



Plot

ElementNr extern / intern: Die den Elementen zugeordnete externe bzw. interne Nummer wird geplottet.

Gruppennummer: Die den Elementen zugeordnete Gruppennummer wird geplottet.

Mech. Typnummer: Die den Elementen zugeordnete mechanische Typnummer wird geplottet.

Layernummer: Die den Elementen zugeordnete Layernummer wird geplottet.

Farbindex: Der zugeordnete Farbindex wird geplottet.

Teilungsmuster: Die Kennzahl des den Elementen zugeordneten Teilungsmusters wird geplottet.

KnotenNr extern / intern: Die den Knoten zugeordneten externen bzw. internen Knotennummern werden geplottet.

Koordinatensysteme: Die Achsen der vorhandenen lokalen Koordinatensysteme und die Bezugsnummern der Koordinatensysteme werden geplottet.

Richtungsvektor: Im Schwerpunkt von Flächenelementen wird ein Richtungsvektor geplottet, aus dem der Umlaufsinn der Elementdefinition ersichtlich ist. Die Länge des Vektors ist in dem Eingabefeld einzutragen.

Elementauswahl

Nur die ausgewählten Elemente werden beschriftet.

Font

Wird die Schaltfläche „Font einstellen“ angeklickt, so kann den Fontnummern 1 - 3 ein anderer Font und eine Textfarbe zugewiesen werden. Ausgewählt werden kann die Nummer des Fonts, der für die Schriftzeichen verwendet werden soll.

Kameraeinstellung: Kameraposition einstellen

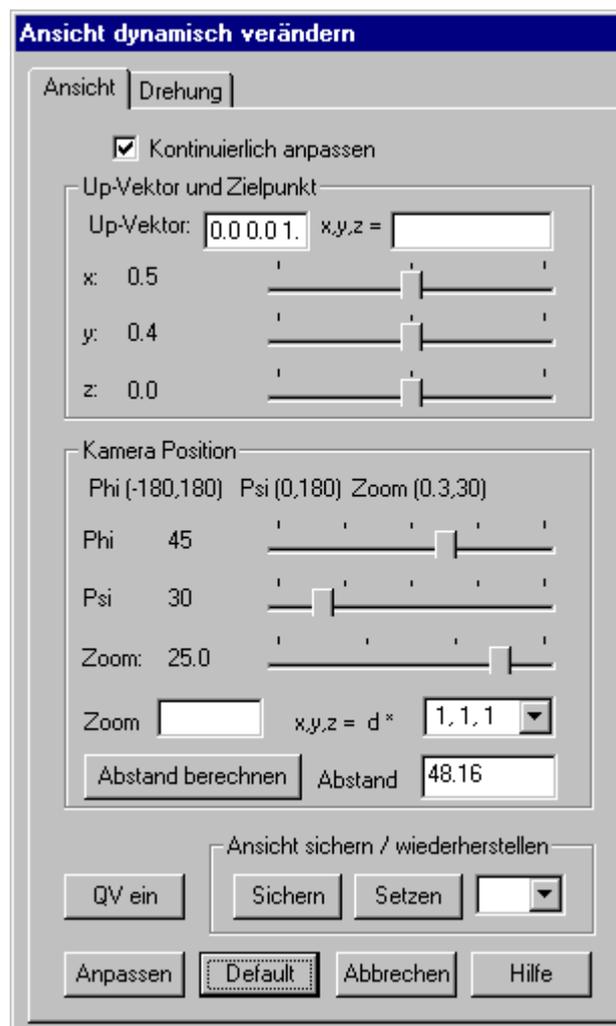
In dem Dialogfenster kann mit Hilfe von Schieberegler die Ansicht des im Grafikfenster dargestellten Modells kontinuierlich verändert werden. Die Ansicht ist bestimmt durch die Position der Kamera, angegeben in Kugelkoordinaten des globalen Koordinatensystems, durch die (x, y, z)- Koordinaten des Zielpunktes und die Orientierung des Modells, angegeben durch einen up-Vektor. Das Modell wird in Zentralprojektion abgebildet.

Die Schieberegler können mit der Maustaste oder in kleinen Inkrementen mit den Pfeiltasten verschoben werden.

Hinweis: Die Winkel Phi und Psi der Kameraposition können auch kontinuierlich verändert werden, indem der Cursor mit gedrückter linker Maustaste im Grafikfenster gezogen wird. Horizontale Bewegung des Cursors verändert den Winkel Phi und vertikale Bewegung den Winkel Psi.

Bei Änderung der Ansicht werden die Displaylisten nicht neu aufgebaut, es wird nur die Ansicht angepasst, dadurch wird ein rascher Bildaufbau erreicht. Veränderungen der Schieberegler werden sofort wirksam, wenn die Option „Kontinuierlich anpassen“ eingeschaltet ist. Ist die Abbildung sehr komplex, so kann die Änderung der Ansicht mit der Schaltfläche "QV ein" beschleunigt werden (siehe unten).

Der Zoom-Winkel und der Abstand der Kamera können auch numerisch eingegeben werden. Aus der aufklappbaren Liste können ferner 8 voreingestellte Kamerapositionen in den 8 Quadern des globalen Koordinatensystems ausgewählt werden. Diese Einstellungen werden erst wirksam, wenn die Schaltfläche „Anpassen“ angeklickt wird. Die Schaltfläche „Default“ bewirkt, dass die voreingestellte Ansicht wieder hergestellt wird.



Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

Kontinuierlich anpassen

Ist diese Option eingeschaltet, so wird bei jeder Veränderung der Regler sofort die grafische Darstellung aktualisiert. Ist die Option ausgeschaltet, so können mehrere Einstellungen zunächst geändert werden, bevor mit der Schaltfläche "Anpassen" eine neue Grafik erzeugt wird.

Up-Vektor und Zielpunkt

Für den Zielpunkt sind die globalen x-, y- und z-Koordinaten anzugeben. Voreingestellt ist der Mittelpunkt des aktuell dargestellten Modells. Der Zielpunkt kann mit den Schieberegler inkrementell verschoben werden. Der up-Vektor gibt an, welche Achse des Modell-Koordinatensystems in der Ansicht nach oben weist. Voreinstellung ist (0,0,1), d.h. z-Achse nach oben. Liegt die Kameraposition genau auf der z-Achse ($\Psi = 0^\circ$ oder $\Psi = 180^\circ$) so wird automatisch der up-Vektor (0, 1, 0) (y-Achse nach oben) eingestellt.

Kamera-Position

Phi: Drehwinkel in der x-y-Ebene im Bereich -180° bis 180° .

Psi: Drehwinkel von der z-Achse aus gemessen. Bereich 0° bis 180°

Zoom: Öffnungswinkel der Linse im Bereich 0.3° bis 30° . In dem Eingabefeld kann ein Öffnungswinkel eingetragen werden.

Abstand berechnen: Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird der Abstand der Kamera vom Zielpunkt neu berechnet. In dem Eingabefeld kann auch ein vorgegebener Abstand eingetragen werden.

X,y,z = d *: In der aufklappbaren Liste sind verschiedene Positionen für die Kamera in den 8 Quadranten des globalen Modellkoordinatensystems vorgegeben. Nachdem ein Punkt aus dieser Liste ausgewählt wurde, kann mit der Schaltfläche „Anpassen“ die Kamera entsprechend eingestellt.

QV ein / aus

Quick-View (QV) ein- bzw. ausschalten. Bei komplexen Displaylisten (z.B. Darstellung der Skalarfeldverteilung bei einer großen Struktur oder schattierte Darstellung) benötigt jede Änderung der Ansicht in der Regel mehrere Sekunden. In diesen Fällen ermöglicht die Schaltfläche „QV ein“ eine schnellere Variation der Ansicht zum Auffinden der optimalen Einstellung. Die Schaltfläche wirkt als Schalter und trägt abwechselnd die Beschriftung „QV ein“ und „QV aus“. Wird QV eingeschaltet, so werden alle dargestellten Displaylisten unsichtbar gesetzt und eine neue Displayliste dargestellt, in der nur die Bruchkanten der aktuellen Elementauswahl sichtbar sind. Diese reduzierte Darstellung kann mit den Schieberegler sehr rasch gedreht oder gezoomt werden, bis die passende Ansicht gefunden ist. Danach wird QV mit der Schaltfläche wieder ausgeschaltet, wobei die ursprünglichen Displaylisten wieder sichtbar werden.

Ansicht sichern / wiederherstellen

Wird die Schaltfläche „Sichern“ angeklickt, so werden die Parameter der aktuellen Ansicht gespeichert, mit der Schaltfläche „Setzen“ kann diese Ansicht später wieder hergestellt werden. Es können vier verschiedene Ansichten gespeichert werden, die Nummer der Ansicht ist in dem Eingabefeld anzugeben.

Drehung: Drehung um Modellachsen

In dem Dialogfenster können Projektionsebene, Bildmittelpunkt, Maßstab sowie eine Modelldrehung um die globalen Achsen eingestellt werden.

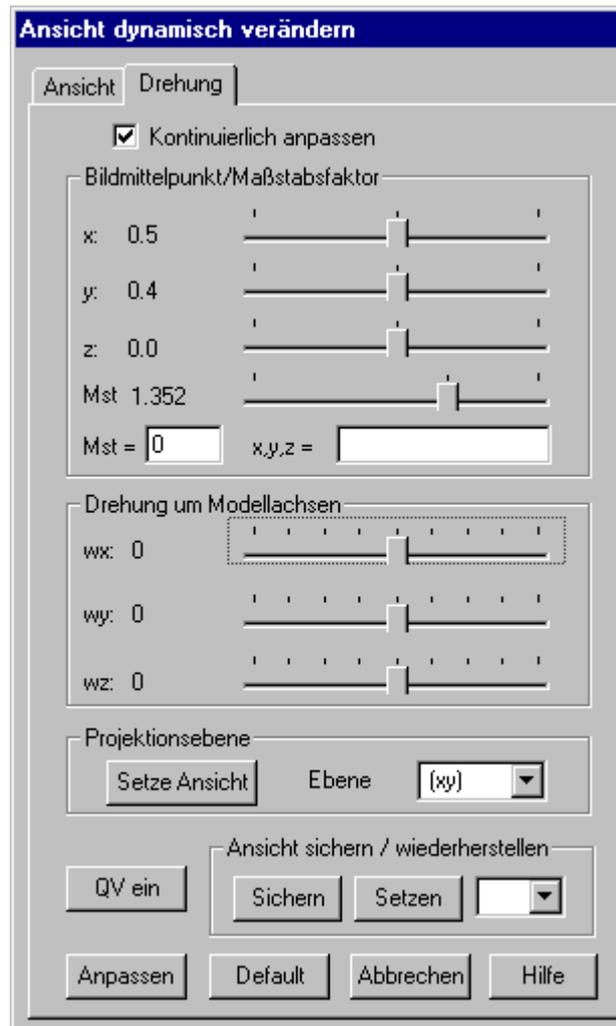
Die Einstellungen können kontinuierlich mit Schieberegler geändert werden.

Hinweis: Die Winkel w_x und w_y der Modelldrehung können auch kontinuierlich verändert werden, indem der Cursor mit gedrückter linker Maustaste im Grafikenfenster gezogen wird. Horizontale Bewegung des Cursors verändert den Winkel w_y und vertikale Bewegung den Winkel w_x .

Das Modell wird in Parallelprojektion abgebildet.

Das dargestellte Dialogfenster enthält die folgenden Optionen:

MAKROS



Kontinuierlich anpassen

Ist diese Option eingeschaltet, so wird bei jeder Veränderung der Regler sofort die grafische Darstellung aktualisiert. Ist die Option ausgeschaltet, so können mehrere Einstellungen zunächst geändert werden, bevor mit der Schaltfläche "Anpassen" eine neue Grafik erzeugt wird.

Bildmittelpunkt / Maßstabsfaktor

Einzustellen sind die globalen x-, y- und z-Koordinaten für den Bildmittelpunkt und der Maßstab. Voreingestellt wird der Mittelpunkt des aktuell dargestellten Modells. Der Maßstab wird zunächst so eingestellt, dass das gesamte Modell innerhalb der Fenstergröße dargestellt werden kann. Durch Verkleinerung des Maßstabes und Verschieben des Bildmittelpunktes können Ausschnitte des Modells vergrößert dargestellt werden. Mit den Reglern können Mittelpunkt und Maßstab inkrementell verändert werden. Das Modell wird in Parallelprojektion abgebildet. In dem Eingabefeld kann auch ein vorgegebener Maßstab eingetragen werden. Anschließend ist die Schaltfläche „Anpassen“ anzuklicken.

Drehung um Modellachsen

Mit den Reglern kann eine inkrementelle Drehung um die Modellachsen im Bereich -90° bis 90° eingestellt werden.

Projektionsebene

Aus der aufklappbaren Liste kann eine der folgenden Projektionsebenen ausgewählt werden: (xy), (xz), (yz), -(xy), -(xz), -(yz). Bei den Projektionsebenen mit negativem Verzeichnis erfolgt die Ansicht in Richtung der Koordinatenachse senkrecht zur Projektionsebene, sonst in Richtung der negativen

MAKROS

Koordinatenachse. Nach Auswahl einer anderen Projektionsebene ist die Schaltfläche „Setze Ansicht“ anzuklicken.

QV ein / aus

Quick-View (QV) ein- bzw. ausschalten. Bei komplexen Displaylisten (z.B. Darstellung der Skalarfeldverteilung bei einer großen Struktur oder bei schattierter Darstellung) benötigt jede Änderung der Ansicht in der Regel mehrere Sekunden. In diesen Fällen ermöglicht die Schaltfläche „QV ein“ eine schnellere Variation der Ansicht zum Auffinden der optimalen Einstellung. Die Schaltfläche wirkt als Schalter und trägt abwechselnd die Beschriftung „QV ein“ und „QV aus“. Wird QV eingeschaltet, so werden alle dargestellten Displaylisten unsichtbar gesetzt und eine neue Displayliste dargestellt, in der nur die Bruchkanten der aktuellen Elementauswahl sichtbar sind. Diese reduzierte Darstellung kann mit den Schieberegler sehr rasch gedreht oder gezoomt werden, bis die passende Ansicht gefunden ist. Danach wird QV mit der Schaltfläche wieder ausgeschaltet, wobei die ursprünglichen Displaylisten wieder sichtbar werden.

Ansicht sichern / wiederherstellen

Wird die Schaltfläche „Sichern“ angeklickt, so werden die Parameter der aktuellen Ansicht gespeichert, mit der Schaltfläche „Setzen“ kann diese Ansicht später wieder hergestellt werden. Es können vier verschiedene Ansichten gespeichert werden, die Nummer der Ansicht ist in dem Eingabefeld anzugeben.

Grafiktext: Texte für Beschriftung der Grafik festlegen

Die Grafik kann mit Text beschriftet werden. Für die Beschriftung können mehrere Textgruppen definiert werden, die ein- und ausgeschaltet und in permanenten Dateien mit der Dateinamenserweiterung .txt gespeichert werden können.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Einstellungen gemacht werden:

MAKROS



Beschriftungsdatei

Laden: Durch Anklicken der Schaltfläche kann eine Datei mit Grafiktext geladen werden. Aus der Datei gelesene Textgruppen werden an vorhandene Textgruppen angefügt.

Sichern: Mit der Schaltfläche werden alle definierten Textgruppen in einer permanenten Datei gesichert.

Textgruppe definieren oder ändern

Gruppen ID: Textgruppen werden durch eine zugeordnete Nummer identifiziert. In der aufklappbaren Liste werden alle Nummern angezeigt, die gespeichert sind.

Anzeigen: Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden alle Werte für eine vorhandene Textgruppe in dem Dialogfenster angezeigt. Die Werte können dann modifiziert werden.

Eingeschaltet: Ist die Option markiert, so wird die zugehörige Textgruppe geplottet, anderenfalls wird die Textgruppe nicht geplottet.

Fontindex: In dem Eingabefeld kann die Nummer des zu verwendenden Fonts (1 - 3) für die Textgruppe eingestellt werden.

Texteingabefeld: In dem Eingabefeld können bis zu drei Zeilen Text für die Textgruppe eingetragen werden. Mit der Tastenkombination Strg + Return wird auf die nächste Zeile umgeschaltet.

Position: Die Position der Textgruppe kann wahlweise in relativen Abmessungen der Größe des Grafikfensters oder in absoluten Koordinaten des Modells angegeben werden. Im ersten Fall sind x, y in % anzugeben und im zweiten Fall sind x, y, z in Modellkoordinaten anzugeben.

Speichern: Nach Einstellung der Parameter für eine Textgruppe müssen diese explizit mit der Schaltfläche „Speichern“ gespeichert werden.

Löschen: Mit der Schaltfläche wird die eingestellte Textgruppe vollständig gelöscht.

MAKROS

Font def: Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint eine Windowsdialogbox, in der ein Schriftfont und eine Schriftfarbe eingestellt werden können.

Alle ein

Alle gespeicherten Textgruppen werden eingeschaltet.

Alle aus

Alle Textgruppen werden ausgeschaltet.

Alle löschen

Alle gespeicherten Textgruppen werden gelöscht.

Plot

Mit der Schaltfläche werden die eingeschalteten Textgruppen geplottet. Die Textgruppen werden alle in einer Displayliste gespeichert, die beim Löschen des Grafikfensters nicht mit gelöscht wird. Ggf. müssen die Textgruppen explizit wieder ausgeschaltet werden.

Lichtquelle: Parameter für Schattierung festlegen

Für die Darstellung eines schattierten Modells können in dem dargestellten Dialogfenster die folgenden Parameter eingestellt werden:



Lichtquelle (x, y, z)

In dem Eingabefeld ist die Lage der Lichtquelle einzutragen.

Farben ein: Wird diese Option eingeschaltet, so werden die Elemente mit den ihnen zugewiesenen Farben geplottet, sonst werden nur Grauwerte verwendet.

Normalenvektoren

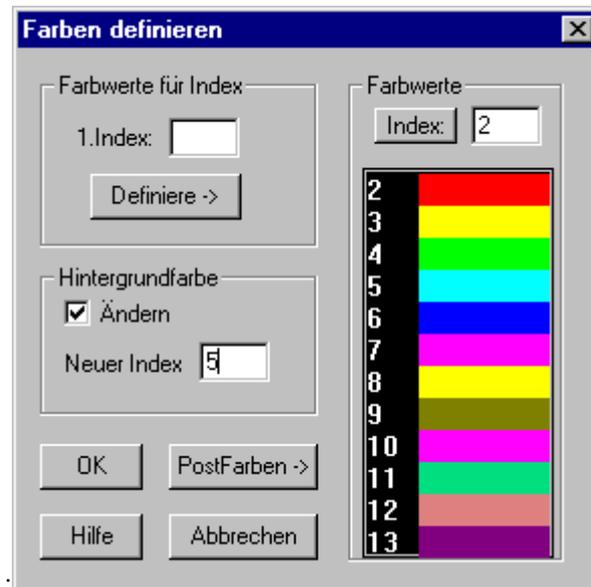
Für die Berechnung der Lichtintensität werden die Normalenvektoren der Flächen benötigt. Hierfür ist es wichtig, dass alle Elemente gleichen Umlaufsinn besitzen (vgl. Kommando **Kontrolle**).

Flächennormale: Für die Berechnung der Lichtintensität wird nur der Normalenvektor der Oberflächenelemente verwendet.

Knotennormale: Für jeden Knoten wird ein Normalenvektor aus den Normalen der angrenzenden Flächen ermittelt, so dass sich ein stufenloser Übergang der Lichtintensität über Elementgrenzen hinweg ergibt.

Farbdefinition: Farben definieren

Mit dem Kommando können den verwendeten Farbindizes neue Farbwerte zugeordnet, sowie die Hintergrundfarbe des Grafikfensters eingestellt werden. Die Farbwerte für die Indizes 0 und 1 können nicht geändert werden. Für den Farbindex 0 wird immer die aktuelle Hintergrundfarbe (Voreinstellung: schwarz) und für den Farbindex 1 die Vordergrundfarbe (Voreinstellung: weiß) verwendet. Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:



Farbwerte für Index

In dem Eingabefeld ist der erste Index (ix1) für eine Folge von 16 Indizes einzutragen, denen neue Farbwerte zugewiesen werden sollen.

Wird die Schaltfläche „Definiere“ angeklickt, so erscheint die Windows-Dialogbox für Farbdefinitionen. Angezeigt werden die zugeordneten Farben für die Indizes ix1 bis ix1+15. Diesen Indizes können neue Farben zugeordnet werden.

Hintergrundfarbe

Ändern: Wird diese Option eingeschaltet, so wird die Farbe des in dem Eingabefeld eingetragenen Indizes als Hintergrundfarbe eingestellt. Index 0 bedeutet schwarzer Hintergrund und Index 1 weißer Hintergrund.

Farbwerte

In dem Eingabefeld ist ein Index einzutragen. In der Liste werden dann die aktuell zugeordneten Farben für diesen und nachfolgende Indizes angezeigt sobald die zugehörige Schaltfläche angeklickt wird.

Postfarben

Wird diese Schaltfläche angeklickt, so erscheint das für die Farbdefinition beim Postprocessing verwendete Dialogfenster, in dem kontinuierliche Farbabstufungen eingestellt werden können.

Postfarben: Lineare Farbabstufungen definieren

Mit dem Kommando können die den verschiedenen Farbindizes zugeordneten Farben neu festgelegt werden.

Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

MAKROS



Index: ixf, r, g, b

Anzugeben sind ein einzelner Farbindex und die (r, g, b)-Farbwerte für diesen Index.

Indexbereich: ixf1, m, r1, g1, b1, r2, g2, b2

Anzugeben sind der kleinste Farbindex ixf1 und die Anzahl Farbindizes denen neue Farbwerte zugeordnet werden sollen, sowie die (r, g, b)-Farbwerte für den kleinsten und größten Farbindex. Die Farbwerte für dazwischen liegende Farbindizes werden durch lineare Interpolation bestimmt.

Grauwerte: ixf1, m, hmin, hmax

Anzugeben sind der kleinste Farbindex ixf1 und die Anzahl Farbindizes, sowie die Helligkeit hmin und hmax in % für den kleinsten und größten Farbindex. Dazwischen wird linear interpoliert.

Linear: ixf1, m, phi, r, hmin, hmax

Anzugeben sind der kleinste Farbindex (ixf1) und die Anzahl Farbindizes (m), sowie die Farbe (phi), die Sättigung (r) und Helligkeit (hmin) für den kleinsten Farbindex und die Helligkeit (hmax) für den größten Farbindex. Die Farbe wird als Winkel (0-360) und Radius (0-100) des Farbkegels (HLS-Farbsystem) angegeben.

Den Winkeln sind folgende Farben zugeordnet: 0° = blau, 60° = magenta, 120° = rot, 180° = gelb, 240° = grün, 300° = cyan, 360° = blau.

Postfarben: ixf1, m

Anzugeben sind der kleinste Farbindex ixf1 und die Anzahl Farbindizes. Zwischen dem kleinsten und dem größten Farbindex erfolgt ein stetiger Farbübergang zwischen den Farben blau, grün, gelb, rot, magenta.

Speichern

Nach Auswahl der Option für die Farbdefinition und Eingabe der numerischen Parameter erfolgt die Aktualisierung der Farbtabelle durch Anklicken dieser Schaltfläche.

Plot Farbleiste

Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird eine Farbleiste mit den Farben für die Indizes ixf1 bis isf1 + m - 1 geplottet. Ixf1 und m sind in dem Eingabefeld einzutragen.

Font einstellen: Schriftgröße und Font einstellen

Wird das Kommando aufgerufen, so kann in einem Dialogfenster drei verschiedenen Fontindizes ein Font unterschiedlicher Größe und Farbe für Bildbeschriftungen zugewiesen werden.

Postscript: Grafikausgabe in ein Postscriptfile

Die verwendete OpenGL-Bibliothek unterstützt keine Grafikausgabe auf Drucker. Das Kommando **Postscript** ermöglicht es, grafische Ausgaben in ein Postscriptfile zu schreiben.

Es können bis zu 6 Bilder auf einer Seite angeordnet werden, anzugeben ist die Anzahl der Bilder. Die Seite wird so eingeteilt, dass bei gerader Anzahl alle Bilder gleiche Größe haben. Nach Spezifizierung des Filetitels und weiterer Parameter wird mit der Schaltfläche „Datei öffnen“ das Postscriptfile geöffnet und für nachfolgende Grafikausgaben vorbereitet. Wahlweise können eigene Postscriptbefehle aus einer Datei am Anfang der Ausgabedatei eingefügt werden.

Nach Öffnung des Postscriptfiles wird das Grafikfenster unsichtbar geschaltet, damit deutlich wird, dass anschließende Grafikausgaben in das Postscriptfile geschrieben werden. Die Grafik wird wie bei der Ausgabe in das Grafikfenster mit einem oder mit mehreren Kommandos erzeugt. Werden mehrere Kommandos aufeinanderfolgend ausgeführt ohne das mit der Schaltfläche „Neues Bild“ ein neues Bild eingestellt wird, so werden die Grafiken in einem Bild überlagert, z.B. Strukturplot, Beschriftung der Knoten etc. werden mit verschiedenen Kommandos erzeugt. Bei Grafiktext müssen die zu plottenden Textgruppen zuvor aktiv gesetzt werden; Grafiktext wird mit der Schaltfläche „Plot Textgruppen“ ausgegeben; Texthöhe und Textfarbe werden von dem eingestellten Font übernommen.

Mit der Schaltfläche „Schließen“ wird das Postscriptfile geschlossen und kann mit der Schaltfläche „Drucker“ auf einen Drucker ausgegeben werden. Sofern mehrere Bilder auf einer Seite angeordnet werden, wird mit der Schaltfläche „Neues Bild“ das aktuelle Bild abgeschlossen und das nächste Bild vorbereitet.

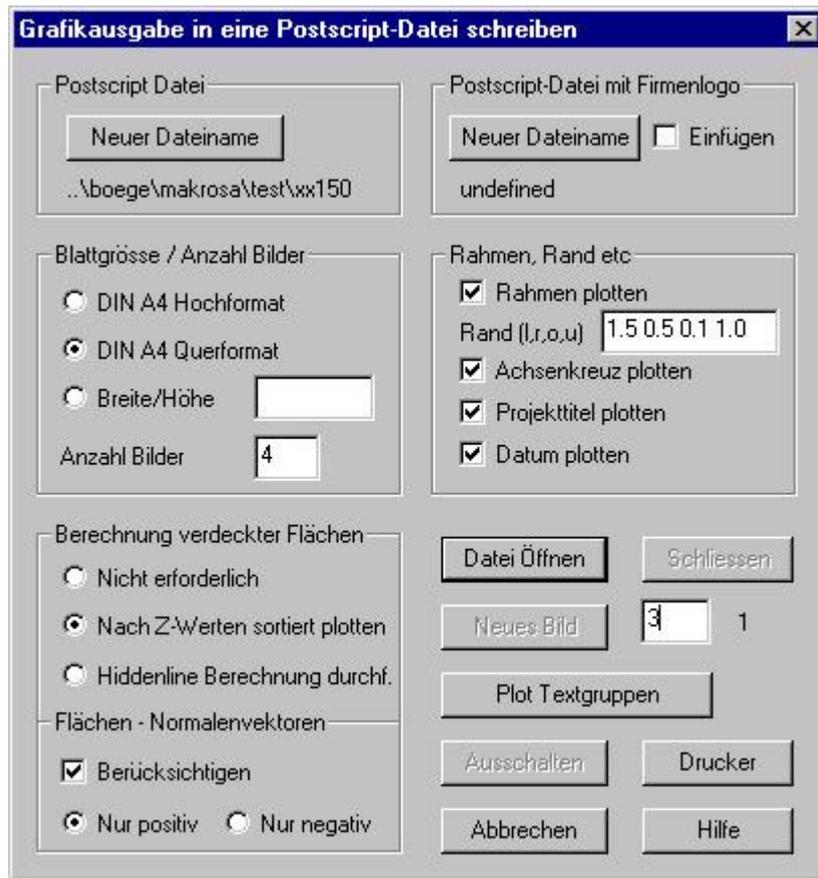
Für die Postscriptgrafik werden die Bildschirmkoordinaten entsprechend der Größe des Postscriptbildes skaliert. Sofern einzelne Kanten oder Flächen in dem Grafikfenster nur teilweise sichtbar sind, können die Koordinaten einiger Knoten nicht ermittelt werden, aus diesem Grunde werden im Grafikfenster nur teilweise sichtbare Kanten oder Flächen insgesamt nicht geplottet.

Sofern der verwendete Drucker keine Farbausgabe unterstützt, sollten mit dem Kommando „Farbdefinition / Postfarben“ den verwendeten Farbindizes Grautönungen zugewiesen werden. Bei schwarzem Farbhintergrund im Grafikfenster werden für die Postscriptausgabe automatisch dunkle und helle Grautöne vertauscht. Für den Farbindex 0 wird weiß und für den Farbindex 1 wird schwarz verwendet.

Für einige Darstellungsarten mag es besser sein, mit einem geeigneten Programm (z.B. HyperSnap), eine Kopie des Bildschirms zu machen und dieses als Pixelbild zu drucken, z.B. werden beim Säulenplot nur die Flächen überlagert, aber keine Hiddenlineberechnung durchgeführt.

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das nachfolgende Dialogfenster:

MAKROS



Postscript Datei

Der aktuelle Titel der Postscriptdatei wird angezeigt (Voreinstellung ist projektname.ps). Mit der Schaltfläche „Neuer Dateiname“ kann ein anderer Filetitel in einem Dateiwahlfenster ausgewählt werden. Die Dateien erhalten automatisch die Dateinamenserweiterung .ps.

Postscript Datei mit Firmenlogo

Wird die Option „Einfügen“ eingeschaltet, so werden Postscriptbefehle aus der angegebenen Datei an den Anfang des Postscriptfiles kopiert. Mit der Schaltfläche „Neuer Dateiname“ kann eine neue Datei hierfür spezifiziert werden. Diese Option ist insbesondere vorgesehen um Firmenlogos einzufügen.

Blattgröße / Anzahl Bilder

DIN A4 Hochformat: Als Blattgröße wird DIN A4 Hochformat eingestellt.

DIN A4 Querformat: Als Blattgröße wird das Querformat einer DIN A4-Seite eingestellt, die Bilder werden um 90° gedreht.

Breite /Höhe: In dem Eingabefeld können die Breite und Höhe der Seite in cm angegeben werden.

Anzahl Bilder: In dem Eingabefeld kann die Anzahl Bilder für eine Seite angegeben werden (≤6).

Rahmen,Rand etc.

Rahmen plotten: Wird die Option eingeschaltet, so wird jedes Bild mit einem Rahmen versehen.

Rand: In dem Eingabefeld können Breiten für den linken, rechten, oberen und unteren Rand angegeben werden. Für Breiten > 0 wird ein entsprechender Rand auf der Seite freigelassen.

Achsenkreuz plotten: Wird die Option eingeschaltet, so wird ein Achsenkreuz geplottet, aus dem die aktuelle Ansicht erkennbar ist.

Projektitel plotten: Wird die Option eingeschaltet, so wird die Seite am oberen Rand links mit dem aktuellen Projektitel beschriftet.

MAKROS

Datum plotten: Wird die Option eingeschaltet, so wird die Seite am oberen Rand rechts mit dem aktuellen Datum und der Uhrzeit beschriftet.

