

# Integrierte Konstruktion, Arbeitsplanung und automatische NC-Programmierung durch Fertigungselementenanwendung

Prof. Dr.-Ing. H. SCHULZ; MSc.Eng. K. SCHÜTZER

Institut für Produktionstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen  
Technische Hochschule Darmstadt

**Zusammenfassung:** *Das Ziel ist, die Funktionalitäten eines existierenden CAD/CAM-Systems durch eine neue Konstruktionssemantik, die auf Fertigungselementen basiert, zu erweitern, und die Integration mit der Arbeitsplanung (CAPP) und NC-Programmierung (CAM) zu realisieren. Die Entwicklung und Implementierung des Systems FINDES bietet dem Benutzer die Möglichkeit, mit dem CAD-System auf einer fertigungselementbasierten Ebene zu interagieren. Nach der Instanziierung eines jeden Fertigungselements prüft das System die Gültigkeit seiner Parameter, seiner Lage, seiner Beziehung zu den existierenden Fertigungselementen und seiner Fertigbarkeit. Der Benutzer wird auch bei der Eingabe von technologischen Attributen, wie Toleranz, Wärmebehandlung usw., unterstützt. Die Integration mit dem CAPP-System wird durch ein fertigungselementbasiertes Werkstück-Modell realisiert. Danach bietet FINDES die Möglichkeit, einen Arbeitsplan einzulesen und mit seinem eigenen Fertigungswissen das NC-Programm automatisch zu generieren.*

## Einführung

Die Entwicklung des CAD-Systems Ende der 60er Jahre und sein Einsatz zu Beginn der 70er Jahre in der Nord-Amerikanischen Automobil-Industrie [1] mit den zusätzlichen Entwicklungen stellte eine deutliche Erhöhung der Produktivität der Konstruktionsabteilungen dar. Dieses Produktivitätswachstum ist mit den weiteren und schnelleren Entwicklungen im Software- und Hardware-Bereich deutlicher geworden.

Trotz dieser Produktivitätssteigerung in den Konstruktionsabteilungen durch den Einsatz von CAD-Systemen ist es nicht möglich zu sagen, daß die Gestaltungsmethodik sich ebenso entwickelte. Die CAD-Entwicklung hat sich stark auf die Optimierung der geometrisch primitiven Funktionen konzentriert [2] und keine Unterstützung für die Entwicklung der Konstruktionsmethode angeboten. Die Gründe können gefunden werden, wenn man den gesamten Konstruktionsprozeß dem CAD-System gegenüber stellt. CAD kann grundsätzlich die Produktbeschreibung durch die interaktive Gestaltmodellierung und Routinetätigkeiten, wie das Erstellen von Stücklisten, automatische Bemaßung, usw., unterstützen [3]. Solche Funktionen reichen nicht für die Entwicklung der Gestaltungsmethodik aus. Um dieses Ziel zu erreichen, muß das CAD-System den Konstrukteur mit einer neuen Semantik unterstützen. Diese Semantik soll sich auf das Konzept der formelementbasierten Konstruktion orientieren. Nur eine solche Semantik kann den Konstrukteur bei der gesamten Produktbeschreibung (geometrisch und technologisch) und die Konstruktion mit der Nutzung von hochwertiger Geometrie unterstützen. Einige kommerzielle CAD-Systeme nennen Formelemente als eines der vorhandenen Konstruktionswerkzeuge, aber berücksichtigt man die

ausschließlich geometrischen Kennzeichen dieser Formelemente [4], so sollten sie besser als makro-geometrische Elemente klassifiziert werden.

Solche Probleme sind nicht auf den Konstruktionsbereich beschränkt. Ähnliches findet sich auch in der Arbeitsvorbereitung und Fertigung. Die verfügbaren Systeme, wie CAPP für eine automatische Arbeitsplan-Generierung und CAM für den NC-Prozeß, bieten nur lokale Lösungen und der Anwender muß selbst die Interpretation und Übertragung der Daten zwischen den verschiedenen Systemen durchführen (Abbildung 1).

Eine globale Lösung für die Integration von CAD/CAPP/CAM-Systemen kann nur durch eine gemeinsame Werkstück-Darstellung gefunden werden, welche sich durch eine Formelementbasierte Darstellung des Werkstückes realisieren läßt (Abbildung 1). In diesem Fall soll das Konzept von Fertigungselementen benutzt werden, da die Möglichkeit besteht, nicht nur die genannte Integration zu unterstützen sondern auch eine fertigungsgerechte Konstruktion anzubieten.

Diese formelementbasierte Darstellung kann man grundsätzlich durch drei verschiedene Methoden erhalten [5,6,7,8]: manuelle Formelemente-Identifizierung, automatische Formelemente-Erkennung und Konstruktion mit Formelementen. Jede dieser drei Möglichkeiten bietet Vor- und Nachteile [5,6,9,10], die für verschiedene Anwendungen bedeutsam sein können, aber nur die letzte Methode bietet die Möglichkeit, den Konstruktionsprozeß sinnvoll zu unterstützen.

Innerhalb des ESPRIT Projekt #6090 - FIRES (Feature-based Integrated Rapid Engineering System), wird die Methode der Konstruktion mit Formelementen verwendet. Das Ziel ist, die Funktionalitäten eines existierenden CAD/CAM-Systems durch eine neue Konstruktionssemantik, die auf Fertigungselementen basiert zu erweitern, und die Integration mit der Arbeitsplanung und Analysis zu realisieren.

Am Institut für Produktionstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen der Technischen Hochschule Darmstadt werden Prototypen im Bereich der Konstruktion und NC-Programmierung (FINDES - Feature-based INtegrated DEsign System) [11] und im Bereich der Arbeitsplanung (FINPLAN - Feature INtegrated PLANner) [12] entwickelt.

