

Stefan Schmidt

**Zeichnungslose  $2^{1/2}$ D-Programmierung auf  
Basis von 3D-Volumendaten**



**Diplomarbeit**

**März 2002**



# **Zeichnungslose 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung auf Basis von 3D-Volumendaten**

Vom Fachbereich Maschinenbau, Mikrotechnik, Optronik  
der  
**Fachhochschule Giessen-Friedberg**  
zum Erlangen des Grades eines Diplomingenieurs (Dipl. Ing. (FH))  
genehmigte

## **Diplomarbeit**

vorgelegt von

**Stefan Schmidt**  
Sellbachsweg 11  
35236 Niederdieten

Referent: Prof. Dr.-Ing. Klaus Schier

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Hermann W. Kurth

Professoren an der  
Fachhochschule Giessen-Friedberg

Januar 2002 – März 2002

## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbst verfasst habe. Zur Erstellung wurden keine anderen als die im Anhang aufgeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt.

**Niederdieten, den 26.03.2002**

---

## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand in Zusammenarbeit mit der Firma Zimmermann in Gladenbach-Erdhausen.

Ich möchte mich besonders bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Schier, der seitens der FH Giessen-Friedberg diese Diplomarbeit betreute, für die gute Betreuung am Arbeitsplatz bedanken.

Des weiteren gilt mein Dank Herren Christopf Rupp und Udo Becker, für ihre hilfreiche und stets tatkräftige Unterstützung seitens der Firma Zimmermann.

Vor allem danke ich meiner Frau, die mich während meiner gesamten Studienzeit in jeglicher Hinsicht unterstützt hat mir so das Studium ermöglichte.

Schließlich danke ich allen Mitarbeitern der Abteilungen CAD/CAM für deren kollegiale Hilfsbereitschaft.

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabenstellung	2
1.2	Aufbau der Arbeit	2
1.3	Einführung in die Thematik 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> D-Programmierung	3
<b>2</b>	<b>Analyse der bestehenden CAx-Struktur und deren Arbeitsweise</b>	<b>5</b>
2.1	CAD-Abteilung	5
2.1.1	CATIA	5
2.1.2	Unigraphics	6
2.2	CAM-Abteilung	7
2.2.1	Work-NC	7
2.2.2	RTM-Pfleghar	8
2.3	Ablauforganisation	9
2.3.1	CAD-Abteilung	9
2.3.2	GIGASTORE Server	14
2.3.3	CAM-Abteilung	15
2.3.4	RTM-Pfleghar	15
2.3.5	Work NC	19
2.3.6	Maschinenfertigung	23
2.4	Fehleranalyse	23
2.4.1	Zeichnungserstellung	23
2.4.2	Konstruktion von Normteilen	24
2.4.3	Maschinenbediener	24
2.5	Fazit	25
<b>3</b>	<b>Einführung in die 3D-Volumendaten-Programmierung</b>	<b>27</b>
3.1	Analyse der Feature-Technologie Möglichkeiten in den bestehenden CAD/CAM-Systemen	30
3.1.1	CATIA V4	30
3.1.2	Unigraphics	31
3.1.3	Work-NC	32
3.1.4	RTM-Pfleghar	32
3.2	Auswertung	33
3.3	Gegenüberstellung der beiden Normaliensysteme	36
3.3.1	CADBAS	36
3.3.2	CADENAS	37
3.3.3	Entscheidung	37
<b>4</b>	<b>CADENAS Normalien-System</b>	<b>39</b>
4.1	PARTdeveloper-Modul	40
4.1.1	PARTdesigner	40
4.1.2	PARTeditor	40
4.1.3	PARTprojekt	41

---

4.1.4	PARTconfigurator .....	42
4.2	PARTsolutions-Modul .....	42
4.2.1	PARTviewer .....	43
4.2.2	PARTassembly Viewer .....	44
4.2.3	PARTconnection .....	46
4.2.4	PARTshaft .....	47
4.3	Verarbeitung der Bohrtabelle .....	48
4.4	Vorstellung der zukünftige Systemstruktur .....	53
4.4.1	Neue Ablauf in der CAD-Abteilung .....	53
4.4.2	Neuer Ablauf in der CAM-Abteilung .....	54
<b>5</b>	<b>Strukturierte Analyse für die neue 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Software .....</b>	<b>56</b>
5.1	Vorstellung der verschiedenen Anbieter .....	57
5.1.1	CATIA V5 NC .....	57
5.1.2	Cimatron-NC .....	58
5.1.3	OPEN-MIND .....	59
5.1.4	TEBIS .....	60
5.1.5	Unigraphics .....	61
5.2	Auswahlkriterien für die 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> D-Programmiersoftware .....	62
5.2.1	Anforderungen .....	63
5.2.2	Vielseitigkeit .....	64
5.2.3	Leistungsfähigkeit .....	65
5.2.4	Handhabung .....	66
5.2.5	Kosten .....	66
5.2.6	Benchmark Tabelle .....	67
5.3	Auswertung der Benchmark-Tabelle .....	70
5.4	Entscheidung .....	72
5.5	Implementierung .....	73
<b>6</b>	<b>Neue Systemstruktur und deren Arbeitsweise .....</b>	<b>75</b>
6.1	CAD-Abteilung .....	75
6.2	CAM-Abteilung .....	80
6.3	Maschinenabteilung .....	85
<b>7</b>	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>A</b>
8.1	Abbildungsverzeichnis .....	A
8.2	Abkürzungsverzeichnis .....	C
8.3	Literaturverzeichnis .....	E
8.4	Hilfsmittelverzeichnis .....	F
8.5	Inhaltsverzeichnis CD .....	G

# 1 Einleitung

Mit der Gründung eines Unternehmens, das sich mit der Fabrikation von Gips-, Blei- und Bronzemedellen für die Heiz- und Kochgeräteindustrie befasste, legte Josef Zimmermann im Jahre 1886 den Grundstein für das heutige Unternehmen.

Aus dieser Idee des Gründers hat sich die heutige Unternehmensgruppe :

Zimmermann – Formenbau

Modellbau – Zimmermann

mit breit gefächertem, hochwertigem Programm entwickelt.

Im Jahr 1998 wurde das Familienunternehmen von der niederländischen Unternehmensgruppe REGGEBORGH übernommen.

Seit 1960 fertigt das Unternehmen Zimmermann Formenbau GmbH Formen für die Kunststoffverarbeitung:

Spritzgiessformen

Pressformen für GMT- und SMC-Verfahren

Schäumformen

Tiefziehformen

Zimmermann Formanbau GmbH ist ein weltweiter Partner der Automobilindustrie und deren Zulieferanten für die Lieferung von Werkzeugkomplettsystemen.

In der Herstellung von Werkzeugen in den verschiedenen Sparten mit Werkzeuggewichten von bis zu 200 Tonnen, hat die Firma Zimmermann eine in der Welt führende Position. Zum weiteren Produktspektrum gehören Serien- und Prototypenwerkzeuge aus Materialien wie Stahl und Aluminium.

Typische Anwendungsbeispiele sind Stoßfängerverkleidungen, Instrumententräger, Frontends und andere großflächige Karosserieteile (Interieur und Exterieur).

Neben der Herstellung von Großwerkzeugen übernimmt die Firma Zimmermann auch Aufträge für die Lieferung kompletter Werkzeugsysteme. Hierbei wird mit dem vorhandenen Spezial-Know-how das Projekt koordiniert und die verschiedenen Baugruppen unter einer Gesamtverantwortung aufeinander abgestimmt. Auch die Reparatur und Wartung der Werkzeuge wird von der Firma Zimmermann übernommen. Für die Erprobung der Kundenwerkzeuge bis zur

Serienreife, stehen Spritzgussmaschinen mit einer Schließkraft von bis zu 4000 Tonnen zur Verfügung.

Zur Erstellung dieser komplexen Formen steht eine Konstruktionsabteilung mit etwa 30 Konstrukteuren zur Verfügung, die je zur Hälfte an zwei verschiedenen CAD-Systemen arbeiten. Die Konstrukteure entwickeln kontinuierlich Innovationen um die Kundenwünsche möglichst schnell und zur vollsten Zufriedenheit zu erledigen und um das Know-how ständig zu erweitern.

## **1.1 Aufgabenstellung**

Der Schwerpunkt dieser Diplomarbeit liegt darin, dass die Firma Zimmermann in die zeichnungslose Maschinenfertigung einsteigen möchte. Es soll in Zukunft möglich sein, direkt aus dem 3D-Solidmodell bzw. Flächenmodell, NC-Programme für die Fertigung aller 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Bearbeitungen zu erstellen.

Somit ergibt sich:

### **Zeichnungslose 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung auf Basis von 3D-Volumendaten**

## **1.2 Aufbau der Arbeit**

Der Aufbau der Arbeit gliedert sich wie folgt:

### **Kapitel 2: Analyse der bestehenden CAx-Struktur und deren Arbeitsweise**

Enthält eine Bestandsaufnahme der vorhandenen Systeme sowohl im CAD- als auch im CAM-Bereich einschließlich deren Arbeitsweisen.

### **Kapitel 3: Einführung in die 3D-Volumendaten-Programmierung**

Umfasst die Analyse der Möglichkeiten, sowie die Auswertung und Entscheidung für eine neue Software.

### **Kapitel 4: CADENAS Normalien-System**

Beinhaltet die Beschreibung Arbeitsweise und Funktionen der neuen Software für den CAD-Bereich.

**Kapitel 5: Strukturierte Analyse für die neue 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Software**

In diesem Kapitel anhand einer Benchmarktabelle wird eine neue Software ausgewählt und eingeführt.

**Kapitel 6: Neue Systemstruktur und deren Arbeitsweise**

Enthält die Vorstellung des Lösungskonzeptes sowie die Beweisführung anhand eines Testes

**Kapitel 7: Schlussbetrachtung**

Beinhaltet ein abschließendes Resümee der Arbeit

**Kapitel 8: Anhang****1.3 Einführung in die Thematik 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung**

Um sich in einem immer stärker herausfordernden Marktumfeld und den allseits bekannten terminlichen und qualitativen Anforderungen, die auf einen Produktentwicklungsprozess wirken weiterhin erfolgreich zu behaupten, muss Zimmermann Formenbau mit der Anpassung der organisatorischen Strukturen im Hinblick auf kürzere Durchlaufzeiten und Kostenreduzierung bei gleichbleibend hoher Qualität reagieren. Zur Erreichung dieser Zielsetzung ist eine geschlossene digitale Prozesskette von der Konstruktion bis zur NC-Fertigung mit weitestgehender Automatisierung der Prozesse unbedingte Voraussetzung. Im Hinblick auf die im Formenbau enorm große Anzahl von Bohrungsarten und Taschen bzw. Aussparungen, im Folgenden Gesenke genannt, ist es daher unumgänglich eine Optimierung der NC-Programmierung durchzuführen.

Die komplette Durchgängigkeit der Prozesskette bezüglich des CAD/CAM-Einsatzes reduziert sich nach einer kritischen Betrachtung auf die 3D-Bearbeitung. Bei der Bearbeitung prismatischer Geometrien (2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Bearbeitung), ist das jedoch selten der Fall. Unter den Oberbegriff 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung bzw. prismatische Teilefertigung fallen alle Bearbeitungen von Bohrungen und Taschen (Gesenken). Zwar werden einzelne Bohrungen und Fräsoperationen ebenfalls interaktiv im CAD/CAM-System programmiert, jedoch trifft dies nur auf Bruchteile der gesamten

---

Fertigung zu. Die zur Zeit durchgeführte manuelle Programmierung der 2<sup>1/2</sup>D-Bearbeitung durch den Bediener an der Maschine, ist nicht mehr zeitgemäß und bietet keine durchgehende Prozesssicherheit. Aus den oben genannten Gründen entsteht nun die Anforderung gegenüber dem System, dass eine Programmierung aus dem Volumenmodell (Solidmodell) realisiert werden soll.

Die Ziele einer 2<sup>1/2</sup>D-Programmierung direkt aus dem Volumenmodell sind:

- Zeichnungslose Fertigung bei gleichzeitiger Erhaltung der Prozesssicherheit.
- Versorgung aller Maschinenbediener mit relevanten Informationen.
- Erhöhung der Produktivität und Verringerung der Stillstandszeiten von Maschinen.
- Verringerung der Durchlaufzeiten und die daraus resultierende Reduzierung der Kosten.
- Sicherung einer konstanten, definierten Produktqualität unter Berücksichtigung optimaler Kostenkalkulation.

Um die oben erwähnten Ziele zu erreichen, ist zunächst die aktuelle Ablaufstruktur der CAx-Systeme sowie deren Arbeitsweise festzustellen.

## 2 Analyse der bestehenden CAx-Struktur und deren Arbeitsweise

Aufgrund der gegebenen Aufgabenstellung, eine automatisierte bzw. halbautomatisierte 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung einzuführen, muss der erste Schritt eine Bestandsaufnahme der Systemstruktur und deren Möglichkeiten sein. Dazu wird in diesem Kapitel zuerst ein Überblick über die vorhandenen CAx-Systeme und deren Funktion in den einzelnen Abteilungen gegeben. Im nachfolgenden Schritt wird die Ablaufstruktur bzw. Arbeitsweise und das Zusammenspiel des Systems innerhalb einer jeden Abteilung verdeutlicht.

### 2.1 CAD-Abteilung

Innerhalb der CAD-Abteilung sind derzeit drei verschiedene CAD-Systeme im Einsatz. Im Bereich der 3D-Konstruktion wird mit der Software Unigraphics V16 (UG) und CATIA V4.22 gearbeitet. In beiden Systemen wird der aktuellste Softwarestand genutzt. Mit beiden Systemen werden hauptsächlich die 3D-Konstruktionen für die Werkzeuge durchgeführt. Im Gesamten sind in der Konstruktionsabteilung 30 CAD-Arbeitsplätze vorhanden, die sich je ca. zur Hälfte auf oben genannte Systeme aufteilen.

Als weiteres CAD-System setzt die Firma Zimmermann zur Zeit drei AutoCAD-Arbeitsplätze ein. Auf diesem System wird ausschließlich im 2D-Bereich die sowohl hauseigene- als auch Kundennorm erstellt und auf dem aktuellsten Stand gehalten. Gleichzeitig wird die Erstellung von Hydraulikplänen, Heißkanalzeichnungen und Werkzeugbeschriftungen durchgeführt. Die angesprochene hauseigene Norm umfasst momentan einen Bestand von mehreren tausend Teilen.

#### 2.1.1 CATIA

CATIA (**C**omputer **A**ided **T**hree-Dimensional **I**nteractive **A**pplication) ist eine Software Entwicklung der Firma Dassault Systems und IBM. Im CAD-Bereich deckt CATIA V4 Solutions eine Vielzahl von Anwendungsgebieten ab.

Dementsprechend umfangreich sind die Funktionen, die dem Anwender zur Verfügung stehen.

Die Software CATIA V4 ist ein Festkörpermodellierer, ein sogenannter Solid-Designer. Die Konstruktion wird aus vorhandenen oder neu zu fertigenden Teilen zusammengesetzt und durch Hinzufügen oder Abtragen von Material vervollständigt. Somit simuliert die Festkörpermodellierung in weiten Teilen die Fertigung; es wird gefräst, gebohrt, oder aufgeschweißt. Das bedeutet, dass der Konstrukteur bereits am Bildschirm die Fertigung des Teils vor Augen haben muss.

In CATIA V4 besteht die Möglichkeit in einem sogenannten Sketcher (Skizzierer) zu arbeiten, die jedoch von den Konstrukteuren nur selten genutzt wird. Die Bedienung und die Arbeitsweise der CATIA V4 Software hat den Vorteil, dass eine nachträgliche Abänderung von Daten ohne großen Aufwand erfolgen kann, da während der Konstruktion einzelnen Bauteile eine Parametrik erhalten. Im Solid Bereich ist die CATIA V4 um ein vielfaches stärker im direkten Vergleich zu Unigraphics. [2]

### **2.1.2 Unigraphics**

Unigraphics steht für eine Mechanical Engineering Software, die in den letzten 25 Jahren von einer großen Benutzerzahl eingesetzt wurde und derzeit noch wird. Es handelt sich mit seinen heutigen vielfältigen Möglichkeiten dabei weniger um eine Geometrieerstellungsoftware, als vielmehr um ein Produktmodellierungssystem.

Das CAD-Modul, die Basis aller weiteren nachfolgenden geometrieabhängigen Applikationen, ermöglicht durch einen Hybrid-Modeler eine flexible Arbeitsweise. Dieser Hybrid-Modeler unterstützt gleichzeitig verschiedene Designtechniken, wie z.B. 3D-Draht, Freiformkurven, Oberflächen, Volumenkörper und Formelemente. Weiterhin besteht die Möglichkeit der Teil- oder Vollparametrisierung, auch im Volumenbereich. Im Sketcher-Bereich existiert ein Skizzierwerkzeug für voll- oder teilparametrisierte 3D-Skizzen.

Das Volumenmodell UG Solid unterstützt eine Anzahl von Methoden, um einen Körper zu erstellen. Mit diesem Modul können Körper durch Extrusion oder

Rotation von Werkzeugprofilen sowie durch Boolesche Verknüpfungen von analytischen Grundkörpern wie Kegeln, Zylinder, Quader, Tori, Prismen und Flächen erstellt werden. Weiterhin können Körper durch Hinzufügen von Details wie Taschen, Nuten, Bohrungen, Rundungen, Erhöhungen und Fasen manipuliert werden.[3]

## 2.2 CAM-Abteilung

In der CAM-Abteilung wird zur Zeit mit zwei Softwaresystemen gearbeitet. Für die Programmierung der Flächen bzw. Freiformflächen wird mit dem im Formenbau am häufigsten verwendeten System Work-NC der Firma Sescoi gearbeitet. Mit diesem System werden sämtliche für die Fertigung benötigten NC-Programme erstellt. Hier stehen für die gesamte Programmierung 11 Lizenzen zur Verfügung mit denen an 4 Arbeitsplätzen gearbeitet wird.

Neben dem Work-NC-System wird die Software "RTM" (*Real-Time Machining*) der Firma Lemoine Pflegar eingesetzt. Der Einsatzbereich dieser Software ist schwerpunktmäßig zur Erstellung sämtlicher für die Firma Zimmermann benötigten Kupfer- und Graphitelektroden im Gebrauch.

### 2.2.1 Work-NC

Work-NC ist eine Software zur automatischen Erstellung von NC-Werkzeugwegen für alle CAD-Flächen und Volumenmodelle. Die Flächen- und Volumendaten aus nahezu allen CAD/CAM Systemen können über die gängigen Schnittstellen IGES und VDA von Work-NC übernommen werden. Darüber hinaus besitzt Work-NC eine Direktschnittstelle zu CATIA und Unigraphics. WORK-NC kann beliebig komplexe 3D-Teile, gleichgültig ob sie aus 100 oder 100.000 Flächen bestehen, schnell, effektiv und kollisionsfrei bearbeiten. Bei allen Bearbeitungsarten vermeidet die Software bereits vorhandene Bahnen zu bearbeiten. Work-NC fräst keine Luftbahnen, dadurch verkürzt sich die Bearbeitungszeit. Nahezu alle Frässtrategien können speziell für die HSC-Bearbeitung optimiert werden. Spezielle Strategien, wie z. B. spiralförmiges Schichten oder Schichten mit 3D-konstantem Bahnabstand, Höhenliniensichten und konturparallele

Restmaterialbearbeitung lassen sich natürlich auch optimal auf konventionellen Maschinen einsetzen.

### 2.2.2 RTM-Pfleghar

RTM-Pfleghar ist eine Software zur automatischen Erstellung von Elektroden. Diese Software wurde im vergangenen Jahr eingeführt um den Konstrukteur zu entlasten, da bis zu diesem Zeitpunkt auch die Konstruktion der Elektroden in der CAD-Abteilung durchgeführt wurde. Somit wurde durch deren Einsatz die Erstellung der Elektroden komplett in die CAM-Abteilung verlagert. Um dem Programmierer an der RTM-Software mitzuteilen in welchen Bereichen erodiert werden soll, markiert der Konstrukteur lediglich durch farbliche Schattierungen in dem Flächenmodell die Bereiche, in denen eine Elektrode benötigt wird und legt die Daten auf dem Server ab. Als Folge des Einsatzes von RTM-Pfleghar ist eine nicht unwesentliche Durchlaufzeitverkürzung zu verzeichnen, was wiederum eine Kostenersparnis von ca. 50-60% mit sich bringt.

Einen seiner größten Vorteile den das RTM-System bietet ist die Möglichkeit CAD-Files über eine Direktschnittstelle von den CAD-Systemen CATIA und Unigraphics einzulesen. Mit diesem RTM-System lassen sich sehr einfach Elektroden direkt aus dem Flächenmodell erzeugen.

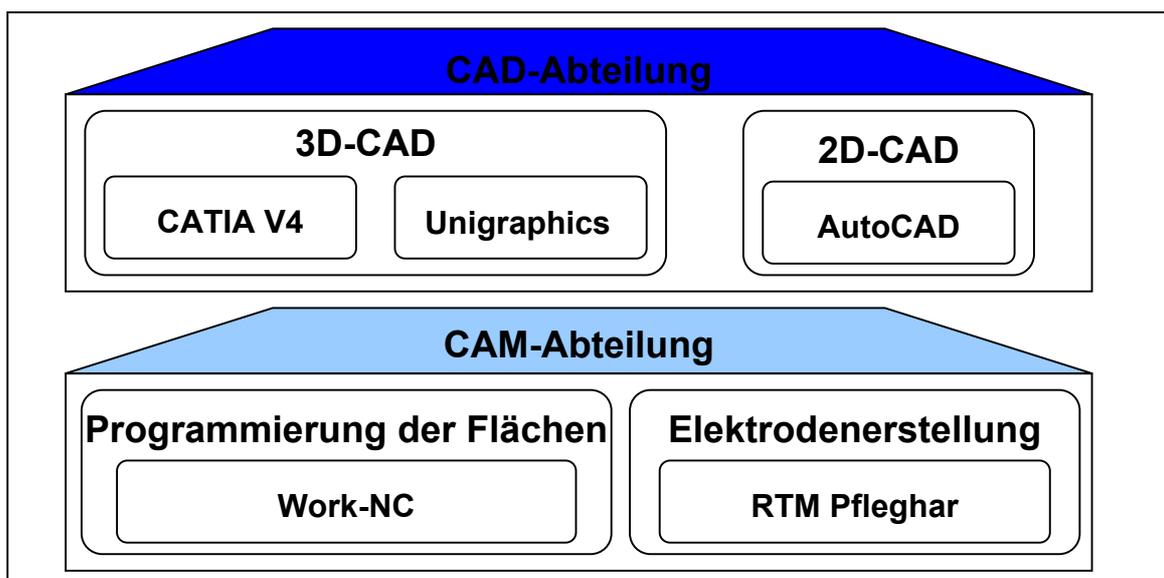


Bild 2.1.1 Übersicht der Systeme in den Abteilungen

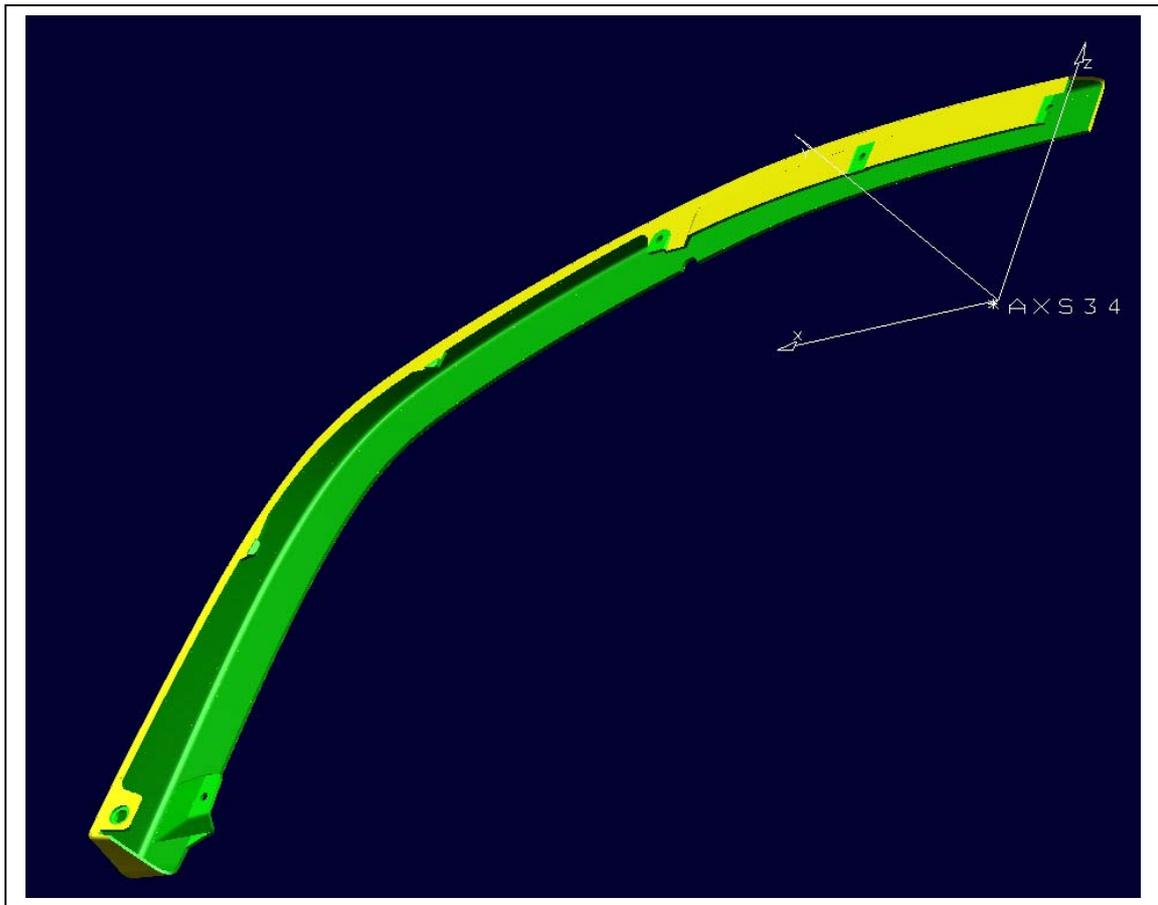
## 2.3 Ablauforganisation

### 2.3.1 CAD-Abteilung

Mit den Systemen CATIA V4 und Unigraphics wird der komplette Aufbau eines Werkzeuges im 3D-Bereich durchgeführt. Der grundsätzliche Ablauf für die Entwicklung eines neuen Werkzeuges ist im Grunde immer ähnlich.

Vom Kunden werden 3D-Soliddaten eines sogenannten Artikelmodells in den verschiedensten Formaten wie IGES, VDA, Step, DLV4 u.a. von dem zu fertigenden Artikel an den Dateneingang der Firma Zimmermann gesandt. Hier wird zunächst überprüft, ob die Daten brauchbar, d.h. lesbar sind. Wenn die Daten einwandfrei lesbar sind, werden diese unter einer neuen Kommissionsnummer abgelegt.

Der für die Erstellung, des neuen Werkzeuges zuständige Konstrukteur, prüft als nächstes die Nutzbarkeit der Daten auf ihre allgemeine Bearbeitbarkeit. In erster Linie werden alle Flächen auf ihre Vollständigkeit und eventuelle Lücken im Solid überprüft. Schneiden diese Tests positiv ab, wird eine Entformbarkeitsanalyse durchgeführt. Diese Analyse beinhaltet vor allen Dingen eine Überprüfung der Umsetzbarkeit der Vorstellung und Vorgaben des Kunden. Nach diesen beiden ersten Schritte, beginnt der Konstrukteur mit der Erstellung eines Konzeptes für das Werkzeug. Dieses Modell des Kunden ist die Grundlage für die Entstehung jedes neuen Werkzeuges. Um nicht gegen die Richtlinien der DIN-ISO-9000 zu verstoßen, muss eine Kopie der original Modelldaten erstellt werden. Dieses Vorgehen ist notwendig, da die original Daten des Kunden nicht verändert werden dürfen. Im Anschluss daran wird die Kopie der Modelldaten als ein Teil der gesamten Baugruppe eines Werkzeuges mit der Funktion Assemblies in die einzelnen Unterbaugruppen eingebunden. Im folgenden Bild ist ein Beispiel einer solchen original Kundendatei zu sehen.



**Bild 2.3.1.1. Artikelmodell in 3D-CAD**

Anhand des im Bild 2.3.1.1 dargestellten Artikels erstellt der Konstrukteur ein Werkzeugkonzept, das dem Kunden vorgestellt wird. Inhalt der Konzeptphase ist z.B. die Festlegung der Abmessungen des Werkzeuges der Schiebermechanik sowie die für die Funktionalität wichtige Kühlung. Nach der Freigabe des Konzeptes durch den Kunden, kann die endgültige Konstruktion beginnen. Um das Werkzeug zu konstruieren, stehen dem Konstrukteur Erfahrungswerte aus vorangegangenen Projekten zu Verfügung. Jedes Werkzeug ist jedoch von seinen Anforderungen an die spätere Funktionalität individuell und muss immer wieder neu kundenspezifisch angepasst werden. Ein Großteil der benötigten Werkzeugbauteile, z.B. Distanzleisten, obere und untere Aufspannplatte, Auswerferplatte, Teile der Schiebermechanik, Vorzentrierlaschen und Druckplatten sind Normteile und variieren nur in ihren Dimensionen. Diese Normbauteile stehen dem Konstrukteur in 2D-Zeichnungsformat in den unterschiedlich benötigten Dimensionen zur Verfügung. Von diesen Normteilzeichnungen wird das Bauteil in seinem CAD-System in 3D aufgebaut und der Assemblystruktur hinzugefügt

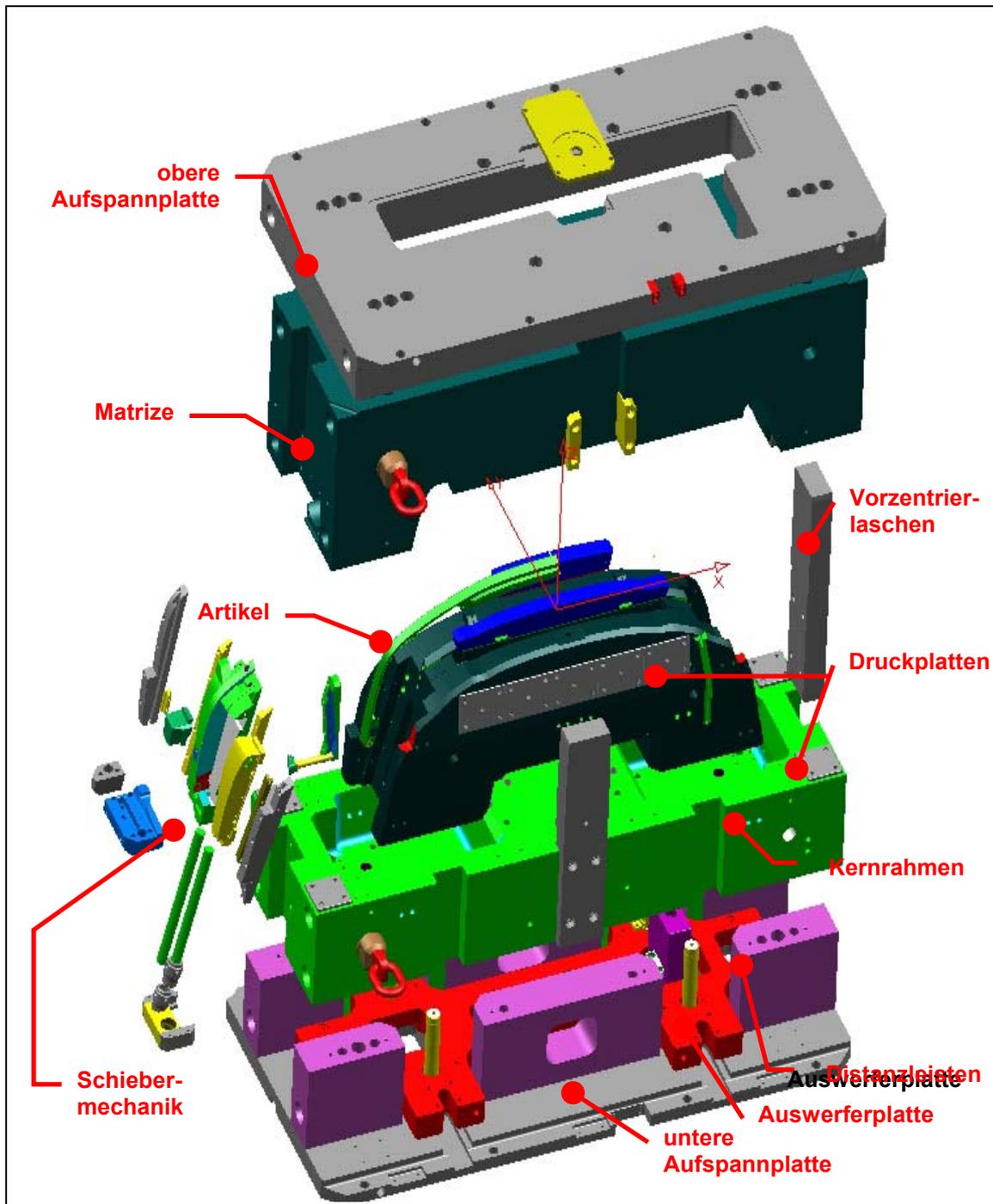


Bild 2.3.1.2. Komplettes Werkzeug nach Abschluss der Konstruktion

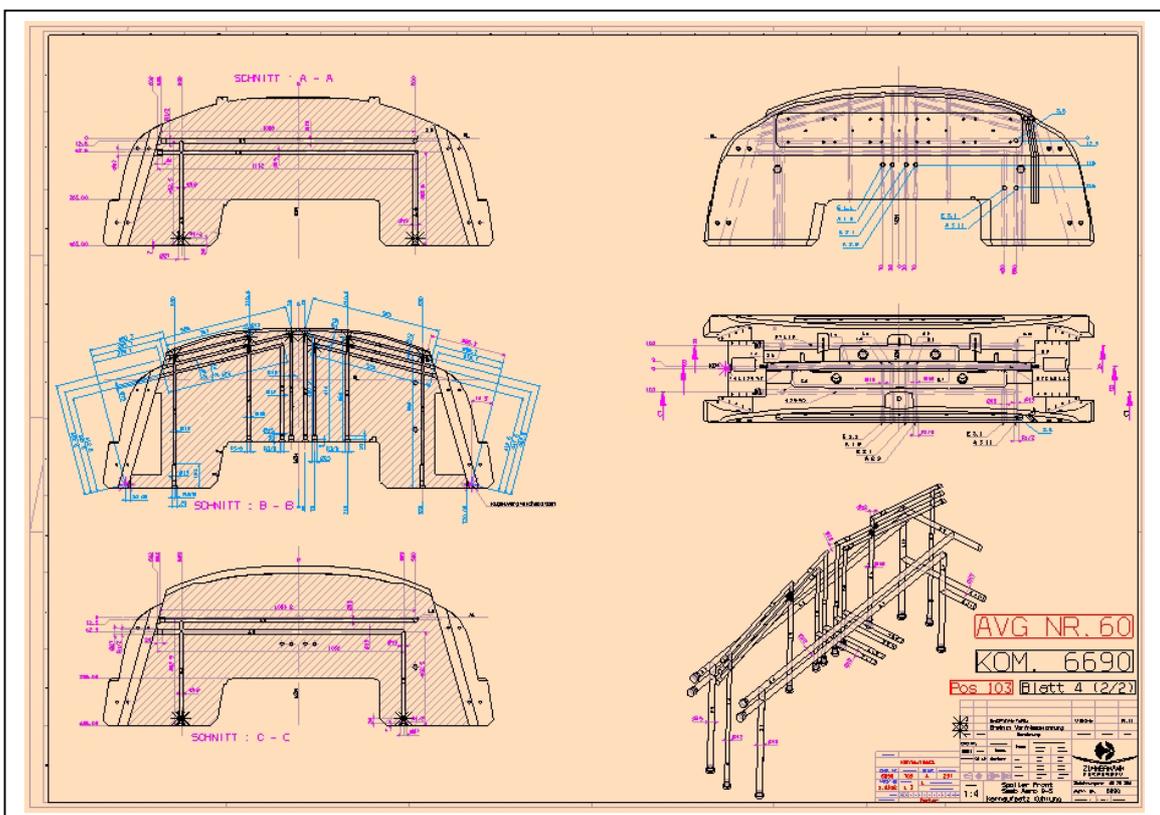
Für die komplette Konstruktion eines Stoßfängerwerkzeuges, wie in Bild 2.3.1.2. dargestellt, werden im Durchschnitt etwa 800-1000 Stunden benötigt.

