

EINFÜHRUNG IN DAS FEM-PROGRAMM

The ANSYS logo is displayed within a rounded rectangular frame. The word "ANSYS" is rendered in a bold, sans-serif font. The "AN" part is dark grey, and the "SYS" part is yellow. A small registered trademark symbol (®) is located at the top right of the "S".

Classic

ANSYS Parametric Design Language (APDL)

Statische und dynamische Simulationen

Dipl.-Ing. (FH) Michael Hochmuth

OSTBAYERISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE REGENSBURG



Labor Finite-Elemente-Methode

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Marcus Wagner
Dipl.-Ing. (FH) Michael Hochmuth

Galgenbergstr. 30
93053 Regensburg

Telefon +49 (0) 941 943-5185
Fax +49 (0) 941 943-1428

E-Mail

marcus.wagner@oth-regensburg.de
michael.hochmuth@oth-regensburg.de

Anmerkung des Autors

Trotz dem dieses Handbuch inzwischen in die Jahre gekommen ist, wird ein Download weiterhin bereitgestellt.

ANSYS APDL und damit die Classic-Oberfläche ist in nahezu unveränderter Form im Softwarepaket des Programmherstellers enthalten. APDL findet in der FEM-Simulation bei Industriefirmen weiterhin Verwendung.

Zudem lässt sich mit der Classic-Oberfläche die Methode der Finiten-Elemente hervorragend erklären und verstehen. Die Auseinandersetzung mit der heute etwas sperrig wirkenden Oberfläche lohnt sich also.

Regensburg, April 2023

Einführung in das FEM-Programm ANSYS® APDL (Classic)

Revision B-05d

Copyright © Dipl.-Ing. (FH) M. Hochmuth,
März 2008

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Handbuch ist urheberrechtlich geschützt.

Es darf für nicht-kommerzielle Zwecke kopiert und unverändert weitergegeben werden.

1	EINLEITUNG	9
2	ABLAUF EINER FE-BERECHNUNG	10
2.1	Die Idealisierung	10
2.1.1	Dreidimensionale Modelle	11
2.1.2	Symmetriebedingungen	12
2.1.3	Weitere Hinweise	13
2.2	Die Eingabe der Modelldaten	13
2.2.1	Direkte Generierung	13
2.2.2	Indirekte Generierung	14
2.3	Die Randbedingungen und die Lösung	15
2.4	Das Postprocessing	15
3	ÜBERBLICK ÜBER DAS FEM-PROGRAMM ANSYS	17
3.1	ANSYS Workbench	17
3.2	Starten von ANSYS	18
3.3	ANSYS Datenbasis und Dateien	19
3.4	Programmorganisation	21
3.5	Die Graphische Benutzeroberfläche	24
3.5.1	Das Layout der GUI	24
3.5.2	Das Utility Menu	26
3.5.3	Das Hauptmenü	27
3.6	Auswahlmodi (Graphical Picking)	27
3.7	Das Hilfe-System	29
4	FAQ'S – PRAKTISCHE TIPPS & TRICKS ZU ANSYS	30
5	WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN	45
5.1	Einheitensystem	45
5.2	Koordinatensysteme	47
5.2.1	Globale und lokale Koordinatensysteme	47
5.2.2	Das Darstellungskordinatensystem (Display Coordinate System)	53
5.2.3	Knotenkoordinatensysteme (Nodal Coordinate System)	53
5.2.4	Elementkoordinatensysteme (Element Coordinate System)	55
5.2.5	Das Ergebnisdarstellungs-KO-System (Results Coordinate System)	56
5.2.6	Die Arbeitsebene (Working Plane)	57
5.2.7	Schalenelemente (positive Normalenrichtung)	60
5.3	Mehrfache Elementattribute	62
5.4	Spezielle Hinweise zur Modellgenerierung	65
5.4.1	Verschieben und Kopieren des Geometriemodells	65
5.4.2	Ändern eines vernetzten Modells	66
5.4.3	Steuerung der automatischen Nummernzuweisung	70
5.4.4	Kopplung von Freiheitsgraden	71
5.5	Gemittelte und ungemittelte Ergebnisse im Postprocessing	72

6	ÜBUNGSBEISPIELE	74
6.1	Hinweise	74
6.2	1D Biegebalken	75
6.2.1	Erstellung des Beispiels über die GUI	75
6.2.2	Musterlösung mit Default-Werten	80
6.2.3	Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen	81
6.3	2D Lochblech	82
6.3.1	Interaktive Datei lochblech.mac	83
6.3.2	Erstellung des Beispiels über die GUI	86
6.3.3	Musterlösung mit Default-Werten	90
6.3.4	Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen	91
6.4	3D Solid-Modeling	92
6.4.1	Buchstütze	93
6.4.2	Flansch	109
6.4.3	Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen	116
6.5	Rippenrohr	117
6.5.1	Interaktive Datei kuehlerippe.mac	119
6.5.2	Erstellung des Beispiels über die GUI	119
6.5.3	Musterlösung mit Default-Werten	125
6.5.4	Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen	128
6.6	Schalt-Relais	129
6.6.1	Erstellung des Beispiels über die GUI	131
6.6.2	Musterlösung mit Default-Werten	138
6.6.3	Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen	139
6.7	Kragträger	140
6.7.1	Interaktive Datei kragtraeger.mac	141
6.7.2	Erstellung des Beispiels über die GUI	147
6.7.3	Musterlösung mit Default-Werten	157
6.7.4	Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen	163
7	ANSYS KOMMANDOS	164
7.1	Allgemein verwendbare Kommandos	164
7.2	Aufruf der ANSYS-Prozessoren	164
7.3	Verlassen der ANSYS-Prozessoren	164
7.4	Dateihandhabung	165
7.4.1	Nummerierung, Farben und Bezeichnungen (Labels)	165
7.5	Preprozessor (PREP7)	166
7.5.1	Elementtyp (elementtyp)	166
7.5.2	Element-Querschnittsdaten (real constants)	166
7.5.3	Materialdaten (material properties)	167
7.5.4	Standardgeometrien (primitives)	167
7.5.5	Geometrie-Eckpunkte (keypoints)	168
7.5.6	Linien (lines)	168
7.5.7	Flächen (areas)	168
7.5.8	Volumen (volumes)	169
7.5.9	Vernetzung (meshing)	169
7.5.10	Knoten (nodes)	170

7.5.11	Elemente (elements)	170
7.5.12	Kopplung von Freiheitsgraden (coupling of dof)	171
7.6	Lösung (solution, SOLU)	172
7.6.1	Analysetyp	172
7.6.2	Randbedingungen (constraints)	172
7.6.3	Punktlasten	172
7.6.4	Flächenlasten	172
7.6.5	Volumenlasten	173
7.6.6	Ausführen der Lösung	174
7.7	Allgemeiner Postprozessor (POST1)	174
7.7.1	Definitionen	174
7.7.2	Listen	174
7.7.3	Plotdarstellungen	175
7.8	Zeitverlauf-Postprozessor (POST26)	175
7.8.1	Definitionen	175
7.8.2	Listen	175
7.8.3	Plotdarstellungen	175
7.9	Geometrie-Plotdarstellungen	175
7.10	Selektieren	176
7.11	Koordinatensysteme	177
8	HINWEISE ZU DEN HP-UX WORKSTATIONS IM FEM-LABOR	178
8.1	Die Rechner	178
8.2	Hochfahren der Workstation	178
8.3	Oberfläche	178
8.4	Speicherung	179
8.5	Dateihandhabung	179
8.6	Herunterfahren der Workstation	179
9	ANMERKUNGEN ZU UNIX	180
9.1	Allgemein	180
9.2	Zusammenfassung Hardware und Software der größten Hersteller	181
9.3	Wichtige Unix-Befehle	182
9.4	FTP (file transfer protocol)	182
9.5	Befehle für Zugriff auf DOS-formatierte Disketten	183
10	LITERATURHINWEISE	184
11	LINKTIPPS	184

1 Einleitung

Der Hauptzweck dieses Handbuches ist es, Ihnen einen praktischen Einstieg in Finite-Elemente-Berechnungen zu geben. Es wird dazu das in der Industrie weitverbreitete FEM-Programm ANSYS (Classic) verwendet. Sie sollen nach dem Durcharbeiten des Buches in der Lage sein, einfache statische und dynamische Analysen durchführen zu können.

Zu Beginn wird der prinzipielle Ablauf einer FE-Berechnung beschrieben und im weiteren Verlauf ein Überblick über Aufbau und Organisation des Programms gegeben. Die Tipps & Tricks, sowie die weiterführenden Informationen sollen zu einem tieferen Verständnis der Methode und des Programms führen. Es soll auch als Nachschlagemöglichkeit für spätere Fragen dienen.

Die Beispiele im Kapitel 6 werden Sie mit der grafischen Oberfläche von ANSYS vertraut machen (Beispiel 6.2) und verschiedene Berechnungsverfahren (Strukturmechanik, Temperaturfeld-, Magnetfeldberechnung und dynamische Berechnungen) vorstellen (Beispiel 6.3-6.7). Dazu wird meist der Bearbeitungsablauf über eine interaktive Datei gezeigt, danach Schritt-für-Schritt die Erstellung über die GUI erläutert und abschließend jeweils das Listing der Eingabedateien aufgeführt.

Die Schritt-für-Schritt Anleitungen zeigen jeweils nur einen möglichen Bearbeitungsweg, der als Einstieg dient. Generell soll vor einer Dateneingabe immer überlegt werden, wie das gegebene Bauteil vereinfacht und sinnvoll aufgebaut werden kann und wie Randbedingungen gesetzt werden müssen (Idealisierung). Erstellen Sie aus diesen Überlegungen eine Handskizze, in der die wichtigsten Punkte enthalten sind. Stellen Sie für Ihre Berechnungsprojekte alle notwendigen Eigenschaften in einer Tabelle zusammen: Elementtyp, Materialeigenschaften, Belastungsgrößen.

Den Abschluss der Beispiele bilden Vorschläge für weiterführende Berechnungen. Zur Bearbeitung ist das FEM-Programm ANSYS, ab Version 8 erforderlich, das zum Beispiel im FEM-Labor der Fakultät Maschinenbau der Fachhochschule Regensburg installiert ist. Die Schritt-für-Schritt Beschreibungen der Beispiele beziehen sich auf die Version 8.1. Bei anderen Programmversionen kann die Befehlsfolge abweichen. Am Ende folgt eine kurze Beschreibung wichtiger ANSYS-Befehle.

Zusätzliche Folien die im Praktikum FE (Me5) ausgegeben werden, dienen zur Erklärung von FEM Fachbegriffen.

Für einen tieferen Einstieg in ANSYS steht die Online Hilfe mit den einzelnen Programmhandbüchern (Analyse-, Kommando-, Element- und Theorietheoriehandbuch) zur Verfügung. In der Hochschulbibliothek ist des Weiteren die deutschsprachige Buchreihe „FEM für Praktiker“ (L01/TEC 020 120(3)c) vorhanden. Diese hat im Band 1 die Grundlagen, im Band 2 Aufgaben zur Strukturmechanik, im Band 3 Aufgaben zur Temperaturfeldberechnung und im Band 4 Aufgaben aus der Elektrotechnik zum Inhalt.

2 Ablauf einer FE-Berechnung

Die folgende Grafik verdeutlicht eine typische FE-Berechnung mit den wichtigsten Arbeitsschritten:

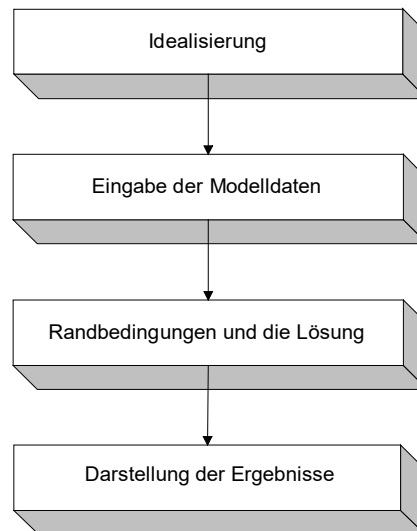


Bild 1: Ablauf einer FE-Berechnung

2.1 Die Idealisierung

Eine FEM-Berechnung stellt eine numerische Berechnung eines technischen Problems dar. Um dieses Problem lösen zu können, muss es soweit technisch durchdacht und durchschaut worden sein, dass die wesentlichen Einflüsse erkannt und bezeichnet werden können. Diesen Schritt nennen wir hier die Idealisierung der Aufgabe. Für eine konkrete Idealisierung sind die Fachkenntnisse des Anwenders maßgebend. Er sollte in der Lage sein, das Bauteil zu abstrahieren, Symmetrien oder andere maßgebende Eigenschaften herauszufinden, die mechanischen Eigenschaften zu beschreiben und die Randbedingungen und Randeinflüsse festzulegen. Die Anwendung der FEM führt nur dann zu sinnvollen und brauchbaren Ergebnissen, wenn die physikalischen oder technischen Gegebenheiten in ein zutreffendes Rechenmodell umgesetzt werden.

Die Idealisierung ist eine der Hauptaufgaben des Anwenders, kein Programm wird jemals diese Aufgabe vollständig übernehmen können. Das Bauteil mit seinen Lasten und Umgebungseinflüssen, muss in ein FE-Modell umgesetzt werden. Hierzu zählen z. B. Entscheidungen darüber, ob die Wandung eines dünnwandigen Behälters als Schale abgebildet werden kann, ob Symmetrien vorliegen oder ob geometrische und physikalische Nichtlinearitäten vernachlässigbar sind.

Die Frage, ob ein FEM-Ergebnis brauchbar ist, hängt nicht nur von der FEM-Programmhandhabung, sondern auch von der Idealisierung des technischen Bauteils ab. Daher muss bei der Beurteilung von FEM-Ergebnissen vielfach auch die Idealisierung in Frage gestellt werden.

Es ist nicht sinnvoll, sich unvorbereitet an den Bildschirm zu setzen und die Dateneingabe für eine Berechnung zu beginnen. Es empfiehlt sich, ausführlich über die Idealisierung nachzudenken. Untersuchen Sie, was das Ziel der Berechnung ist, welche Größen an welcher Stelle gefragt sind und klären Sie vor allen Dingen ab, in welcher Form das Bauteil für die gestellte Aufgabe abstrahiert werden kann. Denn bedenken Sie, dass auch der Computer "nur" endliche Möglichkeiten besitzt und nicht alle Aufgaben in Sekunden schafft.

Bei der Idealisierung muss man sich Gedanken machen über den Elementtyp, die Materialeigenschaften, die Randbedingungen und die Approximation der Randbedingungen. Es sollte auch überlegt werden, ob die Systemantwort möglicherweise nichtlinear sein könnte. Zu empfehlen ist die Anfertigung übersichtlicher Skizzen für die abstrahierte Geometrie und für das FE-Modell mit Eintragung der Randbedingungen.

Falsch ist es zu glauben, man könne sich diese Überlegungen sparen. Manche erwarten, man müsse nur die Geometriedaten von CAD-Systemen überspielen und könne dann per "Knopfdruck" eine FEM-Analyse durchführen.

Die Fähigkeit des FEM-Berechnungsingenieurs liegt in der Abstraktion einer wirklichen Struktur mit einem Minimum an Elementen. Zur Abstraktion gehören das Weglassen von unwesentlichen Details, die Ausnutzung von Symmetrien, die Approximation der Bauteilgeometrie, die Begrenzung des Berechnungsmodells und die Näherung der Lagerbedingungen und Lasten.

In der Praxis ist es nicht selten, dass die Abstraktion so erheblich ist, dass sich die Übernahme der CAD-Daten gar nicht lohnt und es effektiver ist, ein eigenes FEM-Modell zu erstellen.

Hier einige Hinweise zur Idealisierung:

2.1.1 Dreidimensionale Modelle

Je weniger Dimensionen ein FE-Modell aufweist, umso effektiver und schneller kann eine numerische Lösung ermittelt werden. Daher muss es ein vorrangiges Ziel der Idealisierung sein, hier Einsparungsmöglichkeiten zu erkennen und anzuwenden. Es wird unterschieden zwischen 3D-Volumenmodellen, 2D-Flächenmodellen und dem einfachsten Fall, den 1D-Balken- und Stabmodellen.

Selbst wenn eine 3-dimensionale Idealisierung erforderlich ist, kann viel Aufwand durch die Verwendung von Schalenelementen eingespart werden. Mit Schalenelementen wird die Verschiebung in der Schalenebene genauso gut abgebildet wie mit Volumenelementen. Nur quer zur Schalenebene (also in Richtung der Schalendicke) kann nicht jeder Spannungsverlauf von den Schalenelementen erfasst werden. Wenn also die Spannungsverteilung in Dickenrichtung annähernd linear verläuft, können Schalenelemente verwendet werden. Dies ist meist immer dann der Fall, wenn die Wanddicke im Vergleich zur Länge oder Breite des Bauteils deutlich kleiner ist.

Flächenelemente sind zu unterscheiden in Schalenelemente und Elemente für den ebenen Spannungs- oder Verzerrungszustand:

- *Schalenelemente* (Shell) sind die Abbildung eines im Allgemeinen dünnwandigen Bauteils, das beliebig im Raum angeordnet sein kann. Die Schalendicke ist ein Zahlenwert, mit dem der Querschnitt berechnet wird, der zur Spannung in der Elementebene führt. Diese Elemente können Normal- und Querkräfte, sowie Biege- und Torsionsmomente übertragen.
- *Ebene Elemente* (Plane) sind die 2-dimensionale Abbildung eines Bauteilvolumens mit der Ausdehnung in Tiefenrichtung von einer Längeneinheit. Bei dieser Idealisierung wird vorausgesetzt, dass in Tiefenrichtung - also normal zur Elementebene - kein Spannungs- oder Verzerrungsgradient auftritt, keine Verschiebung stattfindet und sich damit die modellierte ebene Scheibe des Bauteils genauso verhält wie jede parallel dazu angeordnete Nachbarscheibe. Es wird hierbei zwischen ebenen Spannungszustand und ebenen Verzerrungszustand unterschieden.

Rotationssymmetrie wird, obwohl erst der folgende Hinweis die Symmetrien betrifft, bereits hier genannt, da hierdurch die Reduktion von 3-dimensionalen Bauteilen auf 2-dimensionale Modelle möglich ist. Ist die Geometrie rotationssymmetrisch (achssymmetrisch)? Sind Details, die diese Rotationssymmetrie verletzen, vernachlässigbar? Es muss aber zusätzlich auch untersucht werden, ob die Lasten und Randbedingungen rotationssymmetrisch sind. Nur dann kann ohne weiteres ein 2-dimensionales Modell verwendet werden.

Wenn bei einem Problem die Geometrie rotations- bzw. achssymmetrisch, die Lasten und Randbedingungen jedoch nicht symmetrisch sind, können "harmonische" Elemente verwendet werden. Diese Elementtypen sind für rotationssymmetrische Modelle mit nicht-rotationssymmetrischen Lasten (axisymmetric elements with non-axisymmetric loading) vorgesehen.

2.1.2 Symmetriebedingungen

Alle vorhandenen Symmetrien sollten ausgenutzt werden, da andernfalls unnötig viel Rechnerzeit benötigt wird.

Bei Berechnungen der Strukturmechanik müssen am Symmetrierand besondere Randbedingungen angegeben werden, da die Verschiebungen und Verdrehungen durch die nicht modellierte, symmetrische Gegenseite beeinflusst sind. Bei Temperaturfeldberechnungen liegt an einem Symmetrierand die Bedingung vor, dass keine Wärmeströme über diesen Rand hinweg ausgetauscht werden, also kein Temperaturgradient in der Richtung senkrecht zum Symmetrierand auftritt. Dies entspricht einer adiabaten Randbedingung. Und diese Bedingung wird in der FE-Berechnung dadurch erfüllt, dass am adiabaten Rand keine Freiheitsgrad- oder Belastungsfestlegungen vorgegeben werden.

2.1.3 Weitere Hinweise

- ♦ Bei der Vernetzung muss die Frage beantwortet werden, ob Bereiche und wenn nötig welche Bereiche des Modells feiner vernetzt werden sollen. Es gilt: Gebiete in denen große Ergebnisgradienten erwartet werden, müssen feiner vernetzt werden.
- ♦ Ist für das Problem eine stationäre Berechnung ausreichend oder muss transient gerechnet werden?
- ♦ Empfiehlt es sich das Modell parametrisch aufzubauen, um verschiedene Varianten schnell durchrechnen zu können?
- ♦ Wie sind die äußeren Belastungen aufzubringen. Verändern sich die Lasten über die Zeit oder bestehen konstante Lasten?

2.2 Die Eingabe der Modelldaten

Dieser Schritt wird auch Preprocessing genannt. Es werden diejenigen Daten festgelegt, die unveränderlich zum Berechnungsmodell gehören. Dazu zählen die Materialdaten, die Querschnittsdaten wie Blechdicken und die Geometrie. Ebenso sind grundlegende Entscheidungen dem Programm mitzuteilen, zum Beispiel dass Rotationssymmetrie ausgenutzt wird oder das Modell nur in einer Ebene (ohne detaillierte Abbildung des Geschehens in der dritten Dimension) aufgebaut wird.

Den größten Anteil bei der Datenaufbereitung stellen die Geometriedaten dar, d.h. die Elemente mit ihren Knoten und die Knoten mit ihren Koordinaten. Man unterscheidet direkte Generierung und indirekte (automatische) Generierung.

2.2.1 Direkte Generierung

Bei der direkten Generierung erstellt der Anwender einen Plan der Vernetzung und übernimmt die Kontrolle darüber, welche Position und Nummer die einzelnen Knoten und Elemente haben werden. Bei der Dateneingabe werden die Knoten und Elemente direkt vom Anwender beschrieben. Als Kommandos stehen hierbei auch vielfältige Generierkommandos zur Verfügung. Diese Methode erscheint zwar antiquiert, sie ist aber auch heute noch von Nutzen, insbesondere für kleine Anwendungen, die zur Klärung von Prinzipfragen dienen.

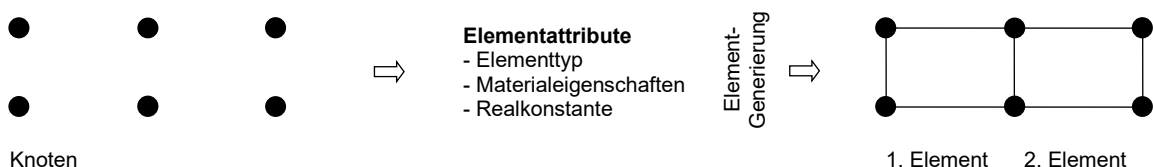


Bild 2: Direkte Generierung

Es gibt viele Aufgabenstellungen, für die sehr einfache FE-Modelle, aus Linien- oder Punktelementen erstellt werden können. Hierfür ist die direkte Generierung geeignet. Sie ist auch geeignet, um an bestehenden Modellen Änderungen vorzunehmen.

2.2.2 Indirekte Generierung

Um den Aufwand bei der Netzerstellung zu verringern, wurden Techniken entwickelt, die es erlauben, ein Netz automatisch zu erstellen. Dabei wird zunächst die Geometrie des Modells, also seine Umrisse und umgebenden Oberflächen, beschrieben. Die Vernetzung der Geometrieteile wird durch das Programm vorgenommen (indirekte Vorgehensweise).

Geometrie

Jede Geometrie wird durch Eckpunkte (keypoints), Linien (lines), Flächen (areas) und Volumen (volumes) beschrieben. Die Geometriebildung wird durch Boole'sche Operationen, mit denen vordefinierte Standardgeometrien (so genannte primitives) wie Zylinder, Quader etc. oder andere Geometriebestandteile kombiniert werden können, erleichtert.

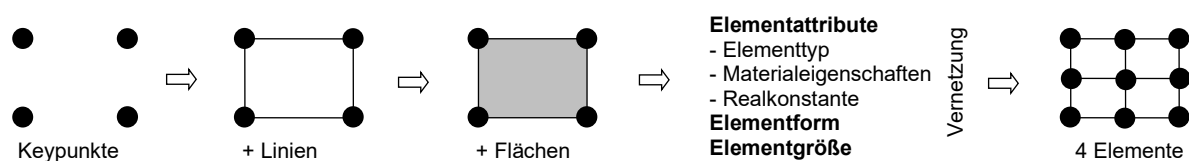


Bild 3: Indirekte Generierung

Vernetzung

Nachdem die Geometrie erstellt ist, kann die automatische Vernetzung nach zwei Strategien erfolgen: mit "mapped meshing" oder "free meshing".

Beim "mapped meshing" wird ausschließlich mit Viereck-Elementen (in Flächen) oder Quader-Elementen (in Volumen) vernetzt. Das heißt, dass die zu vernetzenden Geometriebereiche ebenfalls mit vier (Flächen) bzw. acht Kanten (Volumen) umrandet sind. Gegenüberliegende Kanten (Linien) müssen gleiche Elementunterteilung haben.

Beim "free meshing" werden auch unregelmäßige Geometrien mit einer Vernetzung versehen. Es werden Viereck- oder Dreieck-Elemente (in Flächen) und Quader- oder Prismen- oder Tetraeder-Elemente (in Volumen) verwendet. Das Netz kann sowohl praktisch jede Geometrie ausfüllen als auch je nach Bedarf verfeinert oder vergrößert werden, um besondere Ansprüche an die Ergebnisgenauigkeit zu erfüllen.

Bei vielen Anwendungen ist dieser Schritt durch die Eingabe der Geometriedaten sehr arbeitsintensiv. Moderne Programme wie ANSYS unterstützen den Anwender hierbei durch Techniken wie Generierung und automatische Vernetzung von Geometriebereichen. Vielfach können sogar Standardformen von Geometrien wie Rechtecke, Kreise, Quader oder Kugeln verwendet werden und geometrisch addiert oder subtrahiert werden, so dass manches Bauteil schnell mit den erforderlichen Daten beschrieben und zur Berechnung aufbereitet ist.

Mit der Eingabe der Modelldaten ist das idealisierte Bauteil mit seinen "inneren" Einflüssen, (physikalische Eigenschaft wie Steifigkeiten, Leitfähigkeiten) und seinen geometrischen Umrissen, festgelegt. Jetzt sind die äußeren Einflüsse festzulegen.

2.3 Die Randbedingungen und die Lösung

In diesem Schritt werden die von außen auf unser Modell wirkenden Einflüsse festgelegt. Bei strukturmechanischen Berechnungen sind das sowohl geometrische Randbedingungen der untersuchten Struktur (wie z.B. die Verschiebungen), als auch Kräfte, die auf das Bauteil wirken. Im Einzelnen wird unterschieden in:

- Fixierung von Freiheitsgraden (z.B. Einspannungen, Symmetriebedingungen)
- Kräfte auf einem Punkt des Modells (z.B. Einzelkraft auf Knoten)
- Oberflächenlast (z.B. Druck auf ein Element)
- Volumenlast (z.B. behinderte Wärmedehnung aufgrund der Temperatur eines Körpers, Eigengewicht)
- Trägheitslast (z.B. Zentrifugalkräfte aufgrund einer Winkelgeschwindigkeit)

Nach der Eingabe der Randbedingungen ist ein geeigneter Lösungsalgorithmus zu wählen. Dies geschieht mit Steuerkommandos, z.B. solche für transiente oder nichtlineare Berechnungen. Diese Steuerkommandos beeinflussen den Ablauf der Lösung oder bewirken eine Fortsetzung der Berechnung mit geänderten Parametern.

Wenn mit diesen Daten und Kommandos die Aufgabenstellung dem Programm in Form von Daten übergeben ist, kann die numerische Lösung des Gleichungssystems gestartet werden. Die Lösungserstellung ist nunmehr Aufgabe des Programms. Der Solve-Befehl führt dazu, dass:

- die Element-Steifigkeitsmatrizen erstellt werden,
- die Gesamtstruktursteifigkeitsmatrix und der Lastvektor aufgebaut wird,
- das Gleichungssystem gelöst wird u. damit die Verschiebungen an jedem Ort u.
- mit den Verschiebungen nun für jedes Element und gegebenenfalls für jeden Knoten die Dehnungen, Spannungen, Temperaturen und daraus ableitbare Größen berechnet werden.

2.4 Das Postprocessing

Dieser Schritt umfasst die Auswertung der Berechnungsergebnisse. Darunter ist zu verstehen, dass mit Hilfe des FEM-Programms die Ergebnisse entweder grafisch oder als Zahlenwerte gesichtet, beurteilt und zur Beantwortung der Aufgabenstellung weiter bearbeitet werden. Waren früher riesige Papierberge mit endlosen Zahlenkolonnen die Regel, so kann man heute gezielt die wichtigsten Ergebnisse auswählen und als farbschattierte Bilder an hochauflösenden Grafikbildschirmen auswerten. Die Darstellungen können weiter in Textverarbeitungsprogrammen übernommen werden und dadurch direkt in die Dokumentation einfließen.

Es muss aber vorher beachtet werden, dass der Anwender beim Postprocessing die Ergebnisse kritisch betrachten muss. Denn viele Fehler - entweder Fehler der

Programmhandhabung oder Denkfehler bei der Idealisierung und Diskretisierung der Aufgabenstellung werden erst anhand der Ergebnisse erkennbar. Sind die Ergebnisse plausibel? Stimmen die Ergebnisse in Randbereichen mit der Theorie oder anderen gesicherten Verfahren überein? Stimmen die Ergebnisse mit praktischen Messungen überein? Der Anwender darf sich nicht durch die schönen, farbigen Grafiken beeindrucken lassen und blind auf sie vertrauen!

3 Überblick über das FEM-Programm ANSYS

ANSYS (**A**nalysis **S**ystem **S**wanson) ist ein Produkt der Firma ANSYS Inc., deren Sitz in den USA ist. Das Programm läuft auf einer Vielzahl von Rechnersystemen, angefangen vom PC-586 bis zu den verschiedensten Unix-Workstations und Großrechnern. ANSYS ist ein so genanntes General Purpose Programm, d.h. es lassen sich viele Aufgaben aus den verschiedensten Fachgebieten lösen. ANSYS wird im deutschsprachigen Raum von der Firma CAD-FEM GmbH mit Sitz in Grafing (bei München) vertrieben.

Weitere General Purpose Programme sind z.B. ABAQUS, COSMOS, MARC, MSC/NASTRAN, I-DEAS, PATRAN. Eine Übersicht über 3D-FEM Programme bietet die Physikalisch Technische Bundesanstalt auf ihrer Webseite an: <http://www.berlin.ptb.de/8/83/831/md/studdef.html>.

3.1 ANSYS Workbench

Da Berechnungen zunehmend auch von CAD-Konstrukteuren übernommen werden, bieten CAD-Programme heute auch integrierte FE-Lösungen an. Diese sind jedoch meist auf lineare Statik und Temperaturfeldberechnungen beschränkt. Auch ANSYS hat diese Entwicklung aufgegriffen und bietet seit Version 7 eine CAD-orientierte Oberfläche (ANSYS Workbench Environment - AWE) mit Modellierungs-, Berechnungs- und Optimierungsprogrammen an. AWE besitzt auch eine Schnittstelle zur bisherigen ANSYS Classic Oberfläche.

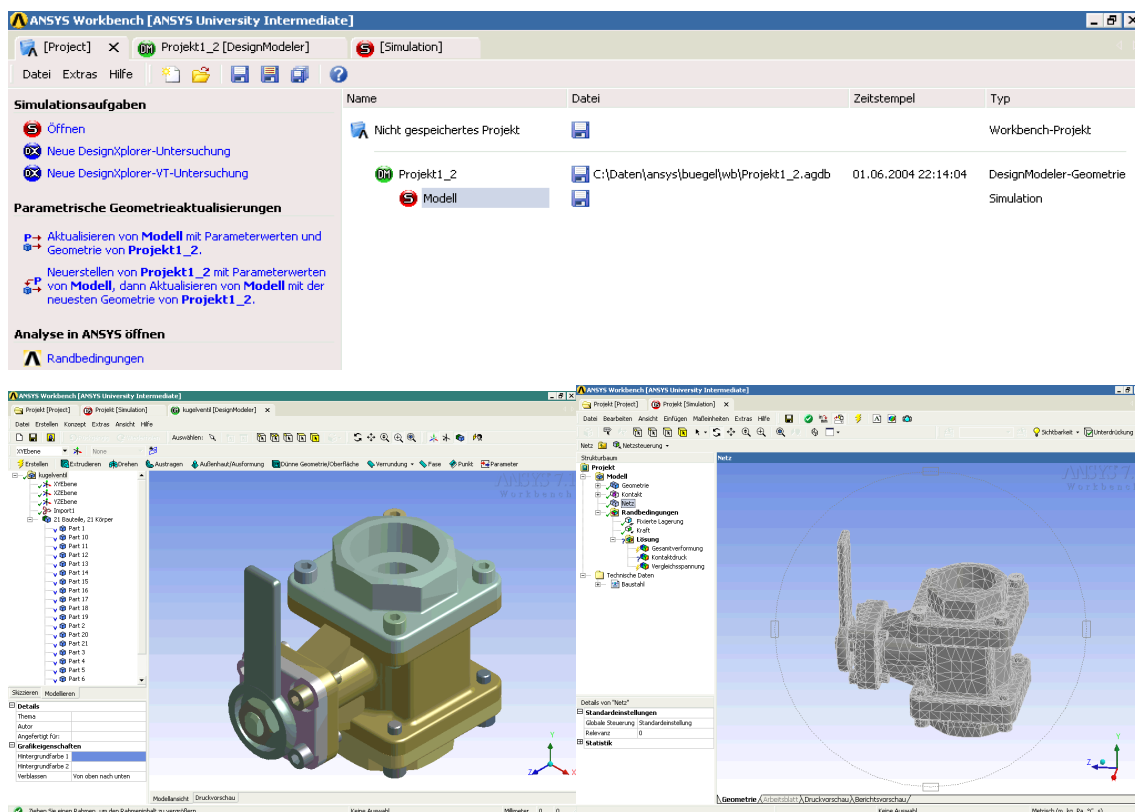


Bild 4: ANSYS Workbench: Projektansicht, Design-Modeller und FE-Simulation

3.2 Starten von ANSYS

Der Programmaufruf ist vom installierten Betriebssystem abhängig. Bei Microsoft Windows finden Sie auf dem Desktop die Verknüpfung „ANSYS 1x.x Launcher“, bzw. im Startmenü – Programme – ANSYS 1x.x, die Programmgruppe ANSYS. Arbeiten Sie an einer Hewlett-Packard-Unix Workstation öffnen Sie aus dem Front Panel das Pull-Up Menü Applications und wählen den Eintrag ANSYS 8.x aus. Der Einstieg ins Programm sollte immer über den Eintrag „ANSYS 1x.x Launcher“ erfolgen, bei der HP-Unix Workstation das zweite Symbol in Leiste. Mit einem Doppelklick öffnet sich der Launcher. Dort müssen Startoptionen eingestellt werden, wie z.B. das Arbeitsverzeichnis (working directory) und der Projektname (jobname). Durch Drücken der Taste RUN wird ANSYS gestartet.

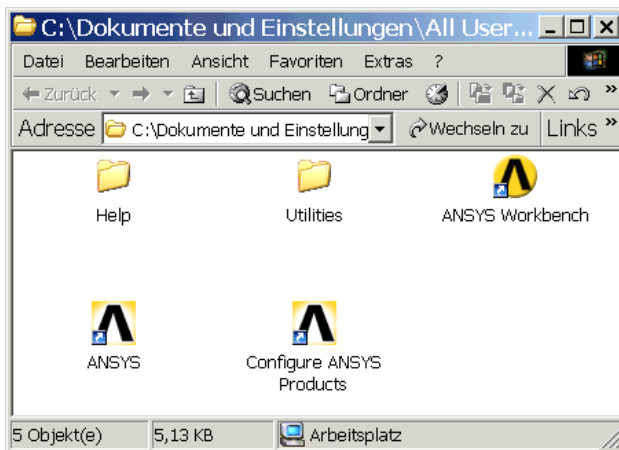


Bild 5a: ANSYS-Programmgruppe, Win XP



Bild 5b: ANSYS-Launcher, HP-Workstation

Die weiteren Einträge sollen an dieser Stelle kurz erläutert werden:

WIN:

Help: Aufruf der Online-Dokumentation.

Utilities enthält:

- Animate: Programm um ANSYS-Animationen (anim-files) in AVI-Dateien zu konvertieren, und zu betrachten.
- Ans_Admin: Verschiedene Grundeinstellungen von ANSYS (nur für Systemverwalter).
- Display: Starten des Display-Zusatzprogramm für ANSYS-spezifisches Grafikformat (grph).
- Site Information: Zeigt Informationen zur Installation an.

ANSYS Workbench: Direktes Starten von ANSYS mit Workbench-Oberfläche (nicht empfehlenswert).

ANSYS: Direktes Starten von ANSYS mit Classic-Oberfläche (nicht empfehlenswert).

ANSYS Product Launcher: Konfigurations-Fenster für den ANSYS-Start.

UNIX:

<u>ANSYS NOW:</u>	Direktes Starten von ANSYS (nicht empfehlenswert).
<u>ANSYS:</u>	Starten des Programms über den ANSYS Launcher.
<u>LS-DYNA Solver:</u>	Aufruf des Gleichungslösers für nichtlineare Berechnungen.
<u>ANS ADMIN:</u>	Verschiedene Programme zum Verwalten der ANSYS-Lizenzen (nur für Systemverwalter).
<u>Help:</u>	Hiermit kann die Online-Dokumentation aufgerufen werden.
<u>License Status:</u>	Zeigt Informationen zum Lizenzstatus an.

3.3 ANSYS Datenbasis und Dateien

ANSYS hat eine zentrale Datenbasis für Preprocessor, Solution Processor und Postprocessor. Mit `save` werden alle aktuellen Daten in der Datenbank gespeichert, mit `resume` wird der zuletzt gespeicherte Stand wieder eingelesen. Es ist zu beachten, dass jedes `save` die zuletzt gespeicherte Datenbasis überschreibt. Für den Fall, dass mehrere Zwischenergebnisse gespeichert werden sollen, kann mit `save,filename,db` (und `resume,filename,db`) bei jedem Speichern ein anderer Dateiname angegeben werden. Das Zwischenspeichern ist sehr empfehlenswert, da es in ANSYS keinen `undo`-Befehl gibt. Deshalb sollte nach jedem größerem Arbeitsschritt die Datenbasis gesichert werden.

Während der Arbeit erstellt ANSYS in Ihrem Arbeitsverzeichnis eine Reihe von Dateien, die alle mit Ihrem Projektnamen beginnen, die wichtigsten beiden sind die `db`- und die `log`-Datei:

Dateiname	Beschreibung
jobname.db	Datenbasis, Binär-Format – nicht editierbar
jobname.dbb	vorherige Datenbasis (database backup)

Die ANSYS Datenbasis enthält alle Informationen des Geometrie- und des FE-Modells, sowie Lasten und Randbedingungen des letzten Lastfalls und nach einer Berechnung die Ergebnisse der letzten Iteration des letzten Lastfalls. Die Datenbasis kann mit `/clear` in der Beginn-Ebene aus dem Arbeitsspeicher gelöscht werden. Erzeugt wird diese Datei mit dem Befehl `save_db`. Mit `resume_db` kann das Modell wieder geladen werden.

Dateiname	Beschreibung
Jobname.log	Log-Datei, Ascii-Text-Format – editierbar

Diese Datei legt ANSYS automatisch an und protokolliert in ihr alle Benutzeraktionen mit; unabhängig davon, ob die Befehle über das Menü oder über die Input-Zeile ausgeführt wurden. Die Datei ist im ASCII-Format, kann mit jedem Texteditor bearbeitet und mit `/input,jobname_neu,log` wieder eingelesen werden. Zuvor empfiehlt es sich die Datei zu überarbeiten (doppelte und fehlerhafte Befehlszeilen zu löschen) und umzubenennen. Ebenso dürfen keine Befehlszeilen mit `/input,...` in der Datei enthalten sein. Dies ist die zweite Möglichkeit um sein Modell in ANSYS wieder zu erzeugen.

Dateiname	Beschreibung
Jobname.rst	Ergebnisdatei einer Strukturberechnung (oder gekoppelter Modalb.)
Jobname.rth	Ergebnisdatei einer thermischen Berechnung
Jobname.rmg	Ergebnisdatei einer Magnetfeldberechnungen
Jobname.rfl	Ergebnisdatei einer Strömungssimulation mit Flotran
Ergebnismatrizen:	
Jobname.full	Assembled global stiffness and mass matrices, Modalanalyse
Jobname.mode	Modal matrices (modal or buckling analysis), Modalanalyse
Jobname.rdsp	Reduced displacements, transiente Analyse
Jobname.rfrq	Reduced complex displacements, Harmonic-Response Analyse

Dies sind die Ergebnisdateien, je nach Art der Berechnung wird eine entsprechende Erweiterung vergeben. Auf den Ergebnisdateien sind die Ergebnisse sämtlicher Lastschritte und Iterationen, die im Solution Prozessor mit `outr` angegeben wurden, gespeichert. Von diesen Dateien werden die Ergebnisse eingelesen, wenn im Postprozessor der `set`-Befehl verwendet wird.

Dateiname	Beschreibung
Jobname.grph	ANSYS-Bildformat, kann mit dem Displayprg. betrachtet werden
Jobname.err	Fehlermeldungen
Jobname.out	Output-File, Programm Meldungen werden in diese Datei geschrieben
Jobname.emat	Elementmatrizen
Jobname.tri	Dreieckszerlegte Struktursteifigkeitsmatrix
Jobname.esav	Elementdatei
Jobname.lock	Sperrdatei, bleibt nach Programmabsturz im Arbeitsverzeichnis
Jobname.page	virtuelle Auslagerungsdatei des Arbeitsspeichers
Jobname.mntr	Lösungsstatus der einzelnen Substeps einer nichtlinearen Berechnung

Diese Dateien können nach Abschluss der Berechnung von der Festplatte gelöscht werden.

sonstige Dateien:

Dateiname	Beschreibung
Jobname.abt	manuell anzulegende Datei, um eine nichtlineare Berechnung abzuberechnen (siehe Online-Hilfe)
Name.mac	ANSYS Makro Datei, kann direkt über die input-Zeile eingelesen werden, Textdatei enthält ANSYS Befehle
Cad-bauteil.anf	ANSYS Neutral Format - Datei, wird nach dem Import einer CAD-Datei über die Connection-Schnittstellen erzeugt
Start81.ans	Konfigurationsdatei der ANSYS Oberfläche, Beispieldatei: c:\Programme\AnsysInc\v81\ANSYS\apdl\start81.ans kann angepasst und ins Workingdirectory kopiert werden

3.4 Programmorganisation

Das Programm ANSYS ist in zwei Ebenen unterteilt: Startebene und Prozessorebene. Beim Programmeinstieg befinden Sie sich in der Startebene. Von dieser Ebene aus können Sie zu den ANSYS-Prozessoren gelangen.

ANSYS - Programm-Levels

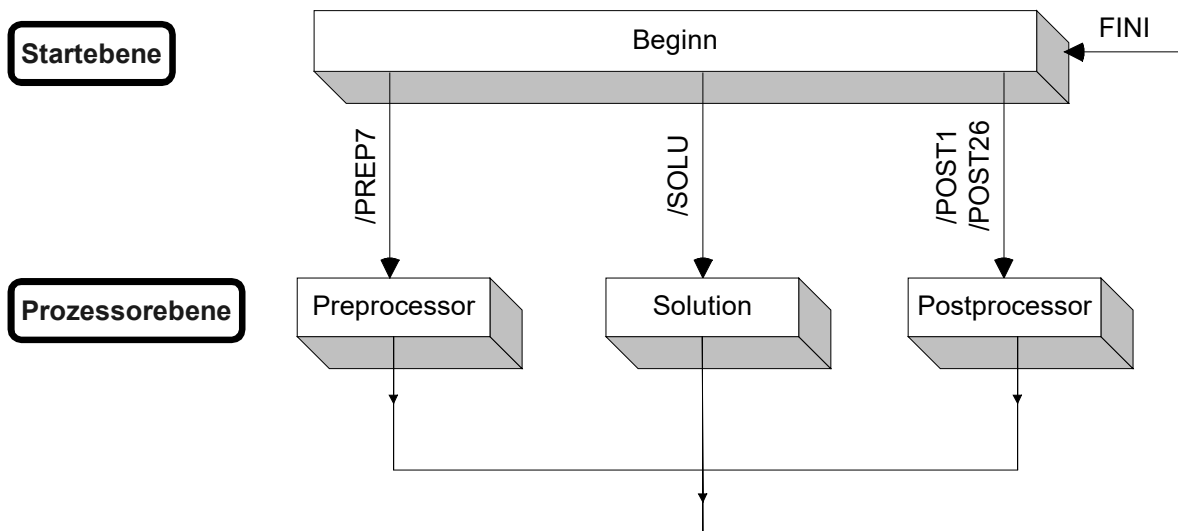


Bild 6: Programmaufbau

Über die Startebene gelangt man in das Programm ANSYS und man verlässt es auf diesem Wege auch wieder. Sie stellt des Weiteren einen direkten Zugriff auf bestimmte globale Programmkontrollen zur Verfügung. Die verschiedenen Prozessoren, so genannte Routinen, erfüllen jeweils einen bestimmten Zweck. Sie stehen in der Prozessorebene zur Verfügung. Die eigentliche Analyse findet in dieser Ebene statt.

Die Grafik verdeutlicht eine typische ANSYS-Berechnung mit den grundlegenden Arbeitsschritten, die voneinander jedoch getrennt sind.

Die ersten Schritte einer numerischen Berechnung sind Vorüberlegungen, die ohne Rechner durchgeführt werden. Zu dieser Konzeptionsphase zählen folgende Punkte:

- ♦ Festlegung der Systemgrenzen
- ♦ Eventuell Aufteilung in unabhängige Teilprobleme
- ♦ Erstellung eines Rechenmodells (Ersatzbild der Wirklichkeit, Idealisierung der Realität)
- ♦ Idealisierung der Randbedingungen/Belastungen
- ♦ Bereitstellung von Werkstoffdaten

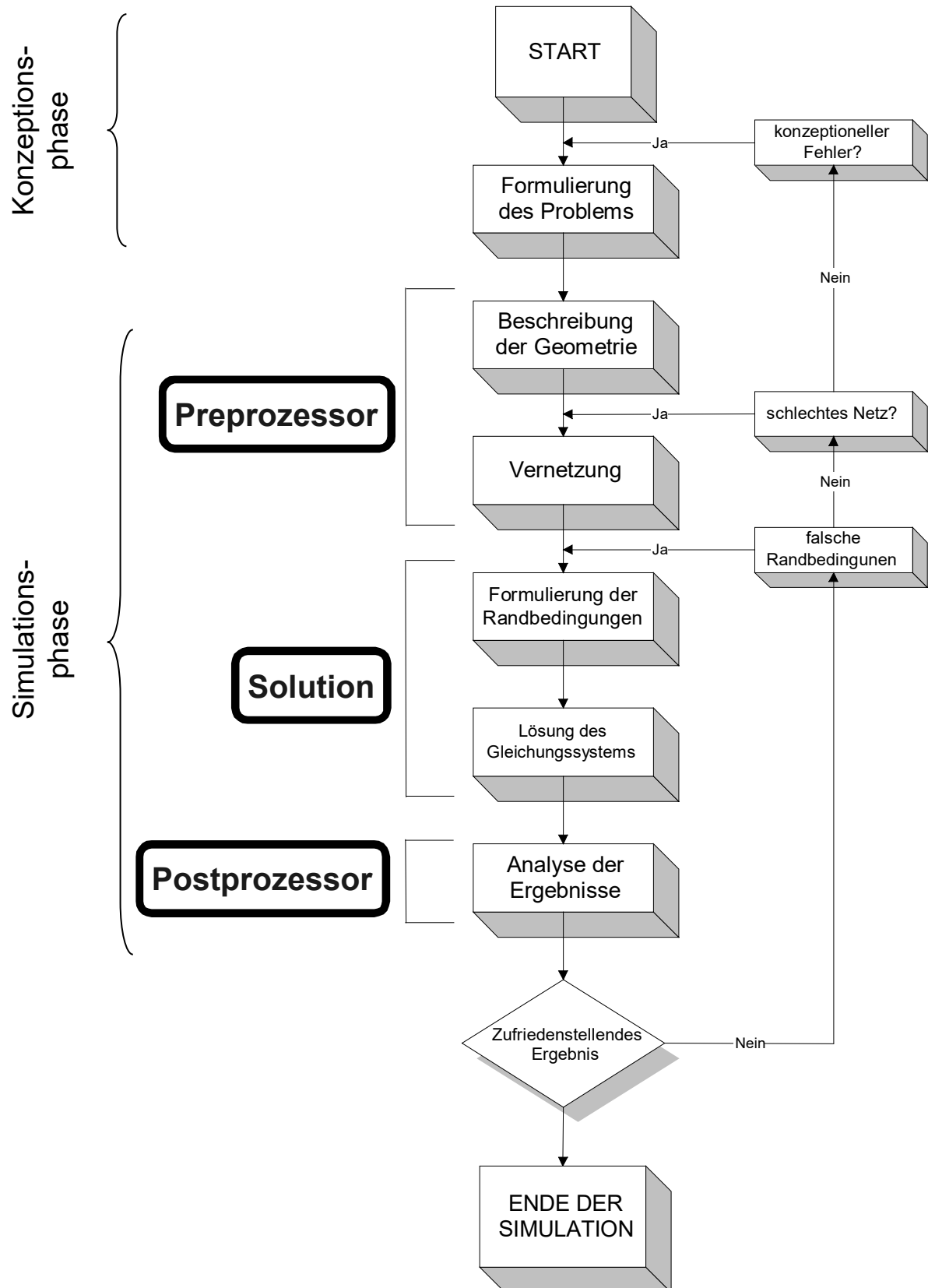


Bild 7: Ablauf einer FE-Berechnung

Die Simulationsphase wird am Rechner durchgeführt, so dass an dieser Stelle der grundsätzliche Aufbau des Programms mit einfließen kann. Die Prozessorebene besteht aus drei wesentlichen Teilen (Prozessoren):

- ♦ Preprozessor: PREP7 -
 - ♦ Solver: SOLUTION -
 - ♦ Postprozessor: POST1/POST26 -
- } Prozessor

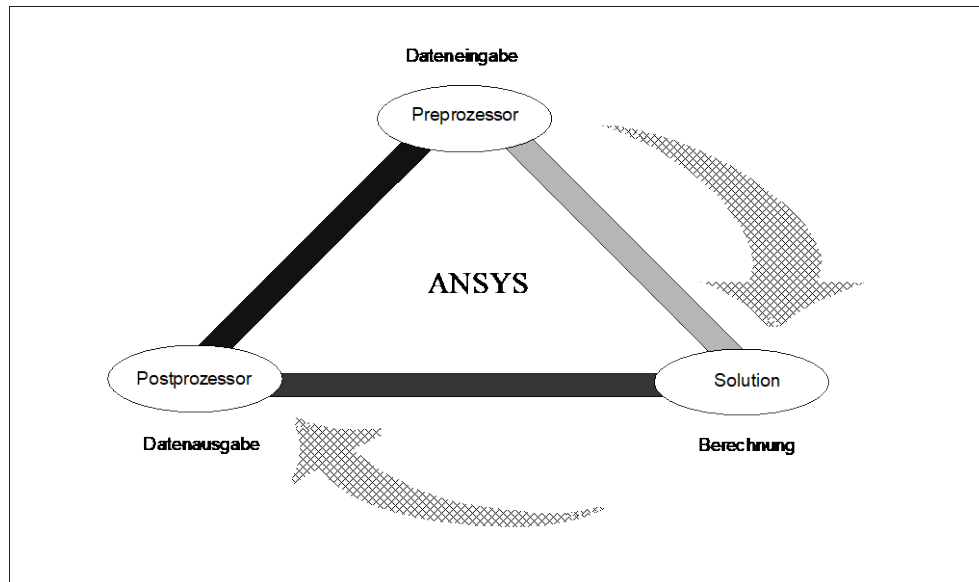


Bild 8: ANSYS-Programmteile

Preprozessor:

Der Preprozessor ist der Programnteil, mit dem die Geometrie des Modells erzeugt und Vorbereitungen für die Berechnung getroffen werden:

- ♦ Analyseart festlegen
- ♦ Elementtyps wählen
- ♦ Materialeigenschaften festlegen
- ♦ Elementeigenschaften (Größe und Verteilung) wählen
- ♦ Geometrie erstellen
- ♦ Vernetzung durchführen
- ♦ Randbedingungen und Lasten (kann aber auch im Solution-Prozessor erfolgen) aufbringen

Solver:

Hier findet die Lösung des Gleichungssystems statt. Um dieses Gesamtsystem möglichst effektiv, das heißt schnell und mit möglichst wenig Speicherbedarf zu berechnen, werden verschiedene Algorithmen verwendet. Die Analyseart und Optionen müssen hier definiert werden. Die eigentliche Berechnung läuft dagegen ohne Eingriffe des Benutzers ab.

Postprozessoren:

Mit Hilfe dieser Programmmodule wird die Ausgabe und die Darstellung der Ergebnisse und somit eine Überprüfung der Resultate der Analyse ermöglicht. Der Prozessor POST26 ermöglicht die Darstellung der Ergebnisse in Form von x-t-Diagrammen und der Prozessor POST1 stellt die berechneten Daten z.B. in Form von farbigen Konturplots dar.

3.5 Die Graphische Benutzeroberfläche

Die ANSYS-Benutzeroberfläche steht bei einer Anwendung des Programms zur Dateneingabe und zur Programmsteuerung zur Verfügung. Sie wird auch als Graphical User Interface (GUI) bezeichnet. Die GUI stellt eine Schnittstelle zwischen Benutzer und Programm dar. ANSYS wird intern von Befehlen (siehe Kap. 7) gesteuert. Mit Hilfe der GUI kann man jedoch mit wenig oder gar keinem Wissen über ANSYS-Befehle, eine Analyse durchführen. Dies beruht darauf, dass jede GUI-Funktion einen oder mehrere Befehle erzeugt, die automatisch vom Programm ausgeführt werden.

3.5.1 Das Layout der GUI

Die ANSYS-GUI besteht aus acht Hauptbereichen oder –fenstern (siehe Bild 9).

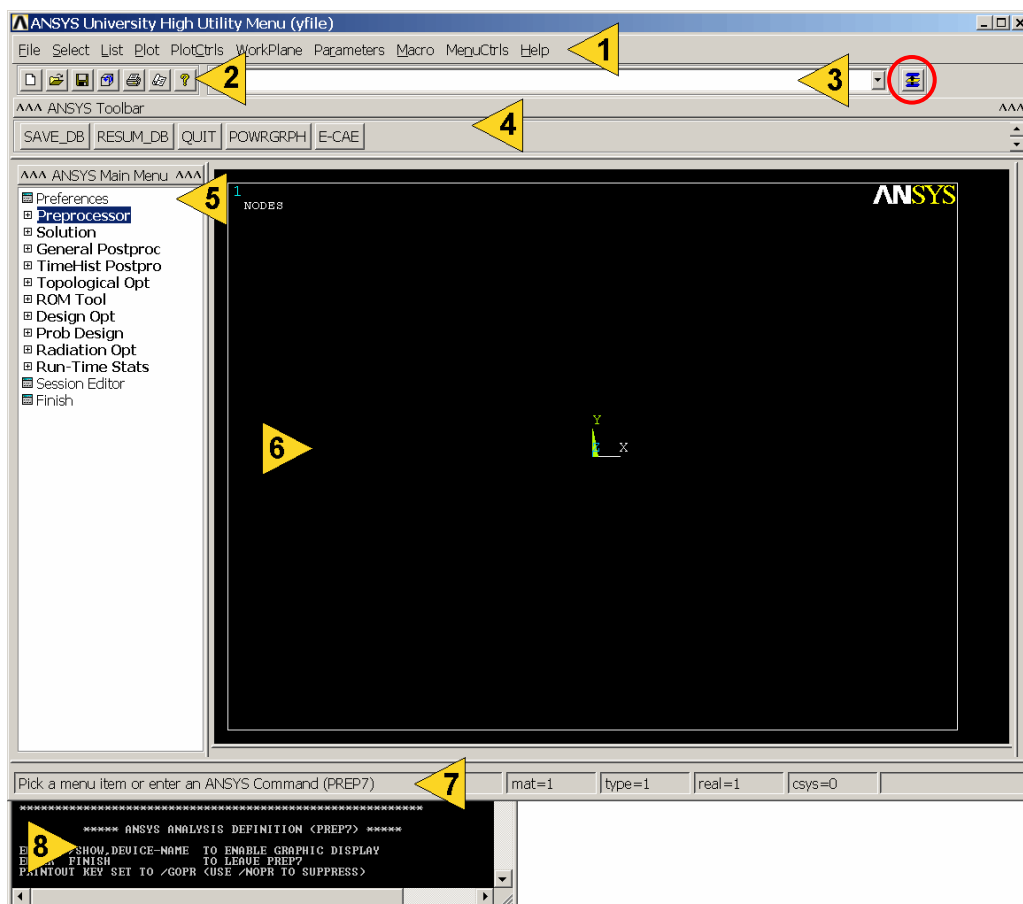


Bild 9: Grafische Benutzeroberfläche

1 Utility Menu (Dienstmenü)

Beinhaltet nützliche Funktionen, die während einer ANSYS-Sitzung verfügbar sind, wie File Controls (Dateiverwaltung), Selections (Auswählen) und Plot Controls (Graphikverwaltung). Das Programm kann über dieses Menü auch beendet werden.