## **FINDES Architektur-Überblick**

FINDES wurde zur Unterstützung der Konstruktion von prismatischen Werkstücken entwickelt und implementiert. Das System basiert auf den Konzepten der Konstruktion mit der Formelement-Methode. Während des Konstruktionsprozesses interagiert der Konstrukteur mit einer formelementbasierten Semantik. Zieht man in Betracht, daß FINDES nicht nur den Konstruktionsprozess unterstützen soll, sondern auch die Integration mit der Arbeitsplanung (CAPP) und dem NC-Prozeß (CAM) realisiert werden soll, ist die Nutzung der Fertigungselemente sinnvoller und effizienter für solche Implementationen.

Abbildung 2 zeigt einen Überblick über die FINDES Architektur. Während des Konstruktionsprozesses interagiert der Konstrukteur mit einer fertigungselementbasierten Benutzeroberfläche, die mit dem Fertigungselement-Modellierer und dem Geometrien-Modellierer in Verbindung steht. Der

Fertigungselement-Modellierer beinhaltet zwei Hauptmodule; ein **Konstruktionsmodul** und ein **Fertigungsmodul**.

Das **Konstruktionsmodul** beinhaltet alle notwendigen Funktionen für die geometrische und technologische Beschreibung des Werkstückes. Solche Funktionen unterstützen die Generierung, Gültigkeits-Überprüfung und Manipulierung der Fertigungselemente, die automatische Erkennung der Fertigungselement-Interaktionen, die Eingabe der technologischen Attribute und verwaltet zusätzlich den Konstruktionsprozeß. Für die Durchführung dieser Aktivitäten nutzt das System die existierende Wissensdatenbank, welche die Beschreibungsbibliothek für Fertigungselemente, Produktionsmittel, fertigungselementbasiertes Toleranzwissen und fertigungselementbasiertes Bearbeitungswissen beinhaltet. Die notwendigen geometrischen Modellierungsfunktionen und die graphische Benutzeroberfläche werden am CAD/CAM-System durchgeführt.

Die Ergebnisse des Konstruktionsprozesses sind das fertigungselementbasierte Werkstück-Modell und das geometrische Werkstück-Modell. Das erste Modell enthält die Werkstückverwaltungsdaten, die Beschreibung der Fertigungselemente, die existierenden Fertigungselement-Interaktionen und die definierten technologischen Attribute. Das geometrische Werkstück-Modell enthält die geometrische Beschreibung des Werkstückes, die durch den geometrischen Modellierer generiert wurde. Beide Modelle werden in FINDES verwaltet, was eine implizite Verbindung zwischen den Modellen bedeutet. Das fertigungselementbasierte Werkstück-Modell bildet auch die Haupteingabe für das Arbeitsplan-System, FINPLAN [12].

Das zweite Modul von FINDES, das **Fertigungsmodul**, kann den NC-Prozeß für ein Werkstück automatisch generieren. Für diese Aufgabe braucht man zusätzlich den Werkstück-Arbeitsplan, welcher von FINPLAN hergestellt wurde. Das **Fertigungsmodul** benutzt auch das schon genannte fertigungselementbasierte Bearbeitungswissen, welches das notwendige Wissen für die NC-Bearbeitung eines jeden Fertigungselementes darstellt.

## Fertigungselementbasiertes Konstruktionssystem

Wie schon erwähnt wurde, beinhaltet FINDES zwei Module. Das Konstruktionsmodul wird im Folgenden näher vorgestellt. Für die Unterstützung des Konstruktionsprozesses nutzt das System die verfügbaren Fertigungselemente, die in der Beschreibungsbibliothek für Fertigungselemente definiert sind. Abbildung 3 zeigt die FIRES-features Klassifizierung und die Hauptmerkmale jeder Formelementgruppe [13]. FINDES orientiert sich an Fertigungselementen (manufacturing feature) und kann basic feature, compound feature und pattern feature betrachten. Beispiele für basic feature sind: Taschen, Nuten, Bohrungen, Gewinde, usw. Das pattern feature betrachtet eine Gruppe von basic features gleichen Typs in einer vordefinierten Darstellung, wie Kreise, Linien oder Matrizen. Die aktuelle FINDES-Version kann auch compound feature unterstützen, hat aber derzeit keine in der Beschreibungsbibliothek. Die Gründe dafür sind, daß erstens das System Fertigungselement-Interaktionen automatisch erkennen kann und zweitens die Implementierung solcher Fertigungselemente eine künstliche Zunahme der Beschreibungsbibliothek verursacht, mit der konsequenten Verschlechterung der Benutzeroberfläche. Trotzdem bleibt in FIRES die Möglichkeit compound features, wie z.B. Führungsloch oder abgesetzte Bohrung, zu implementieren. FINDES

betrachtet auch transition features, wie Fasen oder Rundungen, und design features, die auf  $2 \frac{1}{2} D$  Elementen basieren.

Nach der Initialisierung der Konstruktion eines neuen Werkstückes oder die Reinitialisierung eines existierenden Werkstückes durch die Verwaltungsfunktionen kann der Konstrukteur ein beliebiges Fertigungselement generieren. Dieses Element gehört solange nicht zum Bauteil bis die Fertigungselement-Gültigkeitsüberprüfung durchgeführt wurde [13].