Selbst wenn bis dahin die Bauteil- und Produktmodellierung vollständig im Dreidimensionalen erfolgt, kann zur Zeit nicht vollständig auf konventionelle technische Zeichnungen verzichtet werden. Vielmehr muss der Konstrukteur nach

Abschluss der Konstruktion aus seinem im Dreidimensionalen bestehenden Modell in zweidimensionale Ansichten und Schnitte ableiten.

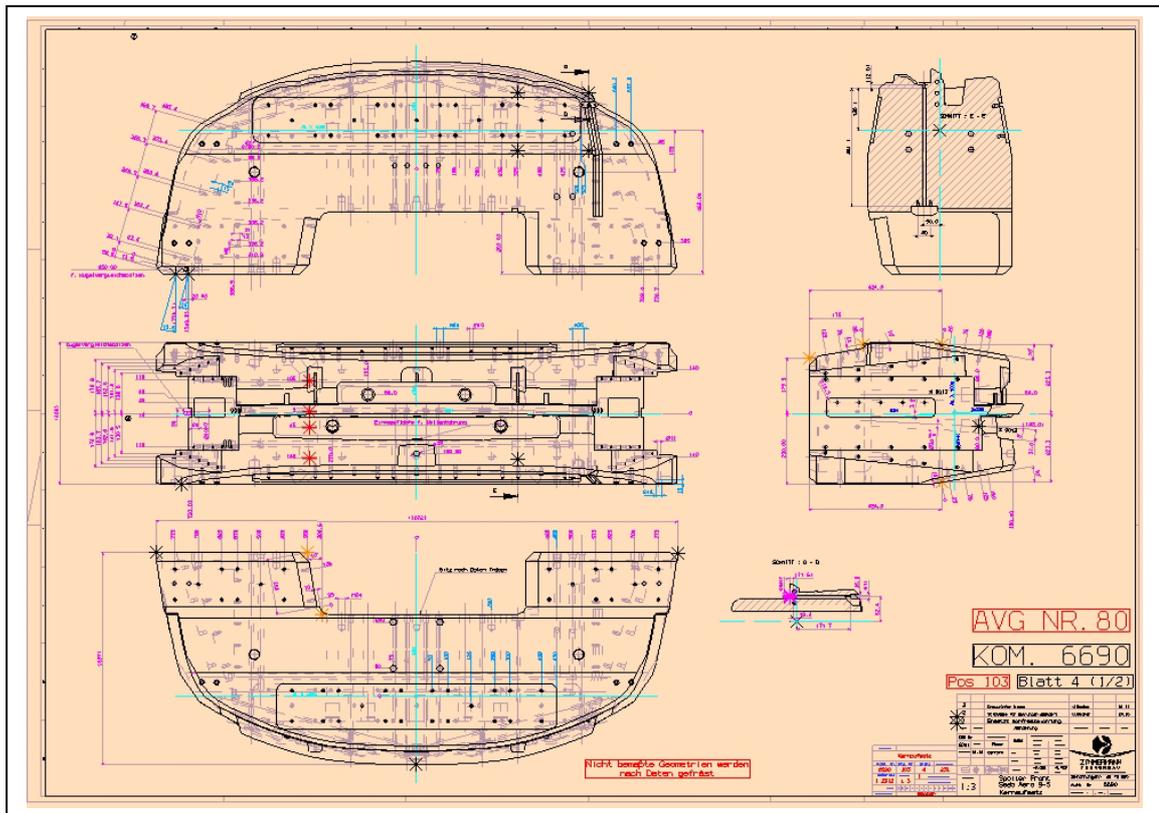
Diese aus dem 3D-Modell abgeleiteten Schnitte und Ansichten enthalten zunächst keinerlei Maßangaben, sondern sind reine geometrische Beschreibungen des Modells.

Zum Beispiel müssen in der Kern- und Matrizenseite des oben gezeigten Spoilerwerkzeuges, sämtliche Tieflochbohrungen durch die bereits erwähnte Weise sichtbar gemacht und bemaßt werden.



**Bild 2.3.1.3 Schnitte Kernaufsatz für Kühlungsbohrungen**

Dieser Aufwand der Bemaßung von 2D-Zeichnungen beruht darauf, dass in den CAD-Systemen die Bemaßung "interaktiv" vorgenommen werden muss. Interaktiv bedeutet, dass der Konstrukteur die Position der Maßzahlen von dem zu bemaßende Elemente sowie die Art der Bemaßung (parallel, rechtwinklig usw.) zu bestimmen hat. Die numerischen Werte der Maße werden von den CAD-Systemen aufgrund der ursprünglichen Geometriedefinition ermittelt und automatisch angefügt.



**Bild 2.3.1.4 Kernaufsatz mit Darstellung aller Bohrungen und Gesenke**

Nach Abschluss der Konstruktion und Zeichnungserstellung, übergibt der Konstrukteur die Daten in die CAM- und Maschinenabteilung, in denen die weiteren Produktionsschritte erfolgen.

Zum Fräsen freigegebene Daten werden so, durch den CAD-Konstrukteur dem CAM-Programmierer auf dem GIGASTORE-Server in den Formaten VDA und WNC (Flächendaten) unter der jeweiligen Kommissionsnummer zur Verfügung gestellt. Die Konvertierung der CAD-Model-Files in die Formate VDA oder WNC erfolgt durch eine Flächenableitung der Soliddaten und der anschließenden Speicherung unter dem gewünschten Format. Flächenfiles sind nur zum Programmieren der Flächenkontur verwendbar. Sämtliche zu fertigenden Bohrungen (Bild 2.3.1.3./2.3.1.4.) werden zur Zeit von den Bedienern direkt an der Maschine anhand der Zeichnung programmiert.

Um den weiteren Verlauf der Daten und deren weitere Bearbeitung zu verdeutlichen, wird die Struktur des Servers kurz erläutert.

### 2.3.2 GIGASTORE Server

Bild 2.3.2.1. enthält ein Screenshot, der die Ablagestruktur für die CAM-Abteilung auf dem GIGASTORE-Server beschreibt. Die Bedeutung der in Punkt 1 aufgelisteten Ordner **dnc**, **edm-modelle**, **nc-modelle**, **Projekte** und **unverbindliche Daten** wird im folgenden Abschnitt erklärt.

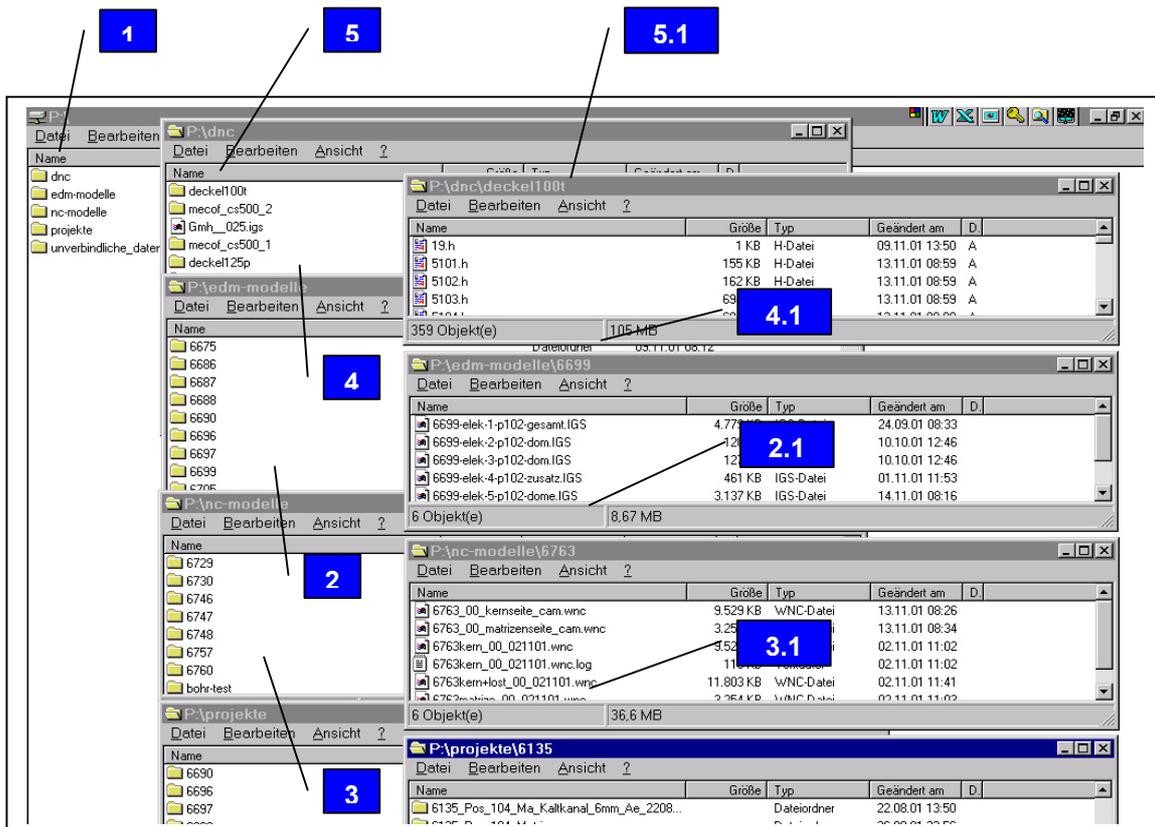


Bild 2.3.2.1 Struktur des Gigastore-Servers

Wie bereits zu Beginn erwähnt, stellt der CAD-Konstrukteur der CAM-Abteilung die fertigen, zur Bearbeitung freigegebenen Daten zur Verfügung und legt diese im Ordner **NC-Modelle** unter der jeweiligen Kommissionsnummer, wie im Bild 2.3.2.1 unter Punkt 2 zu sehen, ab. Das Fenster 2.1 zeigt den geöffneten Ordner der Kommissionsnummer 6763 mit den abgelegten Flächenfiles für die verschiedenen Bereiche in diesem Werkzeug.

Aus dem Ordner NC-Modelle lädt sich der Programmierer seine benötigten Daten auf seinen Rechner. Er erstellt für die unter der Kommissionsnummer abgelegten Bereiche die erforderlichen NC-Programme und legt diese dann unter der selben Nummer im Ordner **Projekt** wieder ab (Punkt 3). Im Fenster **P:\projekte\6135** (Punkt 3.1) ist der geöffnete Ordner der Kommission 6135 zu sehen, in dem

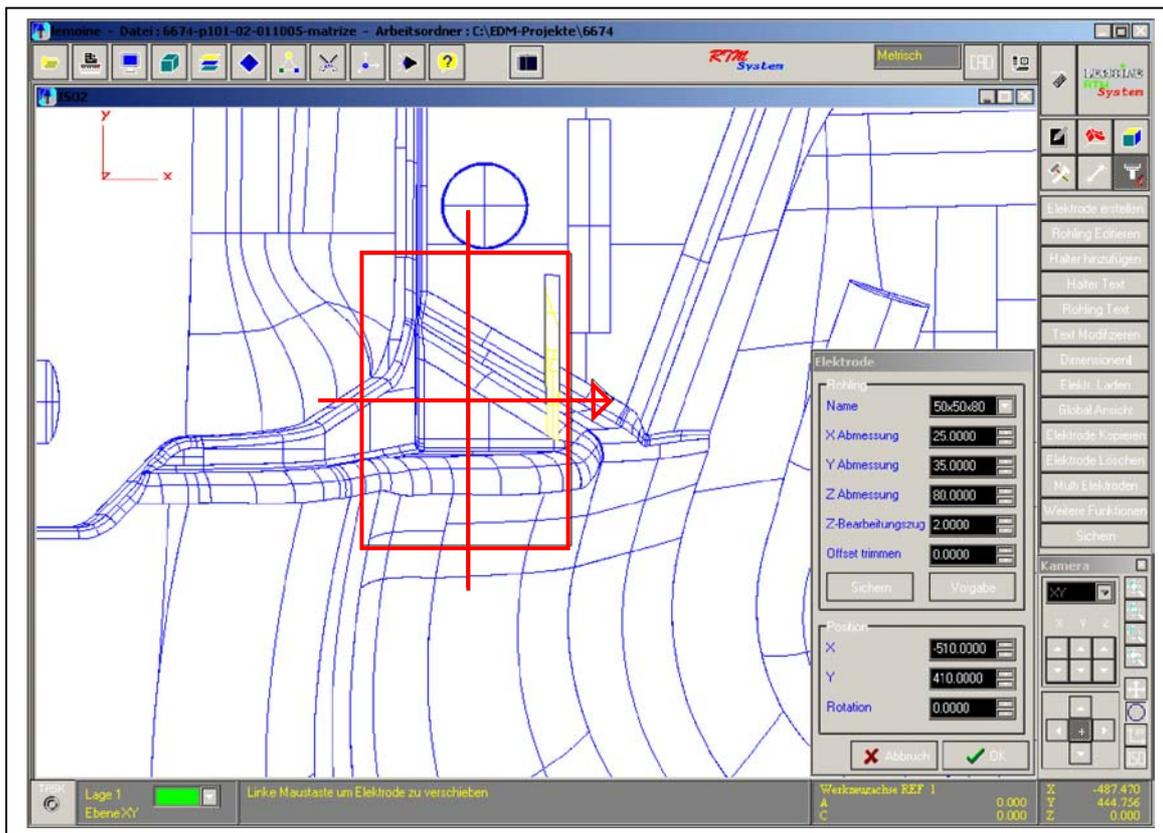
wiederum Unterordner angelegt sind, in denen die fertigen NC-Programme für die verschiedenen Positionen der Werkzeugkontur abgelegt sind.

Der Ordner **P:\EDM-Modelle** (Punkt 4) ist dem zuständigen Programmierer, der für die Erstellung der Elektroden verantwortlich ist, zugeordnet. Er legt seine Daten, die er bearbeitet hat, in diesem Ordner unter der jeweiligen Kommissionsnummer im IGES-Format ab (Punkt 4 und 4.1). Von diesen IGES-Files (Flächenfiles) muss vom Work-NC Programmierer das entsprechende NC-Programm erstellt werden. Die fertigen NC-Programme werden, wenn Sie benötigt werden, im Ordner **DNC** abgelegt. Die Struktur innerhalb des DNC Ordners baut sich wie im Bild 2.3.2.1 unter Punkt 5 dargestellt auf. Jeder Ordner der im Fenster **p:\dnc** zu sehen ist, steht für eine 5-Achsen Fräsmaschine. Innerhalb dieser Ordner sind die Programme abgelegt, die der Bediener an der jeweiligen Maschine benötigt.

### 2.3.3 CAM-Abteilung

### 2.3.4 RTM-Pfleghar

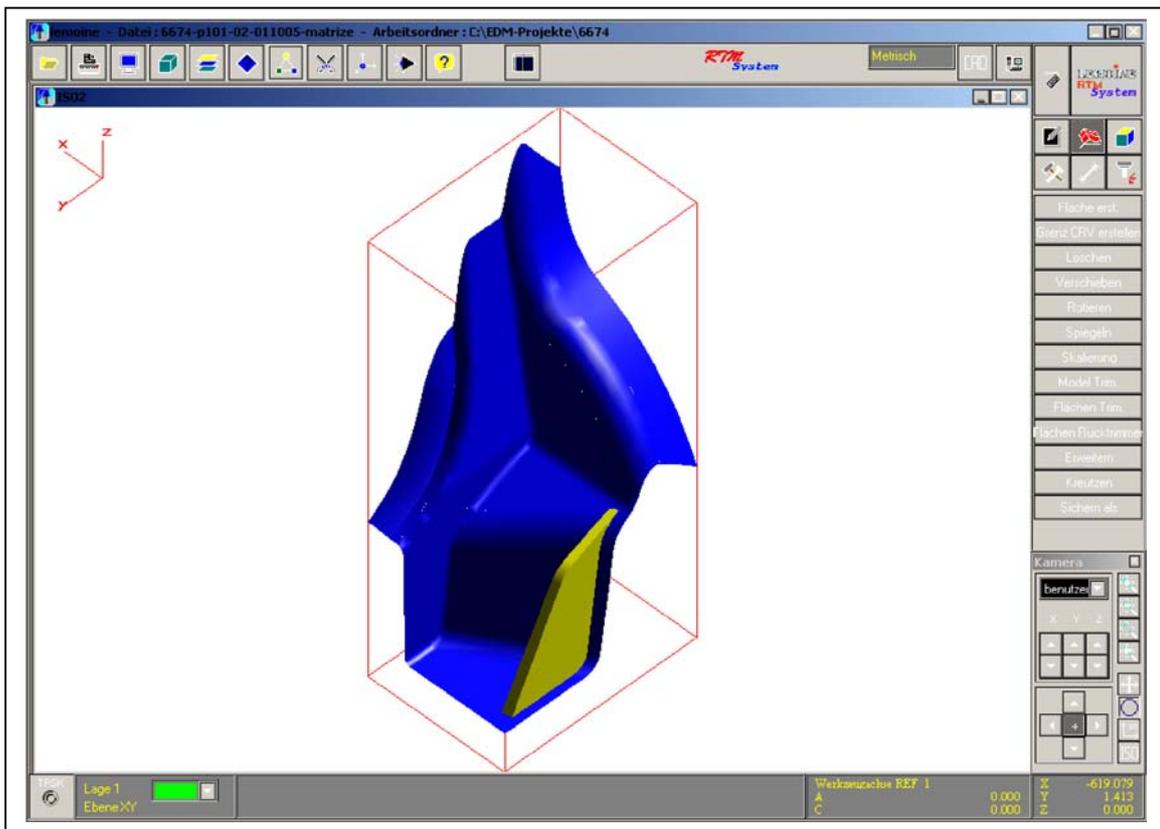
Detailliert stellt sich die Vorgehensweise für die Elektrodenerstellung wie folgt dar: Im ersten Schritt positioniert der Programmierer auf dem Flächenmodell über dem Erodierbereich einen Rohling mit den groben Abmaßen für den entsprechenden Bereich (Bild 2.3.4.1).



**Bild 2.3.4.1. Rohling über die Rippe legen**

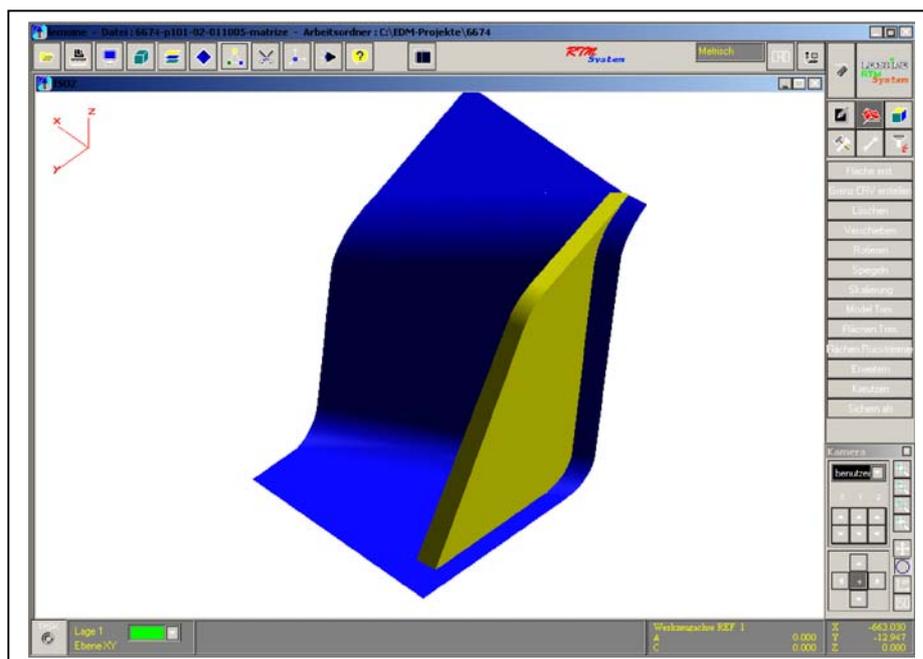
Danach wird vom Programmierer eine Ableitung der Flächenkontur des vorher festgelegten Bereiches erstellt, d.h. von der positiv zu erodierenden Fläche wird ein negatives Abbild gefertigt. Die zu erodierende Flächenkontur, in diesem Fall eine Rippe, wird direkt auf den Rohling projiziert. Im Bild 2.3.4.2 sieht man den vordefinierten Rohling (dargestellt durch rote Linien), das negative Abbild der Kontur (blau) und die zu erodierende Rippe (gelb). Der blau dargestellte Konturbereich, sollte nach Möglichkeit nicht mehr durch die Elektrode bearbeitet werden, da dieser Bereich in den meisten Fällen schon fertig bearbeitet ist.

Um eine Beschädigung der fertigen Kontur beim Erodieren zu verhindern, muss die Elektrode so gestaltet werden, dass nach Möglichkeit nur die Kontur der Rippe als Erodierbereich entsteht. Das wird im ersten Schritt durch das Begrenzen der im Bild 2.3.4.2. in blau dargestellten Flächenkontur erreicht. Der Bereich, der auf keinen Fall erodiert werden soll, befindet sich oberhalb der Rippe (gelb). Nach diesem Arbeitsschritt stellt sich die Situation wie im Bild 2.3.4.3. dar.



**Bild 2.3.4.2. Negativbild von der zu fertigenden Rippe (gelb)**

Doch auch in diesem Stadium wäre es nicht möglich eine Elektrode zu fertigen, ohne dass diese die Konturfläche beschädigt. Aus diesem Grund muss der Programmierer die restliche Flächenkontur im Bild 2.3.4.3 zurücksetzen, so dass ein Freiraum zwischen Kontur und Elektrode entsteht.



**Bild 2.3.4.3. Beschnittene Flächenkontur**

Im Bild 2.3.4.4 ist die Elektrode zu sehen, in der Form in der sie im Anschluss auf der Fräsmaschine hergestellt wird. Jetzt ist erkennbar, dass von der ursprünglichen Konturfläche nichts mehr vorhanden ist. Der türkis dargestellte Teil der Rippe stellt den vom Programmierer geschaffenen Freiraum zwischen Elektrode und der ursprünglichen Konturfläche dar. Dadurch soll gewährleistet werden, dass genügend Luft zwischen Werkstück und Elektrode vorhanden ist, um eine Kollision mit der Kontur zu vermeiden.

Damit die Stabilität der Elektrode während des Erodiervorgangs gewährleistet ist, wurde eine zusätzliche Stütze in Form des rot dargestellten Zylinders angebracht. Eine solche Stabilisierung wird lediglich an solchen Rippen vorgenommen, an denen durch ihren geringen Querschnitt ein Abbrechen zu befürchten ist.

Der letzte Arbeitsschritt besteht in der Erstellung des NC-Programmes mit der bereits erwähnten Software Work-NC, um damit die Elektrode auf der Fräsmaschine fertigen zu können.

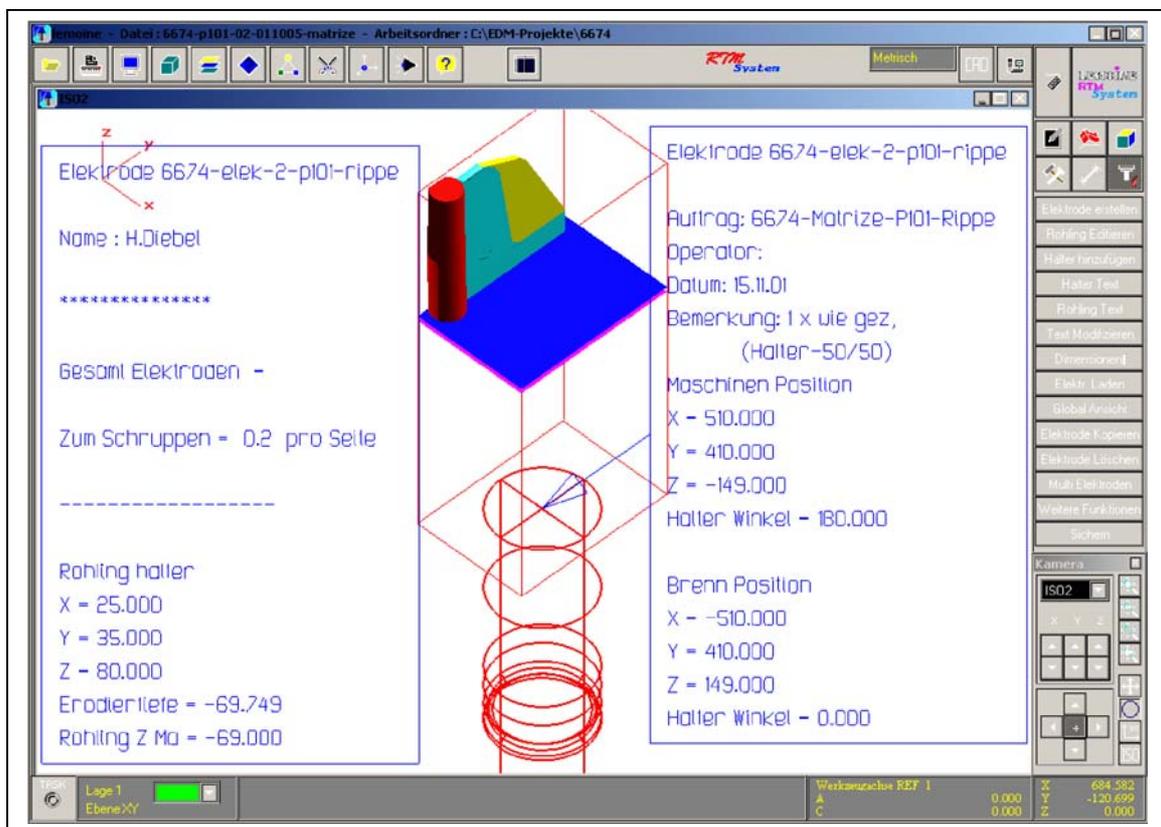


Bild 2.3.4.4 Fertige Elektrode mit Rohling

### 2.3.5 Work-NC

Um überhaupt ein NC-Programm erstellen zu können, muss die Namengebung für das neue Projekt erfolgen. Anschließend wird ausgewählt, aus welchem Datenformat (VDA, IGES, WNC) die Flächeninformationen in das WNC-Format konvertiert werden.

Auf dem Bild 2.3.5.1. ist das Softwarefenster zu sehen, nachdem die Geometriedaten geladen wurden. Die Bedeutung des unter **Status** aufgeführten Buchstaben **C-** ist, dass noch keine Compilerlauf gestartet worden ist. Die Daten müssen folglich noch in das Format WNC kompiliert werden.

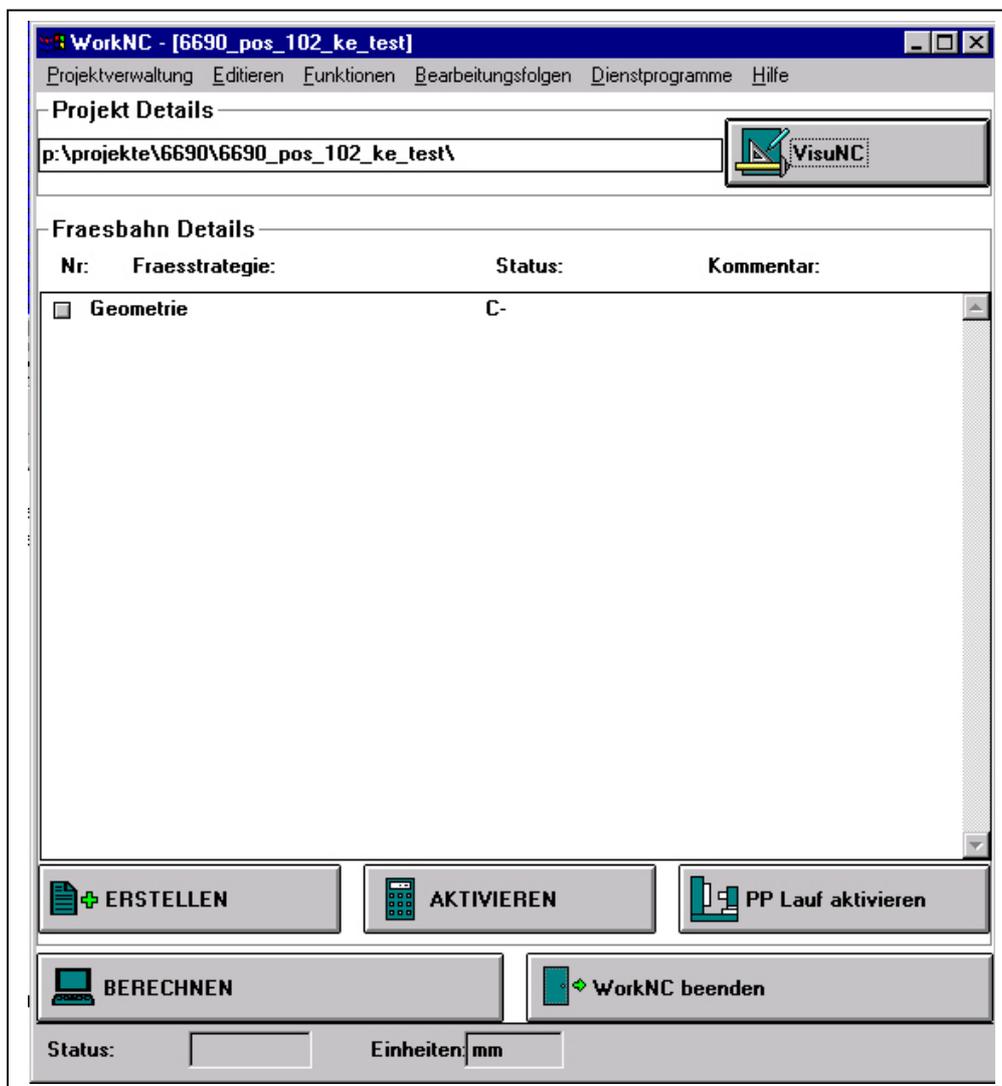
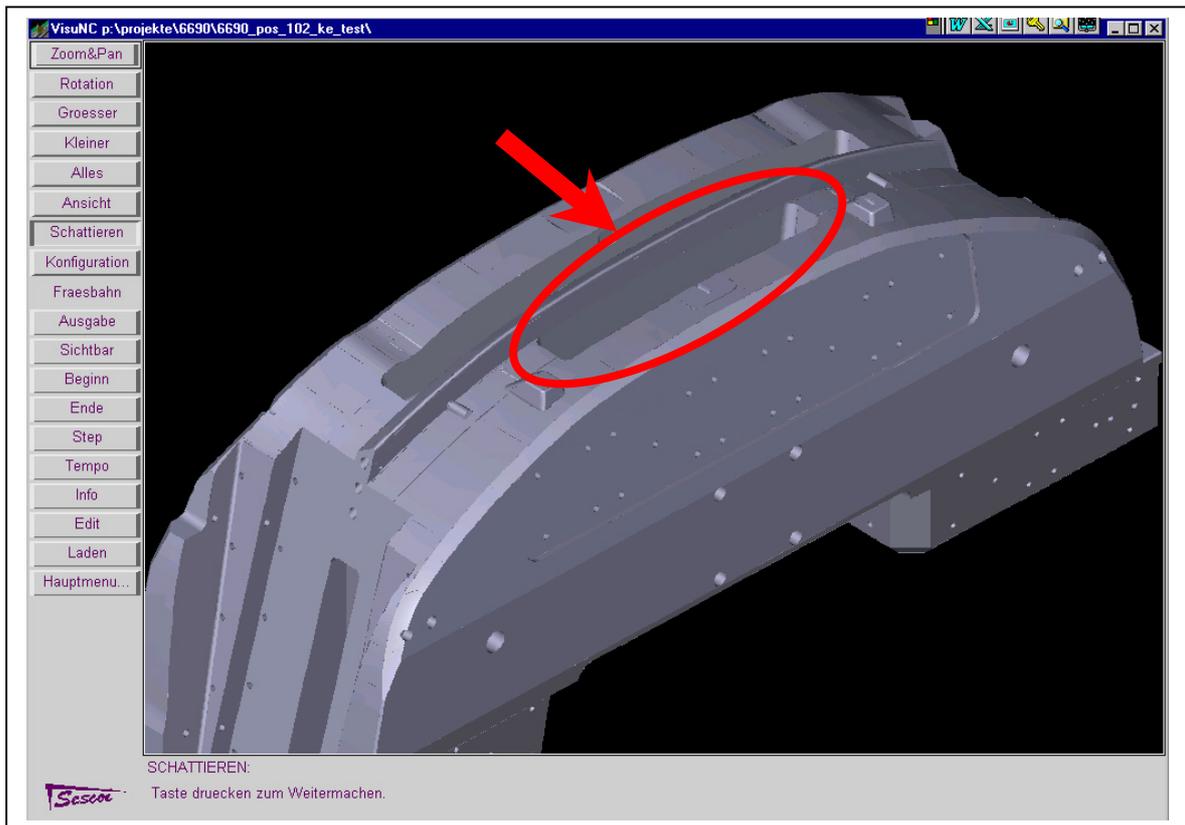


Bild 2.3.5.1. Geometriedaten vor dem Compilerlauf

Im Anschluss an den Berechnungsvorgang wird durch das integrierte Modul VisuNC die Möglichkeit gegeben, sich das geladene und konvertierte Werkstück

im 3D-Format anzusehen und den Bearbeitungsbereich festzulegen. Das Bild 2.3.5.2 zeigt dieses anschaulich.

