

Technische Modellierung und DB-gestützte Datenhaltung - ein Ansatz für ein durchgängiges, integriertes Produktmodell

Ch. Hübel¹, R. Paul², B. Sutter¹

Überblick

Die zukünftige Entwicklung von CAD/CAM-Systemen wird immer mehr von der Idee eines integrierten Ingenieursystems geprägt. Grundlage derartiger Überlegungen ist die Erstellung eines umfassenden Produktdatenmodells, in dem alle relevanten Aspekte eines zu entwerfenden und zu fertigenden Bauteils erfaßt sind. Zur Gewinnung sämtlicher Entwurfsdaten in der Konstruktionsphase eines Bauteils sind die heute kommerziell verfügbaren geometrischen Modellierungssysteme nicht geeignet. Die Entwicklung von fortschrittlicheren Modellierungswerkzeugen, die mit technischen Objekten und darauf definierten Operationen arbeiten, womit dem Modellierungssystem auch die technischen Produktdaten zugänglich gemacht werden, ist daher ein aktuelles Forschungsthema.

Wir stellen hier unsere Überlegungen zur Entwicklung eines technischen Modellierers vor. Neben einer Beschreibung der Arbeitsweise des Modellierers werden wir insbesondere die Problematik einer DB-gestützten Datenanbindung untersuchen. Eine derartige Produktdatenhaltung wird als die Basis zukünftiger integrierter Ingenieursysteme motiviert und verdeutlicht.

1. Einleitung

Einhergehend mit dem Preisverfall bei gleichzeitiger Zunahme der Leistungsfähigkeit von Rechensystemen wurden in den letzten Jahren unzählige CAD-Programme entwickelt, die zur Lösung von spezifischen Problemen in einer sehr komplexen Ingenieurumgebung herangezogen werden. Datenverwaltung und Überprüfung von Konsistenzbedingungen wurden dabei vom CAD-Programm selbst durchgeführt, was i.a. zu sehr effizienten, aber auch zu sehr speziellen Lösungsansätzen führte (sog. Insellösungen).

In der aktuellen Forschung werden daher vielfältige Ansätze zum Entwurf von **integrierten Ingenieursystemen** verfolgt, womit die Heterogenität der gegenwärtigen CAD-Werkzeuge überwunden und ein wichtiger Schritt hin zu einer CAD/CAM-Integration erreicht werden soll. Ein vielversprechender Ansatz stellt die Integration der CAD/CAM-Werkzeuge über eine gemeinsame Datenhaltung dar, was zu einer Definition eines durchgängigen Produktmodells führt /AGPR88 , HHM88/.

Zwei wesentliche Problemkreise hierbei sind zum einen, adäquate Methoden zur Beschreibung des Produktmodells zu finden, in welchem nicht nur die eigentlichen Daten, sondern auch die darauf geltenden Konsistenzbedingungen beschrieben werden. Zum anderen muß die Konstruktionsphase durch Modellierungssysteme unterstützt werden, die eine Gewinnung der Produktdaten aus dem Konstruktionsprozeß ermöglichen.

1: Universität Kaiserslautern

2: Technische Universität Magdeburg, z.Z. Universität Kaiserslautern

In einem Produktmodell werden die Informationen zu einem Entwurfsobjekt anwendungsneutral abgelegt. In dem Modell werden alle relevanten Aspekte des Objektes erfaßt und explizit beschrieben, so daß sämtliche CAD-Werkzeuge mit den für sie notwendigen Daten versorgt werden können. Zur Modellierung der Produktdaten lassen sich zwei interessante Ansätze aufführen. Eine Verwendung von Wissensrepräsentationsmethoden (etwa Frames /FK85/ oder KL-ONE-Netze /BS85/), die von Systemen wie KEE /In84/, LOOPS /BS83/ oder KRISYS /Ma89/ angeboten werden, erlauben eine sehr flexible und mit hoher Semantik belegte Modellierung der Informationsstrukturen /DHMM89/. Die Flexibilität läßt allerdings hohe Effizienzeinbußen bei dem Zugriff auf große Datenmengen erwarten. In unserem Ansatz werden die Produktdaten durch die Schemadefinition in einem Datenbanksystem (DBS) modelliert. In unseren Überlegungen gehen wir dabei von neueren Datenmodellen aus /Mi88, PA86, PSSWD87/, die die Definition und ganzheitliche Handhabung von komplex-strukturierten Objekten erlauben und die damit eine wesentliche Effizienzsteigerung gegenüber herkömmlichen DBS in derart datenintensiven Anwendungen erwarten lassen, und gleichzeitig die bekannten Vorteile von DBS in integrierten Ingenieursystemen zugänglich machen.