Die Fertigungselement-Beschreibungsbibliothek beinhaltet die detaillierte Beschreibung jedes Fertigungselements, wie Parameter, virtuelle und reelle Flächen, usw.. Bevor ein generiertes Element zum Werkstück gehören kann, muß seine Beschreibung, seine Fertigbarkeit und die Interaktionen mit anderen Fertigungselementen überprüft werden. Während dieser Aufgabe werden folgende Gültigkeitsüberprüfung durchgeführt:

- *Parameter-Gültigkeitsprüfung*: die vom Benutzer definierten Parameter werden überprüft, ob sie ein gültiges Fertigungselement bilden können, z.B., würde das System die Eingabeparameter für die Instanzierung einer viereckigen Tasche nicht akzeptieren, bei denen der Eckenradius größer als Hälfte der Länge oder Hälfte der Breite ist. Es wird auch überprüft, ob Werkzeuge zur Verfügung stehen, mit denen das Fertigungselement bearbeitet werden kann.
- *Fertigungselementflächen-Gültigkeitsprüfung*: FINDES prüft nach, ob die Flächen des instanziierten Fertigungselementes ihrer Beschreibung in der Bibliothek entsprechen. Nur wenn alle virtuellen und reellen Flächenbeschreibungen gültig sind, ist diese Überprüfung wirksam.
- *Fertigbarkeitsprüfung*: dieser dritte Maßstab stellt fest, ob das Fertigungselement mit den verfügbaren Produktionsmitteln bearbeitet werden kann. Dabei werden die Werkzeuge, die Werkzeugspannmittel und Werkzeugmaschinen für die Kollisionsüberprüfung betrachtet. Bei dieser Analyse werden, wie in Abbildung 4 dargestellt, zusätzlich folgende Fälle überprüft:
  - die engere Stelle für die Werkzeugdurchgang im Fall einer Volumeninteraktion zwischen „Depression“- und „Protrusion“-Feature (Abbildung 4 a) oder in einer konkaven Tasche (Abbildung 4 b);
  - die vollständige Bearbeitung der Fertigungselemente im Fall eines nachrangigen Fertigungselementes einer Vorranginterdependenz (Abbildung 4 c) bzw. einer impliziten fertigungstechnischen Interdependenz mit einem „Protrusion“-Feature (Abbildung 4 d), d.h. es wird auf Restmaterial hin überprüft.

Diese drei Überprüfungen sind entscheidend für die Fertigungselement-Gültigkeitsprüfung. Erst wenn alle positiv ausfallen, wird das Fertigungselement als gültig bezeichnet und in das Werkstück-Modell eingebunden. Für die gültigen Fertigungselemente wird zusätzlich die folgende Überprüfung durchgeführt:

- *Überprüfung der Fertigungselement-Interaktionen*: bei diesem Maßstab werden alle expliziten Fertigungselementinteraktionen identifiziert. Solche Interaktionen sind, z.B., Vorrang-Beziehungen, die sowohl für die Konsistenz des Werkstückmodells als auch für den Arbeitsplaner notwendig sind.

FINDES kann die expliziten und auch teilweise die impliziten Interaktionen zwischen Fertigungselementen automatisch identifizieren und verwalten. Für solche, die noch nicht automatisch

identifiziert werden können, bietet das System die notwendige Unterstützung für die interaktive Identifizierung. Danach werden beide gemeinsam verwaltet.

Für die Eingabe der technologischen Attribute interagiert FINDES gleichzeitig mit den Wissensdatenbanken und dem Konstrukteur, damit eine optimale Attributdefinition realisiert werden kann. Solche Wissensdatenbanken beinhalten Toleranz-, Wärmebehandlungswissen, usw., basierend auf Fertigungselementen. Dort findet FINDES die notwendigen Auskünfte, um den Konstrukteur bei den technologischen Attributeingaben zu unterstützen und, um die Gültigkeit dieser Eingabe zu überprüfen. Die folgenden technologischen Eingaben werden durch das System unterstützt: Allgemeintoleranzen, Maßtoleranzen, Formtoleranzen, Lagetoleranzen und Rauigkeitstoleranzen.

Das fertigungselementbasierte Werkstück-Modell ist in FINDES und auch für die Integration mit dem CAPP-System, FINPLAN [12], das Kernmodul. Dieses Modell beinhaltet alle Werkstück-Informationen, mit Ausnahme des geometrischen Modells, in Form eines hierarchischen Modells. Im ersten Informationsblock stecken alle Werkstück-Verwaltungsdaten und die Rohmaterialbeschreibung. Der zweite Block beinhaltet die fertigungselementbasierten Auskünfte; hier sind alle Fertigungselemente mit ihren Parametern, Flächen und technologischen Attributen beschrieben. Zusätzlich sind auch alle Interaktionen zwischen den Fertigungselementen eingetragen. Solche Interaktionen und die technologischen Attribute bilden die Randbedingungen für die Arbeitsplan-Generierung.

## **Automatische NC-Programm-Generierung**

Das zweite Modul von FINDES hat die Aufgabe den NC-Prozeß automatisch zu generieren. Ein Werkstück, das schon mit FINPLAN [12] bearbeitet wurde, hat einen gültigen Arbeitsplan. FINDES kann dieses Werkstück sowie dessen Arbeitsplan wieder einlesen.

Zuerst wird der Arbeitsplan bei FINDES eingelesen und interpretiert, damit alle Aufspannungen und Bearbeitungsoperationen identifiziert werden können. Aus den Ergebnissen wird der gesamte NC-Prozeß strukturiert. Gleichzeitig werden auch die ausgewählten Werkzeugmaschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen erkannt und das System nutzt die gemeinsame Produktionsmittel-Datenbank für die notwendigen Daten. Die Datenbank für Bearbeitungswissen über unterstützt mit den notwendigen Informationen für die Auswahl der Schnittstrategie und ihren Parametern jede Bearbeitungsoperation des Fertigungselementes.