In dem Werkstück soll anhand der folgenden Beschreibung, das durch den Pfeil gekennzeichnete Gesenk gefertigt werden.



**Bild 2.3.5.2 Ansicht des Werkstückes mit VisuNC**

Um jedoch in der anschließenden Programmierung des NC-Programmes nur im Bereich des Gesenkes zu fräsen, muss der Programmierer eine Begrenzungskurve auf das Werkstück legen. Nach diesem Vorgang wechselt Work-NC automatisch in eine Eingabemaske um diverse Bedingungen hinterlegen zu können.

Die Eingabemaske (Bild 2.3.5.3) ermöglicht es dem Programmierer die benötigten Frässtrategien, spezifische Fräserdetails, Bearbeitungsparameter, sowie Toleranzen und Zustellwerte in Z-Richtung auszuwählen oder eigene Definitionen zu hinterlegen

Bild 2.3.5.3 Eingabemaske

Für die Einstellung der spezifischen Fräsoptionen hat der Bediener die Möglichkeit über eine vordefinierte Werkzeugdatenbank eine Auswahl eines geeigneten Werkzeuges zu treffen.

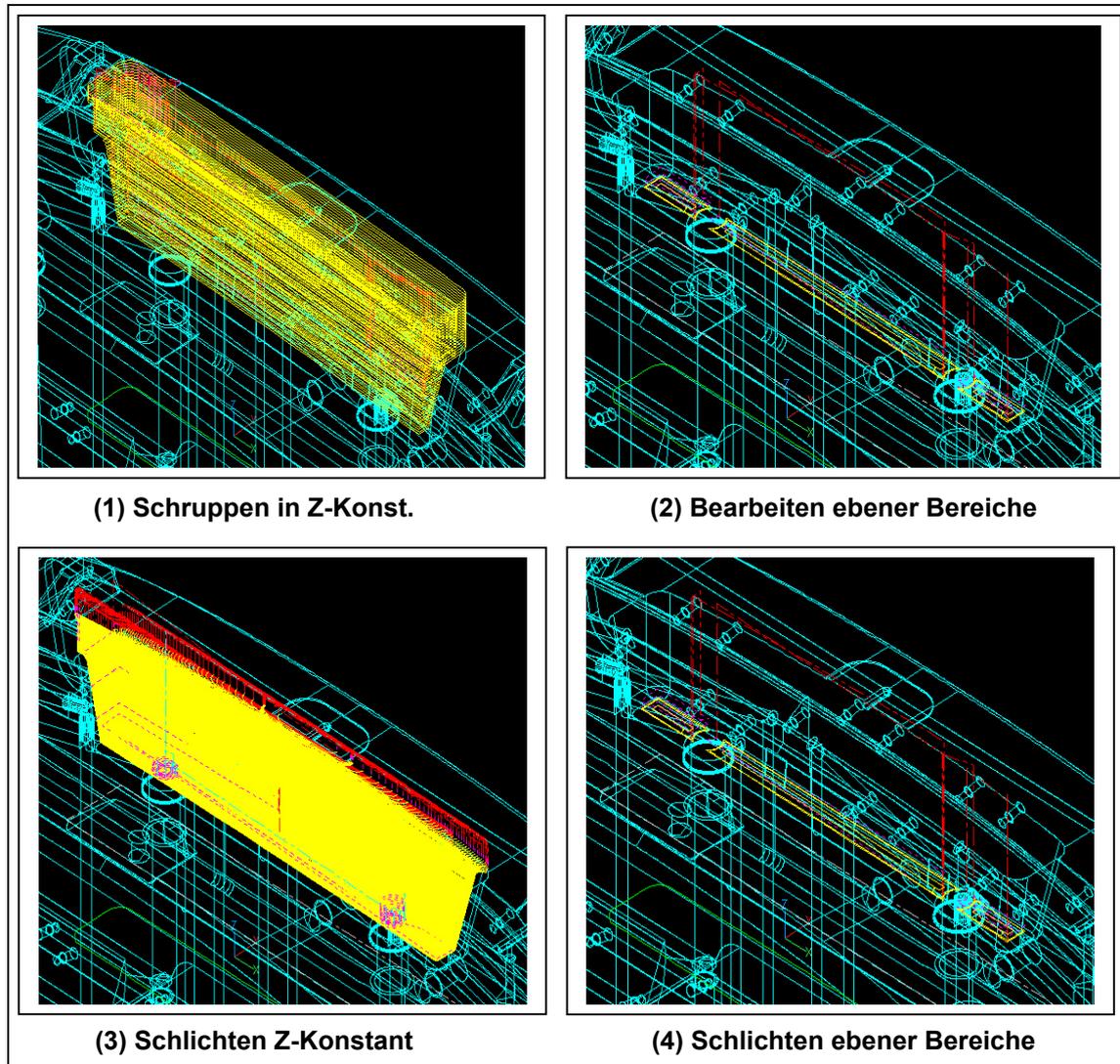
Damit das zu fertigende Gesenk seine endgültige Form erhält, benötigt man mehrere NC-Programme. Diese werden nach Festlegung aller Frässtrategien einschließlich der Auswahl der Steuerung bzw. der Maschine durch ein sogenanntes Postprocessing erzeugt.

Postprocessing bedeutet, dass die vom Programmierer festgelegten Weginformationen mittels eines Übersetzers (Postprozessor), in einen für die ausgewählte Steuerung verständlichen Maschinencode umgesetzt werden.

Anhand von Bild 2.3.5.4. möchte ich dies kurz erläutern.

Die unter (1) aufgeführte Frässtrategie ist eine reine Schruppbearbeitung, die die Gesenkform nur grob an den Seitenwänden vorfräst. Das Bearbeiten der ebenen Bereiche (2) schließt den groben Vorfräszyklus mit der Bearbeitung des Gesenkbodens ab. Im Anschluss an diese beiden Frässtrategien wird das Gesenk

mit der Strategie (3) und (4) im sogenannten Schlichtzyklus (Feinbearbeitung) maßlich in seine endgültige Form versetzt.



**Bild 2.3.5.4. Frässtrategie für Gesenkherstellung**

Der letzte Schritt, bevor die erstellten NC-Programme für die Fertigung auf dem Server abgelegt werden, ist die Durchführung einer Kollisionskontrolle zwischen Werkzeughalter und Werkstück. Die Kollisionskontrolle arbeitet die NC-Programme einschließlich der hinterlegten Parametern des Werkzeuges (Länge, Durchmesser) sowie denen des Werkzeughalters systematisch ab und erstellt parallel eine Dokumentation für den Einrichter. Inhalt dieser Dokumentation sind die Ergebnisse aus der Kollisionsprüfung, die erforderlichen kollisionsfreien Werkzeuglängen, die verwendeten Werkzeuge, Technologiedaten und der Name des Projektes.

### 2.3.6 Maschinenfertigung

Wie oben bereits erwähnt, versorgt die CAM-Abteilung den Bediener an der Maschine mit den Daten der NC-Programme, die direkt auf dem Gigastore-Server der Firma abgelegt werden können.

Um die benötigten NC-Programme für das Werkstück auf die Maschine überspielen zu können, stehen sogenannte WOP-Arbeitsplätze zur Verfügung. WOP bedeutet **W**erkstatt **O**rientierte **P**rogrammierung. Von diesen WOP-Stationen hat der Arbeiter direkten Zugriff auf den Gigastore-Server und kann sich dementsprechend die NC-Programme aus dem Ordner P:\dnc auf seine Maschinensteuerung laden. Darüber hinaus hat der Bediener mit jedem dieser WOP-Arbeitsplätze die Möglichkeit, auf die Work-NC Software zuzugreifen und sich den aktuellen Bereich des geladene NC-Programms, der auf dem Werkstück bearbeitet werden soll, anzusehen.

Sollte dem Bediener die programmierte Frässtrategie nicht zusagen, kann er durch Änderung des Programms diese Bereiche auf andere Art und Weise bearbeiten.

## 2.4 Fehleranalyse

### 2.4.1 Zeichnungserstellung

In jeder Abteilung existieren Arbeitsabläufe die ein großes Fehlerpotential sowie enorme Zeitaufwendungen in sich bergen. Das größte Fehlerpotential und somit der größte Zeitfresser in der CAD-Abteilung, ist die Erstellung der 2D-Zeichnungen mit der dazugehörigen Bemaßung. Von der gesamten Konstruktionszeit werden ca. 30% dazu aufgewendet, um 2D-Fertigungszeichnungen mit allen benötigten Schnitten aus dem 3D-Solidmodell abzuleiten und zu bemaßen.

Bereits zu Beginn eines neuen Projektes können an dieser Stelle schwerwiegende Fehler gemacht werden. Als Beispiel für einen Bemaßungsfehler, der im nachhinein nur durch Kosten- und Arbeitsaufwand zu korrigieren wäre, könnte durch das Vergessen der Umbenennung einer Bohrung von  $\varnothing 24$  auf M24,

entstehen. Diese Maße haben völlig unterschiedliche Bedeutungen und Funktionen. Ein Loch mit dem  $\varnothing 24$  besitzt auch maßlich den  $\varnothing 24\text{mm}$ . Es kann in seiner Funktion ein Sackloch oder ein Durchgangsloch sein. Ein Loch mit der Bemaßung M24, stellt jedoch andere Anforderungen an die Herstellungsweise dieser Bohrungen. Für die Herstellung eines M24 Gewindes darf nur ein Kernloch mit dem  $\varnothing 21\text{mm}$  gebohrt werden. Hätte der Konstrukteur übersehen, dieses Maß umzubenennen, würde der Programmierer an der Maschine das Loch genau mit 24mm statt mit 21mm programmieren und fertigen.

#### **2.4.2 Konstruktion von Normteilen**

Damit der Konstrukteur die benötigten Normteile in seine 3D-Konstruktion einfügen kann, muss es von der Vorlage der 2D-Zeichnung neu erstellt werden. Bei dem Bedarf von einigen Dutzend Normteilen die im Laufe der Konstruktion erstellt werden müssen, stellt das einen zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand dar. Für den Aufbau eines komplexen Bauteils in Kombination mit diversen Normteilen, kann der Konstrukteur durchaus ein Zeitaufwand von 12-16 Stunden benötigt.

#### **2.4.3 Maschinenbediener**

Das Fehlerpotential im Bereich der Maschine, besteht oftmals durch Falschbemaßungen im konstruktiven Bereich. Aber auch der Bediener kann durch Tippfehler oder durch falsches Ablesen eines Maßes ein eigenes Fehlerpotential entwickeln. Darüber hinaus wird an den Maschinen im Drei-Schichtsystem gearbeitet, so dass teilweise die Maschinenbediener in einer Schicht zwei Maschinen gleichzeitig einrichten, programmieren und starten müssen. Gerade dieser Situation, werden nicht alle Bediener gerecht. Nicht die mangelnde Kompetenz des Bedieners, sondern die sich sehr schnell weiterentwickelnde Maschinen- und Steuerungstechnik erschwert ein fehlerfreies Arbeiten unter solchen Umständen.

## 2.5 Fazit

Bild 3.3.1 enthält eine Übersicht über die derzeit vorhandene Systemstruktur sowie deren Aufgaben und Abläufe untereinander.

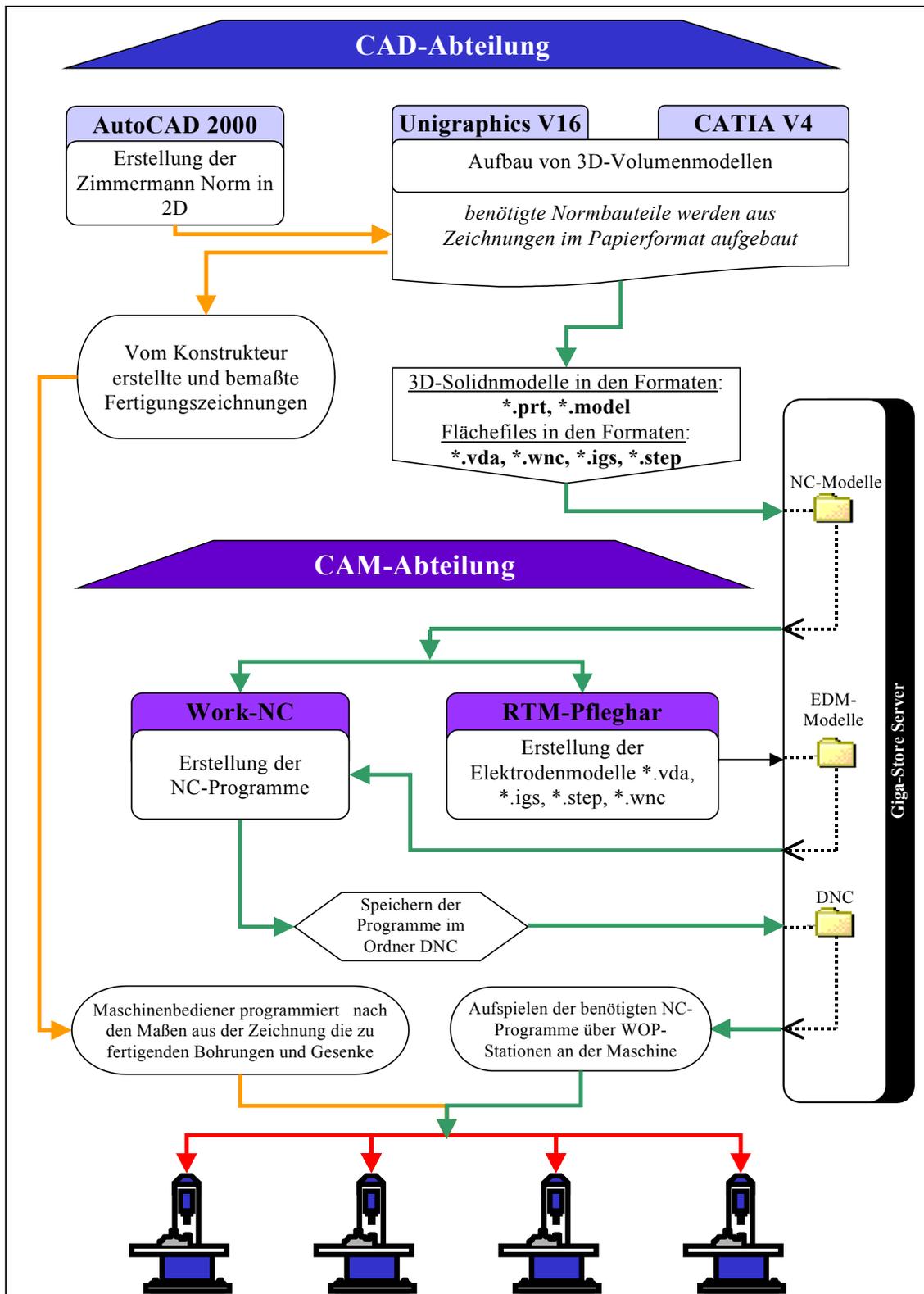


Bild 2.5.1. Ablaufstruktur

Durch die Analyse der Struktur und die im Vorfeld gestellte Aufgabe, werden die Defizite permanent deutlicher. Die im Bild 2.5.1. rot markierten Felder, stellen die größten Fehlerquellen dar.

Bereits erste Fehler können durch den immer wiederkehrenden Prozess der Neukonstruktion von Normteilen entstehen. Hier liegen die Schwerpunkte mehr im Bereich der Geometriedefinition und deren Bemaßung. Im Laufe der Zeit haben sich einige Konstrukteure die erstellten Normteile in einer separaten Datei auf ihrem Rechner abgelegt und so eine kleine Normteillbibliothek aufgebaut. Dieser Grundgedanke ist im Ansatz sehr sinnvoll, erfüllt jedoch noch nicht die optimalsten Arbeitsbedingungen für jeden Konstrukteur. Um nur einige zu nennen: Nicht jeder Konstrukteur hat Zugriff auf diese Datenbank und es wird unter Anwendung dieser Bibliothek mit zwei Systemen gearbeitet. Darüber hinaus wird die Norm im 2D-Bereich ständig aktualisiert und die Datenbanken der Konstrukteure ist somit über kurz oder lang nicht mehr auf dem neuesten Stand. Eine weitere Fehlerquelle innerhalb der Konstruktion, ist die schon angesprochene Zeichnungserstellung.

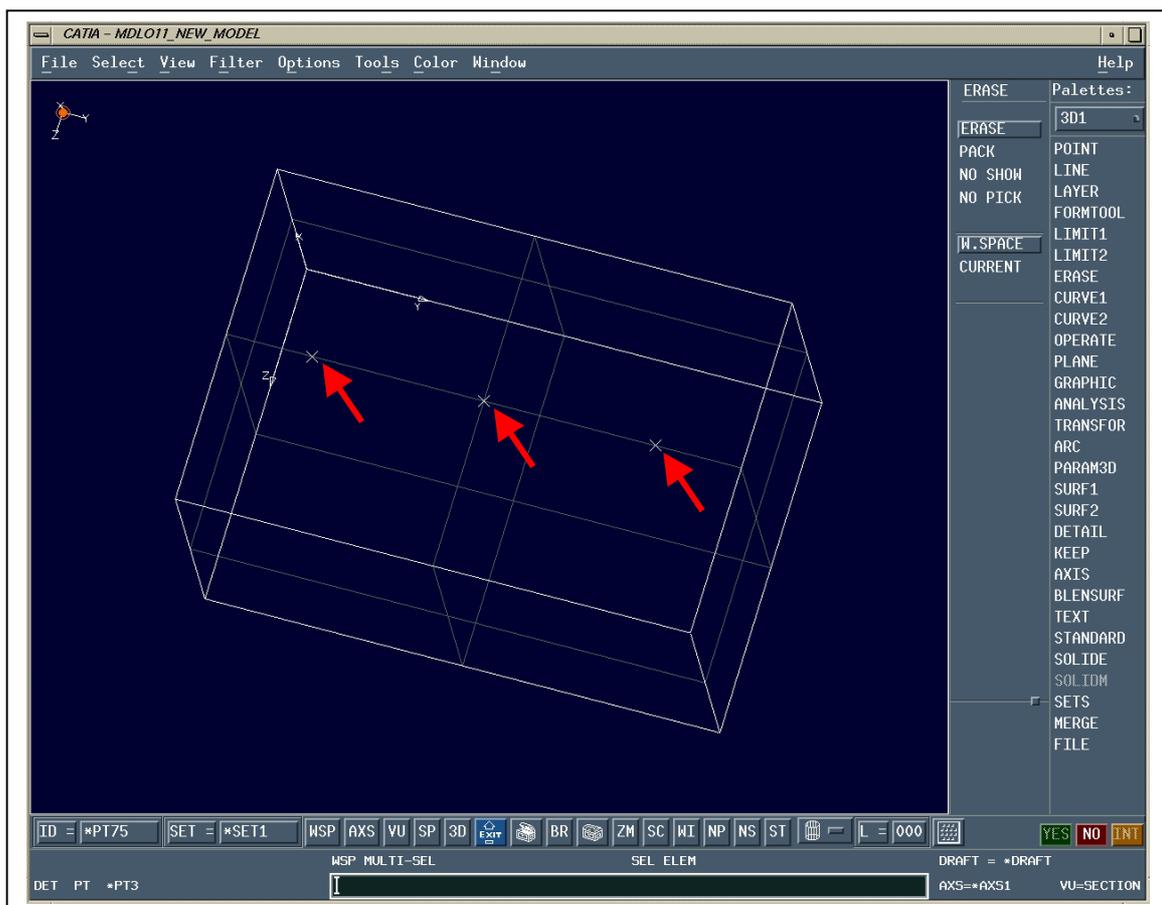
Im Bereich der CAM-Abteilung existieren diese gravierenden Fehlerpotentiale nicht, da die Programmierung der Bohrungen und Taschen größtenteils vom Bediener direkt an der Maschine ausgeführt werden. Doch gerade im Bereich der 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Bearbeitungen beschränkt sich die Programmierung in der heutigen Zeit nicht mehr nur auf die gewöhnliche 3-Achsenprogrammierung, sondern immer mehr auch auf 5-Achsenprogrammierung. Im 5-Achsenbereich ist die Programmierung nur noch sehr schwer vorstellbar und kaum manuell programmierbar. Die Achsen der Bohrungen und Taschen liegen oftmals unter mehreren Winkeln im Raum.

Durch Fehler in der Programmierung können im Zeitalter der neuen leistungsfähigen 3- und 5-Achsenmaschinen große kostenintensive Schäden an den Maschinen entstehen. Es werden Verfahrgeschwindigkeiten zwischen 10m/min und 60m/min realisiert. Bei einer Kollision mit diesen Geschwindigkeiten ist ein nachfolgender größerer Schaden an der Maschine unumgänglich. Um diese genannten Fehlerquellen zu eliminieren bzw. soweit wie möglich zu reduzieren, ist das Ziel, wie eingangs schon erwähnt, die zeichnungslose Fertigung und die Möglichkeit, direkt alle 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Bearbeitungen von Volumendaten zu programmieren.

### 3 Einführung in die 3D-Volumendaten-Programmierung

Die komplette Durchgängigkeit bezüglich der digitalen Prozesskette des CAD/CAM Einsatzes, ist auf die 3D-Bearbeitungen zu reduzieren. Der Hintergrund warum die 2<sup>1/2</sup>D-Programmierung vernachlässigt behandelt wird und warum zur Zeit nur im 3D-Bereich eine durchgängige Prozesskette vorhanden ist, möchte ich an folgendem Beispiel erläutern. Hier soll ein Würfel mit einer Gewindebohrung M24, einer Bohrung mit Passung Ø 24H7 und einem Sackloch Ø 24 versehen werden.

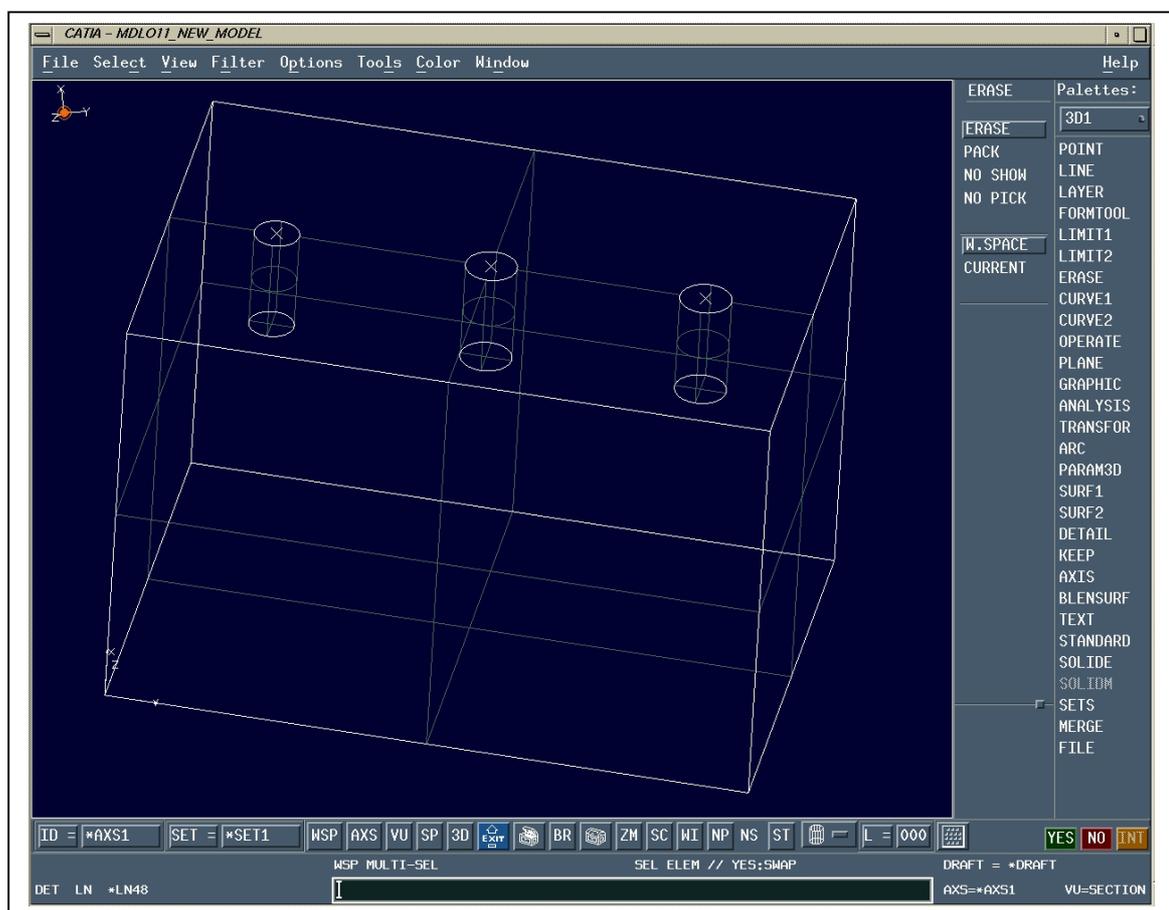
Nach der Erstellung des Würfels (Eingabe der Länge, Höhe, Breite) und um die vorher beschriebenen Bohrungen zu erstellen, muss zuerst die Stelle festgelegt werden an der die Löcher entstehen sollen (siehe rote Pfeile).



**Bild 3.1. Festlegen der Bohrungspositionen**

Die drei Bohrungen sind in ihrer späteren Funktion verschieden, jedoch ist die Vorgehensweise der Konstruktion nahezu identisch.

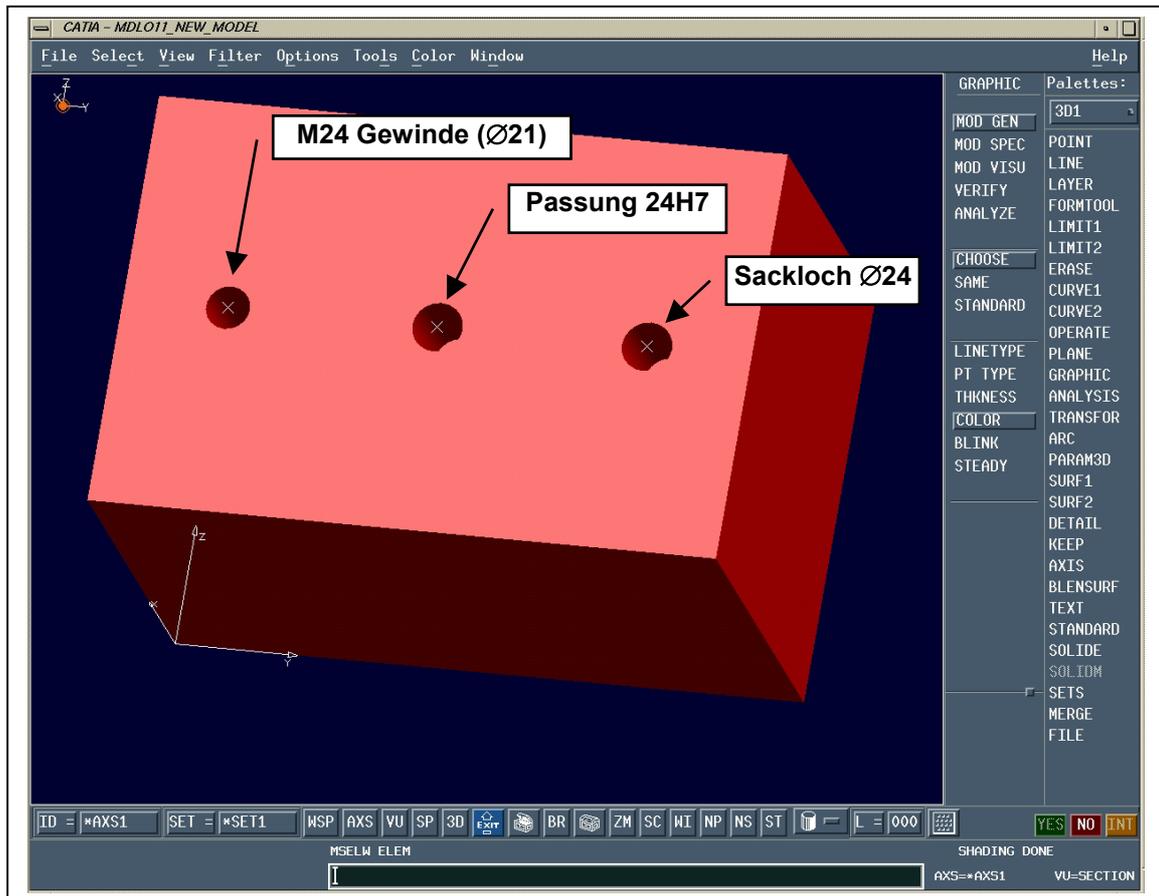
Für die Bohrungen H7 und das Sackloch, muss der Konstrukteur einen Zylinder mit dem Durchmessermaß 24mm erstellen. Die M24 Gewindebohrung hat ein Kernlochdurchmesser von 21mm, deshalb wird hier nur ein Zylinder mit dem Durchmesser 21mm erstellt. Diese Zylinder werden an den vorher festgelegten Punktkoordinaten eingefügt und haben in diesem Moment die Funktion von Abzugskörpern. Das heißt, dass diese eingebrachten Zylinder mit dem Urmodell (Würfel) vereinigt werden. Um die Bohrungen zu erhalten, muss eine sogenannte Boolesche Operation ausgeführt werden. In diesem Fall eine Subtraktion (subtract). Der abzuziehende Körper wirkt wie eine Erodiererelektrode, die ihre Form in den Grundkörper (Würfel) brennt.



**Bild 3.2. Bohrungen nach dem Abzug der Zylinder**

Die so entstandenen Bohrungen haben jedoch keinerlei Informationen über ihre Funktion. Nur der Konstrukteur hat die Kenntnisse über ihre späteren Funktionen.

Wird der erstellte Model-File an die CAM Abteilung übergeben (siehe obige Beschreibung), erkennt der Programmierer nach dem Öffnen des Files nur den Würfel mit den Zylinderlöchern, jedoch erhält er keine Informationen über die Bedeutung des Lochs.



**Bild 3.3. Schattiertes Würfelmodell**

Es besteht die Möglichkeit diesen Würfel auf dem CAM-System (Work-NC) zu programmieren, jedoch erhält man ihn lediglich als 3D-Kontur (Würfeloberfläche und die darin enthaltene Zylindersenkung). Würde der Bediener an der Maschine das erstellte Programm laden und damit den vorgesehenen Würfel fertigen, wäre als Resultat weder das Gewinde noch die Passung vorhanden.

Nach dieser kurzen Beschreibung wird klar, warum es nach der derzeitigen Konstruktionsweise nicht möglich ist, eine durchgängige digitale Prozesskette für den Bereich der 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung und Bearbeitung zu realisieren.

Folglich muss für den Konstrukteur die Möglichkeit geschaffen werden, den erstellten Bohrungen und Taschen Funktionsattribute anzuhängen. Der Konstrukteur sollte somit in der Lage sein, bereits im CAD-Modell festzulegen, ob

eine Bohrung, eine Bohrung mit Gewinde, eine Passung, oder eine Bohrung mit Senkung zu fertigen ist. Der CAM-Programmierer sollte dann durch Selektieren der Bohrungen und Taschen erkennen können, um welchen Typ Bohrung es sich handelt. Anhand dieser Informationen soll dann direkt aus dem CAD-Modell heraus eine Programmierung des NC-Programmes erfolgen.