Berechnung verdeckter Flächen

Für Flächenplot ist von Bedeutung, in welcher Weise Flächen sich teilweise überdecken. Folgende Alternativen können angegeben werden:

Nicht erforderlich: Die Flächen werden fortlaufend geplottet, diese Option ist auszuwählen, wenn sich die Flächen nicht überdecken.

Nach Z-Werten sortiert plotten: Die Flächen werden in der Folge zunehmender Z-Werte geplottet.

Hiddenline Berechnung durchführen: Es erfolgt eine softwaremäßige Hiddenlineberechnung. Der verwendete Algorithmus setzt voraus, dass sich Elementflächen nicht durchdringen. Für die Berechnung werden die aktuellen Pixelkoordinaten verwendet, zur Vermeidung von Rundungsfehlern sollte das Grafikfenster möglichst groß eingestellt sein.

Flächen-Normalenvektoren

Die Hiddenlineberechnung kann in manchen Fällen wesentlich beschleunigt werden, wenn im Vorlauf einige Elemente entsprechend ihrem Normalenvektor aussortiert werden können. Dieses ist z.B. bei geschlossenen oder bei Volumen-Strukturen der Fall, hier können alle abgewandten Flächen aussortiert werden.

Berücksichtigen: Wird die Option eingeschaltet, so wird der Normalenvektor der Flächen berücksichtigt.

Nur positiv: Es werden nur die Flächen geplottet, deren Normalenvektor zum Blickpunkt weisen.

Nur negativ: Es werden nur die Flächen geplottet, deren Normalenvektoren vom Blickpunkt wegweisen.

Datei öffnen

Mit der Schaltfläche wird eine neue Postscriptseite vorbereitet, anschließend können verschiedene Grafiken auf der Seite erzeugt werden.

Neues Bild

Sofern auf einer Seite mehrere Bilder angeordnet werden, wird mit dieser Schaltfläche ein neues Bild vorbereitet, die Nummer des Bildes ist in dem Eingabefeld anzugeben. Die Nummer des aktuell aktiven Bildes wird angezeigt.

Schließen

Mit dieser Schaltfläche wird das Postscriptfile geschlossen und kann anschließend auf einem Postscriptdrucker ausgegeben werden.

Ausschalten / Einschalten

Mit dieser Schaltfläche kann die Grafikausgabe in das Postscriptfile unterbrochen werden, z. B. um eine neue Ansicht für das nächste Bild einzustellen und zu überprüfen. Wird die Postscriptausgabe ausgeschaltet, so wird das Grafikfenster sichtbar und anschließende Grafikausgaben erscheinen in diesem Fenster. Mit derselben Schaltfläche, die nunmehr die Beschriftung „Einschalten“ trägt, wird die Grafikausgabe wieder zum Postscriptfile geleitet und das Grafikfenster wird unsichtbar.

Drucker

Mit dieser Schaltfläche kann das aktuelle Postscriptfile zum Drucker geschickt werden. Ist das File nicht geschlossen, so wird es zuvor abgeschlossen. Für die Druckerausgabe muss eine Datei „maka_interface.ini“ in dem Verzeichnis des exe-Files existieren, die eine Zeile in der Form

Printer: „Druckerkommando“

enthält, wobei das Druckerkommando an der Stelle, an der der Dateiname des Postscriptfiles einzusetzen ist, ein %-Zeichen enthalten muss. Das Druckerkommando wird dann wie angegeben als Systemkommando abgesetzt, z. B.

Printer: „lpr druckername %“

MAKROS

Die Datei „maka_interface.ini“ dient auch dazu spezielle Schnittstellen zu aktivieren (vgl. Kapitel 11).

Kommandos zur Spezifikation von Lasten, Materialien, Querschnitten und Randbedingungen

Übersicht

Für die Spezifikation von Lasten, Randbedingungen usw. wird die neutrale PATRAN-Schnittstelle bzw. die NASTRAN-Schnittstelle (vgl. Kapitel 11) für die Datenübergabe an das FE-Berechnungsprogramm zugrundegelegt. Entsprechend werden Kommandos bereitgestellt, die die Definition der wichtigsten in diesen Schnittstellen vorgesehenen Daten ermöglichen.

Es stehen die folgenden Kommandos zur Verfügung:

Knotenlast	Knotenlasten und Knotenverschiebungen definieren und zuordnen
Elementlast	Verteilte Elementlasten definieren und zuordnen
Flächenlast	Verteilte Flächenlast definieren
Flächendruck	Elemente mit konstantem Flächendruck belasten
Material	Materialkennwerte definieren
Querschnitte	Elementquerschnitte definieren und zuordnen
Randbedingungen	Knotenrandbedingungen definieren und zuordnen
Resultierende	Resultierende von Knotenlasten berechnen
Lade Datei	Lastdaten aus Binärdatei laden
Sichern	Lastdaten in Binärdatei sichern
Plot	Zuordnungen plotten
Protokoll	Anzahl gespeicherter Datentypen anzeigen
Alles Löschen	Alle Lastdaten im Arbeitsspeicher löschen
Check NASTRAN	Zuordnungen für NASTRAN-Schnittstelle überprüfen

Mit dem Kommando **Knotenlast** wird einzelnen Knoten ein Kraft- oder Momentenvektor oder ein Verschiebungsvektor zugeordnet. Mit **Elementlast** werden einzelnen Elementen verteilte Flächen- oder Linienlasten zugeordnet, die Angaben entsprechen der PATRAN-Schnittstelle. Das Kommando **Flächenlast** ermöglicht es, eine veränderliche Flächenbelastung zu definieren, die sofort in statisch äquivalente Knotenkräfte für die Eckknoten der belasteten Elemente umgewandelt wird. Mit dem Kommando **Flächendruck** wird ausgewählten Elementen eine konstante normal zur Fläche wirkende Belastung zugewiesen, die ebenfalls sofort in statisch äquivalente Knotenkräfte für die Eckknoten der Elemente umgewandelt wird. Die mit Flächendruck belasteten Elemente können beliebig räumlich gekrümmt sein.

Die Kommandos sind nur verfügbar, wenn eine FE-Struktur geladen ist.

Lastangaben, Knotenrandbedingungen, Materialien und Querschnittswerte werden in einer binären Datei mit der Dateinamenserweiterung .lqd auf Platte gesichert.

Hinweis: Für die Zuordnung von Lasten, Querschnitten etc. zu Knoten und Elementen werden die externen Nummern der Knoten bzw. Elemente verwendet, dadurch wird es möglich, neue Knoten und Elemente zur FE-Struktur hinzuzufügen, oder Elemente in der Struktur zu löschen, ohne dass die Definitionen in der Lastdatei ungültig werden, solange sich die verwendeten externen Knoten- und Elementnummern nicht ändern. Werden mit dem Kommando „**Sortieren**“ externe Nummern in der FE-Struktur explizit geändert, so werden auf Anfrage auch die Nummern in der Lastdatei entsprechend mit geändert. Beim Laden der Lastdatei wird immer geprüft, ob alle in der Lastdatei vorhandenen externen Knoten- und Elementnummern noch in der FE-Struktur existieren, ggf. erscheint eine Meldung mit dem Hinweis, dass die Lastdatei evtl. nicht mehr gültig ist; nicht vorhandene Knoten- bzw. Elementverweise in der Lastdatei werden automatisch gelöscht.

MAKROS

Knotenkräfte und Knotenrandbedingungen können bezüglich lokaler Koordinatensysteme definiert werden, hierbei werden die Vektoren wie folgt interpretiert:

$$\mathbf{v} = v_1 \cdot \mathbf{e}_1 + v_2 \cdot \mathbf{e}_2 + v_3 \cdot \mathbf{e}_3$$

mit v_1, v_2, v_3 = Komponenten des Vektors und $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$ = Basisvektoren des lokalen Koordinatensystems.

Die Basisvektoren sind beim Zylinder- und Kugelkoordinatensystem punktabhängig, sie sind jeweils in Richtung zunehmender Koordinatenwerte orientiert.

Werden Knotenkräfte in eine NASTRAN- oder PATRAN-Datei geschrieben, so kann angegeben werden, dass diese zuvor ins globale System transformiert werden sollen.

Beschreibung der Kommandos

Knotenlast: Knotenlast definieren und zuordnen

Jede Knotenlast wird durch bis zu 3 Komponenten definiert. Dieselbe Knotenlast kann mehreren Knoten zugeordnet werden, die Knotenlastparameter und die Knotenzuordnungen werden als eine Knotenlastgruppe gespeichert. Jeder Gruppe von Knotenlasten werden zur Identifikation zwei Kennzahlen zugeordnet: ein Index und eine LastSetID. Die LastSetID kann für verschiedene Gruppen gleich sein; sie wird in der PATRAN- und der NASTRAN-Schnittstelle mit gespeichert und kann vom Berechnungsprogramm z. B. als Lastfallnummer interpretiert werden. Jede Gruppe muss jedoch einen eigenen Index besitzen. Der Index wird in der PATRAN-Schnittstelle nicht gespeichert, er dient nur zur Identifikation von Lastgruppen bei der Definition von Knotenlasten. Die unter einem Index gespeicherten Werte können insgesamt gelöscht und neu definiert werden. Nach dem Speichern einer Lastgruppe wird automatisch der fortlaufende Index um 1 erhöht. Wird in dem Eingabefeld der Index einer vorhandenen Gruppe eingetragen, so können mit der Schaltfläche „Werte anzeigen“ die zugehörigen gespeicherten Werte in dem Dialogfenster angezeigt werden; die Werte können dann geändert oder die Lasten der Gruppe können insgesamt geplottet oder gelöscht werden. Mit der Schaltfläche "Neuer Index" wird ein neuer Index für eine neue Lastgruppe eingetragen.

Die Vektorkomponenten können bezüglich eines lokalen Koordinatensystems definiert werden (z.B. Radiallasten in einem Zylinderkoordinatensystem). Das Koordinatensystem muss zuvor definiert worden sein, es wird lediglich die Nummer des Koordinatensystems angegeben. Bei Erzeugung der NASTRAN- oder PATRAN-Datei werden Vektoren in lokalen Koordinatensystemen wahlweise in globale Vektoren transformiert.

Mit der Schaltfläche "Speichern" werden die spezifizierten Knotenlasten gespeichert. Sind unter dem Index bereits Werte gespeichert, so wird angefragt, ob diese gelöscht werden sollen. Wird mit "nein" geantwortet, so werden die Werte nicht gespeichert. Mit "Lösche" können gespeicherte Werte wieder gelöscht werden. Die Schaltfläche "Plot" bewirkt, dass die Vektoren in dem Layer "m_knotenlast" geplottet werden.

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster, in dem folgende Angaben zu machen sind. Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit „Abbrechen“ beendet wird.

MAKROS

The dialog box 'Knotenlasten und -verschiebungen definieren und zuordnen' contains the following elements:

- Knotenlast:** 'Neuer Index' button, 'Werte anzeigen' button, Index: 1, Index2: 0, LastSetID: 1001, Typ: 0, Vektorkomponenten: 1,2,1, Faktor: 1.
- Knotenauswahl:** 'Alle' button, 'Grafisch' button, 'Neue Knotenwahl ->' button, 8 Knoten, Plot button.
- Lokales Koordinatensystem:** Lokales Koordinatensystem, Nummer (dropdown), Knoten Inkrement (0).
- Vektoren plotten:** Vektorlänge: 1, Superponieren, Farbindex: 2, Vektoren beschriften, Anzahl Stellen: 2.
- Buttons:** Speichern, Löschen, Plot, Abbrechen, Hilfe.

Knotenlast

Index: In dem Eingabefenster muss der Index einer vorhandenen oder neuen Lastgruppe eingetragen werden. Bei Eingabe einer größeren Zahl wird diese auf den nächsten freien Index verringert

Index2: Für die Schaltfläche „Löschen“ und „Plot“ kann in dem Eingabefeld ein zweiter Index als obere Grenze eines Indexbereiches angegeben werden.

Neuer Index: Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird automatisch der nächste freie Index in dem Eingabefeld für den Index eingetragen.

Werte anzeigen: Mit der Schaltfläche werden die aktuell gespeicherte Werte für den angegebenen Index in dem Dialogfenster angezeigt.

LastSetID: Anzugeben ist eine Lastset-Nummer. In der aufklappbaren Liste werden alle bisher verwendeten LastSetIDs angezeigt. Einer neuen Gruppe kann eine vorhandene LastSetID zugeordnet werden.

Typ: Mit einer Typkennzahl können verschiedene Typen von Knotenvektoren unterschieden werden. Für NASTRAN sind folgende Typkennzahlen zu verwenden: 0 = Kraftvektor, 1 = Momentenvektor, 2 = Knotenverschiebungen, 3 = Knotenverdrehungen.

Lastkomponenten: In dem Eingabefenster können bis zu 3 Lastwerte angegeben werden. Fehlende Werte am Ende werden automatisch Null gesetzt.

Faktor: In dem Eingabefeld kann ein Skalierungsfaktor für die NASTRAN Schnittstelle angegeben werden.

Lokales Koordinatensystem

Lokale Koordinatensystem: Die Option ist zu markieren, wenn Vektorkomponenten in lokalen Koordinatensystemen angegeben werden.

Nummer: Anzugeben ist ggf. die Nummer des lokalen Koordinatensystems, in dem die Lastkomponenten angegeben werden. 0 bedeutet globales Koordinatensystem. In der aufklappbaren Liste werden die Nummern aller gespeicherten Koordinatensysteme angezeigt.

Knoteninkrement: Falls die Lastkomponenten in lokalen Koordinatensystemen definiert werden, die mit der Option "Randkurve" im Kommando **Koordinatensystem** definiert wurden, ist das Knoteninkrement anzugeben, daß bei Definition der Koordinatensysteme verwendet wurde.

Knotenauswahl

MAKROS

Es ist anzugeben, welche Knoten mit den eingetragenen Lastkomponenten belastet werden sollen. Die externen Knotennummern werden mit der Lastgruppe gespeichert.

Lastvektoren plotten

Vektorlänge: Anzugeben ist die Länge, mit der der größte gespeicherte Vektor geplottet werden soll.

Superponieren: Wird die Option markiert, so wird eine neue Displayliste für die Grafik verwendet, so dass die Vektoren verschiedener Gruppen gleichzeitig mit verschiedenen Farben dargestellt werden können.

Farbindex: Durch Angabe eines Farbindex können verschiedene Lastgruppen farbig unterschieden werden.

Plot

Mit der Schaltfläche werden die Vektoren für den angegebenen Index bzw. Indexbereich geplottet.

Hinweis: Sofern ein Indexbereich angegeben wird, wird der Längenmassstab für jeden Index unter Verwendung der angegebenen Vektorlänge neu berechnet, d.h. die Vektoren verschiedener Indizes werden mit unterschiedlichem Massstab geplottet.

Lösche

Mit der Schaltfläche werden die Vektoren für den angegebenen Indexbereich gelöscht.

ElementLast: Verteilte Elementlast definieren und zuordnen

Das Kommando ermöglicht es, konstante und verteilte Elementlasten entsprechend der PATRAN-Schnittstelle, zu definieren. Für jede Elementlast können Werte für 6 Komponenten angegeben werden. Welche Komponenten angegeben werden, wird durch Komponentenflags (ICOMP der PATRAN-Schnittstelle) angegeben. Z.B. ICOMP = 13 (in der PATRAN-Schnittstelle als 101000 gespeichert) bedeutet, die Last besteht aus einer Kraftkomponente in x- und einer Kraftkomponente in z-Richtung.

Für die PATRAN-Schnittstelle können zentrale und knotenbezogene Elementlasten angegeben werden. Bei zentralen Elementlasten sind NC Lastwerte einzutragen, dabei ist NC die Anzahl eingeschalteter Flags in ICOMP. Bei knotenbezogenen Elementlasten ist mit Knotenflags (NODE) anzugeben, für welche Elementknoten Lastwerte angegeben werden. Z.B. bedeutet NODE = 1234 (in der PATRAN-Schnittstelle als 11110000 gespeichert), dass Lastwerte für die 4 Eckknoten eines Elementes vom Typ 42 angegeben werden. Die Anzahl einzutragender Lastwerte ist NN*NC, dabei ist NC die Anzahl eingeschalteter Flags in ICOMP und NN die Anzahl eingeschalteter Flags in NODE. Die Reihenfolge ist jeweils NC Werte für jeden Knoten.

Für die NASTRAN-Schnittstelle sind Lastwerte nur in dem Eingabefeld für zentrale Lastkomponenten einzutragen. Mit einer Typkennzahl werden verschiedene Lasttypen unterschieden (vgl. Kapitel 11). Die weiteren Parameter sind mit Ausnahme der LastSetID ohne Bedeutung.

Jeder Gruppe von Elementlasten werden zur Identifikation zwei Kennzahlen zugeordnet: ein Index und eine LastSetID. Die LastSetID kann für verschiedene Gruppen gleich sein; jede Gruppe muss jedoch einen eigenen Index besitzen. Nach dem Abspeichern einer neuen Gruppe wird automatisch ein fortlaufender Index in dem Eingabefeld eingetragen. Wird in dem zugehörigen Eingabefeld der Index einer vorhandenen Gruppe eingetragen, so können mit der Schaltfläche „Werte anzeigen“ die zugehörigen gespeicherten Werte in dem Dialogfenster angezeigt werden; die Werte können geändert oder die Lasten der Gruppe können insgesamt geplottet oder gelöscht werden. Mit der Option "Neuer Index" wird ein neuer Index für eine neue Lastgruppe eingetragen.

Mit der Schaltfläche "Speichern" werden die spezifizierten Werte gespeichert. Mit "Lösche" können gespeicherte Werte wieder gelöscht werden.

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster, in dem die folgenden Datenwerte anzugeben sind. Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit "Abbrechen" beendet wird.

Lasttyp

Index: In dem Eingabefenster muss der Index einer neuen oder vorhandenen Lastgruppe eingetragen werden. Bei Eingabe einer größeren Zahl wird diese auf den nächsten freien Index verringert

Index2: Für die Schaltfläche „Löschen“ kann in dem Eingabefeld ein zweiter Index als obere Grenze eines Indexbereiches angegeben werden.

Neuer Index: Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird der nächste freie Index in dem Eingabefeld für den Index eingetragen.

Werte anzeigen: Mit der Schaltfläche werden die aktuell gespeicherte Werte für den angegebenen Index in dem Dialogfenster angezeigt.

LastSetID: Anzugeben ist eine Lastset-Nummer. Die aufklappbare Liste zeigt alle bisher verwendeten LastSetIDs.

Linienlast: Falls es sich um eine Linienlast handelt, ist die Nummer der Elementkante anzugeben, für welche die Linienlast gilt.

Oberflächennummer: Falls es sich um eine Flächenlast bei Volumenelementen handelt, ist die Oberflächennummer (1-6) anzugeben, für welche die Flächenlast gilt.

Komponentenflags (ICOMP): In einer Zahl mit den Ziffern 1-6 ist anzugeben, für welche Richtungen Lastkomponenten angegeben werden (z.B. steht 136 für die Flags 101010).

Zentrale Lastkomponenten

EFLAG: Das Flag ist anzuschalten, wenn zentrale Lastwerte gespeichert werden sollen.

Typkz: Mit einer Typkennzahl können verschiedene Lasttypen unterschieden werden, für NASTRAN ist eine Typkennzahl zwischen 10 und 14 anzugeben.

Lastwerte: Für jede eingeschaltete Richtung in ICOMP ist ein Lastwert anzugeben. Bei NASTRAN ist die Anzahl Lastwerte abhängig von der angegebenen Lasttypkennzahl (siehe NASTRAN Schnittstelle).

Knotenbezogene Lastkomponenten:

GFLAG: Das Flag ist anzuschalten, wenn knotenbezogene Lastkomponenten angegeben werden.

MAKROS

Knotenflags (NODE): In einer Zahl mit den Ziffern 1-8 ist anzugeben, für welche Elementknoten Lastwerte angegeben werden (z.B. steht 2468 für die Flags 01010101).

Lastwerte: Für jeden angeschalteten Knoten sind NC Lastwerte anzugeben, mit $NC = \text{Anzahl eingeschalteter Komponenten von ICOMP}$.

Element-/Knotenauswahl

Wahlweise kann eine Elementauswahl oder eine Knotenauswahl angegeben werden. Bei einer Knotenauswahl werden alle Elemente ermittelt, deren Eckknoten in der Knotenauswahl enthalten sind, bzw. bei Volumenelementen werden die Oberflächen ermittelt, deren Eckknoten in der Knotenauswahl enthalten sind, die Oberflächennummer wird automatisch ermittelt und bei der Schnittstelle verwendet. Die Lastangaben werden den ausgewählten Elementen zugewiesen.

Flächenlast: Verteilte Flächenlast definieren

Das Kommando dient dazu, konstante oder veränderliche Flächenbelastung in einer Ebene oder auf einer Zylinderfläche zu definieren, wobei die verteilte Belastung sofort in statisch äquivalente Knotenkräfte für die Eckknoten der belasteten Elemente umgewandelt wird.

Der Lastbereich und die Lastrichtung werden in einem lokalen Bezugssystem angegeben, welches durch drei Elementknoten festgelegt wird. Die Gerade vom ersten zum zweiten Knoten bildet die lokale x-Achse des Bezugssystems, die y-Achse ist senkrecht dazu in der Ebene der drei Knoten und die z-Achse bildet mit x und y ein Rechtssystem. Die Koordinaten der drei Bezugsknoten legen zugleich den maximalen Ausdehnungsbereich der Belastung fest, die Lastfläche muss vollständig innerhalb dieser Koordinaten liegen.

Zunächst werden alle Elemente ermittelt, welche in der Ebene und innerhalb der Ausdehnung des lokalen Bezugssystems liegen, wobei bei Volumenelementen die Oberflächen dieser Elemente betrachtet werden, nur die Eckknoten dieser Flächenelemente werden belastet.

Unterschieden werden vier Typen von Flächenbelastungen:

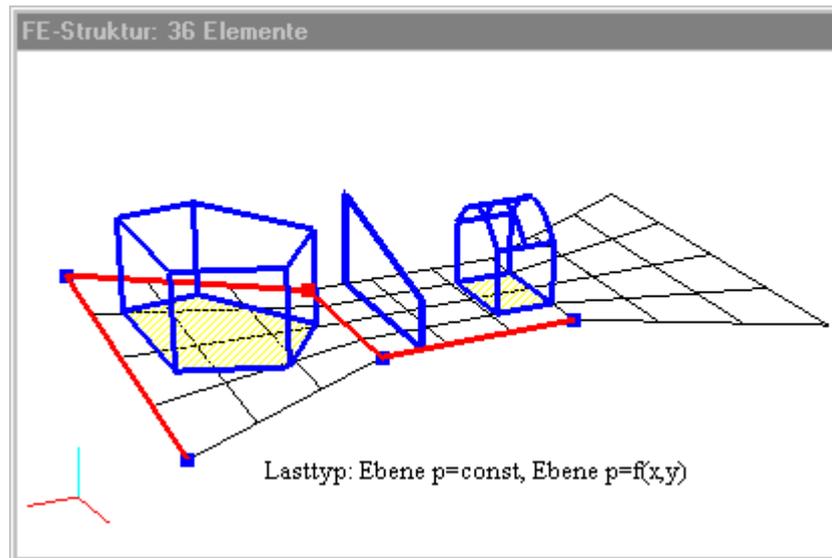
Ebene, $p = \text{const}$

Bei dieser Option kann ein konvexer, polygonal begrenzter Lastbereich in der Ebene des Bezugssystems angegeben werden. Es ist nur konstante Lastverteilung zulässig. (Bild)

Ebene, $p = f(x,y)$

Bei dieser Option muss das Lastgebiet rechtwinklig sein und parallel zu den Achsen des lokalen Bezugssystems verlaufen. Alle belasteten Elemente müssen rechtwinklig sein. Die Belastung kann in beiden Richtungen quadratisch veränderlich sein. (Bild)

MAKROS

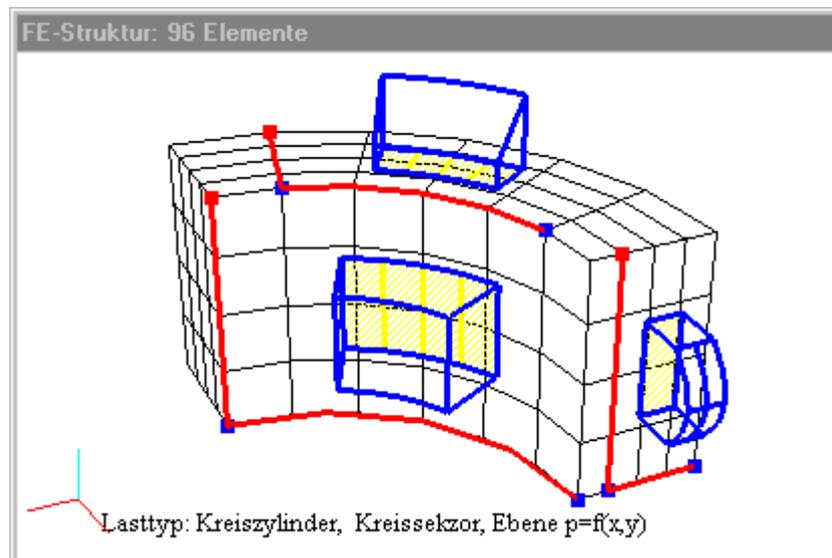


Kreissektor

Bei dieser Option wird ein rechteckiger Ausschnitt in der Ebene eines Kreissektors belastet. Zusätzlich zu den drei Bezugspunkten muss ein lokales Zylinderkoordinatensystem angegeben werden. Alle Kanten der belasteten Elemente müssen parallel zu den Koordinatenachsen des Zylinderkoordinatensystems verlaufen. Die Belastung kann in beiden Richtungen quadratisch veränderlich sein (Bild).

Kreiszyylinder

Bei dieser Option wird ein rechteckiger Ausschnitt auf einer Zylinderfläche belastet. Zusätzlich zu den drei Bezugspunkten muss ein lokales Zylinderkoordinatensystem angegeben werden. Alle Kanten der belasteten Elemente müssen parallel zu Koordinatenachsen des Zylinderkoordinatensystems verlaufen. Die Belastung kann in beiden Richtungen quadratisch veränderlich sein (Bild).



Jeder Flächenlast werden zur Identifikation zwei Kennzahlen zugeordnet: Ein Index und eine Lastset-ID. Die Lastset-ID kann für verschiedene Flächenlasten gleich sein, jede Flächenlast muss jedoch einen eigenen Index besitzen. Mit der Schaltfläche „Neuer Index“ wird der nächste freie Index eingetragen, wobei jedoch mit den Kommandos „ElementLast“ und „Flächendruck“ definierte Flächenlasten in derselben Datenstruktur gespeichert werden und die dort verwendeten Indizes nicht verfügbar sind. Wird ein bereits verwendeter Index eingetragen, so können die unter dem Index gespeicherten Werte angezeigt und geplottet, gelöscht oder modifiziert werden.

MAKROS

Mit der Schaltfläche „Speichern“ werden die spezifizierten Werte gespeichert, hierbei werden auch die äquivalenten Knotenkräfte berechnet und gespeichert. Mit der Schaltfläche „Löschen“ können gespeicherte Werte für einen Index oder einen Indexbereich wieder gelöscht werden.

Nach Aufruf des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:

Verteilte Flächenlast in einem lokalen Koordinatensystem

Lokales Bezugssystem (3 Knoten)
 Ebene $p = \text{const}$ Ebene $p = f(x,y)$
 Kreissektor Kreiszahl Koors:
Knoten:

Index, LastsetID
Index:

LastSetID:

Lastausdehnung im Bezugssystem
 Relativ (u_l u_r v_l v_r 0-1) Absolut (x_l x_r y_l y_r)
 Polygonzug

Lastverteilung, Lastrichtung im lokalen System
 Konstant: p_1 Linear: p_1 - p_4
 Quadratisch p_1 - p_8

Gesamtlast (wahlweise):
Richtungsvektor:

Plot
 Superponieren

Vlänge: Farbindex:
 Beschriften Stellen:

Lokales Bezugssystem (3 Knoten)

Ebene, $p = \text{const}$: Rechtwinkliger oder polygonal begrenzter Lastbereich mit konstanter Lastverteilung.

Ebene, $p = f(x,y)$: Rechtwinkliger Lastbereich mit veränderlicher Lastverteilung. Kanten des Lastbereiches und Elementkanten müssen parallel zu den Achsen des lokalen Bezugssystems verlaufen.

Kreissektor: Rechtwinkliger Lastbereich mit veränderlicher Lastverteilung auf einem Kreissektor. Bei dieser Option muss zusätzlich zu den drei Knoten des Bezugssystems aus der aufklappbaren Liste die Nummer eines definierten Zylinderkoordinatensystems ausgewählt werden. Kanten des Lastbereiches und Elementkanten müssen parallel zu den Achsen des lokalen Bezugssystems verlaufen.

Kreiszyylinder: Rechtwinkliger Lastbereich mit veränderlicher Lastverteilung auf einer Zylinderfläche. Bei dieser Option muss ebenfalls die Nummer eines definierten Zylinderkoordinatensystems ausgewählt werden. Kanten des Lastbereiches und Elementkanten müssen parallel zu den Achsen des lokalen Bezugssystems verlaufen.

Knoten: In dem Eingabefeld sind die Nummern von drei Knotenpunkten für das lokale Bezugssystem anzugeben. Wird die Schaltfläche „Grafisch“ angeklickt, so können diese Knoten anschließend grafisch selektiert werden.

Lastausdehnung im Bezugssystem

Relativ (u_l , u_r , v_l , v_r): Im Eingabefeld sind die linken und rechten Grenzen der Ausdehnung eines rechtwinkligen Lastbereiches anzugeben. Die Ausdehnung ist relativ im Verhältnis zur Größe des Bezugssystems anzugeben ($0 \leq u, v \leq 1$). Indem für die linke und rechte Grenze dieselben Werte angegeben werden, kann auch eine Linienlast oder Punktlast spezifiziert werden.

MAKROS

Absolut (xl, xr, yl, yr): Im Eingabefeld sind die linken und rechten Grenzen der Lastausdehnung im Bezugssystem anzugeben.

Polygonzug: Im Eingabefeld sind die relativen Koordinaten der Punkte eines Polygonzuges anzugeben. Der Polygonzug kann maximal 8 Punkte umfassen. Das Lastgebiet muss konvex sein. Diese Option ist nur beim Lastverteilungstyp „Ebene, $p = \text{const}$ “ verfügbar.

Grafisch: Wird die Schaltfläche angeklickt, so sind abhängig vom gewählten Typ der Lastausdehnung entweder der linke und rechte Punkt des rechtwinkligen Lastgebietes oder die Eckpunkte des Polygonzuges grafisch festzulegen. Die relative Lastausdehnung bzw. die relativen Koordinaten der digitalisierten Punkte werden in dem Eingabefeld eingetragen.

Plot: Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird das Lastgebiet grafisch dargestellt.

Lastverteilung, Lastrichtung im lokalen System

Konstant: Es wird konstante Lastverteilung im Lastgebiet angenommen, die Größe der Belastung ist im Eingabefeld einzutragen.

Linear: Anzugeben sind die Lastwerte in den 4 Eckpunkten des rechtwinkligen Lastgebietes, in der Folge entgegen Uhrzeigersinn.

Quadratisch: Zusätzlich zur linearen Verteilung sind noch die Lastwerte in den Kantenmittelpunkten der 4 Kanten des rechtwinkligen Lastgebietes anzugeben.

Plot: Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird die Lastverteilung über dem Lastgebiet grafisch dargestellt.