2 Standard Toolbar (Standard Werkzeugleiste)

Beinhaltet häufig verwendete ANSYS-Befehle. Besonders sei auf den ganz rechten Schalter hingewiesen: Er bringt in den Hintergrund geratene Dialogfenster wieder in den Vordergrund.

3 Input Window (Eingabefenster)

Ermöglicht die direkte Eingabe von ANSYS-Befehlen. Alle zuvor einmal eingegebenen Befehle erscheinen in diesem Listenfenster, können nachgeschlagen und erneut ausgeführt werden.

4 Toolbar (Druckknopffeld)

Beinhaltet Befehlsschaltflächen, für häufig verwendete ANSYS-Befehle und Funktionen. Die Toolbar kann mit neuen Schaltflächen frei konfiguriert werden (Utility Menu > MenuCtrls > ...).

5 Main Menu (Hauptmenü)

Enthält die primären ANSYS-Funktionen, organisiert durch Prozessoren (Preprocessor, Solution, General Postprocessor, Time History Postprocessor, etc.).

6 Graphics Window (Grafikfenster)

Stellt alle grafischen Ausgaben des Programms dar.

7 Status/Prompt Area (Statuszeile und Bedienhinweiszeile)

Zeigt Statusmeldungen und Bedienhinweise des Programms. Bei grafischen Auswahlfunktionen erscheinen Hinweise, welche Aktionen der Anwender ausführen soll.

8 Output Window (Ausgabefenster)

Enthält Meldungen des Programms. Es befindet sich gewöhnlich hinter den anderen Fenstern, und kann bei Bedarf durch Anklicken in den Vordergrund geholt werden, u.a. werden dort auch alle Fehlermeldungen mitprotokolliert.

Als nächstes werden die beiden Menüs, die am häufigsten bei der Arbeit mit ANSYS benutzt werden, etwas genauer unter die Lupe genommen. Das Utility Menu und das Main Menu:

3.5.2 Das Utility Menu

Das Dienstmenü enthält Gebrauchsfunktionen, wie File Controls, Select und Plot Controls. Die meisten Funktionen sind in ihrer Natur "methoden-unabhängig", d.h. sie können während einer ANSYS-Sitzung jederzeit ausgeführt werden. Diese Unabhängigkeit des Menüs erhöht im hohen Maße die Produktivität und die Bedienfreundlichkeit der GUI.

Jeder Eintrag im Utility Menu enthält ein Pulldown-Menü mit untergeordneten Themenbereichen, die teilweise in Untermenüs (angezeigt durch ►) führen, oder eine Aktion ausführen.

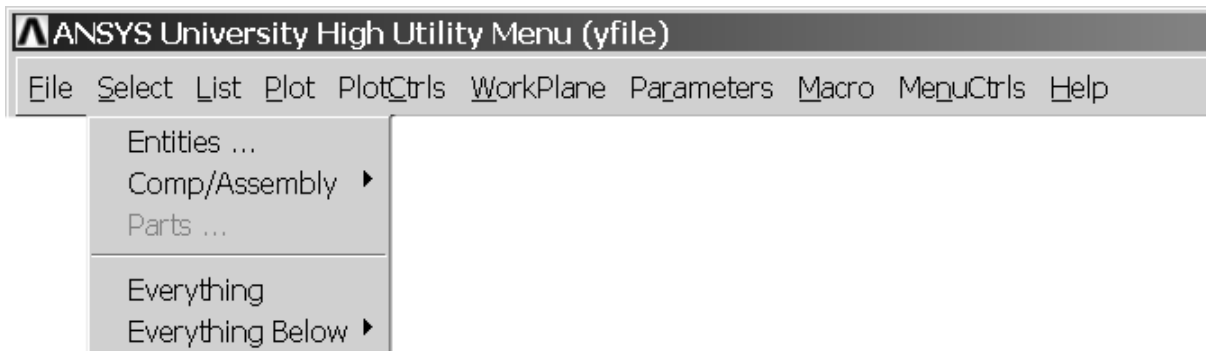


Bild 10: Utility Menu

Die linke Maustaste wird benutzt, um einen Eintrag im Utility Menu aufzuklappen. Das Bewegen der Maus, bei gleichzeitig gedrückter Maustaste, erlaubt ein sehr schnelles Navigieren zum gewünschten, untergeordneten Themenbereich. Durch Loslassen der Maustaste wird dieser Themenbereich, falls er Aktionen zulässt, ausgeführt. Die einzelnen Menüpunkte im Überblick:

- ♦ **File:** Zur Dateiverwaltung (Speichern, Öffnen, Einlesen)
- ♦ **Select:** Beinhaltet Funktionen zum Selektieren und Gruppieren von Komponenten (Knoten, Elemente, ...)
- ♦ **List:** Zum Erzeugen von Listen einzelner Komponenten
- ♦ **Plot:** Anzeigen aller graphisch darstellbaren Daten
- ♦ **PlotCtrls:** Funktionen zum Steuern der graphischen Ausgabe
- ♦ **Workplane:** Definition und Modifikation von Arbeitsebenen und lokalen Koordinatensystemen
- ♦ **Parameters:** Definition von Parametern und Auslesen von Daten
- ♦ **Macro:** Definition von Makros
- ♦ **MenuCtrls:** Festlegen der Größe und Lage der einzelnen Fenster und Definition von neuen Buttons für das Toolbar-Fenster
- ♦ **Help:** Online-Hilfe

3.5.3 Das Hauptmenü

Das Main Menu beinhaltet Hauptfunktionen, wie Preprocessing, Solution und Postprocessing. Alle Funktionen des Main Menu sind spezifisch, d.h. eine Funktion muss erst abgeschlossen werden, bevor mit einer neuen begonnen werden kann.

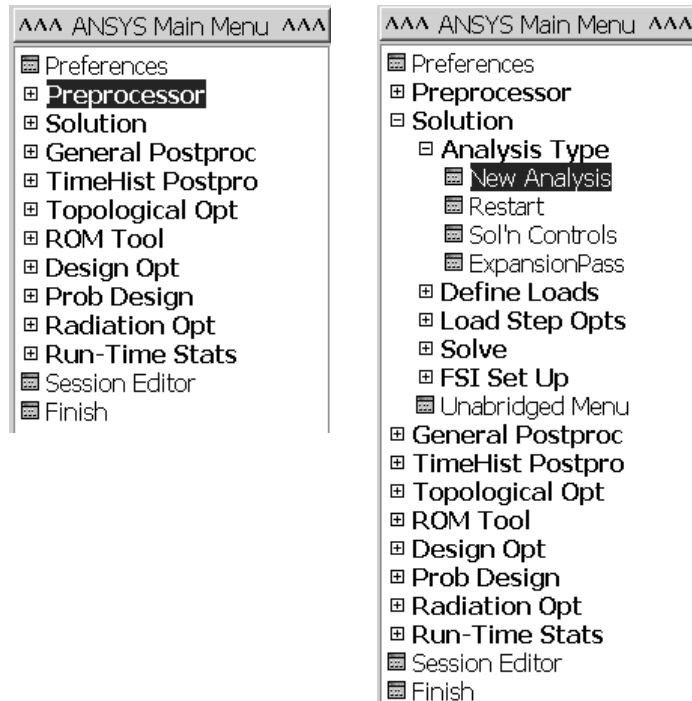


Bild 11a: Main Menu

Bild 11b: Main Menu – Solution aufgeklappt

Jeder Eintrag im Main Menu öffnet wieder ein Untermenü (angezeigt durch ☐) oder führt eine Aktion aus.

Die linke Maustaste wird zum Auswählen eines Eintrags im Main Menu benutzt. Die Untermenüs bleiben solange stehen, bis ein anderer Eintrag, der hierarchisch höher steht, ausgewählt wird.

3.6 Auswahlmodi (Graphical Picking)

Um die GUI effektiv zu nutzen, ist es sehr wichtig, das Graphical Picking (Graphisches Editieren) zu beherrschen, also das Benutzen der Maus, um die Eigenschaften des Modells zu bestimmen. Es gibt zwei Arten des Graphical Picking: Locational Picking (örtliches Editieren), indem die Koordinaten eines neuen Punktes bestimmt werden und Retrieval Picking (editieren durch Überarbeitung), indem man bereits bestehende Eigenschaften editiert. Zum Beispiel: Keypunkte durch Festlegung ihrer Position auf einer Working Plane (Arbeitsebene) erzeugen, ist eine Locational Picking-Operation. Wogegen das Editieren dieser Keypunkte um eine Last aufzubringen eine Retrieval Picking-Operation darstellt.

Wann immer das Graphical Picking genutzt wird, öffnet die GUI ein Picking Menu (Auswahlmenü). Die folgenden Bilder zeigen das Picking Menu für Locational Picking und Retrieval Picking:

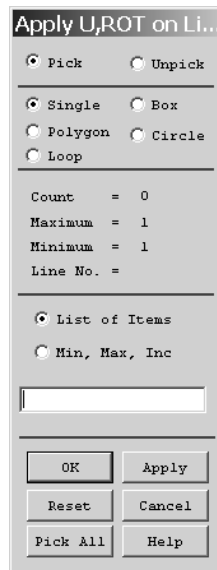
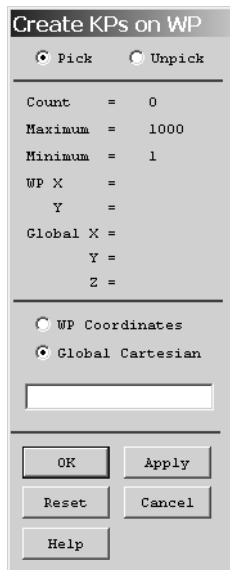


Bild 12a: Auswahlfenster für Locational Picking Bild 12b: Auswahlfenster für Retrieval Picking

Die Merkmale des Picking Menu werden nachfolgend im Detail beschrieben:

Pick Mode

Erlaubt die Lage eines Punktes festzulegen (Pick) oder ihn zu löschen (Unpick), oder die Last in einem Punkt anzutragen oder zu löschen. Man kann zum Umschalten zwischen dem Pick- oder Unpick-Modus wahlweise die Felder Pick/Unpick anklicken, oder die rechte Maustaste drücken. Innerhalb der Option Retrieval Picking hat man die Möglichkeit, zwischen dem Single-, Box-, Polygon-, Circle- und dem Loop-Modus auszuwählen.

Picked Data

Zeigt Informationen zum editierten Objekt an. Beim Locational Picking werden die Working Plane und die globalen, kartesischen Koordinaten des Punkts angezeigt. Beim Retrieval Picking zeigt dieser Bereich die Lastnummer an. Man kann diese Informationen einsehen, indem man die linke Maustaste gedrückt hält und den Mauszeiger im Graphikbereich bewegt. Dies ermöglicht eine Informationsvorschau, bis man die Maustaste loslässt, um das Objekt zu editieren.

Buttons

Dieser Bereich des Menüs enthält Aktionsfelder, die folgende Aktionen an dem zu editierenden Objekt durchführen:

- OK Verwendet die editierten Objekte, um die Aufgabe auszuführen und schließt das Picking Menu.
- Apply Verwendet die editierten Objekte, um die Aufgabe auszuführen, lässt das Fenster aber geöffnet.
- Reset Setzt die bisher editierten Objekte zurück.
- Pick All Editiert alle Objekte. Nur für Retrieval verfügbar.
- Help Es erscheint ein Hilfstext zur gerade ausgeführten Aufgabe.

Auswahl über Maustasten

Als nächstes folgt ein Überblick wie man die Maus, während einer Auswahloption, einsetzt:

Mit der linken Maustaste editiert (Pick) oder löscht (Unpick) man einen Punkt oder eine Last in der Nähe des Mauszeigers. Wenn man die Taste gedrückt hält und die Maus bewegt, kann man das Objekt, das editiert oder gelöscht werden soll, vorab betrachten.

Die mittlere Maustaste verwendet die editierten Objekte, um die Aufgabe auszuführen, entspricht der Schaltfläche Apply im Picking Menu.

Mit der rechten Maustaste kann man zwischen dem Pick- und dem Unpick-Modus wechseln. Analog zu den Feldern Pick/Unpick im Picking Menu.

3.7 Das Hilfe-System

Das Hilfe-System stellt praktisch zu jeder Komponente in der GUI und zu jedem ANSYS-Befehl ausführliche Informationen zur Verfügung. Die Hilfe enthält die vollständigen ANSYS-Benutzerhandbücher (ca. 130 MB an Daten) mit Hypertext-Möglichkeit. Zugriff zur Hilfe erhält man entweder innerhalb der GUI im Utility Menu über den Eintrag Help oder indem man innerhalb einer Funktion die Schaltfläche Help anklickt.

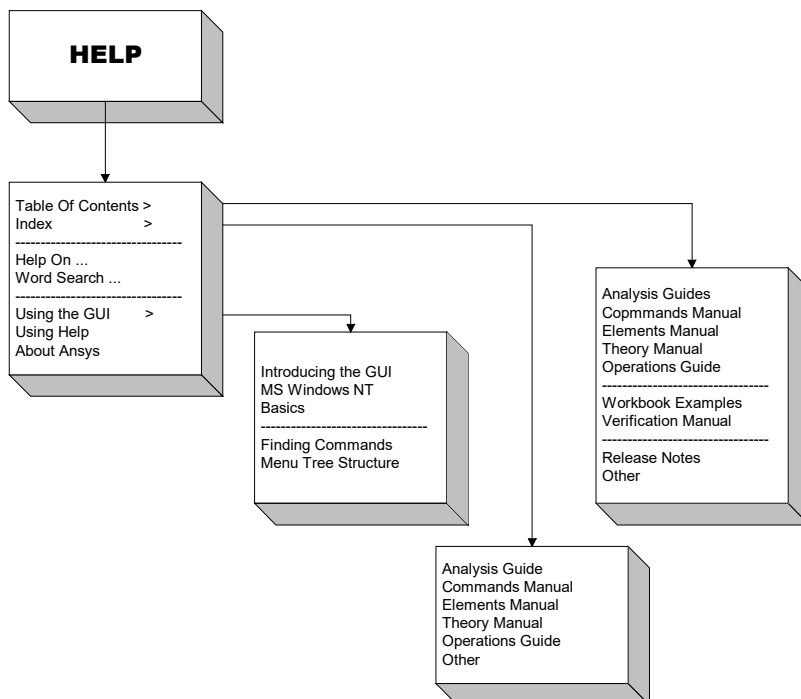


Bild 13: Struktur der Hilfe-Funktion im Utility-Menü (aus V5.7, ab V7 geändert)

Ein sehr effektives Verfahren um für bestimmte ANSYS-Befehle an die entsprechende Stelle im Command-Manual zu gelangen, führt über die direkte Eingabe des gesuchten Befehls ins Input Fenster, z.B. `help, vmesh`.

Man kann einzelne Hilfeseiten oder ganze Kapitel am Systemdrucker ausgeben.

4 FAQ's – praktische Tipps & Tricks zu ANSYS

ANSYS ist ein sehr vielseitiges und in den Funktionen mächtiges Finite-Elemente-Berechnungsprogramm. Man kann mit ihm eine Vielzahl von Aufgabenstellungen aus nahezu allen Bereichen der Technik bearbeiten. Das Programm entstammt einer Unix-Umgebung und wurde im Laufe der Zeit auf Windows-Betriebssysteme übertragen. Daraus resultieren jedoch eine für den Anfänger ungewohnte Benutzeroberfläche und eine nicht auf Anhieb verständliche Arbeitsweise.

Mit den folgenden Tipps und Tricks soll der Einstieg in das Programm erleichtert werden.

Ⓔ : Grundlagen

⒱ : Weiterführende Information

1. Wie soll ich eine FE-Berechnung durchführen? Ⓔ

Grundsätzlich haben Sie zwei Möglichkeiten: Zum einen die menügeführte Bearbeitung einer Aufgabenstellung über das Utility und das Main Menu mit der Maus (GUI), zum anderen über die direkte APDL-Befehlseingabe in das Input-Fenster. Als Anfänger werden Sie wahrscheinlich über die Menüs arbeiten, später, wenn Ihnen mehr Befehle bekannt sind, immer öfter über das Input-Fenster, was zu einer Kombination beider Techniken führt.

Sinnvoll ist auch eine Arbeitsweise mit Hilfe der Eingabedatei: Grundlage sind dazu, die vom Programm automatisch erstellten log-Dateien, deren Inhalt Sie in eine neue Datei kopieren und im Texteditor bearbeiten. Mit dem Einlesen dieser bearbeiteten log-Dateien erzeugen Sie Ihre Modelle Schritt für Schritt neu und haben die Möglichkeit gezielt Änderungen in der Datei vorzunehmen (siehe auch Punkt 3).

2. Was ist der Unterschied zwischen dem Geometrie-Modell und dem Finite-Elemente-Modell? Ⓔ

Das Geometrie-Modell besteht aus Eckpunkten, Linien, Flächen und Volumen. Es ist vergleichbar mit den Modellen die bei der Arbeit mit CAD-Programmen entstehen.

Das Finite-Elemente-Modell ist das, in endlich kleine (finite) Bereiche (Elemente) unterteilte und vereinfachte (um rechenbar zu bleiben) Geometrie-Modell. Diese Unterteilung entsteht aus dem Vernetzungsbefehl (`lmesh`, `amesh`, `vmesh`). Zusätzlich werden auf dem FE-Modell noch physikalische Eigenschaften definiert (Materialeigenschaften: u. a. Dichte, E-Modul, Wärmeleitfähigkeit, Permeabilität, usw.). Zum FE-Modell gehören auch die Randbedingungen (Einspannungen, Belastungen). Es soll Rückschlüsse auf die wirkliche Struktur ermöglichen.

3. Was ist bei der Erstellung von eigenen Eingabedateien zu beachten? Welche Arbeitstechnik ist sinnvoll?

- Sobald Sie die Grafische Benutzeroberfläche (GUI) von ANSYS starten, wird automatisch eine Textdatei erzeugt, in der all Ihre Aktionen mit protokolliert werden. Diese log-Datei (jobname.log) dient als Grundlage Ihrer eigenen Eingabedatei.
- Da wirklich alle Aktionen festgehalten werden, entsteht recht schnell eine sehr lange und unübersichtliche Datei. Sie sollten deshalb mit einem Texteditor (oder dem Syntax-Editor) eine neue Datei erstellen, in die Sie nur die notwendigen und richtigen Befehle aus der log-Datei hineinkopieren (Strg+c: kopieren und Strg+v: einfügen). Wichtige Arbeitsabschnitte versehen Sie mit Kommentar (!Text ...). Dies führt zu einer klaren und übersichtlichen Struktur in den Eingabedateien.
- Sie können sich die log-Datei über Utility Menu >File >Log File anzeigen lassen. Beachten Sie aber, dass eine bestehende log-Datei weiter geschrieben wird, wenn Sie ANSYS mit gleichem Jobnamen erneut starten. Sie erhalten eine sehr lange Datei. Haben Sie den Jobnamen beibehalten, empfiehlt sich der Session Editor-Befehl aus dem Main Menu. Dieser zeigt nur die Befehle der aktuellen Sitzung (seit dem letzten Save/Resume) an.
- Beginnen Sie Eingabedateien immer mit einem Dateikopf, indem als Kommentar Angaben zum Projekt, zum Lastfall, zur Programmversion usw. stehen. Die ersten ANSYS-Befehle sollten `fini` und `/clear` sein.
- Bekannte ANSYS-Befehle können Sie auch direkt in diese Eingabedatei schreiben. Ist ein gewisser Bearbeitungsstand in der Eingabedatei enthalten, lesen Sie sie in ANSYS über Utility Menu >File >Read Input from ein, und bauen so Ihr Modell neu auf.
- Jetzt können Sie Ihr Projekt über die Menüs weiterbearbeiten und die richtigen Befehlsabschnitte in Ihre Datei über die Zwischenablage kopieren (siehe oben).
- Komplexe Aktionen sollten immer über das Menü erzeugt werden. Um den Anfang und das Ende eines neuen Befehlsabschnittes in der log-Datei leichter zu finden, empfiehlt es sich vor dem ersten und nach dem letzten Menübefehl eine Kommentarzeile ins Input-Fenster zu schreiben.
- Zum Überprüfen langer Eingabedateien ist es sinnvoll, den Dateiinhalt abschnittsweise über die Zwischenablage in das Input-Fenster einzulesen und auszuführen. Fehler lassen sich somit genau lokalisieren.

- Eingabedateien dürfen keine `/input,jobname,txt` Befehlszeilen enthalten. Sonst bricht ANSYS das Einlesen mit der Warnung „*Invalid /INPUT file or too many levels*“ ab.
- Bevor Sie Eingabedateien bearbeiten erstellen Sie als erstes immer eine Kopie. Eine Datei kann unbrauchbar werden, wenn man unbeabsichtigt einen wichtigen Befehl löscht.
- Generell gilt: Sie sollten bei größeren Projekten so früh wie möglich auf die direkten ANSYS-Befehle übergehen und sich Eingabedateien erzeugen.

4. Wie kann ich einen Befehl rückgängig machen? ⑥

In ANSYS gibt es keinen klassischen Zurück- (undo-) Befehl. Mit einem einfachen Trick ist es jedoch möglich zu vorangegangenen Zwischenständen zurück zukehren: Speichern Sie einfach Ihre Datenbasis (`save,dateiname,db`) und führen Sie den nächsten Befehl aus. Entspricht das Ergebnis dieses Befehls nicht den Erwartungen, können Sie mit `resume,dateiname,db` zum vorherigen Stand zurück kehren.

5. Wieso bringt ANSYS manchmal die Meldung „...is not a recognized ... command, abbreviation, or macro. This command will be ignored.“, obwohl ich sicher bin, dass der Befehl existiert und er richtig eingegeben wurde? ⑥

Viele Befehle sind nur in der jeweiligen Prozessorebene (siehe S. 19) gültig. Um sie zu verwenden, wechseln Sie in die jeweilige Prozessorebene (`/prep7` - `/solu` - `/post1` oder `/post26`). Eine Ausnahme bilden Befehle, die mit einem Schrägstrich „/“ beginnen, diese sind in jeder Programmebene bekannt.

6. Wie lauten wichtige Befehle zur Grafikanzeige und zur Auswahl von Objekten? ⑥

`kplo - lplo - aplo - vplo - eplo - nplo:`

Darstellen von Keypunkten, Linien, Flächen, Volumen, Elementen und Knoten.

`/pnum,kp,1 - /pnum,lines,1 - ... /pnum,elem,1 - /pnum,node,1:`

Schaltet eine Nummerierung der jeweiligen Objekte ein und der Befehl `/pnum,...,0` schaltet die Nummerierung wieder aus. Die Nummerierung erfolgt nicht nur mit einem Zahlenwert, sondern auch farblich.

`/title,beliebiger text:` Erzeugt eine Bildunterschrift im Grafikfenster.

`/pbc,1 - /pbc,0:` Darstellen der Randbedingungen (ein – aus).

`/esys,1 - /esys,0:` Anzeige der Elementkoordinatensysteme.

`/view,1,1,1,1:` Isometrische Ansicht.

`/auto:` Automatisches Anpassen des Modells auf Fenstergröße.

`/vup,1,z`: Stellt die Referenz-Orientierung des globalen Koordinatensystems auf die z-Achse vertikal nach oben ein, standardmäßig zeigt die y-Achse vertikal nach oben.

Für alle Befehle gilt: Zum Aktualisieren des Grafikfensters noch `/replot` ausführen!

`kselect - lselect - aselect - vselect - eselect - nselect`:

Selektiert die jeweiligen Objekte, in Verbindung mit dem Parameter `kselect`, `lselect`, `aselect`, `vselect`, `eselect`, `nselect` ermöglicht dieser Befehl ein grafisches Selektieren (picken) mit der Maus.

`klist,p - llist,p - alist,p - vlist - elist - nlist`:

Ermöglicht ebenfalls ein grafisches Selektieren mit der Maus.

7. Wie stelle ich in ANSYS die Anzeige von einer flächen-schattierten Modelldarstellung auf eine Drahtgitter-Darstellung um?

Bei der Anzeige des Drahtgittermodus unterscheidet ANSYS zwischen dem Geometrie- und dem FE-Modell. Der Befehl ist jeweils im Utility Menu enthalten:

Geometrie-Modell: `PlotCtrls > Style > Solid Model Facets - Normal Faceting` auf `Wireframe` stellen (`/facet,wire - /facet,norml`).

FE-Modell: `PlotCtrls > Device Options ... - Vector Mode` (Wireframe) aktivieren: `on (/device,vector,1)`.

8. Was ist der Unterschied zwischen den Schaltflächen Apply und Ok?

Zunächst die Gemeinsamkeit: Beide führen den gewählten Befehl aus. Mit `Ok` schließt sich das Befehlsfenster, wohingegen bei `Apply` das Fenster geöffnet bleibt und man denselben Befehl sofort noch einmal anwenden kann.

9. Wieso werden Zahlen ohne Einheiten ins Programm eingegeben und was ist dabei zu beachten?

Mit der ersten Eingabe legen Sie sich auf ein bestimmtes Einheitensystem fest. Alle späteren Eingaben müssen in diesem Einheitensystem erfolgen. Für den Maschinenbau hat sich das Einheitensystem $[N - mm - s - 10^3kg]$ bewährt. Achten Sie bei der Eingabe von allen Größen darauf, auf diese Grundeinheiten umzurechnen. Die Ausgabegrößen werden von den Eingabegrößen bestimmt. Für die Spannung gilt z.B. $\sigma = \text{Kraft} / \text{Fläche} [N/mm^2]$.

Der Vorteil ist, dass aus allen Teilen der Technik mit dem Programm gearbeitet werden kann.

Merke: Innerhalb von ANSYS werden keine Einheiten angezeigt!

10. Was ist bei den Programmmeldungen zu beachten? ⑥

Zunächst sollten sie nicht einfach (frei nach dem Motto: aus dem Augen, aus dem Sinn) weg geklickt werden. Gelbe Meldungen (Warning) geben meist allgemeine Hinweise, die, wenn sie beachtet werden, toleriert werden können. Dagegen bedeuten rote Meldungen (Error) konkrete Fehler, die behoben werden müssen. Programmmeldungen können im Output-Fenster nachgelesen werden.

11. Warum ist es oft schwer beim grafischen Selektieren die gewünschten Objekte auszuwählen? ⑥

ANSYS bezieht sich bei der grafischen Auswahl immer auf die Mittelpunkte der jeweiligen Objekte (Mittelpunkte der Linie, der Fläche usw.). Klicken Sie in die Nähe der Mittelpunkte und Sie werden die gewünschten Objekte auf Anhieb erreichen. Aber wo sind die Mittelpunkte? Dazu brauchen Sie nur die Nummerierung zu aktivieren (siehe Punkt 6). Die Zahlen werden von ANSYS immer an den Ort der Mittelpunkte geschrieben.

Im Selektionsmodus ist es oft sinnvoll von der Einzelauswahl (single) auf eine Fensterauswahl (box) umzuschalten. Ebenfalls hilfreich ist der loop-Modus, der automatisch zusammenhängende Objekte selektiert.

Beim grafischen Selektieren kann mit der rechten Maustaste zwischen Pick und Unpick gewechselt werden. Es können auch einzelne versehentlich angeklickte Elemente wieder abgewählt werden, ohne ganz von vorne anfangen zu müssen. Noch ein Tipp: Halten Sie beim grafischen Selektieren die linke Maustaste gedrückt und bewegen die Maus: ANSYS zeigt vorab die Objekte an, die Sie mit dem Loslassen der Taste selektieren.

12. Gibt es noch eine andere Methode als das grafische Selektieren? ⑥

Der Befehl: `Utility Menu >Select Entities` bietet umfassende Auswahlmöglichkeiten an. Beispielsweise erzeugt die Option `By location` mit der Angabe von `min` und `max`-Werten gleichzeitig auch einen übersichtlichen Eintrag in der log-Datei.

13. Was bedeutet die Befehlsfolge: `FLST,2,3,5,ORDE,3 - FITEM,2,2 - FITEM,2,6 - FITEM,2,12 - AESIZE,P51X,9` - die so, oder so ähnlich immer wieder in der log-Datei steht? ⑥

Diese Befehlsfolge entsteht immer, wenn mit der Maus eine Gruppe von Objekten selektiert und auf diese Auswahl ein nachfolgender Befehl angewendet wird.

Bedeutung: ANSYS erstellt eine Feldliste (`FLST`) aus einzelnen Objekten (`Field Items FITEM`) und übergibt dieses Feld über den Platzhalter `P51X` den nachfolgenden Befehl. In unserem Beispiel wird eine Feldliste mit der Nummer

2 erstellt, die 3 Objekte enthält, der Type der Auswahl ist eine Fläche (5) und die geordnete Liste hat eine Länge von 3. Mit `FITEM, 2, 2` wird die Linie mit der Nummer 2 usw. hinzugefügt. Die so ausgewählten Flächen werden dem `AESIZE`-Befehl übergeben.

Der Befehlssyntax ist bei großen Auswahlaktionen sehr unübersichtlich. Beim Kopieren und Bearbeiten der `log`-Datei besteht leicht die Gefahr notwendige Teile zu übersehen bzw. zu löschen.

Das gleiche Ergebnis bekommt man auch, wenn man die Aktion nicht über das Menü mit der Mausauswahl macht, sondern die direkten ANSYS-Befehle verwendet. Für unser Beispiel: `asel,s,,2 – asel,a,,6 – asel,a,,12 – aeseize,all,9`. Anschließend muss die eingeschränkte Auswahl wieder auf alle Objekte erweitert werden: `allsel`.

14. Was ist bei allen Auswahlbefehlen zu beachten? ⓘ

Bei allen Auswahlbefehlen werden die aktiven Objekte eingeschränkt und den selektierten Objekten (z.B. Knoten, Flächen, usw.) bestimmte Eigenschaften oder Randbedingungen zu gewiesen. Anschließend darf nicht vergessen werden wieder alle Objekte zu aktivieren. Dazu den Befehl `allsel` in das Input-Fenster eingeben. Ansonsten kommt es zu Fehlermeldungen. Generell gilt: alle abgewählten Objekte werden von ANSYS nicht mehr erkannt und berücksichtigt!

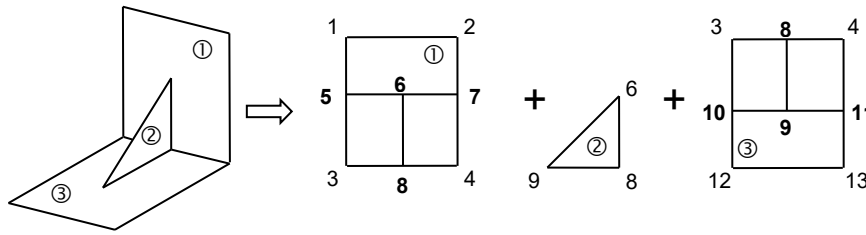
15. Die ANSYS-Befehle verwenden viele Parameter, die mit Komma getrennt werden. Wie kann ich deren Bedeutung verstehen? ⓘ

Benutzen Sie dazu die Online-Hilfe und öffnen Sie das Befehlshandbuch (`Help > Help Topics > ANSYS Commands Reference`). Noch einfacher und direkter geht's mit der Eingabe ins Input-Fenster: `/help, Befehl` z.B. `/help, aeseize`.

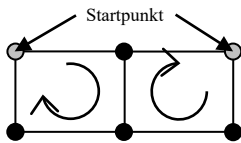
16. Was ist bei Flächenmodellen zu beachten? ⓘ

- Flächenmodelle, die bei ANSYS mit Schalenelementen (z.B. `Shell63`, `Shell93`) vernetzt werden, sind immer für dünnwandige Strukturen (Blechkonstruktionen) zu erstellen. Es gilt dabei: $t \ll b, h$.
- Legen Sie vor der Modellierung die Position der Mittelflächen fest. Für aneinander stoßende Flächen ist eine gemeinsame Mittelfläche zu wählen. Dies führt natürlich zu Fehlern im FE-Modell, die durch geschickte Wahl der Mittelflächen zu minimieren sind.
- Weisen Sie unterschiedlichen Flächen über die Realkonstanten die Dick zu.
- Aneinander stoßende Flächen müssen im FE-Modell immer miteinander verbunden sein. Dies wird durch gemeinsame Keypunkte an benachbarten Flächen erreicht. Sehen Sie deshalb gleich von Beginn an zusätzliche

Keypunkte in Flächen vor oder überlegen, wie Flächen geteilt werden müssen. Jede nachträgliche Änderung bedeutet einen erheblichen Mehraufwand.



- Schalenelemente haben eine Ober- und eine Unterseite (siehe S. 46). Diese werden mit unterschiedlichen Farben (Cyan und Magenta) bei einem Elementplot angezeigt. Der Befehl `/esys,1` zeigt die Orientierung der Element-KOS an. Im fertig vernetzten Modell sollen alle angrenzenden Schalenelemente in die gleiche Richtung zeigen.



Dies lässt sich erreichen, indem man schon bei der Flächenerstellung aus Keypunkten (Linien) auf den gleichen Umlaufungssinn für jede Fläche achtet. Ist dennoch eine unterschiedliche Ausrichtung der Elemente vorhanden, kann mit dem Befehl `enorm,enum` die Orientierung der Elementnormale nachträglich geändert werden. Beachte: Die Kontrolle ist erst nach erfolgter Vernetzung möglich.

17. Wie kann ich kontrollieren, ob ich meinem unvernetzten Flächenmodell Elemente, Realkonstante und Material mit dem AATT-Befehl richtig zugewiesen habe? ③

Lassen Sie sich die Nummerierung der Elemente, Realkonstanten und des Materials anzeigen: Utility Menu > PlotCtrls > Numbering ... > Elem/Attrib Numbering. Der ANSYS-Befehl lautet: `/pnum,elem,1 - /pnum,real,1 - /pnum,mat,1`. Die angezeigte Nummer entspricht der lfd. Nummer, die Sie zuvor definiert haben. Sie kann über das Utility Menu > List > Properties > Element Types/All Real Constants/All Materials angesehen werden.

18. Wie kann ich in meinem Modell kontrollieren, ob doppelte Keypunkte, Linien oder Knoten vorliegen? ③

Für einen physikalischen Zusammenhalt des späteren FE-Modells dürfen keine doppelten Objekte vorhanden sein. Die Kontrolle erfolgt über:

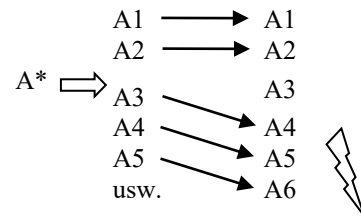
1. Die Nummerierung: Schalten Sie die Nummerierung der jeweiligen Objekte ein. Liegen am gleichen geometrischen Ort mehrere Objekte übereinander, erkennt man dies an der überlagerten Nummerierung.
2. Das grafische Selektieren (picken): geben Sie z.B. `l1ist,p` bzw. `l1sel,,p` in das Input-Fenster ein und wählen Sie die Linien mit der Maus an, die kontrolliert werden sollen. Liegen mehrfache Linien vor, werden Sie vom Programm nach der gewünschten Linie gefragt. Den Pick-Befehl können Sie anschließend abbrechen.

19. Wenn in meinem Modell doppelte Keypunkte, Linien, Elemente und Knoten vorliegen, wie kann ich diese verbinden? ⑥

ANSYS ermöglicht mit dem Befehl Main Menu >Preprocessor >Modelling >Numbering Controls >Merge (nummrg) das Verbinden von deckungsgleichen (übereinander liegenden) Objekten. Seien Sie aber vorsichtig, wenn Sie den Befehl mit der Option All anwenden. Denn dann verbindet ANSYS auch Sätze von Realkonstanten, die gleiche Werte haben.

20. Was passiert, wenn ich in mein fertiges Modell zusätzliche Linien oder Flächen einfüge? ⑥

ANSYS wird die lfd. Nummerierung der Linien, Flächen und Volumen ändern. Dadurch werden Befehle, die sich auf bestimmte Nummern beziehen, falsch ausgeführt und der Modellaufbau zerstört. Zusätzliche Objekte sollten immer nur an das Ende der Eingabedatei angehängt werden.



Damit nachträgliche Änderungen kein zerstörtes Modell zur Folge haben, sollten Sie generell Befehle nicht direkt auf lfd. Nummern beziehen, sondern zuerst Objekte über deren geometrischen Ort selektieren und auf diese Auswahl den Befehl anwenden: `asel,s,loc,x,10 -asel,a,loc,y,0 - asel,a,loc,z,20 - amesh,all` (siehe Punkt 13).

21. Wovon ist die Elementauswahl abhängig? ⑥

Elemente werden zur Diskretisierung der realen Struktur verwendet. Die Auswahl des Elementtypes hängt von der Analyseart (strukturmechanische, thermische, elektromagnetische und fluidmechanische Berechnungen), dem Simulationsmodell (1, 2 oder 3D), der Vernetzungsart (mapped, free mesh) und der geforderten Genauigkeit (Elemente mit zusätzl. Seitenmittenknoten) der Ergebnisse ab.

ANSYS stellt eine Vielzahl von Elementen zur Verfügung, die für die unterschiedlichsten physikalischen Aufgabenstellungen verwendet werden können. Elementtypen aus dem Bereich der Mechanik werden in die Gruppen Massen-punkt- (Mass), Stab- (Link), Balken- (Beam), Scheiben- (Plane), Körper- (Solid) und Schalenelemente (Shell) unterteilt.

22. Welche Informationen sind einem Element zuzuordnen und wie erfolgt diese Zuordnung? ⑥

Ein FE-Modell besteht in der Regel aus verschiedenen Elementtypen mit unterschiedlichen Realkonstanten und verschiedenen Materialien, die als Elementattribute bezeichnet werden.

Bei der Definition der Elementtypen, Realkonstanten und Materialdaten wird vom Benutzer eine (lfd.) Zählnummer vergeben (`et,1,shell63 ...`). Vor dem Vernetzen sind die Zeiger `type`, `real` und `mat` auf die entsprechenden Zählnummern zu setzen (`type=1...`). Anschließend wird der betreffende Geometriebereich vernetzt.

Eine andere Möglichkeit ist die Zuweisung der Elementattribute (auf zuvor selektierte Geometrieobjekte: Linien, Flächen, Volumen) mit den Befehlen `laa`, `aatt` und `vatt`. Beim Vernetzen werden die Attribute von den Flächen und Volumen auf die Elemente übertragen (siehe S. 48 f).

23. Welche Vernetzungstechniken gibt es? ⑥

Es werden zwei Arten unterschieden: Die automatische Festlegung der Netzdichte über die Smart Sizing-Funktion (`smrtsize,6`). Dabei wird über einen Parameter von 1-10 (entspricht einem Netz von sehr grob bis sehr fein) die Netzdichte in Abhängigkeit von der Geometrie automatisch festgelegt. Zum anderen eine manuelle Vorgabe der Netzstruktur über eine gezielte Angabe der Elementgröße für verschiedene Bereiche des Modells.

In beiden Fällen kann anschließend eine lokale Netzverfeinerung vorgenommen werden.

24. Ich habe Randbedingungen definiert. ANSYS zeigt sie aber nicht mehr an. Was ist passiert? ⑥

ANSYS muss manchmal dazu gebracht werden, die Grafikanzeige zu aktualisieren. Verwenden Sie dazu die oben genannten (siehe Punkt 6) Plot-Befehle.

Bei der Anzeige der Randbedingungen muss unterschieden werden, wo sie aufgebracht wurden: Auf Keypunkte/Linien/Flächen oder auf Knotenpunkte. RB die auf das Geometriemodell definiert wurden, werden nur bei einem Keypunkt-, Linien-, Flächen- oder Volumen-Plot angezeigt. RB die auf Knoten definiert wurden, werden nur bei einem Knoten- oder Element-Plot angezeigt. Hat man sowohl auf das Geometrie- als auch auf das FE-Modell RB definiert ist der Multiplot-Befehl hilfreich (`/gplot`).

Generell sind aber zuvor immer die Symbole der RB über das Utility Menu (`PlotCtrls > Symbols > All Applied BC's`) einzuschalten (`/pbc,all,1`).

25. Wie bringe ich auf mein FE-Modell eine Kraft auf, die nicht parallel zu den Achsen des globalen Koordinatensystem ist? ⑥

Die Orientierung von Kräften wird durch das Knoten-Koordinatensystem (Node CS) bestimmt. Standardmäßig sind die einzelnen Knoten-KOS immer parallel zum globalen Koordinatensystem ausgerichtet, unabhängig von der Geometrie.

Wollen Sie eine Kraft in einem bestimmten Winkel auf einen Knoten aufbringen, drehen Sie das Knoten-KOS des (der) betreffenden Knoten(s): Main Menu >Prep7 >Modeling >Move/Modify >Rotate Node CS >By Angles und geben die Drehwinkel in Grad ein:

(n,knotennummer, , , ,winkel_xy,winkel_yz,winkel_zx).

Kontrollieren können Sie die Orientierung der KOS über die Symbole: Utility Menu >PlotCtrls >Symbols ... >NDIR, ESYS: auf On stellen (/psymb,ndir,1 - /psymb,esys,1). Bedenken Sie aber, dass nur gedrehte Knoten-KOS bei einem Knoten-Plot angezeigt werden.

Alternativ können Sie die Kraft auch in zwei Einzelkräfte zerlegen, die dann parallel zu den Hauptkoordinaten-Achsen sind.

Bei Schalenelementen ist die Ausrichtung des Knoten-KOS ungleich dem Element-KOS, das sich immer an der Geometrie orientiert: esys \neq nsys

Ergänzung: Die Lage von Geometrieobjekten (Keypunkte, Flächen) wird über die Workplane bzw. über globale und lokale KOS (csys) bestimmt. Kräfte gehören aber zum FE-Modell, das aus Elementen und Knoten besteht. Also ist für Kräfte das Knoten-KOS bestimmend.

26. Wann ist das Eigengewicht einer Struktur zu berücksichtigen und was ist dabei zu beachten? ⑥

Es soll berücksichtigt werden, wenn dessen Einfluss im Vergleich zur äußeren Belastung nicht vernachlässigbar ist.

Um mit dem Eigengewicht zu rechnen sind zwei Angaben erforderlich: Zum einen ist die Dichte anzugeben (MP,dens,1,7.85e-9) und zum anderen muss eine Beschleunigung (acel,0,9810) definiert werden die auf das Modell wirkt. Die Richtung ist entgegen der Wirkrichtung einzugeben, also entgegen der Annahme. ANSYS beschleunigt das Bauteil in diese Richtung und es wirkt eine Trägheitskraft entgegen, die das Modell dann in die gewünschte Richtung verformt.

Wurde eine Dichte definiert, berechnet das Programm nach dem Starten der Lösung die Gesamtmasse des Bauteils (siehe Output-Fenster). Bei einer Modalanalyse ist die Dichte immer mit anzugeben.

27. Hat eine unvernetzte Linie, Fläche oder eine unvernetztes Volumen in meinem Modell einen Einfluss auf das Berechnungsergebnis? ⑥

Nein. Bei der Berechnung wird das Geometriemodell nicht mehr betrachtet. Entscheidend ist nur das FE-Modell mit seinen Elementen und Knoten. Nur an den Knoten (Nodes) werden Differentialgleichungen aufgestellt und gelöst.

Deshalb werden auch Randbedingungen, die man auf Keypunkte, Linien usw. aufgebracht hat, beim Starten der Lösung (solve) von ANSYS automatisch auf die dazugehörigen Knoten übertragen.

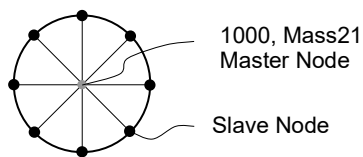
28. Was ist bei der Verwendung von orthotropen Materialeigenschaften zu beachten?

Sie müssen auf die Ausrichtung der Element-Koordinatensysteme achten. Sie bestimmen die Richtung der orthotropen Materialeigenschaften.

Bei Schalenelementen sind die x-y-Achsen in der Schalenebene (wobei von Knoten $i > j$: x-Achse), die z-Achse ergibt sich nach der Rechen-Hand-Regel. Bei Volumelementen sind die Element-KOS immer parallel zum globalen KOS orientiert. Diese Standardorientierung kann aber über entsprechend orientierte lokale KOS und die `aatt` bzw. `vatt`-Befehle geändert werden.

Generell sollten Sie die Orientierung der Element-KOS vor der Eingabe von orthotropen Materialeigensch. grafisch überprüfen (`/psym, esys, 1-epplot`).

29. Wie wird in ANSYS eine steife Verbindung zwischen einem Zylinder und einer Welle definiert?



Die Knoten auf dem Zylinder werden als Slave-Knoten definiert (selektieren Sie die Knoten und erzeugen für diese Auswahl eine Komponente über: Utility Menu Comp/Assembly >Select >Create Component), der Knoten (z.B.

Knotennummer 1000) auf der Welle wird als Master-Knoten definiert. Für 3D Schalenmodelle generieren Sie ein zusätzliches Masselement (Mass21). Zum Erzeugen der steifen Verbindung (Rigid Region) selektieren Sie beide u. wenden den Befehl `cerig, 1000, all, all` an.

30. Welche Regeln gelten bei der Zuordnung von Contact- und Target-Flächen in nichtlinearen Kontaktberechnungen und was besagt die Kontaktsteifigkeit?

Für die Contact Fläche sollte gelten: konvexe Fläche, feiner vernetzte Fläche, weichere Fläche und kleinere Fläche.

Für die Target Fläche sollte gelten: konkave/ebene Fläche, gröber vernetzte Fläche, steifere Fläche (weniger Verformung) und größere Fläche.

Die Kontaktsteifigkeit ist der wichtigste Parameter der die Genauigkeit und das Konvergenzverhalten beeinflusst. Der richtige Wert ist problemabhängig und muss durch trial-and-error und Erfahrung festgestellt werden. Eine zu kleine Kontaktsteifigkeit führt zu sehr großen Durchdringungen der Contact- und Target-Flächen. Eine zu große Steifigkeit verursacht Konvergenz-Probleme. Faustregel: Starten Sie mit einem kleinen Wert, kontrollieren Sie die

Durchdringung (bei `dscale,,1` – wahre Skalierung) und Erhöhen die Steifigkeit, bis sich die Ergebnisse nicht mehr entscheidend ändern.

31. Wie kann ich mir bei einer transienten Berechnung auch die Spannungen im Bauteil zu einer bestimmten Zeit berechnen lassen? ④

Bei einer transienten Analyse (Reduced Methode bzw. modalen Superposition) stehen nach der Lösung nur die Knotenverschiebungen als Ergebniswerte zur Verfügung. Die Berechnung der sonstigen Freiheitsgrade, auch der Elementergebniswerte, erfolgt in einer Nachlaufberechnung (Expansion Pass).

Die Berechnung für einen definierten, in der Datei `*.rdsp` abgelegten Zeitschritt, erfolgt nach der transienten Berechnung. Wechseln Sie wieder in den Solution-Prozessor und geben die Expansion Pass Funktion ein: `/solu - expass, on - expsol, , , 0.092` (0.092=Zeit zu der Berechnung stattfindet) - `outres - solve`. Die Darstellung des Ergebnisses erfolgt wie gewohnt im Post1-Prozessor.

32. Wann spricht man von Nichtlinearitäten und welche Arten gibt es? ④

Verhält sich die Antwort einer Struktur nicht proportional zu Belastung, liegt ein nichtlineares Problem vor. Ursachen sind:

1. Geometrische Nichtlinearitäten: große Verformungen und Rotationen.
2. Material-Nichtlinearitäten: Plastizität – bleibende Verformung.
3. Folgelasten: Belastung ist nicht konstant, sondern eine Funktion der Verschiebung, d.h. nicht richtungstreu.
4. Kontaktprobleme: Randbedingungen sind nicht konstant, sondern eine Funktion der Verschiebung.

33. Nach dem Starten der Lösung erscheint die Warnung: „*Small equation solver pivot term=... e-11 encountered at ...*“ und der Lösungsvorgang bricht ab. Was ist passiert? ④

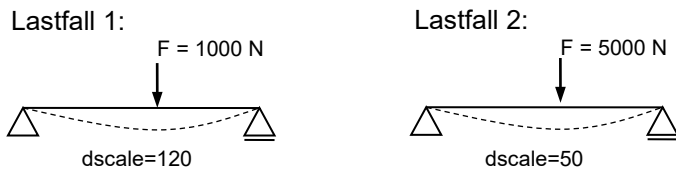
Das FE-Modell ist nicht ausreichend gelagert. Es ist statisch unterbestimmt und führt aufgrund der äußeren Belastung eine Starrkörperbewegung aus. ANSYS bricht den Lösungsvorgang ab. Kontrollieren Sie die Randbedingungen und starten die Berechnung neu.

34. Worin besteht der Unterschied zwischen Knoten- und Elementlösung? ④

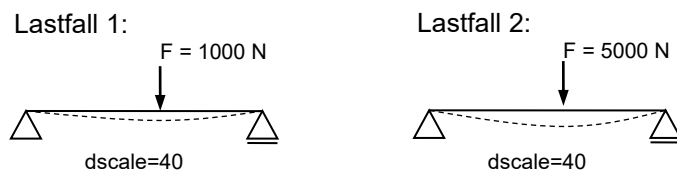
Bei der Knotenlösung (Nodal Solution) werden benachbarte Elemente mit herangezogen und die Ergebnisse werden gemittelt. Bei den Elementlösungen (Element Solution) findet keine Mittelung statt. Dies führt zu einer Diskontinuität der Spannungen an deren Elementgrenzen, d.h. man sieht Spannungssprünge von einem Element zum anderen. Sind diese Sprünge zu groß, ist das ein Hinweis auf ein zu grob vernetztes Modell.

Die Mittelung (Nodal Solution) ist aber nicht immer zulässig, z.B. bei Diskontinuitäten in der Struktur oder im Material (siehe S. 58).

35. Warum erhalte ich bei der Darstellung der Verschiebung, für verschieden große Belastungen, immer gleich große Verformungs-Plots?



ANSYS verwendet bei der Anzeige der Verformung einen Skalierungsfaktor der automatisch berechnet wird und sich auf die Gesamtgröße des Modells bezieht. Um verschiedene Belastungsfälle miteinander vergleichen zu können, sollte man diesen Skalierungsfaktor per Hand setzen: Utility Menu >PlotCtrls >Style >Displacement Scaling (z.B. /dscale,1,40).



36. Wie erstelle ich aus meinen Grafikplots Bilder?

Es gibt zwei Möglichkeiten, die jeweils über das Utility Menu führen: PlotCtrls >Hardcopy >To File. Dieser Befehl erstellt Bilder, deren Größe von der gewählten Bildschirmauflösung und der Größe des Grafikfensters abhängen.

Eine unabhängige Bilderstellung führt über PlotCtrls >Redirect Plots >To Tiff File... Wählen Sie das Tiff-Format (unkomprimiert) aus und geben Sie die gewünschte Auflösung an. Anschließend konvertieren Sie Ihre Bilder (mit IrfanView) in das Gif-Format. Damit stellen Sie eine bestmögliche Qualität, bei kleiner Dateigröße sicher. Das Format Jpg liefert zwar in einem Schritt eine kleine Dateigröße, aber die Qualität ist deutlich schlechter.

37. Welche Dateien muss ich sichern, wenn ich später an der Berechnung weiter arbeiten will?

In den Dateien *.db und *.log stehen jeweils alle Informationen für einen kompletten Modellaufbau, sowohl des Geometrie- als auch des FE-Modells. Haben Sie schon eine Lösung berechnet, dann brauchen Sie auch die Ergebnisdateien: Je nach Analyseverfahren mit der Endung *.rst, *.rth, *.rmag (siehe S. 18).

38. ANSYS hat eine englische Programmoberfläche. Gibt es nicht auch eine deutsche Version?

Nein. Der weltweite Standard für FE-Programme ist Englisch. Im Vergleich zu CAD-Programmen sind deutlich weniger FE-Programme installiert. Für CAD-

Systeme lohnt sich daher auch eine komplette Übersetzung für jede Sprache und Version.

Das Online-Wörterbuch bei <http://www.leo.org> bietet eine Möglichkeit, um einzelne Wörter (auch Fachbegriffe) zu übersetzen und so ANSYS besser zu verstehen.

39. Wie finde ich in den Menüs einen ANSYS-Befehl, dessen Namen ich kenne? ⑥

Geben Sie in das Input-Fenster den Befehl `/help,Befehlsnamen` ein. Am Ende der jeweiligen Online-Hilfe-Seite finden Sie den genauen Menüpfad angegeben.

40. Was ist bei der Arbeit mit ANSYS sonst noch zu beachten? ⑥

- Erstellen Sie für jedes neue FE-Projekt ein eigenes Unterverzeichnis und geben dies beim Programmstart im Feld Working Directory an.
- In einem Geometriemodell können Objekte höherer Ordnung nicht gelöscht werden, solange sie mit Objekten höherer Ordnung verbunden sind (hierarchischer Modellaufbau – Löschen von oben nach unten: Fläche>Linie>Punkt).
- Geometrieangaben beziehen sich immer auf die Arbeitsebene, die beim Programmstart mit der globalen kartesischen x-y Ebene übereinstimmt. Die Arbeitsebene kann über Utility Menu >Working Plane verändert werden (siehe S. 44)
- Angaben zu Elementtyp, Realkonstanten und Materialeigenschaften (Elementattribute) können vor oder nach der Geometrieerstellung erfolgen. Sie müssen aber stets vor dem Vernetzten definiert worden sein.
- Dezimalzahlen werden mit Punkt anstatt Komma eingegeben.
- Hochzahlen bei Berechnungen werden in ANSYS mit einem doppelten Mal eingegeben: $5^3 \Rightarrow 5**3$.
- alle Parameter in ANSYS-Befehlen werden mit Komma getrennt; auch der Befehl zum Einlesen von Dateien: `/resume,dateiname,dateiendung` (Komma auch vor Dateiendung!)
- Symmetrie-Randbedingungen müssen immer im positiven Koordinatensystem liegen. Der KO-Ursprung muss deshalb bereits vor der Dateneingabe entsprechend festgelegt werden.