Aus den gewonnenen Informationen und Systemdaten, folgt im nächsten Schritt eine Überprüfung der vorhanden Systeme auf ihre Möglichkeiten, eine Feature-Programmierung durchzuführen. Der Hintergrund der Prüfung der Systemgegebenheiten an dieser Stelle ist, die Vermeidung von unnötigen Kosten durch die Anschaffung eines neuen Systems und die daraus resultierende neue Komplexität der Schnittstellen.

### **3.1 Analyse der Feature-Technologie Möglichkeiten in den bestehenden CAD/CAM-Systemen**

#### **3.1.1 CATIA V4**

Auf dem System von CATIA V4 wird die Konstruktion der Werkzeuge im 3D-Volumenmodell, d.h. als CATIA-Solid-Datensatz erstellt. Das Einbringen von Funktionsattributen in diesem System wäre über die Erstellung einer Solid-Normteillbibliothek möglich. Das Fundament jedoch um diese Bibliothek erstellen zu können, ist das Zugrundeliegen von Konstruktionsrichtlinien und Konstruktionschecklisten. Anhand dieser Richtlinien und Checklisten kann eine Standardisierung für die zu fertigenden Bohrungen und deren Funktion (Feature) erfolgen. Die Bohrungen, Passungen und Gewinde werden im CATIA-Solid als NC-Feature abgelegt und könnte somit als Voraussetzung für eine automatisierte 2<sup>1/2</sup>D-Programmierung dienen. Die verschiedenen Features verfügen über eine farbliche Kennzeichnung, mit deren Hilfe sich im Herstellungsprozess die verschiedenen Features nach Typ und Toleranz identifizieren lassen.

### 3.1.2 Unigraphics

Die Grundlage der Überprüfung des Unigraphics Systems auf Möglichkeiten einer 2<sup>1/2</sup>D-Feature-Programmierung, bilden die aus CATIA V4 gewonnenen Ergebnissen. Es ergab sich auch hier, dass eine Solid-Bibliothek erstellt werden muss.

Dies führte jedoch sehr schnell zu der Erkenntnis, dass eine Durchführung mit genau der gleichen Arbeitsweise nicht gegeben ist. Wie schon in Kapitel 3.1.1 und 3.1.2 erläutert, ist die grundsätzliche Arbeitsweise und Struktur der beiden Systeme völlig verschieden. Die Features in der Normteilbibliothek basieren auf den Konstruktionsrichtlinien in CATIA V4, diese Konstruktionsrichtlinien sind in Unigraphics aber nahezu invers. Welche Möglichkeiten bestanden also um auf diese Weise zum gewünschten Ziel zu gelangen?

Den Ansatz eine Unterscheidung der Bohrungen, Passungen, Gewinde, Taschen über Farben und Toleranzen zu ermöglichen, wurde als ein möglicher Lösungsweg weiterverfolgt. Innerhalb des CAD-Systems Unigraphics existiert eine Farbpalette von 256 Farben mit der Option eigene Farbtöne zu mischen. Man könnte also den Bohrungen jeweils einen eigenen Farbton zuordnen, jedoch ist die Anzahl von 256 Grundfarben sehr begrenzt, da die Menge der benötigten Features weit über 256 hinaus geht. Ab der 256. Farbe müssten die benötigten Farbtöne durch Mischen erstellt werden. Der Aufwand dieses Lösungsweges wäre um ein Vielfaches höher als der im CATIA V4 System, zumal einige Farbtöne den verschiedenen Layer zugeordnet sind und dort nicht ohne weiteres geändert werden können.

Auch ein weiterer Denkansatz der Zuordnung von Layern zu den unterschiedlichen Bohrungsarten, erwies sich als Sackgasse. Gründe dafür waren zum einen die auch im Layer-Bereich begrenzte Anzahl von 256 und zum anderen die Zuweisung der Layer auf Teile des Konstruktionsapparates.

In der nachfolgenden Tabelle ist die Zuordnung der Layer kurz aufgeführt.

Layer	Beschreibung	Layer	Beschreibung
1-30	Konstruktionslinien/Hilfsgeometrie	141-160	Losteile
31-40	Aufriss Längsschnitte	161-180	Einsätze
41-50	Aufriss Querschnitte	181-190	Schieber
51-70	Längsschnitte	191-200	-
71-90	Querschnitte	201-215	Original Artikel
96	Bemaßung	216-230	Datenrückführung
97	Text/Rahmen	231-243	-
98-100	Sonstiges im Zeichnungsbereich	244	Netzbezug
101-110	Matrizenkontur (Pink)	245	WZG-Mitte/NC-Nullpunkt (rot)
111-120	Matrizenabdeckung (Cyan)	246	Netzraster für Artikelplot
121-130	Kernkontur (Oliv)	247-250	Referenzobjekte
131-140	Kernabdeckung (Blau)	251-256	-

Bild 3.1.2.1 Layerbelegung

### 3.1.3 Work-NC

Mit dem System Work-NC wird wie zuvor schon erwähnt, aktuell die Programmierung für die 3D-Flächengeometrien durchgeführt. Selbst wenn es möglich wäre im CAD-Bereich eine Feature-Programmierung über die in CATIAV4 beschriebene Weise durchzuführen, ist Work-NC nicht dazu in der Lage diese Funktionsattribute zu erkennen. Das System erkennt nur die Flächen einer Bohrung, ist jedoch nicht in der Lage eine hinterlegte Funktion zu erkennen.

### 3.1.4 RTM-Pfleghar

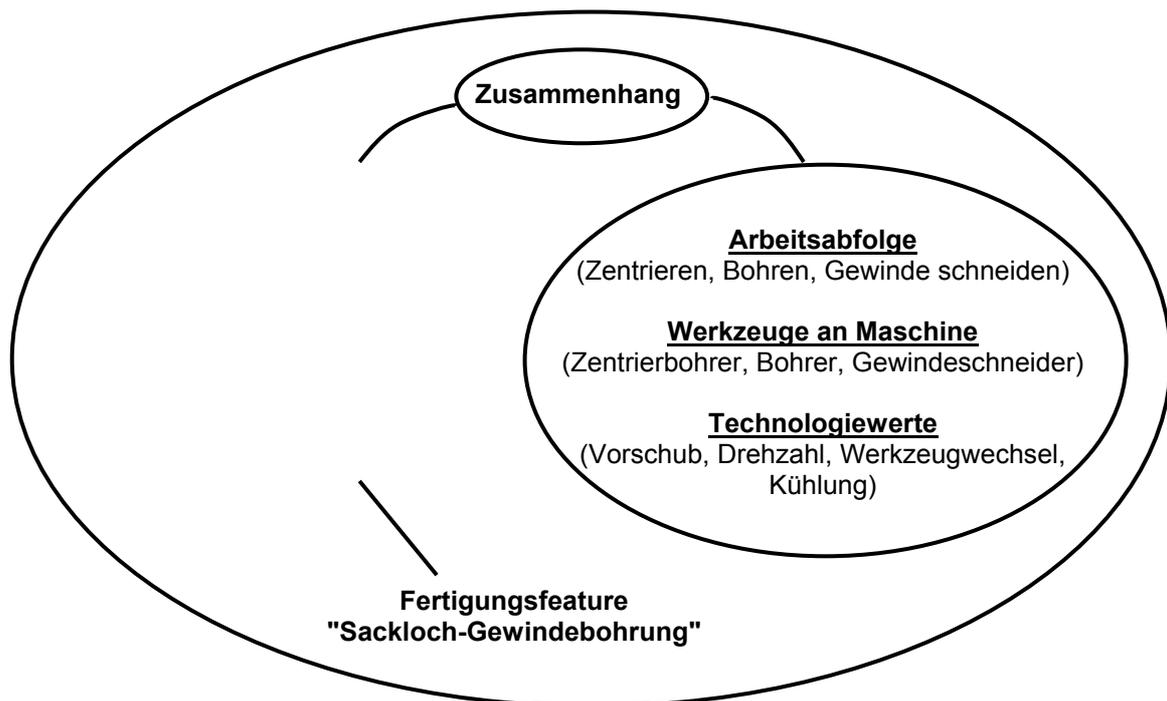
Dieses System ist zwar sehr nützlich um, effizient und schnell Elektroden zu erstellen, jedoch nicht in der Lage eingebrachte Features zu erkennen. Der Aufbau und die Arbeitsweise ähnelt der von Work-NC. Eine Lösung der gestellten Aufgabe mit diesem System zu ermöglichen ist nicht möglich.

## 3.2 Auswertung

Die Möglichkeit eine Feature-Programmierung auf die gleiche Art und Weise in den bestehenden Systemen CATIA V4 und Unigraphics auf einem Niveau umzusetzen, stellte sich als nicht umsetzbar heraus. In CATIA V4 ist der beschriebene Weg im Kapitel 3.1.1. zwar funktionsfähig, jedoch nur mit der Bedingung, das eine Durchgängigkeit des Systems gegeben ist. Das bedeutet, das die Erkennung sowie die Einbringung der Features nur funktioniert, wenn in beiden Bereichen (CAD/CAM) mit CATIA V4 gearbeitet wird. Selbst wenn es möglich wäre in jedem der beiden Systeme einen separaten Lösungsweg zu ermöglichen, so müsste man eine Software oder eine Möglichkeit finden, die beide Lösungswege verstehen und umsetzen kann. Da die Realisierung einer Feature-Programmierung in den vorhandenen Systemen nicht auf einen gemeinsamen Nenner gebracht werden konnte wurde klar, das die angestrebte Lösung nur im CAM Bereich eine neue Software einzufügen, überdacht werden musste. Aus diesen Ergebnissen entstand die Idee, einen völlig neuen Lösungsweg zu verfolgen.

Ein besonderes Merkmal oder Spezifikum kann auch unter dem Oberbegriff Norm zusammengefasst werden. Feature bedeutet übersetzt: besonderes Merkmal. Ein besonderes Merkmal stellt also eine gewisse Norm da, die individuell angepasst werden kann.

Das Bild 3.2.1. zeigt den Schnitt einer Gewindebohrung und deren Zusammenhang mit dem Fertigungsablauf. Im Bereich der Gewindebohrungen ist der prinzipielle Ablauf für die Fertigung immer der gleiche. Es muss immer zentriert, vorgebohrt oder gebohrt und Gewinde geschnitten werden. Die in diesem Fall einzigen Variablen sind die Tiefe der Bohrung, der Durchmesser und die Länge des Gewindes.



**Bild 3.2.1. Feature-Beschreibung**

Aus dem Zusammenhang, das ein Feature in gewisser Weise auch eine Norm darstellt entstand die Idee, diesen Sachverhalt mit der komplexen und umfangreichen Zimmermann-Norm zu kombinieren.

Wie schon angesprochen, existiert die Zimmermann-Norm momentan zum größten Teil in 2D-Format auf Papier (Beispiel Bild3.2.2). Für den Konstrukteur müsste also die Möglichkeit geschaffen werden, Normteile und Features direkt durch eine neutrale Zusatzsoftware in ein CAD-System einzufügen. Im Grundgedanken ist das die gleiche Vorgehensweise einer 2<sup>1/2</sup>D-Programmierung, die zuvor bereits in CATIA V4 beschrieben wurde, mit dem Zusatz, das neben den Features auch Normteile mit eingefügt werden können und die Abrufbarkeit in beiden bestehenden Systemen gleichermaßen gegeben sein sollte. Der erste Schritt wäre auch bei diesem Lösungsweg die Erstellung einer Normteil- bzw. Featurebibliothek.

Als weiteres müsste es möglich sein, den Bauteilen und Features eine Parametrik zuzuordnen. Das heißt, dass durch die Eingabe von diversen Variablen, z.B. einem Durchmesser automatisch durch ein hinterlegtes Regelwerk die Länge der Bohrung mitgeändert wird.

Im Bild3.2.2. ist ein Normblatt der Zimmermann-Norm eines Werkzeugunterbaus zu sehen, der sich aus mehreren Einzelteilen zusammensetzt. Ein Standard

Unterbau besteht immer aus einer Aufspannplatte, Auswerferplatte, Distanzleisten, Hydraulikzylinder und weiteren kleinen Bauteilkomponenten. Die einzelnen Komponenten des Unterbaus sind untereinander in ihren Dimensionen voneinander abhängig, so dass bei der Änderung einer Komponente sich die anderen Komponenten maßlich und in ihrer Dimension mitändern müssen.

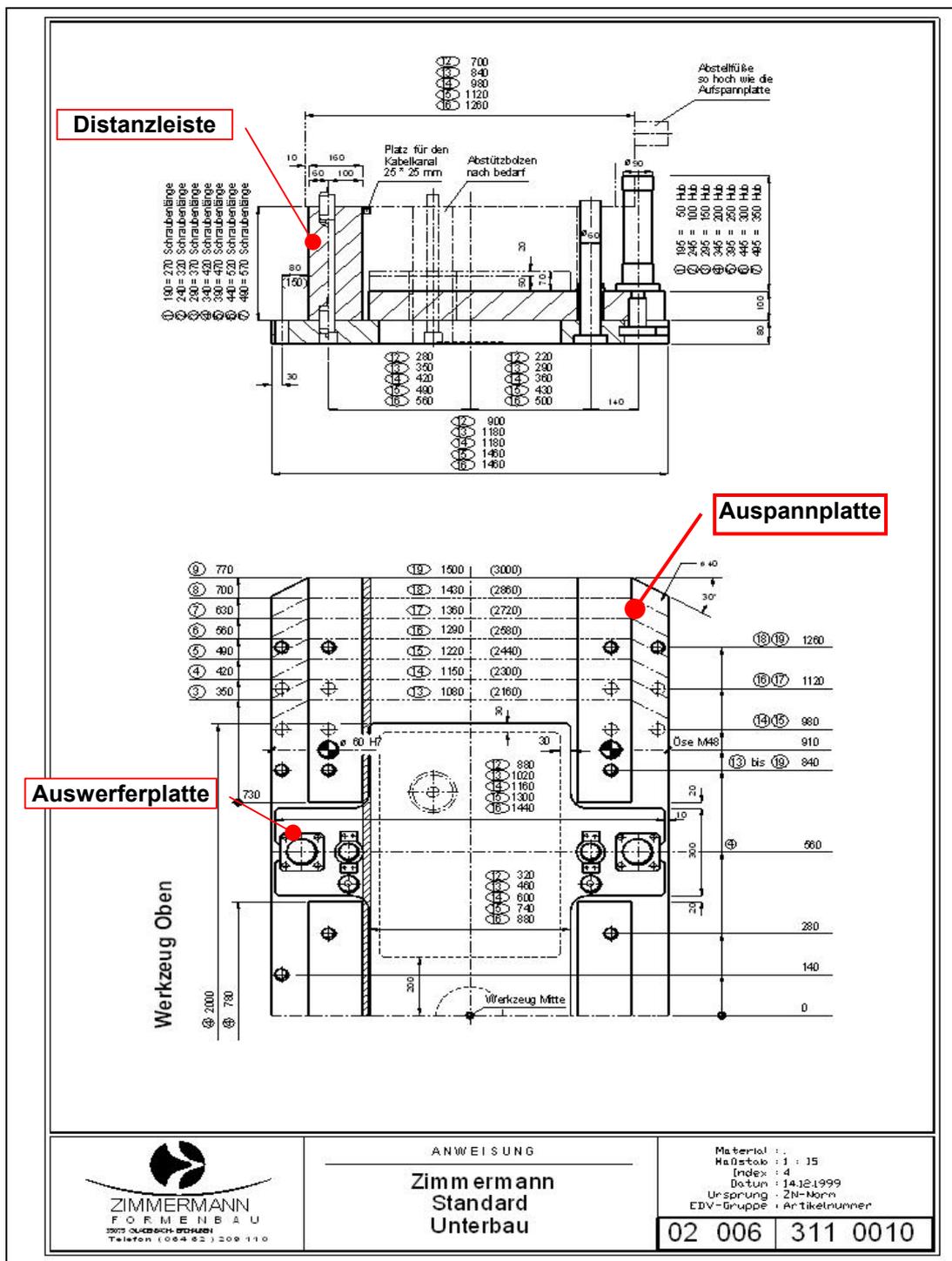


Bild 3.2.2. Beispiel für ein Normblatt der Zimmermann Norm

Durch die Recherchen und Analysen bezüglich der Möglichkeiten einer Feature-Programmierung zeigte sich, dass eine Software der Firma CADENAS in der Lage ist, den gestellten Anforderungen gerecht zu werden. Mit dieser Software wäre die Möglichkeit geschaffen, elektronisch parametrische Normkataloge und Features zu erstellen und in die CAD-Systeme einzufügen. Die entscheidenden Vorteile die man durch die Einführung einer derartigen Software erhalten würde wäre, dass jeder Konstrukteur immer die aktuellste Norm zur Verfügung hätte, die Normteile nur einmal aufgebaut werden müssen und die Möglichkeit bestände, den Bohrungen Funktionsattribute zuzuweisen.

Um eine Konkurrenzsoftware völlig auszuschließen, wurde eine Recherche über die am Markt befindlichen Normteilerstellungs- und Katalogsysteme durchgeführt. Nach Abschluss der Informationssammlung stellte sich heraus, dass sich neben dem bereits bekannten System eine Software der Firma CADBAS auch mit diesem Thema beschäftigt. Im Anschluss an diesen Abschnitt erfolgt eine Gegenüberstellung der beiden Systeme im Hinblick auf Vor- und Nachteile sowie deren Leistungs- und Funktionsfähigkeit.

### **3.3 Gegenüberstellung der beiden Normaliensysteme**

#### **3.3.1 CADBAS**

Das CADBAS Teilemanagement System ist eine Software für die Verwaltung von wiederholten 2D/3D-Normteilen. Die Einbindung des Systems in die vorhandenen CAD-Strukturen ist durch die direkten Schnittstellen kein Problem. Es ist ein modular aufgebautes System, das aus Verbindungselemente-, Lager-, Träger- und Rohrenkatalogen besteht. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit über eine komplexe Bibliothek auf die Norm- und Kaufteile von Herstellern wie HASCO, Festo, Fibro, Strack und einer Vielzahl anderer zuzugreifen. Innerhalb der einzelnen Module und Kataloge hat man die Möglichkeit Sachmerkmale zu editieren, Zeichnungen der Teilegeometrien zu erstellen sowie benötigte Normblätter auszudrucken. Es ist aber nicht möglich eigene Normteile aufzubauen und eigene Feature zu erstellen. Weil diese Feature-Programmierung nicht

möglich ist, wird diese Software ausgeschlossen um einen Lösungsweg für das gestellte Problem zu erhalten.

### **3.3.2 CADENAS**

Das CADENAS System besteht aus zwei Grundmodulen, zum einem dem PARTdeveloper, der für die Erstellung von Normalienkatalogen genutzt wird und zum anderen dem PARTsolutions Modul. Das PARTsolutions Modul ist ein reines Viewer Tool, mit dem die benötigten Normteile der verschiedenen Hersteller ausgewählt und an das CAD-System übergeben werden können. Sowohl die Erstellung von komplexen Normteilkatalogen, als auch die Erstellung von speziellen Bohrungsfeatures ist mit CADENAS ohne weiteres möglich. Ebenfalls besteht in dieser Software die Möglichkeit auf verschiedene Kaufteilkataloge von HASCO, Fibro, Festo, Strack etc. zuzugreifen. CADENAS bietet darüber hinaus einen im Internet verfügbaren PARTserver an, über den eine Aktualisierung der verschiedenen Normteilhersteller ohne Probleme möglich ist.

Als weiteren großen Vorteil gegenüber CADBAS ist CADENAS auch in der Lage, die eingebrachten Features durch das Erzeugen einer sogenannten Bohrtabelle an ein in der Prozesskette folgendes CAM-System weiterzugeben. Diese Bohrtabelle wird von einer "Scan-Engine" innerhalb des CAD-Systems erstellt, indem sie von dem in das 3D-Modell eingebrachten Features eine Art Momentaufnahme erzeugt. Die Ausgabe der Bohrtabelle erfolgt in Form eines Text-Files, in dem alle Features mit ihren speziellen Funktionen, Maßen und Positionen aufgelistet werden.

### **3.3.3 Entscheidung**

Aufgrund dieser Ergebnisse und den gravierenden Vorteilen des CADENAS Systems, wird diese Software als Lösung für die Umsetzung einer Funktionsattribut-Programmierung im CAD-Bereich der Vorrang geben, um in Zusammenarbeit mit der neuen CAM-Software eine durchgängige 2<sup>1/2</sup>D-Programmierung direkt aus dem 3D-Volumenmodell zu realisieren. In ihrem Umfang bzw. den Funktionalitäten zeigte die CADENAS Software mehr

Möglichkeiten als das CADBAS-System. Zum einen durch die Möglichkeit einen eigenen Normkatalog zu erstellen und zum anderen die Featurprogrammierung.

Diese Möglichkeit, der Erstellung einer Bohrtabelle ist zur Zeit der einzige Weg, um die Featureerkennung im CAM-System zu ermöglichen. Im folgenden Kapitel wird der Aufbau der Software und die Funktionalitäten der einzelnen Module beschrieben.

## 4 CADENAS Normalien-System

Mit der Einführung dieser Software sind, wie schon erwähnt, gleichermaßen zwei Problemstellungen gelöst. Zum einen ist es möglich die komplexe Zimmermann-Norm jedem Konstrukteur online zugänglich zu machen und zum anderen das Einsetzen von Bohrungsfeatures in die CAD-Systeme durchzuführen. Ein weiteres Plus besteht darin, das dem Konstrukteur ein einfaches Tool zur Verfügung steht mit dem er in der Lage ist, schnell, fehlerfrei und normabdeckend zu konstruieren. Eine Anbindung an die vorhandenen Systeme ist ohne Probleme möglich, da die Software ein neutrales System ist und direkte Schnittstellen zu Unigraphics, CATIA V4 und einer Vielzahl anderer Systeme besitzt.

Wie zuvor bereits erwähnt, besteht das CADENAS System aus dem PARTdeveloper- und dem PARTsolutions-Modul. Diese beiden Softwarepakete teilen sich in mehrere kleine Module auf (Aufbau der Module siehe Bild 4.1.). Die genaue Arbeitsweise der einzelnen Softwarepakete und deren Funktionalitäten werden nur kurz angesprochen, da eine ausführliche Beschreibung in der Form eines Handbuches enden würde.

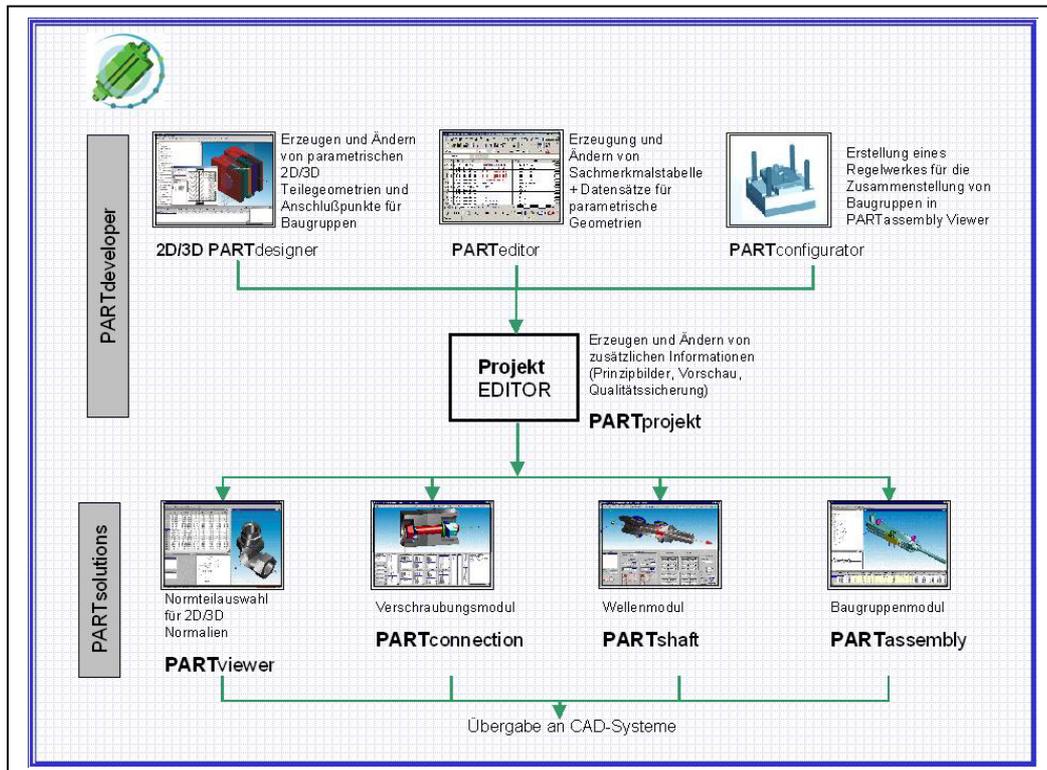


Bild 4.1. CADENAS Modulplan

## 4.1 PARTdeveloper-Modul

Wie im Bild 4.1 zu sehen, setzt sich der PARTdeveloper aus folgenden vier einzelnen Modulen zusammen: PARTdesigner, PARTeditor, PARTconfigurator und PARTprojekt. Mit den PARTdeveloper-Modulen stehen leistungsstarke Werkzeuge zu Verfügung mit denen man in der Lage ist, komplexe Normteile und Normteilkataloge zu erstellen und diese den CAD-Systemen bereitzustellen.

### 4.1.1 PARTdesigner

Mit dem PARTdesigner lassen sich auf einfachste Art und Weise im 2D- und 3D-Bereich komplexe Werksnormen erstellen.

Der PARTdesigner ist ein featurebasierender Solidmodeller der neueren Generation, mit dem Normaliengruppen erstellt und parametrisiert werden können. Er ist die Entwicklungsplattform für Werksnormalien, Normalienkataloge und Featurebibliotheken. Der große Vorteil der PARTdesigner-3D-Umgebung liegt darin, dass dort erstellte Geometrien sofort über die PARTsolutions-Schnittstelle an alle gängigen CAD-Systeme übergeben werden können. Über Sketche, Extrusionen, Rotationen und geometrische Operationen ergibt sich ein vollparametrisches und objektorientiertes Teil.

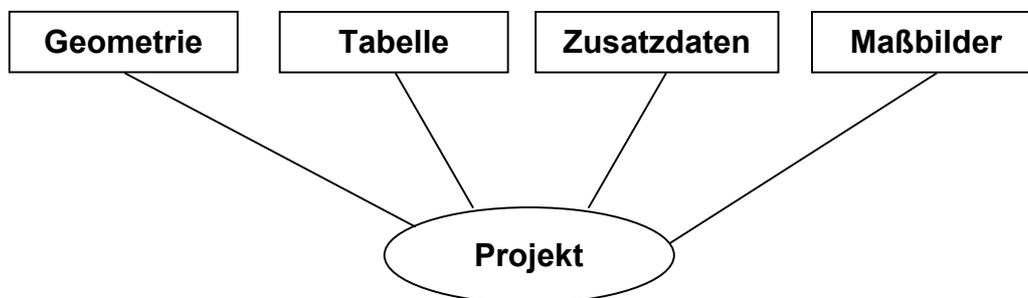
Neben der Möglichkeit Teile im 3D-Bereich zu erstellen, ist es des weiteren auch im 2D-Bereich realisierbar. Die erstellten 2D- und 3D-Daten liegen in einem einheitlichen Format vor, so dass die 2D-Parametrik jederzeit auch im 3D-Bereich weiterverwendet werden kann.

### 4.1.2 PARTeditor

Der PARTeditor dient in erster Linie zum Editieren der erzeugten Sachmerkmalstabellen. Nachdem also vom Anwender im CADENAS PARTdesigner ein parametrisches Normteil erstellt wurde, d.h. dass anstatt Bemaßungswerten Variablennamen vergeben wurden, erstellt der Bediener im PARTeditor aufgrund der zugehörigen Parametrisierung eine Sachmerkmals-tabelle. Innerhalb dieser Tabelle sind jetzt genau die Variablen enthalten die zuvor anstelle der Bemaßung an der Geometriezeichnung angefügt wurden.

### 4.1.3 PARTprojekt

Damit Normteile und Normteilbaugruppen in PARTsolutions von den Modulen PARTviewer und PARTassembly angezeigt bzw. vom Anwender ausgewählt und in ein CAD-System eingefügt werden können, müssen Projektdateien zu einem Normteil bzw. Normteilbaugruppen vorhanden sein, die im PARTprojekt erzeugt werden. In diesen Projektdateien sind Informationen zu den Teilen und Teilefamilien enthalten, wie z.B. der Name der Zeichnungsdatei zu den parametrisierten Normteilen sowie der Dateiname der dazugehörigen, steuernden Sachmerkmalstabelle. Einen Teil der Informationen für die Darstellung im PARTviewer oder PARTassembly ist in der Sachmerkmalstabelle enthalten. Für die komplette Darstellung und Auswahl ist diese Tabelle jedoch nicht ausreichend. Aus diesem Grund werden weitere Dateien, z.B. für die Voransicht in der Projektansicht des PARTviewers und der Bemaßungsansicht in der Normteilansicht benötigt. Ein Projekt entspricht einer Zuordnung aller beteiligter Dateien einer Teilefamilie.



In einer Projektdatei (\*.prj)

<b>müssen:</b>	eine	*.3db(2D), *.dbs(3D)	Zeichnungsdatei	PARTdesigner 2D/3D
	eine	*.tab bzw. *.tac	Sachmerkmalsdatei	PARTeditor

und

sollten	eine	*.dbs, *.pra, *.bmp	Zeichnungsdatei	Unigraphics, CATIA V4
---------	------	---------------------	-----------------	-----------------------

eingetragen sein.

#### **4.1.4 PARTconfigurator**

Die in der heutigen Zeit verwendeten modernen CAD-Solid-Programme verfügen über die Möglichkeit, aus einzelnen Parts (Bauteilen) komplette Baugruppen (Assemblies) zusammenzustellen. Soll eine Baugruppe aus vielen einzelnen Parts bestehen, die zu einer oft verwendeten Standardbaugruppe gehören, z.B. in einem Spritzgusswerkzeug, bietet sich die Möglichkeit an, bereits fertig vorkonfigurierte Grundbaugruppen in ein CAD-Modell einzufügen. Der große Vorteil für den Konstrukteur ist die schnellere Umsetzung seiner Ideen.

Der PARTconfigurator ermöglicht es dem Anwender, aus einzelnen CADENAS PARTdesigner-3D-Bauteilen ganze Baugruppen individuell zusammenzustellen. Die Zusammenstellung geschieht über ein Regelwerk, das vorher im PARTdesigner definiert bzw. durch benannte Anknüpfungspunkte pro einzelnes Part, miteinander verknüpft wurden. Nachdem ein Regelwerk für eine Baugruppe erstellt und mit dem CADENAS Tool PARTprojekt definiert wurde, kann eine benutzerspezifische Baugruppe im PARTassembly Viewer zusammengestellt und in ein CAD-System eingefügt werden. Der PARTassembly Viewer ist ein Modul des PARTsolutions Bausteins.

## **4.2 PARTsolutions-Modul**

Aus dem Bild 4.1 ist zu erkennen, dass auch die PARTsolutions Software ein Grundmodul ist, das aus mehreren einzelnen Modulen besteht. Dem PARTshaft-, PARTconnection-, PARTassembly-Viewer- und das PARTviewer-Modul.

Nur über diese, im Grundmodul enthaltenen Einzelmodule, hat der Konstrukteur die Möglichkeit, ständig auf die benötigten Normteile und Bohrungsfeatures zugreifen zu können. Nachfolgend werden auch hier die Funktionalitäten und die Leistungsfähigkeit der Module erläutert.

Ein weiterer positiver Nebeneffekt des PARTsolutions Moduls ist, dass keine Schulung benötigt wird um die Software bedienen zu können, da diese weitgehend selbsterklärend ist.

### 4.2.1 PARTviewer

Der PARTviewer bietet eine Auswahl an Katalogteilen verschiedener Firmennormen (Merkle, HASCO, Festo usw.), die im Detail räumlich betrachtet, und nach der spezifischen Hersteller Wahl des benötigten Normteils, direkt an das CAD-System übergeben werden können.



**Bild 4.2.1.1. PARTviewer**

Nach der Auswahl des Projektes (Normteils) öffnet sich ein neues Menüfenster, in dem das gewählte Normteil in 3D und mit einer Wertetabelle zu sehen ist. Das in diesem Fall ausgewählte Normteil (Bild 4.2.1.2.) ist ein Block- oder Würfelzylinder der Firma Merkle. Innerhalb der Wertetabelle besteht hier die Möglichkeit, in den "gelb" hinterlegten Feldern die Hubhöhe und den Durchmesser des Zylinders zu ändern. Das Ändern der Werte ist kein Muss sondern nur dann nötig, wenn die ursprünglich von der Software eingestellten Dimensionen nicht ausreichend sind. Der letzte Schritt den der Konstrukteur vollziehen muss, ist die Übergabe an das CAD-System. Dies geschieht, wie im Bild 4.2.1.2. zu sehen, durch Betätigung des dafür vorgesehenen Buttons.