Gesamtlast: In dem Eingabefeld kann eine Gesamtlast angegeben werden, ist diese nicht Null, so werden die angegebenen Lastwerte der Lastverteilung so skaliert, dass sich insgesamt die angegebene Gesamtlast ergibt.

Richtungsvektor: Anzugeben ist der Vektor der Lastrichtung im lokalen Bezugssystem.

Index, LastSet ID

Index: Die aufklappbare Liste zeigt alle für diesen Lasttyp bisher verwendeten Indizes. Mit der Schaltfläche „Werte anzeigen“ werden die unter einem Index gespeicherten Werte in dem Dialogfenster angezeigt. Für die Funktionen „Plot“ und „Lösche“ kann in dem Eingabefeld ein Indexbereich eingetragen werden.

Neuer Index: Mit der Schaltfläche wird der nächste freie Index für eine neue Flächenbelastung in das Eingabefeld „Index“ eingetragen.

LastSetID: Die aufklappbare Liste zeigt alle bisher verwendeten LastSetIDs. Es kann eine vorhandene LastSetID ausgewählt oder eine neue ID in dem Eingabefeld eingetragen werden.

Plot

Superponieren: Wird die Option eingeschaltet, so wird für den Plot eine neue Displayliste verwendet.

Plot Lastverteilung: Für den angegebenen Index oder Indexbereich werden die Bezugsknoten und Achsen des lokalen Bezugssystems, der Lastausdehnungsbereich und die Lastverteilung senkrecht über der Lastfläche geplottet.

Plot Vektoren: Für den angegebenen Index oder Indexbereich werden die berechneten statisch äquivalenten Knotenkräfte geplottet.

Vlänge: Die zu plottende Länge für den größten Vektor bzw. die maximale Höhe für den Plot der Lastverteilung muss angegeben werden.

Farbindex: Mit unterschiedlichen Farbindizes können verschiedene Lastgruppen grafisch unterschieden werden.

Beschriften: Wird die Option eingeschaltet, so werden die Vektoren mit dem Betrag der Vektorlänge beschriftet.

Stellen: Für die Beschriftung der Vektoren ist die Anzahl der Nachkommastellen anzugeben.

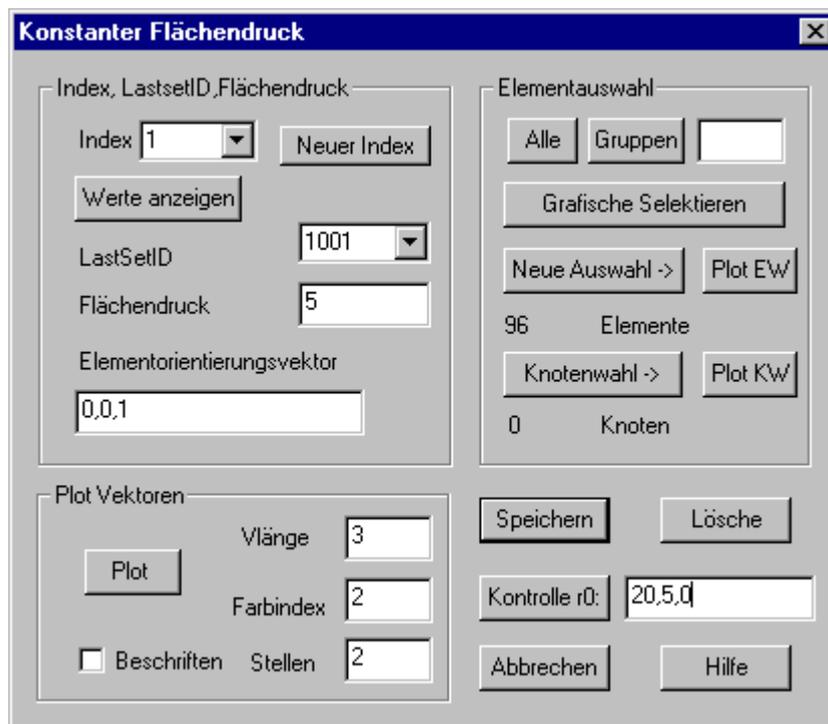
Kontrolle

Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden für den eingetragenen Lastindex die Resultierende aller berechneten äquivalenten Knotenkräfte und die Lage dieser Resultierenden in dem lokalen Bezugssystem berechnet und im Protokollfenster angezeigt. Der resultierende Kraftvektor wird zusätzlich grafisch dargestellt.

Flächendruck: Elemente mit konstantem Flächendruck belasten.

Mit dem Kommando kann ausgewählten Elementen ein konstanter positiver oder negativer Flächendruck zugewiesen werden. Der Flächendruck wird sofort in statisch äquivalente Knotenkräfte für die Elementknoten umgerechnet. Die Elemente können räumlich gekrümmt sein, die Druckrichtung ist jeweils senkrecht zu den Oberflächenelementen, es wird eine numerische Integration durchgeführt.

In dem dargestellten Dialogfenster stehen folgende Alternativen zu Verfügung:



Index, LastsetID, Flächendruck

Index: Die aufklappbare Liste zeigt alle für diesen Lasttyp bisher verwendeten Indizes. Mit der Schaltfläche „Werte anzeigen“ werden die unter einem Index gespeicherten Werte in dem Dialogfenster angezeigt. Für die Funktionen „Plot“ und „Lösche“ kann in dem Eingabefeld ein Indexbereich eingetragen werden.

Neuer Index: Mit der Schaltfläche wird der nächste freie Index in das Eingabefeld „Index“ eingetragen.

LastSetID: Die aufklappbare Liste zeigt alle bisher verwendeten LastSetIDs. Es kann eine vorhandene LastSetID ausgewählt oder eine neue ID in dem Eingabefeld eingetragen werden.

Flächendruck: In dem Eingabefeld ist die Größe des Flächendrucks einzutragen.

Elementorientierungsvektor: Positiver Flächendruck wirkt in Richtung des Normalenvektors der belasteten Elemente, der Umlaufsinn der Flächenelemente ist also von Bedeutung. Wird in dem Eingabefeld ein Elementorientierungsvektor eingetragen (Vektorkomponenten in globalen x, y, z – Koordinaten), so wird die Orientierung der Flächenelemente überprüft. Ist das Skalarprodukt zwischen dem Normalenvektor des Elementes und dem vorgegebenen Orientierungsvektor negativ, so wird der Elementumlaufsin für die Berechnung der Knotenkräfte umgekehrt.

MAKROS

Elementauswahl

Es sind die Elemente auszuwählen, welche mit dem Flächendruck belastet werden sollen. Werden Volumenelemente belastet, so ist zusätzlich zur Elementauswahl noch eine Knotenauswahl anzugeben, damit die Oberfläche eindeutig bestimmt werden kann, nur die Knoten einer Oberfläche eines Volumenelementes dürfen in der Knotenauswahl enthalten sein. Mit den Schaltflächen „PlotEW“ und „PlotKW“ können die Elementauswahl und die Knotenauswahl grafisch überprüft werden.

Plot Vektoren

Mit der Schaltfläche „Plot“ werden die berechneten äquivalenten Knotenkräfte geplottet. Hierfür sind die Vektorlänge, ein Farbindex und ggf. die Anzahl Nachkommastellen für die Beschriftung der Vektoren anzugeben.

Speichern

Mit der Schaltfläche werden die Angaben für den eingetragenen Index gespeichert. Ebenfalls werden die statisch äquivalenten Knotenkräfte berechnet und gespeichert. Sind unter dem Index schon Werte gespeichert, so wird angefragt, ob diese überschrieben werden können.

Lösche

Mit der Schaltfläche werden Eintragungen für einen Index oder alle Indizes innerhalb des angegebenen Indexbereiches wieder gelöscht.

Kontrolle r0

Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden die Resultierende aller Knotenkräfte und das resultierende Moment aller Knotenkräfte bezüglich des Ursprungs des globalen Koordinatensystems oder bezüglich eines in dem Eingabefeld eingetragenen Punktes berechnet und im Protokollfenster angezeigt. In dem Eingabefeld können die globalen Koordinaten eines Bezugspunktes für das resultierende Moment eingetragen werden.

Material : Materialkennwerte definieren

Mit dem Kommando werden Materialwerte eingegeben. Die Bedeutung der Werte entspricht dem PATRAN-Neutral-Fileformat bzw. ist in der NASTRAN-Schnittstelle für verschiedene Materialtypen angegeben. Unterschiedliche Materialien werden durch eine Materialnummer und eine Materialtypkennzahl unterschieden. Wird eine Materialnummer eingegeben, für die schon Werte gespeichert sind, so können die gespeicherten Werte mit der Schaltfläche „Werte anzeigen“ in dem Dialogfenster angezeigt werden. Mit der Schaltfläche "Speichern" werden die Werte gespeichert, mit "Lösche" können gespeicherte Werte wieder gelöscht werden. Mit „Alles löschen“ werden alle gespeicherten Materialwerte gelöscht.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Werte eingegeben werden.

Materialkennwerte definieren

Material

Materialnummer: 17 Materialtypkennzahl: 1

Materialwerte: Werte anzeigen [Anzahl Werte] 11

3.e7, -.99, .333, 4.28, 6.5e-6, 537.12, .234, 20.e4, 15.3e4, 12..2e4, 1003

Speichern Löschen Alles Löschen Abbrechen Hilfe

Material

MAKROS

Materialnummer: Anzugeben ist eine Materialnummer, die aufklappbare Liste zeigt die bereits verwendeten Nummern.

Materialtypkennzahl: Anzugeben ist eine Typnummer zwischen 1 und 13 entsprechend dem PATRAN-Format bzw. zwischen 1 und 18 bei Verwendung der NASTRAN-Schnittstelle.

Anzahl Werte: Wird in dem Eingabefeld eine Zahl eingetragen (wahlweise), so wird die Anzahl der eingetragenen Materialwerte überprüft.

Materialwerte: Die PATRAN-Schnittstelle speichert 96 Materialwerte. Fehlende Werte werden Null gesetzt. Die Anzahl Werte für verschiedene NASTRAN-Materialien ist bei der NASTRAN-Schnittstelle angegeben.

Querschnitte: Elementquerschnittswerte bzw. Elementpropertywerte definieren und zuordnen

Mit dem Kommando werden Querschnitte bzw. Elementpropertywerte definiert und den Elementen zugeordnet. Die Querschnittswerte werden in der PATRAN- und der NASTRAN-Schnittstelle als "Element Properties" gespeichert. Bei NASTRAN werden mit dem Kommando außer den Elementproperties (Querschnittstypnr = mechanische Typnummer der Elemente + 1000) auch noch zusätzliche Parameterwerte für einige Elementtypen angegeben, hierfür ist eine Querschnittstypnummer anzugeben die gleich der mechanischen Typkennzahl der Elemente ist (vgl. NASTRAN-Schnittstelle). Jeder Querschnitt erhält eine eindeutige Querschnittsnummer. Wird eine vorhandene Querschnitts-Nummer eingetragen, so können mit der Schaltfläche „Anzeigen“ die zugehörigen Werte in dem Dialogfenster angezeigt werden. Damit kann auf bereits gespeicherte Querschnitte Bezug genommen und diese einer neuen Elementauswahl zugeordnet werden.

Mit dem Kommando „Plot“ oder „Check NASTRAN“ kann überprüft werden, ob allen Elementen ein Querschnitt zugeordnet wurde.

Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit "Abbrechen" geschlossen wird. Mit "Speichern" werden die Werte abgespeichert und mit "Lösche" werden gespeicherte Werte wieder gelöscht. Mit „Alles löschen“ werden alle gespeicherten Querschnittsdaten gelöscht.

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster, in dem die folgenden Werte anzugeben sind:



Querschnittswerte

Querschnittsnummer: Die Querschnittsnummer ist einzutragen. Die aufklappbare Liste zeigt alle bisher verwendeten Querschnittsnummern.

MAKROS

Materialnummer: Einzutragen ist die Nummer eines mit dem Kommando **Material** definierten Materialsets. Die Nummern der bereits definierten Materialien werden in einer Listbox angezeigt.

Querschnitts TypNr: Die eingetragene Zahl wird als Parameter N3 der PATRAN-Schnittstelle gespeichert. Bei NASTRAN muss die Typkennzahl für den Property-Record um 1000 größer sein als die mechanische Typkennzahl der Elemente, für zusätzliche Elementparameterwerte ist eine Typkennzahl gleich der mechanischer Typkennzahl der Elemente anzugeben.

Anzahl Werte: Einzutragen ist die Anzahl zugeordneter Querschnittswerte

Querschnittswerte: In dem Eingabefeld sind die Querschnittswerte einzutragen.

Elementauswahl

Es sind die Elemente anzugeben, denen der Querschnittstyp zugeordnet werden soll. Die Elemente müssen alle dieselbe Formkennzahl sowie dieselbe Anzahl Elementknoten besitzen.

Randbedingungen: Knotenrandbedingungen und zusätzliche Knotendaten definieren

Mit dem Kommando werden Knotenrandbedingungen und zusätzliche Knotendaten definiert, die in der PATRAN-Schnittstelle als "Node Data" gespeichert werden. Sofern für einzelne Knoten keine Angaben gemacht werden, werden folgende Standardwerte eingesetzt (in Klammern: PATRAN-Variable, vgl. Kapitel 11):

Knotentyp (GTYPE): G (Strukturknoten)

Anzahl Freiheitsgrade (NDF): 6

Knotenklasse (CONFIG): 0

Koordinatensystem (CID): 0

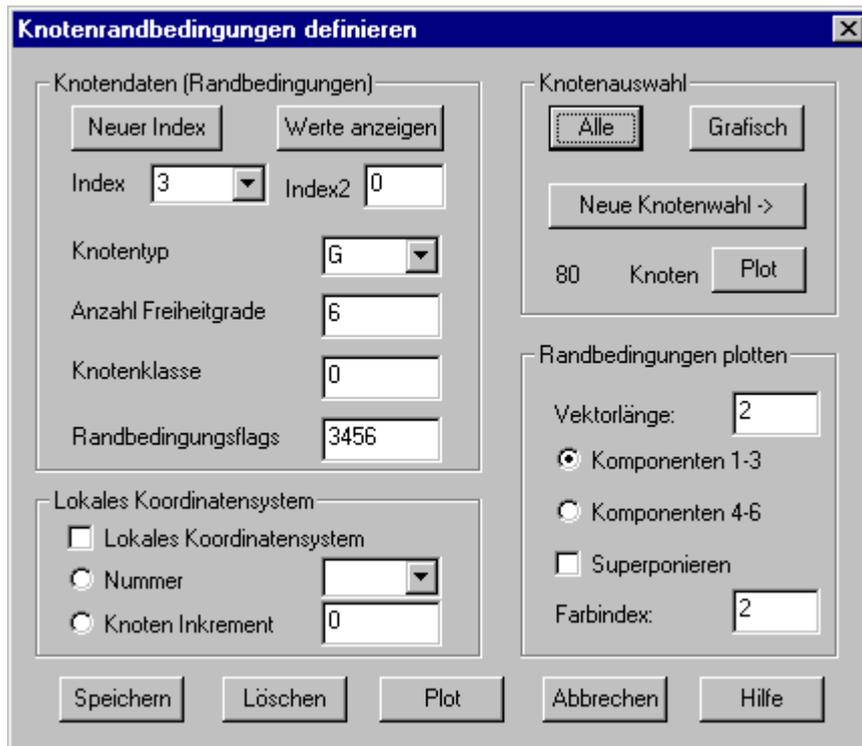
Randbedingungsflags (PSPC): 000000

Für die NASTRAN-Schnittstelle werden nur die Randbedingungsflags und das lokale Koordinatensystem verwendet, die Angaben werden wahlweise in den GRID-Records oder in SPC1-Records gespeichert.

Verschiedene Randbedingungsmuster werden durch einen fortlaufenden Index unterschieden. Der Index wird in der PATRAN-Schnittstelle nicht gespeichert, er dient nur zur Identifikation von Randbedingungsmustern bei der Definition. Die unter einem Index gespeicherten Werte können insgesamt gelöscht und neu definiert werden. Nach dem Speichern eines Randbedingungsmusters wird automatisch der fortlaufende Index um 1 erhöht. Wird in dem Eingabefeld der Index eines vorhandenen Musters eingetragen, so können die zugehörigen gespeicherten Werte mit der Schaltfläche „Werte anzeigen“ in dem Dialogfenster angezeigt werden; die Werte können dann insgesamt gelöscht oder geplottet werden. Mit der Option "Neuer Index" wird ein neuer Index für ein neues Randbedingungsmuster eingetragen. Die Randbedingungen können in einem lokalen Koordinatensystem definiert werden (z. B. radiale Komponenten in einem Zylinderkoordinatensystem). Das Koordinatensystem muss zuvor definiert worden sein.

Mit der Schaltfläche "Speichern" werden die spezifizierten Randbedingungswerte abgespeichert. Sind unter dem Index bereits Werte gespeichert, so wird angefragt, ob diese gelöscht werden sollen. Wird mit "nein" geantwortet, so werden die Werte nicht gespeichert. Mit "Lösche" können gespeicherte Werte wieder gelöscht werden. Die Schaltfläche "Plot" bewirkt, dass die Randbedingungskomponenten in dem Layer "m_krandb" geplottet werden.

Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit der Schaltfläche „Abbrechen“ geschlossen wird. Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster in dem folgende Einträge gemacht werden können:



Knotendaten (Randbedingungen)

Index: In dem Eingabefeld kann der Index eines neuen oder eines gespeicherten Randbedingungsmusters eingetragen werden, dessen Werte angezeigt werden sollen.

Neuer Index: Wird die Schaltfläche angeklickt, so wird der nächste freie Index in dem Eingabefeld für den Index eingetragen.

Werte anzeigen: Mit der Schaltfläche werden die Werte für einen vorhandenen Index angezeigt.

Index2: Für die Schaltfläche „Löschen“ und „Plot“ kann ein zweiter Index als obere Grenze eines Indexbereiches angegeben werden.

Knotentyp: G, A, F, T für die PATRAN-Schnittstelle

Anzahl Freiheitsgrade: Einzutragen ist die Anzahl Freiheitsgrade für die Knoten

Knotenklasse: Klassennummer zur Unterscheidung von Knotenklassen entsprechend PATRAN

Randbedingungsflags: Einzutragen ist eine Zahl aus den Ziffern 1-6 (z.B. steht 3456 für die Flags 001111).

Koordinatensystem: Einzutragen ist ggf. die Nummer eines lokalen Koordinatensystems (0 = globales System). In der aufklappbaren Liste werden die Nummern aller gespeicherten Koordinatensysteme angezeigt.

Knoteninkrement: Falls die Randbedingungen in lokalen Koordinatensystemen definiert werden, die mit der Option "Randkurve" im Kommando **KoorSys** definiert wurden, ist das Knoteninkrement anzugeben, dass bei Definition der Koordinatensysteme verwendet wurde.

Knotenauswahl

Es sind die Knoten anzugeben, für welche die angegebenen Knotendaten eingetragen werden sollen.

Randbedingungen plotten

Vektorlänge: Einzutragen ist die Länge, mit der die Vektoren geplottet werden sollen.

Komponenten 1-3 / 4-6: Anzugeben ist, ob die Komponenten 1-3 (Verschiebungen) oder 4-6 (Verdrehungen) geplottet werden sollen.

MAKROS

Superponieren: Wird die Option markiert, so wird für die Grafik eine neue Displayliste verwendet, so dass die Randbedingungen verschiedener Gruppen verschiedenfarbig in einer Grafik geplottet werden können.

Farbindex: Einzutragen ist der Farbindex, mit dem die Vektoren geplottet werden sollen.

Resultierende: Resultierende von Knotenkräften berechnen

Mit dem Kommando kann zur Kontrolle die Resultierende von Knotenkräften, sowie das resultierende Moment aller Knotenkräfte bezüglich eines globalen Punktes ermittelt werden. Berücksichtigt werden jeweils alle Knotenkräfte, welche zu einem Bereich von LastsetIDs, einem Indexbereich und einer Knotenauswahl gehören.

Nach Aufruf des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:



Auswahl

LastSetID: Die aufklappbare Liste zeigt alle verwendeten LastsetIDs. In dem Eingabefeld können eine einzelne ID oder die kleinste und größte ID eines Bereiches angegeben werden.

Knotenkräfte: Diese Option ist einzuschalten, wenn die Resultierende mit dem Kommando „**Knotenlast**“ für definierte Knotenkräfte berechnet werden soll.

Flächenlast: Diese Option ist einzuschalten, wenn die Resultierende von Knotenkräften berechnet werden soll, die mit den Kommandos „**Flächenlast**“ oder „**Flächendruck**“ definiert worden sind.

Indexbereich: Die aufklappbare Liste zeigt die für den Lasttyp verwendeten Indizes. In dem Eingabefeld können ein einzelner Index oder der kleinste und größte Index eines Indexbereiches eingetragen werden.

Knotenauswahl

Es werden nur die Knotenkräfte der in der aktuellen Knotenauswahl enthaltenen Knoten bei der Summenbildung berücksichtigt.

Momentenresultierende

In dem Eingabefeld können die globalen Koordinaten eines Bezugspunktes eingetragen werden. Wird die Option „Für Bezugspunkt berechnen“ eingeschaltet, so wird das resultierende Moment aller Knotenkräfte bezüglich dieses Bezugspunktes berechnet und protokolliert.

Lade: Lastdaten aus einer Binärdatei laden

Mit dem Kommando wird eine mit **Sichern** gespeicherte Lastdatei wieder in den Arbeitsspeicher geladen.

Sichern: Lastdaten in Binärdatei sichern

Mit dem Kommando werden alle im Arbeitsspeicher befindlichen Lastangaben, Knotenrandbedingungen, Materialien und Querschnitte in einer binären Datei mit der Dateinamenserweiterung .lqd auf Platte gesichert.

Plot: Zuordnungen plotten

Mit dem Kommando kann grafisch überprüft werden, welche Zuordnungen definiert sind. In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Alternativen ausgewählt werden:



Auswahl

Knotenvektoren: Geplottet werden die den Knoten zugeordneten Knoten-, Momenten- oder Verschiebungsvektoren.

Verteilte Flächenlast: Geplottet werden die mit den Kommandos „**Flächenlast**“ und "**Flächendruck**" definierten statisch äquivalenten Knotenkräfte.

ElementlastSetID: Im Schwerpunkt der Elemente wird die mit dem Kommando „Elementlast“ zugeordnete LastSetID geplottet.

NASTRAN PLOAD: Es werden die Elementflächen schraffiert, denen mit dem Kommando „**Elementlasten**“ Flächenlasten mit den Typkennzahlen 10,13,14 zugeordnet wurden.

MAKROS

Querschnittsnummer: Im Schwerpunkt der Elemente wird die den Elementen zugeordnete Querschnittsnummer geplottet.

Querschnitts Typnr. < 1000: Im Schwerpunkt derjenigen Elemente, denen eine Querschnittstypnummer < 1000 zugeordnet wurde, wird diese Nummer geplottet. Bei der NASTRAN-Schnittstelle sind dieses die den Elementen zugeordneten Querschnitte mit zusätzlichen Elementdaten.

Querschnitts Typnr. > 1000: Im Schwerpunkt derjenigen Elemente, denen eine Querschnittstypnummer > 1000 zugeordnet wurde, wird diese Nummer geplottet. Bei der NASTRAN-Schnittstelle sind dieses die den Elementen zugeordneten Property-Records.

Randbedingungen 1-3: Geplottet werden die ersten 3 Randbedingungskomponenten

Randbedingungen 4-6: Geplottet werden die Randbedingungskomponenten 4 - 6.

LastSetID: Wird eine LastSetID eingetragen, so werden nur die für diese LastSetID eingetragenen Daten geplottet. Dieses ist von Bedeutung, wenn für einzelne Knoten oder Elemente mehrere Lasten definiert sind und diese übereinander geplottet würden.

Index: Wird ein Indexbereich angegeben, so werden nur die Definitionen zugehörig zu diesem Indexbereich geplottet. Die Liste zeigt alle für den ausgewählten Typ verwendeten Indices.

Plotparameter

Vektorlänge: Für Kräfte, Momente und Knotenrandbedingungen ist die Länge für die größte Vektorkomponente in Zeichnungseinheiten einzutragen.

Farbindex: Einzutragen ist der Farbindex, mit dem Vektoren geplottet werden sollen, bzw. der für die Beschriftung zu verwendende Fontindex.

Superponieren: Wird die Option angekreuzt, wird eine neue Displayliste verwendet.

Elementauswahl

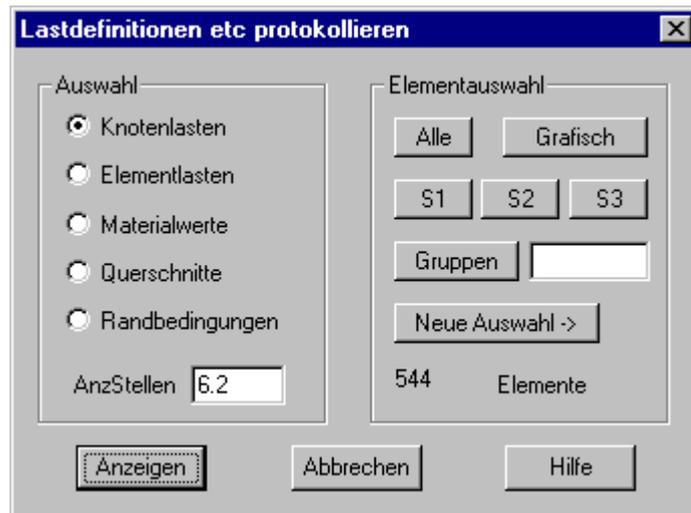
Es ist die Elementauswahl anzugeben, für welche die Zuordnungen geplottet werden sollen.

Protokoll: Zuordnungen protokollieren

Mit dem Kommando können verschiedene Informationen über gespeicherte Zuordnungen protokolliert werden. Ein vollständiges Protokoll kann erstellt werden, indem die PATRAN- oder NASTRAN-Datei erzeugt und ausgedruckt wird. Die Protokollierung erfolgt in einem Popup-Window.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Optionen eingestellt werden:

MAKROS



Auswahl

Knotenlasten: Für jede gespeicherte Lastgruppe werden folgende Werte protokolliert:

Index der Lastgruppe

LastSetID

Lastkomponenten

Nummer des lokalen Koordinatensystems

Anzahl Knoten, denen die Lastgruppe zugeordnet ist.

Elementlast: Für jede gespeicherte Lastgruppe werden folgende Werte protokolliert:

Index der Lastgruppe

LastSetID

Komponentenflag

größte zentrale Komponente

Knotenflags

größte Knotenkomponente

Anzahl Elemente, denen die Lastgruppe zugeordnet ist.

Materialwerte: Für jede definierte Materialnummer werden die Materialtypnummer und die von Null verschiedenen Materialwerte protokolliert.

Querschnitte: Für jeden definierten Querschnitt werden folgende Werte protokolliert:

Materialnummer

Elementformkennzahl

Konfigurationskennzahl

Anzahl Querschnittswerte

Anzahl Elemente, denen der Querschnitt zugeordnet ist

Querschnittswerte

Knotenrandbedingungen: Für jedes Randbedingungsmuster wird die Anzahl Knoten protokolliert, denen der Randbedingungstyp zugeordnet ist, sowie die Nummer des lokalen Koordinatensystems.

Anzeigen

Die Auflistung wird in einem Protokollfenster angezeigt.

Elementauswahl

MAKROS

Durch Angabe einer Elementauswahl kann die Anzeige auf ausgewählte Elemente beschränkt werden.

Alles Löschen: Lastdaten im Arbeitsspeicher löschen

Mit dem Kommando werden alle im Arbeitsspeicher befindlichen Lastdaten gelöscht.

Check NASTRAN: Zuordnungen für die NASTRAN-Schnittstelle überprüfen

Wird das Kommando aufgerufen, so werden folgende Zuordnungen überprüft:

Mechanische Typnummer

Für NASTRAN erfolgt die Zuordnung von MAKROS-Elementen zu NASTRAN-Elementrecords aufgrund der den Elementen zugeordneten mechanischen Typnummern (z. B. mtyp = 22 ergibt Elementtyp CQUADR mit Property-Record PSHELL). Es wird überprüft, ob allen Elementen eine mit dem geometrischen Elementtyp verträgliche mechanische Typnummer zugeordnet wurde. Die Nummern der Elemente mit unzulässiger Typnummer werden als Elementauswahlset 1 gespeichert, die Elemente können damit sehr einfach grafisch angezeigt werden.

Property-Record:

Es wird überprüft, ob allen Elementen ein dem NASTRAN-Typ entsprechender Querschnitt für den Property-Record zugeordnet wurde (Querschnittstypnummer = mechanische Typnummer der Elemente + 1000). Elemente mit falscher oder fehlender Zuordnung werden als Elementauswahlset 2 gespeichert. Zuordnungen von Querschnitten können mit dem Kommando **Lasten/Plot** grafisch überprüft werden.

Querschnitts-Record:

Es wird überprüft, ob allen Elementen, soweit erforderlich, ein dem NASTRAN-Typ entsprechender Querschnitt mit zusätzlichen Parameterwerten für den Element-Record zugewiesen wurde (Querschnittstypnummer = mechanische Typnummer der Elemente). Elemente mit falscher oder fehlender Zuordnung werden als Elementauswahlset 3 gespeichert. Zuordnungen von Querschnitten können mit dem Kommando **Lasten/Plot** grafisch überprüft werden.

Materialdaten:

Es wird überprüft, ob alle in den Querschnittsdefinitionen verwendeten Materialien auch definiert wurden.

Schnittstellen zu FE-Programmen

Allgemeines

In der Menügruppe „**Schnittstelle**“ stehen die folgenden Kommandos zur Verfügung:

NASTRAN	NASTRAN Eingabedatei erzeugen bzw. lesen
PATRAN	PATRAN-Datei erzeugen bzw. lesen
SchreibeASCII	Elemente in eine ASCII-Datei schreiben
LeseASCII	Elemente von ASCII-Dateien lesen
Schnittstelle (DLL)	Eigene Schnittstellen Funktion aus einer DLL aufrufen

Weitere Schnittstellen, die für spezielle Anwendungen implementiert wurden, stehen nur zur Verfügung, wenn in dem Installationsverzeichnis von MAKROSA eine Datei „maka_interface.ini“ mit dem Codewort der Schnittstelle existiert.

NASTRAN – Schnittstelle

Mit dem Kommando „**NASTRAN**“ können die nachfolgend beschriebenen NASTRAN-Records (vgl. MSC/NASTRAN Version 70, Quick Reference Guide) in eine Datei geschrieben, bzw. Elemente aus einem NASTRAN-File gelesen werden.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Einstellungen gemacht werden:



Neuer Filetitel: Voreingestellt ist der aktuelle Projekttitel; mit der Schaltfläche kann ein neuer Titel für die Eingabe- oder Ausgabedatei ausgewählt werden.

Extension: Es kann die Dateinamenserweiterung für die NASTRAN-Datei eingetragen werden, Voreinstellung ist .dat.

Nur Geometriedaten schreiben: Wird die Option eingeschaltet, so werden nur Knotenkoordinaten, Koordinatensysteme und Elemente (ohne die zusätzlichen Querschnittswerte) in die Datei geschrieben.

Verschiedene Dateien: Wird die Option eingeschaltet, so werden Geometriedaten, Property-Daten und Lastdaten in getrennte Dateien mit den Dateinamenserweiterungen .dat, .nprop, .nload geschrieben.