- Beachten Sie bei der Ausführung eines Menü Befehls die Statuszeile des Programms (siehe S. 22 (7)): Dort wird der nächste Arbeitsschritt angegeben.
- Auf den Labor-PC's ist ein Syntax-Editor für die ANSYS-Eingabedateien installiert (kann frei kopiert werden). Benennen Sie Ihre bearbeiteten log-Dateien auf die Endung *.inp um, um mit ihm zu arbeiten.
- Um bei längeren Berechnungen den Lösungsfortschritt zu kontrollieren sollte der Inhalt des Output-Fensters in eine Datei umgeleitet werden: /output,ergebnis,txt. Anschließend Umlenkung wieder mit /out aufheben.
- Wenn Sie mit der linken Maustaste in das Output-Fenster klicken, halten Sie ANSYS an (ist manchmal nützlich, wenn Sie in der Lösungsphase schnell durchlaufende Meldungen lesen wollen). Um die Berechnung fortzusetzen klicken Sie mit der rechten Maustaste in das Output-Fenster.
- Der Lösungsfortschritt in einer transienten Berechnung kann über die *.mntr Monitoring-Datei verfolgt werden.
- Beim Postprocessing ist die Multi-Window-Darstellung oft hilfreich um das Ergebnis gleichzeitig aus verschiedenen Ansichten anzuzeigen: Utility Menu >PlotCtrls >Multi-Window Layout.
- Ergebnisse werden im Knoten-/Element-Koordinatensystem berechnet und für die Darstellung im Postprozessor auf das Resultat-Koordinatensystem umgerechnet. Dies ist in der Voreinstellung das globale kartesische KOS. Für zylindrische Bauteile ist es manchmal nützlich das Resultat-KOS auf ein globales Zylinder-KOS umzustellen.
- Das Schließen des Output-Fensters bricht ANSYS ohne Nachfrage ab!

5 Weiterführende Informationen

5.1 Einheitensystem

Bei der Arbeit mit ANSYS besteht keine Festlegung auf ein bestimmtes physikalisches Maß- oder Einheitensystem. ANSYS hält bei einer Analyse jedoch konsistente Einheiten ein. Damit sind die Einheiten, die vom Anwender für die Eingabe verwendet werden, auch in der Ausgabe durchgängig eingehalten. Diese Vorgehensweise wurde gewählt, weil das Programm in zahlreichen Bereichen der Technik und Physik verwendet wird und entsprechend zahlreiche mögliche Kombinationen von Einheiten vom Anwender gewünscht sind.

Der Anwender des Programms hat die Einheitenfestlegung für drei Grundgrößen zu treffen. Die anderen Größen, die hiermit einen konsistenten Satz von Einheiten bilden, können daraus abgeleitet werden. Die grundlegenden Festlegungen werden für die physikalischen Größen Masse, Länge und Zeit getroffen. Der Zusammenhang für die Größen, angeführt in SI-Einheiten ist durch folgende Beziehungen dargestellt:

$$Kraft = \frac{Masse \cdot Länge}{Zeit^2} \quad [N = \frac{kg \cdot m}{s^2}]$$

Mit diesen Beziehungen kann der ANSYS-Anwender jeden für den aktuellen Fall geeigneten Satz von Einheiten ableiten. Einheitenkombinationen, die in der Technik häufig verwendet werden, sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

	Kraft	Masse	Länge	Zeit	Arbeit	Druck
SI	N	kg	m	s	J	Pa
Ing	N	10 ³ kg	mm	s	10 ⁻³ J	MPa
cgs	dyn	G	cm	s	erg	Dyn/cm ²

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ N/mm}^2$$

Tabelle 1: Einheitensysteme in der Technik

Zusätzlich zu den Einheiten für die physikalischen Größen, die oben aufgelistet sind, werden hier als abgeleitete Größe die Einheiten für Arbeit und Druck oder entsprechend für mechanische Spannungen angegeben.

Unter der Bezeichnung „SI“ sind die standardisierten SI-Einheiten aufgeführt.

Bei „cgs“ sind die in physikalischen Anwendungen üblichen Einheiten aufgelistet.

Mit der Bezeichnung „Ing“ ist eine Variante einer Kombination von Einheiten gezeigt, die für Berechnungen im Maschinenbau angebracht ist.

Ein-/Ausgabegröße:	Kraft	Masse	Länge	Zeit
Dimension:	F	M	L	t
Einheit:	N	Ns^2/mm 10^3 kg	mm	s
Ein-/Ausgabegröße:	Arbeit (Wärmemenge)	Druck	Leistung	Temperatur
Dimension:	$Q = F \times L$	F / L^2	$F \times L / t$	T
Einheit:	Nmm 10^{-3} J	N / mm^2	10^{-3} W	K
Ein-/Ausgabegröße:	Dichte	Wärmeleitfähigkeit λ	Wärmeübergangskoeffizient α	Spez. Wärmekapazität
Dimension:	M / L^3	$Q / (L \times t \times T)$	$Q / (L^2 \times t \times T)$	$Q / (M \times T)$
Einheit:	Ns^2/mm^4	$\text{N} / (\text{sK})$ W / mK	$\text{N} / (\text{smmK})$ $10^3 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$	$\text{Nmm} / (10^3 \text{ kgK})$ $10^{-3} \text{ J} / 10^3 \text{ kgK}$

Tabelle 2: Das Einheitensystem Ing

Damit sind z.B. die Abmessungen der Bauteile in [mm], der Elastizitätsmodul und mechanische Spannungen in $[\text{N}/\text{mm}^2]$ und Eigenfrequenzen in [Hz] bzw. $[\text{s}^{-1}]$ einzugeben oder abzulesen, Massewerte werden in $[\text{Ns}^2/\text{mm} = 10^3 \text{ kg}]$ und Dichtewerte in $[10^3 \text{ kg} / \text{mm}^3]$ angegeben. Die Masseneinheit ist also nicht mehr frei wählbar, da es den oben genannten Zusammenhang zwischen den Einheiten gibt. Wenn die Entscheidung für die Längen- [mm], Kraft- [N] und Zeiteinheit [s] gefallen ist, ist die Masseneinheit nicht mehr frei wählbar, sondern es muss gezwungenermaßen [kg] verwendet werden.

5.2 Koordinatensysteme

Im Programm ANSYS werden für bestimmte Anwendungen und Aufgaben spezielle Koordinatensysteme verwendet. Man unterscheidet:

- ♦ Globale und lokale Koordinatensysteme (Global und Local Coordinate Systems). Sie werden verwendet, um geometrische Größen (Knoten, Keypoints, etc.) im Raum zu platzieren, d.h. das Geometriemodell zu erzeugen.
- ♦ Das Darstellungskordinatensystem (Display Coordinate System) wird zur Ausgabe des Geometriemodells verwendet. Es bestimmt, in welchem Koordinatensystem geometrische Größen dargestellt oder aufgelistet werden.
- ♦ Das Knotenkoordinatensystem (Nodal Coordinate System) legt die Richtungen der Freiheitsgrade für jeden Knoten fest.
- ♦ Das Elementkoordinatensystem (Element Coordinate System) legt die Orientierung von Materialeigenschaften und der elementbezogenen Ergebnisse (Element „Stress“ Results) fest.
- ♦ Das Ergebniskordinatensystem (Results Coordinate System) wird zum Umrechnen von Ergebnisdaten zur grafischen Darstellung oder zur Ausgabe beim Postprocessing verwendet.

5.2.1 Globale und lokale Koordinatensysteme

Mit Hilfe globaler und lokaler Koordinatensysteme wird die Geometrie des FE-Modells erstellt. Definiert man die Lage eines Knoten mit Hilfe seiner Koordinaten, so werden diese in Voreinstellung einem globalen kartesischen Koordinatensystem zugeordnet. Für einige Modelle kann es jedoch bequemer sein, die Koordinaten des Systems bezogen auf ein anderes als das globale kartesische Koordinatensystem zu definieren. Das ANSYS-Programm erlaubt die Eingabe der Geometrie in einem der drei vordefinierten (globalen) Koordinatensysteme oder in beliebig vielen durch den Anwender definierten (lokalen) Koordinatensystemen. Man kann den Status aller globalen und lokalen Koordinatensysteme durch Eingabe des Kommandos `CSLIST` im Menüpunkt `Utility Menu >List >Other >Local Coord Sys` ansehen.

5.2.1.1 Globale Koordinatensysteme (Global Coordinate System)

Ein globales Koordinatensystem (Global Coordinate System) kann als absoluter Bezugsrahmen betrachtet werden. Das ANSYS-Programm bietet drei vordefinierte globale Systeme an: kartesisch, zylindrisch und sphärisch (siehe Bild 13).

Alle drei Systeme sind rechtsdrehend und haben per Definition den gleichen Ursprung. Sie werden durch das Kommando `CSYS, KCN` definiert, mit

KCN	=	0	für das kartesische (default),
		1	für das zylindrische,
		2	für das sphärische Koordinatensystem und
		>10	benutzerdefiniertes Koordinatensystem.

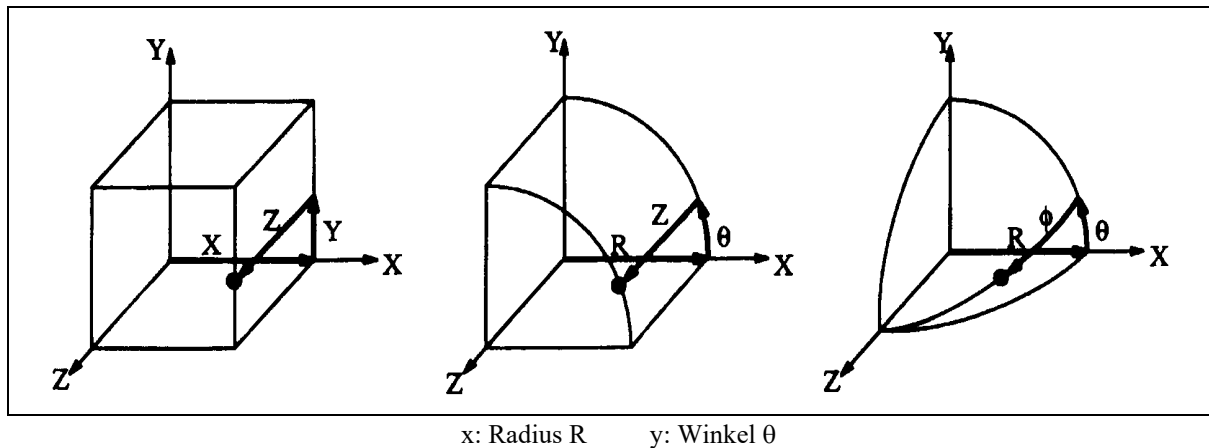


Bild 14: Globale Koordinatensysteme in ANSYS

5.2.1.2 Lokale Koordinatensysteme (Local Coordinate System)

In vielen Fällen ist es notwendig, ein eigenes Koordinatensystem zu definieren, dessen Ursprung oder dessen Orientierung von dem des vordefinierten globalen Systems abweicht. Derartige, vom Anwender definierte lokale Koordinatensysteme dienen zur Erleichterung der Modellerzeugung. Lokale Systeme können in Bezug auf das globale mit dem LOCAL-Kommando oder in Bezug auf ein lokales Koordinatensystem mit dem CLOCAL-Kommando definiert werden. Durch Angabe von drei Rotationen können sie dabei beliebig im Raum ausgerichtet werden (vgl. Bild 14).

Die lokalen Koordinatensysteme können außerdem durch Anwendung der Kommandos CS, CSKP und CSWPLA generiert werden. Zusammenfassend ergibt sich:

LOCAL

definiert ein lokales Koordinatensystem mit globalen Koordinaten;

CLOCAL

definiert ein lokales Koordinatensystem in Bezug auf das momentan aktive Koordinatensystem

CS und CSKP

definieren lokale Koordinatensysteme mit bereits existierenden Knoten beziehungsweise Keypoints

CSWPLA

definiert ein lokales Koordinatensystem in der Mitte der momentan definierten Arbeitsebene (Working Plane).

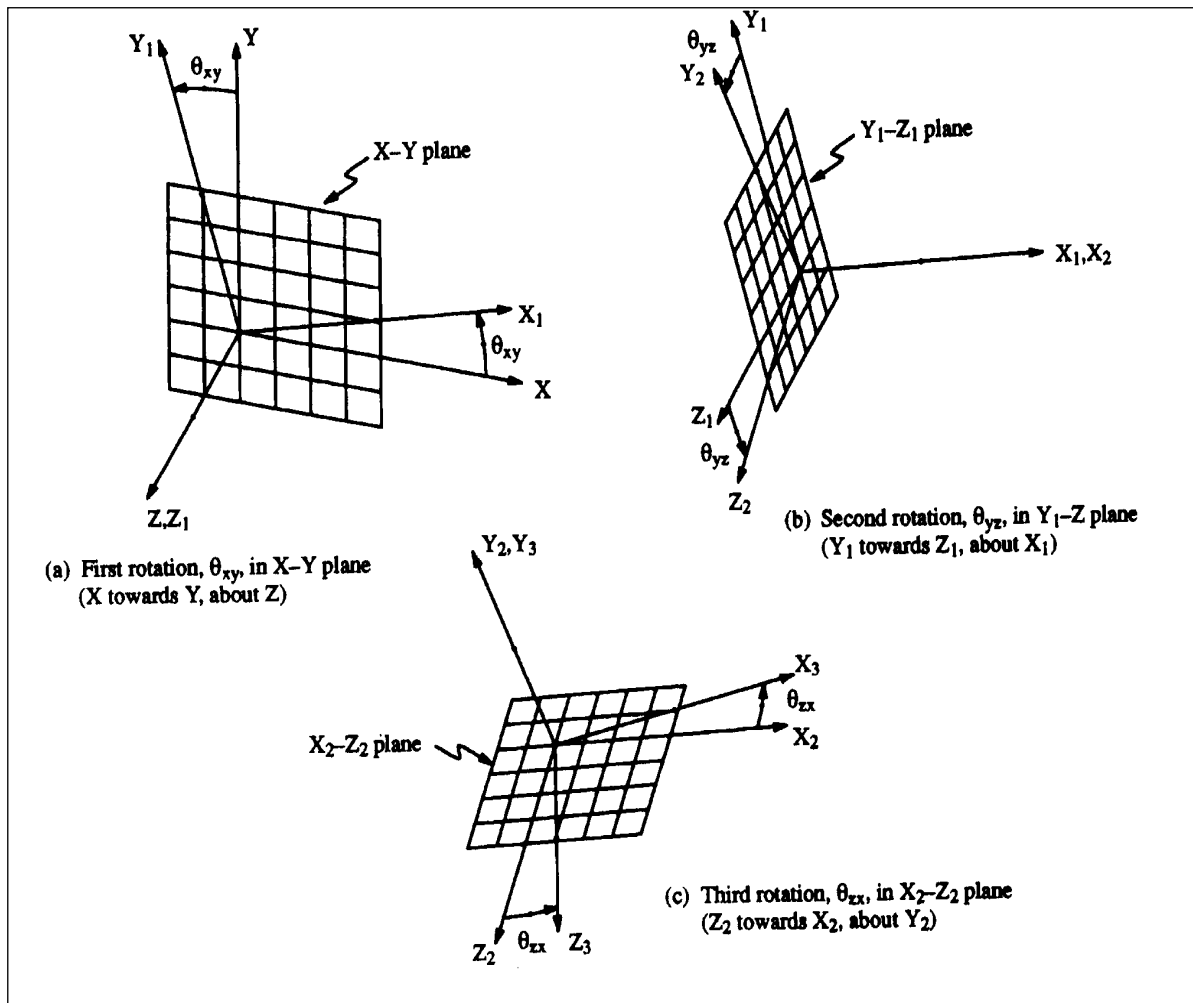


Bild 15: Euler'sche Drehwinkel, die für lokale Koordinatensysteme, für die Knotenkoordinatensysteme oder für die Drehungen von Koordinatensystemen von Arbeitsebenen verwendet werden

Hinweise:

- Alle obengenannten Koordinatensysteme können auch mit Hilfe des Menüpunkts Utility Menu >Workplane >Local Coordinate Systems definiert werden.
- Die Verwendung von LOCAL empfiehlt sich in der Regel zur Definition von lokalen Koordinatensystemen in der Ebene oder wenn nur ein Drehwinkel festzulegen ist. Dagegen lassen sich Koordinatensysteme im allgemeinen Fall einfacher mit dem CS Kommando definieren.
- Lokale Koordinatensysteme können in jeder Phase der Programm-Anwendung generiert (oder mit CSDELE gelöscht) werden. Die KCN-Referenznummer des Koordinatensystems muss aber immer größer als 10 sein (siehe Beispiel Bild 16)!
- Nach der Definition eines lokalen Systems ist dieses auch gleichzeitig aktiv.
- Die Dateneingabe erfolgt jeweils im aktiven Koordinatensystem.
- Mit dem Kommando CSYS kann zwischen den verschiedenen, definierten Koordinatensystemen hin und her gewechselt werden.

- Das lokale Koordinatensystem kann, ähnlich wie die drei vordefinierten globalen Koordinatensysteme, kartesisch, zylindrisch oder sphärisch sein. Zusätzlich kann auch ein torusförmiges Koordinatensystem verwendet werden mit einem festen Krümmungsradius r und mit den Koordinaten R , θ und ϕ (Bild 15).
- Nachdem das Bauteil erzeugt ist, hat das lokale System keinen weiteren Einfluss mehr auf die Geometrie.
- Als hilfreiche Möglichkeit zur Kontrolle der lokalen Systeme stellt der Befehl /PSYM, CS, 1 die Achsen aller lokalen Koordinatensysteme auf den folgenden Plots dar.

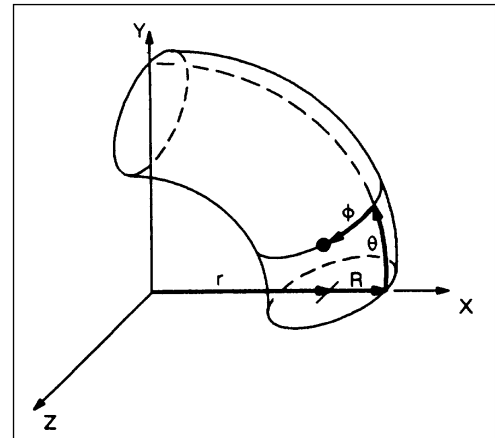


Bild 16

Beispiel für die Verwendung des Kommandos LOCAL:

Syntax:

LOCAL, KCN, KCS, XC, YC, ZC, THXY, THYZ, THZX, PAR1, PAR2

Parameter :

KCN Referenznummer des Koordinatensystems (muss größer als 10 sein!)

KCS Typ des Koordinatensystems: 0 kartesisch,
1 zylindrisch,
2 sphärisch,
3 torusförmig.

XC, YC, ZC

Globale Koordinaten des lokalen Ursprungs

THXY, THYZ, THZX

Verdrehwinkel der lokalen Achsen zu den globalen Achsen (siehe Bild 14)

PAR1, PAR2

Längenrelation der beiden Ellipsenachsen bei elliptischen Koordinatensystemen (ein zylindrisches Koordinatensystem kann durch Angabe der zwei Parameter PAR1, PAR2 zu einem elliptischen System verzerrt werden). Für torusförmige Koordinatensysteme ist der Radius des Torus als Parameter PAR1 einzusetzen.

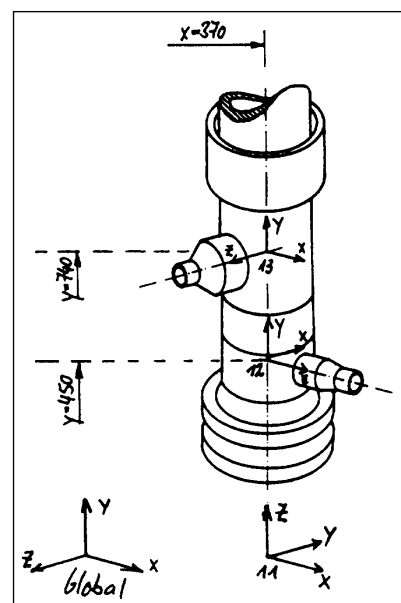


Bild 17

Zur Definition der 3 lokalen Koordinatensystemen (siehe Bild 17) ist folgende Dateneingabe nötig:

LOCAL, 11, 1, 370, , , , -90

LOCAL, 12, 1, 370, 450, , , , 90

LOCAL, 13, 1, 370, 740

Beispiel für die Verwendung des Kommandos CS:

Syntax:

CS, KCN, KCS, NORIG, NXAX, NXYPL, PAR1, PAR2

Parameter:

KCN Referenznummer des Koordinatensystems (muss größer als 10 sein!)

KCS Typ des Koordinatensystems:
 0 kartesisch,
 1 zylindrisch (wobei gilt: x=Radius, y=Winkel),
 2 sphärisch,
 3 torusförmig.

NORIG Nummer des Knotens der den Koordinatenursprung definiert. Falls NORIG=P gewählt wird, so kann der Knoten in der Benutzeroberfläche (Graphical User Interface) angewählt (pick) werden. Alle weiteren Eingaben NXAX, NXYPL, ... im CS-Kommando werden dann ignoriert.

NXAX Nummer des Knotens mit dessen Hilfe die Richtung der positiven x-Achse definiert wird (siehe Bild 18). Der Knoten liegt entweder im 1. Oder 2. Quadranten.

NXYPL Nummer des Knotens mit dessen Hilfe die Lage der positiven x-y Ebene definiert wird (siehe Bild 18)

PAR1, PAR2 Längenrelation der beiden Ellipsenachsen bei elliptischen Koordinatensystemen (ein zylindrisches Koordinatensystem kann durch Angabe der zwei Parameter PAR1, PAR2 zu einem elliptischen System verzerrt werden). Für torusförmige Koordinatensysteme ist der Radius des Torus als Parameter PAR1 einzusetzen.

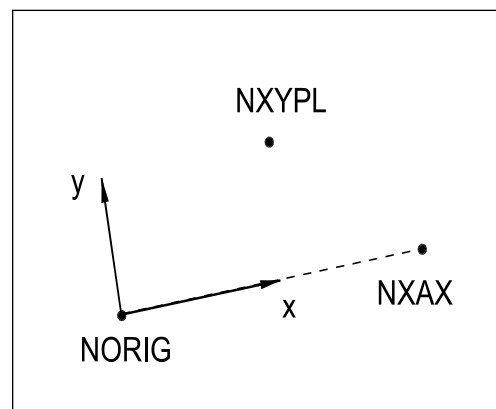


Bild 18

Weitere Hinweise:

Die Eingaben beziehen sich immer auf das aktuell gewählte Koordinatensystem. Wurde z.B. das zylindrische Koordinatensystem mit CSYS, 1 eingestellt, so versteht ANSYS die Koordinate x als Radius r und y als Winkel ϕ . Vom Programm werden diese Koordinaten aber sofort wieder in das kartesische, globale

Koordinatensystem umgerechnet und so gespeichert. Wenn das gewählte Koordinatensystem beibehalten werden soll, weil z. B. Randbedingungen oder Knotenkräfte in dem gewählten Koordinatensystem festgelegt werden sollen, so müssen die betroffenen Knoten mit dem zusätzlichen Befehl `NROTATE` in diesem Koordinatensystem fixiert werden. Die Definitionen dieser Koordinatensysteme werden deshalb in ANSYS folgerichtig als „nodal coordinate systems“ bezeichnet, da sie nur für bestimmte (mit `NROTATE` definierte) Knoten gelten.

Alle Ausgaben (Plots und Listings) erfolgen standardmäßig im globalen kartesischen Koordinatensystem (auch wenn für die Eingabe gerade ein lokales System aktiv ist), können aber mit dem `DSYS`-Kommando auf ein anderes Ausgabesystem umgeschaltet werden. Auch die Berechnungsergebnisse beziehen sich standardmäßig auf das globale System, für die Umrechnung in ein lokales System ist das `RSYS`-Kommando zu verwenden.

Oberflächen werden als unendlich angenommen. Zylindrische kreisförmige Oberflächen haben bei $\Theta = \pm 180^\circ$ eine Singularität, wie im Bild 19 gezeigt wird, so dass das Generieren einer Reihe mit Knoten (`FILL`-Kommandos: `FILL`, `KFILL`) durch Auffüllen die 180° -Linie nicht kreuzen kann. Eine Eingabe für `FILL`, definiert von A nach C, erzeugt eine Reihe Knoten durch B gehend. Ein `FILL`, definiert von A nach D, erzeugt eine Knotenreihe, die durch E geht. Ein `FILL`, definiert von C nach D, erzeugt eine Knotenreihe, die durch B, A und E geht.

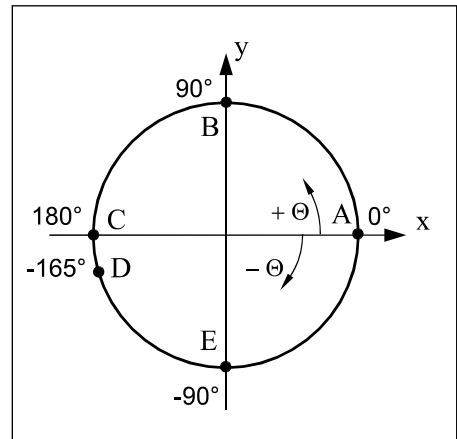


Bild 19: Singuläre Punkte

Bei einem zylindrischen Koordinatensystem (`KCN=1`) verschiebt die Angabe des Parameters `KTHET=1` im Kommando `CSDIR` den Punkt der Singularität nach $\Theta = 0^\circ$ (oder 360°), so dass eine Eingabe für `FILL` von C nach D keine Knotenreihe erzeugt, die durch B, A oder E geht.

Eine ähnliche Singularität tritt bei einem torusförmigen Koordinatensystem bei $\Theta = \pm 180^\circ$ auf und kann mit `KPHI=1` verschoben werden. Singularitäten treten auch bei sphärischen Koordinatensystemen bei $\Theta = \pm 90^\circ$ auf, weshalb diese Orte nicht verwendet werden sollten.

Generell gilt, dass Linien von Solid-Models durch diese Anordnungen von Singularitäten nicht beeinflusst werden. Eine gekrümmte Linie zwischen zwei Keypoints nimmt den kürzesten Pfad in der Winkelrichtung, ohne die Anordnung des singulären Punktes zu berücksichtigen. (Als Ergebnis können gekrümmte Linien keinen Bogen von mehr als 180° überspannen.) Aus diesem Grund überspannen im Bild 18 kreisförmige Linien von B nach D oder von D nach B einen Bogen von 105° .

5.2.2 Das Darstellungskordinatensystem (Display Coordinate System)

In Voreinstellung enthält eine Liste von Knoten oder Keypoints immer die globalen kartesischen Koordinaten, auch wenn sie in einem davon abweichenden Koordinatensystem definiert worden sind. Um das Darstellungskordinatensystem (Display Coordinate System), das in derartigen Listen verwendet wird, zu ändern, ist DSYS (Utility Menu >Workplane >Change Display CS to) auszuführen. Beachte, dass DSYS außerdem die anschließend ausgeführten grafischen Darstellungen beeinflusst. Mit der Ausnahme, dass spezielle Effekte für die Darstellungen gewünscht werden, sollte das Darstellungskordinatensystem immer auf DSYS, 0 (also das globale kartesische Koordinatensystem) zurückgesetzt sein, bevor jegliche Befehle zur grafischen Darstellung eingegeben werden wie z.B. NPLOT, EPLOT etc..(Darstellungen, die die Kommandos LPLOT, APLOT oder VPLOT erzeugen, werden von DSYS jedoch nicht beeinflusst.)

5.2.3 Knotenkoordinatensysteme (Nodal Coordinate System)

Während globale und lokale Koordinatensysteme geometrische Größen positionieren, orientieren Knotenkoordinatensysteme die Richtungen der Freiheitsgrade an jedem Knoten. Jeder Knoten besitzt sein eigenes Knotenkoordinatensystem, das seinen Ursprung immer am Ort des Knoten hat und daher nur noch durch die Richtung der 3 Achsen im Raum festzulegen ist. Knotenkoordinatensysteme werden zur Eingabe der an den Knoten wirkenden oder vorgegebenen

- ♦ Kräfte und Verschiebungen,
- ♦ Freiheitsgradkopplungen,
- ♦ Kinematische Bindungsgleichungen (constraint equations) und
- ♦ Hauptfreiheitsgrade (master degrees of freedom)

verwendet. Die Zuordnung der Koordinatenachsenrichtung erfolgt bei der Definition der Knoten mit Hilfe des N-Kommandos.

Syntax:

N, NODE, X, Y, Z, THXY, THYZ, THZX

Parameter:

NODE	Knotennummer
X, Y, Z	Knotenkoordinaten im aktiven Koordinatensystem
THXY, THYZ, THZX	Winkel des Knotenkoordinatensystems (siehe Bild 15).

Sofern bei der Knotendefinition keine Winkel (THXY, THYZ, THZX) angegeben werden oder automatisch vernetzt wird, sind die Knotenkoordinaten stets parallel zu den globalen, kartesischen Achsen orientiert - unabhängig davon, in welchem Koordinatensystem die Knoten definiert werden.

Um schräge Lasten oder Randbedingungen an den Knoten zu definieren, kann man das Knotenkoordinatensystem an jedem beliebigen Knoten durch die Kommandos `N`, `NROTAT` oder `NMODIF`

Main Menu >Preprocessor >Create >Nodes >To Active CS

in eine gewünschte Orientierung drehen. `NROTAT` dreht die Knotenkoordinatensysteme von bereits existierenden Knoten in das aktive Koordinatensystem. (Das bedeutet, dass die x-Achsen der Knotensystemrichtungen parallel zur x- oder R-Achse des aktiven Koordinatensystems gedreht werden, die y-Achsen parallel zur y- oder Θ -Achse und die z-Achsen parallel zur z- oder Φ -Achse des aktiven Koordinatensystems, siehe Bild 20.).

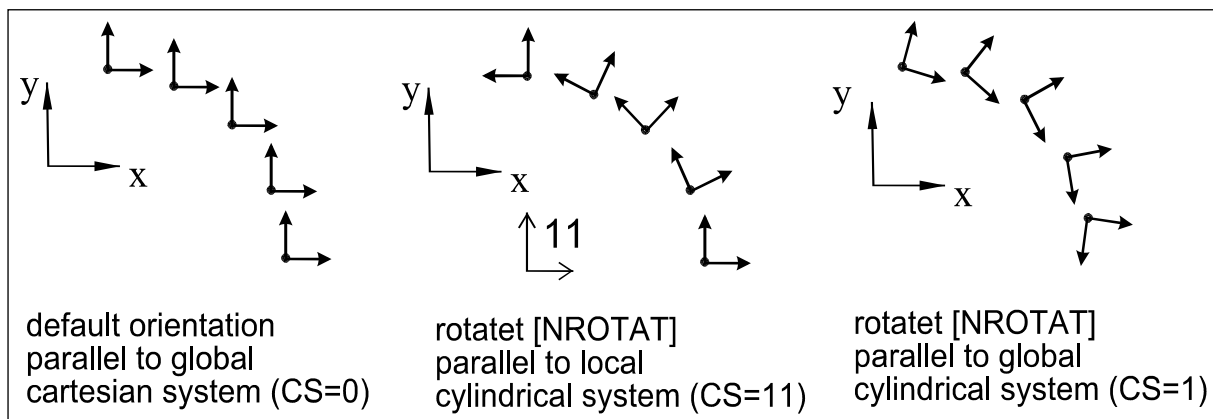


Bild 20: Beispiele zur Orientierung der Knotenkoordinatensysteme

Die Kommandos `N` und `NMODIF` werden verwendet, um Knotenkoordinatensysteme um bekannte Winkel zu drehen. Da diese Rotationswinkel gewöhnlich nicht explizit bekannt sind, ist `NROTAT` in der Regel das nützlichere Kommando. Mit dem Befehl `NANG`

Main Menu >Preprocessor >Create >Nodes >By Vectors

kann auch das Knotenkoordinatensystem durch den Richtungscosinus der Achsen festgelegt werden.

Beachte:

- ♦ Verschiebungen der Knotenfreiheitsgrade, Knotenkräfte und Reaktionskräfte werden sowohl im Postprozessor `POST26` als auch in der ANSYS-Ausgabedatei (output file) in Komponenten des jeweiligen Knotenkoordinatensystems ausgegeben.
- ♦ Dagegen werden im Postprozessor `POST1` die Rechenergebnisse generell im „Ergebnisdarstellungs-Koordinatensystem“ ausgegeben.

5.2.4 Elementkoordinatensysteme (Element Coordinate System)

Jedes Element besitzt sein eigenes Koordinatensystem, das Elementkoordinatensystem, welches die Richtung von orthotropen Materialeigenschaften, aufgeprägten Druckbelastungen und elementbezogenen Ergebnissen (wie z.B. Spannungen und Dehnungen) für dieses Element bestimmt. Alle Elementkoordinatensysteme sind rechtsdrehende orthogonale Systeme.

Die Standardausrichtung der Elementkoordinatensysteme ist für Linien-, Flächen-, und Volumenelemente unterschiedlich (vgl. Bild 21).

Für Linienelemente ist die x-Achse vom Knoten i zum Knoten j orientiert. Die Ebene, in der die z-Achse liegt (wichtig für die Eingabe der Trägheitsmomente bei Balkenelementen), wird definiert durch Angabe eines dritten Knotens (vgl. E-Kommando). Die y-Achse ergibt sich dann nach der 'Rechten-Hand-Regel'.

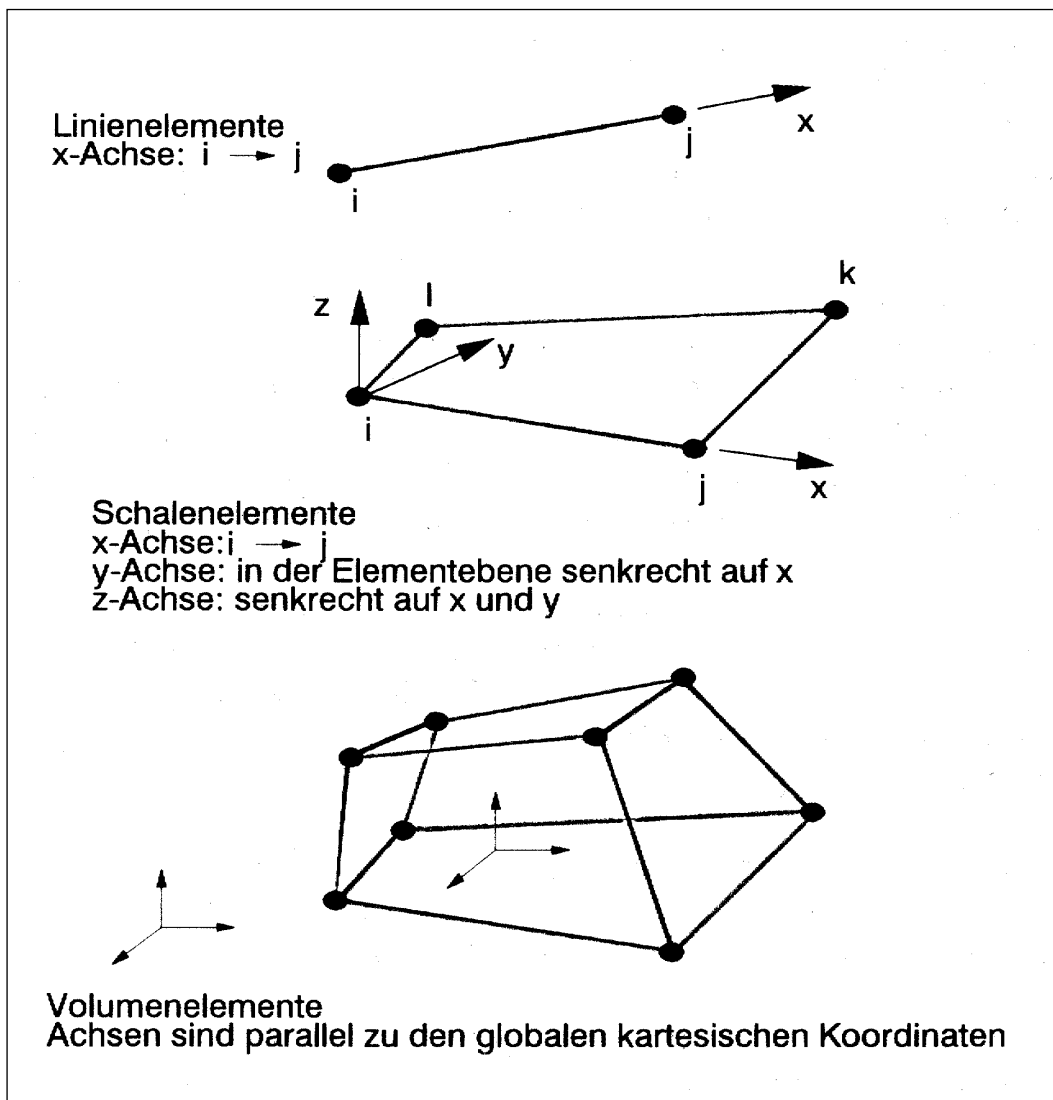


Bild 21: Standardausrichtung der Elementkoordinaten

Für Schalenelemente gilt das gleiche wie für die Linienelemente, nur dass die y-Achse hier durch die Elementebene beschrieben wird.

Anders sieht es bei den Volumenelementen aus. Dort ist die Orientierung der Elementkoordinaten parallel zu den globalen kartesischen Koordinaten.

Es besteht bei bestimmten Volumenelementen aber auch die Möglichkeit, durch Setzen eines elementspezifischen Schalters – einer sogenannten Keyoption - die Elementkoordinaten nach den Knoten zu orientieren (siehe Elementdokumentation). Dies ist besonders bei nicht isotropen Materialeigenschaften hilfreich.

Bei Flächen- und Volumenelementen hat der Benutzer eine zweite Möglichkeit, die Elementkoordinaten seinen Erfordernissen anzupassen, indem er ein entsprechend orientiertes lokales Koordinatensystem definiert, dieses mit dem Kommando `ESYS, KCN` als Elementkoordinatensystem aktiviert und dann mit `EMODIF`, die Orientierung der gewünschten Elementkoordinaten abändert.

Eine dritte Möglichkeit besteht darin, die Elementkoordinatensysteme schon vor dem Vernetzen bestimmter Flächen und Volumen mit den `AATT` und `VATT`-Befehlen zuzuweisen.

Vor der Eingabe nicht isotroper Materialeigenschaften und vor der Auswertung elementbezogener Ergebnisdaten sollte sich der Anwender immer versichern, wie bei seinem Modell die Elementkoordinaten orientiert sind. Dies kann er bequem tun, indem er sich mit `/PSYM, ESYS, 1` die Elementkoordinatenkreuze einschaltet und dann - am besten im Vectormode (`/SHOW, xxx, ,1`) - einen Elementplot macht.

5.2.5 Das Ergebnisdarstellungs-KO-System (Results Coordinate System)

Ergebnisdaten werden während der Lösung im Knoten- oder Elementkoordinatensystem berechnet und in dieser Art in der Resultatdatei (`Jobname.RST`) bzw. in der Datenbasis (`Jobname.DB`) abgespeichert. Im Processor `POST1` werden alle Ergebnisse an den Knoten (primäre und abgeleitete) in das Resultat-Koordinatensystem [`RSYS`] umgerechnet. Dieses ist in Voreinstellung das globale kartesische Koordinatensystem, d.h., das voreingestellte Koordinatensystem für die Ergebnisdarstellung (Results Coordinate System) ist das globale kartesische (`KCN=0`). Durch Anwendung von `RSYS`

Main Menu >General Postproc >Options for Outp

kann man das aktive Koordinatensystem für die Ergebnisdarstellung in ein globales zylindrisches (`KCN=1`), ein globales sphärisches (`KCN=2`), ein beliebiges, existierendes lokales Koordinatensystem (`KCN>10`) oder in das Koordinatensystem, das für die Berechnung der Lösung verwendet worden ist, ändern. Listet man dann die Ergebnisse für Knoten auf oder stellt sie graphisch dar, so werden diese Größen in das aktuelle Resultat-Koordinatensystem transformiert.

Beachte:

Ergebnisgrößen, die auf Elemente bezogen sind, immer im Elementkoordinatensystem darstellen, und zwar unabhängig von der Einstellung von `RSYS`.

5.2.6 Die Arbeitsebene (Working Plane)

5.2.6.1 Grundlegende Betrachtungen zur Arbeitsebene

Der Cursor bzw. Mauszeiger repräsentiert, obwohl er als ein Punkt auf dem Bildschirm erscheint, in Wirklichkeit eine Linie normal zum Bildschirm (siehe Bild 22). Diese Blicklinie zeigt in den Raum des Bildes auf den Bildschirm hinein. Um nun einen Punkt mit dem Cursor auswählen zu können, muss zuerst eine imaginäre Ebene definiert werden, die, wenn Sie durch die senkrechte Linie des Cursors geschnitten wird, zu einem eindeutigen Punkt im Raum führt. Diese imaginäre Ebene wird als Arbeitsebene (Working Plane) bezeichnet. Eine andere Art, sich die Verschneidung zwischen Ihrem Cursor und Ihrer Arbeitsebene vorzustellen, ist die Darstellung des Cursors als ein Punkt, der auf der Arbeitsebene verschoben wird. Die Arbeitsebene verhält sich dann wie ein „Tablett“, auf dem man mit dem Cursor schreiben kann. (Beachte, dass die Arbeitsebene nicht notwendigerweise parallel zum Bildschirm liegen muss.)

Eine Arbeitsebene ist eine unendliche Ebene mit einem Ursprung, einem zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystem, einem Snap Increment (Fangmas), einem Darstellungsnetz (Display Grid) und einer Selektiertoleranz (Retrieval Tolerance). Man kann nur eine Arbeitsebene zu einem Zeitpunkt definieren. Daher wird beim Generieren einer neuen Arbeitsebene die vorhandene entfernt.

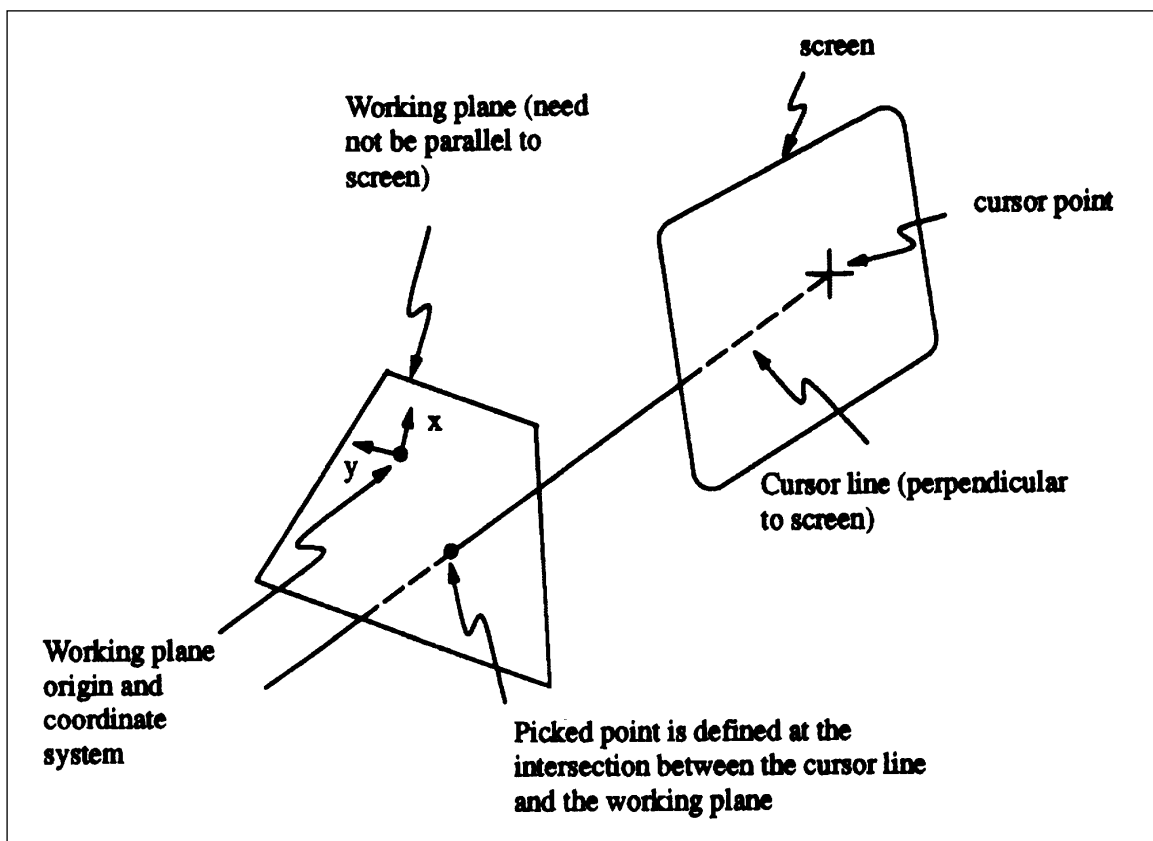


Bild 22: Definition der Arbeitsebene (working plane)

5.2.6.2 Positionierung der Arbeitsebene

Wenn ANSYS gestartet wird, ist eine Arbeitsebene in der globalen kartesischen X-Y-Ebene voreingestellt vorhanden. Die x- und y-Achsen dieser Arbeitsebene sind kollinear mit der globalen x- und y-Achse. Zum Generieren einer neuen Arbeitsebene kann man verschiedene Methoden anwenden:

Eine Arbeitsebene kann durch drei Punkte

WPLANE

Utility Menu >WorkPlane >Align WP with >XYZ Locations
durch drei Knoten

NWPLANE

Utility Menu >WorkPlane >Align WP with >Nodes
oder durch drei Keypoints

KWPLANE

Utility Menu >WorkPlane >Align WP with >Keypoints

definiert werden. Man kann eine Arbeitsebene auch durch Positionierung auf einer Ebene normal zum Blickrichtungsvektor an einem spezifischen Punkt [WPLANE], einem Knoten [NWPLAN], einem Keypoint [KWPLAN] oder einem Punkt auf einer Linie [LWPLAN] definieren.

Eine andere Methode, um eine Arbeitsebene zu definieren, ist die Positionierung auf der X-Y - (oder R- Θ) - Ebene eines existierenden Koordinatensystems

WPSYS

Utility Menu >WorkPlane >Align WP with

Durch Eingabe des Kommandos

WPSTYL, STAT

Utility Menu >WorkPlane >Show WP Status

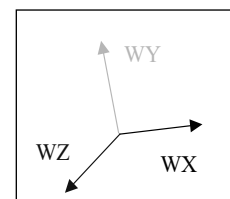
ist es möglich, den momentan gültigen Status (d.h. die Position, Orientierung und zusätzliche Ergänzungen) der Arbeitsebene aufzulisten.

Zur Generierung einer Arbeitsebene müssen auch die Position des Koordinatenursprungs und die Orientierung des Koordinatensystems festgelegt werden. Dies soll nachfolgend am Befehl WPLANE erläutert werden (andere Kommandos zur Arbeitsebene arbeiten in ähnlicher Weise).

Das Kommando WPLANE lautet:

WPLANE, WN, XORIG, YORIG, ZORIG, XXAX, YXAX, ZXAX, XPLAN, YPLAN, ZPLAN

Die erste Position (XORIG, YORIG, ZORIG), die spezifiziert wird, stellt in allen Fällen den Ursprung des Koordinatensystems der Arbeitsebene dar. Das



Koordinatensystem wird als kleines Achsenkreuz bzw. Achsen-Dreibein dargestellt. Wird nur die erste Position spezifiziert, ist die Senkrechte zur Arbeitsebene parallel zu Blickrichtung des Fensters WN . Die x-Achse der Arbeitsebene (WP , Working Plane) ist parallel zur Projektion der globalen x-Achse auf die Arbeitsebene (oder parallel zur Projektion der globalen y-Achse, wenn die globale x-Achse senkrecht zur Arbeitsebene ist.) Die y-Achse der WP wird durch die Rechte-Hand-Regel festgelegt (siehe Bild 23).

Werden nur der erste und der zweite Punkt definiert, dann ist die Normale auf die Arbeitsebene parallel zur Blickrichtung des Fensters. Die zweite Position ($XXAX$, $YXAX$), bestimmt die x-Achse der Arbeitsebene (gerichtet von dem ersten Punkt zu der Projektion des zweiten Punkts auf die Arbeitsebene). Die y-Achse der Arbeitsebene wird durch die Rechte-Hand-Regel festgelegt.

Werden alle drei Punkte spezifiziert, dann bestimmt der zweite Punkt ($XXAX$, $YXAX$, $ZXAX$) die x-Achse der Arbeitsebene (gerichtet von dem ersten Punkt zu der zweiten Position) und der dritte Punkt ($XPLAN$, $YPLAN$, $ZPLAN$) vervollständigt die Arbeitsebene und die Achsen (der dritte Punkt liegt in der Halbebene $y > 0$).

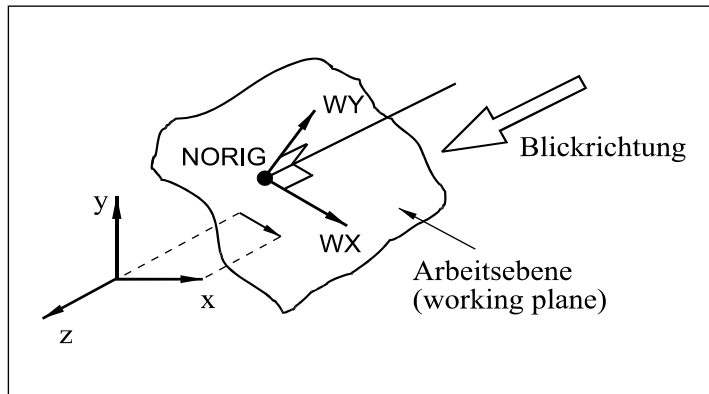


Bild 23: Die Achsenrichtungen der Arbeitsebene

Unter Anwendung der folgenden Kommandos kann man eine Arbeitsebene in eine neue Position verschieben (d.h. in einen neuen Ursprung): an die zwischen Geometriepunkten (keypoints) gemittelte Position mit

KWPAVE

Utility Menu >Workplane >Offset WP to >Keypoints

an eine zwischen Knoten gemittelte Position mit

NWPAVE

Utility Menu >Workplane >Offset WP to >Nodes

an eine zwischen angegebenen Koordinaten gemittelte Position mit

WPAVE

Utility Menu >Workplane >Offset WP to >XYZ Locations

oder an eine gegenüber dem aktuellen Ort verschobene Position mit

WPOFFS

Utility Menu >Workplane >Offset WP by Increments

Um die Arbeitsebene in eine neue Orientierung zu drehen, verwendet man das Kommando

WPROTA

Utility Menu >Workplane >Offset WP by Increments

Mit diesem Kommando kann man, das X-Y-Koordinatensystem der Arbeitsebene innerhalb der Ebene drehen, oder die gesamte Ebene in eine neue Position drehen.

Beachte:

Sind die Rotationswinkel nicht explizit bekannt, ist es häufig einfacher, gleich eine neue Arbeitsebene in der richtigen Orientierung zu definieren (durch Anwendung von WPLANE, NWPLAN, etc.).

Die Eingabe von

WPSTYL, DEFA

Utility Menu >WorkPlane >WP Settings

setzt die Arbeitsebene auf die voreingestellte Position und das vorherige Format zurück.

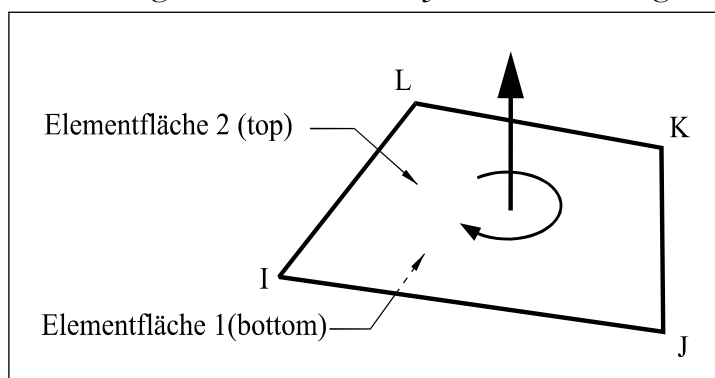
Obwohl man eine Arbeitsebene nicht wirklich sichern kann, so lässt sich jedoch immer im Ursprung der Arbeitsebene ein lokales Koordinatensystem mit dem Kommando CSWPLA generieren.

Utility Menu >WorkPlane >Local CS >Create Local CS
>At WP Origin

Dieses lokale Koordinatensystem kann anschließend verwendet werden, um die vorher definierte Arbeitsebene erneut zu generieren [WPCSYS]

5.2.7 Schalenelemente (positive Normalenrichtung)

Enthält das FE-Modell Schalenelemente so muss beim Aufbringen von Oberflächenlasten auf die richtige Orientierung der Lasten geachtet werden. Generell werden Oberflächenlasten für Schalenelemente auf die Elementfläche Nummer eins aufgebracht und sind nach der Rechte-Hand-Regel positiv orientiert (der Reihenfolge der Knoten I, J, K und L folgend, wie nachfolgend dargestellt ist).



Wenn nun Schalenelemente durch Vernetzen einer Fläche des Solid-Model generiert werden, so ist die Richtung der Elementnormalen konsistent mit der Richtung der Flächennormalen der vernetzten Fläche.

Bild 24: Positive Normalenrichtung, definiert durch die Rechte-Hand-Regel

Die Richtung dieser Flächennormalen kann mit

ALIST

Utility Menu >List >Areas

bestimmt werden; denn die Richtung des Linienzuges, der die Fläche definiert, definiert auch die Normalenrichtung nach der Rechte-Hand-Regel.

Eine grafische Überprüfung der positiven Normalenrichtung für Schalenelemente lässt sich schnell durchführen mit dem Kommando

/NORMAL

Utility Menu >PlotCtrls >Style >Shell Normals

gefolgt von

EPLLOT

Utility Menu >Plot >Elements

Eine andere grafische Überprüfung kann auch durch Aufbringen der Oberflächenlast mit einem als richtig angenommenen Vorzeichen erfolgen, wobei die Richtung der Last durch Aktivieren der Symbole für Oberflächenlasten

/PBC, ITEM,COMP,2

Utility Menu >PlotCtrls >Symbols

mit anschließender Eingabe von EPLLOT verifizieren werden kann.

Wenn nebeneinander angeordnete Schalenelemente unterschiedliche Normalenrichtungen haben, kann die Auswertung der Ergebnisse erschwert sein. Da die Oberfläche des Schalenmodells dann die Ober-(top) und Unter-(bottom) Seite von Schalenelementen nebeneinander enthält, werden Mittelwertbildungen beim Post-processing falsch dargestellt. Stellt man fest, dass die Elemente uneinheitliche positive Orientierungen der Normalen aufweisen, so können diese durch Anwendung von

ENORM

Main Menu >Preprocessor >Move/Modify >Shell Normals

in eine gleiche Richtung umorientiert werden, damit sie mit einem spezifischen Element übereinstimmen. (Beachte, dass Elementkoordinatensysteme, die mit den Knoten I, J und K definiert wurden, durch diese Operation ebenso umorientiert werden können.)

5.3 Mehrfache Elementattribute

In aller Regel besteht ein FE-Modell aus verschiedenen Elementtypen mit verschiedenen Dicken (Real-Constants) und unterschiedlichen Materialien. Ein ANSYS Modell kann beliebig viele verschiedene Elementtypen unterschiedlicher Real-Constants und Materialkennwerte enthalten.

Bei der Wahl eines Elementtyps (ET-Kommando) wird vom Benutzer eine Zählnummer vergeben, die dem Eintrag in die Elementtypenkarte entspricht (siehe Bild 25), ebenso bei den definierten Real-Constants (R-Kommando) und den Materialdaten (MP-Kommando).

Vor dem automatischen Vernetzen oder der Definition einzelner Elemente sind die Zeiger:

```

TYPE    =    Elementtyp
REAL    =    Real-Constant
MAT     =    Materialkennwert

```

auf den entsprechenden Datensatz für die im Folgenden generierten Elemente zu setzen.

Die Vorgehensweise wird an Hand eines einfachen Beispiels - einer Platte mit unterschiedlichen Dicken und Werkstoffen (siehe Bild 25) erläutert.

