

## CAD-FEM-Kopplung am Beispiel von CATIA und ANSYS

Alexander Bakic, Thomas Fabula  
 TCNK Entwicklung-Berechnung-Konstruktion GmbH  
 Otto-Hahn-Straße 20, D-44227 Dortmund  
 Tel.: 0231 - 97 50 96-0, Fax.: 0231- 75 00 97

### Einleitung

Die Einsatzfelder und der Nutzen der FE-Methode als Simulationswerkzeug sind breit diskutiert und allgemein anerkannt. Im Produktentwicklungsprozeß ermöglicht es die Simulation das Bauteilverhalten im Rechner noch vor der Herstellung von Mustern zu untersuchen. Ziel des Einsatzes sind:

- ☐ Die Verkürzung von Entwicklungszeiten
- ☐ Reduzierung von Prototypenanzahl und Versuchsreihen
- ☐ tiefere Einsicht in das Bauteilverhalten
- ☐ schnelle Durchführung von Parameterstudien und Sensitivitätsanalysen
- ☐ Optimierung der Bauteile hinsichtlich spezieller Funktionsanforderungen
- ☐ Erhöhung der Bauteilqualität (ISO 900x, Produkthaftung in USA)

Nicht zuletzt spielen auch Marketingaspekte (farbige Ergebnisdarstellung, das "vernetzte Auto" aus dem Rechner) eine Rolle. Voraussetzung, daß die Erkenntnisse, die aus der rechnerischen Simulation gewonnen werden auch in konstruktive Änderungen umgesetzt werden, sind:

die Berechnung muß früh, nach Möglichkeit schon im Entwurfsstadium eingesetzt werden. Nur hier sind Freiräume für Konstruktionsmaßnahmen noch vorhanden und nicht durch Restriktionen, wie z.B. bereits festgelegte Fertigungsverfahren oder noch zu Verfügung stehender Einbauraum, stark eingeschränkt.

die Ergebnisse müssen der Konstruktion schnell zur Verfügung stehen. Die Zeiten für die Durchführung und Auswertung einer Berechnung dürfen nicht entscheidend von den Entwicklungszeiten abweichen. Andernfalls kommen Ergebnisse zu spät; die Schwachstellen eines Bauteils sind dann bekannt, das Teil optimiert, aber Änderungen sind nicht mehr möglich.

Der schnelle Datenaustausch zwischen der Konstruktion und der Berechnung ist also Voraussetzung für einen sinnvollen und wirtschaftlichen Einsatz von Simulationsverfahren. Nur so ist zu gewährleisten, daß die Berechnungsergebnisse rechtzeitig in den Entwicklungsprozeß wieder einfließen und dem Konstrukteur als Entscheidungsgrundlage zur Verfügung stehen.

Im folgenden sollen die verschiedenen Wege einer engen Kopplung zwischen CAD und FEM, wie sie bei TCNK realisiert sind, dargestellt werden.

### Eingesetzte Software und Datenfluß bei TCNK

Die TCNK bietet Dienstleistungen im Bereich der Produktentwicklung, Konstruktion und Berechnung an und ist aus der TCN, einem CAE-Systemhaus für IBM Hard- und Software hervorgegangen. Dies hat zur Folge, daß unser Kundenkreis zu einem Großteil CATIA-Anwender sind, jedoch aus den unterschiedlichsten Branchen kommen (Automobil- und Zulieferindustrie, Maschinenbau, Hausgerätehersteller, etc.). Demzufolge variieren auch die Aufgabenstellungen stark. Bei den meisten Projekten handelt es sich um Bauteiloptimierungen, also einer iterativen Folge von Konstruktion und Berechnung.

Wir können also nicht eine optimale Datenaustauschschiene einsetzen, sondern müssen in Abhängigkeit des erforderlichen Aufwands (Zeitfaktor) und den verschiedenen Eingangsdaten (2D-Zeichnungsgeometrie, 3D-Flächen, Solidmodelle) einen angepaßten Weg herausfinden, der sich oft nach pragmatischen Gesichtspunkten richtet.

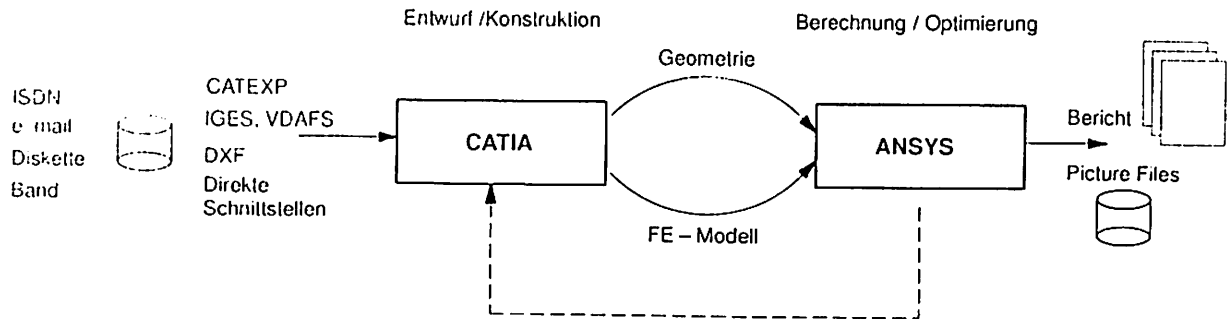


Abb. 1: CAD-FEM-Datenschiene und Basissysteme

In Abb. 1 sind die Datenschiene und der zwischen den beiden eingesetzten Basissystemen erforderliche Datenaustausch schematisch dargestellt. Auf der CAD-Seite setzen wir CATIA Solutions V4 und auf der Berechnungsseite ANSYS ein. Als neutrale Schnittstellenstandards zu CATIA stehen IGES, VDAFS und DXF zur Verfügung, wobei unterschiedliche Medien (ISDN, e-mail, Diskette, Band) Verwendung finden. Als CAD-Modellaustauschformat zu unseren CATIA-Kunden wird das CATEXPORT-Format verwendet. CATIA dient neben der Geometrieerzeugung und Vernetzung auch zur Ableitung von Stereolithographie- und NC-Daten für Modelle und Muster. Das Herausschreiben der Knoten- und Elementdaten kann außer zu ANSYS auch in anderen FEM-Formaten erfolgen. Die Berechnungsergebnisse werden den Kunden außer in Form eines Berichtes immer häufiger auch als Display-Picturefiles zur Verfügung gestellt. Sofern die Ergebnisse Rückwirkung auf die Konstruktion haben, erfassen wir dies im CAD-Modell. Die Funktionalität der beiden Systeme ergänzen sich zum Teil, wobei aber Vor- und Nachteile auf beiden Seiten existieren.