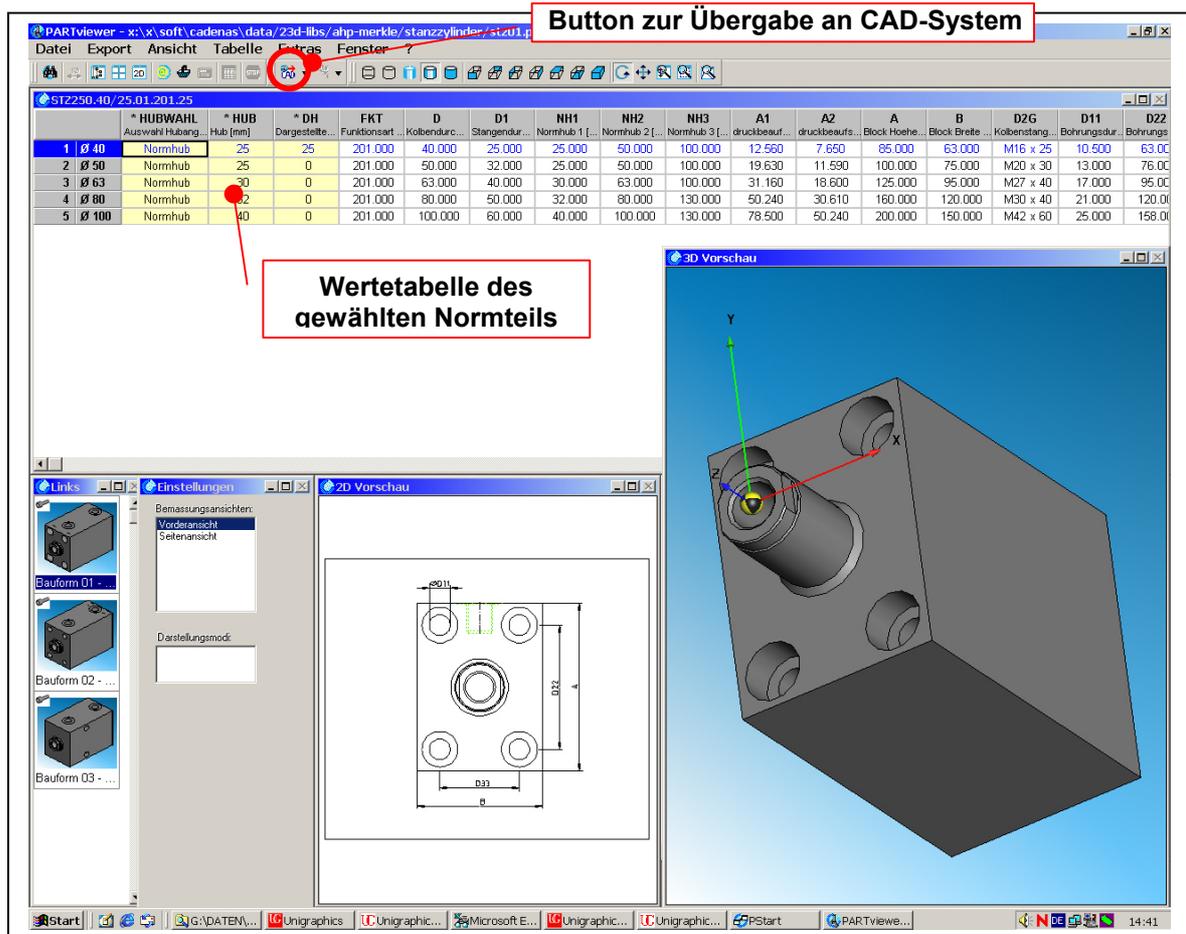
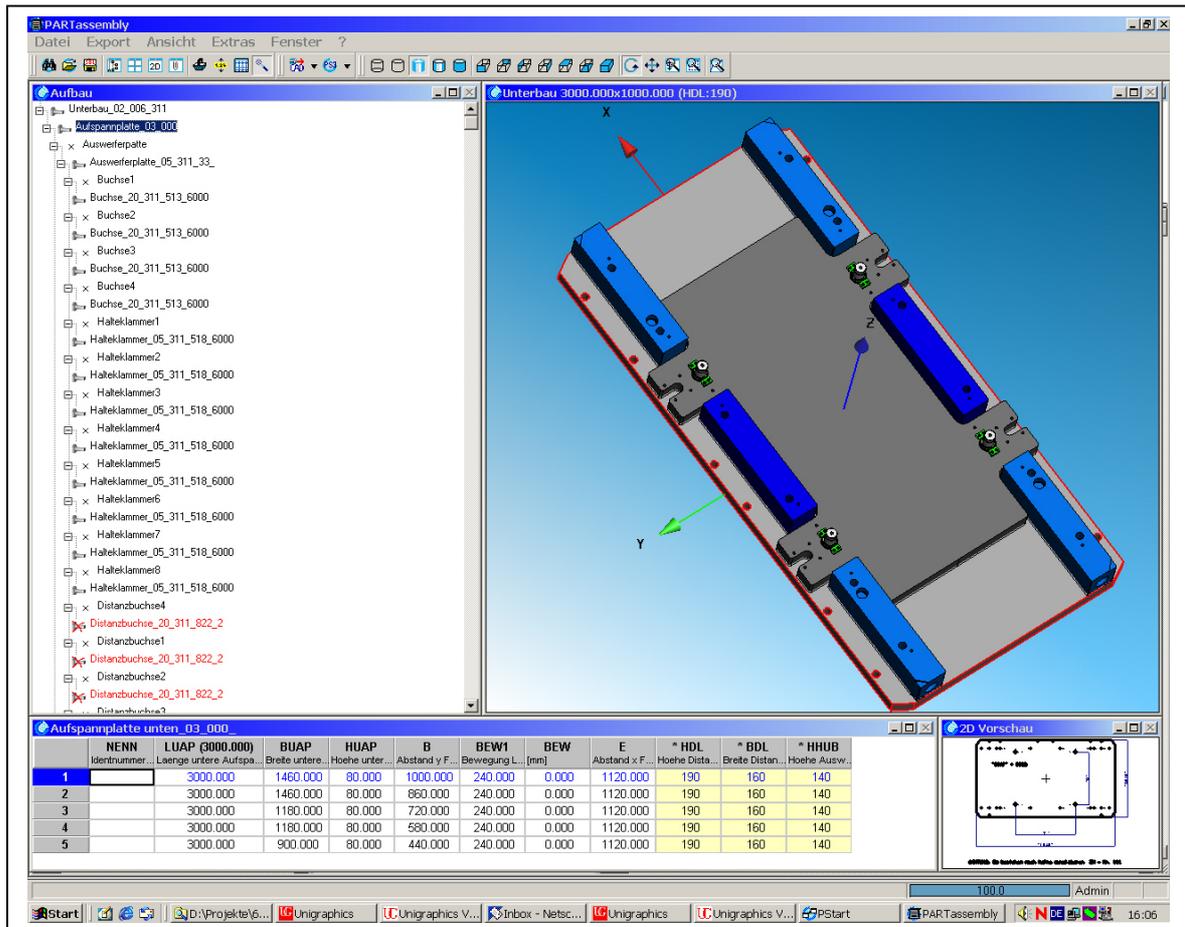


Bild 4.2.1.2. Detailansicht des Normteils

## 4.2.2 PARTassembly Viewer

Der PARTassembly Viewer bietet eine breit gefächerte Auswahl fertig arrangierter Baugruppen der verschiedensten Firmen. Der prinzipielle Aufbau der Teile- bzw. Baugruppen Auswahl ähnelt in seiner Menüoberfläche dem in Bild 4.2.1.1. dargestellten PARTviewer mit dem Unterschied, dass hinter den Firmenlogos entsprechende Baugruppen hinterlegt sind. Selbst die Vorgehensweise bei der Auswahl einer Baugruppe ist die gleiche. Mit diesem Modul kann jedoch nicht nur auf die verschiedenen Hersteller Baugruppen zugegriffen werden, sondern auch auf eigene vorher im PARTassembly des PARTdeveloper-Moduls erstellte Assemblies.

Als Beispiel ist in Bild 4.2.3.1. ein nach Zimmermann Norm erstellter Werkzeugunterbau dargestellt, der bereits in Bild 3.2.2. als 2D-Zeichnung zu sehen war. Nach dessen Auswahl erfolgt auch hier die Übergabe an das CAD-System über den gleichen Button wie vorhin.



**Bild 4.2.3.1 Unterbau-Baugruppe der Zimmermann Norm**

Die Steuerung des Baugruppen-Konfigurationsaufbaus übernimmt ein Regelwerk, das im PARTassembly Configurator (Modul des PARTdeveloper) erstellt wurde. In einem solchen Regelwerk ist festgelegt, welche Anschlussbauteile für das gewählte Startelement im PARTassembly Viewer zur Verfügung stehen werden, an welchen Stellen diese Bauteile dem Startelement hinzugefügt werden können und wie die Auswahl in der dazugehörigen Wertetabelle dimensioniert sein wird. Für den Unterbau war in diesem Fall die Aufspannplatte das Startelement. Alle zugehörigen Bauteile, wie Distanzleisten und Auswerferplatte wurden an den festgelegten Anschlusspunkten eingefügt. Vom Konstrukteur könnte jetzt u.a. die Höhe der Distanzleisten verändert werden, falls die vorgegebene Höhe nicht ausreichend ist. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit eine kleinere Aufspannplatte auszuwählen, so dass sich automatisch die anderen Baugruppenelemente passend nach dem hinterlegten Regelwerk angleichen.

### 4.2.3 PARTconnection

Mit dem PARTconnection Modul lassen sich einfach und schnell Sackloch- und Durchgangsverschraubungen bestimmen. Dazu ist lediglich erforderlich, im jeweiligen CAD-System die Wandstärke des oder der zu verschraubenden Bauteils/Bauteile bzw. den Einfügepunkten der Verschraubungen an PARTconnection zu übergeben. PARTconnection schlägt dann die optimale Schraube aus den zur Verfügung stehenden Normen vor. Es wird folglich die Schraube gewählt, die beim kleinsten Nenndurchmesser die geringste Abweichung von der optimalen Länge aufweist. Die optimale Länge wird wiederum in Abhängigkeit von den Wandstärken, der Breite von Muttern, Ringen und Scheiben, den Senkungstiefen sowie auf Basis der Normen für Senkungs- und Schraubenüberstände berechnet. Wie in jedem Modul des PARTsolutions, wird auch hier die Übergabe an das CAD-System mit dem schon bekannten Button durchgeführt.

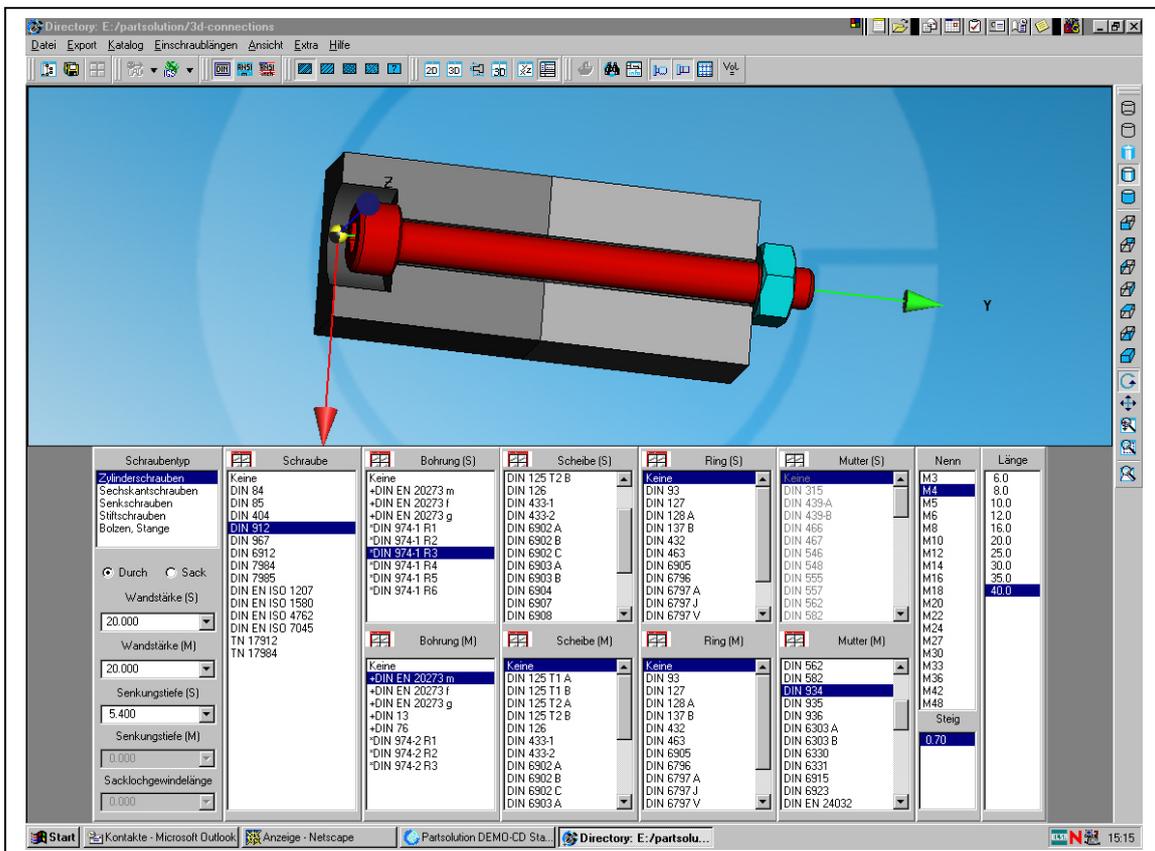


Bild 4.2.3. PARTconnection

#### 4.2.4 PARTshaft

Das PARTshaft Modul ist ein sogenannter Wellengenerator. Mit diesem ist es möglich, komplexe Wellen zu erstellen, indem an ein zylindrisches Grundelement bis zu 99 weitere rotationssymmetrische Wellenelemente angefügt werden können. Für die Gestaltung dieser Elemente stehen umfangreiche Möglichkeiten zur Verfügung. Es können Steigungen, Ausfräsungen, Nuten, Verzahnungen, Bohrungen, etc. erzeugt werden. Zusätzlich stehen verschiedene Lager und Dichtungen zur Verfügung, die verändert bzw. so generiert werden können, dass sie mit den erstellten Wellenmodulen kombinierbar sind.[7]

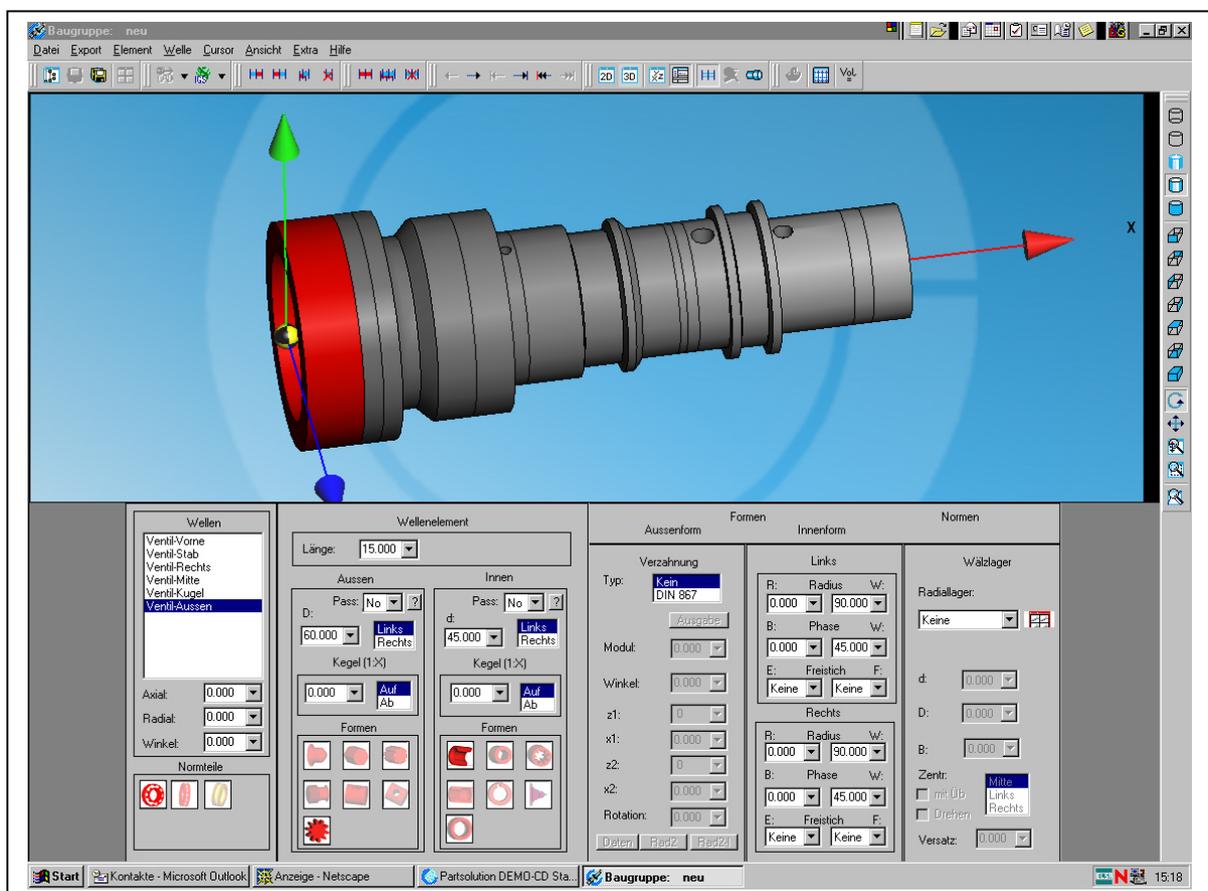


Bild 4.2.4. PARTshaft "Wellengenerator"

### 4.3 Verarbeitung der Bohrtabelle

Um die Funktionalität der Einbringung von Bohrungsfeatures im Zusammenhang mit der Erzeugung der Bohrtabelle zu überprüfen, wurde von CADENAS eine Testlizenz über das PARTsolutions-Modul zur Verfügung gestellt.

Die Einbindung der PARTsolutions-Schnittstelle in das Unigraphics System erfolgt automatisch nachdem der Setup von CD ausgeführt wurde. Nach Abschluss des Setups und einem Neustart des Systems, wird der Unigraphics Menüoberfläche automatisch das Symbol der Firma CADENAS hinzugefügt (im Bild 4.3.1: Punkt 1). Über diesen neuen Button erhält der Konstrukteur die Möglichkeit, direkt auf die verschiedenen Module PARTviewer, PARTshaft, PARTassemblies Viewer und PARTconnection zuzugreifen.

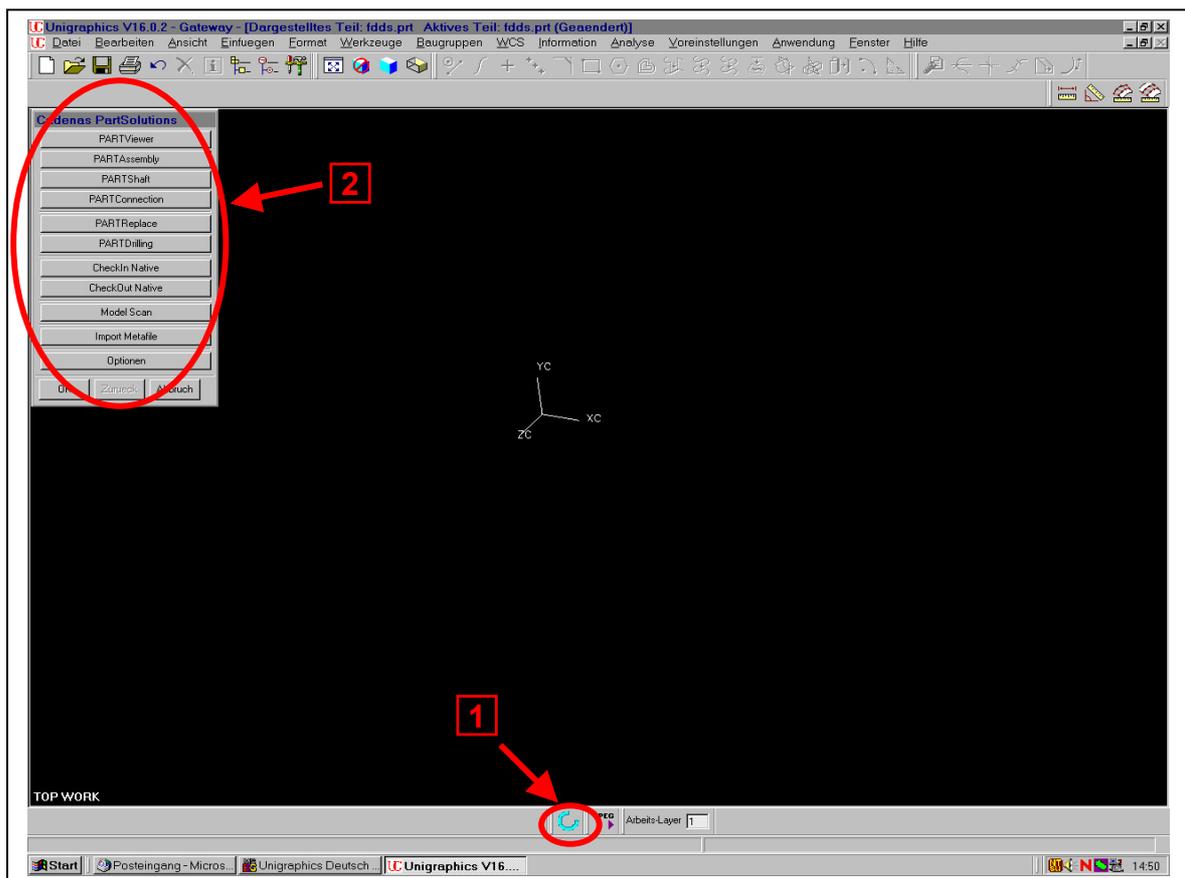
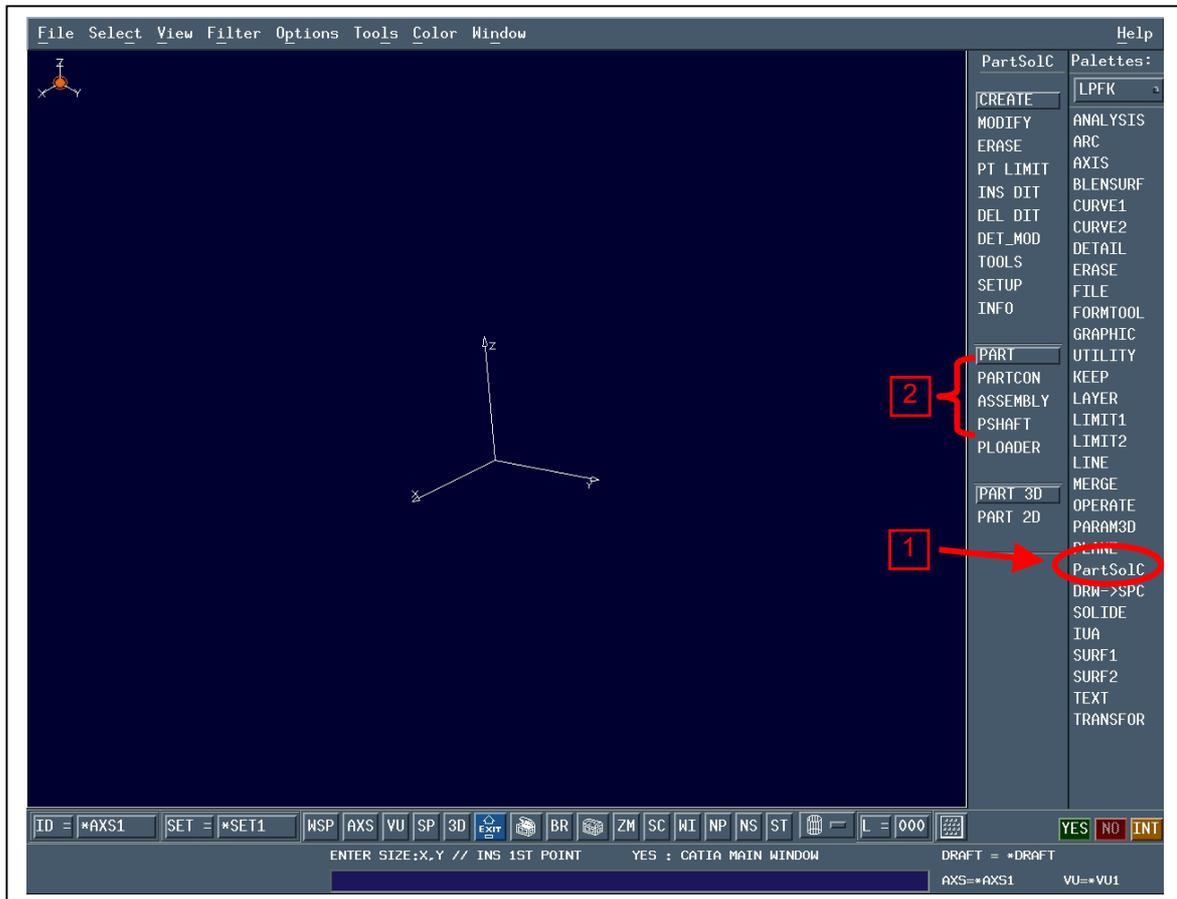


Bild 4.3.1 Neue Menüstruktur in Unigraphics

Die Einbindung der PARTsolutions-Schnittstelle in CATIA V4 erfolgte weitgehend auf die gleiche Weise. Der einzige Unterschied besteht darin, dass CATIA V4 im Unix Betriebssystem arbeitet.

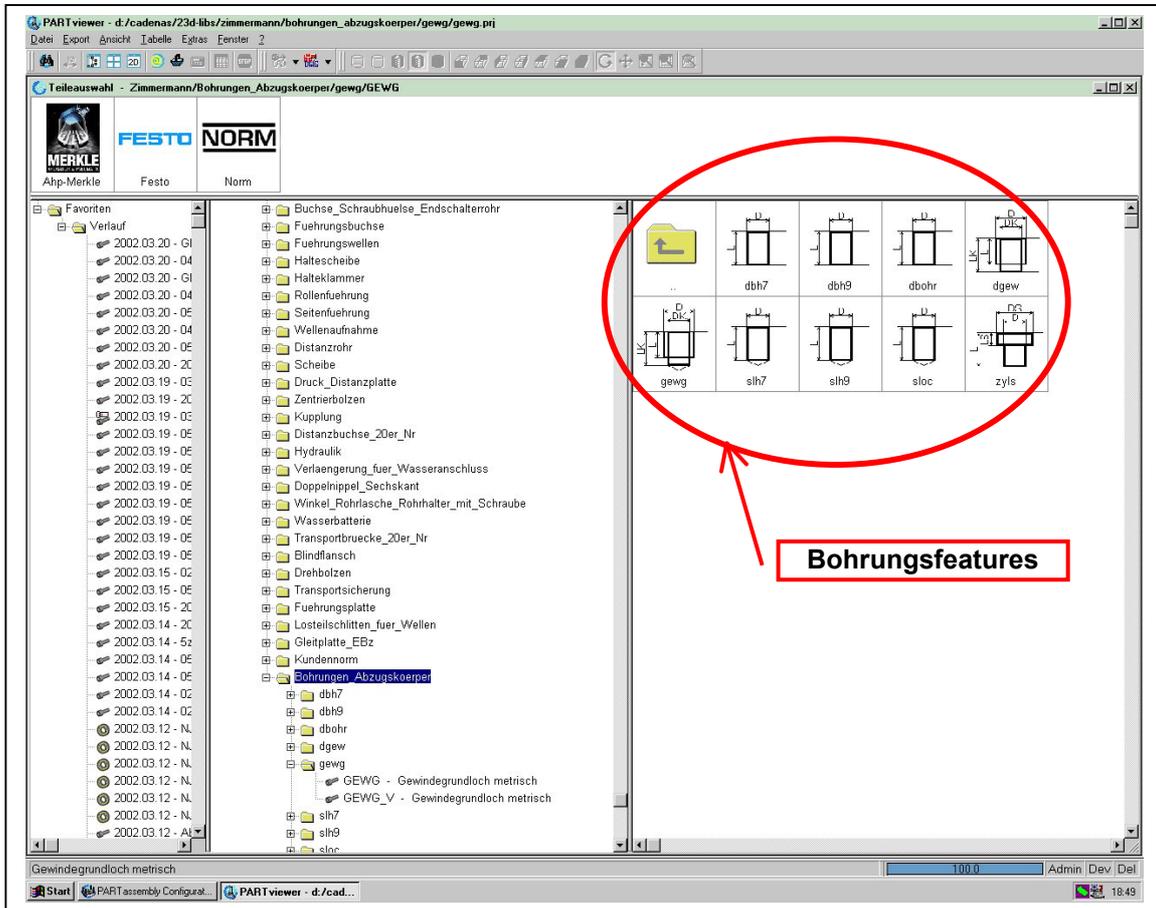


**Bild 4.3.2 Neue Menüstruktur in CATIA V4**

Wie im Bild 4.3.2 zu erkennen, ist auch der Menüstruktur in CATIA V4 ein Button (Punkt 1) hinzugefügt worden, über den ein direkter Zugriff auf die in der PARTsolutions-Einheit enthaltenen Module (Punkt 2) gegeben ist. Im Gegensatz zur Bildschirmoberfläche in Unigraphics hat man in CATIA V4 nur die Möglichkeit auf PARTsolutions zugreifen zu können, wenn man sich in der Palette "LPGK" (Lighted Program Function Keyboard) befindet. Dies ist jedoch kein Mangel bei der täglichen Anwendung von PARTsolutions.

Im Lieferumfang des PARTsolutions Moduls, ist neben einer großen Auswahl an Kaufteil Normkatalogen verschiedener Hersteller auch eine kleine Bibliothek von Bohrungsfeatures enthalten. Mit diesen Features sind bereits erste Tests möglich, ohne den Aufbau von eigenen Features.

Nachdem der Konstrukteur das Menüfeld für den Zugriff auf PARTsolutions in seinem CAD-System betätigt hat, öffnet sich dieser automatisch.



**Bild 4.3.3. Bohrungs-Feature Katalog**

Hier besteht die Möglichkeit durch Öffnen der Feature-Bibliothek die Bohrungsart herauszusuchen, die gefertigt werden soll.

In diesem Fall soll eine Gewindebohrung mit dem Attribut M30 in das im CAD-System erstellte Volumenmodell eingefügt werden.

**Auswahl der einzufügenden Bohrung**

	D	DK	L	LK	GEWINDE	P	SHOWVAR	
	Durchmess...	Durchmesse...	Länge [mm]	Länge Kernlo...	Gewindegrö...	Steigung [mm...	Tabellenwerte für Zeichnung [mm]	
1	Gewindegrundloch M3	3.000	2.500	4.200	7.000	M3	0.5	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
2	Gewindegrundloch M4	4.000	3.300	5.600	9.400	M4	0.7	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
3	Gewindegrundloch M5	5.000	4.200	7.000	11.200	M5	0.8	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
4	Gewindegrundloch M6	6.000	5.000	8.400	13.500	M6	1	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
5	Gewindegrundloch M8	8.000	6.900	11.200	17.400	M8	1.25	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
6	Gewindegrundloch M10	10.000	8.600	14.000	21.300	M10	1.5	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
7	Gewindegrundloch M12	12.000	10.500	16.800	25.100	M12	1.75	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
8	Gewindegrundloch M16	16.000	14.200	22.400	31.700	M16	2	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
9	Gewindegrundloch M20	20.000	17.500	28.000	39.200	M20	2.5	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
10	Gewindegrundloch M24	24.000	21.000	33.600	46.700	M24	3	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
11	Gewindegrundloch M30	30.000	26.500	42.000	57.200	M30	3.5	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
12	Gewindegrundloch M36	36.000	32.000	50.400	67.200	M36	4	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
13	Gewindegrundloch M42	42.000	37.500	58.800	77.200	M42	4.5	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
14	Gewindegrundloch M48	48.000	43.000	67.200	88.000	M48	5	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
15	Gewindegrundloch M56	56.000	50.500	78.800	101.200	M56	5.5	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2
16	Gewindegrundloch M64	64.000	58.000	89.600	113.000	M64	6	3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2

**Anknüpfungspunkt für Übergabe an CAD-System**

Bild 4.3.4. Tabelle für Auswahl von Gewindebohrungen

Im Bild oben ist zu sehen, dass nicht nur das Attribut M30 in der Tabelle hinterlegt ist, sondern auch die Gewindelänge, der Kernlochdurchmesser, die Länge des Kernloches und die Steigung des Gewindes.

Zusammen mit diesen Informationen wird ein detaillierter Abzugskörper der Gewindebohrung mit in das Solidmodell übergeben. Die weitere Bearbeitung des Abzugskörpers ist genau der gleiche Prozess wie in Kapitel 3 beschrieben. Die anschließende Erzeugung der Bohrtabelle erfolgt innerhalb des CAD-Systems nach dem Einfügen der Features durch die Funktion NC-Scan. Dieser NC-Scan löst eine Suchroutine "SCAN-ENGINE" aus, die das komplette 3D-Modell nach eingefügten Features und deren Funktionsattributen durchsucht und diese in ein Textfile schreibt.