Elemente und deren Typ, Real-Constants oder Materialdaten können auch noch nachträglich modifiziert werden. Hierzu setzt man die Zeiger (MAT, TYPE, REAL) auf die entsprechenden Daten und verwendet dann das EMODIF-Kommando. Im Beispiel von Bild 25 werden alle Elemente nachträglich auf die Querschnittsdaten REAL = 8 und die Materialdaten MAT = 9 modifiziert.

Sofern der Benutzer das ANSYS Solid-Modeling verwendet, hat er die elegante Möglichkeit, direkt den Geometrie-Items, d.h. den Flächen und Volumen, die Elementattribute zuzuweisen. In diesem Fall werden Elementtyp, Material- und Querschnittsdaten beim Vernetzen von den Volumen bzw. Flächen auf die Elemente übertragen.

Die benötigten Kommandos (AATT und VATT) beziehen sich immer auf die aktiven (= selektierten) Flächen oder Volumen und erlauben es, Materialdaten, Real-Constants, Elementtyp und Elementkoordinatensysteme zuzuweisen. Bild 26 verdeutlicht die Vorgehensweise am Beispiel von zwei Volumen eines Modells.

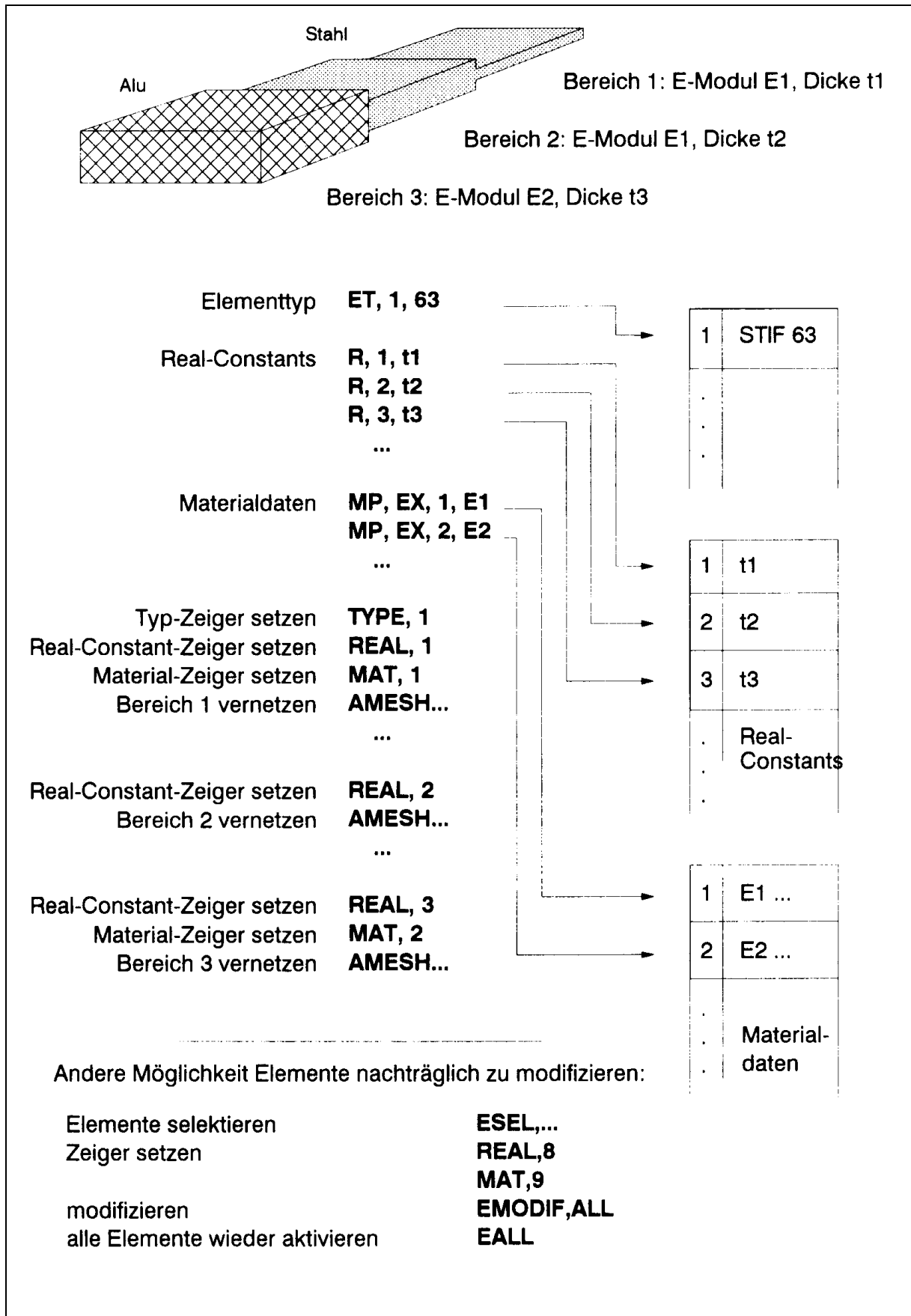


Bild 25: Mehrfache Elementattribute

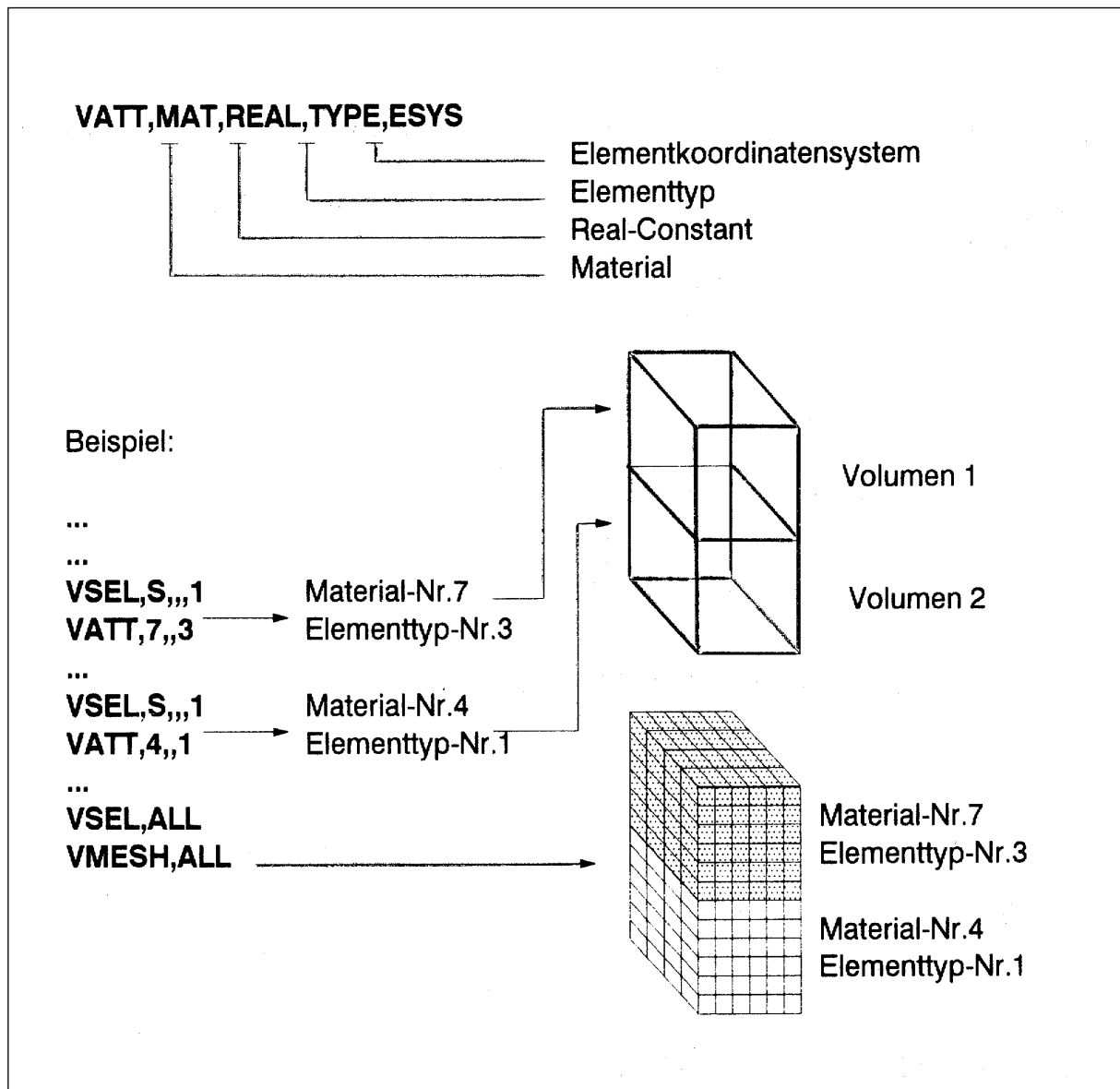


Bild 26: Zuweisung der Elementattribute am Solid-Model

5.4 Spezielle Hinweise zur Modellgenerierung

5.4.1 Verschieben und Kopieren des Geometriemodells

Bei der FE-Modellierung einer Struktur wird für gewöhnlich zunächst das gesamte Geometriemodell (Solid-Model) fertiggestellt und erst anschließend das Finite-Elemente-Netz generiert. Treten in einer Struktur jedoch sich wiederholende geometrische Eigenschaften auf, ist es häufig effektiver, zunächst nur einen Teil der Struktur zu modellieren und zu vernetzen und diesen vernetzten Bereich anschließend, so oft wie erforderlich, zu kopieren. Bei dieser Methode muss jedoch behutsam und vorsichtig verfahren werden, da hierbei leicht Fehler gemacht werden können.

Vernetzte Teilstrukturen lassen sich mit den Befehlen

AGEN, VGEN

Main Menu >Preprocessor >Copy>

aus vorhandenen generieren, mit

ARSYM, VSYMM

Main Menu >Preprocessor >Reflect

spiegeln oder mit

ATRAN, VTRAN

Main Menu >Preprocessor >Move/Modify >Transfer Coord

verschieben und drehen.

Wird eine vernetzte Größe des Solid-Model durch Anwendung einer dieser Befehle kopiert, werden sowohl die Größen niedriger Ordnung, die mit dieser Größe zusammenhängen, als auch das Netz aus Knoten und Elementen mit der Größe mit kopiert. Dabei ist zu beachten, dass die Schnittstellen zwischen den originalen und den kopierten Gebieten Knoten für Knoten übereinstimmen. Wird beispielsweise ein Volumen unstrukturiert (free) vernetzt, so stimmt das Knotenmuster der rechten Seite nicht unbedingt mit dem Knotenmuster der linken Seite überein!

Hat man Bereiche des Netzes generiert, die an ihren Schnittstellen zusammenpassen, so können Sie derart kopiert werden, dass sich die wiederholenden Bereiche gerade berühren. Obwohl diese Bereiche zusammenpassende Knoten an den Schnittstellen aufweisen, bleiben die Freiheitsgrade an diesen Knoten unabhängig, was bedeutet, dass in dem Modell eine Naht mit Diskontinuitäten an der Schnittstelle des Modells erhalten bleibt. Mit der Eingabe des Kommandos NUMMRG, ALL werden alle Elemente mit identischen Koordinaten z.B. Knoten verschmolzen und damit die Diskontinuitäten beseitigt. Es ist im Allgemeinen empfehlenswert, nach diesen Operationen den Befehl NUMCMP einzugeben, um die Nummerierung der einzelnen Elemente (Knoten, keypoints, Linien usw.) zu komprimieren.

5.4.2 Ändern eines vernetzten Modells

Aufgrund des Solid-Modeling Cross-Reference-Checking (der gegenseitigen Überprüfung von Solid-Model und Finite-Elemente-Modell), das vom ANSYS-Programm durchgeführt wird, ist es ohne zusätzliche Maßnahmen weder möglich, vernetzte Größen des Solid-Model zu löschen, noch mit EDELE oder NDELE Elemente oder Knoten zu löschen, die mit Größen des Solid-Model zusammenhängen. Um das Modell ändern zu können, müssen generell die Größen des Solid-Model vom Netz “befreit“ (d.h. Knoten und Elemente von vernetzten Größen mit den xCLEAR-Kommandos gelöscht) werden. Diese Kommandos können als Umkehrung der Vernetzungskommandos gewertet werden.

5.4.2.1 Ein Netz entfernen

Die Eingabe der Kommandos

KCLEAR , LCLEAR , ACLEAR und VCLEAR

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Clear

löscht die Knoten und Elemente, die mit den entsprechenden Größen des Solid-Model verbunden sind. Wird eine Größe höherer Ordnung freigemacht, werden alle niederen Größen automatisch mit freigemacht, wenn sie nicht selbst mit Elementen vernetzt worden sind. Beachte, dass die Knoten eines Randes, die auch von den Elementen einer angrenzenden Größe verwendet werden, durch das Freimachen nicht gelöscht werden.

Das Programm gibt an, wie viele Größen jeder Art nach einer xCLEAR-Operation freigemacht worden sind. Eine Größe wird als “freigemacht“ betrachtet, wenn entweder deren Elemente oder Knoten gelöscht worden sind.

Wie bereits erwähnt, werden Elementattribute, die dem Modell durch die Kommandos TYPE, REAL, MAT und ESYS gefolgt von einem xMESH-Befehl zugeordnet worden sind, durch einen xCLEAR-Befehl gelöscht. Diese “löschbaren“ Attribute werden durch negative Zahlen in einer xLIST-Ausgabe gekennzeichnet. Die Befehle xCLEAR (also KCLEAR, LCLEAR, ACLEAR, VCLEAR) beeinflussen jedoch keine Attribute, die durch xATT- Kommandos zugeordnet worden sind. In beiden Fällen wird die Eingabe von xATT jegliche Elementattribute, die vorher dem Solid-Model zugeordnet worden sind, überschreiben.

5.4.2.2 Modifizieren von Elementattributen

Gelegentlich gibt es Gründe dafür, dass man die Elementattribute nach dem Vernetzen ändern möchte: Möglicherweise hat man einen Fehler bei der Zuordnung der Elementattribute begangen oder man will die Konstruktion nachträglich ändern. Die Vorgehensweisen, die für eine Modifikation von Elementattributen zur Verfügung stehen, sind folgende:

Die "Holzhammer"-Methode:

Netz löschen (xCLEAR), neue Attribute festlegen (xATT oder TYPE, REAL, etc.) und erneut vernetzen (xMESH)! Dabei werden die Attribute des Solid-Model, die durch einen xMESH-Befehl gesetzt worden sind, gelöscht. Die Attribute des Solid-Model, die durch einen xATT-Befehl gesetzt werden, bleiben demgegenüber erhalten. Weil die xATT -Kommandos die Befehle TYPE, REAL, MAT und ESYS überschreiben, ist es nicht möglich, die Attribute des Solid-Model mit den Kommandos TYPE, REAL, MAT und ESYS neu zuzuordnen, wenn ursprünglich die Attribute durch xATT zugeordnet worden sind. Vielmehr muss ein neues xATT-Kommando eingegeben werden, so dass dann beim erneuten Vernetzen die Attribute des Solid-Model den neuen Elementen zugeordnet werden.

Weil das erneute Vernetzen manchmal sehr aufwendig sein kann, sollte diese Methode vermieden werden, wenn das Netz akzeptabel ist!

Die direkte Elementmodifikation:

Elementattribute können auch ohne den Aufwand des erneuten Vernetzens geändert werden: Dabei werden die zu ändernden Elemente selektiert, die Attribute neu festgelegt (bei dieser Vorgehensweise werden die Kommandos TYPE, MAT, REAL und ESYS angewendet) und anschließend mit

EMODIF, ALL

Main Menu >Preprocessor >Move/Modify >Modify Attrib

modifiziert. Diese Vorgehensweise ändert die Elementattribute direkt, ohne die entsprechenden Attribute des Solid-Model zu beeinflussen. Sie kann, obwohl sie sehr bequem ist, gefährlich sein, weil die Elementattribute im Finite-Elemente-Modell nicht mehr mit den Elementattributen des Solid-Model übereinstimmen. Außerdem ist es vorstellbar, dass man Elementattribute aus Versehen in nicht passende Werte ändert, ohne irgendeine Warnung zu erhalten.

Modifikation mit der Attributtabelle:

Eine andere Möglichkeit ist das Ändern von Eintragungen in der Attributtabelle nach dem Vernetzen, jedoch vor dem Starten der Lösungsphase. Wenn ein REAL- oder MAT-Datensatz unbenutzte Einträge enthält, wird eine Warnung ausgegeben (z.B. wenn ein REAL-Datensatz eines Balkenelements einem Stabelement zugeordnet worden ist.) Bei dieser Vorgehensweise ist kein erneutes Vernetzen erforderlich.

5.4.2.3 Löschen von Größen des Geometriemodells

Größen des Geometriemodells können mit den Befehlen `KDELE`, `LDELE`, `ADELE` und `VDELE` gelöscht werden. Dabei werden Größen niedriger Ordnung nicht unabhängig gelöscht, wenn Sie mit Größen höherer Ordnung verbunden sind. Aus diesem Grund kann bei einem Klotz, der als geometrischer Grundkörper (Primitive) definiert worden ist, nicht selektiv ein Keypoint, der diesem Klotz zugeordnet ist, gelöscht werden, wenn nicht zuerst in abwärts gerichteter hierarchischer Reihenfolge alle Größen höherer Ordnung (Volumen, Fläche und Linien), die mit diesem Keypoint verbunden sind, gelöscht werden.

Umgekehrt kann bei aktivierter Sweep-Option, d.h. durch Setzen des Parameters `KSWEEP = 1` in den Kommandos `LDELE`, `ADELE` und `VDELE` das Programm angewiesen werden, alle zusammenhängenden Größen niedriger Ordnung automatisch mit zu löschen. (Derartige Größen niedriger Ordnung werden jedoch dann nicht gelöscht, wenn sie mit einer anderen Größe höherer Ordnung verbunden sind.)

5.4.2.4 Modifizieren von Größen des Geometriemodells

Die Geometrie eines Solid-Model kann durch Ändern der Positionen der Keypoints mit

`KMODIF`

Main Menu >Preprocessor >Move/Modify >Single KP

modifiziert werden. Jedes vernetzte Gebiet, das mit den modifizierten Keypoints verbunden ist, wird automatisch von Knoten und Elementen befreit. Alle Linien, Flächen und Volumen, die mit den modifizierten Keypoints zusammenhängen, werden dann automatisch unter Anwendung des momentan aktiven Koordinatensystems neu definiert.

Nicht vernetzte Linien können mit den Befehlen `LDIV`, `LCOMB` oder `LFILLT` modifiziert werden. Diese Kommandos passen außerdem angrenzende und unvernetzte Flächen an, auch wenn diese Flächen wiederum mit Volumen verbunden sind.

5.4.2.5 Das Cross-Reference-Checking

In den vorangegangenen Kapiteln sind verschiedene Bedingungen angesprochen worden, die eine Modifikation des Solid-Model einschränken. Diese Beschränkungen werden durch das Cross-Reference-Checking (Gegenseitige Überprüfung von Solid-Model und Finite-Elemente-Modell) verursacht, welches im ANSYS-Programm eingearbeitet wurde, um eine "Verunreinigung" der Daten von Solid-Model und Finite-Elemente-Modell zu vermeiden. Diese Beschränkungen können wie folgt zusammengefasst werden:

Vernetzte Keypoints, Linien, Flächen oder Volumen können nicht gelöscht oder verschoben werden.

- ♦ Knoten und Elemente, die mit Keypoints, Linien, Flächen oder Volumen zusammenhängen, können nicht verschoben werden. Sie können nur durch die Kommandos `xCLEAR` gelöscht werden.
- ♦ Flächen, die in Volumen enthalten sind, können nicht gelöscht oder geändert werden.
- ♦ Linien, die in Flächen enthalten sind, können nicht gelöscht oder geändert werden (mit Ausnahme von `LDIV`, `LCOMB` oder `LFILLT`, wie vorher erläutert wurde).
- ♦ Keypoints, die in Linien enthalten sind, können nicht gelöscht werden. Sie können nur über das `KMODIF`-Kommando verschoben werden, welches angrenzende Linien, Flächen und Volumen ändert und (wenn vernetzt) von Elementen und Knoten befreit.

Das Cross-Reference-Checking des Solid-Model hilft gewöhnlich dabei, die Datenbasis des Modells nicht zu verderben. Es gibt jedoch Fälle, bei denen es Gründe geben könnte, eine “verbotene“ Operation durchzuführen. Zu diesem Zweck gibt es das Kommando

`MODMSH`

Main Menu >Preprocessor >Checking Ctrl's

`MODMSH` besitzt drei Optionen: `DETACH`, `NOCHECK` und `CHECK`.

`MODMSH`, `DETACH` trennt das Finite-Elemente-Modell von dem Solid-Model ab, wodurch das Finite-Elemente-Modell mit Knoten- und Elementbefehlen modifiziert werden kann. Dieses Abtrennen hält die Datenbasis sauber und es werden keine Widersprüche bezüglich der Datenbasis beachtet. Wir betrachten dazu einen einzigen Keypoint und seinen zugeordneten Knoten. Nach Anwendung des Kommandos `MODMSH,DETACH` wird das Programm nicht mehr den Bezug dieser beiden Größen beachten und man kann jetzt den Knoten in eine neue Position verschieben, ohne einen Konflikt in der Datenbasis zu verursachen. Hat man das Modell abgetrennt, so kann man keine Operationen wie das Selektieren oder Definieren des Finite-Element-Modells ausgedrückt durch das Solid-Model, das Freimachen des Solid-Model von Knoten und Elementen oder das Übertragen von Randbedingungen des Solid-Model auf das Finite-Elemente-Modell mehr durchführen.

`MODMSH`, `NOCHECK` ist sehr gefährlich. Es deaktiviert das gesamte Cross-Reference Checking und macht es dem Benutzer dann sehr leicht, die Datenbasis derart durcheinander zu bringen, dass nahezu alle Operationen des Solid-Modeling unmöglich werden. Der Nutzen des Befehls liegt darin, dass Knoten und Elemente, die mit den Vernetzungskommandos erzeugt wurden, mit den Befehlen wie `EMODIF`, `NMODIF`, `EDELE` oder `NDELE` geändert oder gelöscht werden können. Beim Aktivieren dieser Option gibt das Programm während der Berechnung (Eingabe von `PFACT` oder `SOLVE`) eine Warnung aus, dass das Cross-Reference Checking umgangen worden ist.

MODMSH, CHECK stellt das Cross-Reference Checking wieder her, nachdem es unterdrückt wurde. Weil jedoch die Unversehrtheit der Datenbasis während der Deaktivierung der Überprüfung gefährdet gewesen sein kann, gibt das Programm weiterhin eine Warnung aus.

5.4.3 Steuerung der automatischen Nummernzuweisung

Die Eingaben

NUMMRG

Main Menu >Preprocessor >Numbering Ctrl's >Merge Items

NUMCMP

Main Menu >Preprocessor >Numbering Ctrl's >Compress Numbers

NUMSTR

Main Menu >Preprocessor >Numbering Ctrl's >Set Start Number

NUMOFF

Main Menu >Preprocessor >Numbering Ctrl's >Add Num Offset

ermöglichen die Steuerung der Nummerierung von Größen, die in der Voreinstellung automatisch mit Nummern versehen werden. Dies betrifft Keypoints, Linien, Flächen, Volumen, Elemente, Knoten, Elementtypen, Sätze von Real Constants, Werkstoffe, Sätze von Freiheitsgradkopplungen (Coupled-DOF-Sets), Bindungsgleichungen (Constraint Equations) und Koordinatensysteme. Die Steuerung der Nummerierung ist nützlich und manchmal notwendig, wenn separat modellierte Bereiche des Modells zu einem Teil zusammengefügt werden sollen.

Wenn zwei getrennte Größen dieselbe Position haben (z.B. zwei getrennte, aber koinzidente Knoten), können diese Größen mit

NUMMRG

Main Menu >Preprocessor >Numbering Ctrl's >Merge Items

zu einer einzigen Größe verschmolzen (merged) werden. Für das Beispiel der zwei koinzidenten Knoten wird der Knoten mit der höheren Nummer gelöscht und durch die niedriger nummerierten koinzidenten Knoten ersetzt. Zwei übereinanderliegende Knoten werden so durch einen einzigen ersetzt.

Beim Aufbauen des Modells, werden durch Löschen, Verschmelzen oder der Durchführung anderer Operationen unbelegte Plätze in der Nummerierungsfolge für verschiedene Größen (Keypoints, Elemente, usw.) erzeugt. Diese Plätze bleiben entweder unbesetzt, oder aber sie werden wieder aufgefüllt, wenn neue Größen generiert werden. Um Speicherplatz zu sparen (durch Eliminieren der sonst unbelegten Nummern) können diese Lücken durch ein Komprimieren der Nummerierung mit

NUMCMP

Main Menu >Preprocessor >Numbering Ctrl's >Compress Numbers

beseitigt werden.

Beim Erzeugen neuer, automatisch nummerierter Größen, ist es gelegentlich zweckmäßig die Startnummer der neuen Serie von Größen auf einen bestimmten Wert zu setzen. Dies ist mit dem Kommando

NUMSTR

Main Menu >Preprocessor >Numbering Ctrl's >Set Start Number

möglich. Ein anderer Grund für die Spezifikation einer Gruppe von Startnummern kann der sein, dass verschiedene Bereiche des Modells unabhängig voneinander generiert wurden und deshalb Nummerierungskonflikte beim Zusammenfügen zu einem einzigen Modell auftreten können, die vermieden werden müssen. Zu beachten ist, dass für jede separate Größe (Knoten, Elemente, Keypoints, etc.) ein neues NUMSTR-Kommando eingegeben werden muss.

5.4.4 Kopplung von Freiheitsgraden

Einzelne Freiheitsgrade einer Struktur werden normalerweise über die Struktureigenschaften der Elemente gekoppelt. Manchmal ist es jedoch erforderlich, bestimmte Eigenschaften (unendlich starre Bereiche, Strukturgelenke, gleitende Symmetrieränder und andere spezielle Verbindungen zwischen Knoten), die nicht angemessen durch Elemente beschrieben werden können, zu modellieren. Derartige spezielle Zusammenhänge zwischen den Knotenfreiheitsgraden können durch die Anwendung von Kopplungen (Coupling) und Bindungsgleichungen (Constraint Equations) eingearbeitet werden. Die Anwendung dieser Techniken ermöglicht es, Freiheitsgrade in eine Weise miteinander zu verbinden, wie es mit Elementen nicht möglich ist.

Wenn man zwei oder mehrere Freiheitsgrade (DOF's, Degrees of Freedom) zwingt, die gleichen (jedoch noch unbekannten) Werte anzunehmen, so werden diese Freiheitsgrade miteinander gekoppelt. Eine Gruppe von gekoppelten Freiheitsgraden enthält einen primären Freiheitsgrad (Prime DOF) und einen oder mehrere andere Freiheitsgrade. Die Kopplung (Coupling) bewirkt, dass nur der primäre Freiheitsgrad in dem System der Matrizengleichungen bestehen bleibt und dass alle anderen, sekundären Freiheitsgrade in einem gekoppelten Set eliminiert werden. Der Wert, der für den primären Freiheitsgrad berechnet wird, wird anschließend auch den anderen gekoppelten Freiheitsgraden zugeordnet.

Freiheitsgrade lassen sich mit dem Kommando

CP

Main Menu >Preprocessor >Coupling/Equ >Coupling

koppeln.

Typische Anwendungsfälle für gekoppelte Freiheitsgrade sind:

- ♦ Die Erhaltung der Symmetrie von Teilmodellen,
- ♦ Ersatzmodelle von Bolzen-, Scharnier- und Kardangelenken sowie Linearführungen anstatt der sonst "vollständig" gekoppelten Verbindungen,
- ♦ Modellierung von Teilstrukturen als Starrkörper.

5.5 **Gemittelte und ungemittelte Ergebnisse im Postprocessing**

Es gibt zwei Möglichkeiten Elementergebnisse, beispielsweise die Spannungen, die im Element an den Gauß-Iterationspunkten oder in den Elementmittelpunkten berechnet wurde, auszuwerten und darzustellen. Die erste Möglichkeit ist es, die Ergebnisse nur innerhalb jedes Elementes zu interpolieren und darzustellen und dabei die umliegenden Elemente unberücksichtigt zu lassen. Dies führt jedoch zu einer Diskontinuität der Spannungen an den Elementgrenzen, d.h. man sieht Spannungssprünge von einem Element zum anderen.

Für eine kontinuierliche Struktur möchte man aber gerne ein kontinuierliches Spannungsfeld darstellen. Deshalb wird folgendermaßen vorgegangen. Man extrapoliert die Ergebnisse von den Gaußpunkten auf die Knotenpunkte (siehe Bild 27) und mittelt im Knoten alle Ergebnisse der umliegenden Elemente.

Mit diesen, an den Knoten gemittelten Werten, kann man dann einen kontinuierlichen Spannungsverlauf über der ganzen Struktur darstellen. Diese Mittelung ist aber nur für kontinuierliche Strukturen zulässig.

Bei Diskontinuitäten im Material oder in der Struktur (siehe Bild 27) oder bei Elementen mit unterschiedlich definierten Ergebnisdaten ist diese Mittelung unzulässig und führt zu einem Verschmieren der Ergebnisse über die Diskontinuität hinweg. In diesen Fällen ist es notwendig, die ungemittelten, also die elementbezogenen Ergebnisse darzustellen.

Eine zweite Möglichkeit ist, die einzelnen Bereiche der Struktur zu selektieren und dann auf den Teilbereichen die gemittelten Ergebnisse darzustellen. Dies hat gegenüber der Ausgabe ungemittelter Größen den Vorteil, dass man in den Teilbereichen ein kontinuierliches Spannungsfeld erhält.

Ob in ANSYS die gemittelten oder die ungemittelten Ergebnisse ausgegeben werden, ist abhängig von den gewählten Kommandos. PLNSOL und PRNSOL geben die gemittelten Knotenergebnisse (Nodal Solution) aus, während PLESOL und PRESOL die Elementergebnisse (Element Solution), also die ungemittelten aber auf die Knoten extrapolierten Werte ausgeben.

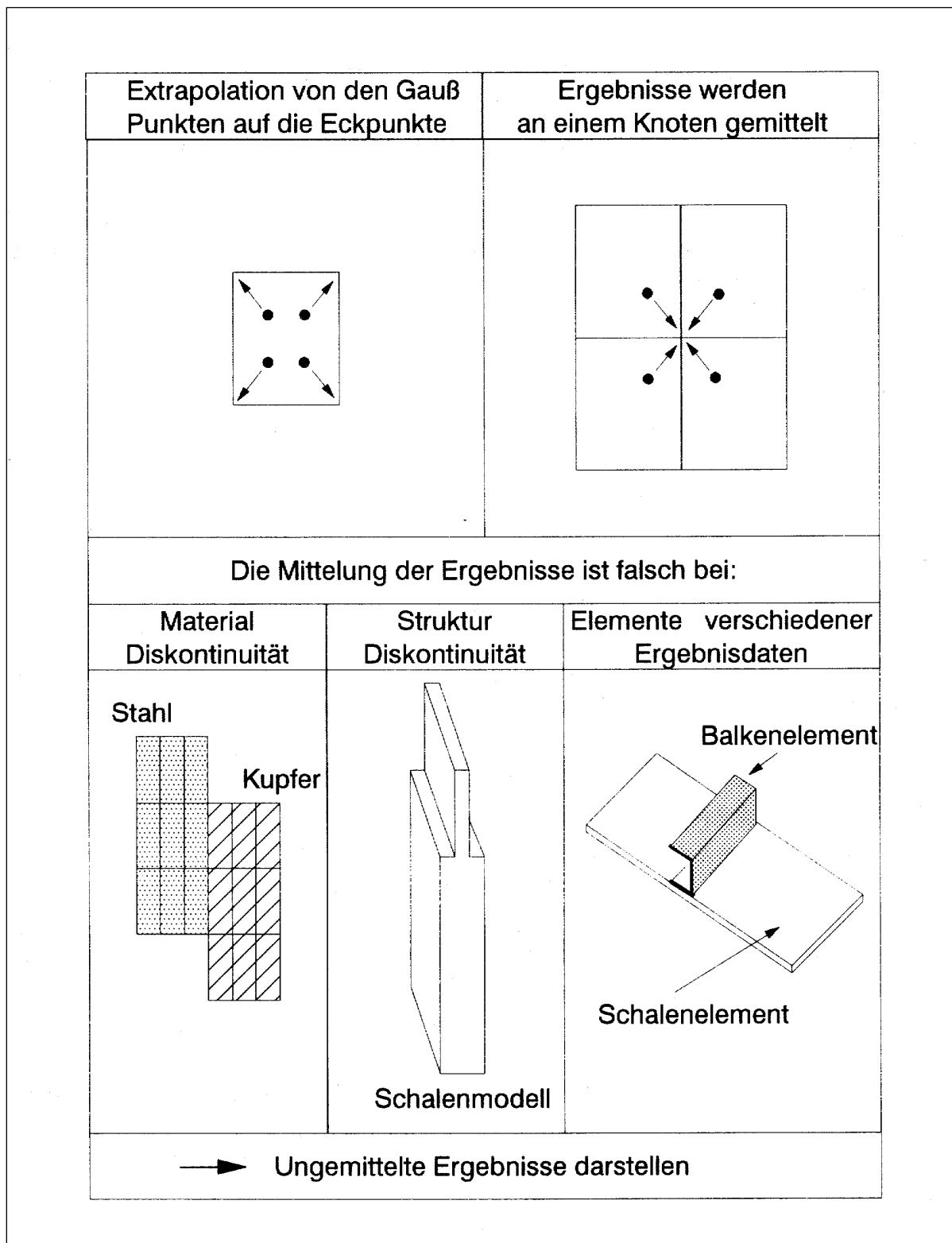


Bild 27: Gemittelte Ergebnisse

6 Übungsbeispiele

6.1 Hinweise

Die Beispiele sollten auf folgende Art bearbeitet werden:

1. Musterlösung mit Default-Werten

Zum Kennenlernen der Beispiele ist meist eine automatisch ablaufende Datei mit Default-Werten im jeweiligen Unterverzeichnis auf dem Server (sol:/home/hom39083/Beispiele) vorhanden (beispielname-muster.mac). Dies ist eine ASCII-Text Datei, in der alle nötigen ANSYS-Befehle zur FEM-Berechnung stehen. Kommentare sind mit einem Ausrufezeichen markiert. Jeder Befehl ist kurz erläutert. Eine ausführlichere Beschreibung zu den Befehlen finden Sie im Anhang. Eine detaillierte Dokumentation ist in den Online-Handbüchern von ANSYS zu finden.

Kopieren Sie diese Musterdateien in Ihr Arbeitsverzeichnis auf der Festplatte und geben dieses Verzeichnis als Working Directory beim ANSYS-Start an. Im Input-Fenster der GUI geben Sie anschließend den Makronamen ein und drücken die Enter-Taste.

2. interaktiver Modus

Zum interaktiven Bearbeiten der Beispiele existieren ANSYS Macro-Dateien (beispielname.mac) Gehen Sie wie bei 1. vor und folgen Sie den Anweisungen am Bildschirm.

Die Dialogboxen dienen zur Abfrage von Parameterwerten. Ist ein bestimmter Wertebereich einzuhalten, ist dieser in Klammern angegeben. Bei Eingaben von Werten die außerhalb dieses Bereichs liegen ist mit Programmfehlern zu rechnen. Das Programm muss in den meisten Fällen beendet und neu gestartet werden. Wird kein Wert eingegeben verwendet das Programm den Default-Wert, soweit in Klammer einer angegeben ist. Eine weitere Funktion der Dialogboxen ist die Unterbrechung des Programmablaufs. Um Fortzufahren müssen Sie die OK-Befehlsschaltfläche mit der Maus drücken.

3. Erstellen der Beispiele im Selbststudium

Haben Sie sich mit den Beispielen vertraut gemacht, können Sie sie nun selbst erstellen. Die Vorgehensweise ist dazu detailliert beschrieben. Am Beginn ist es sinnvoll die Arbeitsschritte der Reihe nach abzuarbeiten. Sie werden dadurch mit der Menüstruktur vertraut und lernen das prinzipielle Vorgehen kennen. Später sollten Sie versuchen, die Beispiele selbst zu lösen. Die Arbeitsschritte können der Anleitung entnommen werden. Vermeiden Sie ein stures Abtippen der Anweisungen.

Zu Beginn ist es am sinnvollsten, die Dateneingabe über die verschiedenen Menüs zu machen. Deshalb ist jeder Befehl mit seinem Menü-Pfad (z.B. Main Menu >Preprocessor >Create >Keypoint >In Global CS) angegeben. Wenn Sie einige Zeit mit ANSYS gearbeitet haben, werden Sie immer mehr Befehle auswendig wissen. Dann ist es besser die Befehle direkt in das Input-Fenster einzugeben. Unbekannte und komplexe Befehle können weiterhin über die Menüs ausgeführt werden.

Falls Sie bei der Modellerstellung eine andere Reihenfolge angewendet haben, kann die Nummerierung der Objekte (Keypunkte, Linien ...) von den Angaben im Handbuch abweichen. Vergleichen Sie deshalb die Grafiken mit Ihren Modellen.

6.2 1D Biegebalken

Im ersten Beispiel wird ein einfacher Balken, der durch Eigengewicht und eine Einzelkraft belastet ist, berechnet. Ziel ist es dabei, dass der Anwender mit der Oberfläche von ANSYS vertraut wird und die Grundfunktionen des Programms kennen lernt.

Der Balken aus Stahl hat einen Durchmesser $d=60\text{mm}$. Seine Querschnittsfläche beträgt $A=2827\text{mm}^2$, das Trägheitsmoment $I_z = 6,36 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$, die Dichte $\rho = 7,85 \cdot 10^{-9} \text{ N s}^2/\text{mm}^4$ und die Erdbeschleunigung hat einen Wert von $9,81\text{m/s}^2$.

Die Einheiten können beliebig gewählt werden, sie müssen jedoch konsistent sein. Für den Maschinenbau ist, wie in Kapitel 5 beschrieben, das Einheitensystem Ing. mit den Einheiten N, mm und s empfehlenswert. Die Ergebnisse liegen dann auch in den gewählten Einheiten vor.

Gesucht ist die Durchbiegung des Balkens.

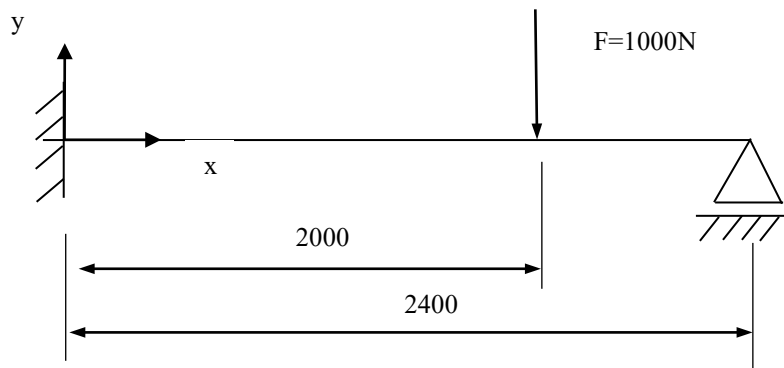


Bild 28: Balken

6.2.1 Erstellung des Beispiels über die GUI

Titel festlegen:

Utility Menu - File >Change Title

Enter new title:

Erste Uebung

Ok

Utility Menu Menu >Plot >Replot

Analyseart vereinbaren:

Main Menu >Preferences

Preferences for GUI Filtering Structural

Ok

Elementtyp auswählen:

Das einzige Element, das in diesem Beispiel verwendet wird, ist ein Balkenelement mit dem Namen Beam3, das in x und y-Richtung Kräfte und um die z-Achse Momente aufnehmen kann.

Main Menu >Preprocessor >Element Type >Add/Edit/Delete

Add ...

Wählen Sie in der Elementbibliothek das Strukturelement Beam und im rechten Fenster den Typ 2D elastic 3 aus.

Ok - Close

Elementeigenschaften festlegen:

Über den Befehl Real Constants... wird der Querschnitt, das Flächenträgheitsmoment und der Durchmesser definiert:

Main Menu >Preprocessor >Real Constants >Add/Edit/Delete

Add

Ok

Geben Sie nun in die Felder die Eigenschaften ein:

AREA	2827	Querschnittsfläche
IZZ	6.36e+5	Flächenträgheitsmoment
Height	60	Balkendurchmesser

Ok

Close

Materialeigenschaften festlegen:

Mit dem folgenden Befehl definieren Sie ein Materialmodell, das das Verhalten des verwendeten Werkstoffes beschreibt:

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models

Im rechten Teil des Fensters doppelklicken Sie jeweils auf Structural – Linear – Elastic – Isotropic und können nun den E-Modul (EX) und die Querkontraktionszahl (PRXY) für St37 eingeben:

EX	210000	Elastizitätsmodul (E-Modul)
PRXY	0.3	Querkontraktionszahl

Die Angabe der Dichte ist für eine statische Strukturberechnung nicht zwingend nötig, kann aber angegeben werden:

Structural - Density:

Dens	7.85e-9	Dichte
------	---------	--------

Ok

schließt das Definitionsfenster und

Material >Exit

beendet die Materialdefinition.

Erstellung des Modells (indirekt Generierung, siehe Seite 14):

Der Ursprung des Koordinatensystems wird in die Einspannstelle und die x-Achse in die Balkenachse gelegt. Keypunkt 1 hat die Koordinaten $x=0$, $y=0$ und Keypunkt 2 hat die Koordinaten $x=2400$ und $y=0$.

Es werden die beiden Keypunkte und die Linie erstellt:

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Keypoint >In Active CS

NPT	Keypoint number	1			
X,Y,Z	Location in active CS	0	0	0	

Apply

NPT	Keypoint number	2			
X,Y,Z	Location in active CS	2400	0	0	

Ok

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Lines >Lines >Straight Line

Klicken Sie nun auf die Keypunkte 1 und 2 und anschließend auf Ok. ANSYS verbindet die Punkte mit einer geraden Linie.

Elementeigenschaften:

Im nächsten Schritt muss der erzeugten Linie eine Unterteilung für die später zu erzeugenden Elemente gegeben werden.

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Size Cntrls >ManualSize >Lines >All Lines

NDIV	No. of element divisions	12
------	--------------------------	----

Damit wird die Anzahl der Elemente festgelegt. Die Länge eines Elementes ergibt sich dann aus $2400/12=200$.

Ok

Vernetzung:

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Mesh >Lines

Klicken Sie nun zum Vernetzen die Linie an.

Ok

Zur Darstellung der jetzt existierenden Elemente schalten Sie die Nummerierung ein. Die Nummerierung erfolgt über Zahlen und über eine farbliche Unterscheidung der Einzelnen Objekte.

Utility Menu >PlotCtrls >Numbering

NODE	Node Numbers	On	
	Elem/Attrib numbering	Element	Numbers

Ok

Utility Menu >Plot >Elements

Randbedingungen und Belastungen aufbringen:

Am Keypunkt 1 sind alle Freiheitsgrade (ux,uy,rotz) gesperrt, d.h. das System ist in Keypunkt 1 fest eingespannt. In Keypunkt 2 ist die Bewegung in y-Richtung verhindert, also ein Loslager angeordnet.

Zur Darstellung der Randbedingungen aktivieren Sie

Utility Menu >PlotCtrls >Symbols ...

All Applied BCs markieren

Ok

Hinweis: Randbedingungen können grundsätzlich auf Keypunkte oder auf Knotenpunkte (Nodes) aufgebracht werden. Verwendet man Keypunkte ist man unabhängig von der Vernetzung, d.h. man kann sein Netz verändern ohne die Randbedingungen löschen zu müssen.

Einspannung:

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply
>Structural >Displacement >On Keypoints

Klicken Sie den ersten Keypunkt an

Ok

Lab2	DOFs to be constrained	ALL DOF
VALUE	Displacement value	0

Apply

Klicken Sie den letzten Keypunkt an

Ok

Lab2	DOFs to be constrained	UY
VALUE	Displacement value	0

Ok

Utility Menu >PlotCtrls >Numbering

Elem / Attrib	No numbering
---------------	--------------

Ok

Utility Menu >Plot >Multi-Plots

Einzelkraft:

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply
>Structural >Force/Moment >On Node

Klicken Sie den Knoten der Krafteinleitung an:

11

Ok

Lab	Direction of force/mom	FY
-----	------------------------	----

Biegebalken

```
VALUE          Force/moment value      -1000
Ok
Utility Menu >Plot >Replot
```

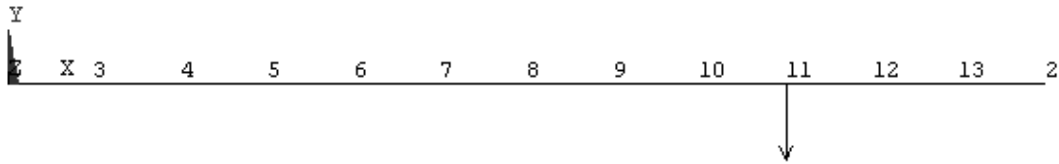


Bild 29: Elementdarstellung mit Knotennummern

Wenn die Belastung durch das Eigengewicht berücksichtigt werden soll (nur möglich, wenn die Dichte zuvor angegeben wurde) ist eine Beschleunigung zu definieren:

```
Main Menu >Preprocessor >Define Loads >Apply >Structural
>Inertia >Gravity ...
ACELY          Global Cartesian Y-comp      9810
Ok
```

Sicherung der Daten:

Hinweis: Vor bzw. nach größeren Arbeitsschritten sollten die Daten zur Sicherheit gespeichert werden. Ebenso ist es ratsam vor einem Arbeitsschritt, bei dem man nicht genau weiß wie das Ergebnis sein wird, die Datenbasis zu sichern. Dadurch hat man die Möglichkeit sein Ausgangsmodell wiederherzustellen. Einen „Zurück“ oder „undo“-Befehl gibt es innerhalb von ANSYS nicht!

```
Utility Menu >File >Save as Jobname bzw. über die Toolbar mit
SAVE_DB
```

Starten der Berechnung:

```
Main Menu >Solution >Analysis Type >New Analysis
Static
Ok
Main Menu >Solution >Solve >Current LS
Ok
```

Wenn der Rechenlauf ohne Fehlermeldung mit der Meldung "Solution is done!" beendet wurde, kann man mit dem Ausgabemodul General Postprocessor Spannungen, Durchbiegungen und Lagerreaktionen an den Knoten abrufen. In diesem Beispiel soll nur die Durchbiegung dargestellt werden.

Darstellung der Ergebnisse:

Main Menu >General Postproc >Plot Results >Deformed Shape

KUND Items to be plotted Def + undeformed

Ok

Die Verschiebungen des Systems werden damit mit einem automatisch berechneten Überhöhungsfaktor dargestellt:

DISPLACEMENT

STEP=2

SUB =1

TIME=2

DMX =1.099

ANSYS

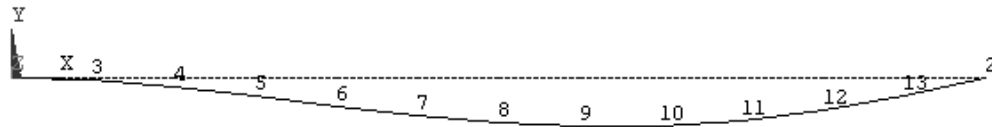


Bild 30: Verschiebungen

Zum Auflisten aller Knotenverschiebungen und Knotendehnungen geben Sie in das ANSYS-Input Fenster den Befehl prdisp ein. Am Ende der Liste werden die Extremwerte (Maximum Absolute Values) ausgegeben.

Alle Aktionen die über die Menüs gemacht wurden, können auch direkt ausgeführt werden. Dazu werden die jeweiligen ANSYS-Befehle in das Input Fenster eingegeben. Im nächsten Kapitel sind diese Befehle aufgeführt.

6.2.2 Musterlösung mit Default-Werten

```
!
! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
!
! Bearbeiter: Michael Hochmuth
! Datei :      biegebalken-muster.mac
!
! *****
! ***** Biegebalken - Musterloesung *****
! *****
!
fini                                !Beendet alle Prozessoren
/CLEAR                             !Loescht die Datenbasis
!
!
```


Biegebalken

```
/PREP7                                !Aufruf des Preprozessor
!
!
ET,1,BEAM3                             !Definition der Elemente
!
R,1,2827,6.36e+5,60                    !Definition der Realkonstanten
!
MP,ex,1,210000                         !Definition der Materialeigenschaften - E-Modul
MP,dens,1,7.85e-9                      !Definition der Materialeigenschaften - Dichte
MP,nuxy,1,0.3                          !Definition der Materialeigenschaften -
                                         Querkontraktionsz.
!
k,1,0,0                                !Definition der Keypunkte
k,2,2400,0
l,1,2                                  !Erzeugung der Linie
lplo                                   !Linien plotten
!
lesize,all,,12                         !Anzahl der Elemente
lmesh,all                              !Vernetzen der Linie
eplo                                   !Elemente plotten
!
/PBC,all,,1                            !Plot Boundary Condition ein
/Pnum,node,1                           !Nummerierung der Knoten ein
/rep                                   !Replot
!
Dk,1,all,0                             !Randbedingungen Displacement am Keypunkt 1
Dk,2,uy,0                              !Randbedingungen Displacement am Keypunkt 2
!
F,12,FY,-1000                          !Krafteinleitung am Knoten 12
ACEL,0,9810                            !Eigengewicht
!
/rep                                   !Replot
!
/solu                                  !Aufruf des Solution-Moduls
ANTYPE,0                               !Analyseart definieren (static)
solve                                  !Beginn der Lösung
!
/post1                                 !Aufruf des General Postprocessors
pldi,1                                 !Plotten des verformten und unverformten Sys.
Prdisp                                 !Auflisten aller Knotenverschiebungen
!
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof
```

6.2.3 Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen

Für dieses Beispiel sind folgende Ergänzungen möglich:

- Belastung durch zweite Einzelkraft, die senkrecht zur Zeichenebene (also in Richtung der z-Achse) steht. Für die Berechnung muss dazu der Balken mit einem Elementtypen vernetzt werden, der drei Translation- und Rotations-Freiheitsgrade besitzt.
- Darstellung der verschiedenen Spannungskomponenten über die Elementtabellen von ANSYS (etables).

6.3 2D Lochblech

In diesem Beispiel wird ein dünnwandiges Bauteil mit verschiedenen Lochquerschnitten berechnet.

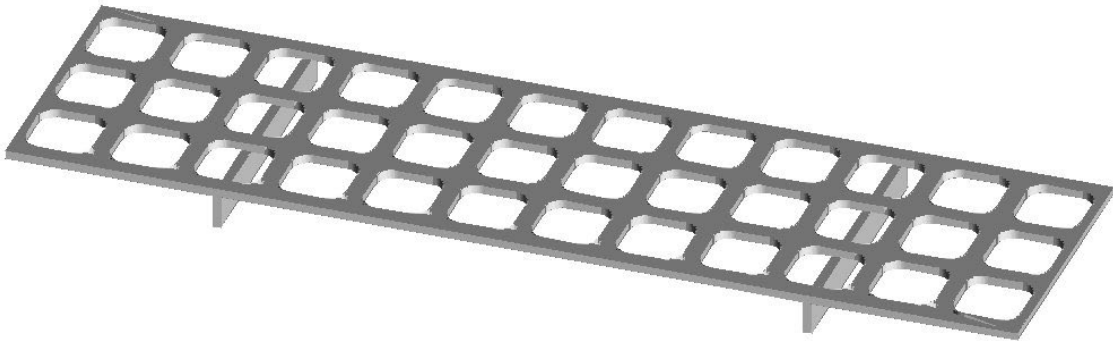


Bild 31: Lochblech auf Stützen

Ziel ist es, den Arbeitsschritt der Idealisierung einer realen Struktur auf das Bauteil anzuwenden, den Unterschied Geometrie- und FEM-Modell herauszuarbeiten, die verschiedenen Vernetzungsarten (Free- und Mapped Mesh) anzuwenden und Kriterien der Elementform kennen zu lernen.

Bei der Modellgenerierung soll die Bauteilsymmetrie des Bleches, ausgenutzt und umgesetzt werden. Abschließend kann am Lochblech der Kerbspannungseinfluss unterschiedlicher Ausschnitte bezüglich Form und Größe untersucht werden.

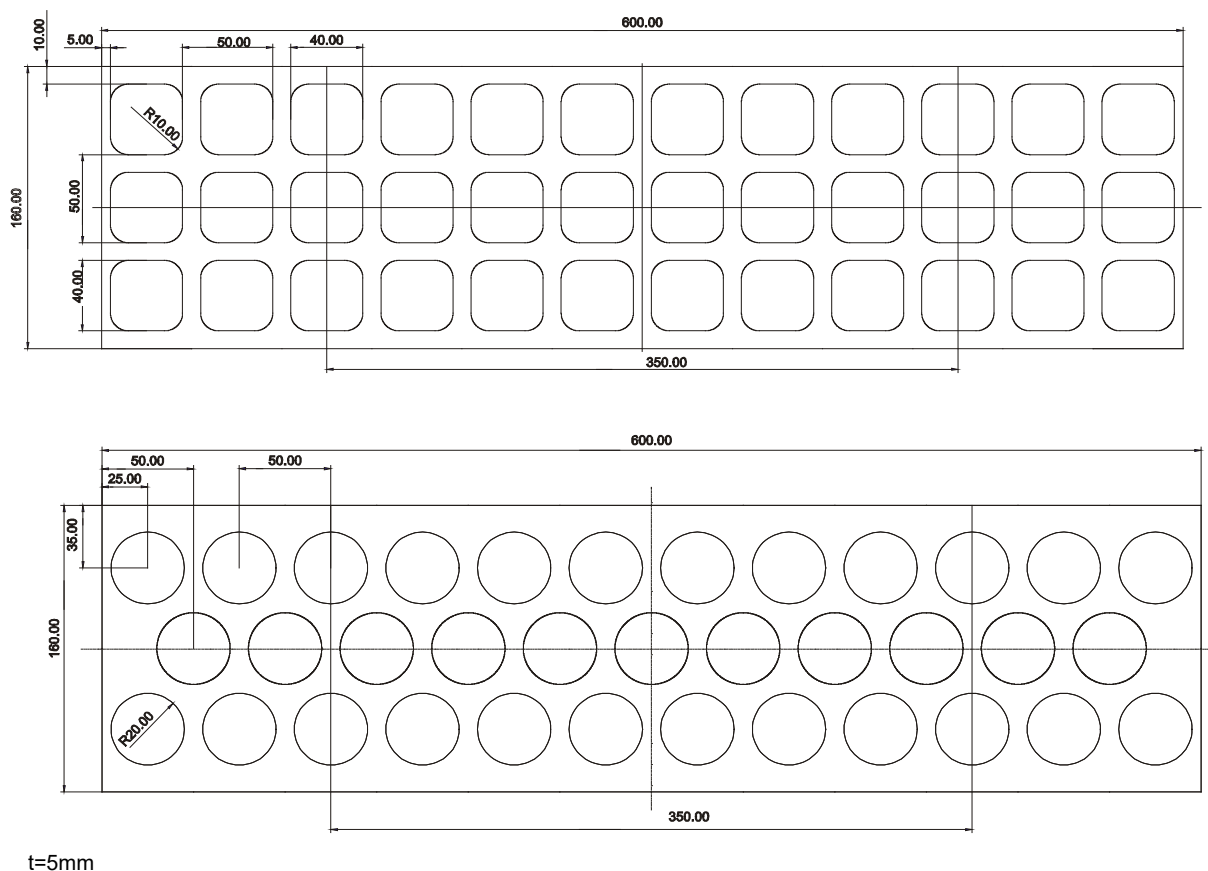


Bild 32: Rechteck- und Lochquerschnitt

Das Blech liegt eben auf zwei Stützen im eingezeichneten Abstand auf und wird in der Mitte belastet. Es wird eine Verschiebung von 1 mm angenommen. Bei der Modellgenerierung soll die doppelte Bauteilsymmetrie berücksichtigt werden, d.h. anstatt das komplette Teil zu erzeugen, genügt es nur ein Viertel des gesamten Modells zu erstellen. Die Symmetrie wird innerhalb des Programms mit Symmetrie-Randbedingungen berücksichtigt. Diese Vorgehensweise entspricht dem eines Berechnungsingenieurs in einer Konstruktionsabteilung. Der Simulationsaufwand (Modellerstellung und Berechnung) wird bei großen Modellen dadurch entscheidend positiv beeinflusst.