### Gesichtspunkte bei der Wahl eines Weges von CAD nach FEM

Bei der Wahl eines Weges von CAD nach FEM und evtl. zurück müssen neben den eigentlichen Schnittstellen auch folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- ☐ Konstruktionsgeometrie ist in den seltensten Fällen Berechnungsgeometrie:  
Für die Berechnung müssen aus Gründen der Rechenzeit und des Speicherplatzbedarfs Systeme idealisiert werden. Nicht berechnungsrelevante Details werden vernachlässigt, 3D-Strukturen werden als Flächen (Schalen) oder Systemlinien (Balken) idealisiert, so daß ein Nacharbeiten der Geometrie auf der CAD- oder FEM-Seite unvermeidbar ist.
- ☐ Beim Einsatz von Schnittstellen entstehen Datenverluste: Je komplexer die zu übertragenden Daten sind, desto größer ist die Fehlerwahrscheinlichkeit.
- ☐ Jedes Werkzeug sollte da eingesetzt werden, wo es die meisten Zeit- und Funktionsvorteile bringt. CAD-Programme haben ihre Stärken meist in der Geometriemodellierung, FEM-Programme mehr in den Vernetzungs- und Berechnungsmöglichkeiten.
- ☐ Entwurf, Konstruktion und Berechnung sind getrennte Arbeitsprozesse die meist auch in unterschiedlichen Abteilungen durchgeführt werden. Konstrukteur und Berechner müssen sich kurzschließen und Aufgabenbereiche festlegen.
- ☐ Je größer die Anzahl der eingesetzten Softwareprogramme ist, desto oberflächlicher muß notgedrungen deren Handhabung sein. CAD-/CAE-/FEM-Programme sind heute derart komplex, daß der Anwender meist nur Teilbereiche beherrscht.

### Weg des Datenaustausches CAD-FEM

#### Weg 1: Geometrieübertragung mittels TCIGES (Abb. 2)

Generell erfolgt die Geometrieerzeugung und -modifikation in CATIA, da hier die CAD-Seite Zeit- und Funktionsvorteile bietet. Alle berechnungsrelevanten Details werden in ANSYS bearbeitet. Zur Übertragung der Geometrie wird der FEM-orientierte Prozessor TCIGES eingesetzt, dessen

Leistungsfähigkeit bereits mehrfach vorgestellt wurde. Wesentliche Vorteile von TCIGES gegenüber anderen IGES-Prozessoren ist die wahlweise interaktive bzw. Batch-Betriebsweise, die Multiselektionsmöglichkeiten sowie die mathematische Umwandlung der Geometrieentitäten (Polynomsplines nach NURBS). In ANSYS werden alle Geometrieinformationen (K, L, A) in AUX15 eingelesen.

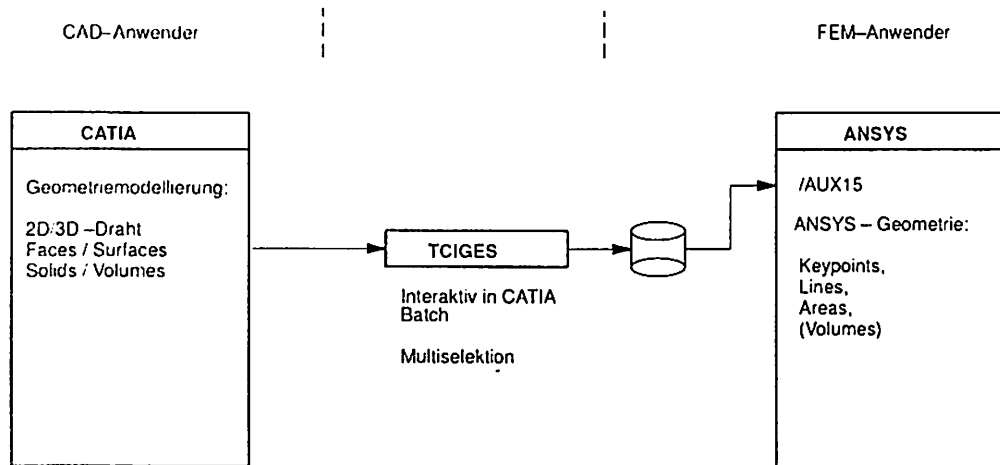


Abb. 2: Geometrieübertragung mittels TCIGES

#### Vorteile:

- ❑ Die Geometrie liegt im FE-System vor und es kann in ANSYS autark gearbeitet werden. Somit kann eine Neuvernetzung (evtl. adaptiv) stattfinden und es können Änderungen am Geometriemodell vorgenommen, sowie Lasten, Randbedingungen und Properties geometriebezogen definiert werden. Bei der Vernetzung führt ANSYS das Elementchecking automatisch durch.

#### Nachteile:

- ❑ Bei Geometrieübertragung können Datenverluste auftreten, da es sich um eine komplexe Schnittstelle (Geometriedarstellung, verschiedene Toleranzen, etc.) handelt.
- ❑ Der Berechner ist auf die übertragene CATIA-Geometrie festgelegt und falls eine Geometriemodifizierung notwendig ist, die durch den Funktionsumfang von ANSYS nicht abgedeckt werden kann, ist ein erneuter Datentransfer notwendig.
- ❑ Es ist keine Parametrisierung der übertragenen Geometrie mehr möglich.