Das nächsten Bild enthält einen Auszug aus dem erzeugten Textfile (Bohrtabelle). Hier ist zu sehen, dass alle Attribute (blaue Markierungen) des Features zusammen mit den Positions- und Winkelkoordinaten (rote Markierungen) ausgegeben wurden. Nur anhand dieser Informationen kann das CAM-Programm später die Daten entsprechend verarbeiten.

```
MODELSCANEXP{GLOBPARA{OBJ{NAME{"Gewindegrundloch M30 L42"}
MIDENT{"{/raid/link/places/cadenas/data/23dlibs/bohrungen_abzugskoerper/gewg/gewg.
prj},057 {VTYP=3D},{NB=Gewindegrundloch M30 L42},{NN=1},{WBVAR=}
{NB=Gewindegrundloch M30 L42},{KT=GEWG},{IDNR=Gewindegrundloch
M30},{D=30.000},{DK=26.500},{L=42.000},{LK=57.200},{GEWINDE=M30},{P=3.5},{SHOWV
AR=3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2}}}

EXTATTRVAR{NAME{"KT"}VALUE{"GEWG"}}
EXTATTRVAR{NAME{"IDNR"}VALUE{"Gewindegrundloch M30"}}
EXTATTRVAR{NAME{"D"}VALUE{"30.000"}}
EXTATTRVAR{NAME{"DK"}VALUE{"26.500"}}
EXTATTRVAR{NAME{"L"}VALUE{"42.000"}}
EXTATTRVAR{NAME{"LK"}VALUE{"57.200"}
EXTATTRVAR{NAME{"P"}VALUE{"3.5"}}
EXTATTRVAR{NAME{"SHOWVAR"}VALUE
{"3 NR, 8.2 XC, 8.2 YC, 8.2 ZC, IDNR: S20, D: F6.2, L: F6.2, DK: F6.2, LK: F6.2}}}
CIDENT{"gewg"}
MAT{1,0,0,0,0,-1,0,0,0,0,-1,0,99.495765,99.875318,0,1}}
```

**Winkel- und Positionskoordinaten**

Bild 4.3.5. Bohrtabelle

## 4.4 Vorstellung der zukünftige Systemstruktur

Aus den gewonnenen Informationen über die Möglichkeiten des CADENAS Systems, wurde die zukünftige Systemstruktur erarbeitet und mittels einer Power-Point Präsentation der Geschäftsführung als erstes Ergebnis vorgestellt. Im Folgenden wird die neue Struktur und der Ablauf kurz beschrieben.

### 4.4.1 Neue Ablauf in der CAD-Abteilung

Nach der Einführung der CADENAS Software sind (gemäß Bild 4.3.1) lediglich die CAD-Systeme CATIA V4 und Unigraphics vom ursprünglichen Kern der CAD-Abteilung erhalten geblieben. Die größte Neuerung im CAD-Bereich ist die neue Software der Firma CADENAS. Über diese Software erhält man die Möglichkeit, zukünftig die Erstellung der Zimmermann- bzw. Kundennorm im 3D-Format online zugänglich zu machen sowie vordefinierte Features in ein CAD-System einzufügen. Das vorher in diesem Bereich genutzte AutoCAD-System bleibt innerhalb der Abteilung erhalten, arbeitet jedoch nicht mehr direkt mit den 3D-Systemen zusammen. Auf diesem System werden zukünftig nur noch die Zeichnungen für die Heißkanäle, Hydraulikpläne und Werkzeugbeschriftungen erstellt.

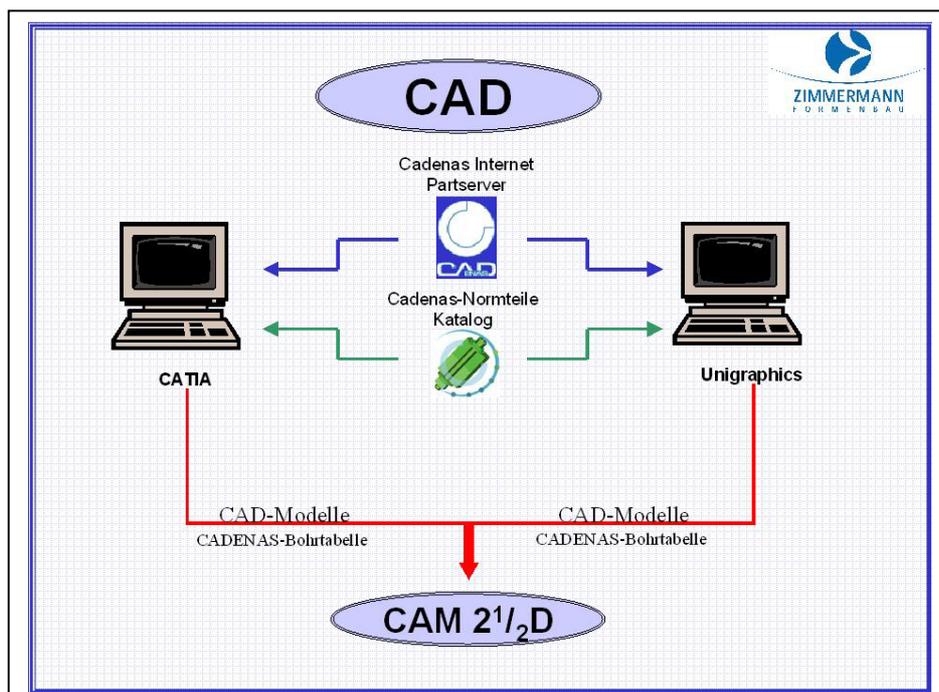


Bild 4.4.1 Neue Systemstruktur in der CAD-Abteilung

Es muss nun keine Zeit mehr aufgewendet werden, die Normteile immer wieder neu zu konstruieren. Weiterhin entfällt durch die eingefügten Features die aufwendige Zeichnungserstellung und Bemaßung. Der erste Schritt in Richtung der zeichnungslosen Fertigung wäre hiermit getan.

Nach dem Konstruktionsabschluss für ein Werkzeug bleibt die Vorgehensweise in ihrem ursprünglichen Ablauf erhalten. Der Konstrukteur speichert sein 3D-Modell unter dem jeweiligen Namen ab und legt dieses File zusammen mit der erstellten Bohrtabelle auf dem Server, wie in Kapitel 2 beschrieben, ab.

#### **4.4.2 Neuer Ablauf in der CAM-Abteilung**

Im Ursprung bleibt die Arbeitsweise für die Programmierung der 3D-Bearbeitungen erhalten. Zu den vorhandenen Systemen Work-NC und Pflighar-RTM soll ein neuer Arbeitsplatz, ausschließlich für die Programmierung aller 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D Bearbeitungen installiert werden. Die Bedingungen und Anforderungen, die eine neuen Software zu erfüllen hat, sind durch die Systemumgebung im CAD-Bereich festgelegt. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang die Verarbeitung der Bohrtabelle und das Erkennen eingebrachter Features sowie die Überwindung der Schnittstellenproblematik und die Verarbeitung der verschiedenen Maschinen- bzw. Steuerungsarten.

Nach dieser ausführlichen Analyse des CADENAS-Systems, sind die nächsten Schritte eine strukturierte Suche nach einer geeigneten Software um in Zusammenarbeit mit CADENAS die 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung umsetzen zu können.

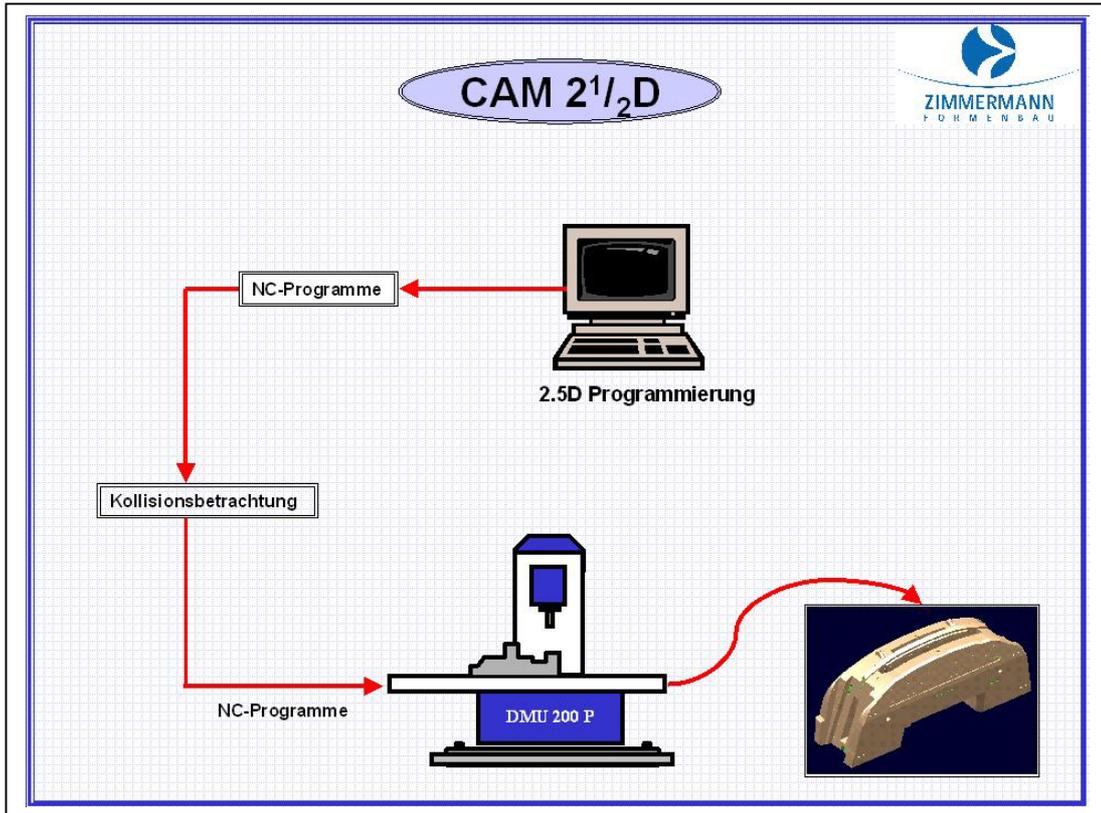


Bild 4.4.2 Neue Systemstruktur in der CAM- und Maschinen-Abteilung

## 5 Strukturierte Analyse für die neue 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Software

Während der Informationssammlung kristallisierte sich heraus, dass zur Zeit eine Vielzahl von Systemen existieren, die sich mit dem Thema 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D- bzw. Featureprogrammierung auf Basis von Volumenmodellen befassen. Einige dieser Firmen sind weltweit bekannt und haben sich schon einen Namen im Bereich der 3D-CAD- oder CAM-Systemen gemacht. Andere kleinere Firmen befinden sich noch im Aufbau, drängen jedoch mit neuen richtungsweisenden Innovationen auf den Markt.

Um eine geeignete und objektive Auswahl für ein System treffen zu können, reichte es natürlich nicht aus, sich durch Berge von Prospekten der verschiedenen Anbieter zu arbeiten. Eine Software lässt sich nicht anhand von Bildern oder Texten beurteilen. Aus diesem Grund war es unumgänglich, sich von den Softwaresysteme einen persönlichen Eindruck zu verschaffen. Nach einer zweiwöchigen Recherche und der Ausarbeitung eines Pflichtenheftes konnte die Anzahl der Systeme auf fünf begrenzt werden.

Eine erste persönliche Kontaktaufnahme mit den favorisierten Anbietern ergab sich auf der EMO in Hannover. Die EMO (**Exposition Mondiale de la Machine Outil**) ist eine Messe, die alle 2 Jahre in verschiedenen Städten stattfindet. Hier bestand die Möglichkeit, einen ersten Überblick über die Software und den Service zu bekommen sowie erste Kontakte mit den Mitarbeitern zu knüpfen. Um die favorisierten Softwaresysteme objektiv unter realen Bedingungen beurteilen zu können, wurden Testvorführungen im Hause Zimmermann vereinbart.

Auf den folgenden Seiten werden die Firmen vorgestellt, die für die Lösung der gestellten Aufgabe in die engere Auswahl kamen. Im Prinzip ist jedes System mit den gleichen Grundfunktionen ausgestattet, so dass sich die Auswahl auf die Funktionalität, Handhabung oder auch die Performance beschränkt. Die Kosten für die Anschaffung einer geeigneten Hardware sind bei den einzelnen Systemanbietern ähnlich. Voraussetzung ist, dass es sich bei der Hardware um einen PC-Arbeitsplatz handelt und nicht um eine UNIX-Workstation. Für die Kalkulation der Hardwarekosten müssen je nach Betriebssystem zwischen 3.000,00 € und 5.000,00 € veranschlagt werden.

## 5.1 Vorstellung der verschiedenen Anbieter

### 5.1.1 CATIA V5 NC

Der Name CATIA ist im eigentlichen Sinne nicht die richtige Anbieterbezeichnung, da CATIA der Name der Software ist. Diese ist eine Entwicklung der Firma Dassault-Systems und wird weltweit von IBM vermarktet. Weltweit arbeiten mehr als 20.000 Anwender mit dem wohl leistungsfähigsten CAD/CAM-System. Die Möglichkeit, Lizenzen der Software zu erwerben, besteht nur über Systemhäuser, die im direkten Kontakt mit IBM stehen. Im Rahmen der immensen Anzahl installierter Lizenzen und der daraus resultierenden Verbesserungsvorschläge seitens der Anwender, werden diese von Dassault-Systems genutzt um die Software CATIA stetig weiter zu entwickeln und zu verbessern.

CATIA V5 NC besitzt einen sehr leistungsfähigen Modellierkern, der in der Lage ist, sehr komplexe Volumen- und Flächenmodelle zu verarbeiten. Standardmäßig sind im Bereich der Flächen Schnittstellen VDA, VDAFS, DXF und IGES integriert. Im Volumen-Bereich existiert das CATIA spezifische Format "\*.model". Diese Version von CATIA ist eine völlige Neuentwicklung und hat mit der Vorgängerversion V4 keinerlei Ähnlichkeit mehr, ist jedoch im Vergleich wesentlich leistungsfähiger. Auf den ersten Blick ist eine gewisse Verwandtschaft mit Pro-Engineer erkennbar. Um z.B. einen Würfel zu erstellen wird im Sketcher (Skizzierer) im 2D Format die Würfelfigur erzeugt und anschließend mit Bemaßung und parametrischen Bedingungen versehen. Danach wird der Sketchermodus verlassen und in den Volumenmodus gewechselt. In dieser Maske wird lediglich die Höhe eingegeben und man erhält den fertigen Würfel.

Die Umsetzung der featurebasierenden 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung ist in dieser Software auf zwei Arten möglich. Würde man anstelle von CATIA V4 in der CAD-Abteilung die V5-Version verwenden, so hätte man mit diesem Softwaremodule die Möglichkeit eigene Features zu erstellen und einzufügen. Die Erkennung der Features wäre dann im NC-Modul auch ohne Bohrtabelle gegeben. Der andere Weg ist der bereits angesprochene über das Einlesen der CADENAS Bohrtabelle.

**Fazit:** Das CATIA V5 NC ist eine richtungsweisende Neuentwicklung, die durch ihr modular aufgebautes, sehr gut durchdachtes sowohl mit komplexen als auch einfach zu bedienenden Funktionen heraussticht. Das Modul setzt sich aus einem CAD-Basispaket und dem NC-Modul zusammen. Im Vergleich mit anderen bis dahin getesteten Systemen ist dieses eines der herausragendsten. Die Aufgabe das gestellte CAD-File zu laden, konnte innerhalb kürzester Zeit sehr zufriedenstellend erledigt werden. Gleichzeitig zeigte die Software einen einfachen logischen Aufbau sowie ein bedienerfreundliches Bildschirmmenü. Ein Kritikpunkt waren die Kosten des Systems, da durch den modularen Aufbau mehrere Lizenzen für einen funktionsfähigen Arbeitsplatz benötigt werden. Sehr überzeugend jedoch war die Möglichkeit, eine über CADENAS erzeugte Bohrtabelle einlesen zu können.

### 5.1.2 Cimatron-NC

Die Firma Cimatron wurde vor 20 Jahren gegründet und ist im Bereich von integrierten CAD/CAM-Lösungen, wie sie im Werkzeug-, Modell- und Formanbau eingesetzt werden, eine bekannte Firma. Die Mitarbeiter von Cimatron im Bereich Forschung und Entwicklung, besuchen in regelmäßigen Abständen die Cimatron-Anwender um zu gewährleisten, dass Kundenwünsche bei der Weiterentwicklung berücksichtigt werden. Das Ergebnis ist eine praxisorientierte CAD/CAM-Software mit hohem Niveau.

Mit Cimatron-NC ist ein Austausch von Fremddaten problemlos über die vorhandenen neutralen und direkten Geometrieschnittstellen möglich. Als neutrale Schnittstellen sind wie in nahezu jedem System IGES, VDA, VDAFS, DXF, STEP, SAT, STL vorhanden. Für die direkten Schnittstellen stehen CATIA, ProE, Unigraphics, DWG und Cimatron zur Verfügung.

Wie die meisten Systeme besitzt auch Cimatron-NC ein integriertes CAD-Modul, um ein effizientes und fertigungsgerechtes Aufarbeiten der Geometriedaten ermöglichen zu können. Das CAD-Modul ist ein sogenannter Hybrid-Modellierer, der sowohl Flächen- als auch Volumenmodelle erstellen kann. Funktionen wie 2- bis 5-Achsenbearbeitung und Intelligentes-NC sind weitere Zugaben für reibungsloses Programmieren von NC-Programmen.

Die Kosten der Software bewegen sich im mittleren Preissegment und belaufen sich im Basispaket auf ca. 15.000€ zzgl. MwSt. ohne erforderliche Hardware. Cimatron ist ein modular aufgebautes System und kann so ganz speziell auf die jeweiligen Kundenwünsche abgestimmt werden.

**FAZIT:** Bei Cimatron-NC handelt sich um ein System, das für Kunden mit weniger hohen Ansprüchen völlig ausreichend ist. Gerade im Bereich der Kosten ist Cimatron mit einem sehr guten Preis-Leistungs-Verhältnis auf dem Markt vertreten und daher für kleinere Firmen eine Alternative gegenüber anderen Systemen.

Für die Firma Zimmermann war es wichtig, dass das Einlesen von Datenfiles mit der Größe von 50-100 MB ohne Probleme möglich ist, da das in etwa die standardmäßigen Größen von Datenfiles umfasst. Um jeden Systemanbieter die gleichen Bedingungen für das Einlesen von Datenfiles zu bieten, wurde ein Referenz-File mit 30 MB Größe von Zimmermann zur Verfügung gestellt.

Von Cimatron wurde das Einlesen dieses Files mit nur mangelhaftem Ergebnis bewältigt. Für das Laden und Sichtbarmachen des Files im CAD-Modul, benötigte Cimatron 45 Minuten. Mit der Weiterverarbeitung im CAM-Modul wäre in etwa der gleichen Zeit zu rechnen gewesen. Ein weiteres Defizit war, dass bereits innerhalb des CAD-Moduls erhebliche Performanceeinbußen sichtbar wurden.

Die Vorführung wurde an dieser Stelle abgebrochen, da das Ergebnis keine Basis für weitere Tests darstellte. Daraus folgten die selbst so wichtigen Punkte wie die Kollisionskontrolle, die Ausgabeform des NC-Codes, etc. nicht weiter erörtert wurden.

Nach einem Referenzbesuch bei einer Firma, die Cimatron-NC einsetzt, wurde klar, dass ein reibungsloser Arbeitsablauf nur gegeben ist, wenn durchgängig mit Cimatron Software gearbeitet wird.

### 5.1.3 OPEN-MIND

Open-Mind ist ein sehr junges Unternehmen das erst vor 7 Jahren gegründet wurde. Während dieser Zeit hat sich das Unternehmen sehr schnell auf dem Markt zum Entwicklungspartner von führenden Unternehmen wie Siemens, Daimler-Chrysler, Eurocopter, etc. entwickelt. Die Open-Mind CAM-Lösungen

gliedert sich in zwei Produktfamilien: standalone- und integrierte CAM-Applikationen.

Als integrierte Lösung für Autodesk, Mechanical Desktop, CATIA und thinkdesign steht das Modul "hyperMILL" zur Verfügung. Im Standalone-Bereich stehen zwei Softwaremodule zur Verfügung. Zum einen das 2D/3D-CAM-System "hyperFORM", das speziell für anspruchsvolle Aufgaben im Werkzeug- und Formenbau konzipiert wurde, und zum anderen das Modul "hyperFACT". Für eine werkstatorientierte NC-Programmierung und Produktion ist das Modul "hyperFACT" die beste Lösung.

Dieses "hyperFACT" Modul wurde von Open-Mind favorisiert um die Problemstellung der Featureprogrammierung im Hause Zimmermann umzusetzen.

**Fazit:** Wie jeder Vorfürer bekam auch Open-Mind die Aufgabe das gestellte 3D-Datenmodell zu laden, innerhalb von 10 Minuten konnte die Aufgabe umgesetzt und ein Resultat vorgewiesen werden. Der nächste Augenmerk galt der Kollisionsbetrachtung, die von "hyperFACT" leider nur zum Teil zufriedenstellend präsentiert wurde. Eine Kollisionskontrolle war hier nur zwischen rotierendem Werkzeug mit Halter und dem Werkstück möglich. Die Simulation des erstellten NC-Programmes an einem virtuellen Maschinenmodell wurde von "hyperFACT" zwar erfüllt, jedoch nur als reine Simulation. Ein Realfall wurde in dieser Vorführung nicht erprobt. In der Gesamtbetrachtung ist die Software "hyperFACT" von Open-Mind ein gut durchdachtes Konzept mit übersichtlichem Bildschirmfenster und selbsterklärenden Menüfeldern.

#### 5.1.4 TEBIS

Die Tebis AG ist ein Software-Unternehmen, das CAD/CAM-Systeme für den Modell-, Formen- und Werkzeugbau entwickelt und sozusagen schlüsselfertig liefert. Weiterhin wird ein kompletter Service rund um die Software einschließlich Installation, Schulung und Hotline-Betreuung angeboten.

Der Kundenkreis von Tebis stammt - wie bei den Konkurrenzsystemen auch - meist aus der Automobil- und Luftfahrtindustrie sowie deren Zulieferunternehmen. Durch die Spezialisierung von Tebis auf die Anforderungen aus dem Modell-,

Werkzeug- und Formanbau kann jeder Arbeitsplatz aus verschiedenen CAD/CAM-Modulen individuell zusammengesetzt werden. Für die Feature Technologie steht innerhalb der TEBIS Software ein Zusatzmodul (MT-F) zur Verfügung. Dieses Modul ist eine gemeinsame Entwicklung von VW-Formenbau Wolfsburg, TEBIS und des Ingenieurbüros Moldware. Dieses Modul kann jedoch nur in das CATIA-System integriert werden. Auch hier wurde die bereits bekannte Aufgabe gestellt, die in der Performance und Darstellung sowie der kurzen Ladedauer des CAD-Files sehr zufriedenstellend war.

**FAZIT:** In Bezug auf die Zeit, die das TEBIS Modul benötigte, um das Referenz-File zu laden, konnte das System mit einer sehr kurzen Verarbeitungszeit überzeugen. Das angesprochene MT-F Modul für die 2<sup>1/2</sup>D Feature Programmierung zeigt sich als sehr ausgereift und durchdacht, hatte jedoch den entscheidenden Nachteil, dass eine Integration in das Unigraphics System nicht möglich war. Der Bildschirmaufbau und die Symbolik waren sehr übersichtlich gestaltet, dennoch war die Logik die hinter den Symbolen steckte sehr schwer verständlich. Ein weiterer Kritikpunkt liegt in den langen Wegen die bei einer Funktionsauswahl zurückzulegen sind. In seiner Gesamtheit ist das Tebis-System eines der leistungsfähigsten und zählt zu den Marktführern. Diese Leistungsfähigkeit schlägt sich jedoch ganz deutlich im Preis nieder. Jedes Modul das benötigt wird, ist sehr kostenintensiv und nur für große Unternehmen erschwinglich. Die Möglichkeit, eine Bohrtabelle einzulesen ist hierbei gegeben, jedoch nur, wenn die Bohrungsfeatures senkrecht zur Einbringungsfläche liegen.

### 5.1.5 Unigraphics

Wie schon erwähnt ist Unigraphics eine Software die von einem breiten Benutzerspektrum eingesetzt wird. Die Software die während der Vorführung präsentiert wurde, war die zu diesem Zeitpunkt aktuellste Version 17. Die Unigraphics Software ist ein System das sowohl auf UNIX Workstation, als auch auf Windows NT Betriebssystemen genutzt werden kann.

Genau wie alle anderen Softwareanbieter, bekamen die Mitarbeiter der Firma UG die Aufgabe gestellt, die Daten der Testdatei zu laden. Das Ergebnis war sehr überzeugend, da innerhalb von wenigen Minuten diese Aufgabe mit einer guten

Performance der Software gelöst wurde. UG ist neben CATIA eines der Leistungsfähigsten CAD/CAD-System und überzeugte während der Vorführung mit Leistungen wie der kompletten Übernahme von Layerstrukturen aus anderen Systemen. Genau wie das System von CATIA ist auch Unigraphics eine weitgehenden Neuentwicklung, so dass mehrere Male im Jahr neue Versionen der Software auf den Markt gebracht werden.

**FAZIT:** Die Performance der Software und deren Datenverarbeitung überzeugte sehr. Die Kollisionskontrolle wurde in dieser Version von UG nicht zufriedenstellend gelöst, da nur eine Prüfung auf Kollision zwischen rotierendem Werkzeug und Werkstück gegeben war. Eine vollständige Kollisionskontrolle in der die komplette Maschine mit ihren Achsenlimits betrachtet wird, ist erst in Version 19 vorhanden. Um die von CADENAS erzeugte Bohrtabelle einlesen zu können, waren die Mitarbeiter von UG bereit ein entsprechendes Makro zu programmieren. Das Zeitintervall in dem diese Programmierung hätte stattfinden sollen, passte jedoch nicht in das der Diplomarbeit.

## 5.2 Auswahlkriterien für die 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmiersoftware

Im folgenden Abschnitt werden einige der wichtigsten Kriterien aufgezeigt, die letztendlich entscheidend waren, um eine geeignete Auswahl einer 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-D-Programmier-Software treffen zu können. Besonders von Vorteil ist hierbei die Tatsache, dass die neue Software ohne Schwierigkeiten in die vorhandene Systemstruktur implementiert werden und mit der bereits erwähnten Software CADENAS zusammenarbeiten kann.

Für die Gegenüberstellung der Systeme und um die Vor- und Nachteile am besten verdeutlichen und aufzeigen zu können, wurde die Vorgehensweise von STIFTUNG-WARENTEST gewählt. Für eine objektive Gegenüberstellung und Bewertung der verschiedenen Systeme wurde ein Pflichtenheft erstellt.

Dieses Pflichtenheft sollte die grundlegenden Anforderungen der Firma Zimmermann an die Software und allgemeine Kriterien um eine objektive Bewertung und Auswahl vorzunehmen zu können, enthalten.

In der Tabelle 6.2.1 (S. 67 ff) ist das erstellte Pflichtenheft in Form einer Benchmarktabelle zu sehen. Alle erstellten Punkte zu erklären würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, deshalb werden nachfolgend hier nur die Wichtigsten jeder Kategorie angesprochen und dargelegt.

### 5.2.1 Anforderungen

Die hier aufgeführten Definitionen sind allgemeine Kriterien die die Software nach Möglichkeit erfüllen sollte.

Eines der wichtigsten Kriterien um eine zeichnungslose Fertigung an der Maschine realisieren zu können, ist die Kollisionskontrolle. Die Kollisionskontrolle ist eine Simulation des erstellten Arbeitsprozesses an der Maschine und die Analyse von möglichen Problemstellen.

Hierzu zählen:

- Eilgangbewegungen im Werkstück.
- Bearbeitung mit dem nicht schneidenden Teil des Werkzeuges.
- Spindel-Stop während des Materialabtrages.
- Kollision mit dem Werkzeughalter.
- Kollision mit Spannmitteln.
- Kollision der Maschinenachsen untereinander.
- Kollision mit dem Rohteil und/oder dem theoretischen CAD-Modell.

Die Überwachung des Maschinenraumes und der Achslimits, sind speziell bei Mehrseitenbearbeitungen mit komplexen Rotations- und Verfahrbewegungen ein wichtiges Thema.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, in welcher Form die Ausgabe der NC-Programme erfolgt. Die Annahme, es wäre irrelevant, ob die Ausgabe des NC-Programms in Punkten, G-Funktionen oder Zyklen erfolgt, ist schlichtweg falsch. Für eine eventuelle nachträgliche Änderungen von Parameterdaten, ist es unumgänglich

das der Maschinenbediener aus dem Klartext des Programms erkennen muss, welche Arbeitsabläufe durchgeführt werden sollen.

Als drittes wichtiges Anforderungskriterium wäre die Erkennung und Definition der Features (Bohrungen, Gewinde, Passungen, Senkungen, etc.) zu nennen.

### **5.2.2 Vielseitigkeit**

Das wichtigste Kriterium hier ist die saubere Verarbeitung der verschiedenen Schwenktypen an den Fräsköpfen der Maschinen. Es existieren im Bereich der 4- bzw. 5-Achsenmaschinen unterschiedliche Schwenktypen. Zwei der fünf Maschinen besitzen sogenannte indexierte Fräsköpfe. Indexiert bedeutet, dass die Fräsköpfe beim Schwenken nur unter bestimmten Gradstellung fixiert werden können. Eine der beiden Maschinen kann jeweils nach 1° eingerastet werden, die zweite Maschinen kann Gradstellungen im Abstand von 2,5° realisieren. Alle anderen Maschinen besitzen einen Drehtisch und einen Fräskopf ohne Indexierung, mit dem man jede gewünschte Gradstellung problemlos fertigen kann. Diese unterschiedlichen Schwenktypen müssen von der Software sauber und zuverlässig verarbeitet werden und im Fall von nicht realisierbaren Gradstellungen eine Warnmeldung ausgeben.

Als weitere wichtige Eigenschaft in Bezug auf die Vielseitigkeit sind die zur Verfügung stehenden Geometrieschnittstellen.

Die Auto-Sequence-Funktion fasst die Bearbeitungen von gleichen Werkzeugen sowie Bearbeitungen von einer Seite zusammen und minimiert auf diese Art unnötige Werkzeugwechsel und Tischdrehungen.

Um eine zuverlässige zeichnungslose Fertigung realisieren zu können ist es unabdingbar, eine klare und für jeden verständliche Dokumentation auszugeben. Der Anwender an der Maschine muss anhand der Dokumentation erkennen können, in welchem Bereich am Werkstück als nächstes gearbeitet wird, welche Werkzeuge er benötigt und was gefertigt werden soll (Bohrungen oder Taschen).

### 5.2.3 Leistungsfähigkeit

Unter dem Punkt der Leistungsfähigkeit ist das problemlose Verarbeiten von Datenmengen über 50MB mit entsprechender Performance der Software zusammengefasst. Grundvoraussetzung dafür ist eine geeignete und leistungsfähige Hardware. Diese Software muss in der Lage sein, diese komplexen Daten sauber zu erzeugen und zu verarbeiten.

Des Weiteren sind leistungsfähige Postprozessoren für die Steuerungstypen der Maschinen und deren Kinematik Voraussetzung, um sicher zeichnungslos fertigen zu können. Die vorhandenen Steuerungen sind Heidenhain TNC 430 mit 5-Achsen PPS über Zyklus 19, Heidenhain TNC 426 mit 3-Achsen PPS über G17/G18/G19 sowie eine Siemens Steuerung 840 D mit 5-Achsen Ansteuerung.

Weiterhin ist die schon angesprochene Verarbeitung der unterschiedlichen Schwenktypen der MECOF Maschinen (indexierte Fräsköpfe) zu erfüllen.

Als drittes und letztes wichtiges Merkmal ist die Verarbeitung der benötigten Zyklen die im Folgenden aufgeführt werden:

- ◆ Tiefbohren (Zyklus 1)
- ◆ Bohren (Zyklus 200)
- ◆ Reiben (Zyklus 201)
- ◆ Ausdrehen (Zyklus 202)
- ◆ Universal-Bohren (Zyklus 203)
- ◆ Rückwärts-Senken (Zyklus 204)
- ◆ Universal-Tieflochbohren (Zyklus 205)
- ◆ Bohrfräsen (Zyklus 208)
- ◆ Gewindebohren mit Ausgleichsfutter (Zyklus 2)
- ◆ Gewindebohren Neu mit Ausgleichsfutter
- ◆ Gewindebohren ohne Ausgleichsfutter GS
- ◆ Gewindebohren ohne Ausgleichsfutter GS Neu
- ◆ Gewindebohren Taschenfräsen
- ◆ Tasche-Schlichten
- ◆ Zapfen-Schlichten
- ◆ Kreistasche

- ◆ Kreistasche-Schichten
- ◆ Kreiszapfen-Schichten

Diese Zyklen sind im Bereich der 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Bearbeitung die gebräuchlichsten und deshalb unerlässlich für einen funktionsfähigen Postprozessor.

#### **5.2.4 Handhabung**

Ein Handbuch ist bei jeder neuen Software unentbehrlich, da gerade zu Beginn oft unerwartete Probleme mit der Bedienung oder den Softwarefunktionen auftreten. In welchem Format (Online- oder Papierformat) das Handbuch vorliegt ist wiederum irrelevant, da in der heutigen Zeit gewöhnlich beides gegeben ist.

Der logische Aufbau sowie kurze Bedienwege um eine Funktion auszuführen, die Zugriffsmöglichkeit auf Datenbanken und die Erlernbarkeit legen den Grundstein dafür, damit die Mitarbeiter in kurzer Zeit effektiv mit der Software arbeiten können.

#### **5.2.5 Kosten**

Die hier definierte Vorstellung der Kosten, enthalten die anfallenden Kosten für die Basispakete, Zusatzmodule, PP-Erstellung sowie für Lizenzgebühren und für evtl. benötigte Zusatzsoftware.

Unter dieser Kategorie werden im Vordergrund die angebotenen Basispakete einer Software betrachtet. Es ist ohne weiteres möglich eine Software anzuschaffen ohne immense Summen aufwenden zu müssen. Hier muss jedoch sehr genau auf den Umfang der Basismodule und deren Leistungsfähigkeit geachtet werden. Viele Hersteller verkaufen Basismodule die in ihrer Ausstattung und Leistungsfähigkeit sehr begrenzt sind und jedes Zusatzmodul ist dann um so teurer. Auch die Kosten für die Lizenzen müssen betrachtet werden, da auch diese sehr stark von Anbieter zu Anbieter schwanken.