Zum Vergleich der Ergebnisse kann auch ein Vollmodell simuliert werden.

Beim interaktiven Ablauf kann die Querschnittsform, die Netzdichte, die Verschiebung und die Einspannung variiert werden.

Der Einfluss des Fertigungsverfahrens (Stanzen, Fräsen ...) wird bei dieser Berechnung nicht erfasst, dazu sind Versuche am realen Bauteil erforderlich.

6.3.1 Interaktive Datei *lochblech.mac*

1. Bestätigen Sie das Löschen der Daten
2. Wählen Sie den Querschnitt der Löcher aus

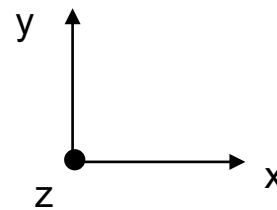
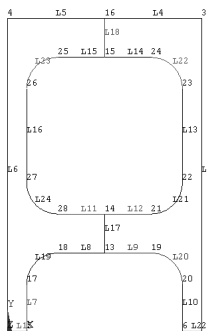


Bild 33: Teilfläche mit Keypunkt- und Liniennummern

3. Festlegung der Elementkantenlänge (Netzdichte)
4. Kopieren der Teilflächen

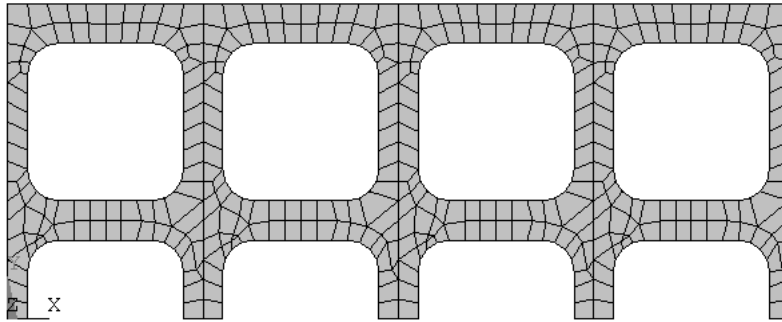


Bild 34: Elementdarstellung

5. Eingabe der Verschiebung: Dazu selektieren Sie die Knoten der Verschiebung (rechte Kante), bestätigen diese mit Ok und geben die Richtung und die Größe der Verschiebung an.
6. Eingabe der Lagerstellen: Dazu selektieren Sie die Knoten der Lagerstelle (in der Mitte des ersten Loches), bestätigen mit Ok und geben an dass die Freiheitsgrad $u_x, u_y, u_z, r_{otx}, r_{otz}$ eine Verschiebung von 0 haben.
7. Eingabe der Symmetrie-Randbedingungen: Dazu wählen Sie die Kanten, an denen Symmetrie vorliegt und bestätigen diese Auswahl mit Ok. Das Programm überträgt diese Randbedingung mit dem Starten der Berechnung auf das Modell.

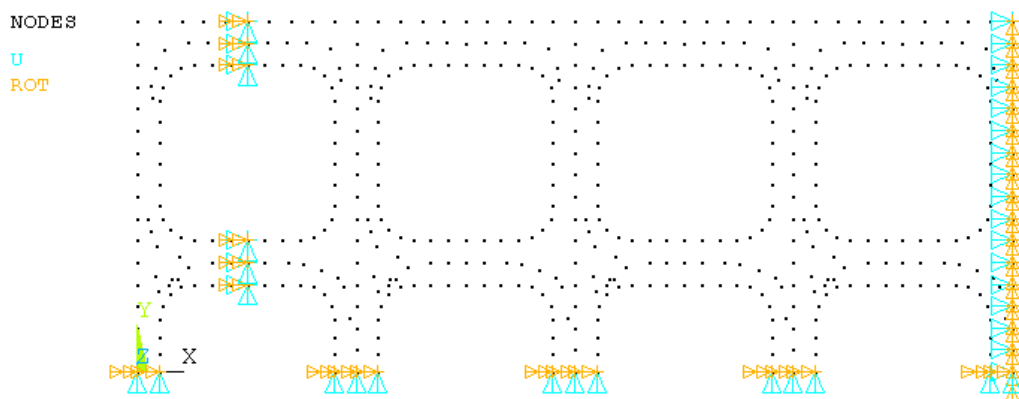


Bild 35: Knotendarstellung mit Randbedingungen

8. Starten der Berechnung
9. Darstellung der Ergebnisse

1

NODAL SOLUTION

STEP=1

SUB =1

TIME=1

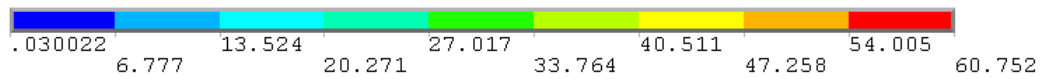
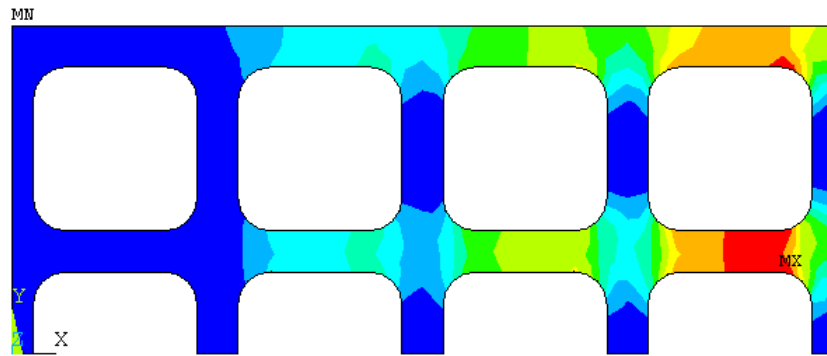
SEQV (AVG)

DMX =1

SMN =.030022

SMX =60.752

ANSYS



Darstellung der Ergebnisse - Vergleichsspannungen

Bild 36: Konturplot der Spannungen

6.3.2 Erstellung des Beispiels über die GUI

Analyseart vereinbaren:

Main Menu >Preferences

Preferences for GUI Filtering Structural

Ok

Elementtyp auswählen:

Main Menu >Preprocessor >Element Type >Add/Edit/Delete

Add ...

Wählen Sie in der Elementbibliothek das Schalenelement Shell und im rechten Fenster den Typ Elastic 4node 63 (Schalenelement 63 mit vier Eckknoten) aus.

Ok

Close

Elementeigenschaften festlegen:

Main Menu >Preprocessor >Real Constants >Add/Edit/Delete

Add ...

Ok

Geben Sie nun die Dicke des Blechs an. Es muss nur ein Wert angegeben werden. Das Programm überträgt diesen Wert auf alle vier Eckknoten des Elements.

Shell thickness at node I TK(I) 5

Ok

Close

Materialeigenschaften festlegen:

Mit dem folgenden Befehl definieren Sie ein Materialmodell, das das Verhalten des verwendeten Werkstoffes beschreibt:

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models

Im rechten Teil des Fensters doppelklicken Sie jeweils auf Structural – Linear – Elastic – Isotropic und können nun den E-Modul (EX) und die Querkontraktionszahl (PRXY) für St37 eingeben:

EX	210000	Elastizitätsmodul (E-Modul)
----	--------	-----------------------------

PRXY	0.3	Querkontraktionszahl
------	-----	----------------------

Die Angabe der Dichte ist für eine statische Strukturberechnung nicht zwingend nötig, kann aber angegeben werden:

Structural - Density:

Dens	7.85e-9	Dichte
------	---------	--------

Ok

schließt das Definitionsfenster und

Material >Exit

beendet die Materialdefinition.

Erstellung des Modells:

Nun werden die beiden Keypunkte und die Linie erstellt:

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Keypoint >In Active CS

NPT	1		
X,Y,Z	0	0	0

Apply

NPT	2		
X,Y,Z	50	0	0

Apply

Alle weiteren Koordinaten der Punkte entnehmen Sie der unteren Liste (Kapitel 6.3.3) ...

Ok

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Lines >Lines >Straight Line

Verbinden Sie nun die einzelnen Punkte mit Linien, indem Sie mit der Maus die einzelnen Keypunkte anklicken.

Zum Abrunden der Ecken klicken Sie

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Lines >Line Fillet

Und wählen jeweils die zwei Linien für den Radius aus:

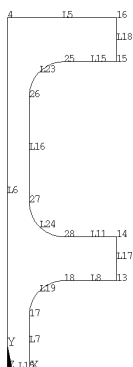
RAD	Fillet Radius	8
-----	---------------	---

Apply ...

Utility Menu >Plot >Lines

Flächenerstellung:

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Areas >Arbitrary >By Lines



Erzeugen Sie jetzt zwei Teilflächen, indem Sie die Linien der Reihe nach anklicken, zuerst alle Linien der linken Seite (Apply) und anschließend alle Linien der rechten Seite.

Hinweis: Behalten Sie für beide Flächen den gleichen Umfahrungssinn bei. Damit die Flächennormale (später die Elementnormale) in die gleiche Richtung zeigt.

Ok

Elementeigenschaften:

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Size Cntrl >ManualSize
>Lines >All Lines

Size Element edge length 5

Damit wird die Anzahl der Elemente für alle Linien festgelegt.

Ok

Die Radian werden feiner unterteilt. Dazu klicken Sie auf die sechs Radian.

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Size Cntrl >ManualSize
>Lines >Picked Lines

Size Element edge length 3

Ok

Vernetzung:

Main Menu >Preprocessor >Mesh >Areas >Free

Drücken Sie nun zum Vernetzen der Flächen auf Pick all

Ok

Kopieren der Teilflächen:

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Copy >Area

Wählen Sie beide Flächen aus

ITIME number of copies 4

DX x-offset in active CS 50

NOELEM Items to be copied Area and Mesh

Durch das Kopieren der Flächen sind doppelte Linien, Keypunkte und Knoten entstanden. Diese müssen verschmolzen werden. Dazu drücken Sie

Main Menu >Preprocessor >Numbering Ctrl >Merge Items

Label Type of items to be merged All

Ok

Im Output-Fenster sehen Sie das Resultat des Befehls.

Randbedingungen und Belastungen aufbringen:

Zunächst werden für die Anzeige die Symbole eingeschaltet:

Utility Menu >Plot >Element

Utility Menu >PlotCtrl >Symbols ...

All Applied BCs

Ok

Belastung (Verschiebung):

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply
>Structural >Displacement >On Nodes

Klicken Sie die Knoten am rechten Rand an (siehe Skizze).

Ok

Lab2	Dofs to be constrained	UZ
Value	Displacement Value	-1

Ok

Einspannung:

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply
>Structural >Displacement >On Nodes

Klicken Sie die Knoten der Lagerung an (siehe Skizze).

Ok

Lab2	Dofs to be constrained	UY,UZ,rotx,rotz
Value	Displacement Value	0

Ok

Bauteilsymmetrie:

Als nächstes muss die Symmetrie definiert werden. Dazu klicken Sie

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply
>Structural >Displacement >Symmetry B.C. >On Lines

Und wählen die einzelnen Symmetrie-Ränder aus (siehe Skizze)

Ok

An dieser Stelle ist es an der Zeit, die Daten des Modells zu sichern:

Utility Menu >File >Save as Jobname.db

Starten der Berechnung:

Main Menu >Solution >Analysis Type >New Analysis
Static

Ok

Main Menu >Solution >Solve >Current LS

Ok

Darstellung der Ergebnisse:

General Postprocessor >Plot Results >Contour Plot >Nodal Solu

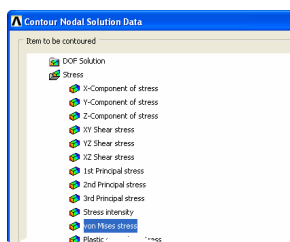


Bild 37: Dialogfenster der Ergebnisdarstellung

Ok

6.3.3 Musterlösung mit Default-Werten

```

!
! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
!
! Bearbeiter: Michael Hochmuth
! Datei :   lochblech-muster.txt
!
! *****
! ***** Lochblech - Musterloesung *****
! *****
! ***** Kerbspannungsproblem, Blech mit Rechteck- *****
! ***** Ausschnitten und fester Netzdichte *****
! *****
!
fini
/clear
/prep7
!
/PNUM,KP,1
/PNUM,LINE,1
/PLOPTS,VERS,1
/title,Lochblech mit Ausschnitten, symmetrisches Modell
!
ET,1,SHELL63
R,1,5
MP,EX ,1,210000
MP,DENS,1,7.85e-9
MP,NUXY,1,0.3
!
k, 1, 0, 0
k, 2,50, 0
k, 3,50,80
k, 4, 0,80
k, 5, 5, 0
k, 6,45, 0
k, 7, 5,20
k, 8,45,20
k, 9, 5,30
k,10,45,30
k,11, 5,70
k,12,45,70
k,13,25,20
k,14,25,30
k,15,25,70
k,16,25,80
kplo
1, 1, 5           1, 5, 7           1,10,12
1, 6, 2           1, 7,13          1,12,15
1, 2, 3           1,13, 8          1,15,11
1, 3,16           1, 8, 6          1, 9,11
1,16, 4           1, 9,14          1,13,14
1, 4, 1           1,14,10          1,15,16
lfillt, 7, 8,8    !Abrundung mit Radius 8
lfillt, 9,10,8
lfillt,12,13,8
lfillt,13,14,8
lfillt,15,16,8
lfillt,16,11,8
lplo

```

```

lesize,all,5, , ,1      !Elementkantenlaenge gerade Linien 5
!
FLST,2,6,4,ORDE,2
FITEM,2,19
FITEM,2,-24
!
lesize,P51X,3, , ,1
!Elementkantenlaenge an Radien 3
!
a,1,5,17,18,13,14,28,27,26,25,15,16,4
a,2,3,16,15,24,23,22,21,14,13,19,20,6
aplo
/replo
amesh,all
!
agen,3,1, , ,50          !Kopieren der Flaechen
agen,3,2, , ,50
agen,2,1, , ,150
agen,2,2, , ,150
eplo
nummrg,all
eplo
nsel,s,loc,x,200          !Auswahl der Linie Verschiebung
D,all, , -1, , , ,UZ      !Randbedingung Verschiebung 1mm
nsel,all
!
nsel,s,loc,x,25           !Auswahl der Linie fuer Lager
D,all, , , , ,UX,UY,UZ,ROTX,ROTZ !Lagerstelle, feste Einspannung
nsel,all
!
lsel,s,loc,y,0            !Auswahl der Linie
DL,all, , ,symm           !Angabe der Symmetrie-Randbedingung
lsel,all
lsel,s,loc,x,200          !Auswahl der Linie
DL,all, , ,symm           !Angabe der Symmetrie-Randbedingung
lsel,all
!
nplo
/PBC,ALL, ,1
/REP
/solu
ANTYPE,0                  !Analyseart definieren (static)
solve
!
/post1
plns1,s,eqv               !Plot der Vergleichsspannungen
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof

```

Definition eines **Feldes**, dessen Inhalt dem nächsten Befehl als Wert in **P51X** übergeben wird. Erstellt ANSYS bei jeder Maus-Auswahl-Aktion automatisch. Alternativ oft auch manuelle Angabe von Objektnummern sinnvoll.

6.3.4 Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen

Für dieses Beispiel sind folgende Änderungen denkbar:

- strukturiertes Vernetzen des Bleches
- Berücksichtigung des Eigengewichtes
- Generieren des kompletten Bauteils (ohne Symmetrie und Vereinfachung)
- Berechnung des Modells mit kreisrunden Ausschnitten

6.4 3D Solid-Modeling

In diesem Abschnitt wird die FEM-Berechnung von dreidimensionalen Modellen behandelt.

Es gibt zwei verschiedene Wege um 3D-Daten in ANSYS zu erzeugen. Der herkömmliche Weg ist die Erstellung des Modells innerhalb von ANSYS. Dabei wird das Modell zunächst aus Objekten niedriger Ordnung (Keypunkte, Linien) und anschließend mit Objekten höherer Ordnung (Flächen, Volumen, Knoten und Elementen) aufgebaut. Diese Technik wird als „bottom up“ bezeichnet. Den umgekehrten Weg geht man bei der „top down“ Methode. Es werden dabei geometrische Grundkörper verwendet, die mit logischen Operationen miteinander kombiniert werden. Beispiele boole'scher Operationen sind Addition, Subtraktion und Division. Es entstehen somit komplizierte geometrische Formen. Wenn ein Grundkörper erzeugt wird generiert das Programm automatisch die Größen niedriger Ordnung, die damit verbunden sind. Der Anwender kann beide Techniken in jedem Modell beliebig miteinander kombinieren.

In der Praxis ist es aber häufig so, dass für Bauteile bereits 3D-Daten aus CAD-Programmen vorliegen. Hier eröffnet sich der zweite Weg um 3D-Modell in ANSYS zu erhalten. Nötig sind dazu spezielle Geometrieschnittstellen zu CAD-Systemen. ANSYS unterstützt die bekannten Standardschnittstellen wie IGES und STEP, als auch spezielle Schnittstellen wie beispielsweise zu AutoCAD, Uni-graphics, Pro/Engineer, Solid Edge, Solid Works, CATIA und Solid Designer. Dadurch wachsen FEM und CAD zunehmend zusammen.

Der Vorteil ist eine erheblich schnellere Erstellung von Berechnungsmodellen. Der Nachteil darf aber nicht verschwiegen werden: Geometrien, die übergeben werden, erfordern manchmal einige Nacharbeit, bevor sie für FEM-Berechnungen verwendet werden können. Sie weisen hin und wieder doppelte Linien und Lücken zwischen Flächen und Volumen auf. Getrimmte Flächen werden oft nur ohne Begrenzungen übertragen. Auch sind die CAD-Modelle oft zu komplex, enthalten Objekte die für eine FEM-Berechnung keinen Einfluss haben, z.B. Bohrungen, Fasen, Rundungen. Das CAD-Modell muss deshalb zuerst abstrahiert werden um den Rechenaufwand so gering wie möglich zu halten. Oftmals genügt es auch ein 3D-Modell mit Schalenelementen zu idealisieren. In so einem Fall würde die Datenübergabe keine Zeitersparnis bringen, sondern das Gegenteil würde erreicht. Der direkten Datenübergabe sind auch von der momentan zur Verfügung stehenden Rechnerleistung (Speicherplatz, Prozessor-Geschwindigkeit) Grenzen gesetzt.

In der Praxis muss der Berechnungsingenieur entscheiden welcher Weg für sein Problem der geeignete ist.

Eine Variante der FEM-Analyse mit CAD-Daten sind FEM-Berechnungs-Module die in CAD-Programmen integriert sind. Mit diesen Modulen kann der CAD-Anwender in seiner vertrauten Programmumgebung erste Berechnungen durchführen und seinen Entwurf überprüfen. Die Funktionalität der integrierten Module

ist meist eingeschränkt, um den Konstrukteur nicht zu überfordern. Die Einschränkungen betreffen hauptsächlich die Analysemöglichkeiten, die nur die wichtigsten enthalten: lineare Statik, Eigenfrequenzermittlung und lineare Temperaturfeldberechnung. Bei den Ergebnissen kommt es nicht so sehr auf Genauigkeit an. Der Konstrukteur kann vielmehr Tendenzen feststellen, mit denen er Entwicklungsvarianten bewerten kann.

Im FEM-Labor stehen direkte Schnittstellen zu Pro/Engineer, Solid Edge, CATIA, Unigraphics, Parasolid und SAT zur Verfügung, ebenso die Standardschnittstelle zu Dateien im IGES-Format.

Das Beispiel zeigt im ersten Teil den Weg der Modellerstellung innerhalb von ANSYS und im zweiten Teil die Übergabe von CAD-Daten aus Pro/Engineer.

6.4.1 Buchstütze

In diesem Beispiel wird das 3D-Modell aus einer Kombination der „bottom up“ und „top down“ Technik innerhalb des Preprocessors von ANSYS durchgeführt. Des Weiteren sollen die unterschiedlichen Vernetzungstechniken (free mesh, mapped mesh) gezeigt werden.

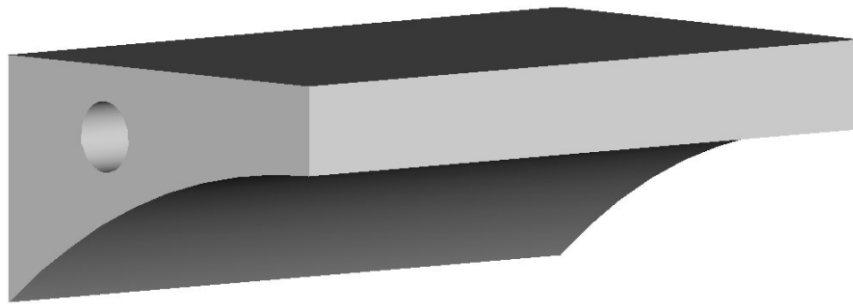


Bild 38: Buchstütze mit Querbohrung

Die Stütze ist an der breiten Stirnseite eingespannt und wird mit einer Flächenlast (10 N/mm^2) beansprucht. Eine Einzellast an der vorderen Kante führt zu Belastungsspitzen an der Einleitungsstelle, an Nachbarknoten sind die Werte aber viel geringer (Singularitäten). Deshalb soll unter ANSYS bei Volumenelementen besser eine Flächenlast aufgebracht werden. Die Kraft wird dabei gleichmäßig auf alle Knoten umgerechnet.

Zur Erzeugung des Modells werden verschiedene boole'sche Operationen verwendet. Boole'sche Algebra stellt ein Werkzeug zur Verfügung, um Datenmengen unter Anwendung von logischen Operatoren, wie Verschneidung, Vereinigung, Subtraktion, etc., miteinander zu kombinieren. Durch die Anwendung dieser Operatoren innerhalb von ANSYS, gelingt es die unvernetzte Konstruktion des Solid-Model einfacher zu erzeugen.

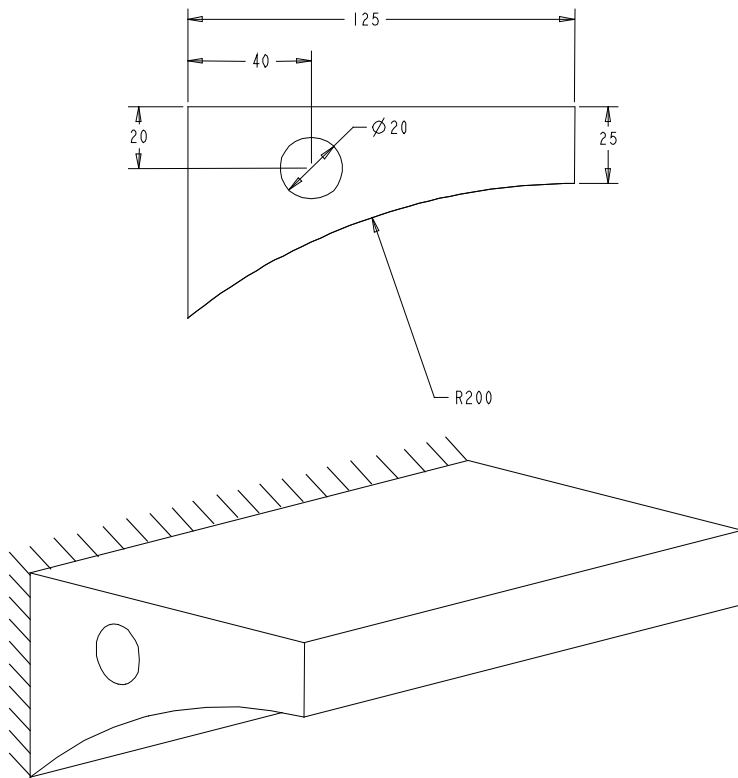


Bild 39: Geometrie der Buchstütze

Das Volumen wird in dem Beispiel mit einem strukturierten Gitter vernetzt (Mapped Mesh). Dazu werden Hexaeder-Elemente (Solid73) mit 8 Knoten je Element und 6-Freiheitsgraden je Knoten verwendet. Eine andere Möglichkeit stellt das sogenannte Free Meshing dar, das ein unstrukturiertes Gitter mit Tetraeder-Elementen erzeugt. Als Elementtyp kann z.B. das Solid72 (4 Knoten) oder Solid92 (10 Knoten) Element verwendet werden.

In der Praxis muss der Berechnungsingenieur die Frage nach der Form des Gitters immer wieder neu beantworten: Ein unstrukturiertes bzw. unregelmäßiges Netz wird ohne Bedingungen zur Elementform oder zum Muster des Netzes erstellt. Diese Vernetzung ist für allgemein begrenzte Flächen oder Volumen geeignet. Nahezu jeder Umriss kann mit einem solchen Netz versehen werden, da beliebig lokal verfeinert und das Netz an besondere Details der Geometrie angepasst werden kann. Dieses Netz erfordert wenig Überlegungen des Anwenders, dafür etwas mehr Rechenzeit beim Erzeugen des Netzes. Ein anderer Nachteil ist die relativ hohe Anzahl an Elementen die sich ergeben.

Ein strukturiertes bzw. regelmäßiges Netz beachtet Bedingungen der Elementform und des Netzmusters. Ein solches Netz wird ausschließlich aus viereckigen (Fläche) oder quaderförmigen (Volumen) Elementen gebildet. Ein solches Netz hat ein regelmäßiges Muster, meist mit deutlich erkennbaren Reihen von Elementen. Dieses regelmäßige Netz erfordert mehr Überlegungen und Steuerungen durch den Anwender, dafür etwas weniger Rechenzeit beim Erzeugen des Netzes. Es ergeben sich weniger Elemente.

6.4.1.1 Interaktive Datei stuetze-hex. mac

1. Bestätigen Sie das Löschen der Daten
2. Wählen Sie den Elementtyp aus (Solid 95)
3. Erzeugen Sie die Hilfsflächen
4. Starten Sie die boole'schen Operationen
5. Geben Sie die Elementunterteilung in die Tiefe an
6. Geben Sie die Flächenlast an (10 N/mm²)
7. Starten der Berechnung
8. Darstellung der Ergebnisse

6.4.1.2 Erstellung des Beispiels über die GUI

Analyseart vereinbaren:

Main Menu >Preferences

Preferences for GUI Filtering Structural

Ok

Elementtyp auswählen:

Main Menu >Preprocessor >Element Type >Add/Edit/Delete

Add ...

Wählen Sie aus der Elementbibliothek das Strukturelement Solid und im rechten Fenster den Typ Brick 20node 95 (Volumenelement Solid95 mit 20 Knoten) aus. für ein frei vernetztes Modell verwenden Sie den Elementtyp Solid92.

Ok

Close

Elementeigenschaften festlegen:

Real Constants brauchen nicht definiert werden.

Materialeigenschaften festlegen:

Mit dem folgenden Befehl definieren Sie ein Materialmodell, das das Verhalten des verwendeten Werkstoffes beschreibt:

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models

Im rechten Teil des Fensters doppelklicken Sie jeweils auf Structural – Linear – Elastic – Isotropic und können nun den E-Modul (EX) und die Querkontraktionszahl (PRXY) für Stahl eingeben:

EX	210000	Elastizitätsmodul (E-Modul)
----	--------	-----------------------------

PRXY	0.3	Querkontraktionszahl
------	-----	----------------------

Das Eigengewicht hat bei diesem Belastungsfall keinen Einfluss, deshalb wird auf die Eingabe der Dichte verzichtet.

Erstellung des Modells:

Von dem 3D-Modell wird zunächst die Stirnseite gezeichnet.

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Area >Circle >Solid Circle

WP X 125

WP Y -225

Radius 200

Ok

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Area >Rectangle >By Dimensions

X1,X2 X-coordinates 0 125

Y1,Y2 Y-coordinate 0 -125

Ok

Zum Erzeugen des Profils ziehen Sie von der Rechtecksfläche die Kreisfläche ab.

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Operate >Booleans >Subtract >Areas

Wählen Sie zunächst die Rechtecksfläche als Basisfläche aus.

Ok

Und anschließend die Kreisfläche aus.

Ok

Utility Menu >Plot Ctrl >Numbering

KP Keypoint Numbers On

Ok

Um das Modell in einer räumlichen Ansicht zu sehen klicken Sie

Utility Menu >PlotCtrl >Pan, Zoom, Rotate ...

Im Pan-Zoom-Rotate Fenster klicken Sie auf ISO und anschließend auf FIT um das Modell in die Fenstergröße einzupassen.

Zeichnen Sie jetzt eine Linie in z-Richtung, an der die neu entstandene Fläche extrudiert wird.

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Keypoints >In Active CS

NPT Keypoint Number 20

X,Y,Z Location in Active CS 0 0 200

Ok

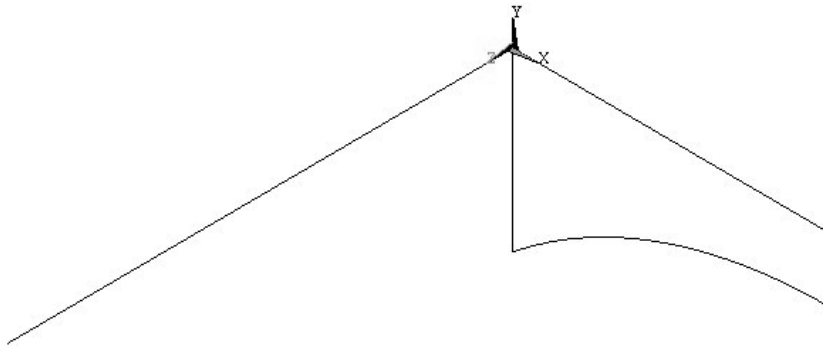


Bild 40: Modellerstellung

Main Menu >Preprocessor >Create >Lines >Straight Line

Verbinden Sie nun die Punkte 8 und 20, indem Sie mit der Maus die Keypunkte anklicken.

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Operate >Extrude >-Areas-
Along Lines

Wählen Sie die Fläche

Ok

und als nächstes die Linie.

Ok

Nun wird ein Zylinder gezeichnet aus dem die Durchgangsbohrung entstehen wird, dazu verschieben Sie zunächst die den Ursprung der Working Plane in den Zylindermittelpunkt. Dies ist erforderlich, da der Zylindermittelpunkt im Ursprung der Working Plane liegt (bei Verwendung des CYLIND-Befehls).

Utility Menu >WorkPlane >Offset WP to >XYZ Locations

In die Eingabezeile des Input-Fensters geben Sie die Koordinaten des Zylinders ein

40,-20,0

Ok

Lassen Sie sich die neue Working Plane anzeigen

Utility Menu >WorkPlane >WP Settings

Wählen Sie: Cartesian, Grid and Triad

Enable Snap abwählen, nur für Polarkoordinatensystem

Spacing 20 Abstand zwischen den Gitterlinien

Minimum -130 Größe des quadratischen Gitters

Maximum 130

Tolerance 0.003 Toleranz für Objekt auf oder unter Working Plane

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Volumes >Cylinder
>By Dimensions

RAD1 Outer radius 10

RAD2	Optional inner radius	0
Z1,Z2	Z-coordinates	-10,210
THETA1	Starting angle	0
THETA2	Ending angle	360

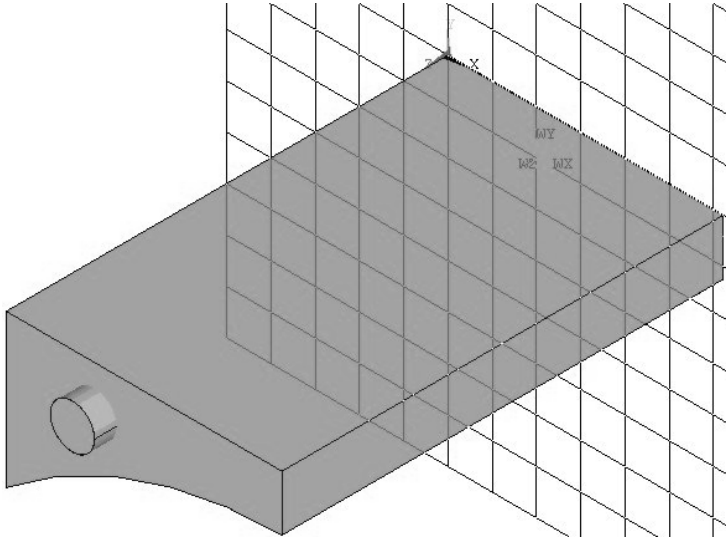


Bild 41: zwei Grundkörper mit Workplane

Jetzt ziehen Sie diesen Zylinder von der Stütze ab

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Operate >Booleans >Subtract
>Volumes

Klicken Sie auf die Stütze

Ok

Klicken Sie auf den Zylinder

Ok

Den Hinweis können Sie abschalten indem Sie vor der Operation `Bopt,numb,off` eingeben.

Die Working Plane blenden Sie wieder aus

Utility Menu >WorkPlane >Display Working Plane

Zeichnen von Hilfsflächen:

Nun werden Hilfsflächen erzeugt, mit denen das Gesamtvolumen in kleine Teilvolumina unterteilen wird. Dies ist notwendig, da das Mapped Meshing nur auf Geometrien anwendbar ist, die folgende Kriterien erfüllen:

- Flächen müssen durch 3 oder 4 Linien berandet sein.
- Wenn die Fläche durch 3 Linien berandet ist, müssen die Linien eine gerade Anzahl von Unterteilungen haben.
- Gegenüberliegende Seiten müssen die selbe Unterteilung haben.
- Volumen müssen durch 4, 5 oder 6 Flächen berandet sein.

Keypunkt-Nummern einschalten:

Utility Menü >PlotCtrl >Numbering

Keypoint numbers on

Main Menu >Preprocessor >Create >Keypoints >In Active CS

NPT Keypoint Number 50

X,Y,Z Location in Active CS 0 -20 0

Apply

NPT Keypoint Number 51

X,Y,Z Location in Active CS 0 -20 200

Apply

NPT Keypoint Number 52

X,Y,Z Location in Active CS 125 -20 0

Apply

NPT Keypoint Number 53

X,Y,Z Location in Active CS 125 -20 200

Ok

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Area >Arbitrary
>Through KPs

Klicken Sie für die erste Fläche die Keypunkte 50,51,18 und 17 an,
Reihenfolge beachten!

Apply

Für die zweite Fläche die Keypunkte 19,21,52 und 53.

Ok

Die Koordinaten für die senkrechten Flächen können Sie jetzt direkt in das Input-Fenster eingeben:

k,101,60,10,-5

k,102,60,10,205

k,103,60,-100,205

k,104,60,-100,-5

Ebenso können Sie die Fläche direkt über das Input-Fenster erzeugen:

a,101,102,103,104

Um die Anzeigen zu aktualisieren geben Sie ein:

aplo

Alle weiteren Punkte (k) und Flächen (a) erzeugen Sie auf die gleiche Weise:

k,201,40,10,-5

a,201,202,203,204

k,304,20,-100,-5

k,202,40,10,205

k,301,20,10,-5

a,301,302,303,304

k,203,40,-100,205

k,302,20,10,205

aplo

k,204,40,-100,-5

k,303,20,-100,205

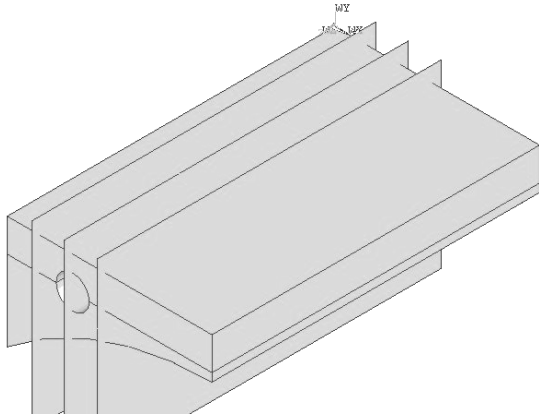


Bild 42: Stütze mit vier Hilfsflächen

Erzeugen der Teilvolumen:

mit boole'schen Operationen (durch waagrechte Fläche)

Main Menu >Preprocessor >Operate >Booleans >Divide >Volume by Area

Wählen Sie die Stütze.

Ok

Wählen Sie die waagrechte Flächen.

Apply

Mit den senkrechten Flächen verfahren Sie genauso. Bei der Auswahl müssen Sie mit der Maus ziemlich in die Mitte der jeweiligen Flächen/Volumen klicken, damit Sie die richtigen Objekte erreichen. Am Ende drücken Sie

Ok

Das Modell sollte wie folgt aussehen:

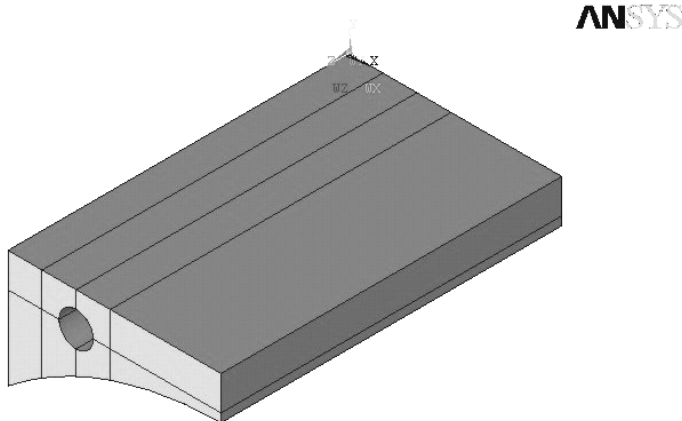


Bild 43: Stütze in acht Teilvolumina geteilt

Das Volumen im 3.Quadranten ergibt in dieser Form noch zu spitze Elemente. Deshalb wird dieses Volumen noch einmal mit einer waagrechten Fläche unterteilt:

Eingabe in das Input-Fenster:

k, 60, 0, -40, 0

k, 61, 0, -40, 200

a, 60, 61, 24, 25

und Teilen des Volumens:

Main Menu >Preprocessor >Operate >Booleans >Divide >Volume by Area

Klicken Sie das Volumen an

Ok

und wählen Sie die waagrechte Fläche.

Ok

Ein Kriterium beim Mapped Meshing war ja, dass Flächen durch 3 oder max. 4 Linien berandet sein dürfen, deshalb sind im Bereich der Bohrung bei den Teilflächen jeweils zwei Linien miteinander zu verbinden:

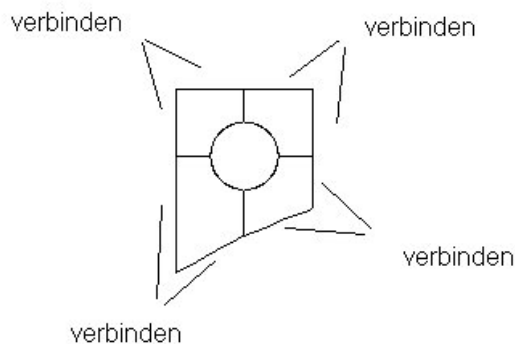


Bild 44: Verbinden der Linien

Einschalten der Linien- und Flächennummerierung über das Input-Fenster:

/PNUM, LINE, 1

und Plotten der Linien:

lplo

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Concatenate >Lines

Wählen Sie die Linien 49 und 68 (oder entsprechende Nr. in Ihrem Modell).

Apply

49 und 68 Ok

Anschließend die müssen noch die zu den Linien gehörenden Flächen verbunden werden.

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Concatenate >Areas

Wählen Sie die Flächen 22 und 36 Ok

Main Menu >Preprocessor >Concatenate >Concatenate >Lines

Wählen Sie die Linien 32 und 76 Apply

33 und 77 Ok

Main Menu >Preprocessor >Concatenate >Concatenate >Areas

Wählen Sie die Flächen 29 und 44 Ok

Main Menu >Preprocessor >Concatenate >Concatenate >Lines

Wählen Sie die Linien 22 und 85 Apply

20 und 84 Ok

Main Menu >Preprocessor >Concatenate >Concatenate >Areas

Wählen Sie die Flächen 16 und 51 Ok

Main Menu >Preprocessor >Concatenate >Concatenate >Lines

Wählen Sie die Linien 75 und 80 Apply

60 und 81 Ok

Main Menu >Preprocessor >Concatenate >Concatenate >Areas

Wählen Sie die Flächen 33 und 48 Ok

Vernetzung:

Bevor das Bauteil vernetzt werden kann, müssen für Linien Elementunterteilungen festgelegt werden. Legen Sie zunächst eine globale Unterteilung fest (gilt für alle Linien):

Main Menu >Preprocessor >Meshing Size Cntrls >ManualSize
>Lines >All Lines

SIZE Element edge length 0

NDIV No. Of element divisions - 3

Ok

Für die Linien in die Tiefe definieren Sie eine gröbere Unterteilung.

Main Menu >Preprocessor >Meshing Size Cntrls >ManualSize
>Lines >Picked Lines Lines

Wählen Sie alle Linien in der Tiefe (z-Richtung) aus.

Ok

SIZE Element edge length 25 Elementkantenlänge

Ok

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Mesh >Volume >Mapped >4 to 6 sided

Wählen Sie alle Volumina aus.

Pick All Ok

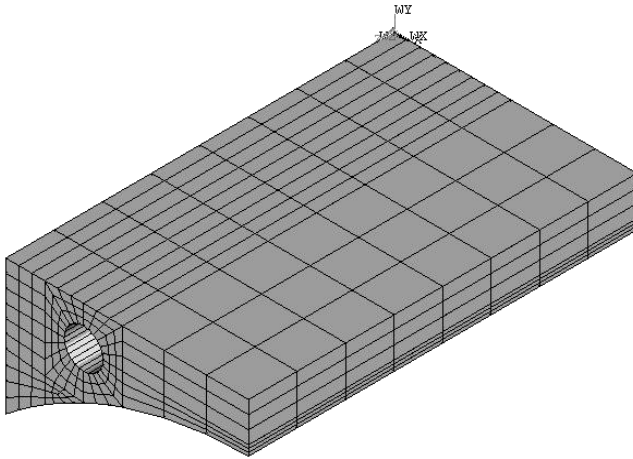


Bild 45: Stütze mit strukturierten Gitter

Randbedingungen und Belastungen aufbringen:

Zum Anzeigen der Randbedingungen:

Utility Menu >Plot >Element

Utility Menu >PlotCtrls >Symbols

All Applied BC's

Ok

Die Einspannung ist an der breiten Stirnseite ($x=0$), dazu wählen Sie diesen Bereich mit dem Befehl

`nsel,s,loc,x,0`

im Input-Fenster aus.

Main Menu >Preprocessor >Loads >Apply >Structural
>Displacement >On Nodes

Pick All

Lab2 DOFs to be constrained All DOF

Ok

Definition der Flächenlast

Main Menu >Preprocessor >Loads >Apply >Structural >Presssure
>On Areas

Wählen Sie die obere Fläche aus (4 Teilflächen).

Ok

VALUE Presssure value 10 (10 N/mm²)

Ok

Auswahl aller Objekte, Input-Fenster

`allsel,all`

Starten der Berechnung:

Main Menu >Solution >Analysis Type >New Analysis
Static

Ok

Main Menu >Solution >Solve >Current LS

Ok

Darstellung der Ergebnisse:

General Postprocessor >Plot Results >Nodal Solu

Item to be contoured: Nodal Solution >Stress >von Mises stress

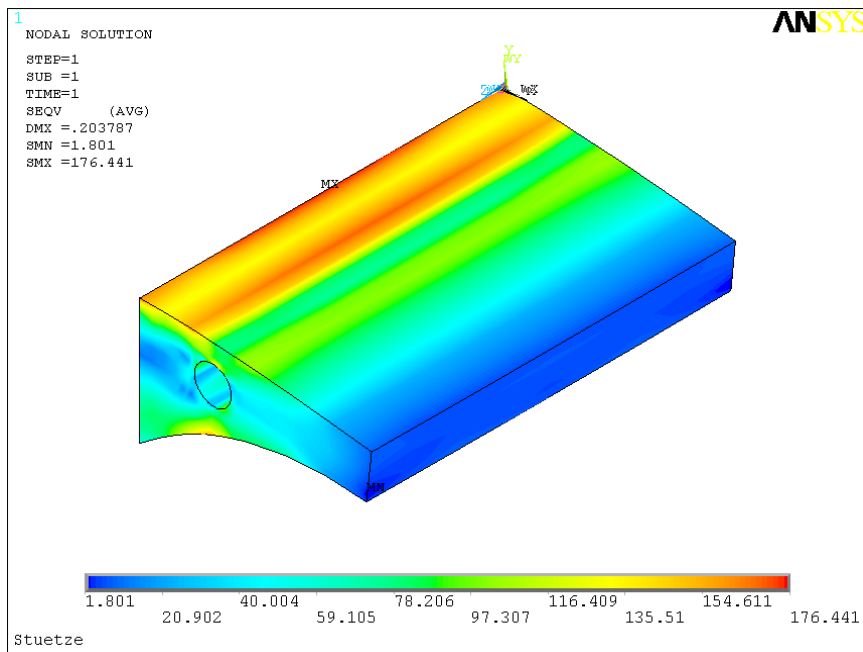


Bild 46: Vergleichsspannung

6.4.1.3 Musterlösung mit Default-Werten

```

!
!
! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
!
! Bearbeiter: Michael Hochmuth
! Datei :   stuetze-hex-muster.mac
!
! *****
! *****      3D - Stuetze      *****
! *****
! *** 3D-Modeling mit Boole'schen Operationen **
! *****
!
fini
/clear
!
/title,Stuetze
/rep
!
/prep7
!
ET,1,Solid95
MP,EX,1,210000
MP,nuxy,1,0.3
!
k,1,125,-225
circle,1,200
al,all
!
RECTNG,0,125,0,-125
ASBA,2,1
kdel,1
/rep
!
k,20,0,0,200
l,9,20
LPLOT
/VIEW, ,1,1,1
/rep
!/wait,5                                !hält das Einlesen der Datei für 5 sec. an
!
VDRAG, 3, , , , , 1
vplo
! workplane
wpave,40,-20,0
wpstyle,0.05,20,-130,130,0.003,0,0,,5
/rep
!
CYLIND,10,0,-10,210,0,360
Bopt,numb,off
VSBV,1,2
wpstyle,defa
/rep
!/wait,5
! 1.waagrechte Flaeche:
k,50, 0,-20,0
k,51, 0,-20,200

```

```

a,17, 18, 51, 50
k,52,125,-20,0
k,53,125,-20,200
a,19,21,53,52
aplo
!
!senkrechte Flaechen:
k,101,60,10,-5
k,102,60,10,205
k,103,60,-100,205
k,104,60,-100,-5
a,101,102,103,104
aplo
k,201,40,10,-5
k,202,40,10,205
k,203,40,-100,205
k,204,40,-100,-5
a,201,202,203,204
aplo
k,301,20,10,-5
k,302,20,10,205
k,303,20,-100,205
k,304,20,-100,-5
a,301,302,303,304
aplo
!
! 1.vsub
FLST,3,3,5,ORDE,3
FITEM,3,3
FITEM,3,6
FITEM,3,12
VSBA,3,P51X, , ,keepa
aplo
!
! 2.vsub
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-2
VSBA,P51X, 9
aplo
! 3.vsub
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,5
FITEM,2,-6
VSBA,P51X, 8
aplo
!
! 4.vsub
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-2
VSBA,P51X, 7
! 2.waagrechte Flaechen
k,60, 0,-40,0
k,61, 0,-40,200
a,60,61,24,25
!
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,8
VSBA,P51X, 2
vplo
!

```

```

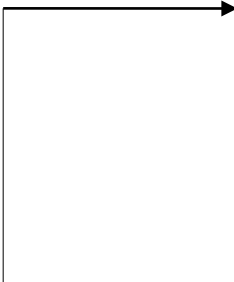
!
lplo
! Verbinden der Linien fuer Mapped-Mesh
! concatenate1
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,48
FITEM,2,67
LCCAT,P51X
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,49
FITEM,2,68
LCCAT,P51X
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,22
FITEM,2,36
ACCAT,P51X
!
! concatenate2
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,32
FITEM,2,76
LCCAT,P51X
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,33
FITEM,2,77
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,29
FITEM,2,44
ACCAT,P51X
!
! concatenate3
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,22
FITEM,2,85
LCCAT,P51X
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,20
FITEM,2,84
LCCAT,P51X
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,16
FITEM,2,51
ACCAT,P51X
!
! concatenate4
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,75
FITEM,2,80
LCCAT,P51X
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,60
FITEM,2,81
LCCAT,P51X
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,33
FITEM,2,48
ACCAT,P51X
lplo
!
!Elementunterteilung
ESIZE,0,3
!
!Unterteilung in Tiefe:

```

```

FLST,2,21,4,ORDE,18
FITEM,2,1
FITEM,2,3
FITEM,2,-6
FITEM,2,9
FITEM,2,-10
FITEM,2,12
FITEM,2,15
FITEM,2,-16
FITEM,2,18
FITEM,2,23
!
lplo
!
vmesh,all
/rep
!
! Randbedingungen und Belastung
!
/SOLU
!
nset,s,loc,x,0
d,all,all
allsel
!
!
FLST,2,4,5,ORDE,4
FITEM,2,1
FITEM,2,8
FITEM,2,36
FITEM,2,44
SFA,P51X,1,PRES,10          !10MPa=10N/mm2
!
/PSF,PRES,NORM,2
/PBF,DEFA, ,1
aplot
!
Solve
!
! Darstellung der Ergebnisse
!
/post1
/PBC,ALL, ,1
plns1,s,eqv
!
!
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof

```



6.4.1.4 Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen

Für dieses Beispiel ist folgende Änderung denkbar:

Erzeugen eines unstrukturiert vernetzten Modells und Vergleich der Ergebnisse.
Vorteil: Das Gesamtvolumen muss dabei nicht mit Hilfsflächen in acht Teilvolumen unterteilt werden.

6.4.2 Flansch

In diesem Beispiel liegt das 3D-Modell als Pro/Engineer bzw. Solid Edge Zeichnung vor. Die Daten werden über die direkte Geometrieschnittstelle importiert.

Der Flansch ist an der Stirnseite fest eingespannt und wird am Zapfen mit einem Moment auf Torsion beansprucht.

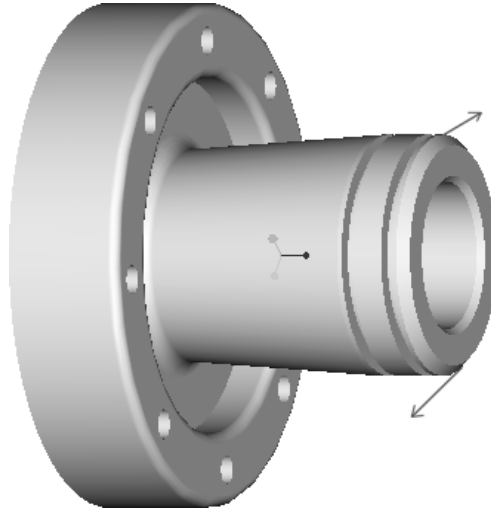


Bild 47: Pro/E – Modell

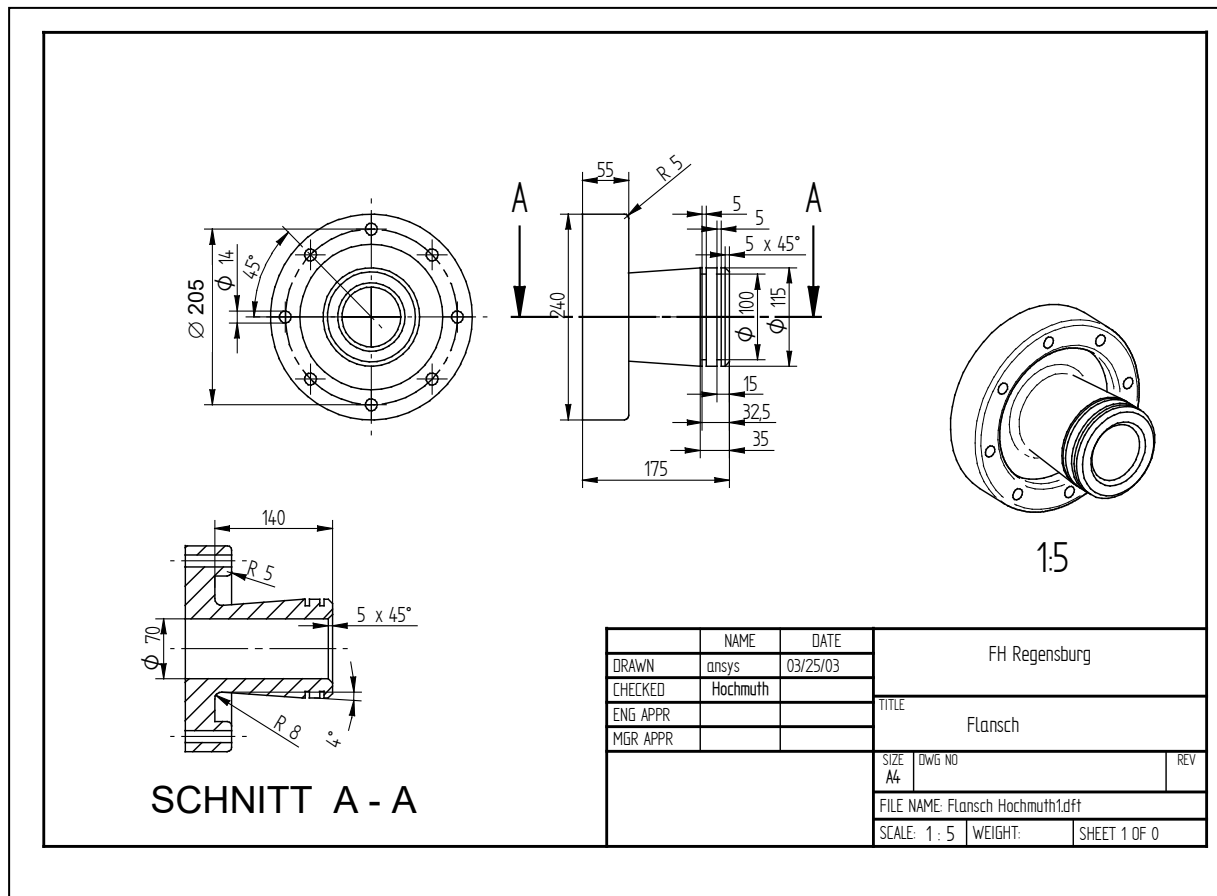


Bild 48: Pro/E Zeichnung

Erstellung des Beispiels:

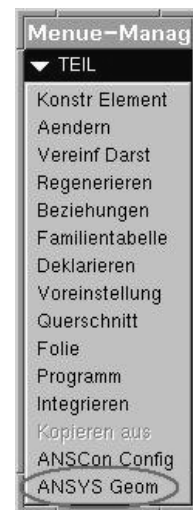
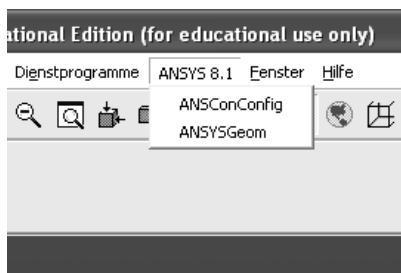
Hinweis: Das für die Bearbeitung dieses Beispiels erforderliche Import-Modul zu Pro/E ist auf den HP-Unix Rechnern und den Windows PC installiert. Auf den Windows PC ist des Weiteren ein Import-Modul für Parasolid-Dateien (z.B. Solid Edge) und für CATIA-Dateien vorhanden. Entsprechende Übungsdateien für den Import finden Sie auf dem Server.