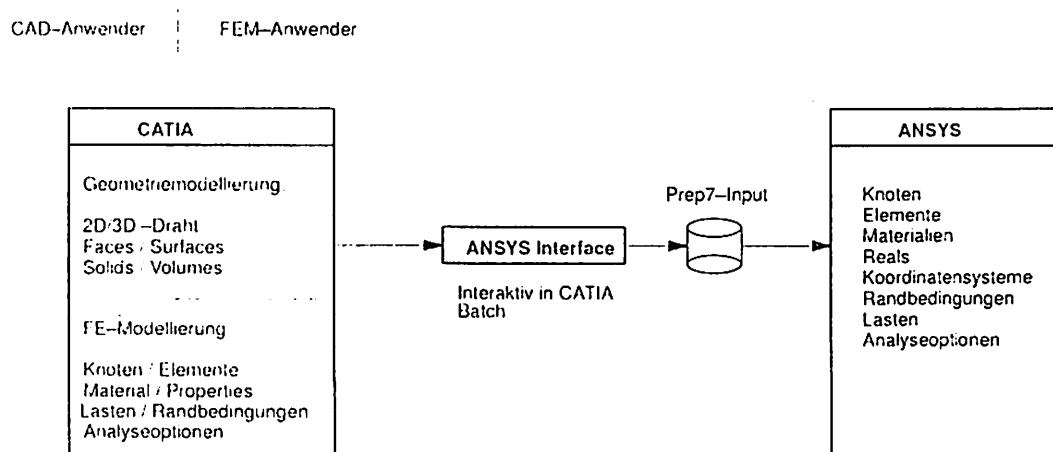


Abb. 3: FEM-Schnittstelle CATIA-ANSYS

### Weg 2: FEM-Schnittstelle CATIA-ANSYS (Abb. 3)

Im Gegensatz zu Weg 1 findet hier sowohl die Geometrieaufbereitung evtl. notwendige Änderungen, als auch das gesamte Preprocessing zur Erstellung des FE-Modells in CATIA statt. Der *Finite Element Modeler* ermöglicht hierbei die Vernetzung von Flächen- und Solidstrukturen, das Aufsetzen der Randbedingungen und Lasten, sowie die Definition der Materialparameter, physikalischen Eigenschaften (REAL-Konstanten) und Analyseoptionen. Das komplette FE-Modell kann anschließend in Form einer ASCII-Datei als PREP7-Input von einem CATIA-ANSYS-Interface herausgeschrieben werden.

#### Vorteile:

- ☐ Es existiert eine einheitliche CATIA-Datenbasis für die Geometrie und das FEM-Modell. Es ist ein paralleles Bearbeiten von CATIA-Geometrie und FEM-Entities möglich.
- ☐ Der Anwender arbeitet in einer einheitlichen Programmoberfläche und -logik.
- ☐ CATIA bietet im Preprocessing einige Funktionalitäten, die die Problematik, daß Konstruktions- und Berechnungsgeometrie verschieden sind, erheblich vereinfacht:
  - Vernetzen über mehrere Faces oder über Faceränder hinweg (Abb.5). Damit vereinfacht sich die Netzerstellung bei unsauberer Geometrie und Details können ohne Geometrieänderungen vernachlässigt werden (Abb. 6).
  - Nachträglicher Link von Knoten und Elementen zur Geometrie.
  - Die Solidvernetzung mit Tetraedern (OCTREE-Verfahren) ist sehr schnell und stabil und kann ohne weitere Modifikationen am Solid vornehmen zu müssen durchgeführt werden.
  - Nachträgliche Netzmodifikationen (node move, node project, element smooth) sind ohne Verlust der Assoziativität zur Geometrie möglich.
- ☐ Geringe Datenverluste da die Schnittstelle einfacher ist als in Weg 1.
- ☐ Parametrisierung des Solidmodells ist auch im nachhinein möglich.

#### Nachteile:

- ☐ In ANSYS liegt keine Geometrie mehr vor, es existieren nur noch FEM-Entities.
- ☐ Das Elementchecking visualisiert zwar schlecht geformte Elemente, die ANSYS nicht akzeptiert, jedoch sind Grenzwerte bei der Vernetzung nicht einstellbar.
- ☐ Da die ANSYS-Schnittstelle z.Zt. nur unidirektional arbeitet, muß das Postprocessing in ANSYS stattfinden.

### Weg 3: CAD-FEM-Kopplung mittels eines neutralen Preprocessors (Abb. 4):

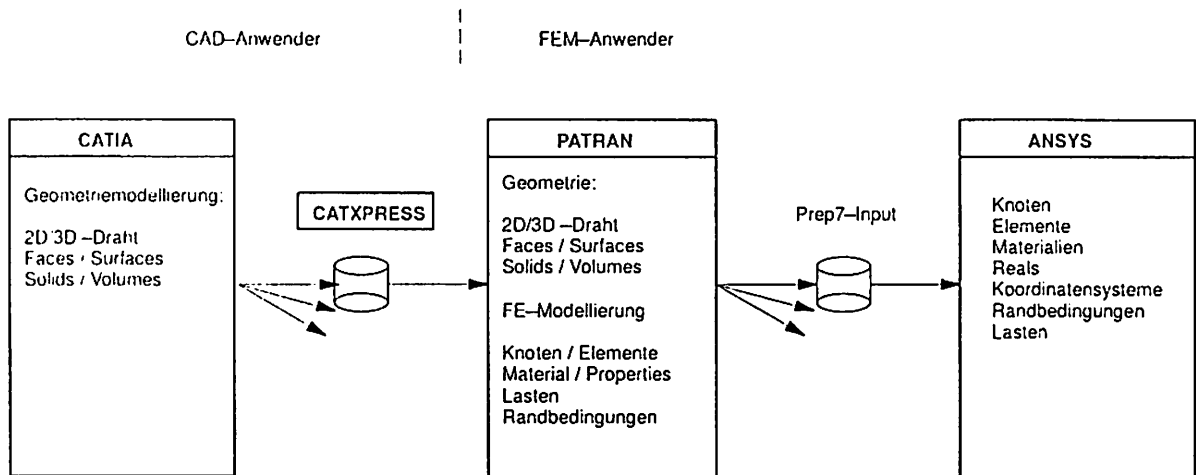
Der Vollständigkeit halber soll eine dritte Möglichkeit des Datenaustausches betrachtet werden: CATIA für die Geometrieerzeugung, ein allgemeiner Preprocessor (PATRAN) für die Vernetzung und ANSYS für die Berechnung. Um den Datenaustausch zwischen diesen drei Programmsystemen zu gewährleisten, sind entsprechend zwei Schnittstellen nötig. Das CATIA-Interface CATXPRES zur Geometrieübergabe an PATRAN und ein FEM-Interface zur Übergabe der FEM-Entities.

#### Vorteile:

- ☐ Die verschiedenen Werkzeuge bieten manche zusätzliche Funktionalitäten. Mehr Fremdformate sind lesbar und mehr Fremdsysteme bedienbar.

#### Nachteile:

- ☐ Anzahl der Schnittstellen steigt, dadurch auch die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Datenübertragung.
- ☐ Das Ausnutzen der gesamten Programmfunktionalität der einzelnen Systeme ist fast nicht mehr möglich. Erhöhter Einarbeitungsaufwand und zusätzlicher Schulungsaufwand sind notwendig.
- ☐ Es existieren mehrere Ansprechpartner (SW-Häuser) und es entstehen Probleme mit den verschiedenen Programmupdates und des Abgleichs der Programmreleases aufeinander.



**Abb. 4:** CAD-FEM-Kopplung mittels eines neutralen Preprocessors

## Beispiele

Beispiele für die Anwendung von TCIGES zeigen die Abb. 8 bis 11.