MAKROS

Knotenrandbedingungen als SPC1-Records: Wird die Option eingeschaltet, so werden Randbedingungen für einzelne Knotenpunkte in SPC1-Records gespeichert, sonst als Parameter PS im GRID-Record.

Knotenlasten im globalen System: Wird diese Option eingeschaltet, so werden sämtliche in lokalen Koordinatensystemen definierten Knotenkräfte, -momente und -verschiebungen vor der Übertragung in die Datei ins globale System transformiert.

Zuordnung prüfen: Wird diese Option eingeschaltet, so werden wie beim Kommando „**CheckNASTRAN**“ im Kapitel 10, folgende Kontrollen durchgeführt:

Mechanische Typnummer: Geprüft wird, ob allen Elementen eine dem geometrischen Typ entsprechende mechanische Typnummer zugeordnet wurde ((falsche Zuordnungen werden in Elementauswahlset 1 gespeichert).

Property-Record: Geprüft wird, ob allen Elementen ein zulässiger Querschnittstyp für den Property-Record zugewiesen wurde (falsche Zuordnungen werden in Elementauswahlset 2 gespeichert).

Querschnitt: Geprüft wird, ob allen Elementen, soweit erforderlich, ein Querschnitt mit zusätzlichen Elementparametern zugewiesen wurde ((falsche Zuordnungen werden in Elementauswahlset 3 gespeichert).

Materialien: Geprüft wird, ob alle in den Querschnitten verwendeten Materialnummern auch definiert wurden.

Elemente mit unzulässiger Zuordnung werden als Auswahlset gespeichert und können damit sehr einfach selektiert werden. Wird ein Fehler festgestellt, so wird angefragt, ob die NASTRAN-Datei dennoch erzeugt werden soll.

Die Kontrolle unterbleibt, wenn nur Geometriedaten in die Datei geschrieben werden.

Mit der Schaltfläche „Schreiben“ wird eine NASTRAN-Datei erzeugt. Die Daten für die NASTRAN-Schnittstelle werden von den Dateien projekt.fes und projekt.lqd gelesen, wobei projekt der aktuelle Filetitel des Projektes ist, deshalb wird am Anfang angefragt, ob diese Dateien mit den Daten im Arbeitsspeicher aktualisiert werden sollen; die Anfrage ist zu bejahen, wenn Daten im Arbeitsspeicher geändert und noch nicht abgesichert wurden.

Mit der Schaltfläche „Lesen“ werden Knotenpunkte, Koordinatensysteme und Elemente aus einer NASTRAN-Datei gelesen. Property- und Lastrecords werden nicht gelesen.

NASTRAN Records

Im Folgenden wird beschrieben, wie die verschiedenen MAKROS-Daten in NASTRAN-Records übersetzt werden. Die Schnittstelle wird bei Bedarf erweitert, ggf. kann auch die Funktion nastran.cpp (vgl. Kapitel 11) erweitert werden.

Knotenkoordinaten, Knotenrandbedingungen

Die Knotenpunkte werden in GRID-Records gespeichert. Sofern für einzelne Knoten Restriktionen mit dem Kommando „**Randbedingungen**“ definiert sind, werden diese wahlweise ebenfalls im GRID-Record (Parameter CD, PS) oder in SPC1-Records gespeichert.

Elemente und Elementproperties (Querschnitte)

Die Zuordnung von MAKROS-Elementen zu den verschiedenen Typen von NASTRAN-Elementen erfolgt aufgrund von mechanischen Typkennzahlen (mtyp).

NASTRAN-Elemente werden in einem Element-Record und zugeordnetem Property-Record im NASTRAN-Eingabefile beschrieben. Der NASTRAN-Elementrecord enthält neben der Elementnummer und den Knotenpunktnummern, die Nummer des Property-Records und bei einigen Elementtypen weitere Elementparameter (z. B. Dicken in den Eckknoten bei Schalenelementen).

Die Daten des Property-Records und die eventuell erforderlichen zusätzlichen Elementparameterwerte werden in MAKROS mit dem Kommando „**Querschnitte**“ definiert. Die Daten eines solchen Datensatzes werden im

MAKROS

folgenden als Querschnitt bezeichnet auch wenn die Daten nicht direkt Querschnittswerte beinhalten. Verschiedene Typen von Querschnitten werden durch eine Typkennzahl (qtyp) unterschieden. Jeder Querschnittstyp enthält neben der Typkennzahl eine Materialnummer und eine Folge von Querschnittswerten. Die Materialnummer wird in dem NASTRAN-Property-Record gespeichert. Die Querschnittswerte werden in der angegebenen Folge in den NASTRAN-Property-Record oder abhängig von der Querschnittstypkennzahl in den NASTRAN-Elementrecord übertragen.

Querschnitte, die für den NASTRAN-Property-Record bestimmt sind, erhalten eine Typkennzahl, die um 1000 größer ist als die mechanische Typkennzahl der Elementtypen ($qtyp = mtyp + 1000$). Haben verschiedene Elementtypen denselben Property-Record, so kann eine beliebige der zulässigen Querschnittstypkennzahlen gewählt werden , z.B. sind $qtyp = 1011, 1013, 1014, 1015$ zulässige Querschnittstypkennzahlen für den Property-Record PLPLANE. Querschnitte, die für den NASTRAN-Element-Record bestimmt sind, erhalten eine Typkennzahl die identisch ist mit der mechanischen Typkennzahl des Elementtyps ($qtyp = mtyp$).

Die folgende Tabelle zeigt, welche mechanische Typkennzahl (mtyp, Spalte 1) den MAKROS-Elementen zugeordnet werden muss, damit bestimmte NASTRAN-Element-Records (Spalte 3) und zugeordnete Property-Records (Spalte 4) erzeugt werden, z. B. wird für $mtyp = 11$ bei MAKROS-Elementen vom Typ 42 der NASTRAN-Record CQUAD8 mit einem Property-Record PLPLANE erzeugt. In Spalte 2 ist angegeben, welche MAKROS-Elementtypen in die entsprechenden NASTRAN-Elemente umgewandelt werden können. In Spalte 5 ist angegeben, wie viele Querschnittswerte für den Property-Record angegeben werden müssen. Sofern für einen Elementtyp zusätzliche Parameterwerte für den Element-Record benötigt werden, ist die Anzahl der in dem entsprechenden Querschnitt anzugebenden Werte in Spalte 6 angegeben. Ist der Wert in Klammern eingeschlossen, so bedeutet dieses, dass der entsprechende Querschnitt mit der Querschnittstypkennzahl $qtyp = mtyp$ auch entfallen kann. Ist z. B. die Dicke von Schalenelementen konstant, so wird der Dickenwert im Propertydatensatz angegeben, es sind dann keine zusätzlichen Querschnittswerte erforderlich.

Zuordnung MAKROS-Elemente -> NASTRAN-Elemente

mtyp	MAKROS-Typ	NASTRAN-Element-Record	NASTRAN-Property-Record	Anzahl Propertywerte	Anzahl zusätzl. Elementwerte	Anmerkungen
1	2	3	4	5	6	7
11	30	CTRIA3	PLPLANE	2	[2 o. 6]	6), 7), 8)
11	32	CTRIA6	"	"	"	", "
11	40	CQUAD4	"	"	"	", "
11	42	CQUAD8	"	"	"	", "
13	40, 42, 46	CQUAD	"	"	-	"
14	30, 32	CTRIAX	"	"	-	"
14	40, 42, 46	CQUADX	"	"	-	"
15	30, 32	CTRIAX6	-	-	1	", 11)
21	30	CTRIA3	PSHELL	1 o. 9	[2 o. 6]	6), 7), 9)
21	32	CTRIA6	"	"	"	", "
21	40	CQUAD4	"	"	"	", "
21	42	CQUAD8	"	"	"	", "
22	30	CTRIAR	"	"	"	"

MAKROS

mtyp	MAKROS- Typ	NASTRAN- Element-Record	NASTRAN- Property-Record	Anzahl Propertywerte	Anzahl zusätzl. Elementwerte	Anmerkungen
1	2	3	4	5	6	7
22	40	CQUADR	"	"	"	"
31	30	CTRIA3	PCOMP	variabel	"	6), 7) , 13), 3)
31	32	CTRIA6	"	"	"	","
31	40	CQUAD4	"	"	"	","
31	42	CQUAD8	"	"	"	","
32	30	CTRIAR	"	"	"	"
32	40	CQUADR	"	"	"	"
41	40	CSHEAR	PSHEAR	4	–	
60	60, 62	CPENTA	PLSOLID	1	–	8)
60	70, 72	CTETRA	"	"	–	
60	80, 82	CHEXA	"	"	–	
61	60, 62	CPENTA	PSOLID	5	–	22)
61	70, 72	CTETRA	"	"	–	
61	80, 82	CHEXA	"	"	–	
101	20	CONROD	–	–	4	
102	20	CROD	PROD	4	–	
103	20, 1	CELAS1	PELAS	3	2	12) , 20)
104	20, 1	CELAS2	–	–	5	","
105	20, 1	CDAMP1	PDAMP	1	2	","
106	20, 1	CDAMP2	–	–	3	","
108	20	CTUBE	PTUBE	4	–	
110	20	CBAR	PBAR	17	3 o. 6 o. 12	16), 21)
111	20	"	"	"	3 o. 6 o. 12	"," 17)
112	20	"	"	"	2	"," , 18)
113	20	"	PBARL	variabel	3 o. 6 o. 12	"," 10)
114	20	"	"	"	3 o. 6 o. 12	"," 17)
115	20	"	"	"	2	"," , 18)
120	20	CBEAM	PBEAM	variabel	4 o. 6 o. 12 o. 14	16), 3)

MAKROS

mtyp	MAKROS- Typ	NASTRAN- Element-Record	NASTRAN- Property-Record	Anzahl Propertywerte	Anzahl zusätzl. Elementwerte	Anmerkungen
1	2	3	4	5	6	7
121	20	"	"	„	4 o. 6 o. 12 o. 14	„, 17)
122	20	"	"	„	2	„, „, 18)
123	20	"	PBCOMP	variabel	14	"
124	20	"	"	„	14	„, 17)
125	20	"	"	„	2	„, „, 18)
126	20	"	PBEAML	variabel	14	„, 10)
127	20	"	"	„	14	„, 17)
128	20	"	"	„	2	„, „, 18)
130	20	CGAP	PGAP	10	4	
131	20	"	"	"	–	19)
140	20	CVISC	PVISC	2	–	
150	20	RBAR	–	–	4	
201	1	CONM1	–	–	22	
202	1	CONM2	–	–	11	
210	–	MPC	–	–	variabel	14)
211	20	"	–	–	Variabel	15)

Anmerkungen:

- 1) Die Querschnittswerte werden in der Folge in der sie im Querschnittsdatensatz enthalten sind in den Property-Record (im Anschluss an die Material ID) bzw. den Elementrecord übertragen, fehlende Werte werden 0 gesetzt.
- 2) Sollen oder müssen einzelne Felder im NASTRAN-Record leer bleiben, so ist der entsprechende Querschnittswert mit –99 oder 0 anzugeben. Die Querschnittswerte –99 oder 0 führen immer zu einem leeren Feld im NASTRAN-Record!
- 3) Die Querschnittswerte –88 und –89 sind zu verwenden, wenn in einem NASRAN Record die Zeichenfolgen „YES“ bzw. „NO“ erzeugt werden sollen. Die Werte –88 bzw. –89 werden immer durch „YES“ bzw. „NO“ ersetzt!
- 4) Bei Querschnitten für den Property-Record sind unabhängig vom Typ des Records für die erste Zeile immer 6 Werte und die Folgezeilen immer 8 Werte anzugeben. Für Felder, die im Record nicht besetzt sind, ist der Wert 0 oder –99 einzutragen. Enthält die erste Zeile des Property-Records keine Material-ID, so sind für die erste Zeile 7 Werte anzugeben (z.B. PCOMP, PGAP).
- 5) Sofern in einigen Feldern nicht numerische Werte anzugeben sind, sind diese Felder nachträglich zu editieren, soweit nicht im folgenden ein Code für alternative Zeichenfolgen angegeben ist.
- 6) mtyp = 11-32: Als zusätzliche Parameter für den Element-Record von CTRIAX und CQUADx können Werte für THETA, ZOFFS und die Elementdicken T1 bis T4 angegeben werden. Fehlen Querschnitte für

MAKROS

die Elemente (Querschnittstypkennzahl 11 bis 32), so bleiben die entsprechenden Felder leer. Werden nur zwei Werte im Querschnitt angegeben, so werden diese für THETA und ZOFFS verwendet, werden mehr Werte angegeben, so werden die ersten 2 Werte für THETA und ZOFFS und weitere Werte für T1 – T4 verwendet. Für Felder, die leer bleiben sollen ist ggf. – 99 oder 0 anzugeben.

- 7) mtyp = 11,21,31: Welcher der verschiedenen möglichen NASTRAN-Elementrecords (CTRIA3 – CQUAD8) geschrieben wird, richtet sich nach der Anzahl der Knotenpunkte des Elementes.
- 8) mtyp = 11-15,60: Für den Parameter STR im Property-Record „PLPLANE“ und „PLSOLID“ ist 0 für „GAUS“ und 1 für „GRID“ anzugeben.
- 9) mtyp = 21,22: Wird in dem Querschnitt für den Property-Record PSHELL (Querschnittstypkennzahl 1021, 1022) nur ein Wert eingetragen, so wird dieser Wert als Dicke T im Record eingetragen; MID2 und MID3 erhalten denselben Wert wie MID1 (Materialnummer), die übrigen Felder bleiben leer.
- 10) mtyp = 113-115,126-128: Für den Parameter TYPE im PBARL- bzw. PBEAML-Record wird folgende Zuordnung vorgenommen: 0 = ROD, 1 = TUBE, 2 = L, 3 = I, 4 = CHAN, 5 = T, 6 = BOX, 7 = BAR, 8 = CROSS, 9 = H, 10 = T1, 11 = I1, 12 = CHAN1, 13 = Z, 14 = CHAN2, 15 = T2, 16 = BOX1, 17 = HEXA, 18 = HAT.
- 11) mtyp = 15: Bei CTRIAX6 ist außer der Materialnummer ein Wert für TH für den Element-Record anzugeben.
- 12) mtyp = 103-106: Zusätzliche Elementdaten für das Element CELAS1, CDAMP1 sind die Parameter C1 und C2, für CELAS2 die Parameter K, C1, C2, GE, S und für CDAMP2: B, C1, C2. Ist das MAKROS-Element ein Punktelement (Typ = 1), so werden die Felder für G2 und C2 leer gelassen (NASTRAN Scalar Elemente).
- 13) mtyp = 31,32: Beim Property-Record PCOMP kann für den Parameter FT eine der Ziffern 0-4 angegeben werden, für 1-4 wird folgende Zeichenfolge eingesetzt: 1=HILL, 2=HOFF, 3= TSAI, 4=STRN, bei 0 bleibt das Feld leer. Für LAM > 0 wird SYM und für SOUTi > 0 wird YES eingesetzt.
- 14) mtyp = 210 Es ist kein Element sondern nur ein Querschnitt mit der Typkennzahl 210 zu definieren, der die Werte für eine Mehrpunktrestriktion enthält, die Werte werden in der angegebenen Folge in einen MPC-Record übertragen, die Materialnummer ist ohne Bedeutung.
- 15) mtyp = 211: Die Knotenpunkte des Stabelements (maximal 5 Knoten) werden als Knoten einer Mehrpunktrestriktion verwendet, die Parameter SID sowie Ci und Ai für jeden Knoten müssen in einem Querschnitt mit der Typkennzahl 211 angegeben werden
- 16) mtyp = 110-115,120-128: Die Querschnitte mit zusätzlichen Elementparametern werden für die Elementtypen CBAR und CBEAM gleich interpretiert, bei CBAR ist für das Feld 9 und die Parameter SA und SB der Wert 0 oder –99 anzugeben. Für jede Fortsetzungszeile sind 8 Werte anzugeben, mit 0 oder –99 für leere Felder. Werden nur 3 (4) Werte angegeben, so werden diese für X1, X2, X3, (BIT) eingesetzt, die Folgezeilen entfallen. Bei 6 Werten werden die zwei weiteren Werte für PA und PB verwendet. Werden 12 (14) Werte angegeben, so werden die weiteren Werte für W1A – W3B und SA, SB eingesetzt.
- 17) mtyp = 111,112,114,115,121,122,124,125,127,128: Alternative Form von CBAR bzw. CBEAM: der 3. Knoten des Elements wird für GO anstelle von X1 – X3 eingetragen, für X1-X3 ist im Querschnitt der Wert 0 anzugeben.
- 18) mtyp = 112,115,122,125,128: Die Vektordifferenz des 1. und 4. Knotens wird für die Parameter W1A – W3A und die Vektordifferenz des 2. und 5. Knotens wird für die Parameter W1B – W3B eingetragen, als zusätzliche Querschnittsdaten sind nur noch die Parameter PA und PB anzugeben.
- 19) mtyp = 131: Alternative Form von CGAP, der 3. Knoten des Elementes wird für GO anstelle von X1-X3 eingetragen, CID wird 0 gesetzt.
- 20) mtyp = 103-106: Nur 1 Property-Querschnitt je Record
- 21) mtyp = 110: Den CBAR-Elementen kann ein weiterer Querschnitt mit der Querschnittstypkennzahl 2110 zugeordnet werden, mit 4 bis 6 Querschnittswerten. Dieser Querschnitt wird als CBARAO-Record gespeichert. Für den Parameter SCALE ist 1 für LE und 2 für FR einzusetzen. Bei SCALE = 1 und 4 Querschnittswerten werden diese als SCALE, NTPS, X1 und DELTAX interpretiert, sonst als SCALE und X1 – X6.
- 22) mtyp = 61: Für FCTN nicht Null wird FLUID gesetzt.

Materialien

Materialwerte werden mit dem Kommando „**Material**“ definiert. Jeder Datensatz besteht aus einer Materialnummer, einer Materialtypkennzahl und einer variablen Anzahl von Materialwerten. Mit der Materialtypkennzahl (matyp) werden die verschiedenen NASTRAN-Materialtypen unterschieden, dabei gilt folgende Zuordnung:

matyp	NASTRAN	matyp	NASTRAN	matyp	NASTRAN
1	MAT1	2	MAT2	3	MAT3
4	MAT4	5	MAT5	8	MAT8
9	MAT9	10	MAT10	11	MATHP

Die Materialwerte werden fortlaufend in den NASTRAN-Record geschrieben. Es sind 7 Werte für die 1. Zeile und 8 Werte für jede Fortsetzungszeile, unabhängig von dem Materialtyp und der im Record in verschiedenen Zeilen vorgesehenen Anzahl von Werten, anzugeben. Sollen oder müssen einzelne Felder leer bleiben, so ist an der entsprechenden Position der Wert 0 oder -99 einzutragen.

Knotenkräfte, Knotenmomente, Knotenverschiebungen und -verdrehungen

Knotenvektoren werden mit dem Kommando „**Knotenlast**“ definiert. Mit einer Typkennzahl (ltyp) werden verschiedene Typen von Vektoren unterschieden:

ltyp	Vektortyp	NASTRAN-Record
0	Kraftvektor	FORCE
1	Momentenvektor	MOMENT
2	Knotenverschiebung	SPC
3	Knotenverdrehung	SPC
4	Knotenverschiebung	SPCD
5	Knotenverdrehung	SPCD

Vektoren können in lokalen Koordinatensystemen definiert werden; in dem Dialogfenster zum NASTRAN-Kommando kann angegeben werden, dass die Vektoren vor Übertragung in die NASTRAN-Datei ins globale Koordinatensystem transformiert werden sollen. In den NASTRAN-Record übertragen werden die LastSetID, die Knotennummer, die Nummer des lokalen Bezugssystems, der Skalierungsfaktor und drei Vektorkomponenten.

Mit dem Kommando „**Flächenlast**“ können ferner verteilte Lasten definiert werden, die sofort in äquivalente Knotenkräfte umgerechnet werden. Diese Knotenkräfte werden in NASTRAN-Records vom Typ FORCE gespeichert.

Wird die Lasttypkennzahl mit 2 bzw. 3 angegeben, so werden die Vektoren als eingeprägte Knotenverschiebungen bzw. -verdrehungen interpretiert und als Randbedingungs-Records vom Typ SPC in die NASTRAN-Datei geschrieben. Für ltyp = 4,5 werden SPCD-Records anstelle von SPC-Records erzeugt.

Knotenrandbedingungen

Knotenrandbedingungen werden mit dem Kommando „**Randbedingungen**“ definiert, sie werden wahlweise bei den GRID-Records eingetragen oder es werden SPC1-Records erzeugt. Speicherung in SPC1-

MAKROS

Records setzt voraus, dass die Randbedingungen nicht in lokalen Koordinatensystemen definiert sind. Eingeprägte Knotenverschiebungen oder –verdrehungen (NASTRAN-Records SPC) können mit dem Kommando „**Knotenlast**“ mit der Typkennzahl 2 bzw. 3 definiert werden, ebenso NASTRAN-Records vom Typ SPCD (siehe oben). Mehrpunktrandbedingungen (MCP) werden als Querschnitt mit der Typkennzahl 1210 definiert.

Elementlasten

Elementlasten werden mit dem Kommando „**Elementlast**“ definiert. Mit einer Typkennzahl (latyp) werden bei NASTRAN die folgenden Lasttypen unterschieden:

latyp	NASTRAN-Record	Anzahl Werte
10	PLOAD	1
11	PLOAD1	6
12	PLOAD2	1
14	PLOAD4	4 (10)

In dem Dialogfenster des Kommandos sind nur die folgenden Einträge zu machen: Index, LastSetID, Typkennzahl, und die Lastwerte, die in dem Eingabefeld für zentrale Lastkomponenten (EFLAG = 1, GFLAG = 0) angegeben werden, die weiteren Eingabefelder des Dialogfensters sind für NASTRAN ohne Bedeutung. Als Lastwerte sind folgende Parameterwerte für den NASTRAN-Record anzugeben:

- latyp = 10: 1 Lastwert für P
- = 11: Kennzahlen für TYPE, SCALE und 4 Werte für X1, P1, X2, P2
- = 12: 1 Lastwert für P
- = 14: Werte für P1 – P4 und bei Volumenelementen Werte für G1, G3, CID, N1-N3

Für PLOAD werden die Knotennummern der Eckknoten der ausgewählten Elemente übernommen, das Vorzeichen für P ist entsprechend dem Umlaufsinn der Elemente zu wählen. Bei Volumenelementen werden diejenigen Oberflächen belastet, deren Knoten alle in der angegebenen Knotenauswahl enthalten sind, die Flächen sind so orientiert, dass der Normalenvektor nach außen weist.

Bei PLOAD1 ist als erstes eine Kennzahl 1 – 12 für den Parameter TYPE anzugeben, für 1 – 12 werden folgende Zeichenketten eingesetzt: FX, FY, FZ, FXE, FYE, FZE, MX, MY, MZ, MXE, MYE, MZE. Als nächstes ist für den Parameter SCALE eine Kennzahl 1 – 4 anzugeben, für die folgende Zeichenfolgen eingesetzt werden: LE, FR, LEPR, FRPR.

Ist bei latyp = 14 eine Knotenauswahl angegeben worden, so werden die Parameter für G1 und G3 für den Record PLOAD4 bei Volumenelementen automatisch ermittelt, G1 und G3 sind in diesem Fall als 0 anzugeben.

PATRAN Neutral File

Mit dem Kommando „**PATRAN**“ wird eine PATRAN-Eingabedatei erzeugt, bzw. werden Daten aus einer PATRAN-Datei gelesen. Das Kommando ermöglicht es, alle unter dem aktuellen Projekttitel gespeicherten Daten im PATRAN Neutral File Format (PNF) in eine Textdatei zu schreiben. Unterstützt werden die nachfolgend beschriebenen Kartentypen (vergleiche PATRAN Plus User Manual, Kapitel 29). Die Daten werden von den Dateien projekt.fes und projekt.lqd gelesen, wobei „projekt“ der aktuelle Filetitel des Projektes ist, deshalb wird am Anfang angefragt, ob diese Dateien mit den Daten im Arbeitsspeicher aktualisiert werden sollen, die Anfrage ist zu bejahen, wenn Daten im Arbeitsspeicher geändert und noch nicht abgesichert wurden.

MAKROS

Nach Aufruf des Kommandos erscheint ein Dialogfenster wie bei dem Kommando „**NASTRAN**“, in dem der Filetitel angegeben werden kann.

In dem PATRAN-Format werden Datentypen (im Folgenden als Kartentyp bezeichnet) mit einer zweistelligen Typkennzahl unterschieden. Jeder Datentyp beginnt mit einer Headerkarte im Format (I2, 8I8) mit folgenden Informationen:

- IT = Datentyp-Kennzahl
- ID = Identifikationsnummer
- IV = ggf. weitere Identifikationsnummer
- KC = Anzahl Folgekarten des Datentyps
- N1-N5 = ganzzahlige Parameter

Der Headerkarte folgen KC Karten mit Datenwerten entsprechend dem Datentyp.

Nachfolgend wird erläutert wie die gespeicherten FE-Daten in PNF-Datentypen umgesetzt werden.

Kartentyp 25: Titel Karte

Die der Headerkarte folgende Karte enthält den Filetitel unter dem die FE-Struktur gespeichert ist

Kartentyp 26: Summary Data

Die erste Karte enthält folgende Daten:

- N1 = Anzahl Knoten (Kartentyp 01)
- N2 = Anzahl Elemente (Kartentyp 02)
- N3 = Anzahl Materialien (Kartentyp 03)
- N4 = Anzahl Element Properties (Kartentyp 04)
- N5 = Anzahl Koordinatensysteme (Kartentyp 05)

Die Folgekarte enthält das Tagesdatum und die Uhrzeit der Erstellung der Datei.

Kartentyp 01: Knotendaten

Kartentyp 01 speichert Knotenkoordinaten und die mit dem Kommando **Randbedingungen** definierten Knotenrandbedingungen.

Die erste Karte speichert die externe Knotennummer. Die zweite Karte enthält die globalen kartesischen x,y,z-Koordinaten des Knotens.

Auf der dritten Karte werden die Parameter ICF = 0, GTYE, NDF, CONFIG, CID und PSPC wie mit dem Kommando **Randbedingungen** spezifiziert angegeben.

Kartentyp 02: Elementdaten

Kartentyp 02 speichert elementbezogene Parameter.

Die erste Karte enthält die externe Elementnummer, eine Formkennzahl des Elements (2 = bar, 3 = tri, 4 = quad, 5 = tet, 7 = wedge, 8 = hex), die Anzahl zugeordneter Datenwerte (N1) und ggf. die Knotennummer des 3. Knotens bei bar-Elementen.

Die zweite Karte enthält die Anzahl Knoten des Elementes entsprechend dem Elementtyp, für CONFIG wird die Gruppennummer und für PID wird die dem Element mit dem Kommando **Querschnitte** zugeordnete Querschnittsnummer eingesetzt CEID wird 0 gesetzt. Für Q₁, Q₂, Q₃ werden bei Balkenelementen die Koordinaten des dritten Knotenpunktes des Elementes eingesetzt, bei anderen Elementtypen werden diese Werte 0 gesetzt.

MAKROS

Folgekarten enthalten die Knotennummern des Elementes. Wird bei Balkenelementen ein 4. und 5. Knoten für exzentrische Anschlüsse des Balkenelementes angegeben, so werden auf 2 weiteren Folgekanten die Koordinaten dieser Knoten gespeichert.

Kartentyp 03: Material Properties

Der Kartentyp 03 speichert Materialwerte, die mit dem Kommando **Material** definiert worden sind.

Die erste Karte speichert die Materialnummer und die Typkennzahl des Materials. N1 wird 0 gesetzt. Auf 20 Folgekarten werden 96 Materialkennwerte, in der Folge in der sie eingegeben wurden, gespeichert. Fehlende Werte werden Null gesetzt.

Kartentyp 04: Element Properties

Der Kartentyp 04 speichert Querschnittswerte, die mit dem Kommando **Querschnitte** definiert worden sind.

Die erste Karte enthält die Querschnittsnummer und die Materialnummer. Für jeden Elementtyp und für jedes Material muss ein Querschnittstyp definiert und einem Element zugeordnet sein. N1 und N2 bestimmen den Elementtyp und die Anzahl Elementknoten wie bei Kartentyp 02. Für N3 wird die angegebene Konfigurationskennzahl eingetragen, N4 ist gleich der Anzahl gespeicherter Datenwerte für den Querschnitt.

Kartentyp 05: Koordinatensysteme

Kartentyp 05 enthält die Parameterwerte von lokalen Koordinatensystemen.

Die erste Karte enthält die externe Nummer des Koordinatensystems und eine Typkennzahl (1 = kartesisch, 2 = zylindrisch, 3 = sphärisch).

Weitere Karten enthalten die Koordinaten der drei Bestimmungspunkte des Koordinatensystems und die 9 Werte der Transformationsmatrix.

Kartentyp 06 Verteilte Elementlasten

Kartentyp 06 speichert verteilte Elementlasten, die mit dem Kommando **ElementLast** definiert worden sind.

Die erste Karte enthält die Elementnummer und die LastSetID.

Die zweite Karte enthält die angegebenen Parameterwerte für LTYPE (0 = Linienlast, 1 = Flächenlast), EFLAG, GFLAG, ICOMP, NODE, NFE (Nummer der Elementkante bei Linienlast bzw. Nummer der Oberfläche bei Flächenlast).

Folgekarten enthalten die angegebenen Lastkomponenten.

Kartentyp 07: Knotenkräfte

Kartentyp 07 speichert die mit dem Kommando **Knotenlast** definierten Knotenlasten.

Die erste Karte enthält die Knotennummer und LastSetID.

Die zweite Karte enthält die Nummer des lokalen Koordinatensystems und das Lastkomponentenflag.

Auf Folgekarten sind die zu Flags = 1 zugehörigen Lastkomponenten angegeben.

ASCII- Dateien schreiben

Schreibe ASCII: Elementstruktur in einer ASCII-Datei sichern

Mit dem Kommando können alle oder ausgewählte Elemente der aktuell gespeicherten Makro- oder FE-Struktur im ASCII-Format in eine Datei geschrieben werden. Knoten und Elemente werden in getrennten Dateien mit den Dateinamenserweiterungen .efp und .efe aber gleichem Basistitel gespeichert.

Die Knotendatei (*.efp) enthält für jeden Punkt eine externe Punktnummer und die drei globalen Koordinaten des Knotens.

Die Elementedatei (*.efe) enthält für jedes Element die externe Elementnummer, die geometrische Typkennzahl, die mechanische Typkennzahl, die Gruppennummer und die externen Nummern der Elementknotenpunkte, wobei die Anzahl dem geometrischen Elementtyp entspricht. Wahlweise kann in der ersten Zeile der Elementdatei eine einzelne Zahl m angegeben werden, ist dieses der Fall, so werden für jedes Element m Werte von der Datei gelesen, unabhängig vom Elementtyp, ist die Anzahl Knoten für ein Element kleiner als m-4, so müssen überzählige Werte als 0 angegeben werden.

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:



Filetitel

Angezeigt wird der aktuelle Projektstitel, der auch für die ASCII-Datei mit der geänderten Dateinamenserweiterung verwendet werden kann.

Neuer Filetitel: Wird die Schaltfläche angeklickt, so erscheint ein Dateiwahlfenster mit dem ein neuer Filetitel eingestellt werden kann.