Pro/E – Beschreibung für HP-Unix (für PC: siehe Desktop-Link)

1. Erstellen Sie zunächst über ein Terminalfenster (HP-Unix) ein Arbeitsverzeichnis für die neue Berechnung und wechseln in dieses Verzeichnis.
2. Kopieren Sie vom HP-Unix Server per ftp die Zeichnungs- und Konfigurationsdatei zum lokalen Rechner (siehe auch 9.4):

```
ftp 194.95.107.1
login:      ansys
password:   fem
cd /home/hom39083/Beispiele/cadimport-pro
binary
get teil.prt.1
bye
```

3. Starten Sie Pro/Engineer
(Das Arbeitsverzeichnis beim Start lautet /\$HOME/ptc/fhreg)
4. Stellen Sie Ihr Arbeitsverzeichnis von Pro/E ein und
5. Öffnen Sie die CAD Zeichnung: teil.prt.1
6. Im Pulldownmenü bzw. im Menümanager sehen Sie zwei ANSYS-Befehle:
 - a) ANSCon Config (zum Betrachten/Bearbeiten der Konfigurationsdatei)
 - b) ANSYS Geom (zum Geometrietransfer)



7. Bei Bedarf können Sie die Einstellungen der Konfigurationsdatei (config.anscon) noch ändern.
8. Vor dem Geometrietransfer muss sich der Berechnungsingenieur überlegen, welche Geometrieelemente für das spätere Ergebnis entscheidend sind und welche keinen Einfluss haben. Viele kleine Objekte, wie Bohrungen, Fasen, usw., führen zu einem sehr feinen Netz mit einer großen Anzahl an Elementen. Die Folge ist eine lange Rechenzeit und ein großer Speicherbedarf.

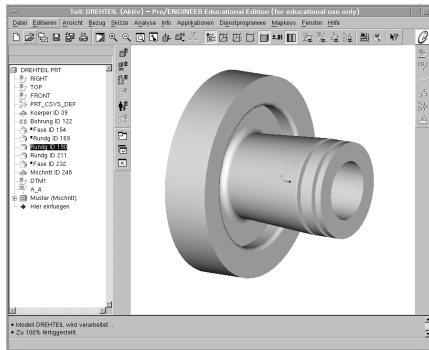


Bild 48: Pro/E Programmfenster

Aufgrund der Randbedingung (Einspannung an der Stirnseite und Belastung durch Drehmoment am Zapfen) können die Bohrungen, die Einstiche und bestimmte Radien und Fasen unterdrückt werden:

Dazu wählen Sie im Zeichnungsbaum die Objekte aus und führen über die rechte Maustaste den Befehl „unterdrücken“ aus.

9. Ist das Modell fertig vorbereitet starten Sie mit „ANSYS Geom“ den Transfer nach ANSYS.
10. Wenn die Einstellungen der Konfigurationsdatei korrekt sind, wird ANSYS automatisch geöffnet und die Geometriedaten importiert.
11. Für die Anzeige führen Sie den Befehl: Utility Menu > Plot > Areas aus
12. Nachdem das Modell importiert wurde, muss noch die Abmessung (Skalierung) überprüft werden.
13. Der größte Außendurchmesser beträgt laut Zeichnung 240mm und die Länge 175mm. Zum Überprüfen lassen Sie sich am besten die Koordinaten der Keypunkte auflisten:

Utility Menu > List > Keypoints > Coordinates Only

In der Liste suchen Sie nach diesen Werten.

Sollten die Koordinaten abweichen, können Sie die Größe des Modells mit dem Befehl `vlscale` vergrößern bzw. verkleinern. Dieser Befehl erlaubt die Verwendung eines Skalierungsfaktors der die Größe steuert, der Syntax lautet z.B.:
`vlscale,all,,10,10,10,,0,1`

(ändert alle Volumen um den Faktor 10 in allen drei Koordinatenrichtungen, berücksichtigt keine Elemente und entfernt das Originalvolumen). Sichern Sie jetzt Ihre Datenbasis mit Utility Menu > File > Save As ... wählen im Fenster Ihr Arbeitsverzeichnis aus und geben einen Dateinamen an!

14. Während Sie mit ANSYS arbeiten, bleibt Pro/E im Hintergrund aktiv, ist aber für Eingaben gesperrt. Erst wenn Sie ANSYS schließen, können Sie mit Pro/E weiter arbeiten.

Deshalb ist es an dieser Stelle sinnvoll beide Programme zu beenden und anschließend ANSYS neu zu starten (über Interactive ...) Anschließend laden Sie die Datenbasis (Resume from ...) des 3D-Modells. Jetzt können Sie mit der FEM-Berechnung wie gewohnt fortfahren:

Analyseart vereinbaren:

Main Menu >Preferences

Preferences for GUI Filtering Structural

Ok

Elementtyp auswählen:

Main Menu >Preprocessor >Element Type >Add/Edit/Delete

Add ...

Wählen Sie aus der Elementbibliothek das Strukturelement Solid und im rechten Fenster den Typ Tet 10node 92 (Volumenelement Solid92 mit 10 Knoten) aus.

Ok

Close

Elementeigenschaften festlegen:

Real Constants brauchen nicht definiert werden.

Materialeigenschaften festlegen:

Mit dem folgenden Befehl definieren Sie ein Materialmodell, das das Verhalten des verwendeten Werkstoffes beschreibt:

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models

Im rechten Teil des Fensters doppelklicken Sie jeweils auf Structural – Linear – Elastic – Isotropic und können nun den E-Modul (EX) und die Querkontraktionszahl (PRXY) für Stahl eingeben:

EX	210000	Elastizitätsmodul (E-Modul)
PRXY	0.3	Querkontraktionszahl

Ok

und schließen Sie das Fenster.

Vor dem Vernetzen sollten Sie Ihre Daten speichern.

Vernetzung:

Die Netzeigenschaften sollen vom Programm automatisch festgelegt werden, deshalb aktivieren Sie die smartsize-Funktion:

Main Menu >Preprocessor >Meshing >MeshTool

Im Dialogfenster markieren Sie den Schalter Smart Size und lassen den Faktor auf 6 eingestellt. Kontrollieren Sie ob bei

Mesh: Volumes steht und drücken nun

Mesh

Markieren Sie den Flansch und bestätigen Sie mit

Ok.

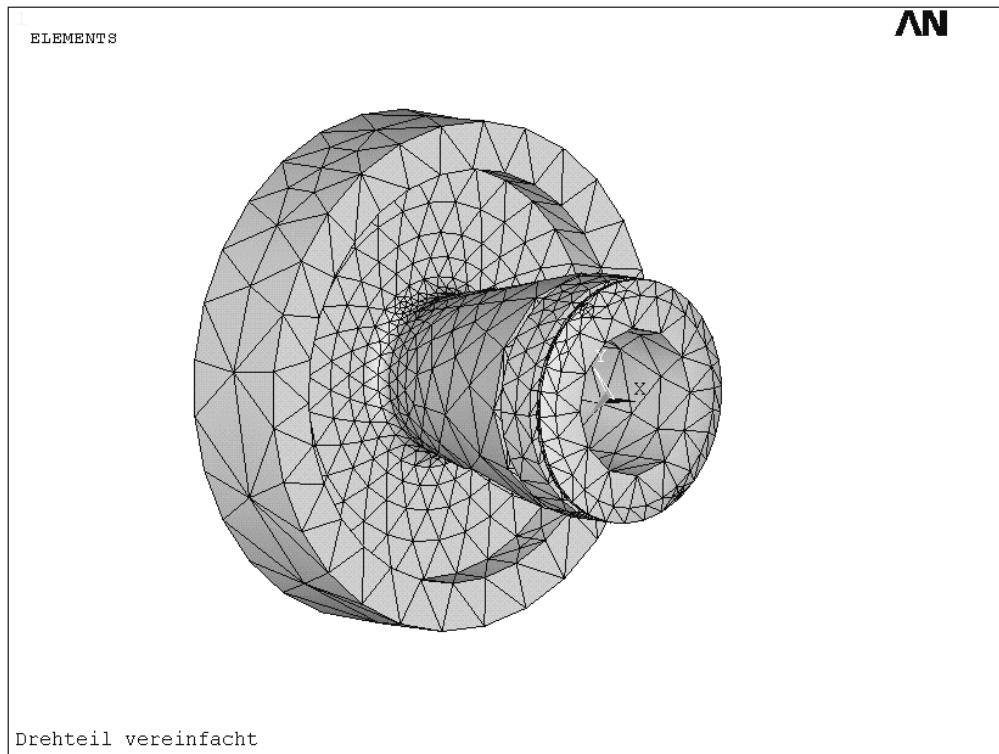


Bild 49: vernetztes Volumen

Randbedingungen und Belastungen aufbringen:

1. Einspannung

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply
>Structural >Displacement >On Nodes

Wählen Sie für die Einspannung mit der Box-Funktion alle Knoten, die sich auf der breiten Stirnseite befinden und geben für alle Freiheitsgrad eine Verschiebung von Null vor (siehe Bild 52).

2. Drehmoment

Wählen Sie für das einzuleitende Moment die Knoten an der äußeren Stirnfläche (siehe Bild 51) mit den Koordinaten $x=17.97$, $y=50/-50$ und $z=0$ über das Utility Menü aus:

Utility Menu >Select >Entities >Nodes - By Location
Y coordinates Min,Max -50,50 >From Full - Apply
Z coordinates Min,Max 0,0 >Reselect - Apply
X coordinates Min,Max 17.5,18 >Reselct - Ok

und bringen ein Moment von 4000 Nm als Kräftepaar auf die äußeren Knoten ($y= -50\text{mm}/+50\text{mm}$) auf:

$$M = F_g \times l$$

$$F_g = 80.000 \text{ N}$$

$$F_g = M / l$$

$$F = F_g / 2 = 80.000 \text{ N} / 2 = 40.000 \text{ N}$$

$$F_g = 4000^3 \text{ Nmm} / 50 \text{ mm}$$

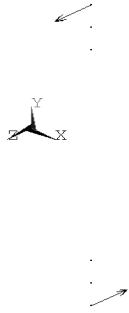


Bild 50: Kräftepaar jeweils 40.000N

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply
>Structural >Force/Moment >On Nodes

-erste Kraft auf oberer Knoten:

Lab	Direction of force/mom	FZ
	Apply as	Constant value
VALUE	Force/moment value	40000
Apply		

-zweite Kraft auf unteren Knoten:

Lab	Direction of force/mom	FZ
	Apply as	Constant value
VALUE	Force/moment value	-40000
Ok		

Vor dem Starten der Berechnung müssen Sie wieder alle Knoten selektieren.

Utility Menu >Select >Everything

Bei eingeschalteten Randbedingungen sieht das Bild in etwa so aus:

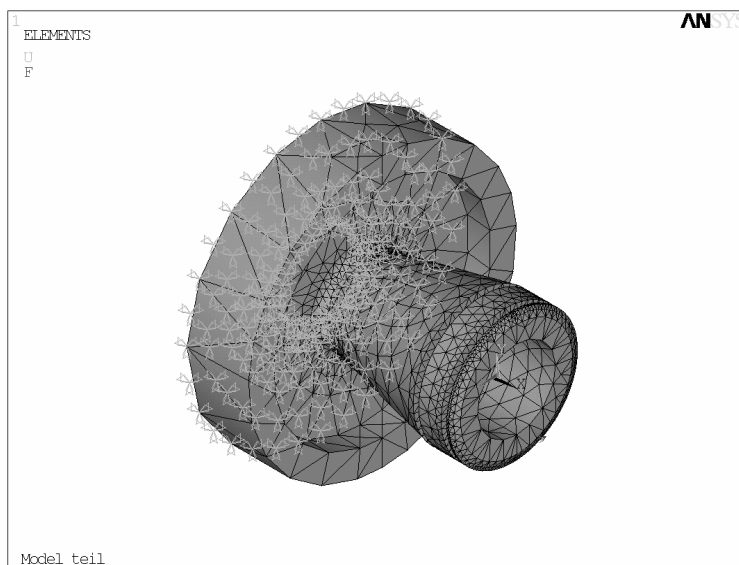


Bild 51: Elemente mit Randbedingungen

Starten der Berechnung:

Main Menu >Solution >Analysis Type >New Analysis
Static

Ok

Main Menu >Solution >Solve >Current LS

Ok

Darstellung der Ergebnisse:

Lassen Sie sich die Vergleichsspannung nach von Mises anzeigen.

General Postprocessor >Plot Results >Contour Plot >Nodal Solu

Item to be contoured: Nodal Solution >Stress >von Mises stress

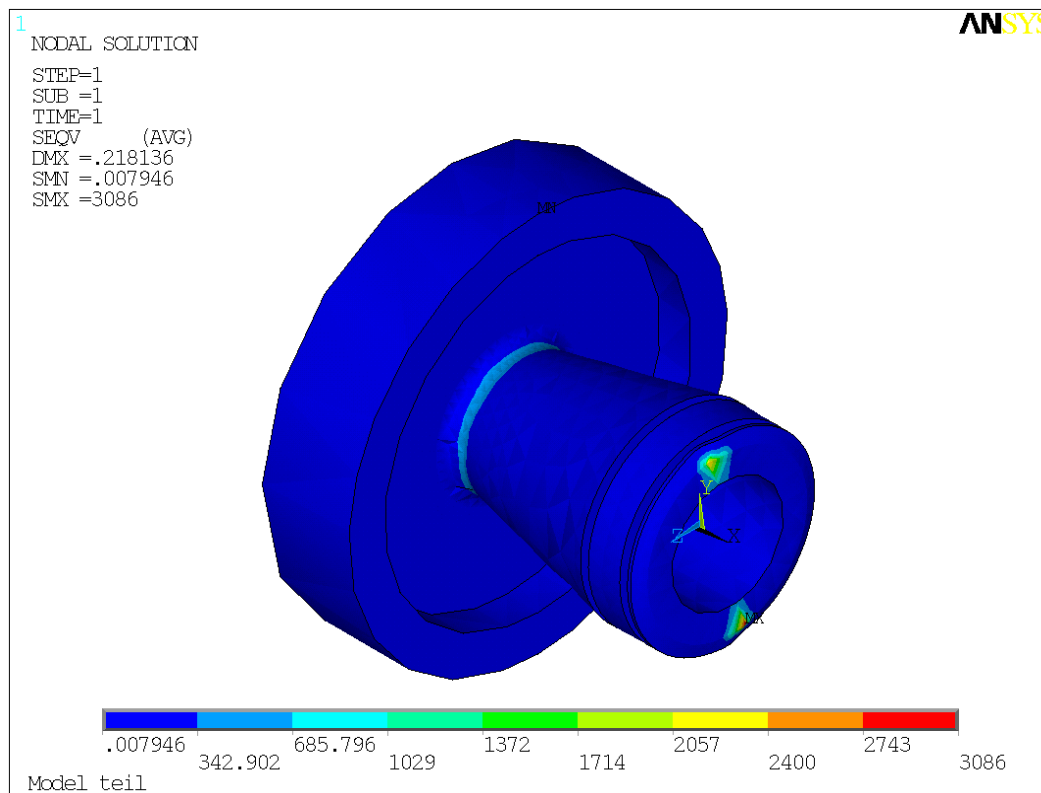


Bild 52: Spannungsverlauf mit Spannungsspitzen an Krafteinleitungsstellen

Da die Kräfte auf einzelne Knoten aufgebracht wurden, treten an diesen Stellen extrem hohe Spannungsspitzen auf, die nichts mit der tatsächlichen Spannung im Bauteil zu tun haben. Der Einfluss der Einzelkräfte wird jedoch immer geringer, je weiter man sich von diesen Krafteinleitungsstellen entfernt. Um aussagefähige Plots zu erhalten, selektiert man nun alle Elemente die unterhalb dieser Punkte liegen (zum Selektieren plotten Sie sich eine x-y Ansicht).

Utility Menu >Select Entites >Elements ...

Ansys berechnet die Werteskala für die ausgewählten Elemente neu. Das Ergebnis sieht nun in etwa so aus:

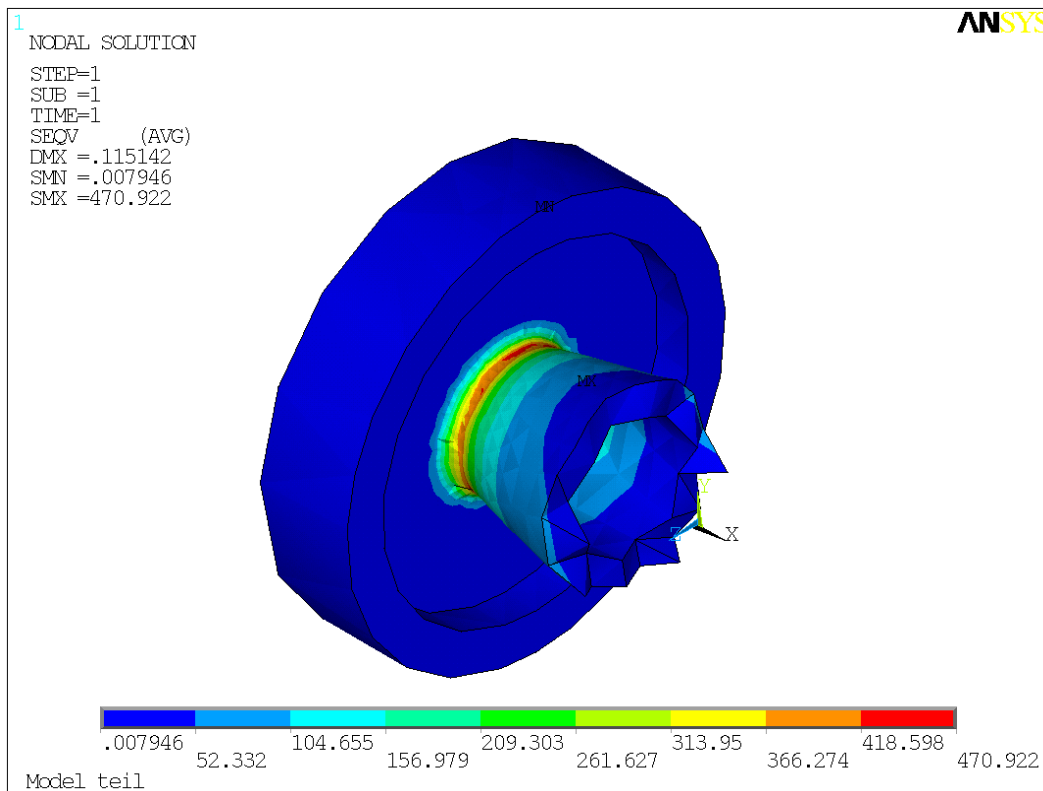


Bild 53: tatsächlicher Spannungsverlauf

In diesem Beispiel wurde bewusst der Radius am Fuß des Zapfens aus dem Modell in der Pro/E Zeichnung nicht entfernt, da er auf das Ergebnis einen entscheidenden Einfluss hat.

Solid Edge:

Der Ablauf für den Import der Solid Edge Datei über die Parasolid-Schnittstelle ist folgender:

1. Öffnen Sie die Zeichnung in Solid Edge, vereinfachen den Flansch und speichern die Datei im Format von Parasolid (*.x_t) ab.
2. Anschließend starten Sie ANSYS und führen über Utility Menu >File >Import >Para ... den Datentransfer aus.
3. Die weitere Vorgehensweise ist entsprechend der beim Pro/E-Import.

6.4.3 Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen

Für dieses Beispiel sind folgende Alternativen denkbar:

- Versuchen den Flansch ohne Vereinfachungen zu berechnen
- Maximalspannung über die Größe des Radius reduzieren
- Modellerstellung über den Preprozessor PREP7 von ANSYS

6.5 Rippenrohr

Bei diesem Bauteil handelt es sich um ein Rippenrohr, das in Wärmetauschern eingesetzt wird. Ziel der Berechnung soll es sein, die Rotationssymmetrie des Rohres auszunutzen. Es wird des Weiteren gezeigt, dass bei einer FE-Simulation die Belastungen nicht nur über Kräfte oder Verschiebungen aufgebracht werden können, sondern auch mittels unterschiedlicher Temperaturen.

Das Rohr hat zur besseren Wärmeabgabe eine große Oberfläche. Im Inneren des Rohres strömt Wasser mit einer Temperatur von 90°C. Die Außenseite wird mit Luft, die eine Temperatur von 0°C hat, umströmt. Das im Rohr entstehende Temperaturgefälle verursacht Dehnungen im Bauteil. Diese wiederum rufen Spannungen hervor.

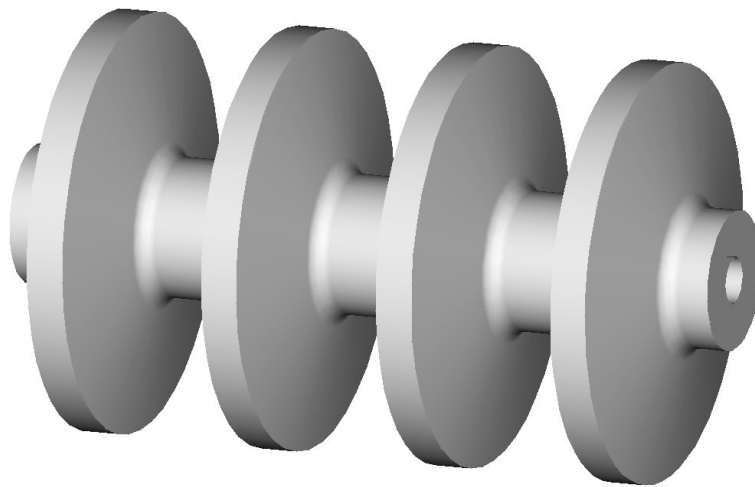


Bild 54: 160mm langer Abschnitt des Rippenrohrs

Für die Berechnung der Temperaturverteilung im Querschnitt sind folgende Angaben nötig:

Wärmeübergangskoeffizient $\alpha = 10 \frac{W}{m^2 K}$, Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 25.8 \frac{W}{mK}$.

Der **Wärmeübergangskoeffizient** ist im Wesentlichen von der Dichte des umgebenden Mediums und der Strömungsgeschwindigkeit abhängig. Für die Technik wichtige Werte des Wärmeübergangskoeffizienten $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$ liegen in

Anlehnung an den VDI-Wärmeatlas in den Bereichen:

5 bis 10	für stehende Luft,
500 bis 1.000	für strömende Luft und
1.000 bis 30.000	für strömendes Wasser.

Tabelle 3: verschiedene Wärmeübergangskoeffizienten

Die **Wärmeleitfähigkeit** gibt die Wärmemenge an, die pro Zeiteinheit durch ein Einheitsvolumen (Volumen mit Kantenlänge 1) fließt, wenn an zwei gegenüberliegenden Flächen eine Temperaturdifferenz von 1 Grad vorliegt. Die Wärmeleitfähigkeit $\left[\frac{W}{mK} \right]$ von festen Stoffen liegt im Bereich von z.B.:

390	Kupfer
210	Aluminium
40	Ferritischer Stahl
16 – 50	Cr - C - Stahl
0,1	Holz

Tabelle 4: verschiedene Wärmeleitfähigkeiten

Der **Wärmeausdehnungskoeffizient** bei 100°C [10^{-6} 1/K]:

16,5	Kupfer
23,5	Aluminium
9,5 – 12	Stahl
26	Magnesium

Tabelle 5: verschiedene Wärmeausdehnungskoeffizienten

Für die Berechnung der Spannungen aufgrund thermischer Dehnungen sind folgende Angaben erforderlich: E-Modul: 210.000 N/mm², Querkontraktionszahl 0,3 und der Wärmeausdehnungskoeffizient $1,25 \cdot 10^{-5}$ 1/K: Daneben muss eine Referenztemperatur von 273K angegeben werden.

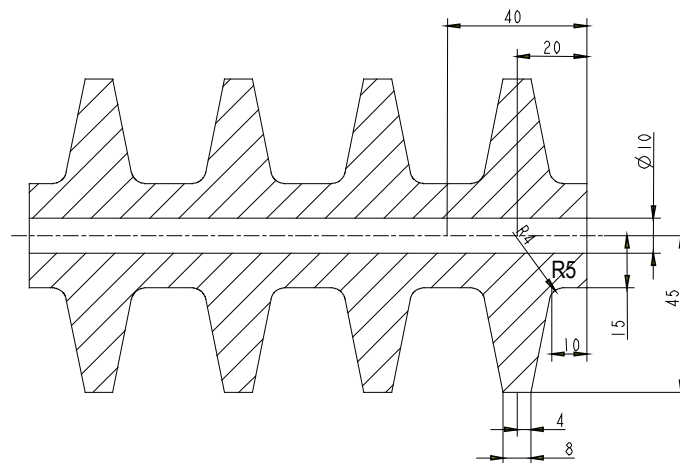


Bild 55: Geometrie des Rohres

Es wird folgende Vereinfachung getroffen: Am Rohreintritt und am –austritt hat das Wasser die gleiche Temperatur. Die Rotationssymmetrie des Rohres wird bei der Modellerstellung genutzt. Anstelle eines komplexen 3D-Modell braucht nur ein 2D-Modell erzeugt werden. Des Weiteren genügt es nur ein Viertel einer Rippe zu zeichnen. Es muss dabei jedoch auf die Ausrichtung der Rippe geachtet werden, da bei dem verwendeten Element die y-Achse die Rotationsachse repräsentiert (bei Elementoptionen: KEYOPT3=1, siehe auch Elementhandbuch).

6.5.1 Interaktive Datei kuehlrippe.mac

1. Starten Sie die Modellerstellung
2. Geben Sie die Wärmekennwerte ein, achten Sie auf die richtigen Einheiten
3. Wollen Sie oder soll das Programm die Netzdichte festlegen?
4. Geben Sie die Temperaturen in K ein
5. Starten Sie die Temperaturfeldberechnung
6. Darstellung der Temperaturverteilung
7. Starten Sie die Spannungsberechnung
8. Wählen Sie den Elementtyp für die Spannungsberechnung aus
9. Definieren Sie die Materialkennwerte
10. Definieren Sie eine Referenztemperatur
11. Starten Sie das Einlesen der Temperaturverteilung
12. Starten Sie den Berechnungsvorgang
13. Darstellung der Vergleichsspannung

6.5.2 Erstellung des Beispiels über die GUI

A. Thermische Berechnung

Analyseart vereinbaren:

Main Menu >Preferences

Preferences for GUI Filtering Structural + Thermal

Ok

Elementtyp auswählen:

Main Menu >Preprocessor >Element Type >Add/Edit/Delete

Add ...

Wählen Sie in der Elementbibliothek das Thermalelement Solid und im rechten Fenster den Typ Quad 4node 55 (Solid Element Plane55 mit vier Eckknoten)

Ok

Options ...

Element Behavior

K3

Axisymmetric

Da nur die obere Hälfte des Profils als FEM-Modell erzeugt wird, müssen Sie die Keyoption 3 auf Axial-Symmetrie setzen. Bei der Modellgenerierung ist dann darauf zu achten, dass die Y-Achse die Symmetrieachse werden muss (siehe Elementbeschreibung).

Ok

Close

Elementeigenschaften festlegen:

Realkonstanten müssen nicht definiert werden, da für $K3=1$ (Axisymmetric) keine vorgesehen sind.

Materialeigenschaften festlegen:

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models

Im rechten Teil des Fensters doppelklicken Sie jeweils auf Structural – Linear – Elastic – Isotropic und können nun den E-Modul (EX) und die Querkontraktionszahl (PRXY) für St37 eingeben:

EX	210000	Elastizitätsmodul	[N/mm ²]
PRXY	0.3	Querkontraktionszahl	
Ok			

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models
>Material Model Number1 >Thermal >Conductivity >Isotropic

kxx	25.8	Wärmeleitfähigkeit	[W/mK]
Ok			

und schließen Sie das Fenster.

Erstellung des Modells:

Nun werden die beiden Keypunkte und die Linie erstellt:

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Keypoints >In
Active CS

NPT	1
X,Y,Z	5,0,0
Apply	
NPT	2
X,Y,Z	45,0,0
Apply	
NPT	3
X,Y,Z	45,4,0
Apply	
NPT	4
X,Y,Z	15,10,0
Apply	
NPT	5
X,Y,Z	15,20,0
Apply	
NPT	6
X,Y,Z	5,20,0
Ok	

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Lines >Lines
>Straight Line

Verbinden Sie nun die einzelnen Punkte mit Linien, indem Sie mit der Maus die einzelnen Keypunkte anklicken.

Ok

Zum Abrunden der Ecke klicken Sie

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Lines >Line Fillet

Und wählen die Linien 3 und 4 für den Radius aus

NL1,NL2 Intersecting Lines 3 4

RAD Fillet Radius 5

Ok

Elementeigenschaften:

Die Verteilung der Elemente wird in diesem Beispiel dem Programm überlassen. Sie brauchen deshalb keine Elementeigenschaften für die Netzdichte anzugeben.

Flächenerstellung:

Main Menu >Preprocessor >Modeling >Create >Areas >Arbitrary
>By Lines

Erzeugen Sie jetzt aus den einzelnen Linien eine Fläche, indem Sie die Linien der Reihe nach anklicken

Ok

Vernetzung:

Main Menu >Preprocessor >Meshing >Mesh >Areas >Free

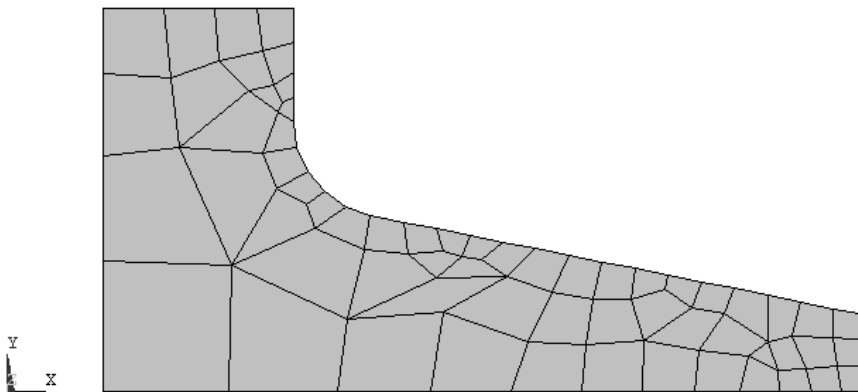


Bild 56: Elemente

Drücken Sie nun zum Vernetzen der Fläche auf Pick all

Ok

Randbedingungen und Belastungen aufbringen:

Damit die Symbole für die Randbedingungen angezeigt werden:

Utility Menu >Plot >Element

Utility Menu >PlotCtrls >Symbols

All Applied BCs

Ok

1 Randbedingung: freie Konvektion an der Luft 0°C:

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply >Thermal
>Convection >On Lines

Wählen Sie die betreffenden Linien aus (siehe Skizze).

Ok

VAL1	film coefficient	10e-3
------	------------------	-------

VAL2I	bulk temperature	273
-------	------------------	-----

Ok

2. Randbedingung: Wärmeleitung des Wassers am Rohr:

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply >Thermal
>Temperature >On Nodes

Wählen Sie die betreffenden Knoten aus (siehe Skizze).

Ok

Lab2	TEMP
------	------

Value	Load TEMP value	363
-------	-----------------	-----

Ok

An dieser Stelle ist es gut, die Daten des Modells einmal zu sichern:

Utility Menu >File >Save as Jobname.db

Starten der Berechnung:

Main Menu >Solution >Analysis Type >New Analysis

Steady-State

Ok

Main Menu >Solution >Solve >Current LS

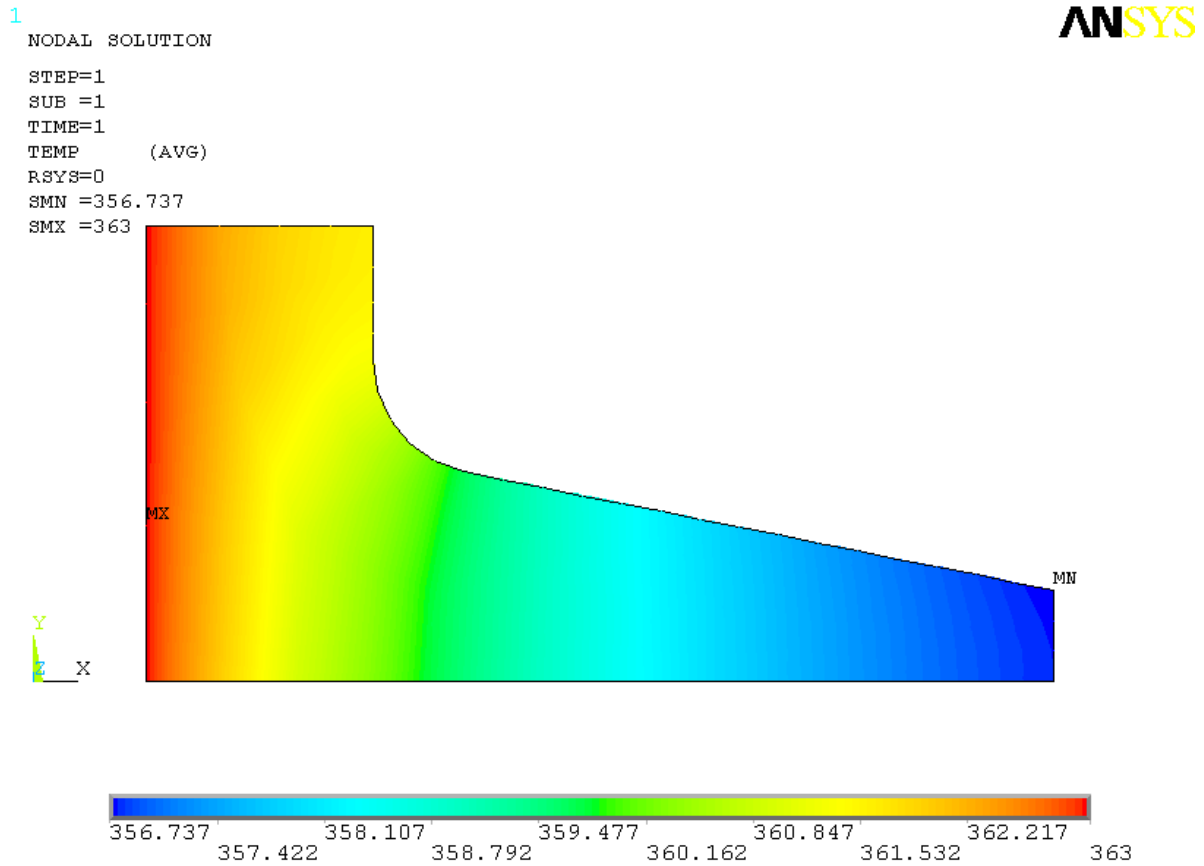
Ok

Darstellung der Ergebnisse:

Main Menu >General Postproc >Plot Results >Contour Plot >Nodal
Solu

Im Fenster Item to be contured wählen Sie Nodal Solution - DOF
solution - Temperature aus.

Ok



Kuehlrippe

Bild 57: Temperaturverteilung

B. Spannungsberechnung

Analyseart vereinbaren:

Main Menu >Preprocessor >Element Type >Switch Elem Type

Change element type Thermal to Struc

Ok

Damit schaltet ANSYS auf das Strukturelement Plane42 um. Das Bauteil braucht nicht neu vernetzt zu werden.

Die Y-Achse ist ja die Symmetrieachse, deshalb wieder die Rotationssym. einstellen:

Main Menu >Preprocessor >Element Types >Add/Edit/Delete

Options

Element behavior K3 Axisymmetric

Ok

Close

Materialeigenschaften festlegen:

Der E-Modul und die Querkontraktionszahl wurden im vorherigen Arbeitsschritt bereits definiert, es fehlt noch der Wärmeausdehnungskoeffizient:

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models

Im rechten Teil des Fensters doppelklicken Sie jeweils auf

Structural - Thermal Expansion >Secant Coefficient >Isotropic

und geben den Wert für Stahl ein:

alp_x 1.25e-5 Wärmeausdehnungskoeffizient
[1/K]

Ok

Material - Exit

Randbedingungen und Belastungen aufbringen:

1. Randbedingung: Symmetrie-Randbedingungen

Wir nehmen an, dass das Rohr zwischen zwei Lagerstellen fest eingespannt ist und wählen deshalb beide horizontale Linien als Symmetrielinien aus. Ist das Rohr nur auf einer Seite fest eingespannt kann es sich in die andere Richtung frei ausdehnen und es ist nur die untere horizontale Linie auszuwählen. Dadurch ergeben sich geringere Spannungen im Bauteil.

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply >Structural
>Displacement >Symmetry B.C. >On Lines

Wählen Sie die betreffenden Linien aus.

Ok

2. Randbedingung: Temperatur im Bauteil (Einlesen der Temperaturverteilung)

MainMenu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply >Structural
>Temperature >From Therm Analy

Fname Name of results file xfile.rth

Ok

3. Einstellungen: Angabe einer Referenztemperatur

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Settings
>Reference Temp

TREF Reference temperature 273

Ok

Starten der Berechnung:

Main Menu >Solution >Solve >Current LS

Darstellung der Ergebnisse:

General Postprocessor >Plot Results >Contour Plot >Nodal Solu

Ok

Wählen Sie aus dem Ergebnisast die Vergleichsspannung nach von Mises aus:

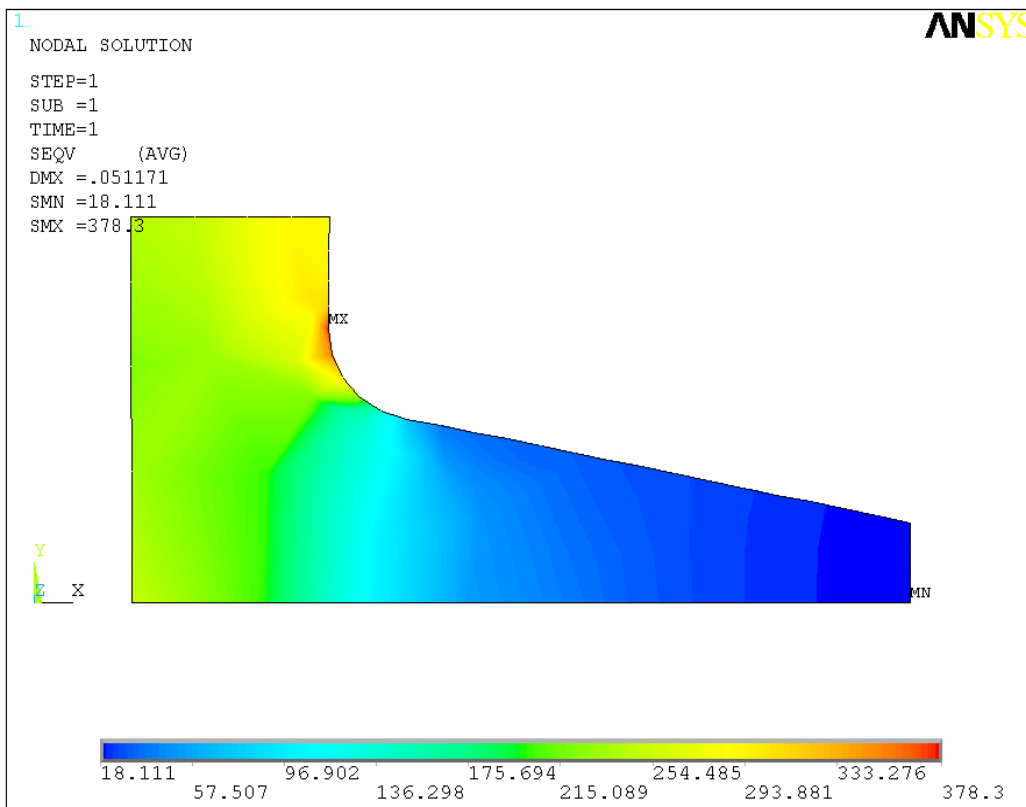


Bild 58: Spannungsverteilung mit beidseitig fester Einspannung

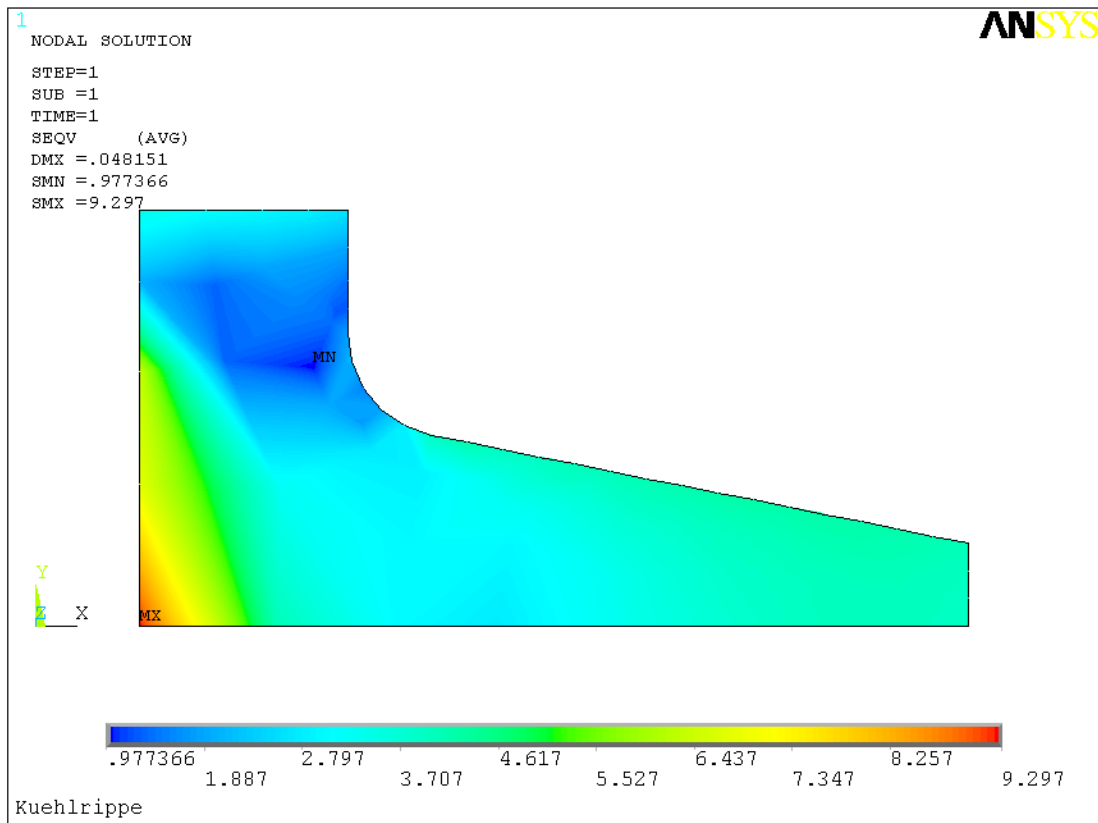


Bild 59: Spannungsverteilung mit einseitiger Einspannung

6.5.3 Musterlösung mit Default-Werten

Wärmefeldberechnung

```

!
! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
!
! Bearbeiter: Michael Hochmuth
! Datei :      kuehlrippe.mac
!
!
! *****
! **** Rippenrohr ****
! *****
! *** Wärmedehnung ***
! *****
!
!
!
! /pmacro
! fini
! /clear
!
! /prep7
!
! /title,Kuehlrippe
!
!
! ----- Geometrie -----
k,1,5,0
k,2,45,0
k,3,45,4
k,4,15,10
k,5,15,20
k,6,5,20
kplo
!
l,1,2
!
*repeat,5,1,1
!
l,6,1
lfill,3,4,5
al,all
!
! ----- Beginn der Temperaturfeldanalyse -----
et,1,Plane55,,,1
Keyopt,1,3,1
mp,kxx,1,25.8
!
!
*ask,wahl,Wollen Sie die Netzdichte festlegen (0:nein 1:ja),0
*if,wahl,eq,1,then
                                !*ask,el,Elementkantenlaenge? (1-4mm),4
                                !lesize,all,el
                                Fnc_LELAYER_p
*endif
!
! --- Vernetzung ---
amesh,all
/psbc,all,,0
eplo
!
!

```

Wärmefeldberechnung

```

!*ask,alpha,Wärmeübergangskoeffizient (W/m^2Kx10^-3),10e-3
!(Befehlspfad: prep-loads-apply-convection)
sfl,2,conv,10e-3,,273
sfl,3,conv,10e-3,,273
sfl,4,conv,10e-3,,273
sfl,7,conv,10e-3,,273
!
ksel,s,,,1,6,5
dk,all,temp,363,,1
eplo
VSEL,ALL
ASEL,ALL
LSEL,ALL
KSEL,ALL
ESEL,ALL
NSEL,ALL
fini
/solu
antype,0
solve
FINISH
! --- 1. Ergebnis ---
/post1
plnsol,temp
/wait,3
save
!
! ----- Beginn der Spannungsberechnung -----
/prep7
/pbc,all,,1
/rep
etchg,tts
KEYOPT,1,3,1                                !Axisymmetric y-Achse:Sym.achse
!
mp,ex ,1,210000                                !E-Modul
mp,alpx,1,1.25e-5                            !Waermeausdehnungskoeffizient Stahl (1/K)
mp,nuxy,1,0.3                                !Querkontraktionszahl
!
! --- Randbedingungen ---
lssel,s,,,1,5,4
!allsel,below,line!v5.4:keine knoten      !Auswahl aller Linien und Punkte
NSLL,S,1
!
dsym,symm,y                                !Symmetrie-Randbedingungen senkr. zur y-Achse
!
alls
!
tref,273                                    !Referenztemperatur
!/wait,3
!
*ask,con,Einlesen der Temperaturverteilung,1
ldread,temp,,,,,file,rth                  !liest Ergebnisse aus Datei
                                           !und bringt sie als Belastungen auf
bflist
!
! --- Berechnung ---
*ask,con,Ok zum Starten der Berechnung,1
/solu
solve
!
! --- 2. Ergebnis ---
*ask,c,Darstellung der Vergleichsspannung,1

```

```

/post1
plnsol,s,eqv
!
!
! ----- Abfrage -----
*ask,nb,neue Berechnung? (0:nein 1:ja),1
*if,nb,eq,0,then
    fini
    quit
*elseif,nb,eq,1
    *msg,ui
    Geben Sie den Makronamen!
*endif
! -----
!
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof

```

6.5.4 Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen

Für dieses Beispiel sind folgende Änderungen denkbar:

- Berechnung mit verschiedenen Werkstoffkennwerten und unterschiedlichen Anströmbedingungen: Ideale Möglichkeit um mit einem parametrisierten Eingabefile verschiedene Fälle zu berechnen.
- Generierung eines Volumenmodells und Darstellung der Ergebnisse im Halbschnitt, Vergleich mit Scheibenmodell.

6.6 Schalt-Relais

Allgemeine Anmerkungen zu Magnetfeldberechnungen:

Magnetfeldanalysen mit der Finite-Elemente-Methode berechnen die Magnetfelder in z.B. folgenden Geräten: Generatoren, Transformatoren, Relais-Spulenkörpern, elektrischen Motoren, magnetischen Bildsystemen, magnetischen Bandlaufwerken und Antennen.

Typische Größen, die dabei von Interesse sind, sind unter anderem: magnetische Flussdichte, magnetische Feldstärke, magnetische Kräfte und Drehmomente, Impedanz und Induktivität.

Magnetfelder können als Folge elektrischen Stroms, eines Dauermagneten oder eines aufgebrachtten äußeren Feldes existieren.

ANSYS verwendet die Maxwell-Gleichungen als Grundlage der Magnetfeldberechnungen. Die Hauptunbekannten (degree of freedom), die die Finite-Elemente-Lösung berechnet sind entweder das magnetische Potential oder der magnetische Fluss (Gesamtheit der magnetischen Feldlinien). Andere Magnetfeldgrößen werden von diesen Unbekannten abgeleitet. Abhängig vom Elementtyp und den Elementoptionen die man wählt, können die Freiheitsgrade skalare magnetische Potentiale, vektorielle magnetische Potentiale oder Flankenströme (edge flux) sein.

Man kann stationäre (infolge Gleichstromerregung, Permanentmagnetanordnungen), harmonische (infolge Wechselstromerregung) und transiente (infolge zeitabhängige Ströme) Magnetfeldprobleme untersuchen. Stationäre Magnetfeldprobleme werden in der Regel im 2-dimensionalen Fall über ein Vektorpotential und für 3-dimensionale Strukturen über das Skalarpotential gelöst. Transient und harmonische Magnetfelder werden heute meist nur für zweidimensionale oder axialsymmetrische Problemstellungen angeboten.

Problembeschreibung:

Bei dem gezeichneten elektromechanischen Schalt-Relais, soll für einen bestimmten Strom die Kraft im Anker bestimmt werden. Das Modell ist als 2D-Flächenmodell aufzubauen und die Axialsymmetrie des Bauteils ist auszunutzen. Die geometrischen Abmessungen sind über Parametereingaben zu definieren.

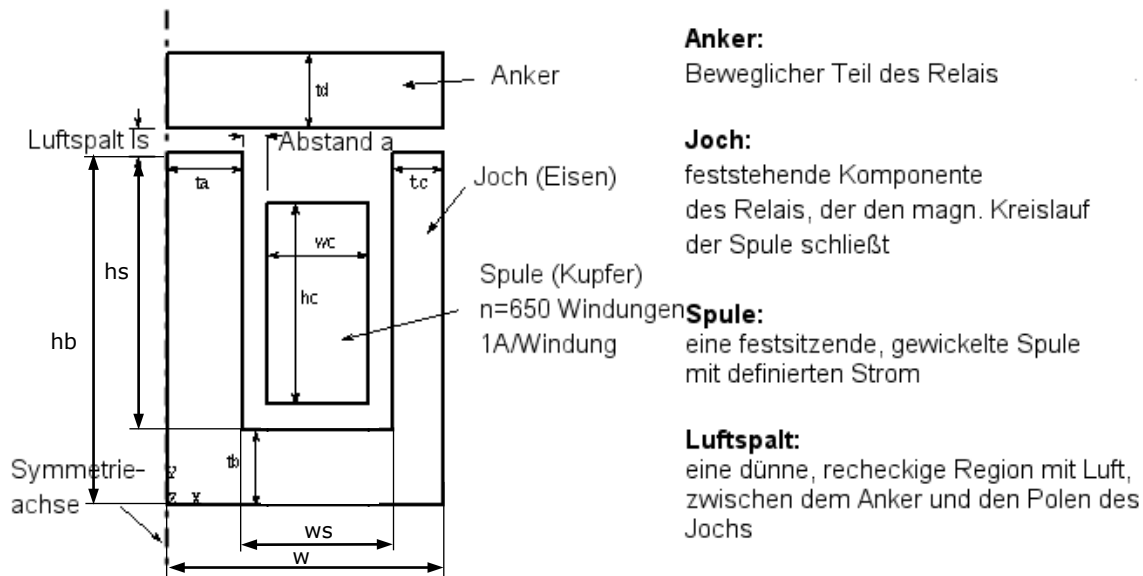


Bild 60: Querschnitt des Relais

Parameter	Beschreibung
n=650	Anzahl der Windungen der Spule
I=1.0	Strom pro Windung [A]
ta=0.75	Dicke des inneren Schenkels
tb=0.75	Dicke des unteren Schenkels
tc=0.50	Dicke des äußeren Schenkels
td=0.75	Dicke des Ankers
wc=1.00	Breite der Spule
hc=2.00	Höhe der Spule
ls=gap=0.25	Luftspalt
a=space=0.25	Raum um die Spule
ws=wc+2*a	innere Breite des Jochs
hs=hc+0.75	innere Höhe des Jochs
w=ta+ws+tc	Gesamtbreite des Modells
hb=tb+hs	Höhe des Jochs
h=hb+gap+td	Gesamthöhe des Modells
acoil=wc*hc	Spulenfläche
idens=n*i/acoil	Stromdichte der Spule
Alle Abmessungen sind in Zentimeter.	

Tabelle 6: Geometrieparameter

Der magnetische Fluss, erzeugt durch den Spulenstrom, wird als so klein angenommen, dass keine Sättigung des Eisens auftritt. Dies erlaubt eine lineare Analyse mit einer einzigen Iteration. Die Streuverluste aus dem Eisen am Umfang des Modells werden als vernachlässigbar angenommen. Diese Annahme wird getroffen, um das Modell klein zu halten. Das Modell müsste normalerweise mit einer, das Eisen umgebenden Luftschicht erzeugt werden, die größer oder gleich dem maximalen Radius des Eisens ist. Die Annahme von keinen Streuverlusten am Umfang des Modells bedeutet, dass der Fluss parallel zur Oberfläche wirken wird. Diese Annahme wird durch die Randbedingung des parallelen Flusses erzwungen (s. S. 134), die um das Modell definiert wird.

Der Luftspalt wird so modelliert, dass ein quadratisches Netz entsteht. Ein quadratisches Netz führt zu einer einheitlichen Elementdicke der vernetzten Luft, die am Anker angrenzt. Dies ist für eine genaue Berechnung der Kraft wünschenswert.

Das Programm setzt voraus, dass der Strom als Stromdichte (Strom über die Fläche der Spule) eingegeben wird. Kräfte werden nach dem Prinzip der virtuellen Arbeit berechnet, in einer Elementtabelle gespeichert und anschließend aufsummiert. Die Kraft wird zusätzlich noch mit der Maxwell-Spannungstensor-Methode berechnet. Die beiden Werte sollten nahe beieinander liegen.

6.6.1 Erstellung des Beispiels über die GUI

Analyseart vereinbaren:

Main Menu >Preferences

Preferences for GUI Filtering Magnetic-Nodal

Ok

Elementtyp auswählen:

Bei der Elementauswahl entscheiden wir uns für ein Element mit quadratischem Ansatz (Plane53), anstatt eines Elementes mit linearem Ansatz (Plane13), da es die höhere Genauigkeit bietet:

Main Menu >Preprocessor >Element Type >Add/Edit/Delete

Add ...

Magnetic Vector - Vect Quad 8nod53

Ok

Options ...

Element behavior

K3 Axisymmetric

Ok - Close

Realkonstanten müssen nicht definiert werden.

Materialieigenschaften festlegen:

Nun werden die Materialeigenschaften für die magnetische Permeabilität für Luft, das Joch, die Spule und den Anker angegeben. Wegen der Einfachheit, werden alle Materialien als linear angenommen. Normalerweise wird Eisen mit einer nichtlinearen B-H Kurve definiert. Materialkennziffer 1 wird für die Lufterelemente verwendet, Kennziffer 2 für die Jochelemente, Materialkennziffer 3 für die Spulenelemente und Kennziffer 4 wird für die Ankerelemente verwendet:

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models

Electromagnetics - Relative Permeability - Constant

MURX = 1 - Ok

Dieses Modell wird kopiert: Edit >Copy - Ok, daraus folgt Material Model Number 2, dessen Wert für die Permeabilität noch geändert werden muss:

Material Model Number 2 - Permeability (Constant) anklicken,

MURX = 1000, und nochmaliges kopieren und anpassen:

Edit >Copy, from Material Number 1 to Material Number 3 - Ok

Edit >Copy, from Material Number 2 to Material Number 4 - Ok

Material Model Number 4 - Permeability (Constant)

MURX = 2000

Ok - und anschließend Fenster schließen: Material - Exit

Zur Kontrolle der Materialdaten können Sie sich im Utility Menü mit List >Properties >All Materials die Eingaben nochmal ansehen, anschließend schließen Sie mit File >Close das Fenster wieder.