Im ersten Fall lag die Geometrie des Bauteils (einer Duschkopfhalterung) als Solid in CATIA vor (Abb. 8). Die Funktionalität des CAD-Systems wurde genutzt um nicht berechnungsrelevante Ausrundungen herauszunehmen und aus den Außenflächen Mittelflächen abzuleiten. Im Hinblick auf die Vernetzung wurden diese außerdem noch mehrfach unterteilt. Die Übertragung zu ANSYS erfolgte mittels TCIGES. Sämtliche Faces konnten ohne Datenverlust übertragen werden (Abb. 9). Die Vernetzung und auch spätere Änderungen an Geometriedetails und Netz erfolgten dann in ANSYS.

Im zweiten Fall handelte es sich um die Modellierung mehrerer Einzelkomponenten in einem Waschaggregat. Da das dynamische Verhalten des Gesamttaggregats untersucht werden sollte, konnten die Komponenten nicht im Detail abgebildet werden, sondern mußten verschiedene Vereinfachungen und Idealisierungen vorgenommen werden. Die Geometrie der Struktur lag in Form von 2D-Zeichnungsdaten vor (Abb. 10). In diesem Fall wurde die Funktionalität des CAD-Systems dazu genutzt aus den vorhandenen Daten die erforderliche Draht- und Flächegeometrie lagegerecht zu erzeugen. Diese Basisgeometrie sowie Lagerungs- und Verbindungspunkte wurden mit TCIGES zu ANSYS übertragen. Die weitere Geometriemodellierung erfolgte parametrisiert in ANSYS (Rotieren und Extrudieren von Randkurven zu Flächen). Abb. 11 zeigt das komplette FEM-Berechnungsmodell.

Ein Beispiel für den Weg 2 zeigt die Abb. 12. Es handelt sich um den Boden eines Laugenbehälters einer Waschmaschine. Die Geometrie lag in Form von Flächendaten (355 Faces) vor. Diese konnten zwar mit TCIGES komplett übertragen werden, jedoch traten mehrere, für die Vernetzung problematische Stellen mit kleinen Linien auf. Die Vernetzung in ANSYS hätte hier ein viel zu feines Netz ergeben. Durch die Möglichkeit in CATIA über mehrere Faces hinweg zu vernetzen ergab sich ein deutlicher Zeitvorteil für ein Preprocessing im CAD-System.

Ein weiteres Beispiel ist das Solidmodell aus Abb. 13. Um an ein anderes Bauteil angeschlossen werden zu können, durfte das Bauteil nicht frei mit Tetraedern vernetzt werden. Es wurden deshalb alle Faces parallel zur xy-Ebene in eine Ebene projiziert und miteinander verschnitten (Abb. 14). Die Faces wurden einzeln in CATIA mit ebenen Elementen vernetzt. Aus dem ebenen Netz wurde über Projektion ein Hexaedernetz erzeugt (Abb. 15). Diese Methodik wäre auch in ANSYS möglich gewesen, jedoch ergaben sich beim Extrahieren und Verschneiden der Faces deutliche Zeitvorteile für das CAD-System.

## Fazit

Alle hier vorgestellten Wege haben Vor- und Nachteile. Welcher für die jeweilige Aufgabenstellung der schnellste und ideale ist muß in Abhängigkeit der vorhandenen Daten abgeschätzt werden. Zur Wahl eines Weges geht man sinnvollerweise rückwärts vor:

- welche Ergebnisse/Aussagen benötigt man?
- wie sieht das zugehörige FE-Modell aus?
- welche Geometriedaten benötigt man dafür?
- wie bekommt man diese aus den vorhandenen Konstruktionsdaten?

Außerdem kommen neben den rein technischen Gesichtspunkten weitere organisatorische, wie z.B. getrennte Konstruktions- und Berechnungsabteilung, in der Beurteilung hinzu.