Elementauswahl

Alle: Alle gespeicherten Elemente und Knoten werden in die Datei übertragen

Elementauswahl: In einem Dialogfenster kann eine neue Elementauswahl eingestellt werden. Die Anzahl der in der aktuellen Auswahl enthaltenen Elemente wird in dem Dialogfenster angezeigt. Nur die Elemente und zugehörigen Knoten dieser Auswahl werden in die Datei geschrieben.

ASCII- Dateien lesen

Lese ASCII: Elementstruktur von einer ASCII-Datei lesen

Mit dem Kommando können alle oder ausgewählte Elemente aus ASCII-Dateien gelesen werden. Für die Dateinamenserweiterung der Dateinamen und für das Format der Dateien gilt dasselbe wie beim Kommando **Schreibe ASCII**

Hinweis: Enthält die Punktedatei Knoten, die bei der Elementbeschreibung nicht verwendet werden, so wird diesen ein Punktelemente zugeordnet.

MAKROS

Es erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:



Filetitel

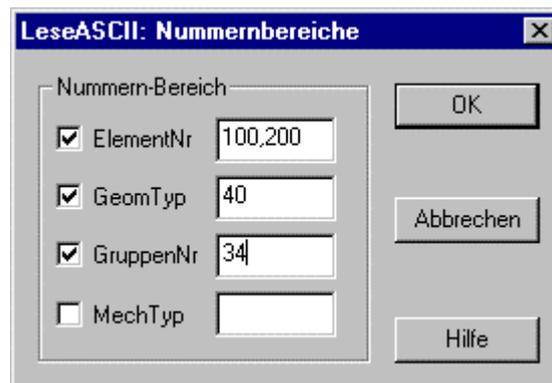
Angezeigt wird der aktuell eingestellte Projekttitel der ggf. wieder verwendet wird.

Neuer Filetitel: Es erscheint ein Dateiwahlfenster, mit dem ein anderer Filetitel für die Datei angegeben werden kann.

Elementauswahl

Alle: Alle Elemente der Datei werden gelesen.

Teilauswahl: Es erscheint das nachfolgend dargestellte Dialogfenster, in dem eine Auswahl für die Elementnummer, den geometrischen Typ, die Gruppennummer und den mechanischen Typ eingestellt werden kann. Anzugeben sind jeweils die kleinste und größte Nummer. Es werden nur die Elemente aus der Datei übernommen, die in diese Nummernbereiche fallen.



Eigene Schnittstellen Funktionen aus DLL aufrufen

Schnittstelle (DLL): Eigene Schnittstellen Funktionen aus DLL aufrufen

Das Kommando ermöglicht es, eigene Schnittstellen Funktionen aufzurufen. Die Funktionen müssen in einer oder mehreren DLLs zur Verfügung gestellt werden.

Nach Eingabe des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:



DLL Datei

Neue Datei laden: Wird der Button angeklickt, so erscheint ein Dateiwahlfenster in dem die DLL-Datei auszuwählen ist, die geladen werden soll.

DLL entfernen: In der aufklappbaren Liste werden die Namen aller DLLs angezeigt, die geladen sind. Wird der Button angeklickt, so wird die in dem Eingabefeld angezeigte DLL entfernt.

DLL-Funktionen

Funktion aufrufen: Wird der Button angeklickt, so wird die Funktion aufgerufen, deren Name in dem Eingabefeld angegeben ist. Beim erstmaligen Aufruf der Funktion muss zuvor in der Liste der DLL-Namen die DLL selektiert werden, in der die Funktion enthalten ist. Wird die Funktion in der DLL gefunden, so wird deren Adresse gespeichert und der Funktionsname in der aufklappbaren Liste angezeigt. Die Funktion kann dann mehrfach aufgerufen werden, bis die zugehörige DLL entfernt wird.

Beim erstmaligen Aufruf des Kommandos wird geprüft, ob in dem „bin“-Verzeichnis von MAKROS eine Datei „maka_interface.ini“ mit Einträgen des folgenden Typs existiert:

#dll kf funktion verzeichnis

„kf“ ist hierin die Typkennzahl der Funktion, „funktion“ der Name einer Funktion und „verzeichnis“ der Pfadname der DLL in der die Funktion enthalten ist.

Zum Beispiel:

```
#dll 0 funct1 G:\boege\makrosa\testdll\dll1\debug\dll1.dll
#dll 0 funct2 G:\boege\makrosa\testdll\dllmfc\debug\dllmfc.dll
#dll 1 testInterface G:\boege\makrosa\testdll\interf\debug\interface.dll
```

Werden entsprechende Einträge gefunden, so werden die darin angegebenen DLLs sofort geladen und die Einsprungstellen der Funktionen ermittelt und gespeichert. Die DLLs und Funktionsnamen werden in die entsprechenden Listen des Dialogfensters eingetragen und können nachfolgend aufgerufen werden.

Prototyp der aufgerufenen Funktionen

MAKROS

Die aufgerufenen Funktionen müssen den folgenden Prototyp aufweisen:

```
extern "C"
```

```
void Interface(void *pCWnd, StructData *data, char *file, nt kz, int kzf, void *p);
```

Die Parameter haben folgende Bedeutung:

pWnd: Zeiger auf das MAKROS Protokollfenster, dieses sollte ggf. als Parent window verwendet werden,

data: Zeiger auf eine Struktur mit allen Projektdaten, die Struktur StructData ist in der Quelldatei „interface.h“ genauer beschrieben,

file: Titel der zu erzeugenden Ausgabedatei,

kz: bei diesem Funktionstyp nicht verwendete Kennzahl,

kzfunkt: Kennzahl des Funktionstyps, muss 1 sein bei diesen Funktionstyp,

p: bei diesem Funktionstyp nicht verwendeter Zeiger auf eine Struktur.

Ein Musterbeispiel für eine Funktion diesen Typs ist in dem Verzeichnis „dll“ enthalten. Vergleiche auch Kapitel 11.

Wir eine Funktion diesen Typs aufgerufen, so wird zunächst angefragt, ob Daten im Arbeitsspeicher noch gesichert werden müssen, da die Daten für die Schnittstelle aus den Binärdateien des aktuellen Projektes gelesen werden. Danach ist der Filetitel für die Schnittstellendatei in einem Dateiwahlfenster anzugeben, dieser Titel wird als Parameter 3 an die aufgerufene Funktion übergeben

MAKROS

Eigene Schnittstelle entwickeln

Die Installations-CD bzw. das Zip-File enthalten im Verzeichnis „**interface**“ die folgenden Quellprogramme die als Muster zur Entwicklung einer eigenen Schnittstellen oder zur Erweiterung der Schnittstellen **NASTRAN** bzw. **PATRAN** dienen können:

- nastran_interface.cpp: main-Funktion der NASTRAN-Schnittstelle „nastran.exe“
- patran_interface.cpp: main-Funktion der PATRAN-Schnittstelle „patran.exe“
- ladedatei.cpp: Funktionen zum Lesen der Binärfiles „projekt.fes“ und „projekt.lqd“
- getData.cpp: Funktion zur Bereitstellen aller Projektdaten in einer Struktur
- nastran.cpp: Funktion zum Erstellen einer NASTRAN-Datei
- patran.cpp: Funktion zum Erstellen einer PATRAN-Datei.

Die Funktion „getStructData“ in der Datei „getData.cpp“ liest alle Daten von den Binärfiles und stellt diese in einer Struktur für die weitere Verarbeitung bereit. Die Struktur ist in der Datei „interface.h“ beschrieben. Die Funktionen „nastran“ bzw. „patran“ schreiben die Daten im NASTRAN- bzw. PATRAN-Format in Textdateien, sie können als Muster für die Entwicklung einer eigenen Schnittstelle dienen bzw. können im Bedarfsfall erweitert werden.

Das Kommando **Schnittstelle (DLL)** ermöglicht es, eigene Schnittstellen aus DLLs aufzurufen.

Berechnungsergebnisse visualisieren (Postprocessing)

Übersicht

MAKROS stellt Kommandos zur Verfügung, die es ermöglichen die Ergebnisse von FE-Berechnungen in verschiedener Form grafisch darzustellen.

Folgende Datentypen können visualisiert werden:

- Knotenpunkt- oder elementbezogene Skalarwerte.

Die Darstellung erfolgt mit dem Kommando **Skalarfeld**. Skalarfeldverteilungen können als Isolinien, Isobänder, Säulendiagramm oder als XY-Plots dargestellt werden.

- Knotenpunkt- oder elementbezogene Vektorwerte.

Die Darstellung erfolgt mit dem Kommando **Vektorfeld**. Vektoren können als Pfeile dargestellt werden. Sofern es sich um Knotenverschiebungen handelt, kann auch die deformierte Struktur geplottet oder eine harmonische Schwingungssimulation durchgeführt werden.

- Elementbezogene Vektorkreuze.

Die Darstellung erfolgt ebenfalls mit dem Kommando **Vektorfeld**. Die beiden Vektoren eines Vektorkreuzes können mit unterschiedlichem Farbindex geplottet werden.

In der Menügruppe **Postprocessing** sind folgende Kommandos zusammengefasst:

Postdaten	Daten für Postprocessing von Dateien laden
Visualisierung	Art der Visualisierung des Skalarfeldes festlegen
Skalarwerte	Wertebereich der darzustellenden Skalarwerte festlegen
Knoten/Elementwerte	Umrechnung zwischen knotenpunkt- bzw. elementbezogenen Skalarwerten
Farbdefinition	Farbwerte der Farbindizes definieren
Lastfall	Lastfallkombination festlegen
E Wahl	Elementauswahl für Strukturplot bzw. Skalarfeldplot
Einzelwerte	Skalarwerte für einzelne Knoten/Elemente anzeigen
Array Plot	3D-Plot und XY-Plot von rechtwinkligen Skalarfeldern
Farbleiste	Lage der Farbleiste und Beschriftungstext festlegen
Vektorplot	Parameter für den Plot von Vektorfeldern einstellen
Deformation	Deformierte Struktur plotten
Schwingung	Dynamische Simulation

Daten für Postprocessing bereitstellen

Die Daten für das Postprocessing werden in Textdateien bereitgestellt und mit dem Kommando **Postdaten** gelesen. Eine Datei enthält die Knoten- oder Elementwerte für einen oder mehrere Berechnungslastfälle.

Mit einer Typkennzahl werden die folgenden Typen von Daten unterschieden:

- ktyp = 0: 1 Skalarwert für jeden Knoten
 = 1: 3 Vektorkomponenten für jeden Knoten
 = 2: 1 Skalarwert für jedes Element
 = 3: mw Skalarwerte für jedes Element: Skalarwerte werden den Elementknotenpunkten zugeordnet
 = 4: mw Skalarwerte für jedes Element: 1 Skalarwert je Elementoberfläche

MAKROS

- = 5: 3 Vektorkomponenten für jedes Element
- = 7: 1 Vektorkreuz je Element
- = 8: mw Skalarwerte für jeden Knoten
- = 9: mw Skalarwerte je Elementschwerpunkt
- = 11: mw Vektoren für jeden Knoten
- = 12: mw Vektoren für jedes Element
- = 14 : mw Vektorkreuze für jedes Element
- = 20 : mw Skalarwerte je Element, die Skalarwerte werden Integrationspunkten zugeordnet
- = 21 : mw Vektoren je Element, die Vektoren werden Integrationspunkten zugeordnet
- = 22 : mw Vektorkreuze je Element, die Vektoren werden Integrationspunkten zugeordnet
- = 30 : 1 Skalarwert je Stabelement
- = 31 : 2 Skalarwerte je Stabelement
- = 32 : mw Skalarwerte je Stabelement
- = 33 : 2*mw Skalarwerte je Stabelement

Die Eingabedateien müssen den folgenden Aufbau haben:

1. Zeile: 4 Ganzzahlen für *ktyp*, *mw*, *lf*, *mip*, *nz1*, *nz2*, *nz3*

ktyp kennzeichnet, welcher Typ von Daten in der Datei enthalten sind.

mw ist die Anzahl Skalarwerte oder Vektoren, die für jeden Knoten bzw. jedes Element gespeichert sind. Ist die Anzahl für verschiedene Elemente unterschiedlich, so ist der größte Wert anzugeben und fehlende Werte sind als 0-Werte zu ergänzen: z. B. ist die Anzahl der Integrationspunkte für Vierecks- und Dreieckselemente unterschiedlich. Enthält die Struktur Dreiecks- und Viereckselemente, so sind bei Dreieckselementen 0-Werte zu ergänzen.

lf ist eine Lastfallnummer zur Unterscheidung von mehreren Lastfällen.

mip ist die Anzahl Integrationspunkte für eine Richtung nur für *ktyp* = 20 – 22 erforderlich.

nz1 ist die Anzahl Kommentarzeilen vor der ersten Datenzeile. Ist *nz1* > 0, so werden die ersten Zeilen der Eingabedatei nach der Formatzeile überlesen.

nz2 ist die Anzahl Datenzeilen bis zum Beginn von Kommentarzeilen. Ist *nz3* = 0, so ist *nz2* ohne Bedeutung.

nz3 ist die Anzahl Kommentarzeilen zwischen den Blöcken mit Datenzeilen. Ist *nz3* > 0, so werden nach jeweils *nz2* Datenzeilen *nz3* Zeilen der Eingabedatei überlesen (vgl. Domo-Eingabedatei „nastran2.stress“).

2. Zeile Textzeile:

In der zweiten Zeile kann eine Textzeile als Lastfallbezeichnung angegeben werden, die als Beschriftungstext bei der grafischen Darstellung verwendet werden kann. Gegebenenfalls muss die 2. Zeile eine Leerzeile sein.

3. Zeile Format:

In der dritten Zeile kann ein FORTRAN-Format für den Aufbau der Datenzeilen angegeben werden. Ist die Zeile leer, so wird in freiem Format gelesen, jede Datenzeile darf dann nur die dem Dateityp entsprechende Anzahl von Skalar- oder Vektorwerten enthalten, die Eingabedatei darf auch keine Kommentarzeilen enthalten.

Mit dem Format (I5,5X,3F12.0) werden zum Beispiel die Knotennummer und die ersten drei Verschiebungskomponenten aus der folgenden Eingabezeile gelesen:

```
8137   G  -7.833E-07  -1.608E-06      0.0      0.0      0.0  -9.991E-08
```

Erstreckt sich ein Datensatz über mehrere Zeilen, so ist ein / für jede neue Zeile anzugeben, z.B. werden mit dem Format (I10, F15.0, 30X, F15.0 / 25X, F15.0, 15X, F15.0) aus der ersten Zeile des folgenden Datensatzes die Ganzzahl und der 1. und 4. Zahlenwert und aus der zweiten Zeile der 2. und 4. Zahlenwert gelesen:

```
1728   7.390112E-01  -1.320112E-01  -5.322112E-02   0.590112E-01  -1.053304E+01
      -7.439936E-09   2.409936E-03   5.489936E-01  -7.439936E-00
```

MAKROS

Mit dem folgenden Format werden die Von-Mises-Vergleichsspannungen in den Eckknoten eines NASTRAN-Elementes vom Typ CHEXA gelesen (vgl. Demo-Eingabedatei „nastran2.stress“):

```
(1X,I11////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0////115X,F15.0//)
```

Hinweis: Es wird nicht mit FORTRAN-Routinen gelesen, sondern das angegebene Format wird interpretiert, wobei nur die folgenden Formatangaben zulässig sind: mIn für ganze Zahlen, mFn.0 für reelle Zahlen und nX für Bereiche, die überlesen werden., m ist ein optionaler Wiederholungsfaktor und n die Feldbreite der Zahl, für nX werden n Zeichen der Zeile überlesen. Tritt beim Lesen eines einzelnen Zahlenwertes ein Fehler auf, so wird die Eingabe fehlerhaft abgebrochen. Enthält die Eingabedatei Kommentarzeilen, so sind die Kennzahlen nz1-nz3 entsprechen anzugeben.

Weitere Zeilen: Datenwerte für Knoten bzw. Elemente

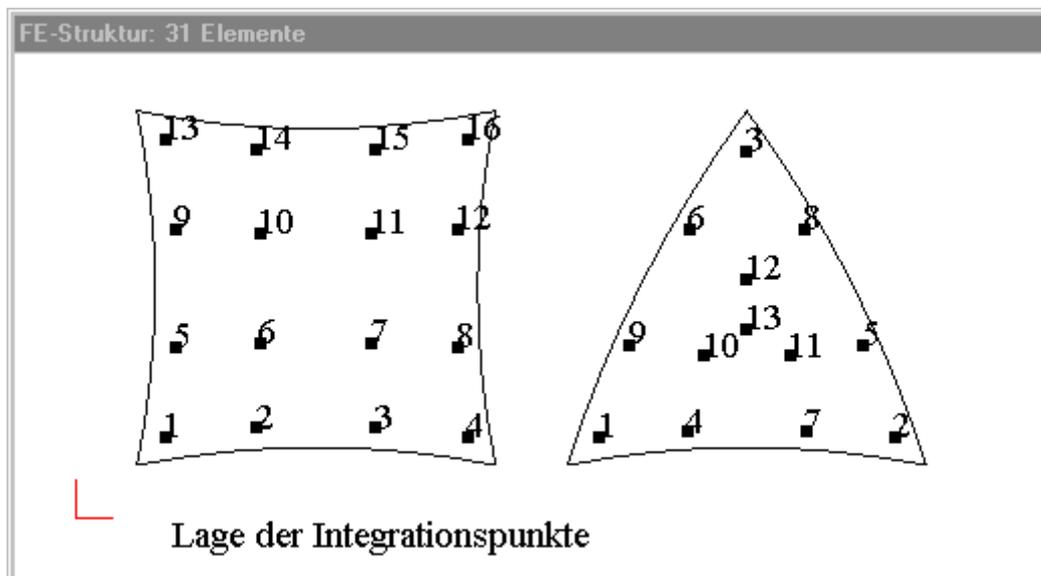
Jede Datenzeile muss als erstes die Knoten- oder Elementnummer enthalten. Danach folgen mw Skalar- oder Vektorwerte. Hinweis: Bei Vektorkreuzen werden die ersten zwei Zahlenwerte als Längen der orthogonalen Vektoren und der dritte Zahlenwert als Winkel in Grad in der Elementebene interpretiert.

Hinweise:

Dateien mit den Datentypen 0 bis 7 und 20 – 22 sowie ≥ 30 werden jeweils als ein Lastfall gespeichert, während Dateien mit den Datentypen 8 bis 14 als mw Lastfälle gespeichert werden. Beispielweise können die Ergebnisse der einzelnen Iterationsschritte einer nichtlinearen Berechnung oder die Knotenverschiebungen der Zeitschritte einer nichtlinearen Schwingung in einer Eingabedatei abgespeichert werden.

Ist bei $ktp = 3$ die Anzahl der gegebenen Skalarwerte kleiner als die maximale Anzahl Knoten des größten Elementes, so wird angenommen, dass nur Skalarwerte in den Elementeckknoten gegeben sind, die Werte für die Knoten auf den Kanten werden dann durch Interpolation bestimmt (vgl. Domo „nastran2.stress“).

Bei $ktp = 20$ bis 22 ist mip die Anzahl Integrationspunkte für eine Richtung, zulässige Werte sind $mip = 2, 3, 4, 5, 6$ bei Viereckselementen und $mip = 2, 3, 4$ bei Dreieckselementen. Die Anzahl Integrationspunkte insgesamt ist $mip * mip$ bei Viereckselementen und 3, 7, 13 bei Dreieckselementen mit $mip = 2, 3, 4$. Die Lage der Integrationspunkte wird wie bei der Gaußquadratur angenommen. Die Reihenfolge der Integrationspunkte ist in der folgenden Grafik für $mip = 4$ dargestellt und gilt für $mip = 2-6$ entsprechend (vgl. K.J. Bathe: Finite Element Methoden). Zur Zeit sind Integrationspunkte nur für drei- und viereckige Flächenelemente, nicht jedoch für Volumenelemente realisiert.



Sind die Skalarwerte in Integrationspunkten gegeben ($ktp = 20 - 22$), so werden die Skalarwerte für die Knoten der Elemente durch Extrapolation bzw. Interpolation für zusätzliche Knoten im Innern gekrümmter Elemente unter Berücksichtigung aller Integrationspunkte berechnet. Gehören hierbei Knoten zu mehreren Elementen, so wird wahlweise der kleinste, der größte oder der Mittelwert der Werte aller angrenzenden Elemente verwendet, wobei nur die Elemente berücksichtigt werden, deren Skalarwerte geplottet werden (vgl. Registerkarte „Ewahl“). Diese

MAKROS

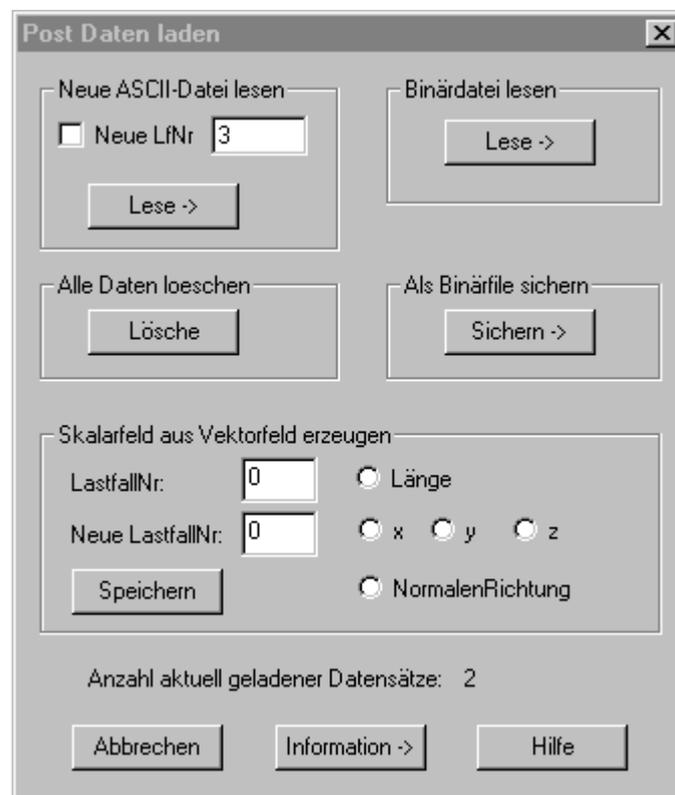
Mittelwertbildung für die gemeinsamen Knoten mehrerer Elemente kann wahlweise auch ausgeschaltet werden, es wird dann die Skalarwertverteilung für jedes Element unabhängig von den Nachbarelementen geplottet.

Die Typkennzahlen $k_{typ} = 30 - 33$ sind für Stab- oder Balkenelemente vorgesehen. Bei $k_{typ} = 31$ sind zwei Skalarwerte für die beiden Stabenden gegeben, dazwischen wird ein linearer Verlauf geplottet. Bei $k_{typ} = 32$ sind Skalarwerte für m_w äquidistante Stabpunkte gegeben, es wird ein linearer Verlauf zwischen den Stabpunkten geplottet. Bei $k_{typ} = 33$ wird angenommen, dass der Stab in m_w gleichlange Abschnitte unterteilt ist, und dass jeweils der linke und rechte Wert für jeden Abschnitt gegeben ist; in den Zwischenpunkten können also Sprünge auftreten.

Die Knoten- bzw. Elementnummern werden als interne Nummern interpretiert, die Daten werden entsprechend dieser Nummern den Knoten oder Elementen zugeordnet. Die Reihenfolge ist beliebig. Sind für einzelne Knoten oder Elemente keine Datenwerte angegeben, so werden die zugehörigen Werte Null gesetzt

Postdaten: Postdaten laden

Für das Postprocessing können gleichzeitig mehrere Datensätze gleichen oder unterschiedlichen Typs in den Arbeitsspeicher geladen werden. Wird das Kommando **Postdaten** aktiviert, so erscheint das dargestellte Dialogfenster mit den folgenden Optionen:



Neue ASCII-Datei lesen

Lese: Nach Anklicken der Schaltfläche erscheint ein Dateiauswahlfenster, in dem der Filetitel der Datei anzugeben ist, aus der die Daten gelesen werden sollen.

Neue Lastfall-Nr.: Wird die Option markiert, so wird die in dem Eingabefeld eingetragene Lastfallnummer zur Kennzeichnung des Datensatzes verwendet. Die nächste freie Lastfallnummer wird automatisch angezeigt. Ist die Option nicht markiert, so wird die Lastfallnummer aus der 1. Zeile der Eingabedatei übernommen.

Alle Daten Löschen

Mit der Schaltfläche "Lösche" werden alle aktuell im Arbeitsspeicher gespeicherten Datensätze gelöscht.

Als Binärfile sichern

MAKROS

Mit der Schaltfläche “Sichern” werden alle aktuell im Arbeitsspeicher gespeicherten Datensätze binär in einer Datei gesichert. Der Dateiname ist in einem Dateiauswahlfenster anzugeben. Die Datei erhält automatisch die Dateinamenserweiterung .pos.

Binärdatei lesen

Mit der Schaltfläche “Lese” kann eine zuvor binär gespeicherte Postdatei wieder gelesen werden.

Skalarfeld aus Vektorfeld erzeugen

Die Option ermöglicht es, die Länge der Vektoren oder eine Vektorkomponente eines gespeicherten Vektorfeldes als ein neues Skalarfeld zu speichern.

LastfallNr.: In dem Eingabefeld ist die Lastfallnummer des Vektorfeldes anzugeben, aus dem das Skalarfeld abgeleitet werden soll.

Neue LastfallNr.: In dem Eingabefeld ist die Lastfallnummer des zu erzeugenden Skalarfeldes anzugeben. Die nächste freie Lastfallnummer wird automatisch eingetragen.

Länge: Wird diese Option markiert, so wird die Länge der Vektoren als Skalarwert verwendet.

x, y, z: Bei diesen Optionen wird die x-, y- oder z-Komponente der Vektoren als Skalarwert verwendet.

Normalenrichtung: Bei dieser Option wird die Projektion der Vektoren in Richtung der Flächennormalen der Elemente als Skalarwert verwendet.

Speichern: Nach Einstellung der Optionen wird mit der Schaltfläche „Speichern“ das Skalarfeld berechnet und abgespeichert.

Information

Nach Anklicken dieser Schaltfläche wird in einem Protokollfenster aufgelistet, welche Datensätze (Lastfallnummer, Typ, kleinster und größter Wert) aktuell gespeichert sind.

Skalarfelder plotten

Nach Eingabe des Kommandos **Skalarfeld** erscheint ein Dialogfenster mit mehreren Registerkarten. Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit der Schaltfläche “Abbrechen” geschlossen wird. Zwischen den Registerkarten kann beliebig gewechselt werden.

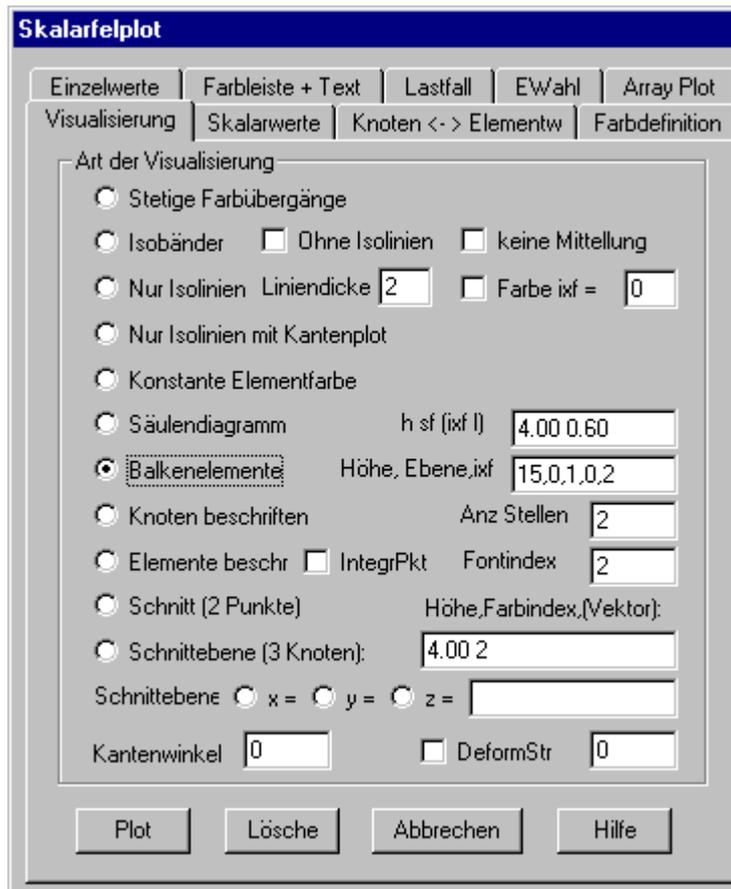
Beim Plot der Skalarwertverteilung werden Flächenelemente mit Zwischenknoten auf den Elementkanten sowie Flächen mit Skalarwerten in Integrationspunkten mit Dreiecksflächen approximiert. Die Anzahl verwendeter Dreiecksflächen ist 32 bei Viereckselementen und 16 bei Dreieckselementen. Die Skalarwerte in den dabei verwendeten Hilfsknoten werden durch Interpolation aus den gegebenen Skalarwerten in Elementeckknoten und ggf. Integrationspunkten berechnet.

Visualisierung: Art der Visualisierung des Skalarfeldes festlegen

Auf der Registerkarte wird die Art der Darstellung der Skalarfeldwerte für nachfolgende Plots festgelegt. Nach Einstellung der Optionen erfolgt die grafische Darstellung mit der Schaltfläche „Plot“. Mit der Schaltfläche „Lösche“ können zuvor alle Displaylisten gelöscht werden.

Das nachfolgende Dialogfenster zeigt die möglichen Optionen:

MAKROS



Stetige Farbübergänge

Den Knotenpunkten der Struktur wird ein Farbwert entsprechend dem Skalarwert des Knotens zugewiesen. Zwischen diesen Knotenfarben erfolgt ein stetiger Farbübergang über die Elementflächen. Die Zuordnung von Farbindizes zu verschiedenen Beträgen der Skalarwerte erfolgt mit der Registerkarte **Skalarwerte**

Isobänder

Für diskrete Skalarwerte werden zunächst die Isolinien ermittelt. Anschließend werden die Flächen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Isolinien mit einer konstanten Farbe ausgefüllt. Wird die Option „Ohne Isolinien“ eingeschaltet, so werden nur die Isobänder geplottet. Die Berechnung der Isobänder erfolgt durch lineare Interpolation unter Verwendung der Skalarwerte in den Elementknoten und ggf. den Integrationspunkten, wobei die Skalarwerte in den Knoten auf gemeinsamen Elementkanten gemittelt werden (vgl. Registerkarte „Knoten <-> Elementw“). Diese Mittelwertbildung kann bei den Skalarfeldtypen 3 und 20 mit der Option „Keine Mittelung“ unterdrückt werden. Es wird dann für jedes Element die Skalarwertverteilung für sich ohne Beachtung der Nachbarelemente geplottet.

Nur Isolinien

Bei dieser Option werden die Flächen zwischen den Isolinien mit der Hintergrundfarbe ausgefüllt. Die Isolinien werden mit den Farben entsprechend ihrem Skalarwert geplottet, sofern nicht die Option „Farbe“ eingeschaltet und eine konstante Farbe für die Isolinien in dem Eingabefeld angegeben ist. Die Liniendicke für die Isolinien kann ebenfalls angegeben werden.

Nur Isolinien mit Kantenplot

Bei dieser Option werden wie vor nur die Isolinien geplottet, jedoch erfolgt kein Hiddensurfaceplot, sondern es werden die Elementkanten und die Isolinien geplottet.