Das Zerspanungsvolumen eines Fertigungselementes, der Bearbeitungsanfangspunkt, die Anschnittrichtung sowie die Information, welche die virtuellen und reellen Flächen sind, werden vom Fertigungsmodul berechnet und festgelegt. Die Ermittlung dieser Informationen und die notwendige Berechnung, wie beispielsweise für das Zerspanungsvolumen, werden nach der Bearbeitungsreihenfolge im Arbeitsplan, dem auf Fertigungselementen basierenden Werkstückmodell und dem geometrischen Werkstückmodell durchgeführt. Dadurch wird es möglich die Berechnung des effektiven Zerspanungsvolumens zu automatisieren. Die Volumeninteraktion zwischen Fertigungselementen, die Bearbeitungsreihenfolge sowie das „Protrusion“-Feature, das in der Regel vom Arbeitsplanungssystem nicht betrachtet wird, weil es selbst kein Zerspanungsvolumen darstellt, werden ebenfalls bei dieser Berechnung betrachtet.

Anschließend werden die NC-Programme für jede Aufspannung berechnet und der Benutzer hat die Möglichkeit sie zu simulieren, zu modifizieren und dann an die Werkstatt zu übergeben.

## Praxisbeispiel

Abbildung 5 zeigt ein Werkstück eines mit FINDES gestalteten Spritzgußwerkzeuges der Firma Mares S.A.- Construcciones Mecanicas, Barcelona, einem Mitglied des FIRES-Projekts. Für die Konstruktion dieses Werkstückes wurde als Rohmaterial ein Blechteil (1750X780X90 mm) verwendet. Dieses Werkstück beinhaltet 164 Elemente (Bohrungen, Gewinde, Tasche usw.), die durch 58 Fertigungselemente dargestellt wurden. Die Gültigkeit und Fertigbarkeit aller generierten Fertigungselemente in Beziehung zu den Ressourcen der Produktionsmittel-Datenbank wurde schon während der Konstruktion geprüft. Für die Konstruktion dieses Werkstückes wurden Bohr-Bilder, Gewindeloch-Bilder, Bezugsfläche, Stufen usw. genutzt. Wie schon erwähnt wurde, sind Fertigungselemente wie gestuftes Loch nicht erforderlich, da FINDES alle expliziten Interaktionen zwischen den Fertigungselementen der Werkstücke automatisch erkennen kann. Eine dieser Interaktionen, zwischen der oberen Fläche des Führungslochs (HOLE\_\*\*\_10) und der Bezugsfläche (SLAB\_\*\*\_11, nicht an Abbildung 5 dargestellt), ist in Abbildung 6 dokumentiert.

Abbildung 6 zeigt alle Informationen des Fertigungselementes HOLE\_\*\*\_10. In diesen Loch wird eine Buchse für den Abzieher montiert. Dafür wurden notwendige Maßtoleranzen und Oberflächengüte mit Unterstützung von FINDES eingegeben.

Für die Überprüfungen der Fertigungselemente verwendet FINDES Boolesche-Operationen. Die notwendige Zeit für diese Operationen wächst mit der Komplexität des Geometriemodells in einem CSG-Modellierer. Daher wird dieser Einflußfaktor die Gestaltungszeit unter FINDES gegenüber des für den Vergleich verwendeten CAD-Systems vergrößern. Es wurde eine zweite Testversion für FINDES (FINDES-fast) generiert, bei dem diese Überprüfungen teilweise ausgeschaltet wurden, wobei allerdings bei dieser Version noch deutlich mehr Boolesche-Operationen als bei dem CAD-System auftreten, wie z.B. bei der Überprüfung der Interdependenzen zwischen den Fertigungselementen.

Daher ist eigentlich eine längere Gestaltungszeit mit beiden Versionen von FINDES gegenüber dem CAD-System zu erwarten. Tatsächlich läßt sich dies in die durchgeführten Tests jedoch nur bei den Ergebnissen der Gestaltungszeit von FINDES feststellen. Bei FINDES-fast ist dagegen der Zeitunterschied gegenüber dem CAD-System trotz der zusätzlichen Booleschen-Operationen bedeutungslos. Dies resultiert vor allem aus der Verbesserung der Benutzerschnittstelle durch die Verwendung von Fertigungselementen, durch die der Anwender nicht auf die Geometrieprimitiva (Punkte, Geraden, Kreisen usw.) für die Gestaltung jedes einzelnen Werkstück-Elements zugreifen muß. Infolgedessen wird die Interaktionszeit bei der Gestaltung jedes Werkstück-Elements verkleinert.

Die gesamte Konstruktionszeit des Werkstücks in der Abbildung 5 mit der Standard-Version von FINDES war 75 Minuten und mit FINDES-fast sowie mit dem CAD-System 60 Minuten.

## Ausblick und Entwicklungen

FINDES wurde implementiert, indem die "Design by Feature"-Methode benutzt wurde. Seine Formelement-Bibliothek basiert auf „manufacturing features“ (Fertigungselementen). Diese Kombination und alle zusätzlichen Gestaltungs- und Fertigungshilfen, die von dem System zur Verfügung gestellt werden, stellten sich als Werkzeuge heraus, die die Fähigkeit hatten, die Gestaltungsmethode zu verbessern und als entscheidender Schritt in Richtung Integration von CAD, CAPP und CAM-Systemen zu fungieren.