### 5.2.6 Benchmark Tabelle

Nachfolgend ist die detaillierte Aufstellung des Benchmarks zu sehen sowie die Auswertung der gesammelten Informationen.

- (A) CATIA V5 NC      (C) Open-Mind  
 (B) Tebis            (D) Unigraphics

Kriterien		A	B	C	D
I.	Anforderungen 35%				
1	Ist Tieflochbohren mit verschiedenen Längen möglich?	++	○	-	+
2	Ausgabeform des NC-Codes mit G-Funktionen, Zyklen oder Punkten	+	+	○	++
3	Wie werden Passungen, Senkungen, Bohrungen, Gewinde, Ausfräsungen definiert und erkannt	+	○	+	-
	Welche Vorarbeit muss geleistet werden	+	+	○	○
	Schnelligkeit	+	+	○	○
4	Ist Kollisionsbetrachtung möglich	■	□	□	■
	Was wird betrachtet: Maschinenraum Überschreitung/ falsch Def. Verbindungswege/ Syntaxfehler	■/■/■	□/□/□	□/□/□	■/■/■
	Ist eine Zusatzsoftware nötig	Nein	Ja	Ja	Ja
	Benötigte Schnittstellen (Standard/Direkt)	○/+	-/○	+/-	+/○
5	Besteht die Möglichkeit Flächen zu schließen	■	■	■	■
	Wie einfach / Weg	○/+	-/○	+/-	+/○
	Mögliche Fehler	+	○	○	○
6	Wie werden geschwenkte Bohrungen eingemessen	+	+	+	++
7	Möglichkeit eingeschwenkten Bohrungen unter 2 Winkeln zu fertigen	++	+	○	+
8	Werden Bohrstrategien angewendet und sind unterschiedliche Werkzeugarten berücksichtigt	○	○	+	+
9	Layerdefinition und -struktur	+	+	+	+
	Aufbau	+	○	+	++
	Übernahme aus anderen Systemen	Ja	Ja	Ja	Ja
10	Anzeige von Fehlern und nicht möglichen Operationen	+	+	--	+

- |   |  |    |                           |    |               |
|---|--|----|---------------------------|----|---------------|
| ■ | in der Software vorhanden              | ⊙  | Kleines Fehlerpotential   | ○  | Befriedigend  |
| □ | in der Software nicht vorhanden        | ⊕  | Mittleres Fehlerpotential | -  | Ausreichend   |
| ▲ | Alle gängigen Schnittstellen           | ⊗  | Großes Fehlerpotential    | -- | Mangelhaft    |
| ▼ | mögliche Hardwarekonfigurationen       | ++ | Sehr gut                  | X  | Auswahl       |
| ▽ | Nicht mögliche Hardwarekonfigurationen | +  | Gut                       | -  | Keine Wertung |

II. Vielseitigkeit		20%	A	B	C	D
1	Probleme mit verschiedene Maschinen und Schwenktypen		Nein	Nein	Nein	Nein
	Drehtisch		++	++	○	+
	Indexierte Fräsköpfe		+	○	○	+
2	Schnittstellen (Geometrie)		●	●	●	●
	Neutrale		▲	▲	▲	▲
	Direkte		○	+	+	○
	CADENAS Schnittstelle		■	□	□	■
3	Hardware Möglichkeiten		▼	▼	▼	▼
	PC					
	Unix		▼	▽	▽	▼
4	Auto-Sequence-Funktion		■	■	■	■
	Zusammenfassen von Bearbeitungen mit gleichen Werkzeugen		+	+	+	+
	Zusammenfassen von Bearbeitungen auf einer Ebene		+	○	+	-
	Min. Anzahl von Tischdrehungen und Werkzeugwechsel		+	+	+	○
	Verwendung bestimmter Bearbeitungsfolgen (Taschen vor Bohrungen)		+	○	+	○
5	2-5 Achsenbearbeitung: Frässtrategien/2,5 Achsenbearb. Bohren, Taschen/ 5 Achsen simultan		■/■/■	□/□/□	□/■/■	■/■/■
6	Intelligentes NC: hinterl. Bearbeitungsstr./ optim. Frässtr./ Restmaterial Bearb.		■/■/■	□/□/■	□/■/■	■/■/■
III. Leistungsfähigkeit		20%	A	B	C	D
1	Probleme mit gr. Volumenmodellen bzw. Datenmengen(>50MB)		Nein	Nein	Nein	Nein
2	Importmögl. aus anderen CAD Systemen		Ja	Ja	Ja	Ja
	CATIA (über welche Schnittst. am besten)		Direkt	Direkt	Direkt	IGES
	UG (über welche Schnittst. am besten)		VDA	IGES	Direkt	Direkt
3	Welche Steuerungen werden unterstützt		▲	▲	▲	▲
	Vorhandene Postprozessoren		+	+	○	○
4	Möglichkeit der Verwaltung von Datenbanken		++	++	+	○
	Welche Datenbanken sind vorhanden Maschinen / Werkzeuge / Spannmittel		■/■/■	□/□/□	□/■/□	□/□/□

- |   |  |    |                           |    |               |
|---|--|----|---------------------------|----|---------------|
| ■ | in der Software vorhanden              | ⊕  | Kleines Fehlerpotential   | ○  | Befriedigend  |
| □ | in der Software nicht vorhanden        | ⊖  | Mittleres Fehlerpotential | -  | Ausreichend   |
| ▲ | Alle gängigen Schnittstellen           | ⊗  | Großes Fehlerpotential    | -- | Mangelhaft    |
| ▼ | mögliche Hardwarekonfigurationen       | ++ | Sehr gut                  | X  | Auswahl       |
| ▽ | Nicht mögliche Hardwarekonfigurationen | +  | Gut                       | -  | Keine Wertung |

IV. Handhabung		15%	A	B	C	D
1	Liegt ein Handbuch vor: Online-/ Papierdokument	■/■	■/■	■/■	■/■	■/■
2	Möglichkeit der Dokumentation	■	■	■	■	■
	Art und Weise der Dokumentation für die Fertigung	+	+	○	○	○
	Werkzeuglisten	+	+	○	○	○
	Bearbeitungsfolgen	○	○	○	○	○
	Spannsituation auf der Maschine	+	○	○	○	+
	Grafiken	+	+	+	+	○
	Welche Formate liegen vor: Html/ Text/ jpg	■/■/□	□/■/□	□/□/■	■/■/□	■/■/□
3	Bedienen der Software	++	+	-	+	+
	Kurze Wege / lange umständliche Wege	x/-	-/x	-/x	-/x	x/-
	Übersichtlichkeit des Bildschirmmenüs	+	○	-	-	+
	Logik der Software	++	○	-	-	○
	Zugriffsmöglichkeit auf Datenbanken	++	+	○	○	+
	Fehlerpotential: groß / mittel/ klein	☺	☹	⊗	⊗	☹
	Erlernbarkeit (Zeitdauer)	++	+	○	○	+
V. Kosten		10%	A	B	C	D
1	Schulung (Basismodul)	1890 €	4900 €	3900 €	3710 €	3710 €
2	Arbeitsplatz inklusive Hardware	27915 €	24000 €	41000 €	33000 €	33000 €
	Basis-Modul	22957 €	19000 €	35500 €	28000 €	28000 €
	weitere Module Ø-Preis	12107 €	7500 €	27500 €	6610 €	6610 €
	NC-Simulationssoftware (falls erforderlich)	26250 €	8000 €	8000 €	8000 €	8000 €
	Postprozessoren Ø-Preis pro Steuerung	1400 €	5000 €	1800 €	6000 €	6000 €
3	Lizenzgebühren:					
	Jährlich	3215 €	2700 €	3000 €	3500 €	3500 €
	NC-Simulation	3510 €	1215 €	1215 €	1215 €	1215 €

Tabelle 5.2.6.1: Benchmark

■	in der Software vorhanden	☺	Kleines Fehlerpotential	○	Befriedigend
□	in der Software nicht vorhanden	☹	Mittleres Fehlerpotential	-	Ausreichend
▲	Alle gängigen Schnittstellen	⊗	Großes Fehlerpotential	--	Mangelhaft
▼	mögliche Hardwarekonfigurationen	++	Sehr gut	X	Auswahl
▽	Nicht mögliche Hardwarekonfigurationen	+	Gut	-	Keine Wertung

### 5.3 Auswertung der Benchmark-Tabelle

In der abschließenden Gesamtbetrachtung der Benchmarktabelle sind die einzelnen Vor- und Nachteile eines jeden Systems gegenüber ihrer zukünftigen Aufgabenstellung aufzuwiegen. Keines der Systeme ist in der Lage durchgängig nur Vorteile aufzuweisen und es muss kritisch, unter Berücksichtigung der prozentualen Gewichtung der einzelnen Kriterien, eine endgültige Systemwahl getroffen werden.

Die größte Gewichtung mit 35% wurde dem Punkt Anforderungen zugeordnet, da in diesem Kriterium alle Grundbedingungen enthalten sind, die diese Software erfüllen sollte.

Im Vergleich ist zu erkennen, dass die Kollisionskontrolle die anfangs schon beschrieben wurde, in den Systemen CATIA V5 NC und Unigraphics im Standardpaket möglich ist und die geforderten Funktionen erfüllen. In Unigraphics ist jedoch eine zusätzliche Software zu erwerben um diese Kollisionskontrolle durchzuführen. Als weiterer gravierender Punkt an dem man die Leistungsunterschiede deutlich erkennt besteht darin, eingeschwenkte Tieflochbohrungen unterschiedlicher Länge zu programmieren. Hier hat auch die Software CATIA V5 NC gegenüber den anderen Anbietern wiederum einen kleinen Vorsprung.

Im Kriterium Vielseitigkeit, das mit 20% ins Gewicht fällt, lag der Hauptaugenmerk auf den Schnittstellen und den zu erwartenden Problemen. Überraschenderweise traten jedoch erheblich wenig Schwierigkeiten auf und alle Systeme zeigten eine gute Performance. Auch die Auto-Sequence-Funktion konnten alle vier Systeme vorweisen. Diese Funktion ist wichtig, um die Maschinenarbeitszeiten durch optimale Bearbeitung der Arbeitsabfolge zu verkürzen. In den einzelnen Unterpunkten der Auto-Sequence-Funktion sind die Leistungsunterschiede der Systeme klar zu erkennen. Intelligentes NC und 2-5 Achsenbearbeitung waren weitere wichtige in Betracht zu ziehende Gesichtspunkte um objektiv eine geeignete Auswahl treffen zu können. Unigraphics und CATIA V5 NC erzielten in diesen beiden Punkten die besten Leistungen.

Im Absatz Leistungsfähigkeit wurden die Systeme noch intensiver geprüft. Die Problematik der Datenmengen und deren Verarbeitung hinsichtlich des Ladens und der anschließenden Performance, war ein kritischer und wichtiger Betrachtungspunkt. Im Ergebnis der Tabelle ist zu sehen, dass bei allen vier Systemen ein "NEIN" hinter der Fragestellung "Probleme beim Verarbeiten von Datenmengen über 50MB" vermerkt wurde. Im Detail jedoch waren geringe Unterschiede im zeitlichen Bereich zu verzeichnen. Die Zeitdauer für den Ladevorgang des Referenzfiles variierte von System zu System zwischen 5 und 10 Minuten. Als schnellstes System konnte CATIA V5 NC die Datenmengen verarbeiten, der zweite, dritte und vierte Platz ging an die Systeme Unigraphics, Tebis und Open-Mind.

Unter Punkt IV in der Tabelle wurde die Handhabung der Software beurteilt. Jede Software besitzt ihre eigene Logik und Aufbau, die sinnvoll und leicht zu verstehen sein muss. Eine Software die logische Arbeitsabläufe besitzt und innerhalb kürzester Zeit erlernbar ist, gibt die Möglichkeit, schnell und produktiv zu arbeiten. In diesem Punkt zeigte sich das System Tebis als sehr unlogisch und verwirrend, da einige Funktionen und Menüfenster oftmals weitere Untermenüs und Funktionen besitzen. Um mit diesem System eine Operation auszuführen, musste man lange und teilweise sehr umständliche Wege zurücklegen und steigert damit die Fehlermöglichkeit für den Programmierer. Als bestes System schnitt auch hier CATIA V5 NC ab, wobei Unigraphics mit vergleichbaren Leistungen aufwarten konnte. Die Leistungsunterschiede zwischen diesen beiden Systemen sind gering, aber dennoch merklich vorhanden.

Nachfolgend ist aus der Tabelle zu erkennen das die Preisunterschiede hinsichtlich der Gesamtkosten der Systeme im Bereich bei circa  $\pm 25.000,00$  € liegen. Eine Entscheidung für ein System sollte speziell im Bereich der CAD/CAM Software nicht am Preis festgemacht werden. Hier muss einzig und allein das System in seiner kompletten Leistungsfähigkeit betrachtet werden. Erwirbt man ein System weil es das Preisgünstigere ist, besteht die Gefahr, dass die Qualität minderwertig ist. Eine Folge könnte sein, dass das System aufgrund von Einsparungen nicht effektiv einsetzbar ist und daher für den Benutzer ein hohes Maß an Umständlichkeit aufweist. Daraus resultiert logischerweise ein Zeitverlust. Vor dem Kauf sollten daher alle Seiten intensiv abgewogen werden, damit eine

Einsparung der Kosten bei der Beschaffung nicht zuletzt eine Investition an Mehraufwandkosten der Mitarbeiter bedeutet.

## 5.4 Entscheidung

Wie schon in der Einleitung und nach Abschluss der ersten Recherche erwähnt, bestand die Aufgabe darin, ein Softwaresystem zu finden, dass die Möglichkeit der 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-NC-Programmierung bzw. der Sachmerkmals Programmierung direkt aus dem 3D Flächen- oder Volumenmodell heraus ermöglicht. Nach Abschluss der Auswertung und Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile, kristallisierte sich die Software CATIA-V5-NC als die am geeignetsten heraus.

Ein Grund, sich für dieses System zu entscheiden, war die problemlose Zusammenarbeit mit CADENAS. Das System von CATIA ist im Kostenbereich nicht das Preisgünstigste, kann jedoch dieses Defizit durch effiziente neue Funktionen, eine überdurchschnittliche Performance und durchgängige Prozesssicherheit ausgleichen.

Als Partner für die Durchführung einer Teststellung des Systems, bot sich das CENIT Systemhaus in Stuttgart an. Dieses Systemhaus betreut bereits seit mehreren Jahren die Systemumgebung von CATIA V4 im Hause Zimmermann und hatte somit den Vorteil, die vorhandene Struktur zu kennen. Als weiteres Plus gegenüber anderen Mitbewerbern hatte CENIT erste Erfahrungen im Bereich 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung und konnte zusätzlich mit fachlich sowie kompetenten und freundlichen Mitarbeitern aufwarten. Des weiteren besaß die CAENIT AG ein Makro, welches speziell für das Einlesen von Bohrtabellen aus CADENAS entwickelt wurde und für die Dauer der Teststellung zur Verfügung gestellt wurde. Dies war letztendlich der ausschlaggebende Punkt, sich für das CATIA V5 System und der Zusammenarbeit mit CENIT zu entscheiden.

## 5.5 Implementierung

Nachdem die Entscheidung über die Hersteller und die Lieferanten der Softwaresysteme gefallen ist, besteht nun die Aufgabe darin, diese in die geplante neue Systemstruktur einzubetten und aufeinander abzustimmen. Im Rahmen eines erneuten Zusammentreffens mit den CENIT Mitarbeitern wurde der genaue Umfang der benötigten Software festgelegt, um das angestrebte Ziel der 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung in Verbindung mit CADENAS zu realisieren.

Um mit CATIA V5 NC flexibel und funktionsübergreifend arbeiten zu können, benötigte man das Grundmodul CATIA Prismatic Machining 2 (PMG2), kombiniert mit dem CAD Grundmodul Hybrid Design 2 (HD2). Mit dem PMG Modul können NC-Programme für die Teilebearbeitung von 3D-Geometrien mit 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-Achsen Fräs- und Bohrtechniken auf einfache Weise definiert und verwaltet werden. Auch die Erstellung eines Werkzeugkataloges und das Einpflegen der Werkzeuge sind mit diesem Modul sehr einfach und logisch umsetzbar.

Das HD2 Modul bietet alle Tools für die erweiterte 3D-Konstruktion mechanischer Teile und Baugruppen sowie die Erstellung von Produktionszeichnungen. Dieses Modul umfasst die Integrations-Tools für die Kompatibilität mit CATIA V4 und Datenschnittstellen zu den gebräuchlichsten Industriestandards. Die erforderliche Software sollte in Form einer Testlizenz über einen Zeitraum von acht Wochen über die oben angeführten Module zur Verfügung gestellt.

Im ersten Schritt erhielt der zukünftige Programmierer an dieser Software eine eingehende Schulung über die Dauer von 5 Tagen. Der Inhalt dieser Schulung war zum einen das Erlernen der grundlegenden CAD-Funktionalitäten und zum anderen eine spezielle Einführung in die V5-NC-Programmiermethodik.

Um die durchgängige Funktionalität der neuen Systeme zu beweisen, sollten für die Dauer der Testphase die erstellten NC-Programme auf einer 5-Achsen Fräsmaschine im Realen getestet werden. Da für diese Maschine bzw. deren Steuerung kein geeigneter Postprozessor vorlag, musste dieser noch durch die CENIT AG erstellt werden.

Die für diesen Test vorgesehene Maschine, ist eine 5-Achsen Fräsmaschine (DMU200P) der Firma Deckel-Maho-Gildemeister mit Drehtisch und einer Heidenhain Steuerung 430TCN.



**Bild 5.5.1 Deckel-Maho DMU 200 P**

## 6 Neue Systemstruktur und deren Arbeitsweise

Nach der Auswahl der neuen Software-Systeme, wird im folgenden der Nachweis erbracht, dass die digitale Prozesskette der 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung von der Planung über die Auswahl bis hin zur Umsetzung realisiert wurde.

In den drei Bereichen CAD, CAM sowie in der Maschinenabteilung entstehen völlig neue Strukturen und Arbeitsweisen. Um diese detailliert aufzeigen zu können, sind die Änderungen für jede Abteilung gesondert dokumentiert.

### 6.1 CAD-Abteilung

Grundlegend wird in die CAD-Abteilung ein System der Firma CADENAS implementiert. Dieses Programm ist lediglich für die Erstellung der komplexen Zimmermann- und Kundennorm zuständig sowie zur Einfügung der Bohrungsfeatures.

Der zukünftige Arbeitsablauf für die Konstrukteure beinhaltet nun weder die aufwendige Erstellung von Normteilen noch muss der Konstrukteur die 2-D-Fertigungszeichnung erstellen. Die Feature-Programmierung ersetzt genau diese Aufgaben und erzeugt eine digitale Prozesskette die u.a. die zeichnungslose Fertigung sowie eine konstante Produktqualität gewährleistet.

Der neue Arbeitsablauf gestaltet sich nun wie folgt:

Die Konstruktion eines 3D-Modells wird weiterhin nach den vorgegebenen Konstruktionsrichtlinien durchgeführt. Die Konstruktion kann bis zum Abschluß eines Projektes die selben Wege durchlaufen wie zuvor. Der Unterschied liegt nun darin, dass die Bohrungen, statt wie bisher aufwendig konstruiert, einfach mit CADENAS eingefügt werden.

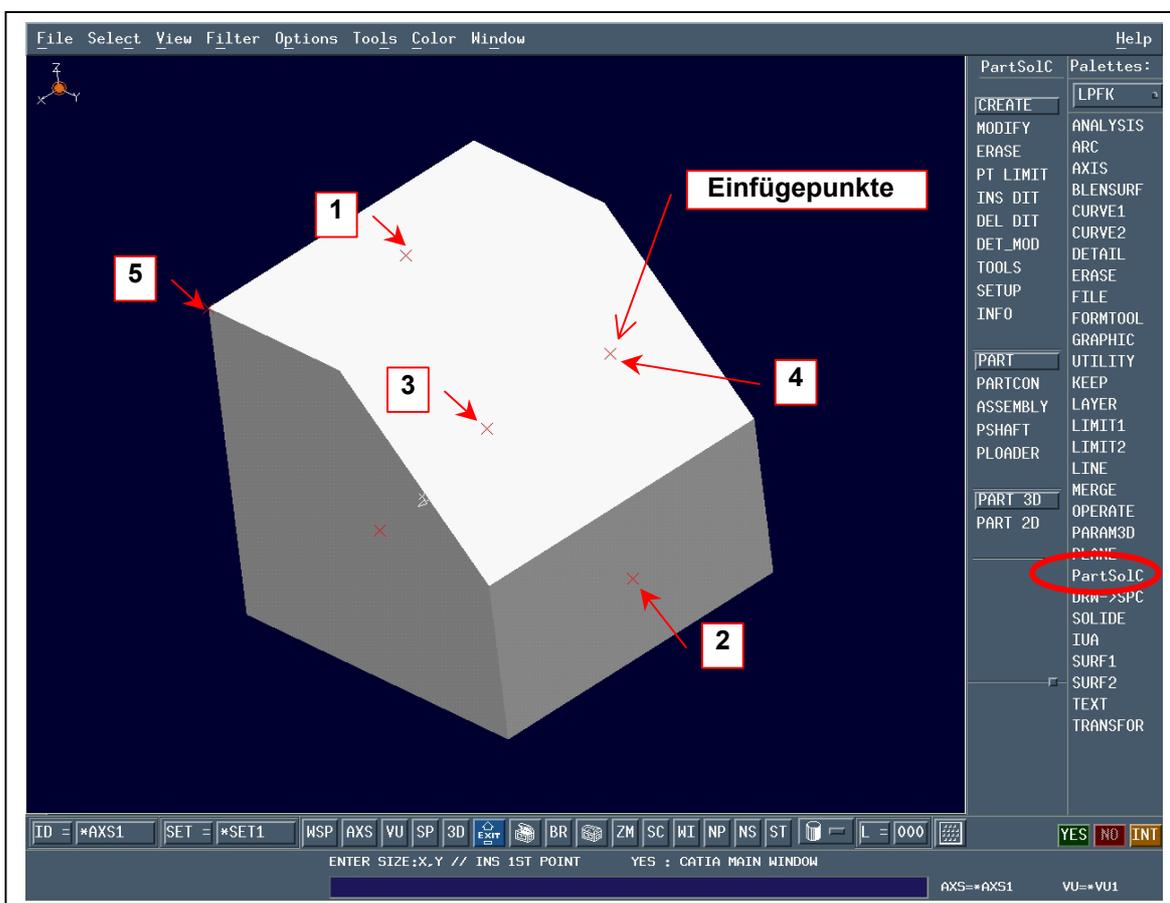
An einem Testdurchlauf wird nun die detaillierte Vorgehensweise bildlich dargestellt und die durchgängige Funktionalität bewiesen:

Das im Bild 6.1.1. dargestellte Volumenmodell enthält keine Bohrungen, sondern lediglich die Einfügpunkte für die Features, die zu einem beliebigen Zeitpunkt durch den Konstrukteur eingefügt werden können. In diesem Stadium muss das

Modell abgespeichert werden, damit die spätere Erkennung und Einbringung im CAM-Bereich ermöglicht wird. Den Einfügepunkten kann vom Konstrukteur eine Bedingung (Parametrik) in Form einer Bemaßung zugeordnet werden, so dass für den Fall einer nachträglichen Änderung alle an diese Bedingung geknüpften Maße automatisch parametrisch mitgeändert werden. In diesem Fall sollen in den Würfel eine:

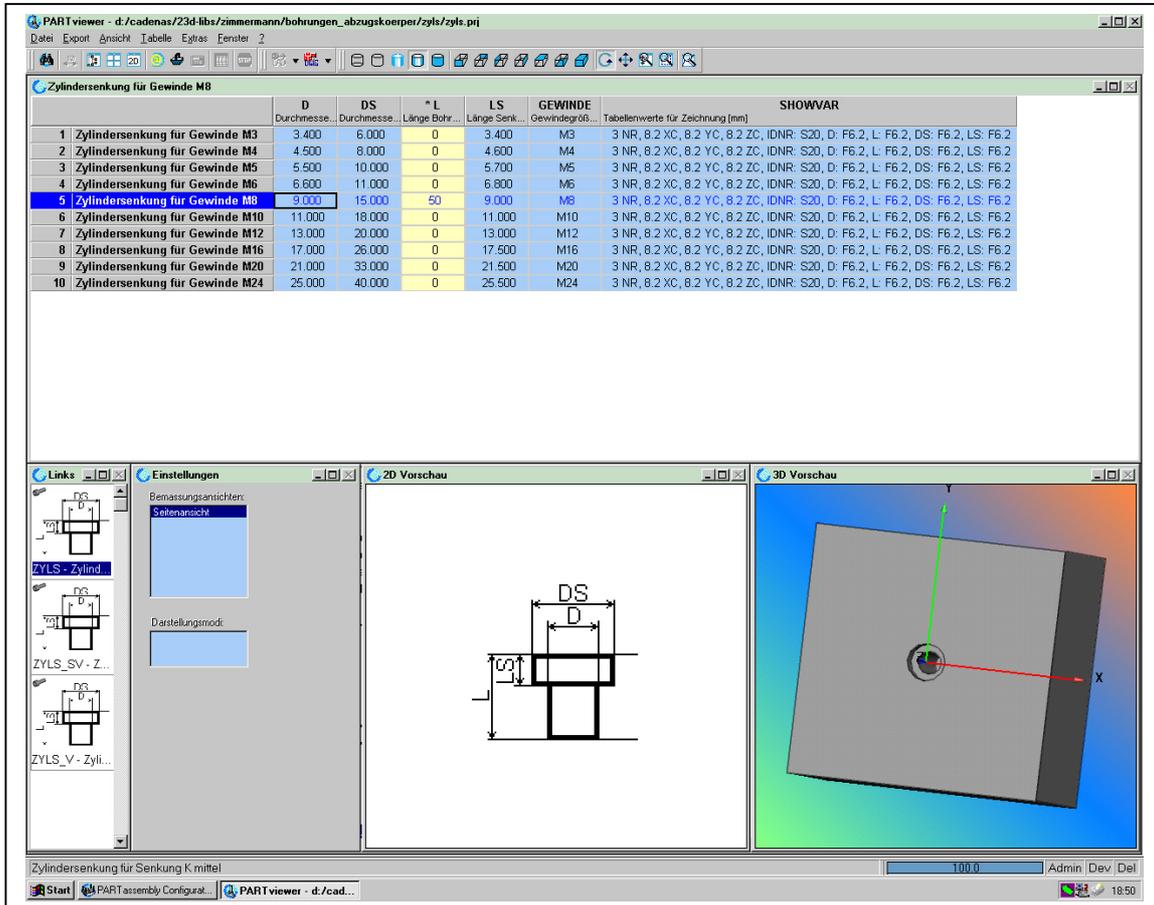
- 1 Zylindersenkung für eine M24 Innensechskantschraube DIN 912
- 2 Sacklochbohrungen mit einem Durchmesser von 20mm, 100mm lang
- 3 Sacklochbohrung mit Durchmesser 19 H7
- 4 Sacklochbohrung mit Durchmesser 14 H7
- 5 Sacklochbohrung mit Durchmesser 20 mm, 150mm lang und um X-Achse 45°, Y-Achse 45° geschwenkt

eingebraucht werden.



**Bild 6.1.1 Volumenmodell mit Einfügepunkten für Features**

Nach Betätigung des markierten Buttons öffnet sich automatisch, wie bereits in Kapitel 4.3 beschrieben, das PARTsolution-Modul. In diesem Fall soll die

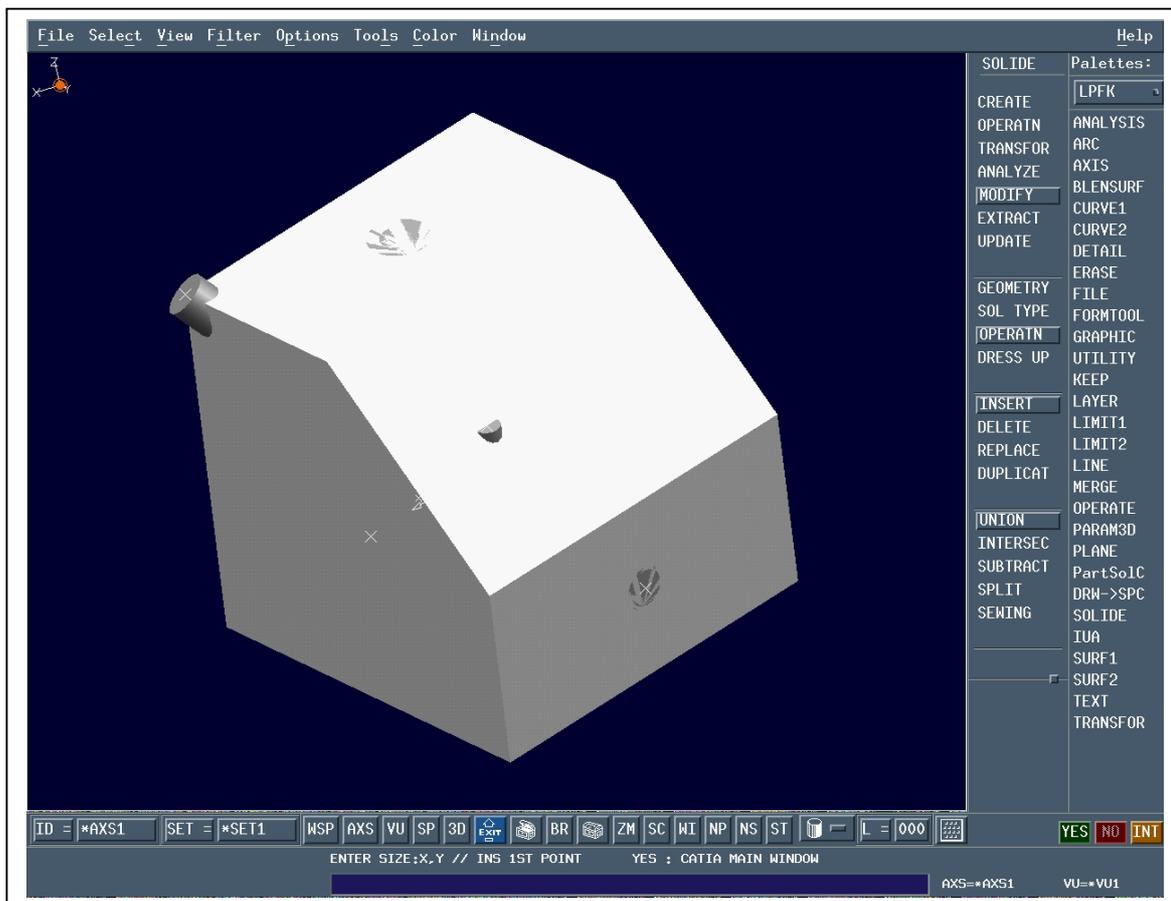


Zylindersenkung eingefügt werden.

**Bild 6.1.2 Zylindersenkung Bohr-Feature**

In der in Bild 6.1.2 dargestellten Maske wählt der Konstrukteur die entsprechende Zylindersenkung sowie die Länge (L) und übergibt den Abzugskörper mit den darin enthaltenen spezifischen Informationen über das Feature an das CAD-System. Auf diese Art und Weise kann der Konstrukteur nach und nach die benötigten Bohrungsfeatures einfügen.

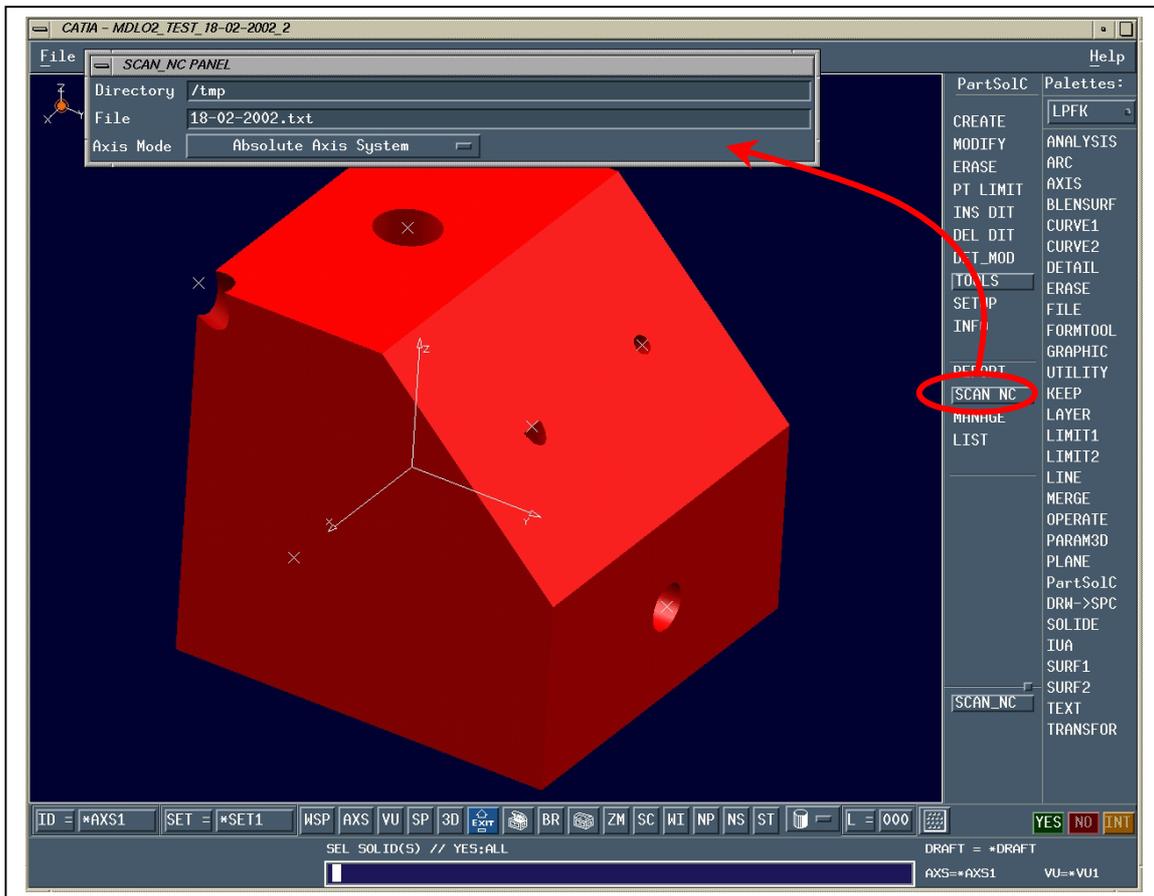
Das daraus entstandene Volumenmodell zeigt Bild 6.1.3.