Konstante Elementfarbe

MAKROS

Bei dieser Option werden alle Elementflächen mit einer konstanten Farbe ausgefüllt. Die Farbe wird entsprechend dem Skalarwert der Elemente bestimmt.

Säulendiagramm

Senkrecht zu den Elementflächen werden Säulen geplottet, deren Höhen dem Skalarwert der Elemente proportional sind. In dem Eingabefeld sind die Höhe h für die längste Säule, der Schrumpfungsfaktor sf für die Säulen und wahlweise ein konstanter Farbindex ixf , sowie eine Kennzahl l (Schattierung) für die Säulen anzugeben. Der Schrumpfungsfaktor bestimmt die Breite der Säulen im Verhältnis zur Kantenlänge der Elemente. Ist keine Säulenfarbe eingetragen, so wird die Farbe der Säulen entsprechend dem Skalarwert der Elemente bestimmt. Ist die Kennzahl $l > 0$, so werden die Säulen schattiert geplottet.

Balkenelemente

Die Option ist nur für Stab- oder Balkenelemente und die Skalarfeldtypen $ktyp = 30 - 33$ vorgesehen. Senkrecht zur Stabachse wird in der vorgegebenen Ebene die Skalarfeldverteilung längs der Stab- bzw. Balkenachse geplottet. In dem Eingabefeld sind folgende Parameter anzugeben: Höhe mit der der maximale Skalarwert geplottet werden soll, drei Komponenten eines Richtungsvektors, der in der Ebene liegt in der geplottet werden soll (der Richtungsvektor darf nicht parallel zu einer Stabachse sein) und die Farbe mit der die Skalarwertverteilung geplottet werden soll. Der Plot wird überlagert, die Struktur ist ggf. vorher neu zu plotten.

Knoten beschriftet

Bei dieser Option werden alle in der aktuellen Auswahl enthaltenen Knoten mit dem Zahlenwert des zugehörigen Skalarwertes beschriftet. Anzugeben sind noch die Anzahl Nachkommastellen für die Zahlenwerte und der Fontindex (1-3) für die Schriftgröße und Schriftfarbe.

Elemente beschriftet

Bei dieser Option werden die Elemente in ihrem Schwerpunkt mit dem Skalarwert der Elemente beschriftet. Nachkommastellen und Fontindex sind wie bei Knotenbeschriftung anzugeben. Sind Skalarwerte in Integrationspunkten gegeben und wird die Option „IntegrPkt“ eingeschaltet, so werden die Elemente mit den gegebenen Werten in den Integrationspunkten beschriftet, anderenfalls wird ein Mittelwert für die Elemente berechnet.

Schnitt (2 Punkte)

Bei dieser Option sind nach Anklicken der Schaltfläche „Plot“ die Endpunkte von Schnittgeraden grafisch mit Cursor in der aktuellen Ansicht festzulegen. Für jede Schnittgerade werden in der aktuellen Projektion die Schnittpunkte mit den Elementkanten und die zugehörigen Skalarwerte in diesen Schnittpunkten durch lineare Interpolation entlang der Elementkanten berechnet. Der Verlauf der Skalarwerte entlang der Schnittgeraden wird grafisch dargestellt. In dem Eingabefeld sind die maximale Höhe für die Skalarwertverteilung, der Farbindex für die Flächenfüllung und wahlweise drei Komponenten eines Richtungsvektor für die Fläche anzugeben. Wird kein Richtungsvektor angegeben, so erfolgt der Flächenplot für den Skalarwertverlauf senkrecht zur Elementfläche. Es können nacheinander mehrere Schnittgeraden festgelegt werden. Abgebrochen wird mit der rechten Maustaste.

Schnittebene (3 Knoten)

Bei dieser Option sind nach Anklicken der Schaltfläche Plot drei Knotenpunkte der Struktur für eine räumliche Schnittebene zu selektieren. Es werden dann die Schnittpunkte aller Elementkanten mit dieser Ebene und die Skalarwerte in diesen Schnittpunkten berechnet. Der Verlauf der Skalarwerte wird in dieser Schnittebene farbig dargestellt. Anzugeben sind wie bei der vorangehenden Option die maximale Höhe und der Farbindex. Es können mehrere Schnitte in einer Grafik dargestellt werden.

Schnittebene

Bei dieser Option werden Schnitte parallel zu den Ebenen des globalen Koordinatensystems gebildet. In dem Eingabefeld können mehrere Zahlenwerte für die x-, y- oder z-Koordinaten der Schnittebenen eingetragen werden.

Kantenwinkel

MAKROS

Wird in dem Eingabefeld ein Winkel größer als Null (Grad) eingetragen, so werden nur diejenigen Elementkanten geplottet, bei denen der Winkel zwischen den Normalenvektoren der an die Kante angrenzenden Flächen größer als der angegebene Kantenwinkel ist.

Deformierte Struktur

Wird diese Option angekreuzt, so erfolgt der Skalarfeldplot in der deformierten Struktur, wenn gleichzeitig auch ein Vektorfeld mit Knotenverschiebungen gespeichert und mit dem Kommando **Vektorfeld** aktiviert ist. In dem Eingabefeld ist die Länge für die größte Knotenverschiebung anzugeben.

Skalarwerte: Wertebereich der darzustellenden Skalarwerte festlegen

Auf dieser Registerkarte wird festgelegt, für welche Skalarwerte Isolinien berechnet und welche Farbindizes für die Isobänder verwendet werden sollen. Angezeigt werden der kleinste und größte vorhandene Skalarwert für die gesamte Struktur und die aktuell eingestellte Elementauswahl für welche Skalarwerte geplottet werden sollen. Es sind folgende Optionen vorgesehen:

Skalarfeldplot

Farbdefinition Einzelwerte Farbleiste + Text Lastfall EWahl

Visualisierung Skalarwerte Knoten <-> Elementw

Wertebereich festlegen

S-Min <-> S-Max gesamt: 0.0000 0.9209

S-Min <-> S-Max EWahl: 0.0000 0.9209

Äquidistante Isolinien (s-min,s-max,Anzahl)

0.0000 0.9209 20

Diskrete Einzelwerte (s1,s2,s3,...,sm)

Farbindizes:

Farbindizes

ix1: 20 > s-max: 40 < s-min: 0

Elemente ohne Skalarw: 0 Farbleiste plotten

Aktualisieren Lösche Abbrechen Hilfe

Äquidistante Isolinien (s-min, s-max, Anzahl)

Bei Auswahl dieser Option sind in dem Eingabefeld der kleinste und der größte Wert für eine Folge äquidistanter Isolinien, sowie die Anzahl der Bereiche anzugeben.

Diskrete Einzelwerte (s1, s2, s3, ... sm)

Bei Auswahl dieser Option sind in dem Eingabefeld die Zahlenwerte für maximal 30 einzelne Isolinien anzugeben. Zusätzlich werden wahlweise in dem zweiten Eingabefeld die Farbindizes für den Flächenplot zwischen den Isolinien angegeben. Für fehlende Farbindizes wird jeweils der nachfolgende Index um 1 erhöht, mit ix1 beginnend, wenn nichts eingetragen ist.

Farbindizes

Anzugeben sind folgende Farbindizes

MAKROS

ixI: Farbindex für die erste Isofläche ab der Isolinie s-min bzw. s1. Der Index wird für die nachfolgenden Isoflächen jeweils um 1 erhöht.

>s-max: Farbindex für den Bereich oberhalb der größten angegebenen Isolinie

< s-min: Farbindex für den Bereich unterhalb der kleinsten angegebenen Isolinie

Elemente ohne Skalarwert: Farbindex für die Elemente, für die keine Skalarwertverteilung geplottet wird.

Wird ein Farbindex mit 0 angegeben, so wird die eingestellte Hintergrundfarbe verwendet.

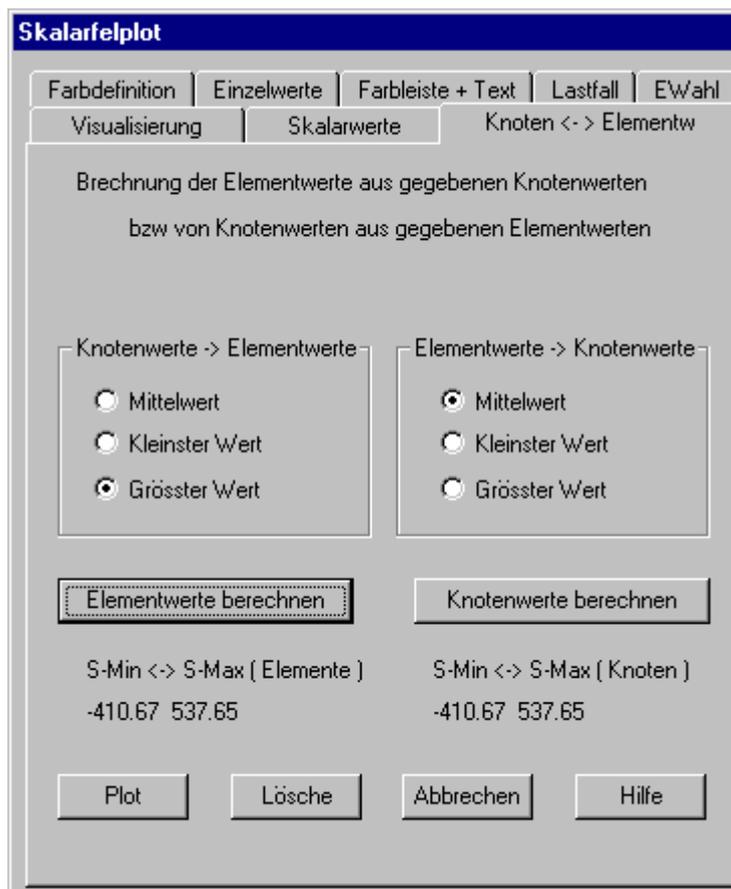
Farbleiste plotten: Mit der Schaltfläche wird die eingestellte Farbverteilung in einer Farbleiste dargestellt.

Knoten<->Elementwerte: Umrechnung zwischen knotenpunkt- bzw. elementbezogenen Skalarwerten

Abhängig von der Art der Visualisierung der Skalarfelder werden entweder die Knotenpunkt- oder die Elementwerte des Skalarfeldes benötigt. Auf der Registerkarte wird festgelegt, wie die Knotenpunktwerte berechnet werden sollen, wenn Elementwerte gegeben sind und umgekehrt.

Sind für die Elemente Skalarwerte in Integrationspunkten gegeben, so werden die Werte für die Elementknoten durch stetige Interpolation bzw. Extrapolation unter Berücksichtigung aller Integrationpunkte berechnet. Wird ein einzelner Skalarwert für den Elementschwerpunkt benötigt (z. B. Säulendiagramm oder Plot mit konstanter Elementfarbe), so wird ein Mittelwert unter Berücksichtigung der Gewichtungsfaktoren der Gaußintegration berechnet.

In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Optionen eingestellt werden:



Knotenwerte → Elementwerte

Mittelwert: Für das Element wird der Mittelwert der Skalarwerte aller Knoten des Elementes berechnet.

Kleinster Wert: Der kleinste Wert aller Knotenwerte wird verwendet.

MAKROS

Größter Wert: Der größte Wert aller Knotenwerte wird verwendet.

Elementwerte → Knotenwerte

Mittelwert: Für jeden Knoten der Struktur wird der Mittelwert der Skalarwerte aller am Knoten angeschlossenen Elemente berechnet.

Kleinster Wert: Der kleinste Wert aller am Knoten angeschlossenen Elemente wird verwendet.

Größter Wert: Der größte Wert aller am Knoten angeschlossenen Elemente wird verwendet.

Elementwerte berechnen

Nach Auswahl der Option werden mit der Schaltfläche die Elementwerte neu berechnet. Die Option ist nur verfügbar, wenn Knotenwerte gegeben sind.

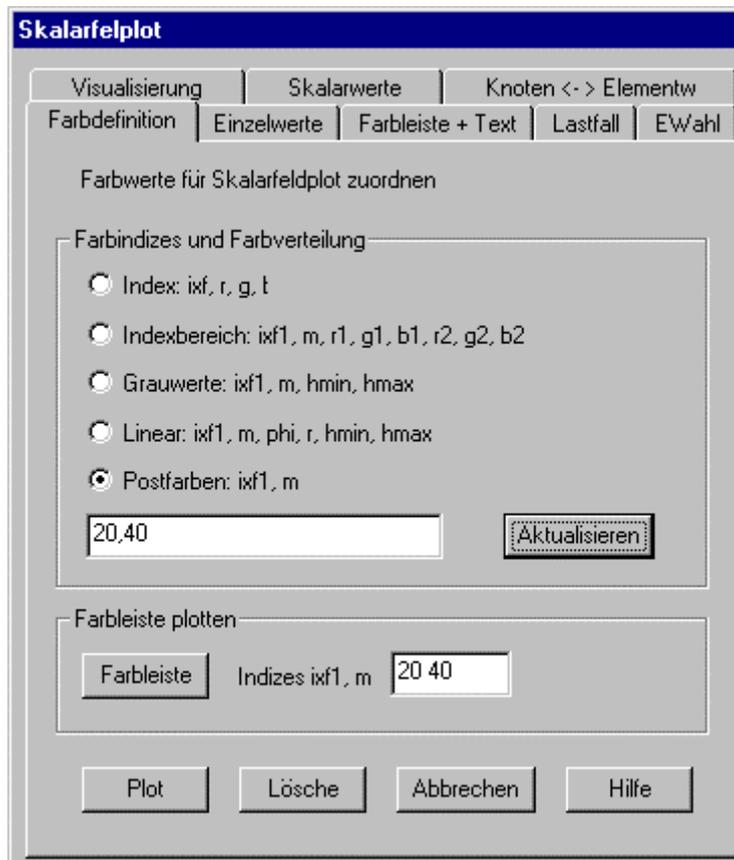
Knotenwerte berechnen

Nach Auswahl der Option werden mit der Schaltfläche die Knotenwerte neu berechnet. Die Option ist nur verfügbar, wenn Elementwerte gegeben sind.

Farbdefinition: Farbwerte der Farbindizes definieren

Mit dieser Registerkarte können die den verschiedenen Farbindizes zugeordneten Farben neu festgelegt werden. (r,g,b) – Farbwerte sind im Bereich 0 – 255 anzugeben.

Es stehen folgende Optionen zur Verfügung:



Index: ixf, r, g, b

Anzugeben sind ein einzelner Farbindex und die (r, g, b)-Farbwerte für diesen Index.

MAKROS

Indexbereich: ixfl, m, r1, g1, b1, r2, g2, b2

Anzugeben sind der kleinste Farbindex ixfl und die Anzahl Farbindizes denen neue Farbwerte zugeordnet werden sollen, sowie die (r, g, b)-Farbwerte für den kleinsten und größten Farbindex. Die Farbwerte für dazwischen liegende Farbindizes werden durch lineare Interpolation bestimmt.

Grauwerte: ixfl, m, hmin, hmax

Anzugeben sind der kleinste Farbindex ixfl und die Anzahl Farbindizes, sowie die Helligkeit hmin und hmax in % für den kleinsten und größten Farbindex. Dazwischen wird linear interpoliert.

Linear: ixfl, m, phi, r, hmin, hmax

Anzugeben sind der kleinste Farbindex (ixfl) und die Anzahl Farbindizes (m), sowie die Farbe (phi), die Sättigung (r) und Helligkeit (hmin) für den kleinsten Farbindex und die Helligkeit (hmax) für den größten Farbindex. Die Farbe wird als Winkel (0-360) und Radius (0-100) des Farbkegels (HLS-Farbsystem) angegeben.

Den Winkeln sind folgende Farben zugeordnet: 0° = blau, 60° = magenta, 120° = rot, 180° = gelb, 240° = grün, 300° = cyan, 360° = blau.

Postfarben: ixfl, m

Anzugeben sind der kleinste Farbindex ixfl und die Anzahl Farbindizes. Zwischen dem kleinsten und dem größten Farbindex erfolgt ein stetiger Farbübergang zwischen den Farben blau, grün, gelb, rot, magenta.

Aktualisieren

Nach Auswahl der Option für die Farbdefinition und Eingabe der numerischen Parameter erfolgt die Aktualisierung der Farbtabelle durch Anklicken der Schaltfläche "Aktualisieren".

Farbleiste plotten

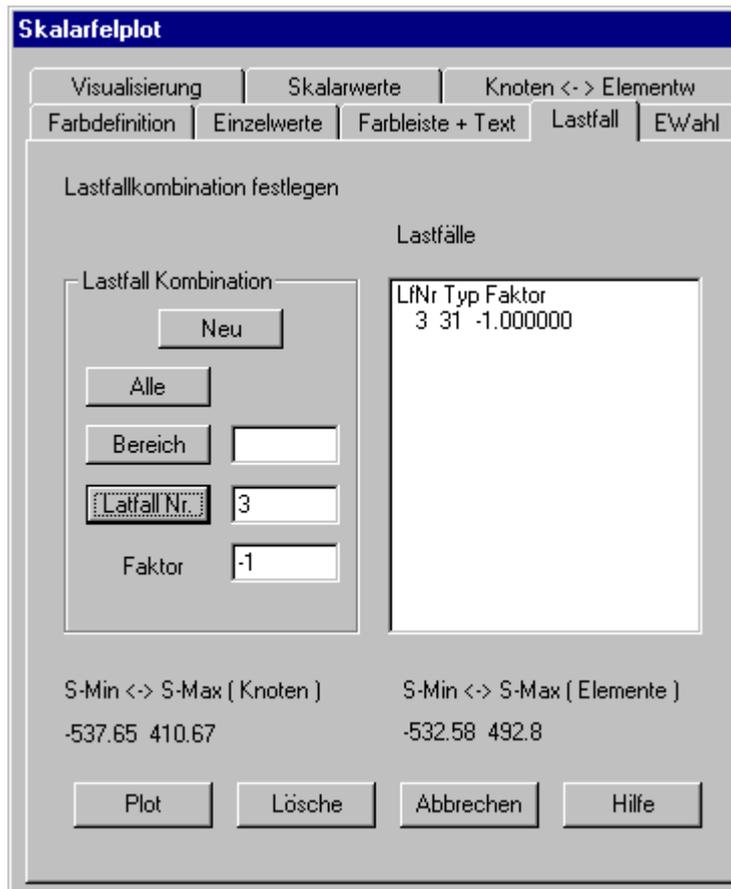
Wird die Schaltfläche "Farbleiste" angeklickt, so wird eine Farbleiste mit den Farben für die Indizes ixfl bis ixfl + m - 1 geplottet. Ixfl und m sind in dem Eingabefeld einzutragen.

Die Schaltfläche "Plot" bewirkt, dass der eingestellte Skalarfeldplot unter Verwendung der geänderten Farbzusordnungen neu erzeugt wird.

Lastfall: Lastfallkombination festlegen

Sofern mehrere Skalarfelder gespeichert sind, kann mit dieser Registerkarte ausgewählt werden, welcher Lastfall geplottet werden soll, es können auch gleichartige Skalarfelder mehrerer Lastfälle mit verschiedenen Faktoren zu einem neuen Skalarfeld kombiniert werden. In der Liste wird angezeigt, welche Skalarfelder aktuell geladen sind, sowie deren Typ und Überlagerungsfaktor. Die Skalarfelder werden durch eine Lastfallnummer identifiziert. Die Typnummer gibt den Typ des Skalarfeldes an (vgl. Kapitel 12). Anzugeben ist für jede Lastfallnummer der Faktor, mit dem das Skalarfeld beim aktuellen Plot berücksichtigt werden soll. Die Auswahl erfolgt mit folgenden Schaltflächen:

MAKROS



Neu

Für alle Skalarfelder wird der Überlagerungsfaktor 0 gesetzt.

Alle

Alle Skalarfelder mit demselben Typ wie das erste Skalarfeld erhalten denselben Überlagerungsfaktor.

Bereich

Anzugeben sind die kleinste und größte Lastfallnummer eines Bereiches von Lastfällen. Alle Skalarfelder in diesem Bereich erhalten denselben Überlagerungsfaktor, sofern sie den gleichen Typ haben.

Lastfallnummer

Einzutragen ist die Lastfallnummer eines einzelnen Skalarfeldes, dem ein Überlagerungsfaktor zugewiesen werden soll.

Faktor

Einzutragen ist der Überlagerungsfaktor, der den ausgewählten Skalarfeldern zugewiesen werden soll.

Speichern

Nach Einstellung der Auswahl wird mit der Schaltfläche "Speichern" die Zuweisung der Überlagerungsfaktoren durchgeführt.

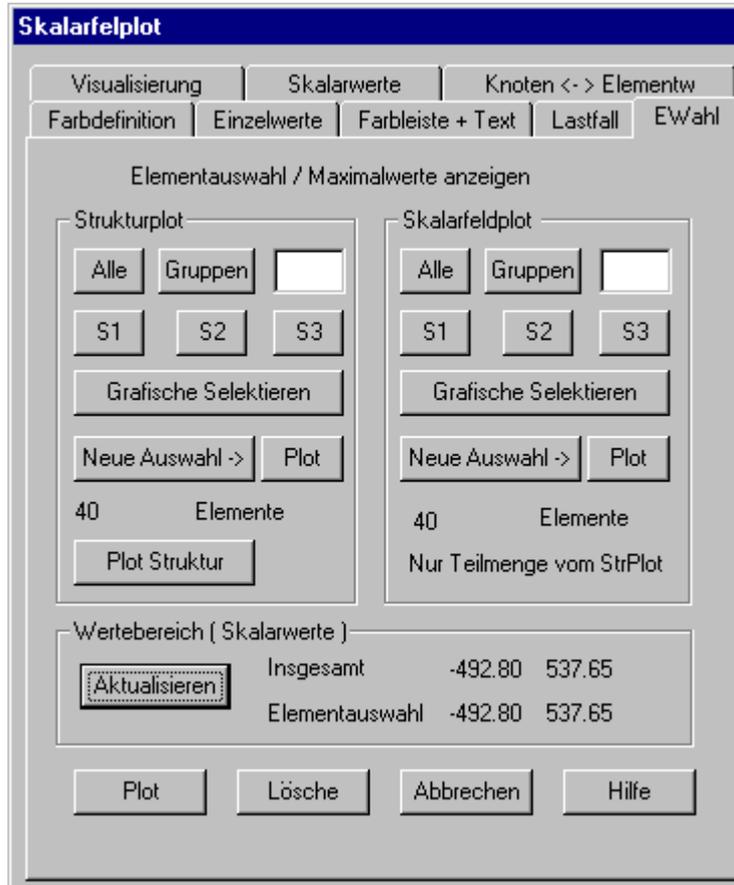
Die Schaltfläche "Plot" bewirkt, dass der aktuelle Skalarfeldplot neu erzeugt wird.

MAKROS

EWahl: Elementauswahl für Strukturplot bzw. Skalarfeldplot.

Unterschieden wird zwischen Elementauswahl für Strukturplot und Elementauswahl für Skalarfeldplot. Geplottet werden immer nur die Elemente, die in der Auswahl für Strukturplot enthalten sind; dabei wird die Skalarfeldverteilung jedoch nur bei den Elementen dargestellt, die auch in der Auswahl für Skalarfeldplot enthalten sind, die anderen Elemente werden mit der für die Elemente angegebenen Farbe gezeichnet.

Für die Auswahl stehen die folgenden Optionen zur Verfügung:



Strukturplot

Die Elementauswahl für den Strukturplot ist anzugeben. Mit der Schaltfläche „Plot Struktur“ kann der Plot aktualisiert werden.

Skalarfeldplot

Es ist auszuwählen für welche Elemente Skalarwerte bzw. Vektorwerte geplottet werden sollen. Nur Elemente, die auch in der Auswahl für Strukturplot enthalten sind, können ausgewählt werden.

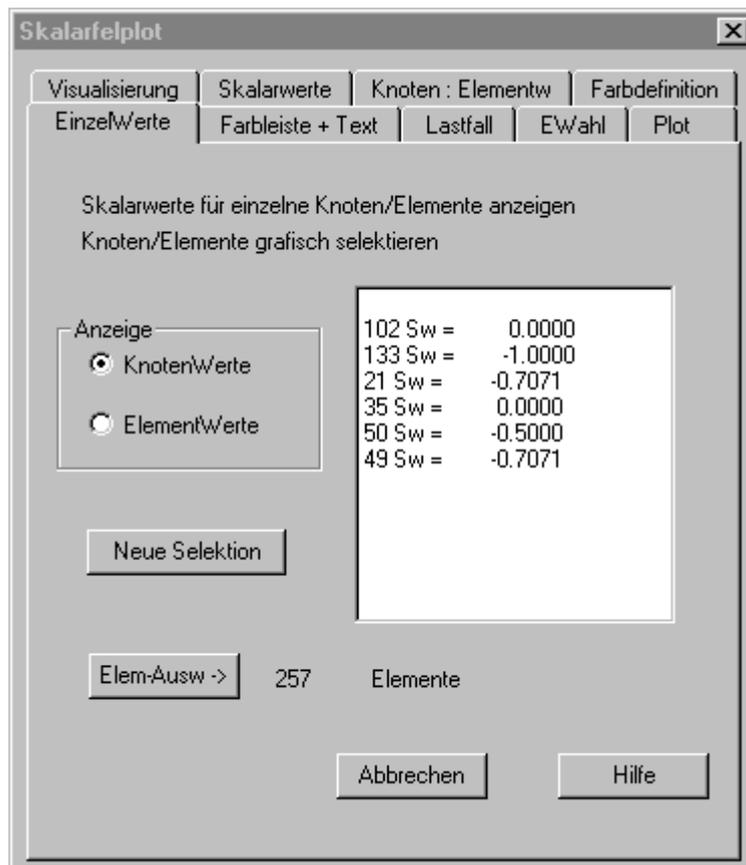
Wertebereich (Skalarwerte)

Wird die Schaltfläche „Aktualisieren“ angeklickt, so werden der kleinste und größte Skalarwert des aktiven Lastfalls für alle Elemente und für die Auswahl für Skalarfeldplot neu ermittelt und in dem Dialogfenster angezeigt.

MAKROS

Einzelwerte: Skalarwerte für einzelne Knoten/Elemente anzeigen.

Mit dieser Registerkarte können grafisch interaktiv die Skalarwerte für einzelne Knotenpunkte oder Elemente erfragt werden. Auszuwählen ist zunächst, ob Knoten- oder Elementwerte angezeigt werden sollen. Nach Anklicken der Schaltfläche "Neue Selektion" sind dann die Knoten bzw. Elemente mit Cursor zu selektieren, deren Werte dann in dem Listenfeld des dargestellten Dialogfensters angezeigt werden. Alle selektierbaren Knoten bzw. Elemente werden mit einem Symbol markiert. Mit der Schaltfläche „Elementauswahl“ kann für eine bessere Übersicht die Anzahl selektierbarer Knoten/Elemente eingeschränkt werden.



Farbleiste + Text: Lage der Farbleiste und Beschriftungstext festlegen.

Mit der Registerkarte wird die Lage der Farbleiste festgelegt und der Beschriftungstext für die Grafik angegeben.

MAKROS

Skalarfeldplot

Visualisierung | Skalarwerte | Knoten <-> Elementw

Farbdefinition | Einzelwerte | Farbleiste + Text | Lastfall | EWahl

Lage der Farbleiste und Beschriftungstext festlegen

Farbleiste

Position x,y,h in % der Fenstergröße: Einschalten

Horizontal

Beschriftung

Anzahl Werte: Stellen

Lastfallbeschriftung (Textgruppe -1)

Einschalten

Text:

Position (x,y in %): Font (1,2,3):

Farbleiste

Position x, y, h in % der Fenstergröße: Anzugeben sind die Lage und Höhe der Farbleiste in % der Fenstergröße.

Einschalten: Die Farbleiste wird in einem eigenen Layer geplottet. Wird die Option "einschalten" markiert, so wird dieser Layer bei Aufbau eines neuen Bildes nicht gelöscht. Der Layer wird jedoch automatisch gelöscht, wenn das gesamte Dialogfenster für Skalarfeldplot geschlossen wird.

Horizontal: Wird diese Option eingeschaltet, so wird die Farbleiste horizontal geplottet, anderenfalls vertikal.

Beschriftung: Für die Beschriftung der Farbleiste ist anzugeben, wie viele Zahlenwerte und wie viele Nachkommastellen geplottet werden sollen.

Plot: Mit der Schaltfläche „Plot“ wird die Farbleiste geplottet.

Lastfallbeschriftung

Für die Beschriftung der Grafik mit einer Lastfallbezeichnung sind folgende Angaben zu machen:

Text: In dem Eingabefeld kann eine Textzeile eingetragen werden. Wird die Schaltfläche "Aktueller Lastfall" angeklickt, so wird die Lastfallbezeichnung von dem Datensatz des aktiven Lastfalls übernommen (zweite Zeile der Eingabedatei).

Position: Anzugeben ist die Position der Textzeile in % der Fenstergröße

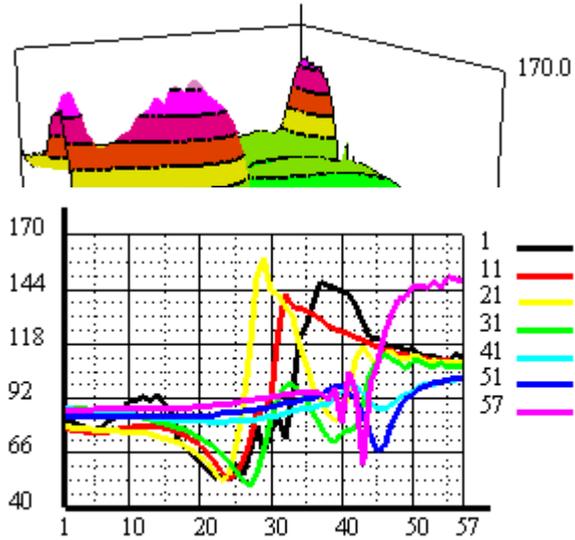
Font: Anzugeben ist die Nummer des Fonts für die Textzeile

Die angegebene Lastfallbeschriftung wird als Textgruppe -1 gespeichert und zusammen mit den anderen aktiven Textgruppen (vgl. Kommando **Bildbeschriftung**) geplottet.

MAKROS

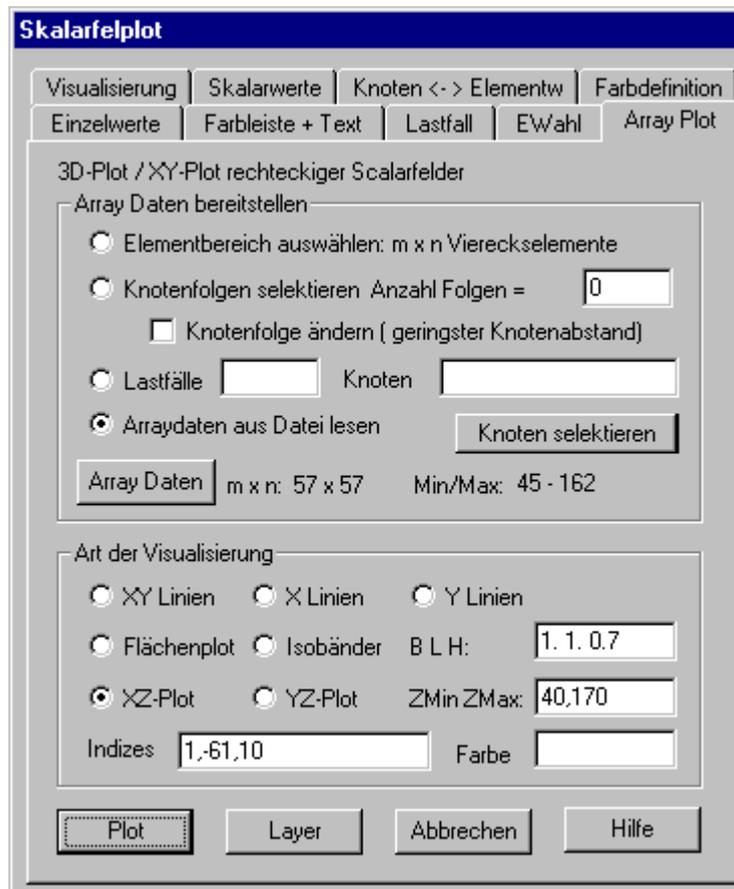
Array Plot: 3D-Plot und XY-Plot von rechteckigen Skalarfeldern

Das Kommando ermöglicht den 3D-Plot und XY-Plot von Skalarwerten, die in einer rechteckigen Matrix von m Zeilen und n Spalten bereitgestellt werden (Bild).