Der Konstrukteur muß sich nun nicht mehr mit Geometrien der unteren Ebene abgeben. FINDES unterstützt die Gestaltung mit einer neuen Semantik, die auf den Elementen basiert, die benutzt werden, um ein wirkliches Werkstück zu produzieren, welches zu der hohen Geometrieebene Bezug hat. Modifikationen der Gestalt einzelner Formelemente werden durch FINDES ebenfalls unterstützt, was zu einer beträchtlichen Reduktion der Konstruktionszeit führt. Auch die Definition der technologischen Attribute wird durch das System unterstützt und das resultierende Werkstückmodell welches auf der Beschreibung der Fertigungselemente basiert, kann ohne zusätzliche Aktionen in ein CAPP-System transferiert werden.

Es wurde gezeigt, daß das Fertigungsmodul von FINDES in der Lage ist, ein schon gestaltetes Teil und seinen Prozeßplan wiederherzustellen und automatisch einen NC-Prozess zu generieren. Es wurden auch Tests durchgeführt, in denen man das gleiche Teil mit FINDES gestaltete und die Standard-Werkzeuge eines CAD-Systems benutzt hat, was in einer signifikanten Zeitreduktion resultierte.

Wenn man die Integration von Konstruktion/Planung/Herstellung betrachtet, ist die gezeigte Integration noch signifikanter. Dies ermutigt uns, das System FINDES weiter zu entwickeln.

## Literatur

- [1] Chasen, S.H.: Historical highlights of interactive computer graphics. Mechanical Engineering. 103 (1981) 11, S. 32-41
- [2] Krause, F.-L.; Bienert, M.; Vosgerau, F.; Yaramanoglu, N.: Feature oriented system design for geometric modeling. In: Straßer, W.; Seidel, H.-P. (Hrsg.): Theory and Practice of Geometric Modeling. Springer-Verlag, Berlin 1989, S. 483-498
- [3] Grabowski, H.; Langlotz, G.; Rude, S.: 25 Jahre CAD in Deutschland: Standortbestimmung und notwendige Entwicklungen. VDI Berichte 993 - Datenverarbeitung in der Konstruktion '92. VDI Verlag, München, 1992, S. 1-29
- [4] Schunke, A.: Ähnlichkeitsuche für die Rechnerunterstützte Konstruktion. Dissertation Universität Hannover 1990
- [5] Shah, J.J.: Assessment of features technology. Computer-Aided Design. 23 (1991) 5, S. 331-343
- [6] Case, K.; Gao, J.: Feature technology: an overview. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 6 (1993) 1-2, S. 2-12
- [7] Pratt, M.J.: Aspects of form feature modelling. In: Hagen, H.; Roller, D. (Hrsg.): Geometric Modeling - Methods and Applications. Springer Verlag 1991, S. 227-250

- [8] Sreevalsan, P.C.; Shah, J.J.: Unification of form feature definition methods. In: Brown, D.C.; Waldron, M.; Yoshikawa, H. (Hrsg.): Intelligent Computer Aided Design. Elsevier Science Publishers, 1992, S. 83-99
- [9] Anderson, D.C.; Chang, T.C.: Geometric reasoning in feature based design and process planning. Computers & Graphics. 14 (1990) 2, S. 225-235
- [10] Schulz, H.; Schützer, K.: Design by features - Feature based design of prismatic parts. In: Proceedings of Workshop on Flexibility through Integrated Design, Process Planning and Scheduling. ESPRIT Project #2590 - IPDES. Senlis, 1992
- [11] Schulz, H.; Schützer, K.: FINDES - Feature-based integrated design system. Production Engineering. I (1994) 2, S. 189-192
- [12] Schulz, H.; Hintz, A.: FINPLAN - A problem solving shell specialized in process planning. Production Engineering, I (1993) 1, S. 211-214
- [13] Schulz, H.; Schützer, K.: Feature database editor - Feature validity constraints (Project Report). ESPRIT Project #6090 - FIRES, Darmstadt 1993