Erstellung des Modells:

Die Geometrie des Modells kann über eine Eingabedatei geladen (Dateiname *relais.inp*) oder über den Preprocessor erstellt werden. Versuchen Sie dabei das Modell parametrisch zu erstellen um verschiedene Variantenberechnungen (Ändern des Luftspalts, der Spulengeometrie, usw.) durchzuführen. Der Ursprung des Koordinatensystems muss wegen der Symmetrie in der linken, unteren Ecke des Modells liegen. Das CAD-Modell sollte so aussehen:

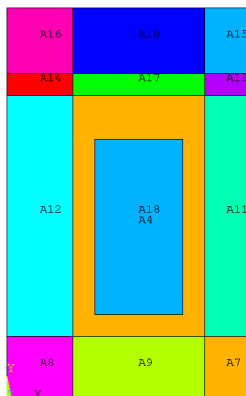


Bild 61: Flächendarstellung

Vernetzung:*Attribute zuweisen:*

Bevor das Modell vernetzt wird, werden den Flächen noch die verschiedenen Materialeigenschaften zugewiesen. Dies geschieht am einfachsten über die MeshTool Box:

Main Menu >Preprocessor >Meshing >MeshTool

Element Attributes: Areas - Set

und wählen mit der Maus die vier Flächen, die die Luftspalte darstellen. (Hinweis: ANSYS selektiert immer an den Nummern.) Bestätigen Sie die Auswahl mit Ok. Im darauf folgenden Dialogfenster wählen Sie bei der Material Number 1 aus und drücken Apply. Anschließend definieren Sie für die restlichen Flächen ebenfalls die Materialeigenschaften: Joch, Spule, Anker.

Als nächstes werden Angaben zur Größe der späteren Elemente gemacht. Im Bereich des schmalen Luftspaltes sollen vier Elemente entstehen; immer noch in der MeshTool Box:

Size Controls: Lines - Set drücken und die vier senkrechten Linien des Luftspaltes auswählen – Ok. In der darauf folgenden Dialogbox tragen Sie bei NDIV No. of element division 4 ein – Ok. Die restlichen Größenangaben werden über die Elementkantenlänge gemacht. Dazu den Befehl Size Control Global - Set auswählen. Bei Element edge length 0.125 eingeben.

Nun kann das Bauteil vernetzt werden:

MeshToolBox: Im Abschnitt Mesh: Areas einstellen und Mesh ausführen. In der Auswahl Box Pick All drücken.

Das entstandene FE-Netz kann noch farblich nach den Materialeigenschaften dargestellt werden:

Utility Menu >PlotCtrls >Numbering

Im Listenfeld bei Elem/Attrib numbering Material numbers auswählen und mit Ok bestätigen. Daraufhin sollte in etwa dieses Netz erscheinen:

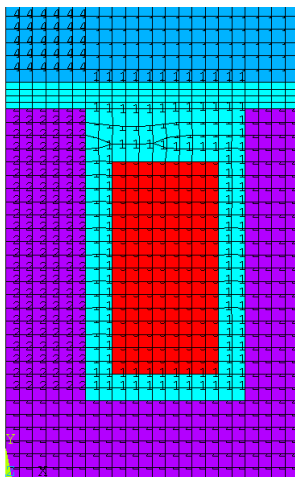


Bild 62: Elementplot mit aktivierter Materialnummerierung

Modell skalieren:

Für eine Magnetfeldanalyse ist ebenfalls auf ein konsistentes Einheitensystem zu achten. In diesem Beispiel werden MKS-Einheiten verwendet. Deshalb muss das Modell noch von Zentimeter auf Meter skaliert werden:

```
Main Menu >Prepr. >Modeling >Operate >Scale >Areas - Pick All
RX,RY,RZ Scale Factors = 0.01, 0.01, 1
Existing areas will be          Moved
Ok - anschließend sichern: save_db
```

Randbedingungen und Belastungen aufbringen:

Bevor die Randbedingungen definiert werden, ist es sinnvoll die Elemente des Ankers für die Auswahl als eine Komponente zu definieren.

```
Utility Menu >Select >Entities
```

Im ersten Listenfeld Elements auswählen und im zweiten Listenfeld By Attributes. In der Zeile Min, Max, Inc 4 eingeben (für die Materialkennzahl des Ankers: 4). Mit Ok bestätigen.

```
Utility Menu >Plot >Elements
```

Sie sehen die momentan selektierten Elemente des Ankers. Diese Auswahl wird zu einer Komponente zusammengefasst:

```
Utility Menu >Select >Comp/Assembly >Create Component
```

als Component name geben Sie Anker ein und wählen im zweiten Listenfeld Elements aus.

1. Aufbringen einer Maxwell-Kraft auf den Anker:

```
Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply >Magnetic
>Flag >Comp. Force/Torq
```

```
Magnetic Force BC's          Anker
```

```
Ok
```

```
Utility Menu >Select >Everything, Utility Menu >Plot >Elements
```

2. Definition der Stromdichte:

Die Stromdichte wird definiert als Produkt aus Anzahl der Windungen und Strom je Windung, geteilt durch die Spulenfläche und beträgt $650 \cdot \frac{1}{2} = 325 \text{ [A/cm}^2\text{]}$.

Um die Skalierung von Zentimetern zu Metern zu berücksichtigen muss der Wert noch durch 0.01^2 geteilt werden.

```
Utility Menu >Plot >Areas
```

```
Main Menu>Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply >Magnetic
>Excitation >Curr Density >On Areas
```

Wählen Sie die Spulenfläche aus – Ok

```
Curr density value (Jsz)      325/0.01**2 (Hochzahlen immer mit ** eingegeben)
Ok
```

3. Sicherstellen eines parallelen Stromfeldes:

Bringen Sie eine Umfangsrandbedingung auf, um ein paralleles Stromfeld in der Lösung zu erhalten. Diese Randbedingung nimmt an, dass keine Streuverluste am Umfang auftreten. Natürlich trifft dies an der Mittellinie wegen der Axialsymmetrie auch zu.

Utility Menu >Plot >Lines

Main Menu >Preprocessor >Loads >Define Loads >Apply >Magnetic
>Boundary >Vector Poten >Flux Par'l >On Lines

Wählen Sie alle Linien am Umfang des Modells aus (14 Linien).

Ok - save_db

Starten der Berechnung:

Main Menu >Solution >Solve >Electromagnet >Static Analysis
>Opt & Solve

Ok

Schließen Sie das Informationsfenster, sobald die Lösung vorliegt.

Darstellung der Ergebnisse:

1. Plotten Sie die Stromlinien im Modell.

Main Menu >General Postproc >Plot Results >Contour Plot >2D
Flux Lines - Ok

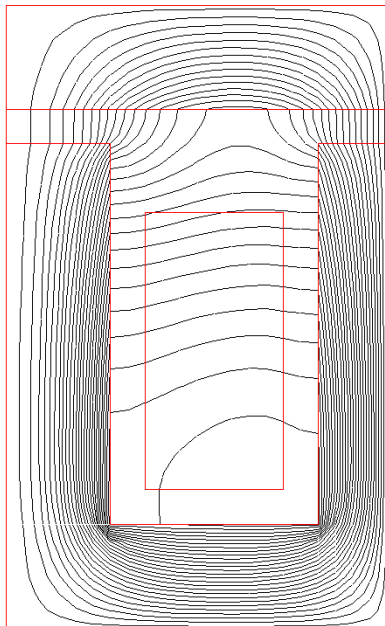


Bild 63: Stromlinien

Die Ergebnisse können je nach Netzgüte von den gezeigten abweichen.

2. Aufsummieren der magnetischen Kraft im Anker:

Main Menu >General Postproc >Elec & Mag Calc >Component Based
>Force

Wählen die zuvor definierte Komponente Anker aus, sie enthält ja alle Elemente des Ankers. – Ok – Im darauf folgenden Fenster wird die Kraft nach der Methode der virtuellen Arbeit und nach der Methode des Maxwell-Spannungstensors dargestellt. Beide Werte sollten dicht beieinander liegen. File – Close.

3. Plotten Sie die magnetische Flussdichte als Vektoren:

Main Menu >General Postproc >Plot Results >Vector Plot
>Predefined

Item Vector to be plotted Flux & gradient Mag flux dens B
Ok

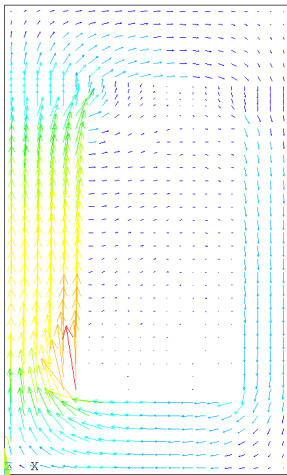


Bild 64: magn. Flussdichte

4. Plotten Sie den Betrag der magnetischen Flussdichte:

Main Menu >General Postproc >Plot Results >Contour Plot >Nodal
Solu

Item.Comp Item to be contoured Flux & gradient BSUM
OK

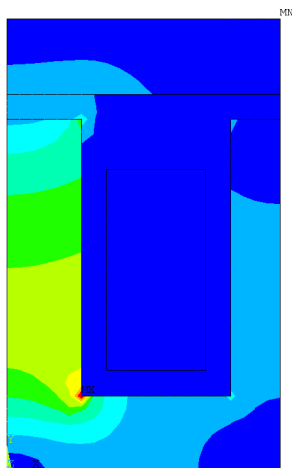


Bild 65: magn. Flussdichte

5. Als nächstes soll die Verteilung der Flussdichte über das gesamte Bauteil dargestellt werden:

Bisher wurde die Berechnung und alle Ergebnisdarstellungen auf das 2D-axialsymmetrische Modell bezogen. ANSYS wird auch weiterhin die Darstellung auf dieses 2D-Modell beziehen, ermöglicht uns aber ein erweitertes Dreiviertel-Modell darzustellen, das auf der definierten Symmetrie basiert. Es handelt sich dabei um eine rein grafische Funktion. Es findet keine Änderung der Datenbasis statt, wenn man sich das erweiterte Modell anzeigen lässt.

Utility Menu >PlotCtrls >Style >Symmetry Expansion >2D Axi-Symmetric

Select expansion amount $\frac{3}{4}$ expansion

Ok

Für eine räumliche Anzeige im Grafik-Fenster wählen Sie in der seitlichen Leiste den Befehl Isometric View.

Und Sie erhalten eine 3D-Ansicht des Modells.

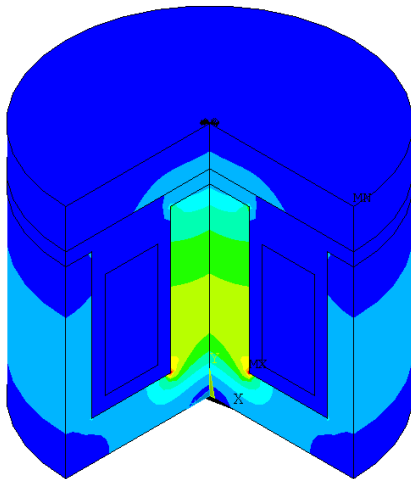


Bild 66: Räumliche Darstellung

Zum Abschluss speichern Sie Ihre Daten und beenden ANSYS.

6.6.2 Musterlösung mit Default-Werten

```

!
! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
!
! Bearbeiter: Michael Hochmuth
! Datei :      magnetschalter.mac
!
! *****
! **** elektr. mechanischer Schalter ****
! *****
! ***** Magnetfeldberechnung *****
! *****
!
fini
/clear
!
/PREP7
/TITLE,2D Relais, stationäre Berechnung

ET,1,PLANE53          ! Define PLANE 53 as element type
KEYOPT,1,3,1          ! Use axisymmetric analysis option
MP,MURX,1,1           ! Define material properties (permeability)
MP,MURX,2,1000        ! Permeability of backiron
MP,MURX,3,1           ! Permeability of coil
MP,MURX,4,2000        ! Permeability of armature

/com,                 ! Set parameter values for analysis
n=650                 ! Number of coil turns
i=1.0                 ! Current per turn
ta=.75                ! Model dimensions (centimeters)
tb=.75
tc=.50
td=.75
wc=1
hc=2
gap=.25
space=.25
ws=wc+2*space
hs=hc+.75
w=ta+ws+tc
hb=tb+hs
h=hb+gap+td
acoil=wc*hc           ! Cross-section area of coil (cm**2)
jdens=n*i/acoil       ! Current density (A/cm**2)

/PNUM,AREA,1
RECTNG,0,w,0,tb       ! Create rectangular areas
RECTNG,0,w,tb,hb
RECTNG,ta,ta+ws,0,h
RECTNG,ta+space,ta+space+wc,tb+space,tb+space+hc
AOVLAP,ALL
RECTNG,0,w,0,hb+gap
RECTNG,0,w,0,h
AOVLAP,ALL
NUMCMP,AREA           ! Compress out unused area numbers
APLOT

ASEL,S,AREA,,2        ! Assign attributes to coil
AATT,3,1,1,0

```

Magnetfeldberchnung

```

ASEL,S,AREA,,1           ! Assign attributes to armature
ASEL,A,AREA,,12,13
AATT,4,1,1
ASEL,S,AREA,,3,5         ! Assign attributes to backiron
ASEL,A,AREA,,7,8
AATT,2,1,1,0
/PNUM,MAT,1              ! Turn material numbers on
ALLSEL,ALL
APLOT                     ! Plot areas

SMRTSIZE,4               ! Set smart size meshing level 4 (fine)
AMESH,ALL                 ! Mesh all areas
ESEL,S,MAT,,4            ! Select armature elements
CM,ARM,ELEM              ! Define armature as a component
FMAGBC,'ARM'             ! Apply force boundary conditions to armature
ALLSEL,ALL
ARSCAL,ALL,,,.01,.01,1,,1 ! Scale model to MKS (meters)
FINISH

/SOLU
ESEL,S,MAT,,3            ! Select coil elements
BFE,ALL,JS,1,,,jdens/.01**2 ! Apply current density (A/m**2)
ESEL,ALL
NSEL,EXT                 ! Select exterior nodes
D,ALL,AZ,0               ! Set potentials to zero (flux-parallel)
ALLSEL,ALL
FINISH
/SOLU
MAGSOLV                  ! Solve magnetic field
SAVE

FINISH

/POST1
PLF2D                    ! Plot flux lines in the model
FMAGSUM                  ! Summarize magnetic forces
PLVECT,B,,,,VECT,ELEM,ON ! Plot flux density as vectors
/GRAPHICS,POWER          ! Turn PowerGraphics on
AVRES,2                  ! Don't average results across materials
PLNSOL,B,SUM             ! Plot flux density magnitude
FINISH
!
!
!
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof

```

6.6.3 Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen

Für dieses Berechnungsbeispiel sind folgende Änderungen denkbar:

- Verändern Sie verschiedene Geometriedaten, z.B. Luftspalt, Spulengeometrie, usw.
- Modellieren Sie die Luft, die das Relais umgibt, damit auch Streuverluste berücksichtigt werden können
- Verändern Sie den in der Spule wirkenden Strom

6.7 Kragträger

Am Kragträger aus dem Maschinendynamik Praktikum, das im 5. Semester des Maschinenbaustudiums stattfindet, sollen verschiedene dynamische Analysemethoden durchgeführt werden.

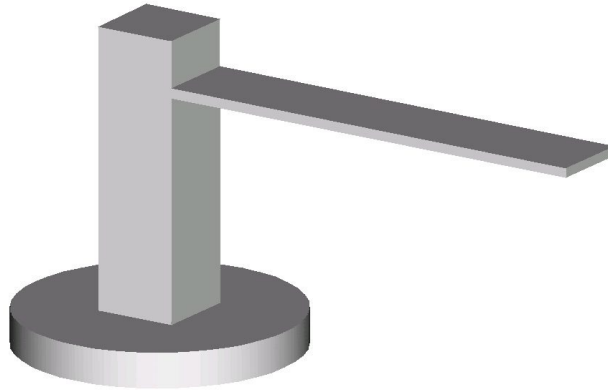


Bild 67: Kragträger mit Fuß

Als erstes werden an dem, an einer schmalen Seite eingespannten Träger mit Hilfe der **Modalanalyse** die Eigenfrequenzen und die dazugehörigen Eigenschwingungsformen der Struktur bestimmt. Diese beiden Größen sind wichtige Parameter bei der Auslegung einer Struktur bezüglich dynamischer Belastungen, und sind abhängig von den Einspannbedingungen. Es wird keine Aussage darüber getroffen, welche tatsächlichen Schwingungen oder Bewegungen bei einer Anregung oder Lastwirkung auftreten würden.

Bei der Berechnung kann zwischen mehreren Verfahren zur Ermittlung der Eigenformen gewählt werden: Householder-Methode (reduced), Unterraummethode (subspace), Verfahren für unsymmetrische Matrizen (unsymmetric) oder für gedämpfte Systeme (damped) und Block-Lanczos-Methode. Auf die Theorie, die hinter den einzelnen Verfahren steht soll nicht näher eingegangen werden. Es wird an dieser Stelle aus Platzgründen auf das Theoriehandbuch von ANSYS verwiesen, das in der Online-Dokumentation enthalten ist. Im Beispiel wird das subspace-Verfahren angewandt.

Die **transiente dynamische Analyse**, die auch Analyse im Zeitbereich (Time-History Analysis) genannt wird, liefert die dynamische Antwort der Struktur unter Einwirkung einer allgemeinen zeitvariablen Last. Diese Analyseart kann zur Bestimmung von zeitabhängigen Verschiebungen, Dehnungen, Spannungen und Kräften in einer Struktur angewendet werden. Der zeitliche Verlauf der Last ist dabei derart, dass Dämpfungs- oder Trägheitseffekte signifikant sind. Ist dies nicht der Fall, so kann stattdessen eine statische Analyse durchgeführt werden. Drei Verfahren stehen zur Durchführung einer transienten dynamischen Analyse zur Auswahl: Full Method, Reduced Method und Mode Superposition (Verfahren mit vollständigen Matrizen, reduzierten Matrizen und modale Superposition). Die genauen Unterschiede sind im Online-Handbuch zu finden.

Die **Frequenzganganalyse** (Harmonic Response Analysis) beruht auf der Theorie, dass jede andauernde periodische Last in einer Struktur zu einer andauernden periodischen Reaktion führt. Dieses Verfahren ermöglicht die Vorhersage des eingeschwungenen dynamischen Verhaltens von Bauteilen und deshalb die Möglichkeit der Überprüfung, ob die Konstruktion erfolgreich Resonanz, Ermüdung oder anderer schädigende Effekte von erzwungenen Schwingungen ertragen kann. Die Frequenzganganalyse ist eine Technik zur Bestimmung der eingeschwungenen Antwort einer Struktur, die durch sinusförmige, zeitvariable (harmonische) Lasten belastet wird. Ziel ist meistens, die Antwort einer Struktur für verschiedene Frequenzen zu berechnen, und von einigen Antwortgrößen (im allgemeinen Verschiebungen) eine Kurve über der Frequenz zu erhalten. Anhand dieser Kurven können „Antwortspitzen“ festgestellt werden und die hierbei auftretenden Verschiebungen und Beanspruchungen im Bauteil untersucht werden. Weitere Einzelheiten findet man wieder in der Online-Dokumentation.

6.7.1 Interaktive Datei *kragtraeger.mac*

1. Bestätigen Sie das Löschen der Daten
2. Definieren Sie die Geometrie des Kragträgers

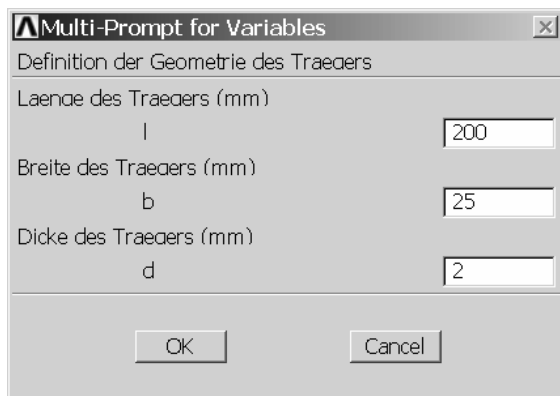


Bild 68: Eingabefenster der Geometriewerte

3. Geben Sie die Materialkennwerte ein
4. Starten Sie die Modellerstellung
5. Wählen Sie die Analyseart aus

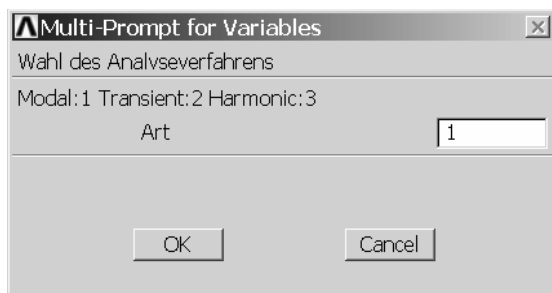


Bild 69: Auswahl der Analyseart

Modalanalyse:

6. Legen Sie die Optionen für die Modalanalyse fest

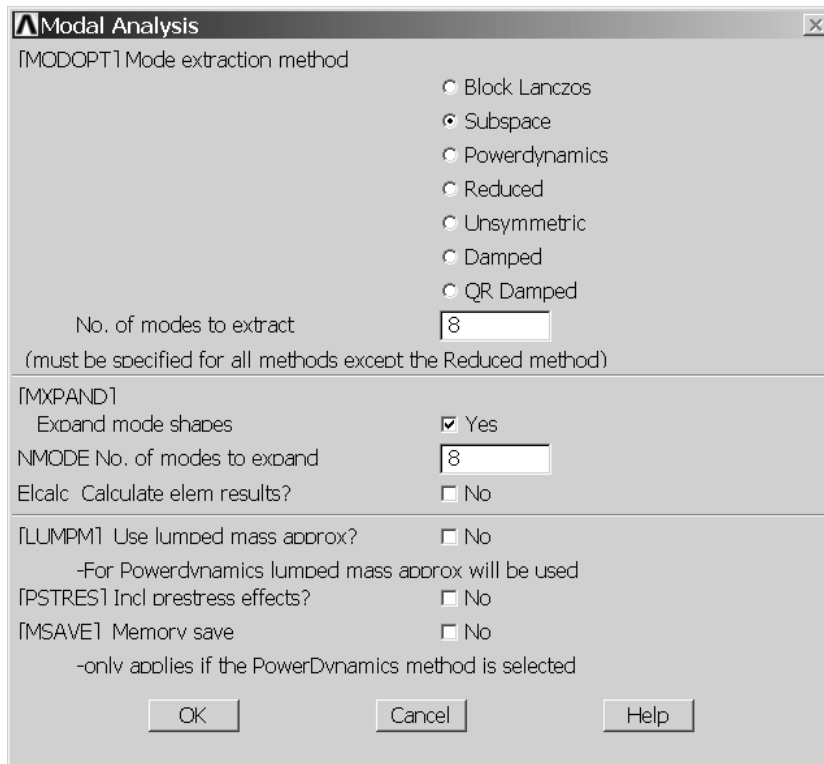


Bild 70: Festlegung der Analyseoptionen

7. Definieren Sie die Optionen für das Subspace-Verfahren

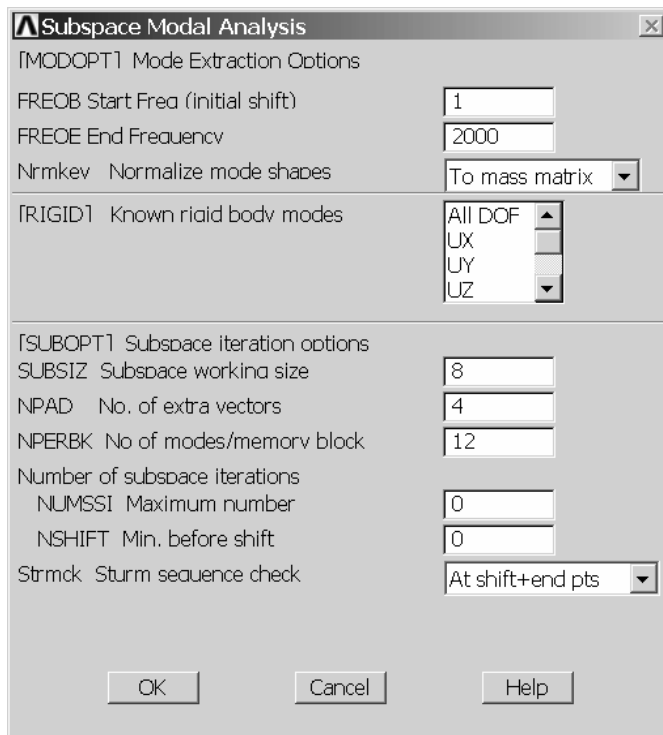


Bild 71: Subspace-Optionen einstellen

8. Starten Sie die Berechnung
9. Darstellung der Ergebnisse
10. Geben Sie die gewünschte Eigenform an. Sie können sich fünf Eigenformen anzeigen lassen.

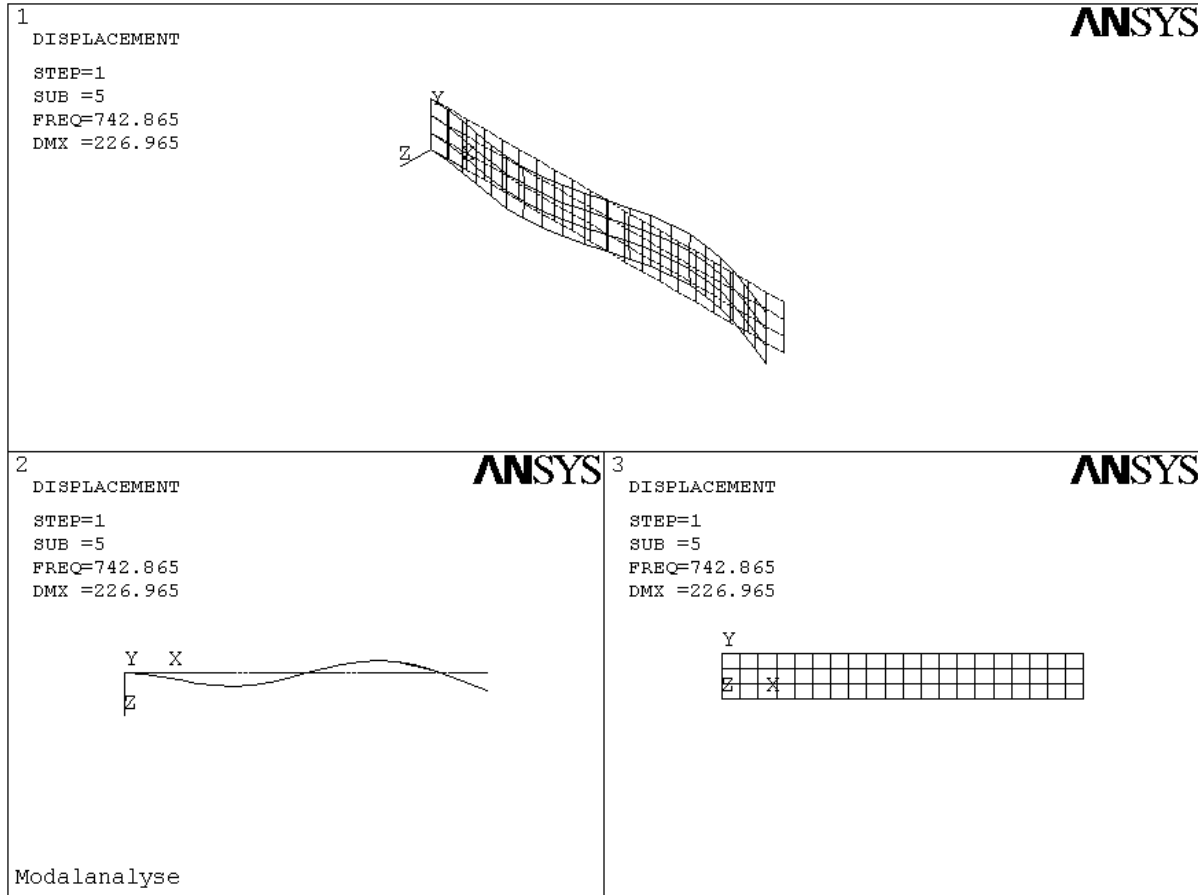


Bild 72: fünfte Eigenform in drei verschiedenen Ansichten

11. Mit dem Befehl `set, list` erscheint das Ergebnis in Tabellenform

SET,LIST Command				
File				
**** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE ****				
SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	42.174	1	1	1
2	264.44	1	2	2
3	517.70	1	3	3
4	664.15	1	4	4
5	742.87	1	5	5
6	1463.3	1	6	6
7	2011.9	1	7	7
8	2433.3	1	8	8

Bild 73: Liste mit den Werten der Eigenformen

12. Auf dem Server befinden sich verschiedene Animationen (`modal_n.avi`), die Sie z.B. mit dem Medienplayer von Microsoft betrachten können.

Transiente Analyse:

6. Wählen Sie die Analyseoptionen für die Transiente Analyse

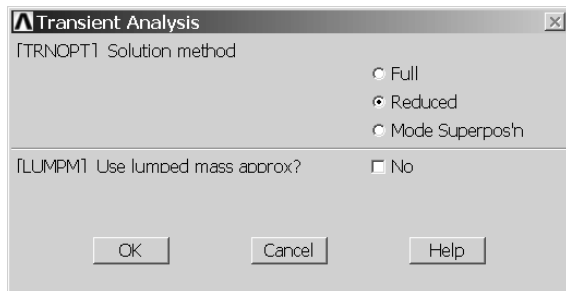


Bild 74: Auswahl der Analyseoption

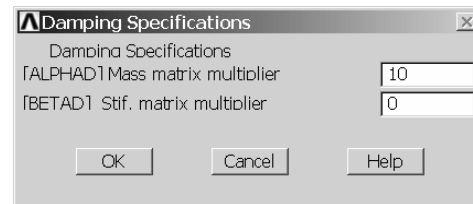


Bild 75: Angabe der Dämpfung

7. Definieren Sie die Hauptfreiheitsgrade (Richtlinie siehe Seite 150), vergessen Sie dabei nicht den Eckpunkt des Trägers (rechts oben) mit auszuwählen, an dem später die Erregung angebracht und die Sprungantwort ermittelt wird.
8. Aufbringen der Erregung und Starten der Berechnung. Die Sprungfunktion wird in vier einzelnen Lastschritten (siehe Datei transient.txt) aufgebracht. Der 5. Lastschritt dient zum Abklingen der Schwingung.

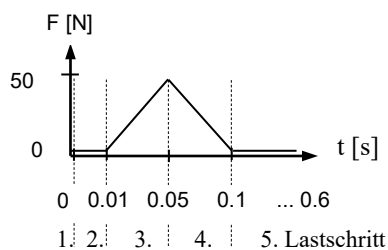


Bild 76: Sprungfunktion

9. Darstellung der Ergebnisse

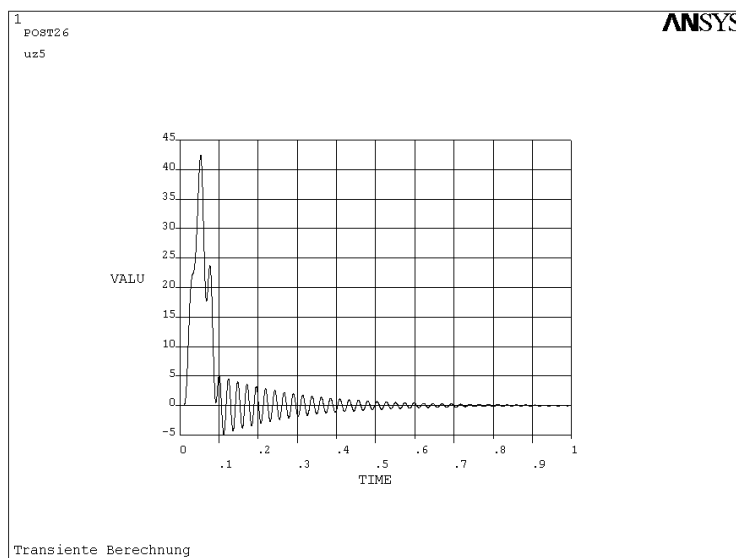


Bild 77: Auslenkung des Kragträgers über die Zeit

Harmonic-Response Analyse:

6. Wählen Sie die Analyseoptionen für die Harmonic-Response Analyse, und geben dabei keine Berücksichtigung von Vorspannungseffekten an.

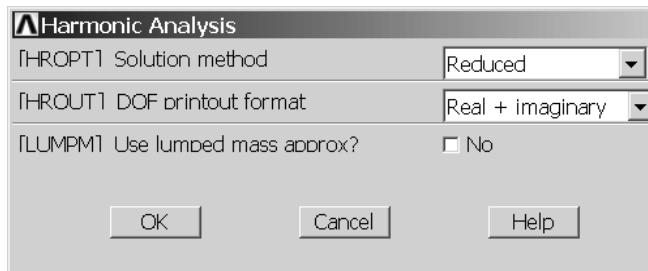


Bild 78: Analyseoptionen

7. Definieren Sie die Hauptfreiheitsgrade (siehe Seite 150), vergessen Sie dabei nicht den Eckpunkt des Trägers (rechts oben) mit auszuwählen
8. Aufbringen der Belastung am Eckknoten
9. Frequenzbereich festlegen

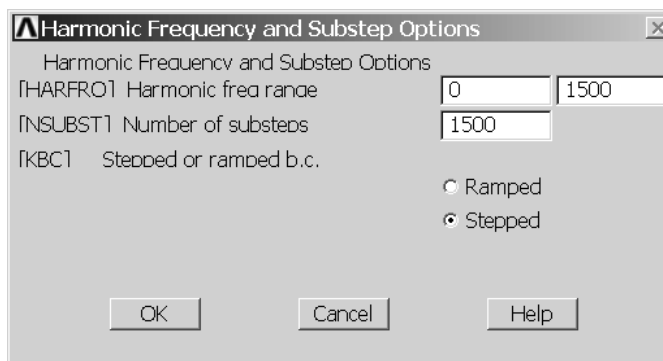


Bild 79: Frequenzbereich

10. Dämpfung festlegen

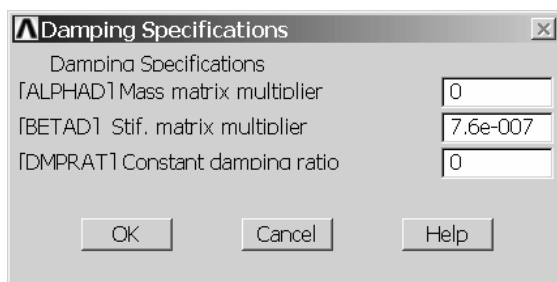


Bild 80: Dämpfungsangaben

11. Starten der Berechnung
12. Darstellung der Ergebnisse (Besitzt der Knotenpunkt der Erregung bei Ihnen eine andere Nummer als im Beispiel, geben Sie die richtige Nummer noch an.)

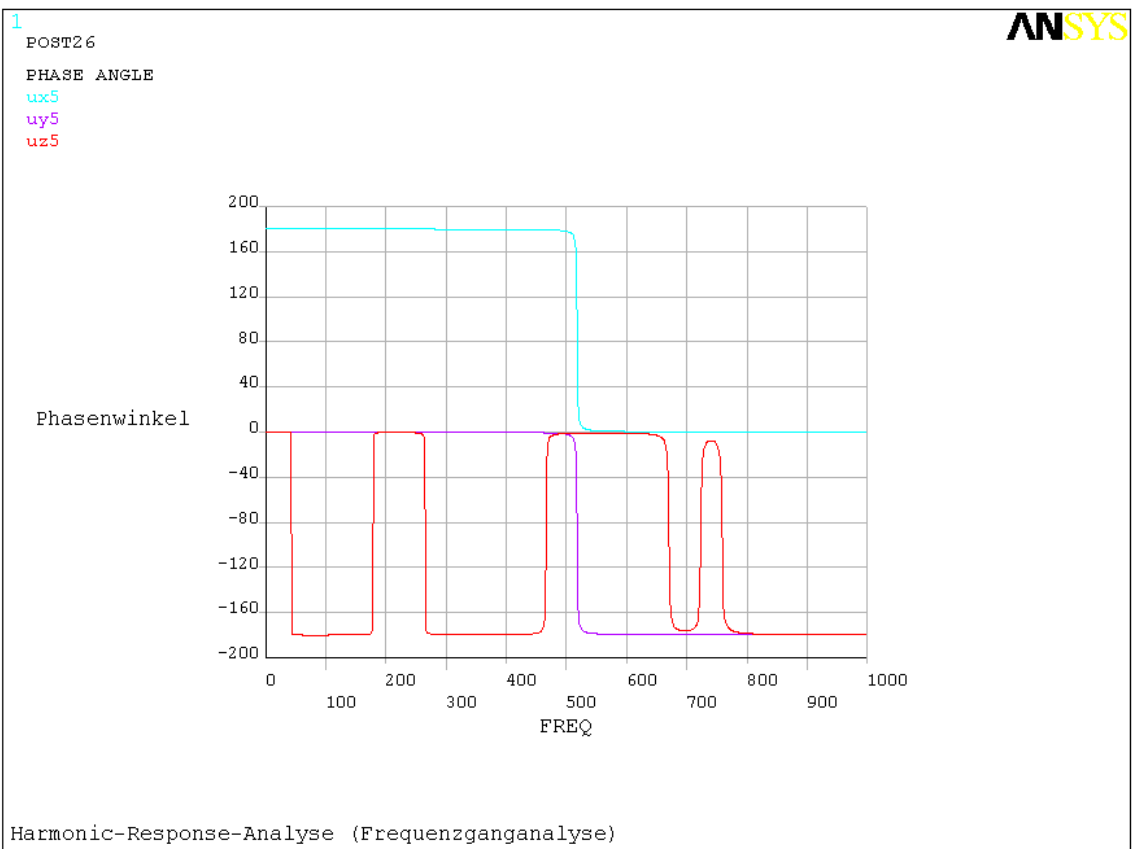
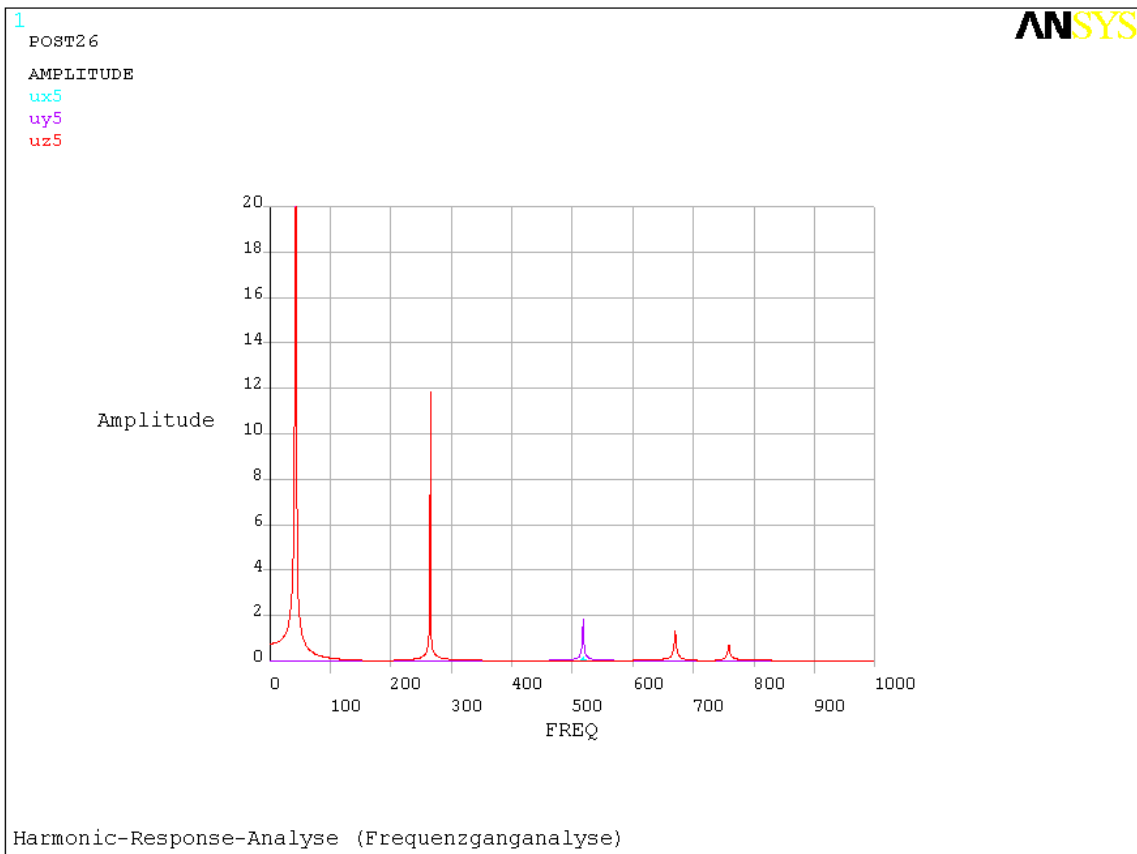


Bild 81: Darstellung der Ergebnisse im Frequenzbereich – Amplitudengang und Phasenverschiebung

6.7.2 Erstellung des Beispiels über die GUI

Analyseart vereinbaren:

Main Menu >Preferences

Preferences for GUI Filtering - Structural

Ok

Elementtyp auswählen:

Main Menu >Preprocessor >Element Type >Add/Edit/Delete

Add ...

Wählen Sie aus der Elementbibliothek das Strukturelement Shell und im rechten Fenster den Typ Elastic 4node 63 (Flächenelement 63) aus.

Ok

Close

Elementeigenschaften festlegen:

Main Menu >Preprocessor >Real Constants >Add/Edit/Delete

Add

OK

Geben Sie die Dicke des Trägers an. Es muss nur ein Wert angegeben werden. Das Programm überträgt diesen Wert auf alle vier Eckpunkte des Elementes

Shell thickness at node I TK(I) 2

OK - Close

Materialeigenschaften festlegen:

Definieren Sie ein Materialmodell, das das Verhalten des verwendeten Werkstoffes beschreibt:

MainMenu >Preprocessor >Material Props >Material Models

Im rechten Teil des Fensters doppelklicken Sie jeweils auf Structural – Linear – Elastic – Isotropic und können nun den E-Modul (EX) und die Querkontraktionszahl (PRXY) für Stahl eingeben:

EX 210000 Elastizitätsmodul (E-Modul)

PRXY 0.3 Querkontraktionszahl

Die Dichte ist für eine dynamische Strukturberechnung zwingend nötig, und muss angegeben werden:

Structural - Density:

Dens 7.85e-9 Dichte

Ok schließt das Definitionsfenster und

Material >Exit beendet die Materialdefinition.

Erstellung des Modells:

Die Geometrie des Trägers wird diesmal über das Input-Fenster erstellt:

```
K,1,0,0,0
```

```
K,2,0,25,0      !Breite des Trägers 25mm
```

```
K,3,200,25,0    !Länge des Trägers 200mm
```

```
K,4,200,0,0
```

Aus diesen vier Punkten erzeugen Sie eine Fläche,

```
A,1,2,3,4
```

```
aplo
```

legen die Elementgröße fest

```
esize,10
```

und vernetzen die Fläche

```
amesh,1
```

```
eplo
```

Der Träger ist an einer schmalen Stirnseite fest eingespannt. Deswegen definieren Sie dort Randbedingungen. Auswahl der Knotenpunkte:

```
Nsel,s,loc,x,0   Hinweis: alle Knoten mit der x-Koord.=0 werden ausgewählt
```

```
D,all,all
```

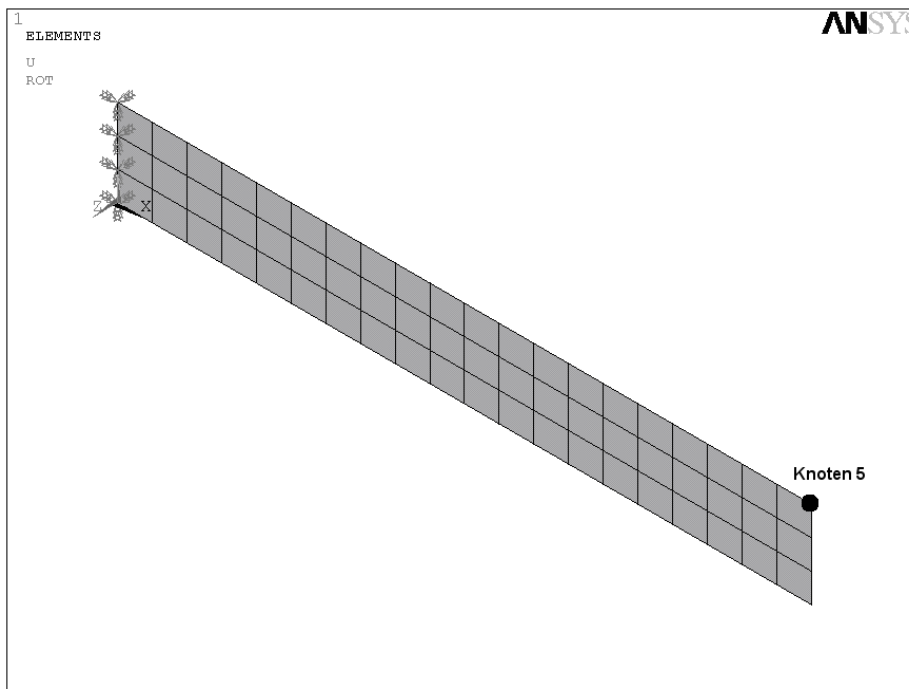


Bild 82: Elementdarstellung mit Einspannung

für die weitere Berechnung müssen wieder alle Knoten aktiviert werden:

```
NSEL,all
```

```
eplo
```

- **Analyseart festlegen (Modalanalyse):**

Main Menu >Solution >Analysis Type >New Analysis

Modal

Ok

Analyseoptionen festlegen:

Main Menu >Solution >Analysis Type >Analysis Options

Mode extraction method	Subspace
------------------------	----------

No. Of modes to extract 8

```
NMODE          No. Of modes to expand      8
```

Ok

Im nächsten Fenster können Angaben zu den Frequenzen gemacht werden.

Starten der Berechnung:

Main Menu >Solution >Solve >Current LS

Ok

Darstellung der Ergebnisse:

Um die Ergebnisse in Tabellenform darzustellen:

General Postprocessor >Results Summary

Jede Eigenform wird von ANSYS als eigener Datensatz abgelegt. Deshalb muss über den `set`-Befehl der entsprechende Datensatz aktiviert werden, bevor Ergebnisse angezeigt werden können:

```
General Postprocessor >Read Results >First Set
```

General Postprocessor >Plot Results >Deformed Shape

Def + undeformed

Ok

Nächsten Datensatz laden:

```
General Postprocessor >Read Results >Next Set
```

General Postprocessor >Plot Results >Deformed Shape

Def + undeformed

Ok

Für alle weiteren Eigenformen verfahren Sie ebenso. Sie können aber auch die gewünschte Eigenform direkt über das Input-Fenster aktivieren:

set, 6

pldi, 1

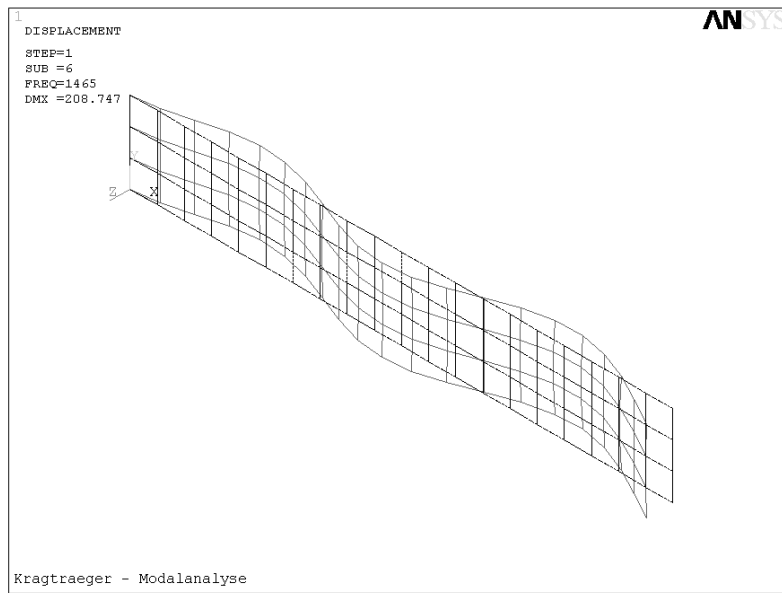


Bild 83: sechste Eigenform

• Analyseart festlegen (Transiente Analyse):

Main Menu >Solution >Analysis Type >New Analysis

Transient

Ok

Solution method Reduced

Ok

Analyseoptionen festlegen:

Main Menu >Solution >Analysis Options

Damping effects: Include

Ok

Hauptfreiheitsgrade definieren:

Die Lösungsmethode Reduced erwartet die Angabe von Hauptfreiheitsgraden. Wählen Sie diese nach folgender Regel aus:

1. Die Lage richtet sich nach dem Verhältnis c/m . Dieses sollte möglichst gering sein. Steife Stellen mit wenig Masse sind nicht sinnvoll.
2. Die Anzahl sollte min. doppelt so hoch sein, wie Eigenfrequ. gewählt wurden.
3. Grundsätzlich gilt: Je mehr, desto besser, aber desto länger auch die Rechenzeit.
4. Vergessen Sie dabei nicht den Eckpunkt des Trägers mit auszuwählen, an dem die Erregung aufgebracht und die Sprungantwort ermittelt werden soll.

Main Menu >Solution >Master DOFs >User Selected >Define

1st degree of freedom all

Ok

Dämpfung festlegen:

Main Menu >Solution >Load Step Options >Time/Frequenc >Damping

Mass matrix multiplier	10 !alpha-Dämpfung	Beta-Wert ist für Metall
Stif. matrix multiplier	0 !beta-Dämpfung	Null (vgl. auch MD-Script
		Prof. Dr. Schliekmann)

Ok

Aufbringen der Erregung und Starten der Berechnung:

Die Erregung wird in vier Lastschritten aufgebracht, Lastschritt 5 dient zum Abklingen der Schwingung:

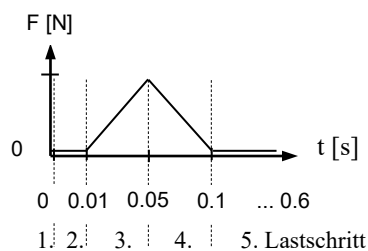


Bild 84: Sprungfunktion

Innerhalb eines Lastschrittes (LS) wird eine Zeitschrittgröße definiert (je kleiner, desto genauer die Berechnung, aber auch längere Rechenzeiten), die jeden Lastschritt in Unterschritte (Substeps) unterteilt:

`Deltim,6.25e-5` - ergibt:

für den zweiten LS bis 0.01s: $(0.01-1e-9)/0.0000625 = 160$ Substeps

für den dritten LS bis 0.05s: $(0.05-0.01)/0.0000625 = 640$ Substeps

für den vierten LS bis 0.1s: $(0.1-0.05)/0.0000625 = 800$ Substeps

für den fünften LS bis 0.6s: $(0.6-0.1)/0.0000625 = 8000$ Substeps

In diesem Beispiel werden demnach für den letzten LS besonders viele Unterteilungen vorgenommen, was jedoch keinen Sinn macht. Dort werden nur wenige Änderungen im Ergebnis erwartet. Besser wäre eine getrennte Angabe der `Deltim`-Werte für jeden Lastschritt, bzw. die Verwendung der automatischen LS-Unterteilung mit dem `autots`-Befehl. Dabei werden bei `deltim` ein Startschritt, ein minimaler und ein maximaler Zeitschritt definiert:

Listing für automatic time stepping over load step:

```
SOLCONTROL,ON
outres,all,all - Autots,1
deltim,6.25e-5,6.25e-6,1
time,1e-9 solve
time,0.01 solve
time,0.05 solve
time,0.1 solve
time,0.6 solve
```

Zum Überprüfen der Lastschritte und Zeitschritte laden Sie sich die Datei `jobname.mntr` in einen Texteditor.

erster Lastschritt (Referenzschritt zur Zeit nahe Null)

```
time,1e-9
fdel,all,all
solve
```

zweiter Lastschritt

```
time,0.01
f,5,fz,0
solve
```

Hinweis: 5: Knotennummer der Erregung

dritter Lastschritt

```
time,0.05
f,5,fz,50
eplo
```

```
kbc,0
solve
```

Hinweis: die Lasten werden f. jeden Substep linear interpoliert

vierter Lastschritt

time, 0.1

f, 5, fz, 0

kbc, 0

solve

fünfter Lastschritt, zum Abklingen der Schwingung

time, 0.6 fdel, all, all solve

Darstellung des Ergebnisses:

Die Ergebnisse einer transienten Berechnung (Weg-Zeit-Diagramme) werden im Time-History Postprocessor (Post26) dargestellt. Dazu muss die Verschiebung eines Knotens in eine Variable definiert und anschließend über die Zeit dargestellt werden. Dies kann über den Time-History Variablen Viewer (Erläuterungen siehe Online-Hilfe) oder über das Main Menu erfolgen.

Sollen Ergebnisse aus einer früheren Berechnung ausgewertet werden, ist die Ergebnissdatei der transienten Berechnung (jobname.rdsp) in den Arbeitsspeicher zu laden, dazu:

Main Menu >TimeHist Postpro >Settings >File

Number of variables 10

File containing data jobname.rdsp

Ok

Definition einer Variablen am Knoten der Erregung über das Main Menu:

Main Menu >TimeHist Postpro >Define Variables

Add ...

Type of variable Nodal Dof results

geben Sie die Knotennummer 5 an,

NVAR Ref number of variable 2

NODE Node number 5

Name User-specified label uz5

Item, Comp Data item DOF Solution UZ

Ok Close

Plotten der Variablen:

Graph Variables

NVAR1 1st variable to graph 2 Referenznummer

Ok

Die Achsen des Diagramms können bei Bedarf angepasst werden:

Utility Menu >PlotCtrls >Style >Graphs >Modify Axes ...

Ok

• **Analyseart festlegen (Harmonic Analyse):**

Main Menu >Solution >Analysis Type >New Analysis

Harmonic

Ok

Analyseoptionen festlegen:

Solution method Reduced

DOF printout format

Real + imaginary

Use lumped mass approx?

No

Ok

Incl prestress effects?

No

Ok

Hinweis: Wahlweise kann auch als Lösungsmethode die Modale Superposition (Mode Superposition) gewählt werden. Dazu ist jedoch eine zuvor durchgeführte Modalanalyse (*.rst, *.full, *.mode) erforderlich. Ist die Sitzung unterbrochen worden sind diese Dateien manuell in das Programm wieder einzulesen.

Hauptfreiheitsgrade (MDofs) definieren:

Definieren Sie die HDofs wieder nach dem oben genannten Kriterium. Vergessen Sie nicht den Eckpunkt des Trägers (rechts oben) mit auszuwählen, an dem die Belastung aufgebracht wird.

Main Menu >Solution >Master DOFs >Define

1st degree of freedom

all

Ok

Aufbringen der Belastung:

Main Menu >Solution >Apply >Force/Moment >On Nodes

Wählen Sie den rechten oberen Eckknoten aus

Lab Direction of force FY

Value Real part of force 1

Ok

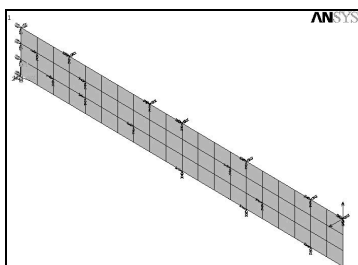
Main Menu >Solution >Apply >Force/Moment >On Nodes

Wählen Sie den rechten oberen Eckknoten aus

Lab Direction of force FZ

Value Real part of force 1

Ok



Dynamische Berechnungen

Main Menu >Solution >Time/Frequenc >Freq and Substps ...

Harmonic freq range 0 1500

Number of substeps 1500

Stepped or ramped b.c. Stepped

Main Menu >Solution >Time/Frequenc >Damping ...

Mass matrix multiplier 0

Stif. Matrix multiplier 7.6e-7

Constant damping ration 0

Ok

Starten der Berechnung:

Main Menu >Solution >Current LS

Ok

Darstellung der Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Harmonic-Response Analyse werden von ANSYS in die Datei jobname.rfrq geschrieben. Sie muss zunächst in den Arbeitsspeicher geladen werden.