MAKROS

Nach Aufruf des Kommandos erscheint das dargestellte Dialogfenster mit folgenden Optionen:



Array Daten bereitstellen

Elementbereich auswählen: m x n Elemente

Bei dieser Option ist zunächst in einem Elementwahlfenster ein zusammenhängender Bereich von $m \times n$ Viereckselementen auszuwählen. Sind Volumenelemente in der Auswahl enthalten, so wird von diesen Elementen nur diejenige Oberfläche verwendet (maximal eine Oberfläche), deren Eckknoten alle in der aktuell gespeicherten Knotenauswahl enthalten sind, d. h. bei Volumenelementen ist vor der Elementauswahl zusätzlich auch eine Knotenauswahl anzugeben und zu speichern. Von den ausgewählten Viereckselementen wird der umschließende Rand ermittelt, der genau 4 Seiten und 4 Eckknoten umfassen muss, mit gleicher Anzahl Knoten auf den gegenüberliegenden Seiten. Der Rand und die Eckknoten werden farbig geplottet. Von den vier Eckknoten des umrandeten Gebietes sind anschließend zwei Eckknoten einer Seite grafisch mit Cursor zu markieren, diese Seite wird dann als x-Achse für den 3D-Plot bzw. als erste Matrixzeile beim XY-Plot verwendet. Die aktuellen Skalarwerte der Eckknoten der in dem markierten Gebiet enthaltenen Elemente werden als Arraydaten in einer Matrix bereitgestellt.

Knotenfolgen selektieren

Bei dieser Option sind grafisch eine oder mehrere Knotenfolgen mit je gleicher Anzahl (n) von Knoten zu selektieren. Die Anzahl (m) der Knotenfolgen ist in dem Eingabefeld anzugeben. Die Skalarwerte in den selektierten Knoten werden als Arraydaten in einer (m/n)-Matrix bereitgestellt, wobei jede Knotenfolge eine Zeile der Matrix definiert. Die Knoten werden bei Einzelpunktselektion in der selektierten Folge und bei Selektion aus einem Rechteck- oder Polygonzugbereich in der Folge ihrer internen Speicherung angeordnet. Ist die Option „Knotenfolge ändern“ markiert, so werden die Knotenfolgen vom Programm so abgeändert, dass der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Knoten möglichst gering ist.

Lastfälle

Diese Option kann verwendet werden, wenn mehrere Lastfälle von knoten- oder elementbezogenen Skalarwerten gespeichert sind. In dem Eingabefeld ist der Bereich der Lastfallnummern (kleinste und

MAKROS

größte Lastfallnummer) unter denen die Lastfälle gespeichert sind anzugeben. Zusätzlich ist in dem Eingabefeld für Knoten eine Knotenauswahl bei knoten- bzw. eine Elementauswahl bei elementbezogenen Skalarwerten anzugeben. Für die Knoten- bzw. Elementauswahl kann ein Bereich in der Form $k1 - k2 \text{ kd}$ angegeben werden, mit $k1$ = erste, $k2$ = letzte interne Knotennummer und kd = Inkrement. Wird die Schaltfläche „Knoten selektieren“ angeklickt, so kann die Knoten- bzw. Elementauswahl auch anschließend grafisch mit Cursor selektiert werden. Für jeden angegebenen Knoten bzw. jedes Element wird eine Matrixzeile aufgebaut, mit den Werten der für die verschiedenen Lastfälle gespeicherten Skalarwerte. Die Anzahl Zeilen entspricht also der Anzahl Knoten (Elemente) und die Länge der Zeilen der Anzahl Lastfälle. Diese Option ist insbesondere vorgesehen für den Fall, dass für verschiedene Zeit- oder Iterationsschritte Skalarwerte berechnet und gespeichert sind (Skalarfeldtypkennzahl 8 bzw. 9) und der Verlauf für einzelne Knoten bzw. Elemente in einem XY-Plot visualisiert werden soll.

Arraydaten aus Datei lesen

Bei dieser Option werden Arraydaten aus einer ASCII-Datei gelesen. In der ersten Zeile der Datei ist die Anzahl der Zeilen (m) und der Spalten (n) der Matrix anzugeben, danach folgen $m * n$ Skalarwerte, in der Folge der Matrixzeilen. (vergl. Demo File „arrayview.dat“)

Array Daten

Wird die Schaltfläche angeklickt, so werden die Arraydaten entsprechend der markierten Option ermittelt und in einer Matrix für nachfolgende Plots bereitgestellt. Die Arraydaten bleiben gespeichert, bis das gesamte Dialogfenster für Skalarfeldplot geschlossen wird. Die Größe der Matrix ($m \times n$) wird in dem Dialogfenster angezeigt zusammen mit dem kleinsten und größten Skalarwert in der Matrix.

Art der Visualisierung

XY Linien: Bei dieser Option werden in einem 3D-Plot Netzlinien für alle Zeilen und Spalten der Matrix geplottet.

X Linien: Bei dieser Option werden Netzlinien nur für die Matrixzeilen geplottet, wobei alle oder einzelne Zeilen ausgewählt werden können.

Y Linien: Bei dieser Option werden Netzlinien nur für alle oder ausgewählte Spalten der Matrix geplottet.

Flächenplot: Bei dieser Option werden die Flächen zwischen den Netzlinien in einem 3D Hiddenlineplot farbig ausgefüllt, der Farbindex ist in dem Eingabefeld anzugeben.

Isobänder: Bei dieser Option werden Isobänder in 3D-Darstellung geplottet. Die Anzahl und Farben der Isobänder sind auf der Registerkarte „Skalarwerte,“ bzw. „Farbdefinition“ und die Art der Darstellung auf der Registerkarte „Visualisierung“ (Optionen: Isobänder, Nur Isolinien, Nur Isolinien mit Kantenplot, Kantenwinkel) anzugeben.

XZ-Plot: Bei dieser Option wird ein XY-Plot für ausgewählte Zeilen der Matrix geplottet (siehe Grafik)

YZ-Plot: Bei dieser Option wird ein XY-Plot für ausgewählte Spalten der Matrix geplottet.

B L H: In dem Eingabefeld können Zahlenwerte für die Breite, Länge und Höhe des umschließenden Quaders des 3D-Plots angegeben werden. Bei XY-Plots werden B und H für das Verhältnis von Breite zur Höhe des XY-Plots verwendet.

ZMin ZMax: In dem Eingabefeld können Zahlenwerte für den kleinsten bzw. größten Wert auf der Z-Achse angegeben werden, wobei diese kleiner bzw. größer als der kleinste bzw. größte vorhandene Wert der Matrix sein müssen.

Indizes: Für die Optionen „X Linien“, „Y Linien“, „XZ-Plot“ und „YZ-Plot“ können in dem Eingabefeld die Indizes derjenigen Zeilen bzw. Spalten der Matrix angegeben werden, die geplottet werden sollen. Wird für den zweiten Index eine negative Zahl angegeben, so wird dieser Index als obere Grenze eines Bereiches, und der dritte Index als Inkrement interpretiert. Z. B. 1,-61,10 bedeutet jede 10. Zeile von 1 bis 61. Ist das Eingabefeld leer, so werden alle Zeile bzw. Spalten geplottet.

Farbe: In dem Eingabefeld können Farbindizes für die verschiedenen Kurven beim XY-Plot angegeben werden. Fehlt die Angabe, so werden fortlaufende Indizes verwendet. Den Indizes -1, -2, -3, -4 werden verschiedene Linientypen, z. B. für Postscriptausgabe zugeordnet.

Plot

Mit der Schaltfläche wird eine neue Grafik ausgegeben.

Layer umschalten

Mit der Schaltfläche kann zwischen Array Plot und Strukturplot umgeschaltet werden, wobei jeweils die entsprechenden OpenGL – Layer ein- bzw. ausgeschaltet werden. Eine Umschaltung der Layer erfolgt automatisch, wenn eine andere Registerkarte des Dialogs „Skalarfeldplot“ ausgewählt wird. Wird das gesamte Dialogfenster geschlossen, so werden die aktuell gespeicherten Arraydaten und die Layer gelöscht.

Vektorfelder plotten

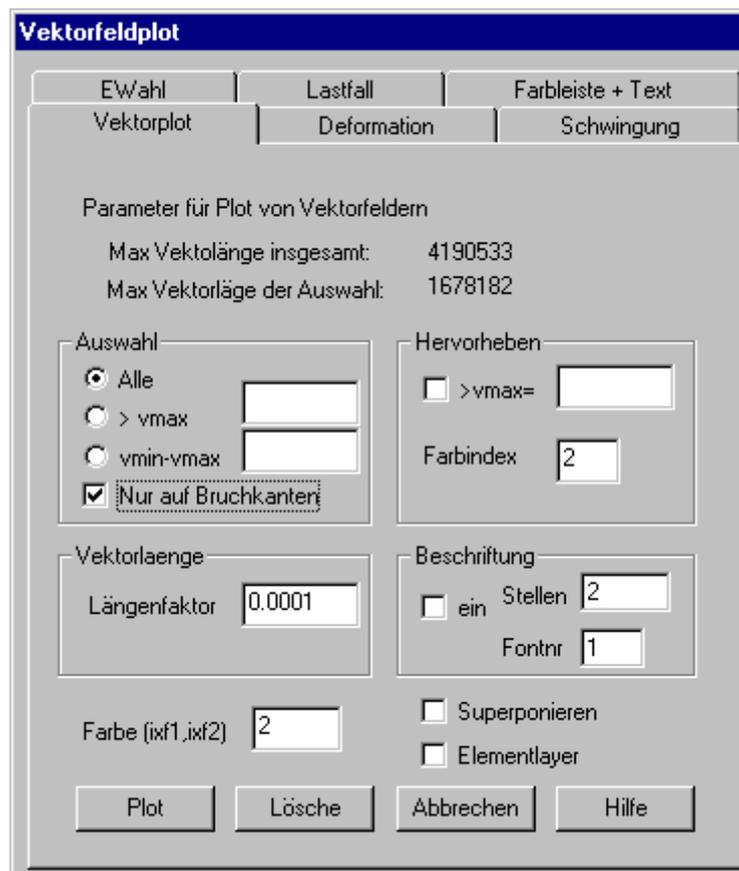
Nach Eingabe des Kommandos **Vektorfeld** erscheint ein Dialogfenster mit mehreren Registerkarten. Das Dialogfenster bleibt aktiv, bis es mit der Schaltfläche “Abbrechen” geschlossen wird. Zwischen den Registerkarten kann beliebig gewechselt werden.

Vektorplot: Parameter für den Plot von Vektorfeldern einstellen

Mit der Registerkarte werden Einstellung für den Plot von Vektoren vorgenommen. Vektoren werden durch farbige gerade Linien ohne Richtungspfeil dargestellt.

Ist die Struktur als Flächenmodell geplottet worden, so werden nur die Vektoren in sichtbaren Knoten gezeichnet, jedoch ist die Ermittlung der sichtbaren Knoten wegen Rundungen nicht immer absolut zuverlässig. Wurden nur Bruchkanten geplottet, so werden wahlweise nur die Vektoren in den Knoten auf diesen Kanten oder alle Vektoren geplottet.

Es sind folgende Angaben zu machen:



Auswahl

Alle: Alle Vektoren des aktiven Vektorfeldes und der ausgewählten Elemente werden dargestellt.

> vmax: Dargestellt werden nur die Vektoren, deren Betrag größer als der angegebene Wert ist.

MAKROS

vmin - vmax: Dargestellt werden alle Vektoren, deren Länge innerhalb des in dem Eingabefeld angegebenen Wertebereiches liegt. Die Auswahl der Vektorlänge ermöglicht durch mehrfachen Plot mit Superposition eine farbige Abstufung entsprechend der Vektorlänge.

Nur Bruchkanten: Ist diese Option eingeschaltet, so werden nur die Vektoren von Knoten auf Bruchkanten gezeichnet.

Hinweis: Ist die Struktur als Flächenmodell geplottet, so werden nur die Vektoren in den sichtbaren Knoten geplottet, hierbei ist jedoch zu beachten, dass infolge von Rundungsfehlern die Ermittlung der sichtbaren Knoten nicht immer absolut korrekt ist.

Vektorlänge

In dem Eingabefeld ist der Faktor anzugeben, mit welchem die Vektoren für die Darstellung multipliziert werden sollen.

Hervorheben

Die Option ermöglicht es, innerhalb des Vektorplots Vektoren farbig hervorzuheben, deren Länge größer als ein vorgegebener Wert ist. Anzugeben sind eine Vektorlänge und der Farbindex für die hervorzuhebenden Vektoren.

Beschriftung

Wahlweise können die Vektoren mit dem Zahlenwert der Vektorlänge beschriftet werden. Anzugeben ist die Anzahl der Nachkommastellen und der Schriftfont.

Farbe

Einzutragen ist der Farbindex mit dem die Vektoren geplottet werden sollen. Bei der Darstellung von Vektorkreuzen sind zwei Farbindizes anzugeben.

Superpositionieren

Ist diese Option eingeschaltet, so werden verschiedene Plots in eigenen Layern gezeichnet. Hiermit können auch die Vektoren verschiedener Lastfälle gleichzeitig mit verschiedenen Farben dargestellt werden

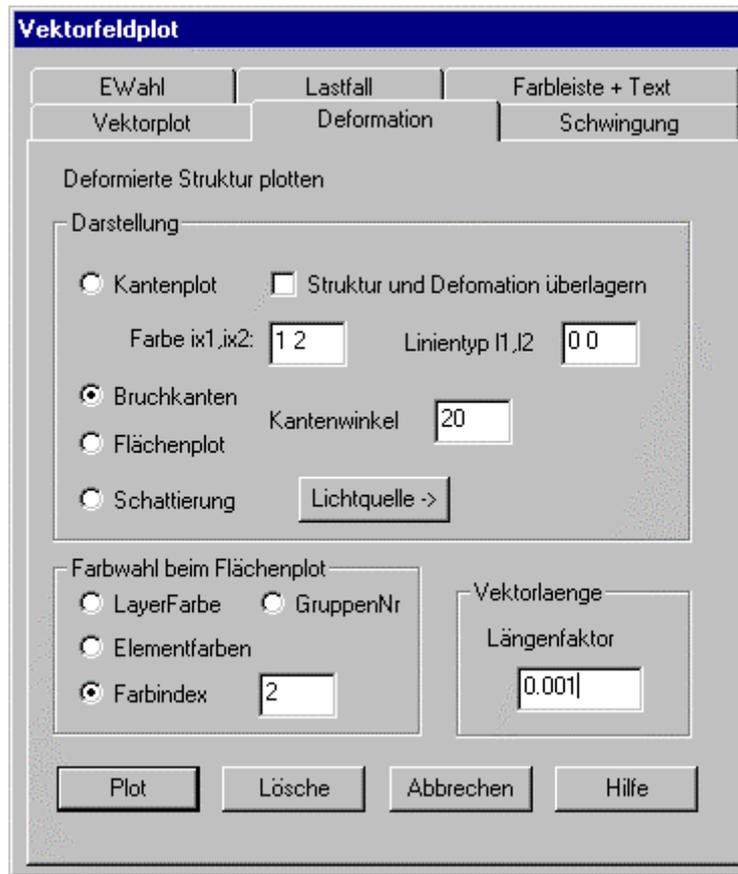
Elementlayer

Ist diese Option eingeschaltet und sind verschiedenen Strukturteilen verschiedene Layer zugeordnet, so werden die Vektoren der Strukturteile in diesen Elementlayern geplottet; damit können mit dem Kommando „Layer“ die Vektoren verschiedener Strukturteile sehr einfach ein- und ausgeblendet werden.

Mit der Schaltfläche „Plot“ wird der Vektorplot aktiviert. Mit der Schaltfläche „Lösche“ werden alle Displaylisten gelöscht.

Deformation: Deformierte Struktur plotten

Den Knotenpunkten zugeordnete Vektoren können als Verschiebungsvektoren der Knoten interpretiert werden. Mit der Registerkarte können die Verschiebungen als Strukturdeformation visualisiert werden. In dem dargestellten Dialogfenster können die folgenden Optionen eingestellt werden:



Darstellung

Kantenplot: Die Struktur wird als Kantenmodell geplottet. Wird die Option „Struktur und Deformation überlagern“ markiert, so werden die nicht deformierte Struktur mit dem Farbindex ix1 und dem Linientyp I1 und die deformierte Struktur mit dem Farbindex ix2 und Linientyp I2 in zwei Displaylisten geplottet.

Bruchkanten: Wird die Option angekreuzt, so werden nur die Kanten des Modells geplottet, bei denen der Winkel zwischen den Normalenvektoren der an die Kante angrenzenden Flächen größer als der im Eingabefeld angegebene Winkel ist.

Flächenplot: Die deformierte Struktur wird als Flächenmodell geplottet.

Schattierung: Die deformierte Struktur wird schattiert. Wird die Schaltfläche „Lichtquelle“ angeklickt, so können in einem Dialogfenster weitere Parameter für die Lichtquelle eingestellt werden.

Kantenwinkel: Bei Bruchkantenplot muss ein Kantenwinkel angegeben werden. Ist bei Flächenplot ein Kantenwinkel eingetragen, so werden nur die Bruchkanten mit größerem Winkel zwischen den Normalenvektoren der Flächen geplottet.

Farbwahl bei Flächenplot

Für Flächenplot ist auszuwählen, mit welchen Farben die Flächen geplottet werden sollen. Die Optionen entsprechen dem Kommando „**Plot Struktur**“.

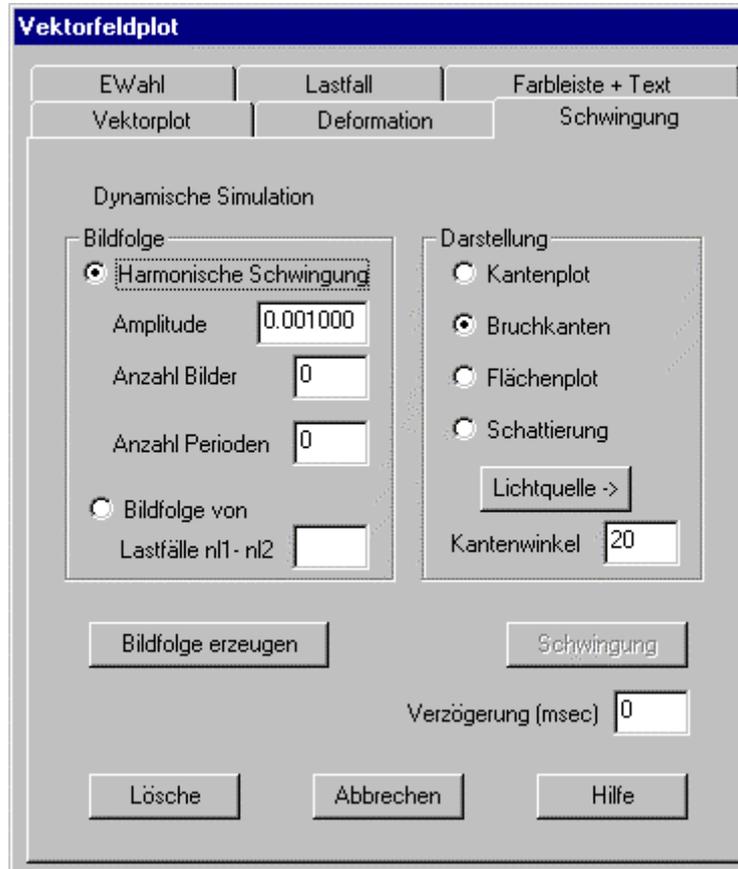
Vektorlänge

Anzugeben ist der Faktor, mit dem die Vektoren für die Darstellung multipliziert werden sollen.

Mit der Schaltfläche „Plot“ wird die deformierte Struktur geplottet. Mit der Schaltfläche „Lösche“ werden alle Displaylisten gelöscht.

Schwingung: Dynamische Simulation

Knotenverschiebungen können auch als Amplituden einer harmonischen Schwingung interpretiert werden. In dem dargestellten Dialogfenster können folgende Optionen eingestellt werden:



Harmonische Schwingung

Amplitude: In dem Eingabefeld ist der Faktor anzugeben, mit dem die Vektoren für die Darstellung multipliziert werden sollen.

Anzahl Bilder: Einzutragen ist die Anzahl Bilder für einen halben Schwingungszyklus

Anzahl Perioden: Einzutragen ist die Anzahl Schwingungszyklen, die durchlaufen werden sollen.

Bildfolge von

Eine nicht harmonische Schwingung wird durch eine Bildfolge simuliert. Hierfür müssen für jedes Einzelbild die Knotenverschiebungen als ein Vektorfeld mit aufeinanderfolgenden Lastfallnummern gegeben sein. In dem Eingabefeld werden die Nummern des ersten und des letzten dieser Lastfälle angegeben.

Darstellung

Anzugeben ist wie bei der Darstellung der Strukturdeformation, wie die Struktur abgebildet werden soll. Mit der Schaltfläche „Lichtquelle“ können bei schattierter Darstellung Parameter für die Lichtquelle eingestellt werden.

Bildfolge erzeugen

Nach Einstellung der Parameter für die dynamische Simulation wird mit dieser Schaltfläche die Bildfolge für die Simulation erzeugt.

Schwingung

MAKROS

Mit der Schaltfläche „Schwingung“ werden die Bilder in rascher Folge auf dem Bildschirm ausgegeben. Die Schnelligkeit ist stark von der Größe des Grafikfensters und der Grafikkarte abhängig. Ist die Bildfolge zu schnell, so kann in dem Eingabefeld eine Bildverzögerung in Millisekunden angegeben werden.

Ewahl: Elementauswahl für Strukturplot bzw. Vektorfeldplot.

Mit der Registerkarte kann eine Elementauswahl für den Strukturplot und für den Vektorfeldplot angegeben werden, so dass ggf. nur die Vektoren bestimmter Elemente geplottet werden. Außerdem können die kleinste und größte Länge der Vektoren des gesamten aktiven Lastfalls und der Elementauswahl für Vektorfeldplot ermittelt und angezeigt werden (vgl. entsprechende Registerkarte bei Strukturfeldplot).

Lastfall: Lastfallkombination festlegen

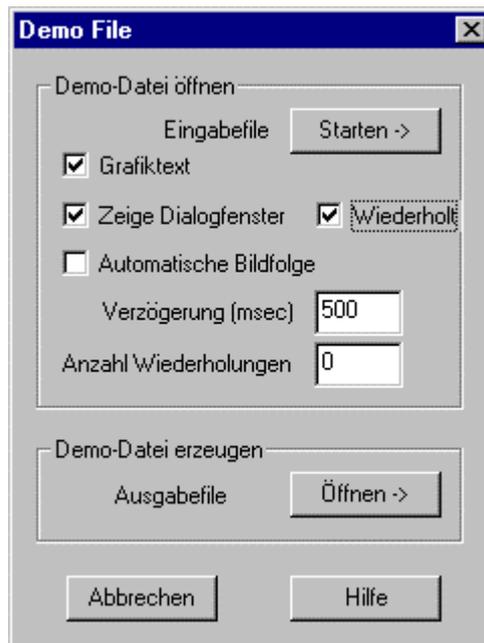
Vektorfelder gleichen Typs können zu einem neuen Lastfall kombiniert werden. Mit der Registerkarte sind die Überlagerungsfaktoren anzugeben. Die Registerkarte ist dieselbe wie bei Skalarfeldplot.

Demo-Dateien, Tutorial

Kommando Demo File

Kommando-Sequenzen von MAKROS können in einer Datei aufgezeichnet und später in einem Demonstrationslauf wieder reproduziert werden. **Demonstrationsdateien** erhalten automatisch die Dateinamenserweiterung .dem. Wahlweise können bei Reproduktion der Kommandos auch die zu den Kommandos gehörigen Dialogfenster angezeigt werden.

Demonstrationsläufe werden mit dem Kommando **Demo File** in der Menügruppe **Hilfe** gestartet, es erscheint das dargestellte Dialogfenster, in dem die folgenden Parameter eingestellt werden können:



Demo-Datei öffnen

Grafiktext: Jedem Kommando ist eine Textzeile mit Namen und Funktion des Kommandos zugeordnet. Wird die Option markiert, so wird dieser Text jeweils im Grafikfenster angezeigt.

Zeige Dialogfenster: Ist diese Option markiert, so wird für jedes neue Kommando auch das zugehörige Dialogfenster, in dem die Kommandoparameter eingestellt werden, angezeigt.

Wiederholt: Ist diese Option zusätzlich markiert, so werden die Dialogfenster bei jedem Kommando erneut angezeigt, sonst nur bei erstmaliger Verwendung eines Kommandos.

Automatische Bildfolge: Wird diese Option markiert, so wird nach der in dem Eingabefeld angegebenen Zeitverzögerung automatisch das nächste Kommando aufgerufen. Die Zeitverzögerung ist in Millisekunden > 0 anzugeben. Es erscheint ein Dialogfenster, mit dem der automatische Ablauf an jeder Stelle angehalten werden kann. Ist kein automatischer Ablauf eingestellt, so wird nach jeder neuen Grafik die Kommandofolge angehalten. In einem Dialogfenster kann dann wahlweise der Demonstrationslauf beendet oder fortgesetzt oder es kann auf automatische Kommandofolge umgeschaltet werden.

Anzahl Wiederholungen: Wird in dem Eingabefeld eine Zahl $m > 0$ eingetragen, so wird nach Abarbeitung aller Kommandos in der Datei diese m mal wieder von vorne gestartet.

Starten: Mit der Schaltfläche wird der Demonstrationslauf gestartet. In einem Dateiwahlfenster ist die Datei auszuwählen, die gestartet werden soll.

MAKROS

Demo-Datei erzeugen

Nach Anklicken der Schaltfläche „Öffnen“ erscheint ein Dateiwahlfenster, in dem der Filetitel der Datei anzugeben ist, in der die nachfolgend eingegebenen MAKROS-Kommandos aufgezeichnet werden sollen. Die Dateinamenserweiterung .dem wird automatisch ergänzt. Ist eine Ausgabedatei geöffnet, so hat die Schaltfläche die Bezeichnung „Schließen“ und dient dazu, die Aufzeichnung der Kommandos abubrechen.

Hinweis: Die Aufzeichnung von Kommandos ist nicht für alle möglichen Aktionen implementiert. Demo Dateien können nicht als Restart-Dateien verwendet werden.

MAKROS

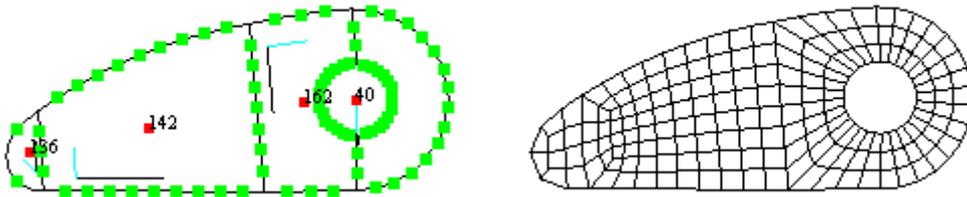
Tutorial

Das Unterverzeichnis \demo enthält einige Demonstrationsdateien, die als Tutorial benutzt werden können und einen Überblick über den Funktionsumfang des Programms geben. Die Demonstrationsdateien werden mit dem oben beschriebenen Kommando „Demo File“ gestartet. Wird eine Verknüpfung von MAKROS mit der Dateinamenserweiterung .dem eingetragen, so können Demonstrationsläufe auch durch Doppelklick auf die Demodateien gestartet werden.

Im Folgenden werden einige der Demonstrationsdateien genauer beschrieben:

Demofile: subdivision.dem

Das Beispiel zeigt eine Unterteilung einer Makrostruktur aus 4 Makroelementen in eine FE-Struktur. Unterteilungsparameter werden mit dem Kommando „Muster“ zugeordnet.



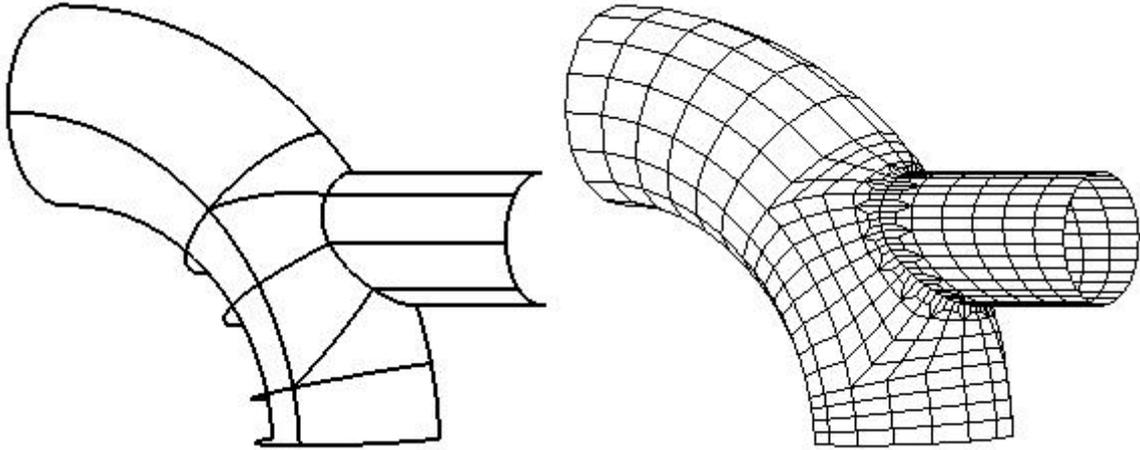
Demofile: intersection.dem

Unter alleiniger Verwendung von MAKROS-Kommandos werden die in nachfolgendem Bild dargestellte Makro- und FE-Struktur erzeugt. Die Generierung erfolgt in folgenden Schritten:

Kommando	Funktion
KoorSystem	Lokales Toruskoordinatensystem definieren
Zusatzknoten	2 Knoten im Torussystem eingeben
Zusatzknoten	Gerade zwischen den 2 Knoten im Torussystem unterteilen
3D-Erw/Translation	Weitere Schnitte auf dem Torus durch Translation im Torussystem erzeugen
Element definieren	Makroelemente auf der Torusfläche grafisch definieren
Lösche	Punktelemente löschen
KoorSystem	Lokales Zylinderkoordinatensystem definieren
Zusatzknoten	2 Knoten im Zylindersystem eingeben
Zusatzknoten	Gerade zwischen den 2 Knoten im Zylindersystem unterteilen
3D-Erw/Translation	Einen weiteren Schnitt auf dem Zylinder durch Translation erzeugen
Schnitt	Eine Knotenschicht in Richtung der Zylinderachse auf die Torusfläche verschieben
Element definieren	Makroelemente auf der Zylinderfläche grafisch definieren
Lösche	Punktelemente löschen
Zusatzknoten	Zwischenknoten durch Unterteilung von Geraden auf der Torusfläche erzeugen
Lösche	2 Makroelemente der Torusfläche löschen
Element definieren	An die Schnittkurve angrenzende Makroelemente grafisch definieren
Löschen	Punktelemente löschen

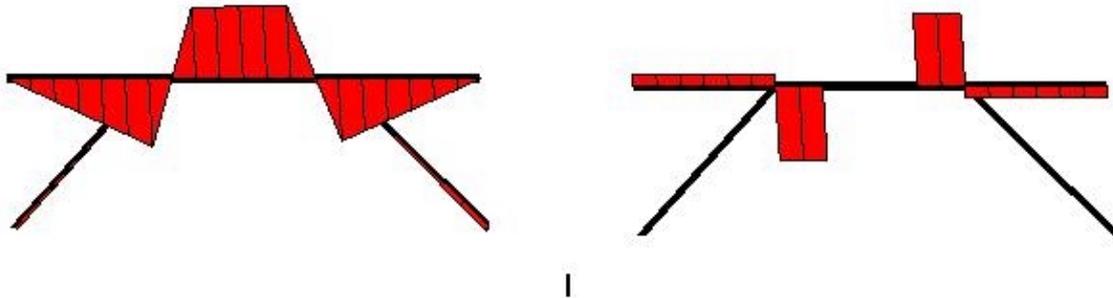
MAKROS

Muster	Unterteilungsparameter der Makroelemente zuordnen
Unterteilung	Unterteilung der Makroelemente durchführen
Glättung	Durch Makrounterteilung erzeugte Zwischenknoten auf die Torusfläche verschieben
Netzverfeinerung	Netzverfeinerung im Bereich des Anschlusses
Spiegeln	Finite Elemente an der Ebene $Z = 0$ spiegeln.