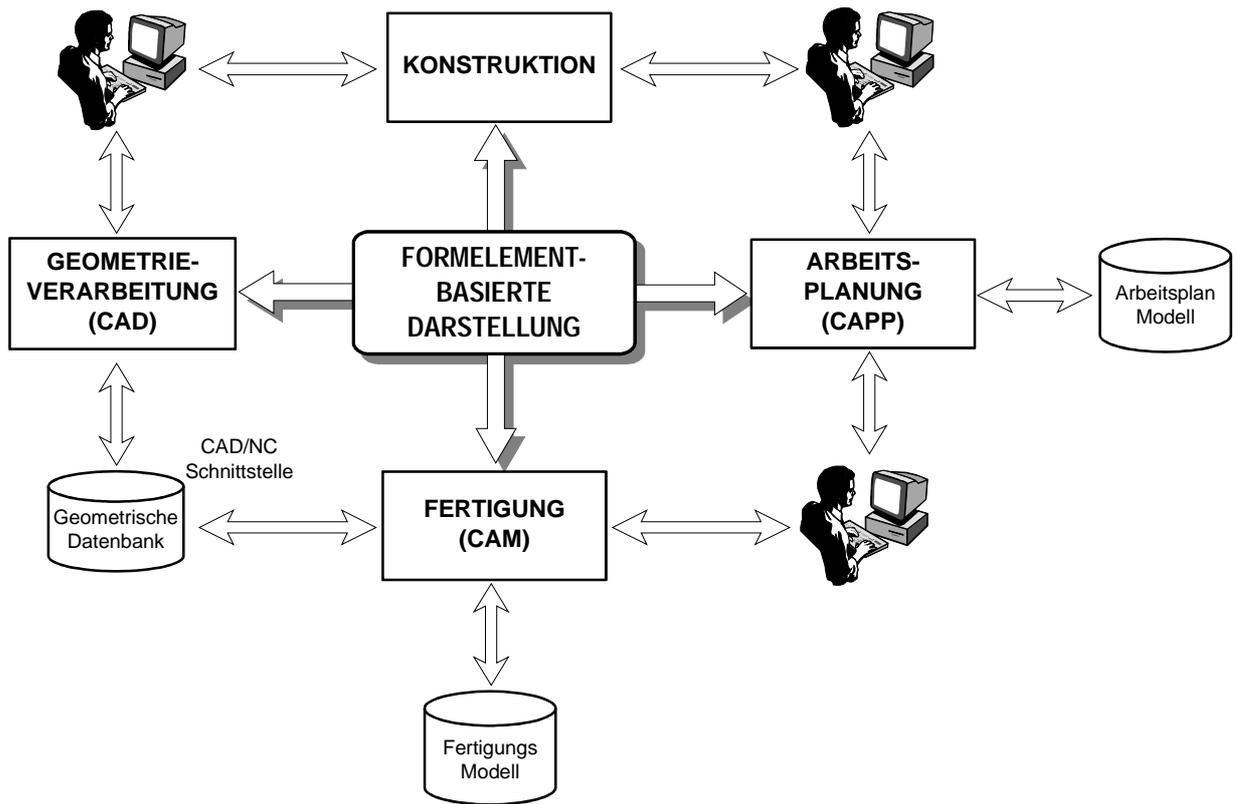


Abbildung 1: Übertragung der Informationen in CAD/CAPP/CAM-Systeme

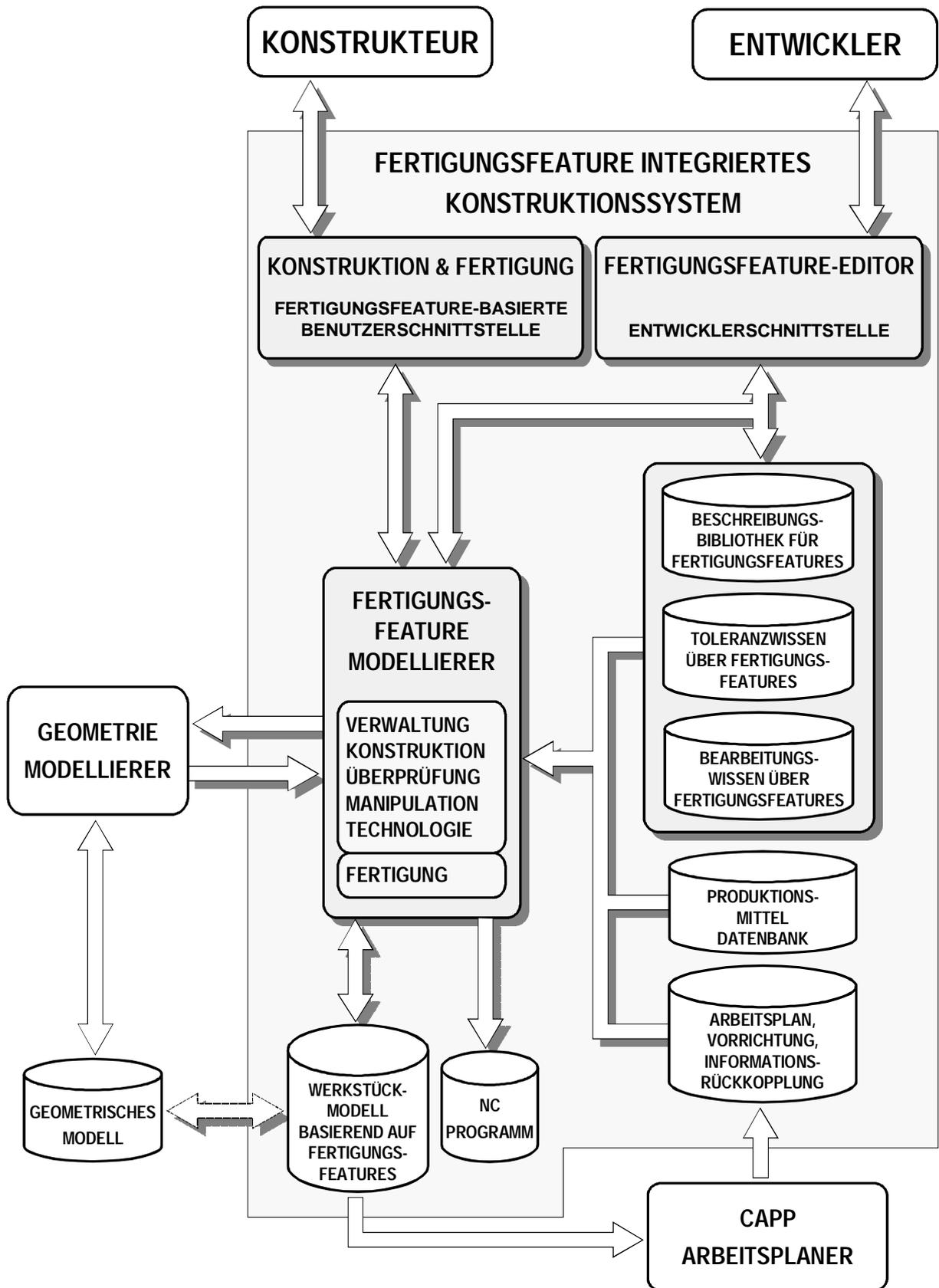


Abbildung 2: Architektur des integrierten Konstruktionssystems - FINDES

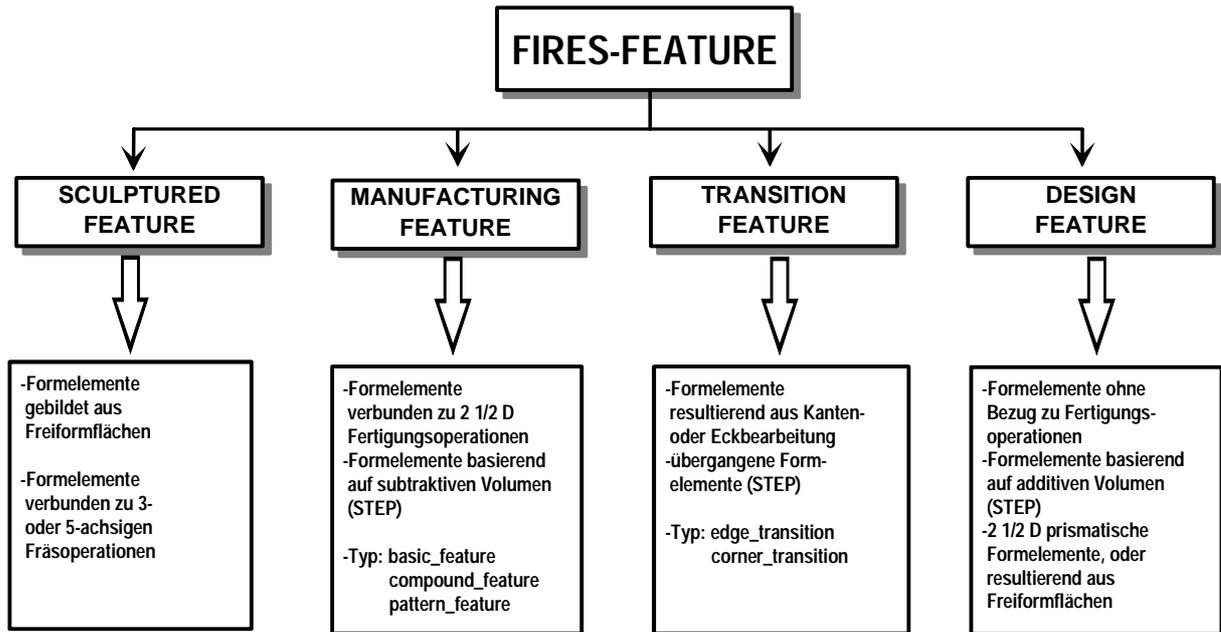