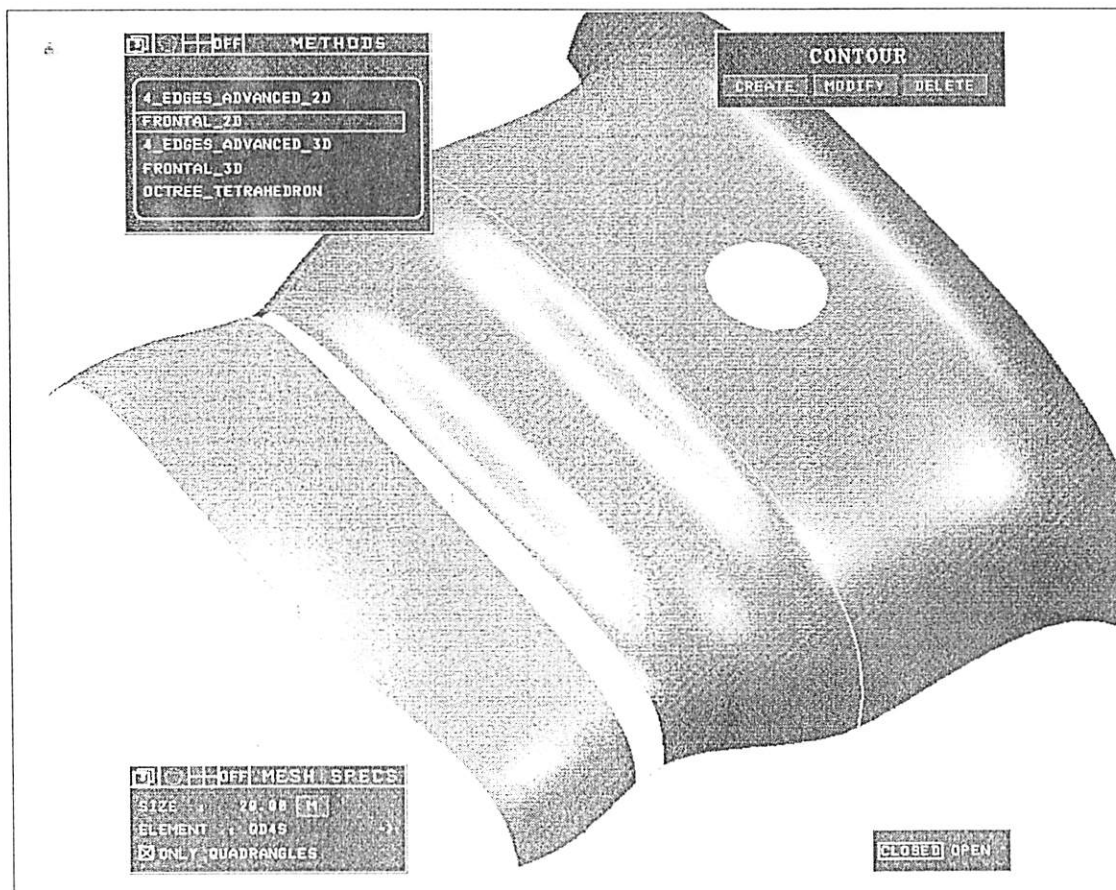


Abb. 5: Lücke zwischen Faces

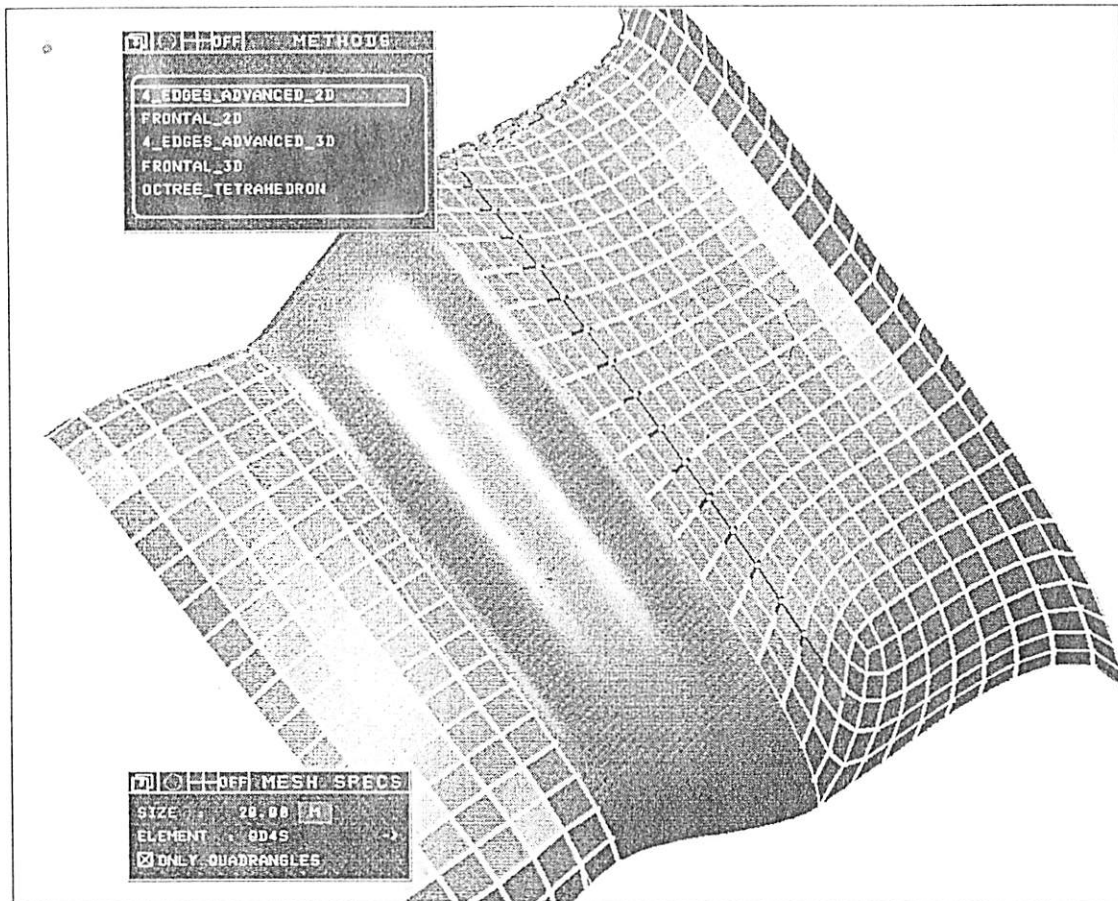


Abb. 6: Vernetzung "unsauberer" Geometrie, Vernachlässigung von Details

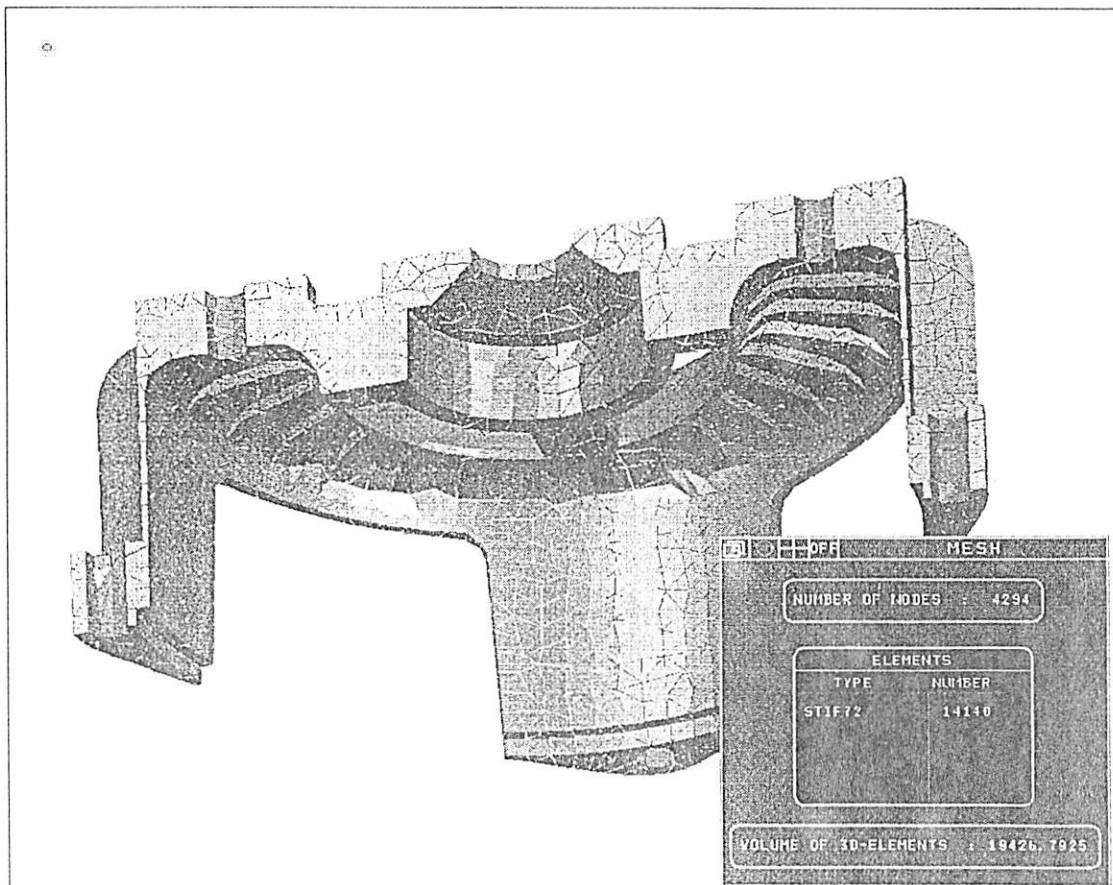


Abb. 7: Tetraedervernetzung eines komplexen Solids

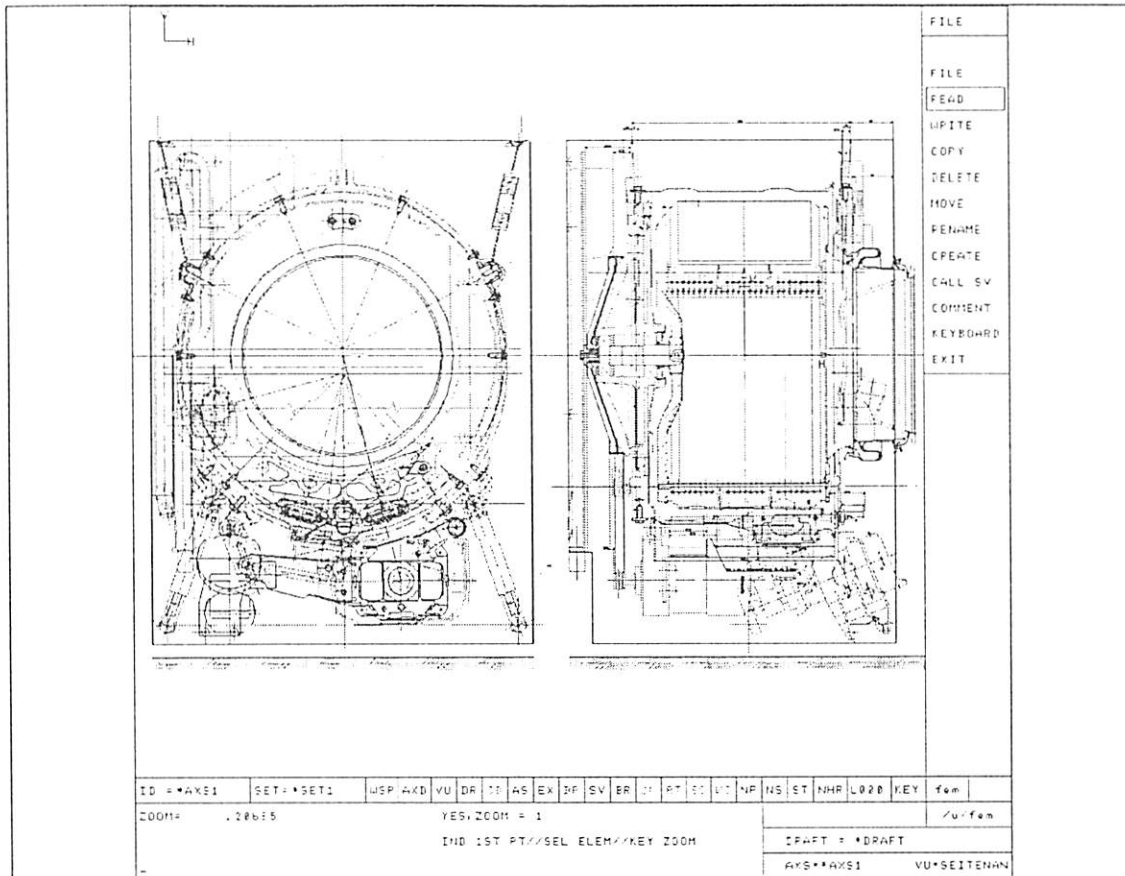