Main Menu >TimeHist Postpro >Settings >File

Number of variables 10

File containing data jobname.rfrq

Ok

Definition einer Variablen am Knoten der Erregung:

Main Menu >TimeHist Postpro >Define Variables ...

Add ...

(mit Maus Knoten auswählen)

Type of variable Nodal Dof results

NVAR Ref number of variable 2

NODE Node number 5

Name User-specified label ux5

Item,Comp Data item DOF Solution UX

Ok

Add ...

Type of variab. Nodal Dof results

NVAR Ref number of variable 3

NODE Node number 5

Name User-specified label uy5

Item,Comp Data item DOF Solution UY

Ok

Add ...

Type of variable	Nodal Dof results		
NVAR	Ref number of variable	4	
NODE	Node number	5	
Name	User-specified label	uz5	
Item, Comp	Data item	DOF Solution	UZ

Ok

Close

Darstellung der Ergebnisse:

Amplitudengang

Main Menu >TimeHist Postpro >Settings >Graph ...

Complex variable Amplitude

Ok

Main Menu >TimeHist Postpro >Graph Variables ...

1st variabel to graph 2

2nd variable 3

3rd variable 4

Ok

Das Diagramm kann über

Utility Menu >PlotCtrls >Style >Graphs
angepaßt werden.

Phasenverschiebung

Main Menu >TimeHist Postpro >Settings >Graph ...

Complex variable Phase angle

Ok

Main Menu >TimeHist Postpro >Graph Variables ...

1st variabel to graph 2

2nd variable 3

3rd variable 4

Ok

6.7.3 Musterlösung mit Default-Werten

Modellaufbau

```

! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
! Datei :      traeger-muster.mac
!
! *****
! *****   Kragtraeger   *****
! *****
! *** Modellaufbau und Analyseauswahl ***
! *****
fini
/clear,nostart
/title, Kragträger
/rep
/prep7
! ----- Parameter- und Element/Materialdefinition -----
L=200
B=25
D=2
ET,1,shell63
R,1,d
MP,ex,1,EMOD
MP,nuxy,1,QUER
MP,dens,1,DICHTE
! ----- Modellgenerierung-----
K,1,0,0,0
K,2,0,b,0
K,3,1,b,0
K,4,1,0,0
kplo
A,1,2,3,4
ESIZE,10
AMESH,1
!
NSEL,s,loc,x,0
D,all,all
NSEL,all
save
!
:Art                                !Auswahl des Berechnungsverfahrens
multipro,'start'

                                *cset,1,3,Art,'Modal:1 Transient:2 Harmonic:3',1
                                *cset,61,62,'Wahl des Analyseverfahrens'

multipro,'end'
!
*if,art,eq,1,then
    /input,modal-muster,txt
*elseif,art,eq,2,then
    /input,transient-muster,txt
*elseif,art,eq,3,then
    /input,harmonic-muster,txt
*else
    go,:Art
*endif
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof

```

Modalanalyse

```
! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
! Datei :      modal-muster.txt
!
! *****
! *****  Kragtraeger *****
! *****
! *** Simulation der Modalanalyse ***
! *****
!
! /title,Modalanalyse
! /rep
!
! ----- Berechnung -----
!
! /SOLU
! ANTYPE,modal
!
! MODOPT,subsp,8      ! mit subsp keine M DOFs!! - reduced?!
! MXPAND,8
!
! NSEL,S,loc,x,5,1
! M,all,uz
! NSEL,all
! save
!
! SOLVE
! FINI
!
! /POST1
! SET,LIST,2
!
! ----- Auswertung -----
! /POST1
! set,list
!
! ----- Einstellen der Anzeige -----
! /WIND,ALL,OFF
! /WIND,1, TOP
! /WIND,2, LBOT
! /WIND,3, RBOT
!
! /VIEW,1,1,1,1      ! Isometrische Ansicht
! /ANG,1
! /VIEW,2,0,1,0      ! Draufsicht
! /ANG,2
! /VIEW,3,0,0,1      ! Vorderansicht
! /ANG,3
!
! ----- Darstellung der Eigenformen -----
! *do,ab,1,5
!   *ask,ef, Nummer der Eigenform die dargestellt werden soll?,5
!   set,,ef
!   pldisp,1
! *enddo
!
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof
```

Transiente Analyse

```
! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
!
! Bearbeiter: Michael Hochmuth
! Datei :      transient-muster.txt
!
! *****
! ***** Kragtraeger *****
! *****
! *** Simulation einer Transienten Analyse ***
! *****
!
!
/ttitle,Transiente Berechnung
/repr
! ----- Berechnung -----
!
/solu
antype,4
!
! ----- Analyseooptionen -----
TRNOPT,REDUC
LUMPM,0
TRNOPT,REDUC,,DAMP
PSTRES,0
!
ALPHAD,10                                ! Multiplikator für Massenmatrix
                                         ! Konstante der Rayleigh-Daempfung

outpr,all,1
!
FLST,2,8,1,ORDE,8
FITEM,2,2
FITEM,2,5
FITEM,2,14
FITEM,2,30
FITEM,2,42
FITEM,2,47
FITEM,2,57
FITEM,2,79
M,P51X,ALL
nsl,s,loc,x,1
nsl,r,loc,y,b
M,all,all
allsel
!
! ----- Aufbringen der Erregung am Eckknoten -----
Deltim,6.25e-5
! --- erster Zeitschritt ---
time,1e-9
fvel,all,all
solve
! --- zweiter Zeitschritt ---
time,0.01
f,5,fz,0
solve
! --- dritter Zeitschritt ---
time,0.05
nsl,s,loc,x,1
nsl,r,loc,y,b
```

```
f,all,fz,50
eplo
allsel
!
kbc,0
solve
! --- vierter Zeitschritt ---
time,0.1
f,5,fz,0
kbc,0
solve
!
time,1
fdel,all,all
kbc,0
solve
!
! ----- Darstellung der Ergebnisse -----
!
/POST26
/erase
reset
NUMVAR,10,
FILE,jobname,rdsp
!
! ----- Definition der Variablen -----
/pnum,node,1
/rep
NSOL,2,5,U,Z,uz5
PLVAR,2
/pnum,node,0
/rep
allsel
!
!
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof
```


Harmonic-Response Analyse (Frequenzganganalyse)

```

! Fachhochschule Regensburg
! Fachbereich Maschinenbau
!
! Einfuehrung in ANSYS
!
! Bearbeiter: Michael Hochmuth
! Datei :      harmonic-muster.txt
!
! *****
! ***** Kragtraeger *****
! *****
! *** Simulation der Harmonic-Response-Berechnung ***
! *****
!
!
/title,Harmonic-Response-Analyse
/rep
! ----- Berechnung -----
/solu
!
ANTYPE,3
! ----- Harmonic Analysis Options -----
HROPT,REDUC
HROUT,ON
LUMPM,0
PSTRES,0
! ----- Master Degree Of Freedom -----
FLST,2,8,1,ORDE,8
FITEM,2,1
FITEM,2,5
FITEM,2,7
FITEM,2,10
FITEM,2,13
FITEM,2,18
FITEM,2,30
FITEM,2,43
FITEM,2,79
M,P51X,ALL, , ,UY,UZ
nsel,s,loc,x,1
nsel,r,loc,y,b
M,all,all
allsel
! ----- Belastung auf Eckknoten -----
nsel,s,loc,x,1
nsel,r,loc,y,b
F,all,FY,1
F,all,FZ,1
allsel
eplo
! ----- Harmonic Frequency and substep Options -----
HARFRQ,0,1500,
NSUBST,1500,
KBC,1
! ----- Daempfung -----
ALPHAD,0,
BETAD,7.6e-7,
DMPRAT,0,
! ----- Starten der Berechnung -----
solve
fini
! ----- Darstellung der Ergebnisse -----

```

```

/POST26
/erase
reset
NUMVAR,10,
FILE,jobname,rfrq
!
nsel,s,loc,x,1
nsel,r,loc,y,b
nlist,all
!
/pnum,node,1
eplo
!
NSOL,2,5,U,X,ux5
NSOL,3,5,U,Y,uy5
NSOL,4,5,U,Z,uz5
allsel
/pnum,node,0
!
! ----- Optionen des Diagramms -----
/title,Harmonic-Response-Analyse (Frequenzganganalyse)
/GROPT,VIEW,0
/GTHK,CURVE,1
/GROPT,FILL,OFF
/GRID,1
/GTHK,GRID,1
/GROPT,CGRID,1
/GRTYP,0
/GROPT,ASCAL,ON
/GROPT,LOGX,OFF
/GROPT,LOGY,OFF
/GROPT,AXDV,1
/GROPT,AXNM,ON
/GROPT,AXNSC,1
/GROPT,DIG1,4
/GROPT,DIG2,3
/XRANGE,0,1000
! ----- Darstellung des Amplitudengangs -----
plcplx,0
/YRANGE, ,20,1
PLVAR,2,3,4
/AXLAB,Y,Amplitude
! ----- Darstellung der Phasenverschiebung -----
/YRANGE,DEFAULT,,1
/ANNO,off
/AXLAB,Y,Phasenwinkel
plcplx,1
plvar,2,3,4
! --- Darstellung von Amplitude und Phasenverschiebung in einem Diagramm ---
reset
/erase
/AXLAB,Y,Phasenwinkel/Amplitudengang
NUMVAR,10
FILE,jobname,rfrq
! ----- Definition der Variablen -----
NSOL,2,nn,U,X,ux5
NSOL,3,nn,U,Y,uy5
NSOL,4,nn,U,Z,uz5
!
! *****
! *** (c)hth 2004 - FhR ***
! *****eof

```

6.7.4 Variationsmöglichkeiten für weiterführende Berechnungen

Für dieses Beispiel sind folgende Alternativen denkbar:

- Geometrie variieren
- Modell mit Versteifungsstrebe
- Transiente Analyse mit Modaler Superposition durchführen (Ergebnisse der Modalanalyse sind im `jobname.rst`-file enthalten:
 - a) Datenbasis mit Resume einlesen
 - b) `jobname.rst` über Post1 einlesen
 - c) Analyseoption auf mode superposition einstellen

7 ANSYS Kommandos

7.1 Allgemein verwendbare Kommandos

HELP, Name, Sname

HELP stellt Hilfsinformationen (Online-Dokumentation) zu dem mit Name genannten Kommando, Element oder Themengebiet dar. Sname steht für ein eventuell vorhandenes Unterthemengebiet. Zum Beispiel wird mit HELP, BEAM3, REAL die Erläuterung zu den Geometrie-Elementeigenschaften (real constants) des 2dimensionalen Struktur-Balkenelementes angezeigt.

GOTO, Name, Sname

GOTO springt auf die entsprechende Menüposition des benannten Kommandos oder Themengebietes. Name und Sname verhalten sich dabei wie bei HELP.

7.2 Aufruf der ANSYS-Prozessoren

/PREP7

öffnet den PREP7 Preprozessor.

/POST1

öffnet den allgemeinen POST1 Postprozessor. Die Auswertung erfolgt für alle Ergebnisgrößen für das Gesamtmodell für einen Lastzustand.

/POST26

öffnet den Postprozessor POST26 zur Auswertung von transienten oder nichtlinearen Berechnungen. Die Auswertung erfolgt für einige Ergebnisgrößen über den Verlauf der Lastfall- bzw. Iterationsfolge hinweg.

/SOLU

öffnet den ANSYS Lösungsteil.

7.3 Verlassen der ANSYS-Prozessoren

FINISH

bewirkt ein normales Verlassen aus den einzelnen Prozessoren, Kurzform fini.

/EXIT, Slab, Fname, Ext, Dir

/EXIT verläßt das ANSYS-Programm und sichert die Datenbasis.

Slab steuert dabei den Umfang der Daten, die in der Datenbasis-Datei file.db gesichert werden sollen. Mögliche Eingaben für SLAB sind:

MODEL	Modelldaten (Geometrie, FE-Modell, Belastungen, etc.),
SOLU	Modelldaten, Berechnungsdaten (Knoten-, Elementergebnisse),
ALL	Modelldaten, Berechnungsdaten, Ergebnisdaten,
NOSAVE	keine Daten werden gesichert.
Fname, Ext, Dir	Datei-Name (8 Zeichen), Dateierweiterung (8 Zeichen) und Verzeichnis (32 Zeichen optional) der zu speichernden DB-Datei.

7.4 Dateihandhabung

`/SAVE, Fname, Ext, Dir`

SAVE erstellt eine Sicherungsdatei auf der Festplatte mit den aktuellen Daten der ANSYS-Anwendung. `Fname, Ext, Dir` bedeuten dabei Datei-Name (8 Zeichen), -Erweiterung (8 Zeichen) und Verzeichnis (32 Zeichen optional) der Sicherungsdatei. Alle Modelldaten, Grafikeinstellungen usw. werden auf die angegebene Datei geschrieben. Zum Wiedereinlesen dieser Daten steht das Kommando RESUME zur Verfügung.

`/RESUME, Fname, Ext, Dir`

RESUME liest eine Sicherungsdatei von der Festplatte in den Arbeitsspeicher ein und überschreibt alle derzeitigen Daten einer ANSYS-Anwendung mit den Daten der Sicherungsdatei. Alle Modelldaten, Grafikeinstellungen usw. werden von der angegebenen Datei gelesen. Zum Erstellen einer solchen Datei steht das Kommando SAVE zur Verfügung.

`/INPUT, Fname, Ext, Dir, LINE`

INPUT bewirkt das Einlesen von Eingabedaten aus der angegebenen Datei.

LINE gibt die Zeilennummer an, von der an die Kommandos der Datei eingelesen werden sollen. Als LINE kann auch eine Sprungadresse eingesetzt werden. Wenn z.B. in der Eingabedatei `ein.gab` eine Zeile `:xyz` enthalten ist, so kann mit dem Kommando `/inp, ein, gab:xyz` die Datei von dieser Marke an abgerufen und zur Ausführung gebracht werden. Die Abarbeitung erfolgt bis zum Ende der Datei oder bis zu einer Zeile mit dem Inhalt `/inp`.

`/OUTPUT, Fname, Ext, Dir`

/OUTPUT schaltet die Ausgabe um. Alle Ausgaben, die in der Standardeinstellung auf dem Bildschirm ausgegeben werden, werden nun auf die angegebene Datei geschrieben. Zur Änderung des Formates für diese Ausgabe kann das /PAGE Kommando verwendet werden.

Mit /OUT wird die Ausgabe wieder auf die Standardeinstellung (Bildschirm) zurückgestellt.

7.4.1 Nummerierung, Farben und Bezeichnungen (Labels)

`/PNUM, Label, KEY`

/PNUM kontrolliert die Bezifferung bei Geometrie-Darstellungen.

Label gibt an, welche Geometrie-Entity (Modellbereich) beziffert werden soll (NODE, ELEM, KP, LINE, AREA, VOLU, MAT, TYPE, REAL, LOC, ESYS, SVAL, STATUS oder DEFAULT). KEY 0 schaltet die Bezifferung aus, 1 schaltet sie ein.

7.5 Preprozessor (PREP7)

7.5.1 Elementtyp (elementtyp)

ET, ITYPE, ENAME, KOP1, KOP2, KOP3, KOP4, KOPS, KOP6, INOPR

ET definiert einen Elementtyp.

ITYPE Referenznummer (Position der ETYP-Tabelle), die dem Elementtyp zugeordnet werden soll.

ENAME Elementname (oder Nummer) (siehe Element Library unter den Menüauswahlpunkten "REFERENCE" (oben links), "ELEM LIB" (oben). Dieser Name besteht aus einem deskriptiven Teil (z.B. "SHELL") und einer Ziffer. Es wird empfohlen, den gesamten Elementnamen anzugeben, da dies eine Rückverfolgung und Kontrolle der Dateneingabe im log-File erleichtert, jedoch ist es ausreichend, die Ziffer anzugeben.

KOP1, KOP2, KOP3, KOP4, KOP5, KOP6 stellen optionale Einstellungen (keyoptions) für diesen Elementtyp dar. Eine Erläuterung der Auswahl ist in der Online Hilfe zu finden. INOPR wird hier eine 1 angegeben, werden alle elementbezogenen Lösungsausgaben unterdrückt.

KEYOPT, ITYPE, KNUM, VALUE

KEYOPT bietet zusätzliche Keyoptions-Eingabefelder. Dieses Kommando stellt eine Erweiterung des ET- Kommandos dar. Keyoptionen können neu definiert oder überschrieben werden.

ITYPE Elementtypnummer aus dem ET-Kommando.

KNUM Spezifiziert die Keyoption, die zu definieren ist.

VALUE ist der Wert, der der angegebenen Keyoption zugewiesen werden soll.

7.5.2 Element-Querschnittsdaten (real constants)

R, NSET, R1, R2, R3, R4, R5, R6

R definiert Querschnittsdaten der Elemente oder sonstige zusätzliche Daten (real constants). NSET bezeichnet die Position (Tabellenplatz) der RCON-Tabelle, in die diese Größen zugeordnet werden sollen und mit der dieser Eintrag später abgerufen werden kann. R1, R2, R3, R4, R5, R6 sind die Real-constant-Werte (z.B. Querschnittsfläche, Widerstandsmoment oder Dicke, abhängig vom Elementtyp, dem diese Daten zugewiesen werden).

RMORE, R7, R8, R9, R10, R11, R12

RMORE definiert sechs weitere Real-constant-Werte. Dieses Kommando muss direkt auf das Kommando folgen, mit dem die ersten Real-constant-Werte eingegeben werden. Nur dadurch ist der Tabellenplatz definiert.

7.5.3 Materialdaten (material properties)

MP, Lab, MAT, CO, C1, C2, C3, C4

MP definiert konstante oder temperaturabhängige Materialeigenschaften – Lab. Mögliche Materialeigenschaften sind:

EX, EY, EZ (Elastizitätsmodul), ALPX, ALPY, ALPZ (thermischer Ausdehnungskoeffizient), REFT (Referenztemperatur für thermische Dehnungen, diejenige Temperatur, bei der die thermischen Dehnungen verschwinden), NUXY, NUYZ, NUXZ, PRXY, PRYZ, PRXZ, GXY, GYZ, GXZ, DAMP, DENS (Dichte), C (spezifische Wärmekapazität), ENTH (Enthalpie), KXX, KYY, KZZ (Wärmeleitfähigkeit), HF (Wärmeübergangskoeffizient, Möglichkeit der Eingabe eines von der Temperatur T abhängigen Wärmeübergangskoeffizienten, Abruf der hier definierten Funktion in den SF Kommandos mit Label=CONV), QRATE (Wärmeerzeugungsrate), VISC, SONC, MU, EMIS (Emissivität), RSVX, RSVY, RSVZ, MURX, MURY, MURZ, PERX, PERY, PERZ, MGXX, MGYY, MGZZ.

MAT Referenznummer der Position der MAT-Tabelle, in die diese Größen eingetragen werden sollen und mit der dieser Eintrag später abgerufen werden kann. CO, C1, C2, C3, C4 Zahlenwert der Materialeigenschaft. Hierbei gilt:

CO = Konstanter Term;

C1, C2, C3, C4 = Koeffizienten der Polynom-Terme T^{**1} , T^{**2} , T^{**3} , T^{**4} (T: Temperatur). Als Formel kann angegeben werden:

Eigenschaft(T) = CO + C1(T) + C2(T)**2 + C3(T)**3 + C4(T)**4.

Bei komplizierten Funktionen sollte immer eine grafische Kontrolle mit MP PLOT durchgeführt werden.

7.5.4 Standardgeometrien (primitives)

BLOCK, X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2

BLOCK generiert ein Hexaeder-Standardvolumen auf der aktiven Arbeitsfläche (working plane).

X1, X2 X-Koordinate des Blocks,

Y1, Y2 Y-Koordinate des Blocks,

Z1, Z2 Z-Koordinate des Blocks.

RECTNG, X1, X2, Y1, Y2

RECTNG generiert eine Fläche auf der aktiven Arbeitsfläche (working plane).

X1, X2 X-Koordinate des Rechtecks,

Y1, Y2 Y-Koordinate des Rechtecks,

Z1, Z2 Z-Koordinate des Rechtecks.

7.5.5 Geometrie-Eckpunkte (keypoints)

`K, NPT, X, Y, Z`

K generiert einen Geometrie-Eckpunkt (keypoint).

NPT stellt dabei die Referenznummer des Eckpunktes dar.

X, Y, Z sind die Koordinaten des Eckpunktes im aktiven Koordinaten-System (d.h. X, Y, Z wird als R, THETA, Z im zylindrischen und als R, THETA, PHI im sphärischen Koordinaten-System interpretiert).

`KGEN, ITIME, NP1, NP2, NINC, DX, DY, DZ, KINC, NOELEM, IMOVE`

KGEN generiert Geometrie-Punkte durch Kopieren von vorhandenen Keypoints.

ITIME ist die Gesamtanzahl der zu generierenden (vervielfachenden) Keypoint-Gruppen inklusive der bestehenden Originalgruppe.

NP1, NP2, NINC die zu vervielfachende Gruppe von Keypoints (NP1 bis NP2 in Schritten von NINC)

DX, DY, DZ Geometrie-Inkrement, das zu den Koordinaten des bestehenden Keypoints zu addieren ist. (Auch hier gilt je nach eingeschaltetem Koordinatensystem evtl. DR, DTHETA, DZ oder DR, DTHETA, DPHI).

KINC Inkrement, das bei der Num. der neuen Keypoints eingehalten werden soll.

NOELEM Wird hier 0 eingetragen, werden Knoten und Punktelemente, die mit den zu vervielfachenden Keypoints verknüpft sind, mit kopiert. Bei Eintrag von 1 erfolgt dies nicht.

IMOVE = 1 lässt nur das Verschieben der zu vervielfachenden Keypoints zu.

7.5.6 Linien (lines)

`L, P1, P2, . . . , XV1, YV1, ZV1, XV2, YV2, ZV2`

L erzeugt eine Linie zwischen zwei Geometrie-Eckpunkten (keypoints).

P1, P2 bezeichnet dabei die beiden zu verbindenden Eckpunkte. Mit den Parametern XV1, YV1, ZV1, XV2, YV2, ZV2 lassen sich die Vektorkomponenten der Anfangs- und Endtangenten definieren.

7.5.7 Flächen (areas)

`A, KP1, KP2, KP3, KP4, KP5, KP6, KP7, KP8`

A definiert eine Fläche aus bereits existierenden Keypunkten.

A, KP1, KP2, KP3, KP4, KP5, KP6, KP7, KP8 stellt dabei die Liste der Keypunkt-Nummern dar.

`AL, L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10`

AL definiert eine Fläche, die von bereits existierenden Linien begrenzt wird.

L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10 stellt dabei die Liste der Linien dar. Als L1 kann auch ALL eingesetzt werden, wenn alle im Moment selektierten oder vorhandenen Linien die zu erzeugende Fläche umschließen.

7.5.8 Volumen (volumes)

V, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8

V erzeugt ein Volumen, dessen maximal 8 Ecke durch die anzugebenden 8 Geometrie-Eckpunkte (keypoints) P1 bis P8 definiert werden.

7.5.9 Vernetzung (meshing)

LMESH, NL1, NL2, NINC

LMESH generiert Linienelemente entlang einer Linie.

NL1, NL2, NINC spezifiziert die zu bearbeitenden Linien (NL1 bis NL2 in Schritten von NINC).

AMESH, NA1, NA2, NINC

AMESH generiert Elemente und ihre Knoten in einer Fläche. Eine ungewollte Vernetzung kann mit ACLEAR gelöscht werden, ohne dabei die Fläche zu beeinflussen.

NA1, NA2, NINC bezeichnet die zu vernetzenden Flächen von NA1 bis NA2 in Schritten von NINC.

VMESH, NV1, NV2, NINC

VMESH generiert Volumenelemente und Ihre zugehörigen Knoten.

NV1, NV2, NINC spezifiziert die zu bearbeitenden Volumen (NV1 bis NV2 in Schritten von NINC).

LESIZE, NL1, SIZE, ANGSIZ, NDIV, SPACE, KFORC

NL1 Nummer der zu bearbeitenden Linie.

SIZE gibt die Elementkantenlänge an.

ANGSIZ Winkel der von einer Elementecke aufgespannt wird. NDIV gibt die Anzahl der Elementunterteilung je Linie an.

SPACE Längenverhältnis der letzten Elementkante zur ersten Elementkante entlang dieser Linie. Damit kann eine Verzerrung der Teilungslängen erreicht werden. Mit negativen Werten kann eine Verzerrung mit kurzen Elementkantenlängen am Ende und langen Kantenlängen in der Mitte der Linie bzw. umgekehrt erzeugt werden. KFORC Wichtungsfaktor, der steuert ob evtl. schon vorhandene Teilungen überschrieben werden sollen.

ESIZE, SIZE, NDIV

ESIZE spezifiziert die Anzahl von Elementunterteilungen entlang einer Linie.

SIZE gibt die Elementgröße an, aus der die Linienteilung berechnet wird.

NDIV Anzahl der Elementunterteilungen entlang einer Begrenzungsline.

ESHAPE, KSHAPE, KSTR

ESHAPE kontrolliert die Elementform und Kantenmittenknoten-Position für die anschließenden Operationen der automatischen Vernetzung.

7.5.10 Knoten (nodes)

`N, NODE, X, Y, Z, THXY, THYZ, THZX`

`N` definiert einen Knoten im aktiven Koordinaten-System.

`NODE` ist die Nummer, die der zu erzeugende Knoten erhalten soll.

`X, Y, Z` bezeichnet die einzelnen Koordinatenwerte (im aktuellen Koordinatensystem).

`THXY, THYZ, THZX` gibt die Drehungen des Knoten-Koordinaten-Systems an. Dieses Knoten-Koordinaten-System ist wichtig für Analysen, bei denen die Freiheitsgrade eine Raumrichtung enthalten (z.B. Verschiebungen oder Verdrehungen bei strukturmechanischen Anwendungen), da Randbedingungen in diesem System ausgeführt werden. Für Temperaturfeldberechnungen ist das Knoten-Koordinaten-System nicht von Bedeutung, da die Temperaturen skalare Werte sind.

`FILL, NODE1, NODE2, NFILL, NSTRT, NINC, ITIME, INC, SPACE`

`FILL` generiert eine Knotenreihe zwischen zwei existierenden Knoten.

`NODE1, NODE2` gibt den Anfangs- und Endknoten an.

`NFILL` ist die Anzahl der zu generierenden Knoten (Default ist `NODE2-NODE1`). `NSTRT` ist die Knotennummer, die dem ersten neuen Knoten zugeteilt wird. `NINC` stellt das Knotennummer-Inkrement der entstehenden eingefüllten Knotenmenge dar.

`ITIME, INC` gibt die Anzahl der Befehlswiederholungen und das zwischen den Wiederholungen zu verwendende Inkrement an.

`SPACE` gibt auch hier das Teilungsverhältnis des letzten zum ersten Knotenabstands an (vgl. `LESIZE`).

7.5.11 Elemente (elements)

`E, I, J, K, L, M, N, O, P`

`E` definiert Elemente.

Bei `I, J, K, L, M, N, O, P` werden die Knotennummern für die einzelnen Eckknoten angegeben. Wenn Elemente eines Elementtyps (z.B. `SOLID87` oder `SOLID90`) mehr als 8 Knotenangaben erfordern, steht das `EMORE`-Kommando zur Verfügung.

`EGEN, ITIME, NINC, IEL1, IEL2, IEINC, MINC, TINC, RINC, CINC`

`EGEN` generiert Elemente durch Kopieren von bestehenden Elementen. `ITIME` ist die Gesamtanzahl der zu generierenden Elemente oder Elementgruppen inklusive des bestehenden Elementes oder der bestehenden Gruppe. `NINC` gibt das Bezifferungsincrement der Knoten an.

`IEL1, IEL2, IEINC` die zu vervielfachende Gruppe von Elementen (`IEL1` bis `IEL2` in Schritten von `IEINC`).

`MINC, TINC, RINC, CINC` sind die Inkremente, die zu den bestehenden `MAT-`, `TYPE-`, `REAL-`, und `ESYS-`Nummern dazu zu addieren sind.

MAT, MAT

MAT weist den im folgenden erzeugten Elementen die Materialkennziffer MAT zu. Diese Einstellung wird auch für folgende EMODIF-Kommandos zugrunde gelegt.

REAL, NSET

REAL weist den im folgenden erzeugten Elementen die Realkennziffer NSET zu. Diese Einstellung wird auch für folgende EMODIF-Kommandos zugrunde gelegt.

TYPE, ITYPE

TYPE weist den im folgenden erzeugten Elementen die Typ-Kennziffer ITYPE zu. Diese Einstellung wird auch für folgende EMODIF-Kommandos zugrunde gelegt.

7.5.12 Kopplung von Freiheitsgraden (coupling of dof)

CP, NSET, Lab, NODE1, NODE2, NODE3, NODE4, NODE5, NODE6, NODE7, . . . NODE9

CP definiert eine Gruppe von gekoppelten Freiheitsgraden.

Die hiermit festgelegte Verknüpfung von Freiheitsgraden ergibt unabhängige (master-) und abhängige (slave-) Freiheitsgrade und führt zu einer Reduktion der Anzahl der unbekannten Temperaturen des Gleichungssystems. NSET ist die fortlaufende Nummer dieser Kopplungsgleichung. Lab gibt die zu koppelnden Freiheitsgrade (Degree-of-freedom DOF) an.

Dies können UX, UY, UZ (Verschiebungen); ROTX, ROTY, ROTZ (Rotationen); TEMP (Temperaturen); PRES (Fluid-Drücke); VX, VY, VZ (Fluid-Geschwindigkeiten); ENKE, ENDS (FLOTTRAN turbulente kinetische Energie und turbulente Energiedissipation); VOLT (Strom); MAG (skalare magnetische Potentiale); AX, AY, AZ (Vektorielle magnetische Potentiale) sein.

NODE1 . . . NODE9 zählt die Knotengruppe auf, deren Freiheitsgrade hiermit gekoppelt werden sollen. Hier kann auch ALL eingegeben werden, um alle im Moment selektierten Knoten zu erfassen.

CPNGEN, NSET, Lab, NODE1, NODE2, NINC

CPNGEN erleichtert die Eingabe von Freiheitsgrad-Kopplungen für Reihen von Knoten mit regelmäßigen Knotennummern.

CPSGEN, ITIME, INC, NSET1, NSET2, NINC

CPSGEN generiert zusätzliche Freiheitsgrad-Kopplungen für andere Knotengruppen auf der Grundlage von bereits vorhandenen Kopplungsfestlegungen.

7.6 Lösung (solution, SOLU)

7.6.1 Analysetyp

ANTYPE, Type, Status

ANTYPE spezifiziert den Analysetyp und den Restartstatus. Anwendung im Solution-Bereich nur vor Beginn des ersten Lastschrittes (load step) zulässig.

Type ist mit folgenden Abkürzungen auszufüllen:

STATIC (oder 0) Statische Analyse (Standardeinstellung). TRANS (oder 4) Transiente Analyse.

Alternativ kann Type auch mit Zahlenwerten 0 bis 4 und 7 oder 8 besetzt werden. Mit Status wird der Status der Analyse gewählt: NEW für eine neue Analyse (Standardeinstellung), REST für einen Restart einer vorhergehenden Analyse.

7.6.2 Randbedingungen (constraints)

D, NODE, Lab, VALUE, VALUE2, NEND, NINC, Lab2, Lab3, Lab4, Lab5, Lab6

D spezifiziert DOF Randbedingungen am Knoten mit der Nummer NODE. Anstelle der Knotennummer kann auch ALL eingegeben werden, dann wird die Festlegung auf alle selektierten Knoten angewendet. Lab ist der Freiheitsgrad, der mit dem Kommando festgelegt wird, z.B. TEMP VALUE ist der Zahlenwert dieser Festlegung. VALUE2 kommt bei Temperaturfeldberechnungen nicht zur Anwendung. Mit NEND, NINC kann das Kommando auf eine Gruppe von Knoten mit den angegebenen Nummern angewendet werden. Lab2, ..., Lab6 sind weitere Freiheitsgrade, die an diesen Knoten auf den angegebenen Zahlenwert festgelegt werden.

7.6.3 Punktlasten

F, NODE, Lab, VALUE, VALUE2, NEND, NINC

F spezifiziert eine Kraft, eine Wärmezufuhr, ein Moment oder andere Knotenbelastungen am Knoten mit der Nummer NODE. Anstelle der Knotennummer kann auch ALL eingegeben werden, dann wird die Festlegung auf alle selektierten Knoten angewendet.

Lab ist die Last, die mit dem Kommando festgelegt wird, z.B. HEAT für einen Wärmestrom oder AMPS für einen elektrischen Strom.

VALUE ist der Zahlenwert dieser Festlegung.

7.6.4 Flächenlasten

SF, Nlist, Lab, VALUE, VALUE2

SF spezifiziert Oberflächenlasten (surface loads) auf Elementoberflächen, die durch die Angabe einer ausgewählten Knotengruppe (Nlist mit ALL) gewählt werden. Mögliche Oberflächenlasten Lab können sein: PRES (Druck), CONV (Konvektion), HFLUX (Wärmestrom), FSI (Fluid-Struktur Interaktion), IMPD (Impedanz), MXWF (Maxwell Last).

VALUE gibt den Wert an.

Wenn CONV (Konvektion) als Oberflächenlast aufgebracht wird, ist als VALUE der Wärmeübergangskoeffizient (film coefficient, HCOEF) und als VALUE2 die Temperatur des außen angrenzenden Mediums (bulk temperature, TBULK) anzugeben. Beispiel:

```
NSEL,S,LOC,X,1,2
```

```
SF,ALL,CONV,40,250
```

Mit diesem Kommando werden alle Knoten des Modells selektiert, deren x-Koordinatenwert im aktuellen Koordinatensystem zwischen 1 und 2 liegt. Alle Elementoberflächen, die von diesen Knoten aufgespannt werden, werden konvektiv mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von 40 und einer Mediumtemperatur von 250 belastet.

Eine Liste von SF-Angaben kann mit SFLIST abgerufen werden.

```
SFE,ELEM,LKEY,Lab,KVAL,VAL1,VAL2,VAL3,VAL4
```

SFE spezifiziert Oberflächenlasten (surface loads) auf Elementoberflächen, die durch ELEM ausgewählt sind. Mit LKEY wird ein Elementtype spezifischer Schalter gesetzt. Mit diesem Schalter wird zum Beispiel bei Solid- und Shell-Elementen die Oberfläche oder Kante des Elements benannt, auf die die Last aufgebracht werden soll.

Mögliche Oberflächenlasten Lab können sein: PRES (Druck), CONV (Konvektion). KVAL ist eine Unterscheidungsziffer. VALi gibt den Wert an.

Wenn CONV (Konvektion) als Oberflächenlast aufgebracht wird, wird mit einer Kommandozeile entweder der Wärmeübergangskoeffizient (film coefficient, HCOEF) (KVAL=L und VALUE=Zahlenwert) oder die Temperatur des außen angrenzenden Mediums (bulk temperature, TBULK) (KVAL=2 und VALUE=Zahlenwert) angegeben. Beispiel:

```
SFE,3,i,CONV,1,40
```

```
SFE,3,1,CONV,2,250
```

Mit diesen beiden Kommandos wird die Oberfläche 1 des Elementes 3 konvektiv mit einem Wärmeübergangskoeffizienten von 40 und einer Mediumtemperatur von 250 belastet.

Eine Liste von SFE-Angaben kann mit SFELIST abgerufen werden.

7.6.5 Volumenlasten

```
BFE,ELEM,Lab,STLOC,VAL1,VAL2,VAL3,VAL4
```

BFE spezifiziert Element-Volumenlasten auf die selektierten Elemente. ELEM beziffert das betreffende Element. Mögliche Element-Volumenlasten (body load label Lab) sind: TEMP (Temperaturvorgabe bei strukturemechanischen Berechnungen), HGEN (Wärmequellrate) und andere.

STLOC ist der Startpunkt (das Startfeld) der Werteingabe. In der Beschreibung der Elementtypen sind die möglichen Volumenlasten aufgeführt, STLOC kann entsprechend eingesetzt werden. VALi gibt den Wert an.

Eine Liste von BFE-Angaben kann mit BFELIST abgerufen werden.

Volumen-Lastbedingungen werden nach dem Aufruf des Schalters /PBF,HGEN,1 in grafischen Darstellungen als Konturverteilung mit eingetragen. Das Ausschalten erfolgt über /PBF,HGEN. Entsprechendes gilt für Temperaturvorgaben in strukturmechanischen Anwendungen, wenn Lab=TEMP verwendet wurde.

LDREAD, Lab, LSTEP, SBSTEP, TIME, KIMG, Fname, Ext, Dir

LDREAD liest Temperatur-Ergebnisdaten aus der Ergebnisdatei einer vorangegangenen Temperaturfeldberechnung ein und bringt sie als Lasten auf ein strukturmechanisches Modell auf. LSTEP ist die Lastschrittnummer (Load step number) des zu lesenden Datensatzes und SBSTEP bezeichnet Unterlastschrittnummer (Substep number). Wird hier kein Zahlenwert angegeben, wird TIME als der Zeitpunkt verwendet, der zugrunde zulegen ist. KIMG ist ein Spezialschalter bei komplexen Analysen (ANTYPE=3), er ist für Temperaturfeldberechnungen nicht von Bedeutung.

7.6.6 Ausführen der Lösung

SOLVE

SOLVE initiiert die Gleichungslösung des aktuellen Lastschritts.

7.7 Allgemeiner Postprozessor (POST1)

7.7.1 Definitionen

ETABLE, Lab, Item, Comp

ETABLE definiert eine Wertetabelle mit Elementergebnisdaten. Die gültigen Werte für Lab, Item und sind der Elementbibliothek zu entnehmen. Dieses Kommando dient der Vorauswahl von zusätzlichen Ergebnisdaten, die über den üblichen Umfang hinaus von der Ergebnisdatei file.* eingelesen werden sollen.

SET, LSTEP, SBSTEP, FACT, KIMG, TIME, ANGLE

SET spezifiziert den Ergebnissatz, der für das Postprocessing aus der Ergebnisdatei (z.B. filename.rth bei Temperaturfeldberechnungen) eingelesen werden soll. Die Ergebnisse des letzten Lastfalles stehen nach der Durchführung der Lösung nicht bei einem Neustart von ANSYS) sofort zum Postprocessing zur Verfügung. Dies sind damit üblicherweise die Ergebnisse der stationären Berechnung oder diejenigen des Endzustandes einer transienten oder einer nichtlinearen Berechnung.

7.7.2 Listen

Alle Listen können mit dem Kommando /OUTPUT auf Festplatte umgeleitet und von dort aus ausgedruckt werden. Zur Änderung des Druckformates (Seitenvorschub, Spaltenanzahl) steht das Kommando /PAGE zur Verfügung.

PRETAB, Lab1, Lab2, Lab3, Lab4, Lab5, Lab6, Lab7, Lab8, Lab9

PRETAB listet die mit ETABLE ausgewählten Elementergebniswerte. Als Labi sind die Bezeichnungen anzugeben, die Im Kommando ETAB als Lab gewählt wurden.

PRNSOL, Item, Comp

PRNSOL listet die Knoten-Ergebnisse, wobei bei Item und Comp Bezeichnungen für die Ergebnisgrößen am Knoten eingegeben werden müssen.

PRRSOL, Lab

PRRSOL listet die Reaktionen auf die gegebenen Randbedingungen am Knoten. Bei Temperaturfeldberechnungen ist z.B. Lab=HEAT sinnvoll. Das Kommando ergibt dann eine Liste der Wärmeströme, die an den Knoten mit vorgegebenen Temperaturrandbedingungen berechnet wurden.

7.7.3 Plotdarstellungen

PLDISP, KUND, KSCAL

PLDISP stellt bei strukturmechanischen Berechnungen die verformte Struktur für die selektierten Elemente und Knoten dar. KUND schaltet dabei entweder die unverformte Struktur aus oder ein, KSCAL regelt die Skalierung.

PLNSOL, Item, Comp

PLNSOL stellt die Berechnungsergebnisse in Form von Farbverläufen bzw. Farbverteilungen (Konturflächen) dar.

7.8 Zeitverlauf-Postprozessor (POST26)

7.8.1 Definitionen

NSOL, NVAR, Knoten, Item, Comp, Name

NSOL spezifiziert, welche Knoten-Ergebnisse zu speichern sind. Mit NVAR ist eine Referenznummer dieser Variablen einzugeben, wobei automatisch die Werte der Problemzeit als NVAR=L eingelesen werden. Daher sollten für andere Ergebniswerte die Ziffern 2 und folgende für NVAR verwendet werden. Bei Knoten ist die Nummer des Knotens anzugeben, für den die Daten Item und Comp gespeichert werden sollen. Name ist der Name, mit dem dieses Ergebnis in Darstellungen und Listen gekennzeichnet werden soll

7.8.2 Listen

PRVAR, NVAR1, NVAR2, NVAR3, NVAR4, NVAR6, NVAR6

PRVAR listet Variablen über der Zeit. NVAR1 bis NVAR6 sind die Referenznummern der zu listenden Variablen.

7.8.3 Plotdarstellungen

PLVAR, NVAR1, NVAR2, ..., NVAR10

PLVAR stellt einen Graphen von bis zu 10 POST26 Variablen dar. NVAR1 bis NVAR10 sind die Referenznummern der zu listenden Variablen.

7.9 Geometrie-Plotdarstellungen

LPLOT, NL1, NL2, NINC

LPLOT stellt die Linien NL1 bis NL2 in Schritten von NINC dar.

APLOT, NA1, NA2, NINC

APLOT stellt die Flächen NA1 bis NA2 in Schritten von NINC dar.

NPLOT, KNUM

NPLOT stellt die selektierten Knoten dar, wobei mit KNUM die Bezifferung der Knoten ein- (1) oder aus- (0) gestellt werden kann.

EPLOT

EPLOT stellt die selektierten Elemente dar.

7.10 Selektieren

Durch Selektieren (`select`) können Modelldaten oder Gruppen von Modelldaten aktiviert und deaktiviert werden. Nur selektierte Daten werden bei Plotdarstellungen gezeigt. Kommandos, die anstelle von Geometriedaten-Nummern die Bezeichnung ALL enthalten, werden nur für die selektierten Modellteile angewendet. Es gibt folgende Kommandos:

- Freiheitsgrade: DOFSEL
- Knoten: NSEL NSLE NSLK NSLL NSLA NSLV
- Elemente: ESEL ESLN ESLL ESLA
- Keypunkte: KSEL KSLN KSLL
- Linien: LSEL LSLK LSLA
- Flächen: ASEL ASLL ASLV
- Volumen: VSEL VSLA
- und von allen Daten des Modells: ALLSEL

LSEL, Type, Item, Comp, VMIN, VMAX, VINC, KSWP

LSEL selektiert Linien basierend auf den unter Item und Comp angegebenen Kriterien.

Type der Typ der Selektion kann sein:

S (select) für Selektieren;

R (reselect) für Reselektieren (aus der bestehenden, z.Zt. selektierten Gruppe eine Untergruppe bilden);

A (additional select) für additives Selektieren (zu der bestehenden Gruppe eine oder mehrere weitere Linien hinzufügen);

U (unselect) für Herausselektieren im Sinne des Entfernens aus der selektierten Menge (aus der bestehenden Gruppe eine Untergruppe ausschließen);

ALL (all select) um alle Linien auszuwählen; NONE um keine Linie auszuwählen;

INVE (invert) um die selektierte Linien-Menge zu deselektieren und die nicht selektierte Linien-Menge zu selektieren;

STAT (status) um den Status abzufragen.

Item, Comp hier kann eingetragen werden, dass z.B. nach dem geometrischen Ort (location) und weiter nach einer Komponente, wie etwa X, ausgewählt werden soll.

VMIN und VMAX geben die Schranken an. Diese kann z.B. bei Wahl der Ortsauswahl eine metrische Größe sein, aber auch eine Referenznummer der zu selektierenden

Linien. `VINC` gibt ein evtl. zu verwendendes Inkrement an (nur sinnvoll bei Nummern oder anderen ganzzahligen Werten). `KSWP` ist ein Schalter, mit dem ausgewählt werden kann, ob die zu den Linien gehörenden Geometrie-Punkte (die hierarchisch darunter liegenden Geometrie-Entities) mit zu selektieren sind oder nicht.

`ALLSEL, LabT, Entity`

`ALLSEL` selektiert alle Geometriebestandteile hierarchisch. `LabT` kann entweder `ALL` für 'alle' (selektiere alle Flächen, oder alle Linien etc.) oder `BELOW` für 'alles was dazugehört' (... zugehörige Linien zu einer Fläche; zugehörige Punkte zu diesen Linien) sein.

7.11 Koordinatensysteme

`CSYS, KCN`

`CSYS` aktiviert ein Koordinaten-System (mit der Referenznummer `KCN`) für die Geometrie-Eingabe oder andere folgende Operationen, z.B. Selektieren.

`LOCAL, KCN, KCS, XC, YC, ZC, THXY, THYZ, THZX, PAR1, PAR2`

`LOCAL` definiert ein lokales Koordinatensystem unter Angabe des Ursprungs und der Orientierung im Raum. `KCN` ist die zu vergehende Referenznummer (diese Nummer muss größer als 10 und kleiner als 40 sein). Mit `KCS` wird der Koordinatensystem-Typ spezifiziert (0 für kartesisch, 1 für zylindrisch, 2 für sphärisch, 3 für toroidal). `XC, YC, ZC` bezeichnet die globalen kartesischen Koordinaten des Ursprungs. Über `THi` wird die Rotation des Systems im Raum angegeben. Die beiden Parameter `PAR1` und `PAR2` sind zur Eingabe von zusätzlichen Parametern für toroidale und andere Systeme vorgesehen, z.B. für den Mittellinien-Radius eines toroidalen Systems.

8 Hinweise zu den HP-UX Workstations im FEM-Labor

8.1 Die Rechner

1 Server: HP J5000
3 Client: HP C3000

Hardwareausstattung:

- RISC Prozessor (Reduced Instruction Set Computer) PA8500 (höhere Arbeitsgeschwindigkeit als CISC Prozessoren (Complex Instruction Set Computer), z.B. Intel-CPU)
- Arbeitsspeicher 1GB
- Festplatte 18GB

Netzwerk:

- Verbindung über 100Mbit/s Twisted Pair Leitungen
- Stern-Topologie
- Anschluß an zentralen Netzwerkverteiler (Switch)

Die HP-UNIX Rechner werden als Client-Server-System betrieben. Für die Arbeit der Studenten stehen die Rechner mit den IP-Nummern 194.95.211.244-246 zur Verfügung. Der Rechner 194.95.107.1 ist der Server, auf dem die Anwendungssoftware installiert ist. Dieser Rechner darf **nicht** für Berechnungen benutzt werden.

8.2 Hochfahren der Workstation

Nach dem Einschalten der Rechner startet das Betriebssystem HP-UX eine grafische Benutzeroberfläche.

Anmeldung:

Login-Name:	ansys	oder	pro	oder	abc12345
Passwort:	fem		pro		pers.Kennwort

8.3 Oberfläche

Die HP-Workstations arbeiten mit der fensterorientierten Oberfläche CDE (Common Desktop Environment). Einer standardisierten Oberfläche die bei allen Unix-Herstellern einheitlich ist und individuell konfiguriert werden kann. Die Bedienung ist ähnlich intuitiv wie bei den Windows-Betriebssystemen.

8.4 Speicherung

Als Arbeitsverzeichnis für die Daten der Studenten stehen die Verzeichnisse `/home/ansys/` bzw. `/home/pro/` bzw. `/home/$HOME` zur Verfügung. Jeder Student kann unter diesem Verzeichnis eigene Unterverzeichnisse anlegen, die allerdings spätestens in den Semesterferien wieder gelöscht werden.

8.5 Dateihandhabung

Zur Datei- und Verzeichnisverwaltung steht der Dateimanager *dtfile* (`usr/dt/bin/dtfile` bzw. im Frontpanel) zur Verfügung. Eine andere Möglichkeit ist die Eingabe der entsprechenden Unix-Befehle (siehe 9.3) in ein Terminalfenster. Dies ist bei häufigeren Gebrauch auch schneller. Benutzerdaten können über das Netzwerk kopiert und gesichert werden (siehe 9.4). Ein direktes Speichern auf Diskette ist nicht möglich. Textdateien können mit speziellen Unix-Scripten auf Diskette kopiert (siehe 9.6) werden.

8.6 Herunterfahren der Workstation

Da das UNIX-Betriebssystem einen externen Speicher auf der Festplatte zur Zwischenspeicherung von Daten benutzt (Swapspace), muss beim Herunterfahren der Rechner eine bestimmte Wartezeit eingehalten werden, damit dieser Bereich mit der Festplatte synchronisiert wird. Dadurch wird verhindert, dass die im Swapspace befindlichen Daten verloren gehen.

Wichtig: während die grafische Oberfläche CDE noch läuft, darf die WS nicht ausgeschaltet werden, sondern:

- a) Programme ordnungsgemäß beenden,
- b) Daten eventuell speichern und
- c) eigene Dateien auf Diskette sichern.

Im Frontpanel auf EXIT drücken und den Abmeldevorgang bestätigen (bzw. über die Tastenkombination Strg + Shift + Pause/Untbr. von der Oberfläche abmelden). Wenn das Anmeldefenster erscheint kann der Rechner ausgeschaltet werden.

Hinweis: Unix-Workstations besitzen Langläufer-Festplatten. Das bedeutet, dass die Rechner nicht ständig aus- und wieder eingeschaltet werden sollten. Deshalb Rechner erst am Abend herunterfahren.

9 Anmerkungen zu UNIX

9.1 Allgemein

- 1969 von Telefongestellschaft AT&T erste Entwicklungen (System V)
- 1975 Zusatzentwicklungen an Universität von Kalifornien (BSD)
- seit 1982 kommerzieller Vertrieb von Systemanbietern:

-Unix Versionen verschiedener Hardware-Hersteller (Derivate):

HP	Hewlett-Packard
IBM	International Buisness Machines
SUN	Sun Microsystems
SGI	Silicon Graphis Inc.

Unix Betriebssystem das auf Intel kompatibler Hardware läuft:
Linux

Vorteile:

- Multitasking (mehrere Programme laufen gleichzeitig)
- Multi-User-Fähigkeit (mehrere Benutzer arbeiten gleichzeitig)
- Netzwerkbetrieb
- lauffähig auf Laptops bis hin zu Supercomputern

-Stabilität und Sicherheit

Besonderheiten:

UNIX unterscheidet zwischen Groß- und Kleinschreibung, erlaubt Dateinamenlängen bis zu 255 Zeichen (Buchstaben und Ziffern, Sonderzeichen: . - und _) und verwendet für Pfadangaben den Forward Slash (/). Laufwerken (Festplatten, CD) werden keine festen Laufwerksbuchstaben zugewiesen, sondern werden in Verzeichnissen eingebunden (gemounted). Bei UNIX gibt es keine Rückfrage, ob wirklich eine Datei gelöscht werden soll und es gibt keine Möglichkeit Dateien wieder herzustellen. Bei der Arbeit mit ANSYS dürfen Dateinamen nicht mit einer Zahl beginne und deutsche Umlaute enthalten.

9.2 Zusammenfassung Hardware und Software der größten Hersteller

	Hersteller		CPU (Bsp.)	Betriebssystem	Rechner (Bsp.)
RISC-Prozessoren	HP	Hewlett Packard	PA8600	HP-UX	HP Visualize
	IBM	International Business Machines	Power3/4	AIX	RS/6000
	SUN	Sun Microsystems	Ultra Sparc II	SunOS	Ultra80
	SGI	Silicon Graphics Inc.	MIPS	Solaris	Octane
	Apple	Apple Computer Inc.	PowerPC G4/5	Mac OS X, BeOS	iMAC
CISC-Prozessoren	Intel	Integrated Electronics	Pentium	Linux, Windows, OS/2, BeOS	div.
	AMD	Advanced Micro Devices	Athlon	Linux, Windows, OS/2, BeOS	div.

Tabelle 7: Unix und PC Hard- und Software

9.3 Wichtige Unix-Befehle

Verzeichnis erstellen:	mkdir <i>verzeichnisname</i>
Verzeichnis wechseln:	cd <i>verzeichnisname</i>
Inhalt anzeigen:	ls oder ll oder la
Dateien löschen:	rm <i>datei</i>
Verzeichnis löschen:	rm -r <i>verzeichnisname</i>
Dateien kopieren:	cp <i>quelle ziel</i>
<u>Bsp.:</u>	
	cp <i>/home/ansys/meier/modell.txt /home/ansys/neu/modell.txt</i>
Verzeichnis kopieren:	cp -r <i>quelle ziel</i>
Dateien umbenennen:	mv <i>quelle ziel</i>
aktuelles Verzeichnis anzeigen:	pwd
Datei suchen:	ffind <i>suchstring</i>
ASCII-Text lesen:	more <i>text</i>
Unix-Online Handbuch:	man <i>befehl</i>
Ausgabe der freien 512Byte Blöcke:	bdf
Größe eines Verzeichnisses:	du -s , du *

9.4 FTP (file transfer protocol)

Der Datenaustausch zwischen Unix-Rechnern und Windows PCs erfolgt durch den ftp-Befehl (file transfer protocol). Dieser Befehl funktioniert zwischen den Unix-Rechnern in beide Richtungen. Zwischen Unix-Rechnern und WinNT-PCs muss er immer vom PC aus aufgerufen werden. Neben dem Befehl *ftp* der in die Dos-Eingabeaufforderung oder in das Terminalfenster bei Unix eingegeben wird, steht das Windows-Programm WS_FTP (MS Windows) bzw. axy-ftp (Unix) zur Verfügung.

Beispiel einer text-orientierten ftp-Sitzung:

1. Wechsel ins Arbeitsverzeichnis auf lokalen Rechner

```
cd /home/ansys/meier
```

2. Aufruf des Programms mit Angabe des Zielrechners:

```
ftp ftp-nw.fh-regensburg.de
(ftp-Server, der das G:\-Laufwerk enthält)
```

3. Anmeldung am entfernten Rechner

```
login: .abc12345.0.stud.fh-regensburg.de
password: xxxx
```

4. Anzeige der möglichen Befehle:

```
help
```

5. Wechsel des Arbeitsverzeichnisses auf entfernten Rechner:

```
cd /home/ansys/huber
```

6. Anzeige des Verzeichnisinhaltes auf entfernten Rechner:

```
dir
```

7. Einstellen des zu übertragenden Dateityps:

`ascii` oder `binary`

8. Kopieren einer Datei vom entfernten Rechner auf lokalen Rechner:

`get dateiname.erw`

9. Kopieren einer Datei vom lokalen Rechner zum entfernten Rechner:

`put dateiname.erw`

10. Beenden des Programms:

`bye`

9.5 Befehle für Zugriff auf DOS-formatierte Disketten

Inhalt von Diskette ansehen:

`dos_list_crt`

Kopieren von Festplatte ▶ Diskette:

`dos_cp_out quelldatei zieldatei`

Kopieren von Diskette ▶ Festplatte:

`dos_cp_in quelldatei zieldatei`

10 Literaturhinweise

FEM für Praktiker, G. Müller/ C. Groth, expert Verlag 1997

FEM für Praktiker – Temperaturfelder , C. Groth, G. Müller, expert Verlag 1995

FEM für Praktiker – Elektrotechnik, W. Schätzing, expert Verlag 2003

FEM-Leitfaden, P Fröhlich, Springer Verlag 1995

ANSYS Users's Manual Volume I-IV, Swanson Analysis Systems 1995

ANSYS APDL Programmer's Guide, Swanson Analysis Systems 1998

Formelsammlung Maschinendynamik, Prof. Dr. C. Schliekmann, 1997

UNIX – ein praktischer Einstieg, G.Todino, J.Strange, J.Peek, O'Reilly Verlag 1996

11 Linktipps

- [Gewöhn Dich an Anders](#)
- [Digital Radio](#) (DAB+)
- [Prayertube](#)
- [ISS](#) /: [Livestream](#)
- [Love is more](#)