Demofile: nastran1.dem

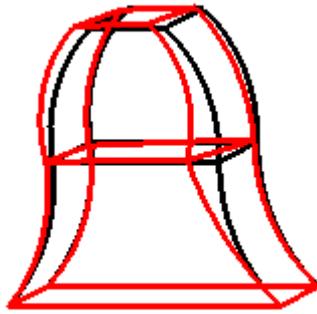
In dem Beispiel wird das Pre- und Postprocessing für das nachfolgende Rahmensystem durchgeführt.



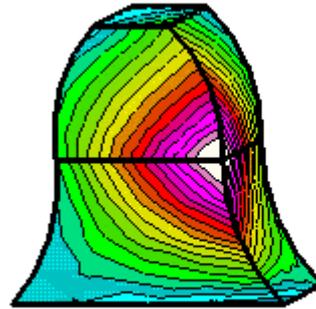
Demofile: nastran2.dem

In dem Beispiel wird das Pre- und Postprocessing für das nachfolgende Volumenmodell durchgeführt.

MAKROS



DEFORMATION

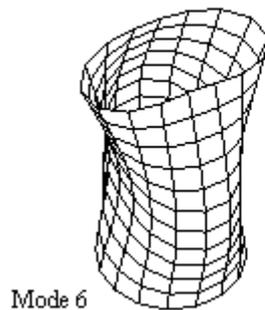


VON MISES STRESSES

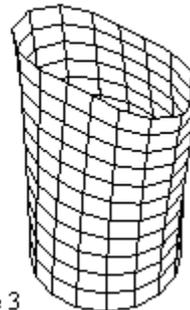
|

Demofile: nastran4.dem

In dem Beispiel wird das Pre- und Postprocessing für die nachfolgende Zylinderschale durchgeführt.



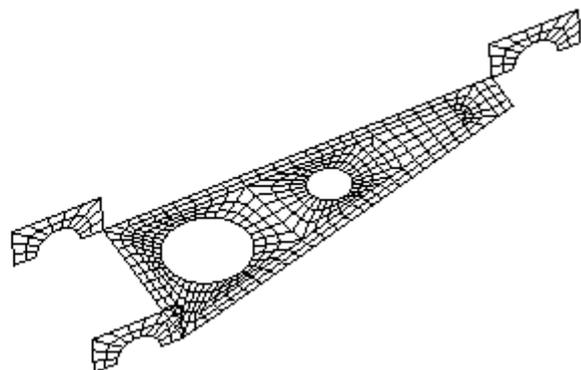
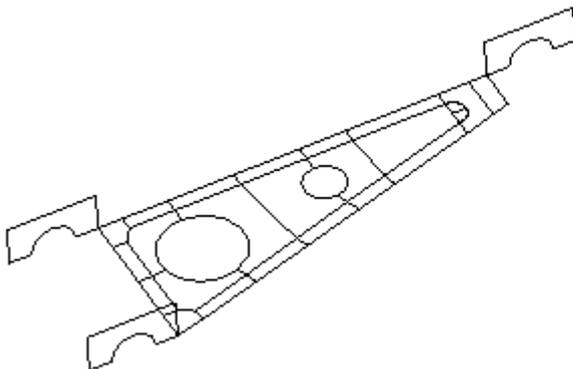
Mode 6



Mode 3

Demofile: subdivision2.dem

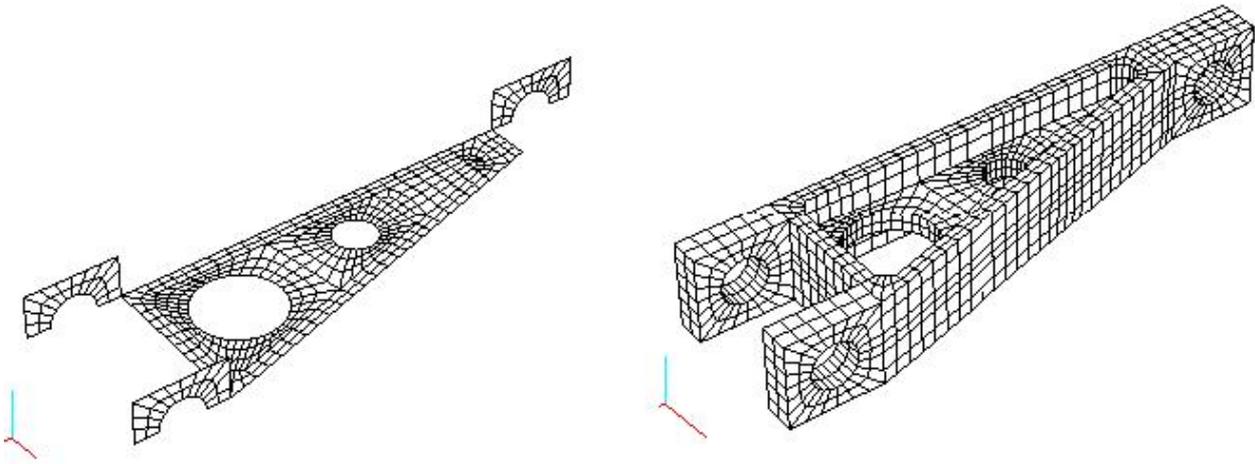
Die im folgenden Bild gezeigte Makrostruktur aus 27 Makroelementen wird mit dem Kommando „LeseAutoCAD“ von einem DXF-File gelesen. Mit dem Kommando „Muster“ werden Teilungsparameter für eine möglichst regelmäßige Unterteilung der Makroelemente zugewiesen, so dass die dargestellte FE-Struktur erzeugt wird.



Demofile: 3Dextention.dem

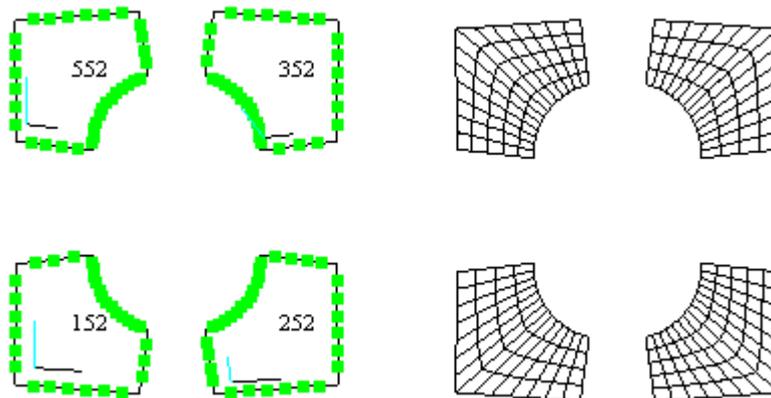
MAKROS

Bei dem Beispiel wird aus einer FE-Struktur aus Flächenelementen eine Volumenstruktur generiert. Mit dem Kommando „**3D-Erw/Translation**“ werden zunächst mehrere Schichten von Volumenelementen aufgebaut, anschließend wird die Struktur an der Symmetrieebene $Z=0$ **gespiegelt**, wodurch die im folgenden Bild gezeigte Volumenstruktur erzeugt wird.



Demofile: patern15x.dem

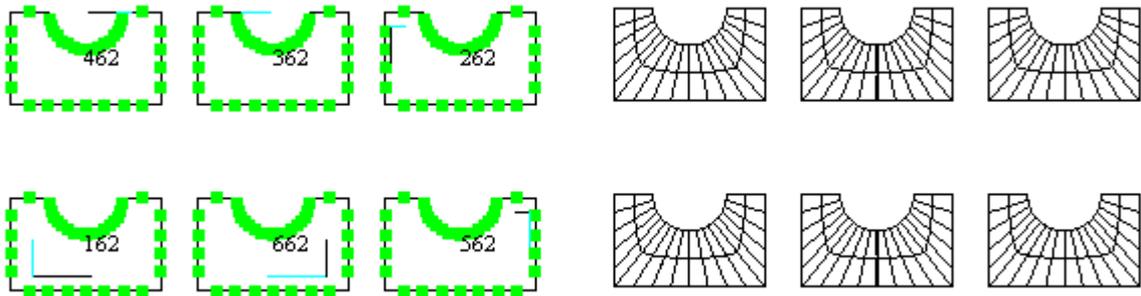
Das Beispiel zeigt, welche Musterkennzahlen abhängig von dem Anfangspunkt des Polygonzuges, für eine regelmäßige Unterteilung von 5-eckigen Makroelementen zu verwenden sind.



Demofile: patern16x.dem

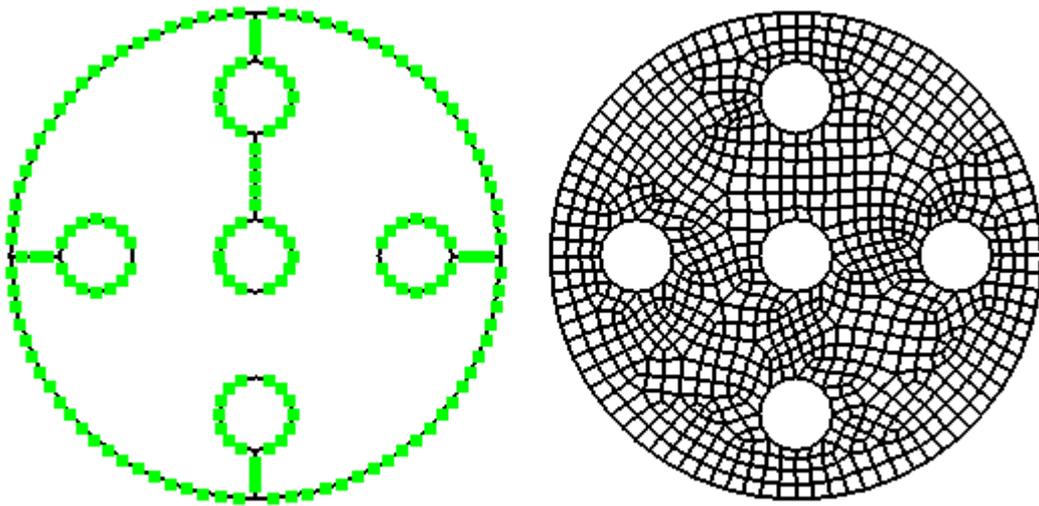
Das Beispiel zeigt, welche Musterkennzahlen abhängig vom Anfangspunkt des Polygonzuges, für eine regelmäßige Unterteilung von 6-eckigen Makroelementen zu verwenden sind.

MAKROS



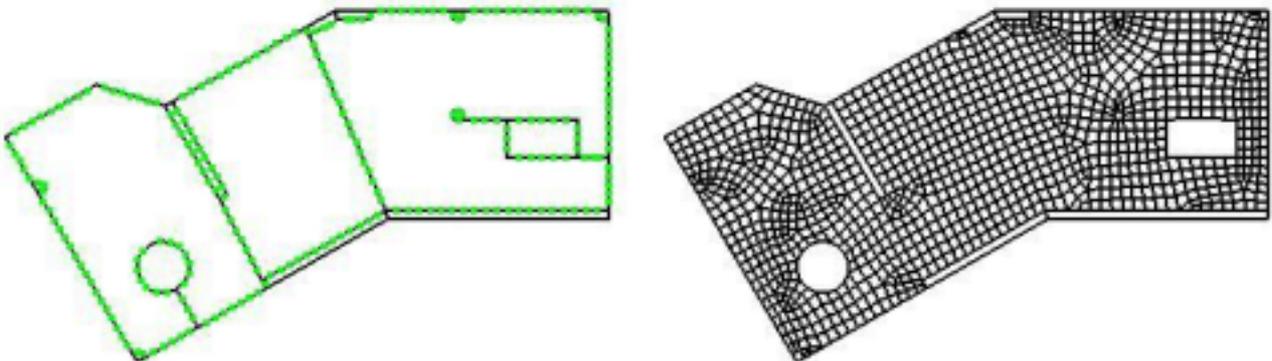
Demofile: typ400_1.dem, typ400_2.dem, typ400_3.dem

Elementtyp 400: freie Vernetzung ebener Gebiete.



Demofile: dplatte.dem

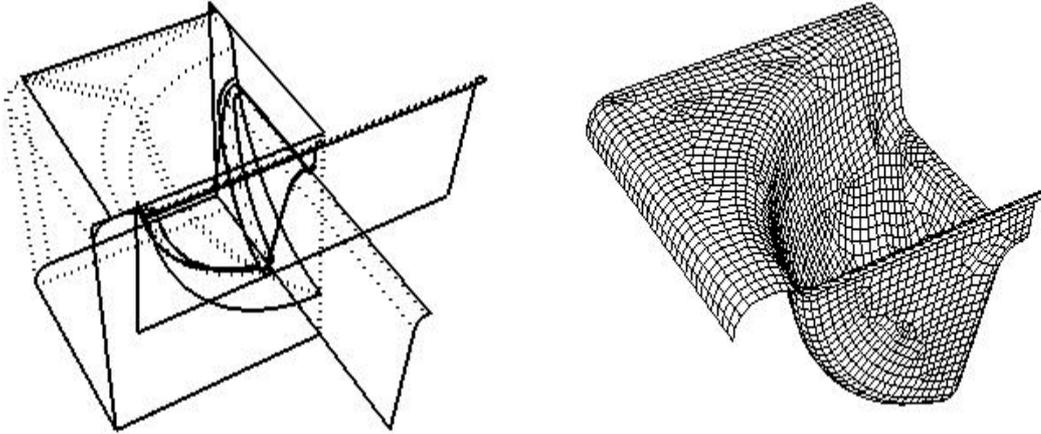
Elementtyp 400: freie Vernetzung ebener Gebiete.



Demofile: vdafs.dem

Generierung einer Makro- und einer FE Struktur aus einem CAD-Modell im VDAFS-Format.

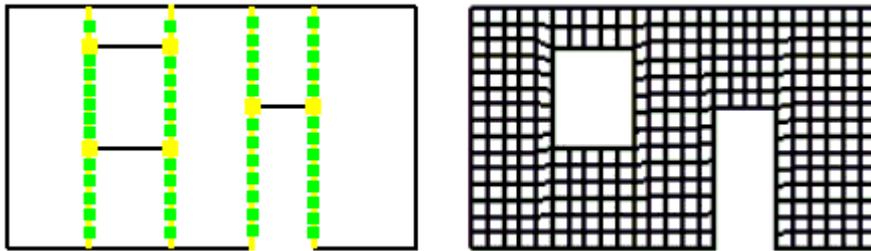
MAKROS



Demofile: referencepoint.dem

Unterteilung von Makroelementen unter Verwendung von Festpunkten.

Reihenfolge der Definition der Unterteilungsspezifikation: Lage der Festpunkte festlegen, Division alle Kanten mit „Division“, Kontrolle des entstehenden FE-Netzes mit „Unterteilung / Einzelne Elemente testen“, Korrektur der Anzahl Zwischenknoten auf Kantenteilstücken mit „Festpunkte / Anzahl Zwk anzeigen / Speichern“.



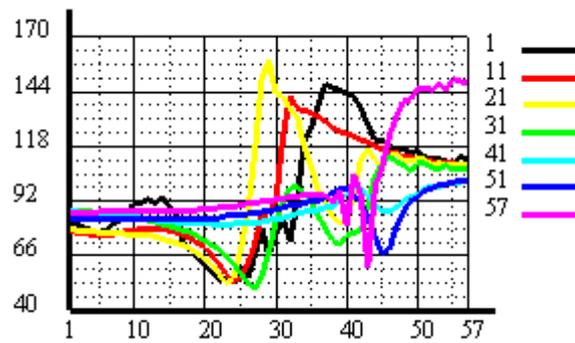
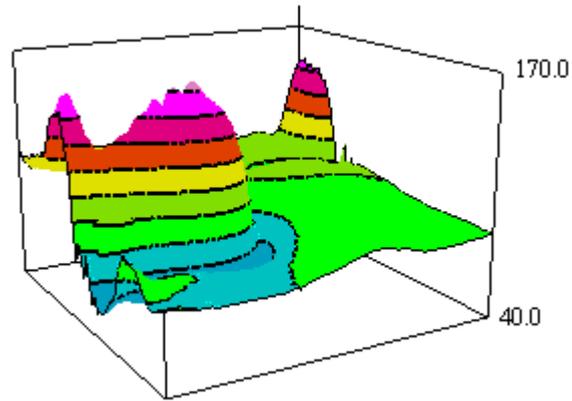
Demofile: nastran3.dem

Pre- und Postprocessing für eine Platte

Demofile: arrayplot.dem

3D-Plot und XY-Plot von Arraydaten (siehe Kommando „Array Plot“)

MAKROS



Demofile: defkooor.dem

Definition von Randkoordinatensystemen.

Demofile: netz.dem

Lokale Verfeinerung eines ebenen Netzes

Demofile: mak01903.dem

Postprozessing einer großen Volumenstruktur.

Demofile: pattern150.dem

Unterteilung Makrotyp 150.

Demofile: post1.dem, post2.dem, arrayview.dem

Postprozessing.

Demofile: translation.dem, move.dem

Kommando **3dErweiterung/Translation**.

Demofile: flast.dem

Definition verteilter Flächenlasten

Demofile: demo.dem

Zusammenfassung mehrerer Demodateien.

MAKROS

Anhang A: Linux / Unix

Makros steht mit identischer Funktionalität für PCs mit Linux-Betriebssystem und für verschiedene Unix-Workstations zur Verfügung, lediglich die Dialogfenster wurden an X-Window angepasst.

A.1 Dialogfenster

Für die Dialoge wird Motif verwendet. Die Dialoge sind weitgehend identisch mit den im Handbuch abgebildeten Dialogfenstern für Windows. Wesentliche Ausnahmen sind aufklappbare Listen, die in Motif nicht verfügbar sind, an diesen Stellen wird keine Auswahl angezeigt (z.B. Typ ID bei der Definition von Elementen oder ID eines lokalen Koordinatensystems), zulässige Werte für diese Parameter müssen in einer editierbaren Textzeile eingetragen werden. Eine Liste der existierenden Koordinatensysteme kann mit dem Kommando „Information“ protokolliert werden

A.2 Ressourcen File

Das Erscheinungsbild der Dialogboxen kann mit einigen Variablen beeinflusst werden. Diese müssen in einer Datei „**Makrosa.res**“ definiert werden. Die Datei muss sich im gleichen Verzeichnis wie das Objektprogramm „makrosa“ befinden.

Die Resourcendatei ist folgendermaßen aufgebaut:

Kommentar bis zum Ende der Zeile

Definitionszeilen enthalten als erstes den Namen einer Variablen und danach den Wert der Variablen, wahlweise gefolgt von Kommentar (#...).

Die folgenden Variablen können definiert werden:

1. Variable für die Hintergrundfarbe verschiedener Dialogelemente.

Die Farbwerte können als Farbnamen wie in der Datei /usr/lib/X11/rgb.txt definiert oder als rgb-Werte in der Form #RRGGBB angegeben werden, zB hat die Farbe „gray95“ den Farbwert #F2F2F2. Folgende Variable für Hintergrundfarben werden unterschieden:

bgDlgBox: Hintergrundfarbe der Dialogfenster

bgButtonM: Hintergrundfarbe der Menübuttons

bgButtonH: Hintergrundfarbe des aktiven Dialogfensters bei sich überlagernden Dialogen

bgButton: Hintergrundfarbe der Dialogbuttons

bgText: Hintergrundfarbe der Textzeilen.

2. Variable für den Schriftfont verschiedener Dialogelemente.

Mit dem X-Kommando „xlsfonts“ können die Namen aller installierten Fonts aufgelistet werden, und mit „xfont -fn fontname“ können einzelne Fonts angezeigt werden. Folgende Variable für Fonts werden unterschieden:

fontButtonM: Font der Menübuttons,

fontButton: Font der Dialogbuttons,

fontToggle: Font der Togglebuttons,

fontLabel: Font der Labelbuttons,

fontLabelBig: Font für hervorgehobene Labels,

grFont1: Font 1 für Grafiktext,

grFont2: Font 2 für Grafiktext,

grFont3: Font 3 für Grafiktext.

3. Variable für den Pfad der Hilfedateien:

MAKROS

Sofern die htm-Hilfedateien nicht im Unterverzeichnis „htmlhelp“ von makros abgelegt sind, muss mit der Variablen „helpPath“ der vollständige Pfad für die htm-Dateien angegeben werden.

Standardwerte der Ressourcen:

Für die veränderbaren Ressourcen sind die folgenden Standardwerte definiert, die verwendet werden, wenn die Datei „makrosa.res“ nicht gefunden wird, bzw. wenn hier keine entsprechenden Parameterwerte angegeben sind:

bgButtonM	gray87
bgButton	gray87
bgText	white
bgButtonH	gray80
bgDlgBox	gray87
fontButtonM	*-helvetica-bold-r-normal--12-120-75-75-*
fontButton	*-helvetica-bold-r-normal--12-120-75-75-*
fontToggle	*-helvetica-bold-r-normal--12-120-75-75-*
fontLabel	*-helvetica-medium-r-normal--12-120-75-75-*
fontLabelBig	*-helvetica-bold-r-normal--14-140-75-75-*
grFont1	7x14
grFont2	9x15
grFont3	9x15bold

A.3 Hilfe-Anzeige

Für die Anzeige von Hilfe-Informationen zu den Dialogfenstern wird Netscape mit dem Titel des zugeordneten htm-Files als Argument aufgerufen. Der erste Aufruf benötigt längere Zeit. Netscape darf nach dem ersten Aufruf nicht beendet, sondern nur iconifiziert werden, weitere Aufrufe von Netscape erfolgen danach mit dem Argument –remote und führen nur zum Ziel wenn Netscape schon aktiv ist.

Die Inhalte der htm-Hilfedateien sind identisch mit den entsprechenden Abschnitten des vorliegenden Handbuchs. Die htm-Dateien wurden aus dem Handbuch mit Word für Windows erzeugt. Dieses hat zur Folge, dass Formate von Netscape zum Teil nicht richtig angezeigt werden.

MAKROS

Anhang B: Stichwortverzeichnis (Links)

Allgemeines

[Programmversionen](#)

[Programmfunktionen](#)

[Programmstart](#)

[Programmsteuerung \(AutoCAD << MAKROS\)](#)

[Programmierschnittstelle](#)

[Grafische Darstellungen, OpenGL-Displaylisten \(Layer\)](#)

[Filennamen](#)

[Automatische Datensicherung](#)

[Undo - Funktion](#)

[Elementauswahl](#)

[Grafische Selektion von Knoten und Elementen im OpenGL-Fenster](#)

[Externe Knoten und Elementnummern, Knotenelemente](#)

[Demo-Dateien, Tutorial](#)

[Lizenz](#)

Elementtypen

[Elementtypen](#)

Definition von Makroelementen in AutoCAD

[Definition von Makroelementen in AutoCAD](#)

Teilungsmuster

[Teilungsmuster](#)

MAKROS-A Menüs (Überblick)

[Kommandos zur Bearbeitung der Gesamtstruktur](#)

[Kommandos zur Erzeugung neuer Knoten und Elemente](#)

[Bearbeitung von VDAFS-Daten](#)

[Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente](#)

[Allgemeine Kommandos](#)

[Kommandos für die grafische Darstellung](#)

[Kommandos zur Spezifikation von Lasten, Materialien, Querschnitten und Randbedingungen](#)

MAKROS

[Schnittstellen zu FE-Programmen](#)

[Berechnungsergebnisse visualisieren \(Postprocessing\)](#)

[Demo-Dateien, Tutorial](#)

Kommandos zur Bearbeitung der Gesamtstruktur

[Übersicht](#)

[Zwischen Makro- und FE-Struktur umschalten](#)

[Elementstruktur von einer Datei laden](#)

[Elementstruktur in einer Datei sichern](#)

[Alle offenen Dateien sichern](#)

[Automatische Datensicherung ein-/ausschalten](#)

[Elemente von AutoCAD bzw. aus einem DXF-File lesen](#)

[Gesamtstruktur oder einzelne Elemente löschen](#)

[Alle Daten im Arbeitsspeicher löschen](#)

[Makroelemente zur FE-Struktur hinzufügen bzw umgekehrt](#)

Kommandos zur Erzeugung neuer Knoten und Elemente

[Übersicht](#)

[Einzelelemente grafisch oder numerisch neu definieren](#)

[Neue Knoten erzeugen, Knotenkoordinaten ändern](#)

[Flächenelemente in Volumenelemente umwandeln, Knoten verschieben](#)

[Struktur an einer Ebene spiegeln](#)

[Knoten auf der Schnittkurve zweier Regelflächen berechnen](#)

[Zusatzknoten bei Balkenelementen zuordnen](#)

[Ebenes Elementnetz lokal verfeinern](#)

[Elementtyp umwandeln](#)

[Lokale Koordinatensysteme definieren](#)

[Makroelemente in Finite Elemente unterteilen](#)

[Eigene Funktionen aufrufen](#)

Bearbeitung von VDAFS-Daten

[Übersicht](#)

[Registerkarte „Datei“](#)

[Registerkarte „Plot“](#)

[Registerkarte „Knoten“](#)

[Registerkarte „Elementdefinition“](#)

[Registerkarte „Makro-/Fe-Struktur“](#)

[Registerkarte „Auswahl /Löschen“](#)

MAKROS

Unterteilung der Makroelemente in Finite Elemente

[Übersicht](#)

[Makro-Elementkanten in etwa gleiche Längen unterteilen](#)

[Unterteilung für einzelne Makroelemente angeben](#)

[Unterteilung für einzelne Elementkanten angeben](#)

[Vorhandene Kantenteilungen gleichmäßig fortsetzen](#)

[Unterteilungsfestpunkte auf Makroelementkanten definieren](#)

[Verträglichkeit der Kantenteilungen prüfen](#)

[Teilungsangaben löschen](#)

[Teilungsangaben in einer binären Datei sichern, bzw. von einer binären Datei laden](#)

[Unterteilung der Makrostruktur durchführen](#)

[Teilungsmuster](#)

Allgemeine Kommandos

[Übersicht](#)

[Information über Anzahl Gruppen, Knotenkoordinaten ect.](#)

[Gruppennummer, Farbindizes, Layer etc. zuordnen](#)

[Layernamen definieren](#)

[Elemente/Knoten neu nummerieren](#)

[Oberfläche glätten](#)

[Dicht beieinanderliegende und isolierte Knoten entfernen](#)

[Eckwinkel, Umlaufsinn etc. kontrollieren](#)

[Elemente auswählen](#)

[Knoten auswählen](#)

[Programmsteuerung an MAKROS-A abgeben \(AutoCAD-Kommando\)](#)

[Programmsteuerung an AutoCAD abgeben](#)

[MAKROS-A beenden \(AutoCAD-Kommando\)](#)

Kommandos für die grafische Darstellung

[Übersicht](#)

[Elementstruktur plotten](#)

[AutoCAD-Layer bzw. Displaylisten löschen oder ein- und ausschalten](#)

[Gruppennummer etc. plotten](#)

[Kameraposition einstellen](#)

[Drehung um Modellachsen](#)

[Parameter für Schattierung einstellen](#)

[Farben definieren](#)

[Lineare Farbabstufungen definieren](#)

[Texte für die Beschriftung der Grafik festlegen](#)

MAKROS

[Schriftgröße und Font einstellen](#)

[Grafische Ausgabe in ein Postscriptfile](#)

Kommandos zur Spezifikation von Lasten, Materialien, Querschnitten und Randbedingungen

[Übersicht](#)

[Knotenlasten u. Knotenverschiebung definieren und zuordnen](#)

[Verteilte Elementlasten definieren und zuordnen](#)

[Verteilte Flächenlast definieren](#)

[Elemente mit konstantem Flächendruck belasten](#)

[Materialkennwerte definieren](#)

[Elementquerschnitte definieren und zuordnen](#)

[Knotenrandbedingungen definieren und zuordnen](#)

[Resultierende von Knotenlasten berechnen](#)

[Lastdaten aus Binärdatei laden](#)

[Lastdaten in Binärdatei sichern](#)

[Zuordnungen plotten](#)

[Anzahl gespeicherter Datentypen anzeigen](#)

[Alle Lastdaten im Arbeitsspeicher löschen](#)

[Zuordnungen für NASTRAN-Schnittstelle Überprüfen](#)

Schnittstellen zur FE-Programmen

[Übersicht](#)

[NASTRAN - Eingabedatei erzeugen](#)

[PATRAN-Datei erzeugen bzw. lesen](#)

[Elemente in eine ASCII-Datei schreiben](#)

[Elemente von ASCII-Dateien lesen](#)

[Eigene Schnittstellen Funktion aus einer DLL aufrufen](#)

[Eigene Schnittstelle entwickeln](#)

Postprocessing

[Übersicht](#)

[Daten für Postprocessing bereitstellen](#)

[Daten für Postprocessing von Dateien laden](#)

[Art der Visualisierung des Skalarfeldes festlegen](#)

[Wertebereich der darzustellenden Skalarwerte festlegen](#)

[Umrechnung zwischen knotenpunkt- bzw. elementbezogenen Skalarwerten](#)

[Farbwerte der Farbindizes definieren](#)

[Lastfallkombination festlegen](#)

MAKROS

[Elementauswahl für Strukturplot bzw. Skalarfeldplot](#)
[Skalarwerte für einzelne Knoten/Elemente anzeigen](#)
[3D-Plot und XY-Plot von rechtwinkligen Skalarfeldern](#)
[Lage der Farbleiste und Beschriftungstext festlegen](#)
[Parameter für den Plot von Vektorfeldern einstellen](#)
[Deformierte Struktur plotten](#)
[Dynamische Simulation](#)

Anhang A

[Ressourcenfile für Linux / UNIX](#)

MAKROS