Der Einsatz von technischen Modellierungssystemen erlaubt die Ableitung von technischen Produktdaten während der Konstruktion eines Objektes. Die gegenwärtig am häufigsten eingesetzten geometrischen Modellierer erfüllen diese Anforderung nicht, da sie meist nur die geometrische Information des Entwurfsobjektes kennen und die technische Objektstruktur nicht erfassen können /SR88/. Ein technischer Modellierer bietet an seiner Benutzeroberfläche technische Objekte (z.B. Lager, Stift, Paßfeder, Einstich etc.) mit darauf definierten Operationen an. Dadurch können die komplexen Zusammenhänge zwischen den technischen Objekten erfaßt und im Produktmodell beschrieben werden. Dem Modellierungssystem sind nun Objekte mit einer höherwertigen Semantik bekannt, die nicht mehr, wie in bisherigen Systemen üblich, nachträglich durch komplexe Algorithmen aus den geometrischen Daten gewonnen werden müssen. Ein weiterer Vorteil ist die mögliche Unterstützung einer fertigungsgerechten Konstruktion, da dem Modellierungssystem technische Objekte und Operationen bekannt sind und somit die Fertigungseigenschaften eines Entwurfsobjektes überprüft werden können.

Im nächsten Kapitel werden verschiedene Aspekte des technischen Modellierens genauer untersucht und die technischen Objekte und Operationen bei der Konstruktion von Baugruppen und Einzelteilen, speziell von rotationssymmetrischen Teilen, vorgestellt. Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit Fragen der Datenmodellierung und der DB-Unterstützung für technische Modellierungssysteme. Im darauffolgenden Kapitel stellen wir die Systemarchitektur und verschiedene Realisierungskonzepte von TechMo, dem von uns entwickelten Prototyp eines technischen Modellierers, vor.

2. Technische Modellierung

2.1 Einordnung

Der Prozeß der industriellen Herstellung von Erzeugnissen erfordert eine Arbeitsteilung zwischen Vorbereitung und Durchführung der Fertigung. Die Aufgaben der technischen Fertigungsvorbereitung im Industriebetrieb bestehen in der Vorausbestimmung und Erprobung der zu fertigenden technischen Gebilde einerseits und der zu ihrer Herstellung zweckmäßigsten Fertigungsprozesse, -verfahren, -mittel und Organisationsformen andererseits.

Ein wichtiger Aspekt beim Entwurf von rechnerunterstützten Systemen ist die Betrachtung der technischen Fertigungsvorbereitung als durchgängiger Entwicklungsprozeß bestehend aus den Teilprozessen Angebotserarbeitung, der konstruktiven Vorbereitung und der technologischen Vorbereitung. In diesem Entwicklungsprozeß arbeiten die Ingenieure mit sogenannten **technischen Objekten** wie Maschine, Baugruppe, Einzelteil und Arbeitsplan, die mit bestimmten Methoden (Berechnungsverfahren, Auswahlalgorithmen, Heuristiken) dimensioniert und ausgewählt und somit in ihrer technischen und geometrischen Gestalt bestimmt werden. Dabei werden die technischen Objekte über ihre Funktion (z.B. Funktion einer Baugruppe in einer Maschine, Funktion eines Arbeitsgangs zur Fertigung eines Formelements) durch den Konstrukteur oder Arbeitsplaner im Entwurfsprozeß benutzt und gestaltet.