Abb. 10: 2D-Zeichnungsdaten eines Waschaggregates

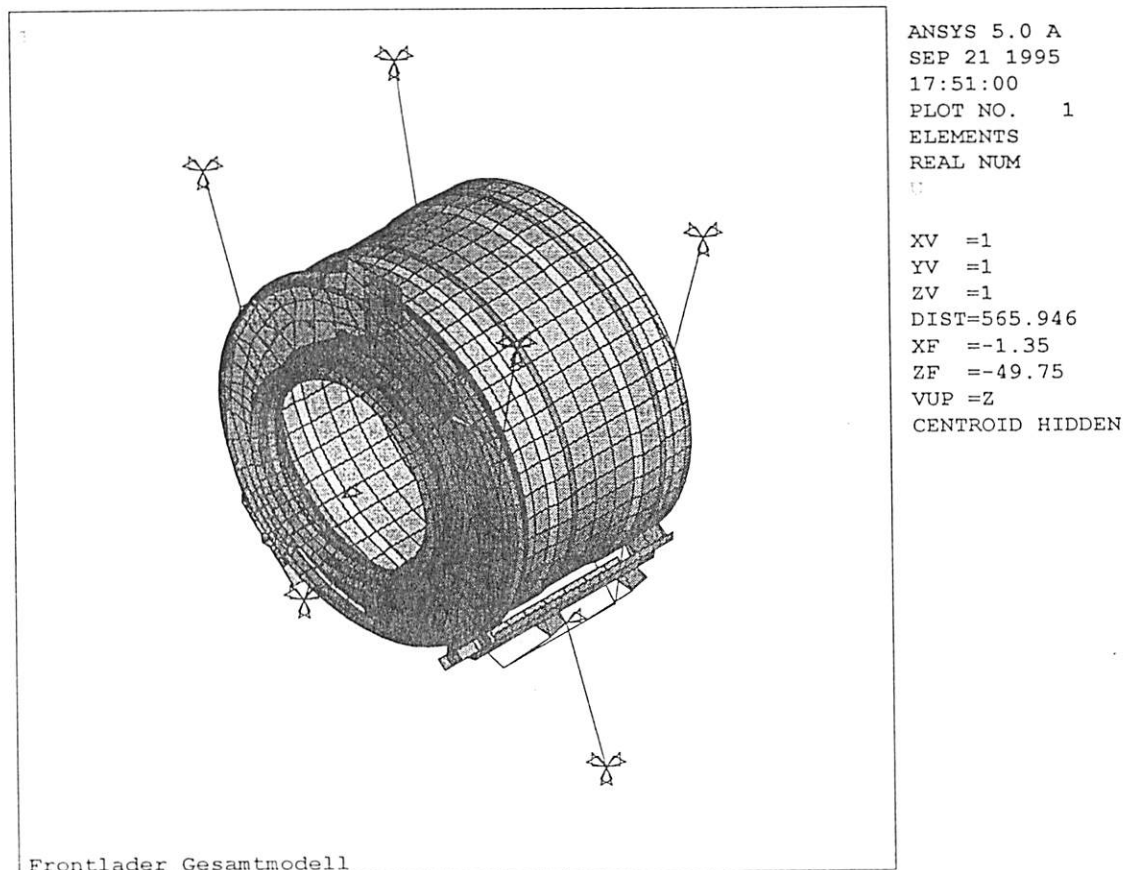
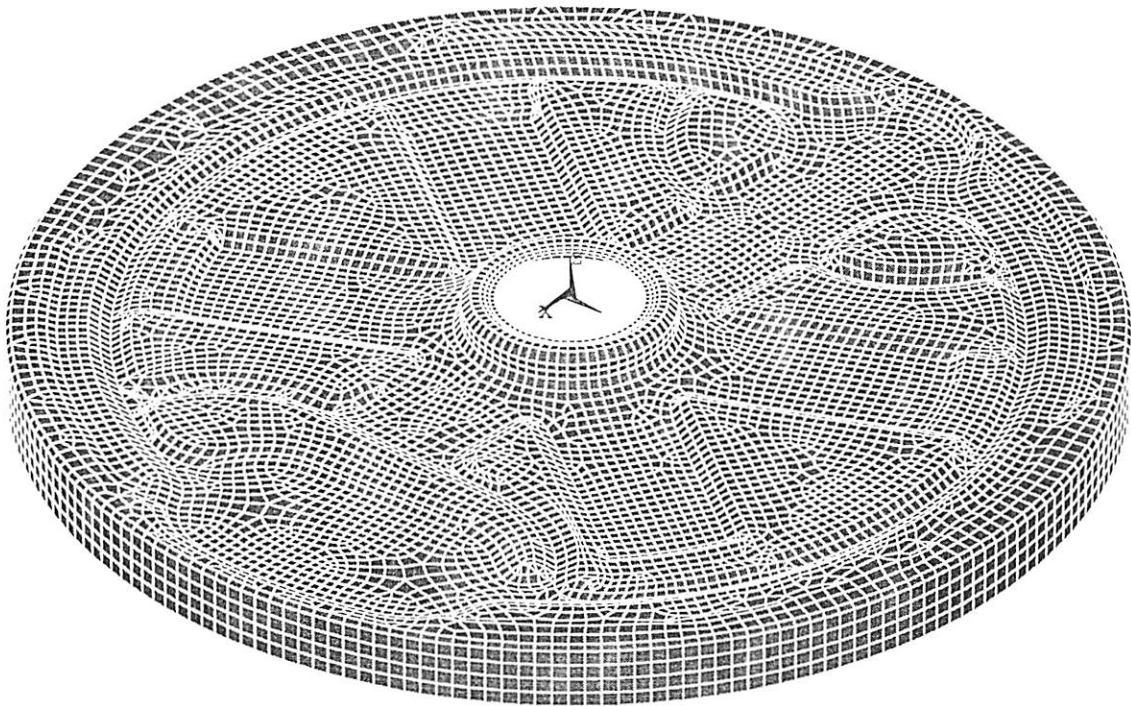