Abbildung 3: FIRES-feature Klassifizierung

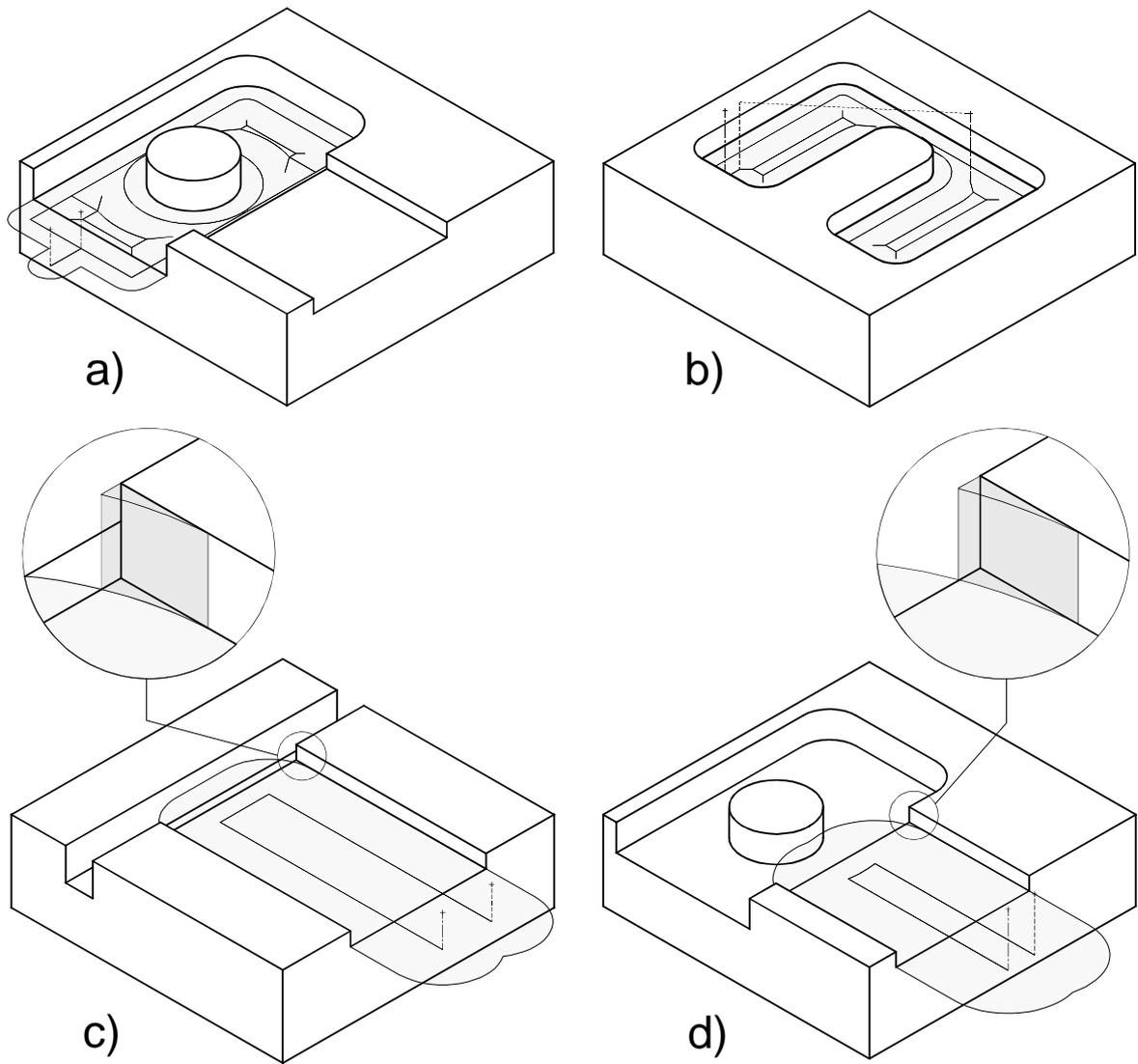


Abbildung 4: Fertigungstechnische Beschränkungen bei der Werkzeugauswahl:  
 a) Volumeninteraktion; b) konkave Tasche; c) Vorranginterdependenz;  
 d) implizite fertigungstechnische Interdependenzen