**Bild 6.1.3. Volumenmodell mit den Integrierten Abzugskörpern**

In dem oben aufgezeigten Volumenmodell sind nach dem Einfügen der Features noch alle Abzugskörper enthalten. Diese Abzugskörper werden als sogenanntes Detail in das Volumenmodell eingefügt. Im Gegensatz zu den vorherigen Details enthalten diese, alle für die Fertigung notwendigen Informationsattribute. Im nächsten Schritt werden sämtliche Details aus dem Modell herausgezogen (subtrahiert). Nach diesem Vorgang verbleiben die Bohrungen und deren Funktionsattribute im Solid zurück.

Der letzte Schritt, bevor das fertige Modell-File an die CAM-Abteilung übergeben werden kann, ist die Erstellung der Bohrtabelle die noch innerhalb der CAD-Abteilung vollzogen werden muss. Die Erzeugung erfolgt durch die Scan-Engine.



**Bild 6.1.4 Solid nach dem entfernen der Abzugskörper**

Im Bild 6.1.4 ist zu sehen, dass die Funktion "Scan-NC" bereits aktiviert wurde und die Scan-Routine abgeschlossen ist. Das System öffnet automatisch nach Beendigung des Vorgangs ein neues Dialogfenster, in dem der Name sowie der Pfad des Textfiles definiert werden müssen.

Da diese aus der Scan-Routine erstellte Bohrtabelle zu umfangreich wäre und sich der prinzipielle Aufbau genauso gliedert wie in Kapitel 4.3 auszugsweise dargestellt, wird an dieser Stelle auf die Erläuterung verzichtet.

Anschließend wird die Bohrtabelle zusammen mit dem Volumenmodell (mit und ohne Bohrungen) auf dem Server abgelegt.



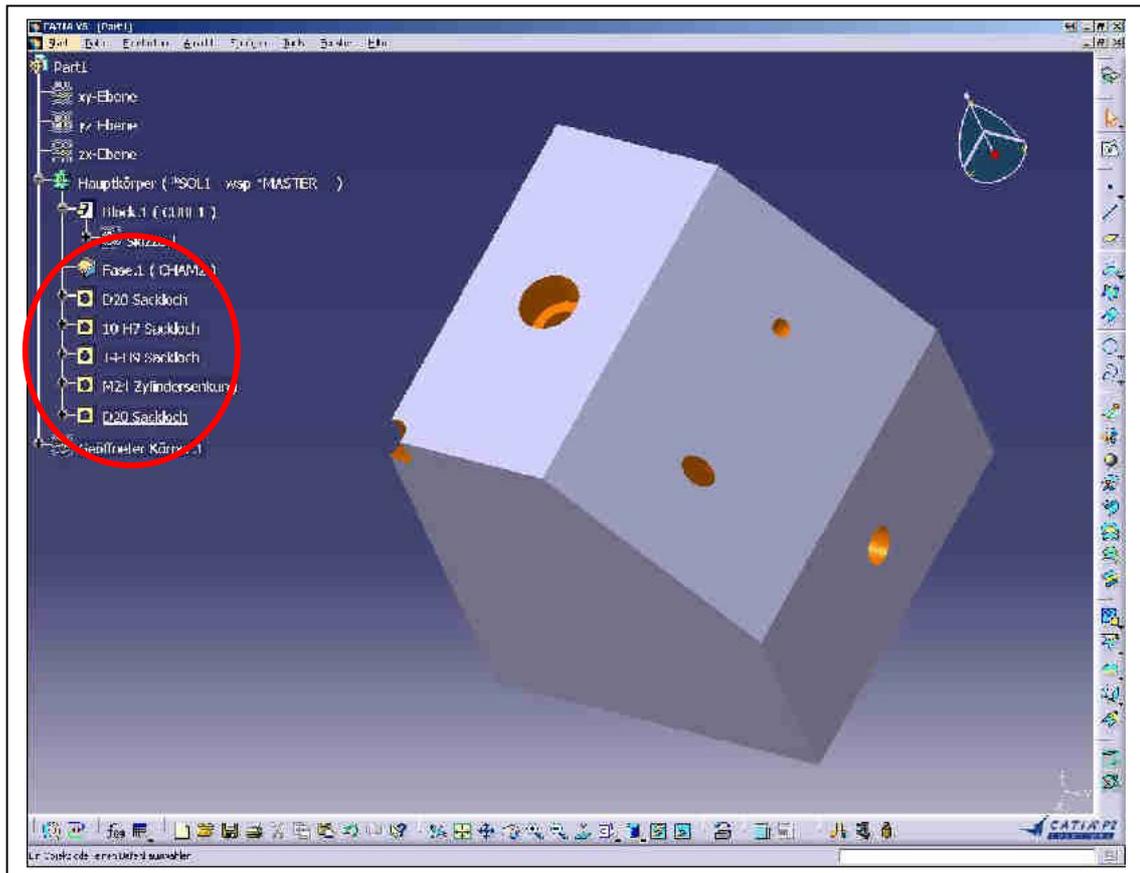
Das im Bild 6.2.1. dargestellte Volumenmodell enthält das geöffnete Modellfile ohne Bohrungen. Lediglich die Einfügapunkte an denen nach dem Makrodurchlauf später die Bohrungen entstehen, sind bereits vorhanden.



**Bild 6.2.2 Makrofenster**

Der nächste Schritt, um die Bohrungen mit ihren Funktionsattributen in dem Modellfile zu erzeugen, ist der Aufruf des Makros. Nach diesem Ablauf hat der Benutzer die Möglichkeit, die zuvor von dem Konstrukteur abgelegte Bohrtabelle zu suchen. Nachdem die Bohrtabelle geöffnet wurde, durchsucht das Makro die Tabelle nach ihren Bohrungen und zeigt die Anzahl in oben dargestelltem Makrofenster (Bild 6.2.2) an. Durch Bestätigen des Buttons "Bohrungen anlegen" werden die Bohrungen zusammen mit ihren Funktionsattributen im Volumenmodell angelegt.

Nachdem das Makro den oben genannten Vorgang komplett durchlaufen hat, werden die Bohrungen automatisch, wie im nächsten Bild dargestellt, erzeugt.



**Bild 6.2.3. Volumenmodell nach Einbringung der Features**

Anhand eines Diagrammbaums ist für den Programmierer ersichtlich, welche Bohrungen in dem Bauteil enthalten und zu fertigen sind. Die Erstellung des NC-Programms erfolgt dann durch Selektion der einzelnen Bohrungen und dem daraus resultierenden Aufruf der spezifischen Arbeitsfolge der jeweiligen Bohrung.

Damit die Software jedoch überhaupt in der Lage ist, nach der Selektion der Bohrung mit der zugehörigen Arbeitsfolge zu kombinieren, muss zu Beginn erst eine Datenbank mit diesen Arbeitsfolgen manuell erstellt werden. In dieser Datenbank werden zu jedem Bohrungstyp und Durchmesser die jeweiligen Werkzeuge zugeordnet mit denen gefertigt werden soll und in welcher Reihenfolge die Werkzeuge abgearbeitet werden (zentrieren, bohren, reiben oder Gewinde schneiden). Der Aufbau einer solchen Datenbank ist zu Beginn die größte Arbeit um mit der Software schnell, genau und prozesssicher zu arbeiten.

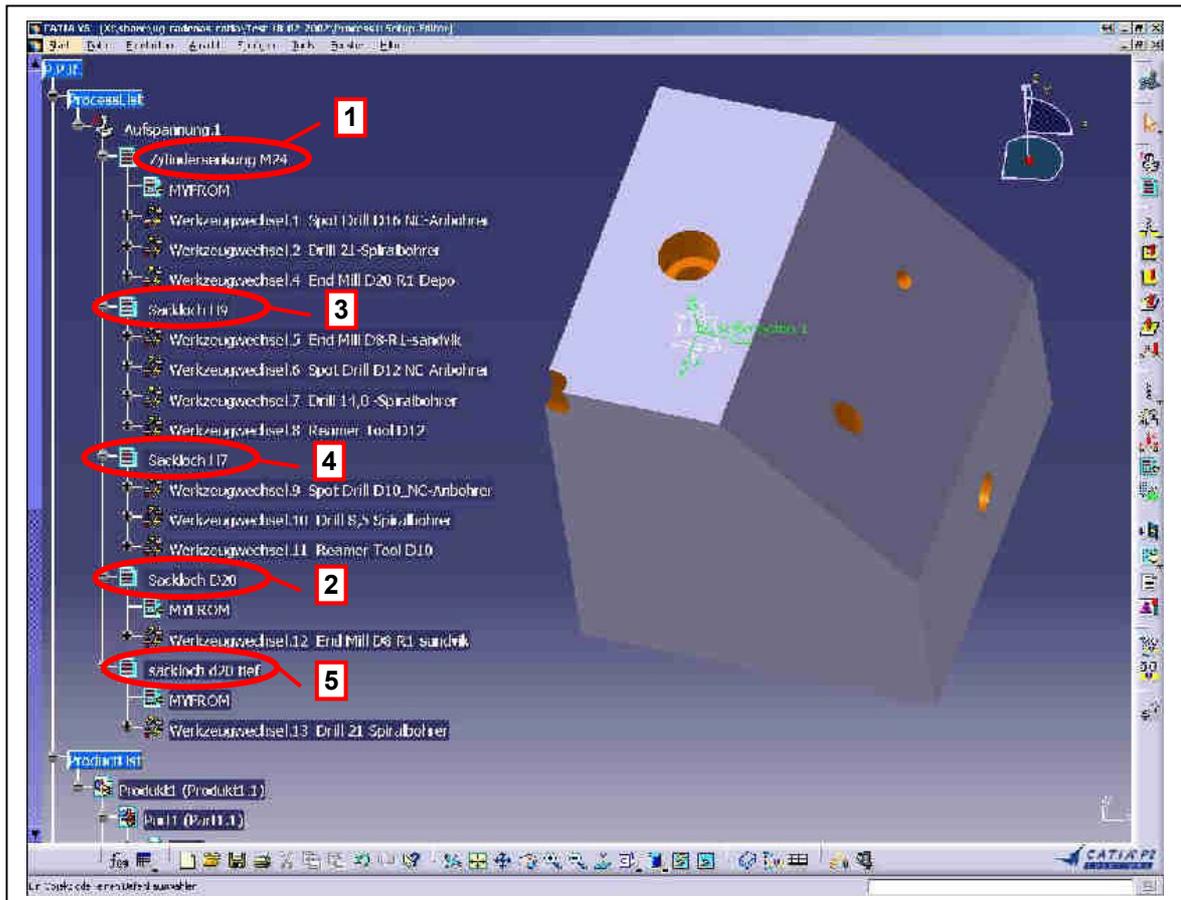
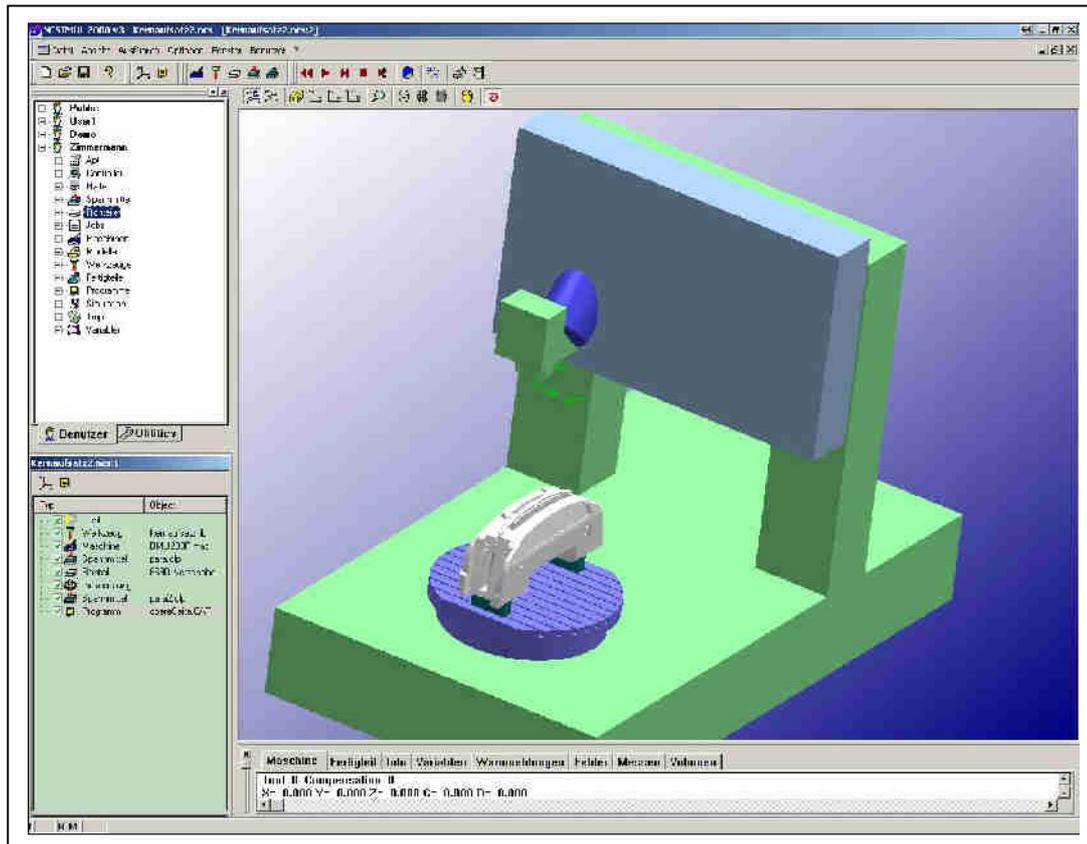


Bild 6.2.4. Volumenmodell

Im Bild 6.2.4. ist zu sehen, dass nach Selektion der Bohrungen und dem daraus folgenden Aufruf der spezifischen Arbeitsfolge, die Software automatisch die verwendeten Werkzeuge einer Arbeitsfolge in der richtigen Reihenfolge zusammen mit den Werkzeugwechsel auflistet. Der letzte Schritt ist das Postprocessing, also die Übersetzung der einzelnen Arbeitsfolgen in eine für die Heidenhain 430 TNC Steuerung verständliche Maschinensprache.

Nach Abschluss des Postprocessing ist das NC-Programm für die Verarbeitung in der Maschinenabteilung bereit. Um eventuelle Programmierfehler auszuschließen, wird vorher jedoch noch eine Simulation und Kollisionskontrolle durchgeführt.

Die Simulation des erstellten NC-Programms erfolgt auf der virtuellen Maschine auf der im Anschluss ebenfalls das Bauteil gefertigt werden soll. Auf diesem virtuellen Maschinenmodell ist es möglich eine komplette Syntaxprüfung des NC-Programms zu simulieren.



**Bild 6.2.5. Virtuelles Maschinenmodell der Deckel DMU 200P**

Im Bild oben ist das virtuelle Maschinenmodell der zu Beginn schon erwähnten DECKEL-MAHO DMU 200P zu sehen. Die Kinematik des virtuellen Modells, entspricht genau dem der realen Maschine.

Um das Programm zu simulieren und auf Kollision prüfen zu können, muss der Programmierer das Volumenmodell ohne Bohrungen sowie mit Bohrungen und das NC-Programm laden. Diese beiden Modelle sind notwendig, damit die Software während der Abtragssimulation einen SOLL-IST-Vergleich durchführen kann, um evtl. Bauteilverletzungen (Geometriedifferenzen) aufzeigen zu können. Während der Simulation des NC-Programms wird die Kollisionskontrolle parallel durchgeführt.

Das Modell um das es sich in diesem Fall auf der Maschine handelt, ist das Spoilerwerkzeug, das bereits zu Anfang in 2D-Zeichnungsformat und als Artikelmodell zu sehen war.

Der Inhalt der Kollisionskontrolle umfasst:

- Die Überwachung des kompletten Maschinenraums bzw. dessen Achsenlimits.
- Eilgangbewegungen im Werkstück
- Bearbeitung mit dem nicht schneidenden Teil des Werkzeuges
- Spindel-Stop während des Materialabtrages
- Kollision mit dem Werkzeughalter
- Kollision mit Spannmitteln
- Kollision der Maschinenachsen untereinander
- Kollision mit dem Rohteil und/oder dem theoretischen CAD-Modell
- Kollision von Werkzeughalter und Werkstück aufgrund zu kurz gewählter Werkzeuglängen.

Nach Abschluss der Simulation und Kollisionskontrolle erhält der Programmierer ein Protokoll über sämtliche fertigungsrelevanten Probleme und Fehler. Alle in dem Protokoll aufgelisteten Meldungen besitzen direkte Links zu den Programmzeilen, in denen die Fehler aufgetreten sind, so dass eine schnelle Korrektur vollzogen werden kann.

Nachdem alle Fehler beseitigt wurden, wird das Programm dem Bediener an der Maschine auf dem GIGA-Store Server zu Verfügung gestellt.

### **6.3 Maschinenabteilung**

Der gravierendste Unterschied im Ablauf innerhalb der Maschinenabteilung im Gegensatz zu vorher liegt darin, dass der Bediener an der Maschine statt der 2D-Zeichnung lediglich eine sogenannte "Joblist" erhält. Der Inhalt dieser Joblist umfasst alle wichtigen Informationen für den Bediener, um seinen nächsten Arbeitsauftrag durchführen zu können. Dazu gehören die Liste der verwendeten Werkzeuge, deren Einspannlängen im Werkzeughalter, die Position des Nullpunktes, eine Übersicht über die zu fertigenden Bohrungen sowie die Position des NC-Programms auf dem Server. Die Möglichkeit sich das Werkstück auf den WOP-Stationen anzusehen bleibt erhalten, damit der Bediener eine Vorstellung

davon hat, was bearbeitet werden soll. Das Ziel der Erhöhung der Produktivität, Verringerung der Maschinenstillstandzeiten und die Versorgung des Maschinenbedieners mit für ihn relevanten Informationen ist damit erreicht.

Das Bild 6.2.6. zeigt die neue Struktur aller Systeme. Im Gegensatz zu vorher (Bild 2.5.1), ist die neue Prozesskette durchgängig digitalisiert und die vorher existenten Fehlerquellen wurden alle beseitigt.

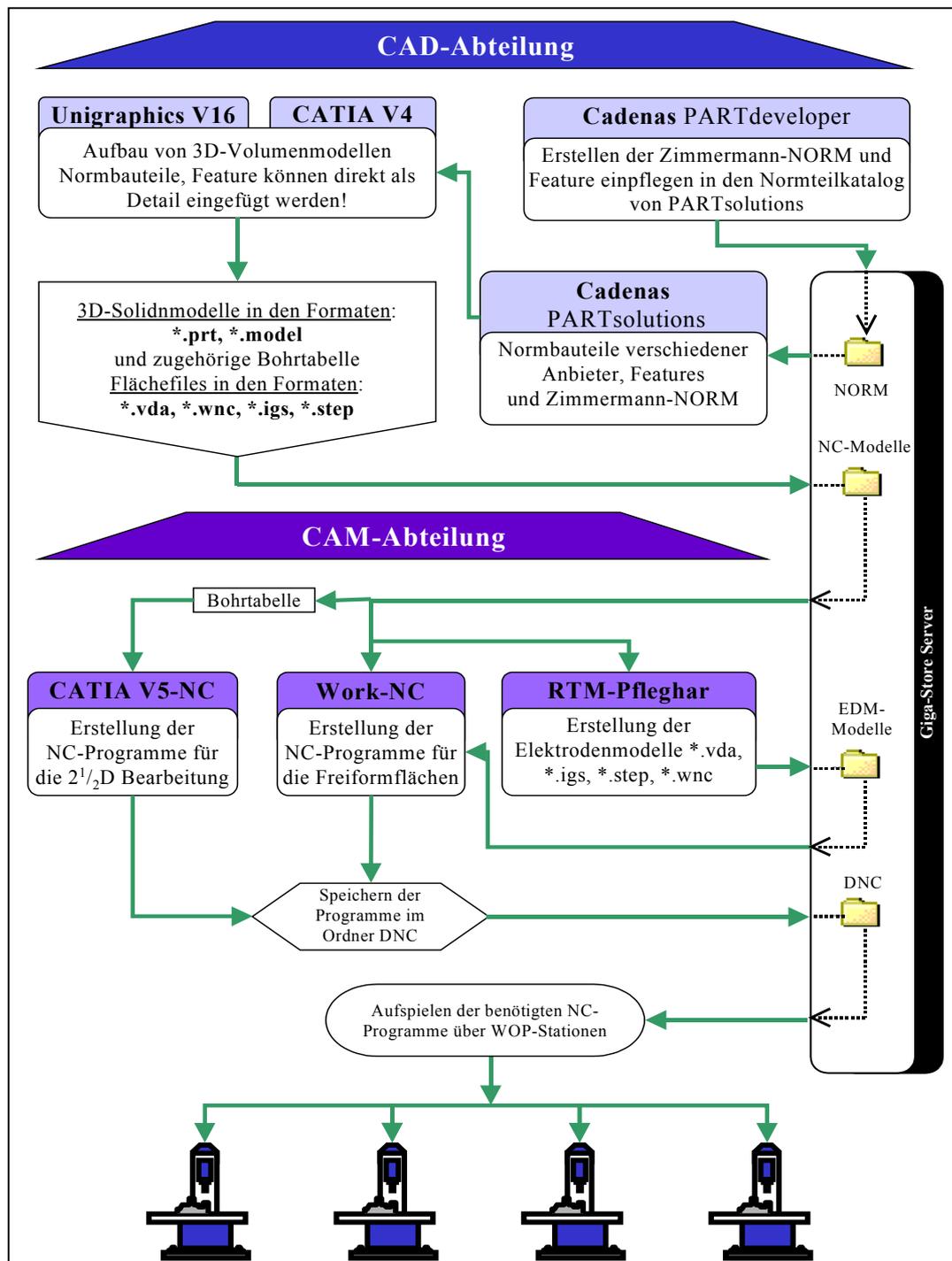


Bild 6.2.6. Neuer Ablauf nach Einführung aller Softwaresysteme

## 7 Schlussbetrachtung

Durch den immer schneller werdenden Modell- und Designwechsel der Automobilindustrie, ist es nötig, dass die Zulieferer neue Techniken einzuführen um nach wie vor konkurrenzfähig zu bleiben. Das Zeitintervall zwischen Auftragseingang und der Fertigstellung eines Werkzeuges, bei gleichbleibender Qualität wird immer geringer. Im Zeitalter der modernen CAD-Systeme ist es möglich, die vom Kunden gestellten Wünsche schnell im 3D-Bereich umzusetzen. Die erstellten  $2^{1/2}$ D-Geometriedaten jedoch so schnell und fehlerfrei wie möglich in den Produktionsablauf einzubinden, bereitete bis dahin jedoch große Schwierigkeiten. Zum einen durch die aufwendige und unsichere 2D Zeichnungserstellung und zum anderen durch die Programmierung der  $2^{1/2}$ D Geometrien direkt an der Maschine. Das Ziel dieser Arbeit war es, die zeichnungslose Fertigung zu realisieren und die bis dahin verwendete Zeit der 2D-Zeichnungserstellung zu minimieren sowie die Umsetzung einer durchgängig digitalen  $2^{1/2}$ D-Programmierung. Um diese Ziele zu erreichen, mussten zunächst die vorhandenen Systeme analysiert werden.

Nach Abschluss der Analyse stand fest, dass für eine komplett durchgängige digitale Prozesskette sowohl im CAD-Bereich als auch im CAM-Bereich eine neue Software notwendig war. Die Einführung des CADENAS Systems war der entscheidende Schritt, um in der CAD-Abteilung die Feature-Programmierung durchführen zu können und eine Erkennung zu ermöglichen. Mit diesem System ist der Konstrukteur jetzt in der Lage, Bohrungen direkt mit deren Attributen in sein 3D-Modell einzufügen ohne diese aufwendig konstruieren zu müssen. Der positive Nebeneffekt der mit der Einführung dieser Software entstand war die Möglichkeit, parametrische Normteilkataloge und Baugruppen zu erstellen. Bis heute sind in etwa 65% der Zimmermann eigenen Norm aufgebaut und online durch den Konstrukteur zugänglich. Die Zeit- und Kostenersparnis die durch diese Software eingetreten ist, kann noch nicht genau analysiert werden, da erst mit Abschluß der Normerstellung an einem neuen Werkzeugprojekt Vergleiche gezogen werden können.

Aus dem Ergebnis die eingebrachten Features durch eine Bohrtabelle wieder auszugeben, mußte für die CAM-Abteilung ein leistungsfähiges System ermittelt werden, das in der Lage war diese Bohrtabelle einzulesen und weiterzuverarbeiten. Die durchgeführte Analyse zeigte, das die Software CATIA-V5-NC am besten für die Lösung der Aufgabenstellung war. Mit dieser Software ist es jetzt möglich eine durchgängig digitale 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>D-Programmierung zu ermöglichen. D.h. die Features können in den CAD-Systemen eingebracht und die Daten ohne aufwendige Zeichnungserstellung an das CAM-System weitergegeben und direkt verarbeitet werden. Die anschließende Programmierung sowie Fertigung der Bohrungen und Gesenke, kann jetzt mit einer sehr hohen Prozesssicherheit durchgeführt werden.

Diese durchgehend neue Arbeitsweise bietet eine immense Zeit- und Kostenersparnis sowie ein hohes Maß an Sicherheit und Qualitätssteigerung. Insbesondere die Zeit um die Zeichnungen zu erstellen, kann jetzt effektiv dazu genutzt werden, um neue Projekte zu beginnen. Die Technik der 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>-Volumendaten-Programmierung ist ein Gebiet mit immensen Möglichkeiten und wird in den nächsten Jahren immer mehr zum Standard der Technik in der Werkzeug- und Formenbauindustrie werden. Im Verhältnis zwischen Aufwand und Ertrag ist in Zukunft eine positive Tendenz zu verzeichnen, jedoch im Moment noch nicht genau zu ermitteln.

Insgesamt ist die Grundlage für die komplette, digitale Programmierung und Fertigung geschaffen, so dass es in Zukunft gilt, die Zusammenarbeit der einzelnen Abteilungen und Systeme weiter zu optimieren und auf der geschaffenen Basis weiter aufzubauen.

## 8 Anhang

### 8.1 Abbildungsverzeichnis

#### **Kapitel 2 Analyse der bestehenden CAx-Struktur und deren Arbeitsweise**

Bild 2.1.1 Übersicht der Systeme in den Abteilungen

Bild 2.3.1.1. Artikelmodell in 3D-CAD

Bild 2.3.1.2. komplettes Werkzeug nach Abschluss der Konstruktion

Bild 2.3.1.3 Schnitte Kernaufsatz für Kühlungsbohrungen

Bild 2.3.1.4 Kernaufsatz mit Darstellung aller Bohrungen und Gesenke

Bild 2.3.2.1 Struktur des Gigastore-Servers

Bild 2.3.4.1. Rohling über die Rippe legen

Bild 2.3.4.2. Negativbild von der zu fertigenden Rippe (gelb)

Bild 2.3.4.3. Beschnitte Flächenkontur

Bild 2.3.4.4 Fertige Elektrode mit Rohling

Bild 2.3.5.1. Geometriedaten vor dem Compilerlauf

Bild 2.3.5.2 Ansicht des Werkstückes mit VisuNC

Bild 2.3.5.3 Eingabemaske

Bild 2.3.5.4. Frässtrategie für Gesenkherstellung

Bild 2.5.1. Ablaufstruktur

#### **Kapitel 3 Einführung in die 3D-Volumendaten-Programmierung**

Bild 3.1. Festlegen der Bohrungspositionen

Bild 3.2. Bohrungen nach dem Abzug der Zylinder

Bild 3.3. Schattiertes Würfelmodell

Bild 3.1.2.1 Layerbelegung

Bild 3.2.1. Feature-Beschreibung

Bild 3.2.2. Beispiel für ein Normblatt der Zimmermann Norm

#### **Kapitel 4 CADENAS Normalien-System**

Bild 4.1. CADENAS Modulplan

Bild 4.2.1.1. PARTviewer

Bild 4.2.1.2. Detailansicht des Normteils

Bild 4.2.3.1 Unterbau-Baugruppe der Zimmermann Norm

Bild 4.2.3. PARTconnection

Bild 4.2.4. PARTshaft "Wellengenerator"

Bild 4.3.1 Neue Menüstruktur in Unigraphics

Bild 4.3.2 Neue Menüstruktur in CATIA V4

Bild 4.3.3. Bohrungsfeature Katalog

Bild 4.3.4. Tabelle für Auswahl von Gewindebohrungen

Bild 4.3.5. Bohrtabelle

Bild 4.4.1 Neue Systemstruktur in der CAD-Abteilung

Bild 4.4.2 Neue Systemstruktur in der CAM- und Maschinen-Abteilung

### **Kapitel 5 Strukturierte Analyse für die neue 2<sup>1/2</sup>D Software**

Tabelle 5.2.6.1: Benchmarktabelle

Bild 5.5.1 Deckel-Maho DMU 200 P

### **Kapitel 6 Neue Systemstruktur und deren Arbeitsweise**

Bild 6.1.1 Volumenmodell mit Einfügepunkten für Features

Bild 6.1.2 Zylindersenkung Bohr-Feature

Bild 6.1.3. Volumenmodell mit den Integrierten Abzugskörpern

Bild 6.1.4 Solid nach dem entfernen der Abzugskörper

Bild 6.2.1. Volumenmodell nachdem öffnen in CATIA-V5-NC

Bild 6.2.2 Makrofenster

Bild 6.2.3. Volumenmodell nach Einbringung der Features

Bild 6.2.4. Volumenmodell

Bild 6.2.5. virtuelles Maschinenmodell der Deckel DMU 200P

Bild 6.4.1 Neuer Ablauf nach Einführung aller Softwaresysteme

## 8.2 Abkürzungsverzeichnis

Folgende Liste enthält alle in dieser Ausarbeitung verwendeten Abkürzungen:

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CNC	Computer Numeric Control
d.h.	das heißt
DXF	data exchange format (CAD-Exportdatei)
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
Etc.	et cetera
Evtl.	eventuell
GB	Gigabyte
GMT	Glasmattenverstärkte Thermoplaste
Html	Hypertext Markup Language
MB	Megabyte
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
MB	Megabyte
MHz	Megahertz
NC	Numeric Control
Nr.	Nummer
o.g.	oben genannten
PC	Personal Computer
u.a.	und andere
MHz	Megahertz
MB	Megabyte
PRT	Part (Dateiendung in Unigraphics)
STEP	standard for exchange of product model data (Produktdaten Austauschnorm, Schnittstelle)
TXT	text, (Dateiendung einer Textdatei)
UG	Unigraphics

VDA                    Verband der Automobilindustrie e.v., Frankfurt am Main  
VDAFS                VDA-Flächenschnittstelle  
z.B.                    zum Beispiel

### 8.3 Literaturverzeichnis

- [1] Vajna, Sándor; Weber, Christian; Schlingensiepen, Jürgen  
CAD/CAM für Ingenieure  
Verlag: Vieweg
- [2] Hogk, Johann; Marx, Peter; Rall, Uwe; Stöcker, Herbert; Winkler, Horst  
Der aktuelle Leitfaden zu CATIA V4 Band 1-3  
Verlag: Moderne Industrie
- [3] Unigraphics Solutions  
User Guide V16
- [4] Grätz, F. Joachim  
Handbuch der 3D CAD Technik  
Modellierung mit 3D Volumensystemen  
Verlag: Siemens Aktiengesellschaft
- [5] VDG-Weiterbildung  
CAD/CAM im Modell und Formenbau
- [6] Kurth  
Skript zur Vorlesung CAD-Vertiefung  
FH-Giessen-Friedberg 1997
- [7] CADENAS  
Handbuch PARTdeveloper /PARTsolutions  
Ausgabe August 2001

## **8.4 Hilfsmittelverzeichnis**

Alle für die Ausarbeitung verwendeten Hilfsmittel sind in der folgenden Liste aufgeführt:

### **Ausarbeitung:**

Microsoft Windows NT 4.0

Microsoft Word Professionell 1997

Microsoft Excel 1997

Microsoft Power Point 1997

Paint

Micrografx Picture Publisher 7.0

Activity 3D View 4.0

## **8.5 Inhaltsverzeichnis CD**

Die beiliegende CD enthält die komplette Diplomarbeit im PDF-Format. Nach dem Öffnen des Dokumentes, besteht die Möglichkeit durch anklicken des Reiters am linken Bildrand, das Inhaltsverzeichnis der Arbeit anzeigen zu lassen. Durch anklicken der einzelnen Überschriften kann man an jede beliebige Stelle des Dokumentes wechseln.