Abb. 11: FEM-Berechnungsmodell eines Waschaggregates



ANSYS 5.0A



Laugenbehälterboden, Netz aus CATIA

Abb. 12: FE-Netz eines Laugenbehälterbodens erstellt in CATIA

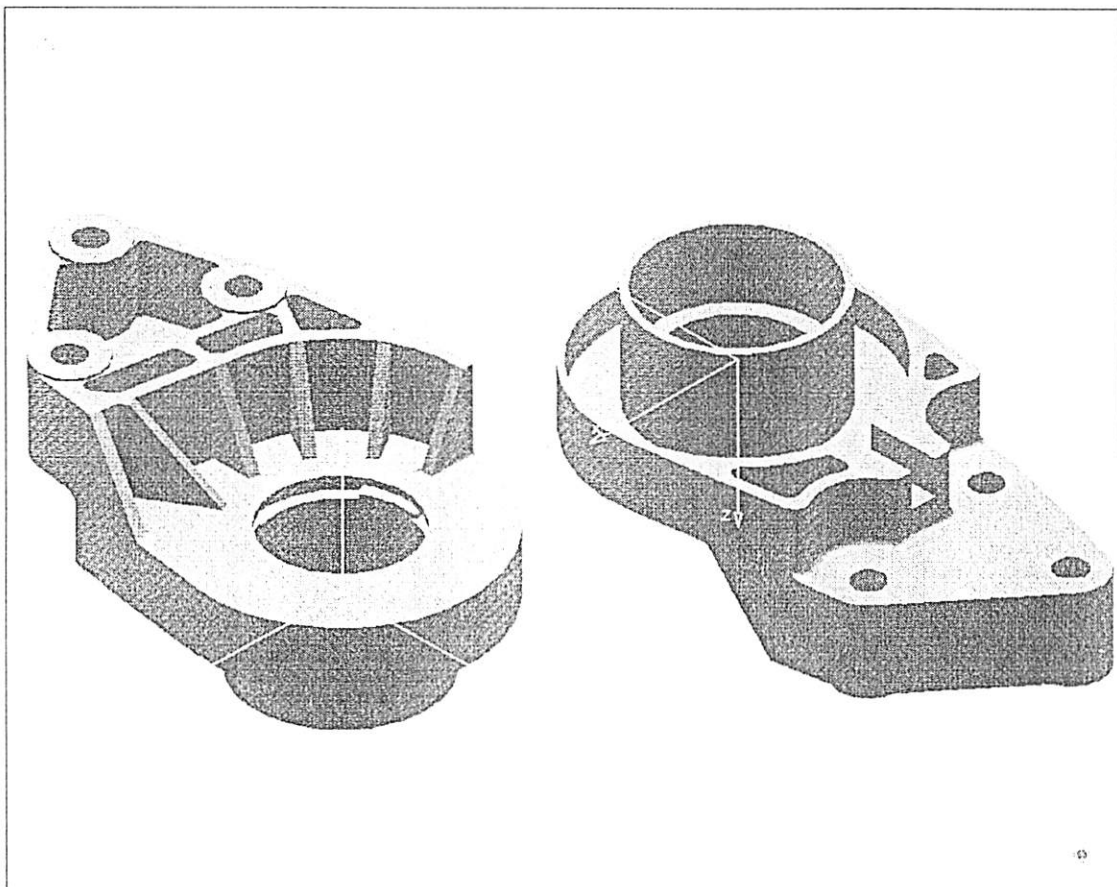


Abb. 13: Komplexes Solid aus CATIA

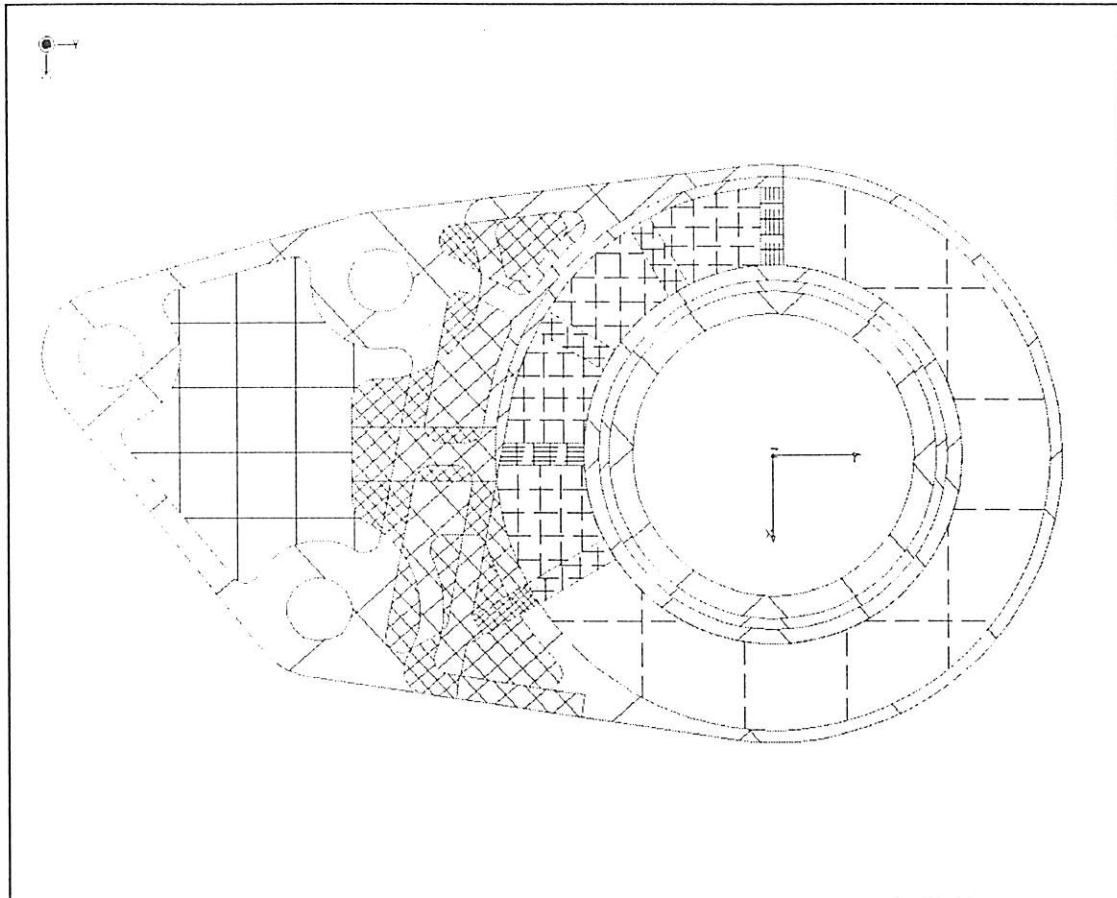


Abb. 14: Projizierte und verschnittene Faces

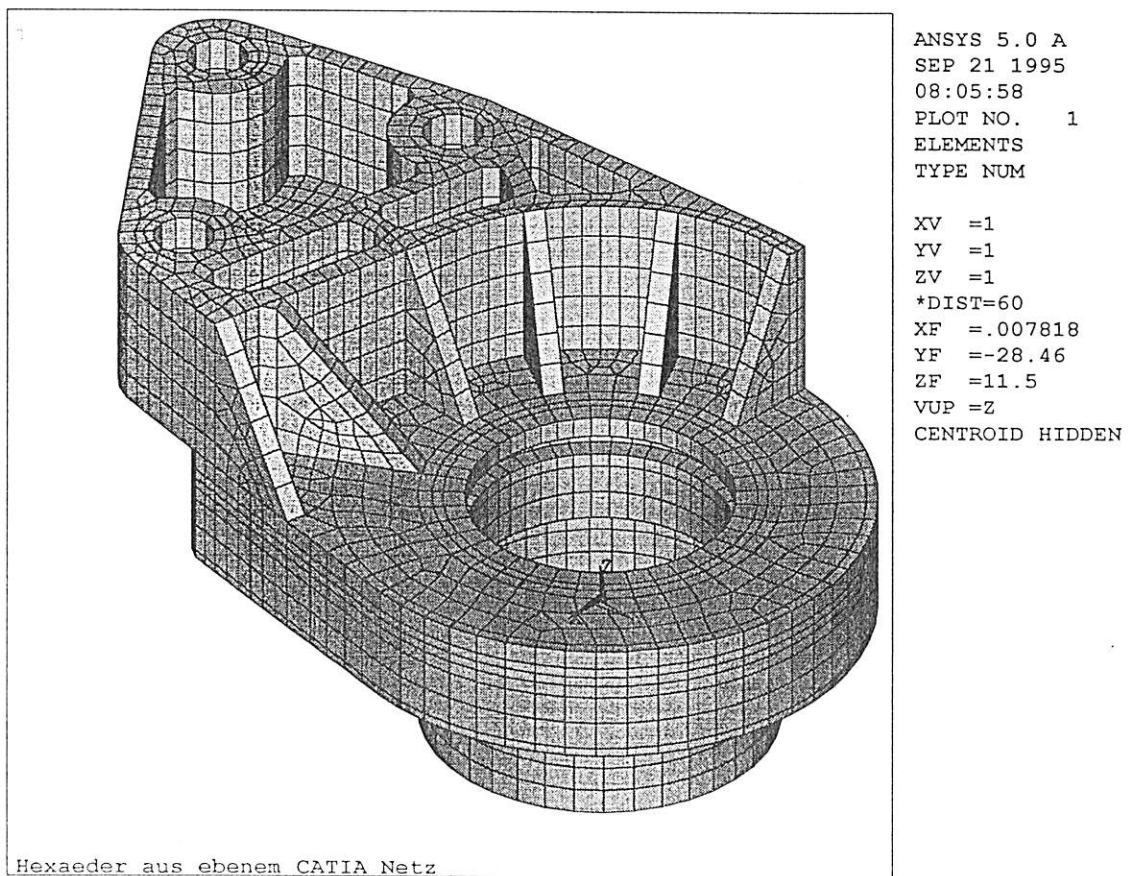


Abb. 15: Hexaedernetz aus ebenem CATIA-Netz