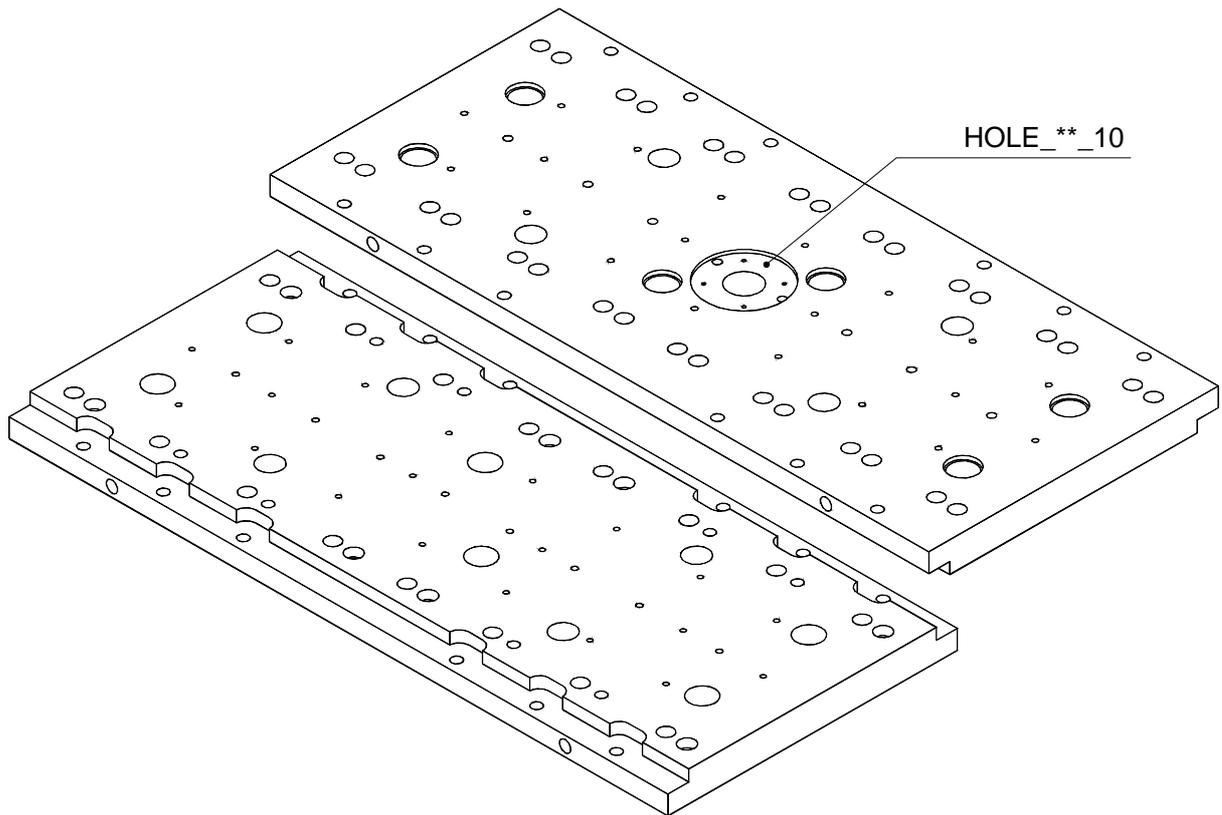


Abbildung 5: Werkstück eines Spritzgußwerkzeuges gestaltet mit FINDES  
(Mares S.A. - Construcciones Mecanicas)

```

MANUFAC. FEATURE INFORMATION
#####
##### Manufacturing Feature : HOLE_**_10 #####
##### Construction Face      :    OZ+      #####
#####
FEATURE_IDENTIFICATION
  name_of_feature      HOLE
  code_of_feature      HOLE_**_10
FEATURE_GEOMETRY
  type_of_feature      BLIND
  reference_point_glob  870.000  385.000  65.000  GLOBAL
  reference_point_face  870.000  385.000  -5.000  OZ+
  diameter_hole        200.000
  depth_hole           8.000
  foot_radius          0.400
SURFACE_AND_EDGE_INFORMATION
  face_top             SLAB_**_10
  face_bottom          MATERIAL_SURFACE
  face_cylinder        MATERIAL_SURFACE
  edge_top
QUALITY_SPECIFICATION
  quality_type         INTERNAL_DIMENSIONAL_TOLERANCE
  reference_dimension  diameter_hole
  nominal_dimension    200.000
  upper_value          0.046
  lower_value          0.000
  envelope_principle   NO
QUALITY_SPECIFICATION
  quality_type         SURFACE_TOLERANCE
  type_of_surface_tolerance Ra
  list_of_surfaces     face_cylinder
  tolerance_value      6.300

```

Abbildung 6: ASCII-Ausgabe des Fertigungselementes HOLE\_\*\*\_10 mit den geometrischen und technologischen Parametern.