Betrachtet man jetzt die Entwicklung eines Erzeugnisses (Produkt) im durchgängigen Prozeß der Fertigungsvorbereitung, so stellen die verschiedenen technischen Objekte dabei die funktionale Sicht der verschiedenen Teilprozesse auf das gleiche Erzeugnis dar, wobei jede Sicht eine Teilmenge aus der Gesamtmenge der produktdefinierenden Daten bildet.

Somit sind in einem **Produktmodell** alle Daten, die im Prozeß der technischen Fertigungsvorbereitung entstehen und für die Fertigung und die technische Dokumentation des Erzeugnisses benötigt werden, beschrieben. Neben diesen technisch relevanten Produktinformationen sind auch deren funktionale Verknüpfungen im Produktmodell abgebildet, um eine durchgängige Unterstützung aller an der Produktentwicklung beteiligten Teilprozesse zu erreichen.

Aus heutiger Sicht sind solche **integrative** Produktmodelle nicht sofort in kürzestem Zeitraum zu entwerfen, da für die rechnerunterstützte Integration der einzelnen Entwicklungsprozesse der technischen Fertigungsvorbereitung noch keine allgemeingültigen Konzepte vorliegen. Daher ist nur eine schrittweise Vorgehensweise vorstellbar. Ein erster Schritt ist in der Analyse der funktionalen Sicht der einzelnen Teilprozesse auf das Produkt zu sehen. Dabei werden sogenannte Phasen- oder auch **Partialmodelle** entwickelt, die einen Teilprozeß der technischen Produktentwicklung betrachten. Solche Partialmodelle sind z.B.:

- **Technisches Gestaltsmodell (Technisches Modell)**

Hier sind die technische Objektstruktur des Erzeugnisses von der Baugruppe bis hin zum Einzelteil und Normteil und deren Beziehungen untereinander abgelegt.

- **Geometrisches Modell**

Dieses Modell enthält alle Geometrie- und Topologieinformationen der darzustellenden Objekte bzw. die Struktur des Gesamtobjekts.

- **Darstellungsmodell**

Das Darstellungsmodell beschreibt die Darstellungselemente zur Generierung von Ansichten, Schnitten und Zeichnungsunterlagen.

- **Technologisches Modell**

In diesem Modell sind die technologischen Objekte wie Arbeitsplanstammkarte, Stückliste, NC-Programme, Fertigungsaufträge usw. definiert.

Für die Unterstützung eines (teilweise) durchgängigen Prozeßablaufes wird, im Gegensatz zum integrativen Produktmodell, eine Datentransformation zwischen den einzelnen Partialmodellen für ihre prozeßadäquate Verknüpfung notwendig. Diese Datentransformation setzt aber die Modellierung des Erzeugnisses mit technischen Objekten (technische Objektstruktur) voraus, d.h., die technische Sicht auf das Produkt (Technisches Gestaltsmodell) ist bei den Transformationsprozessen dominierend. Durch die Verwendung von entwicklungsprozeßadäquaten technischen Objekten (Welle, Absatz, Paßfeder, Paßfedernut, Einstich, Freistich, . . .) wird eine objektorientierte Verbindung von der Konstruktion zur Arbeitsplanung überhaupt erst möglich und gewährleistet die Gestaltung und Zuordnung

der für die Fertigung benötigten Arbeitsgänge. Zu beachten ist, daß bei jedem Transformationsprozeß Datenverluste auftreten, die sich aus der Sicht der Teilprozesse auf das Erzeugnis begründen und damit das Datenvolumen der einzelnen Partialmodelle bestimmen.

Der nächste Schritt in Richtung integratives Produktmodell ist in der Realisierung der rechnerunterstützten Integration der einzelnen Partialmodelle zu sehen. Hier sind die funktionalen Verknüpfungen (z.B.: Zuordnung von technischen Objekten in der Konstruktion zu technischen Objekten in der Arbeitsplanung) zu modellieren, d.h., diese Beziehungen werden explizit im Produktmodell beschrieben. Dadurch wird eine komplexe Konsistenzüberprüfung des Produktmodells beim Übergang eines Produktes in den nächsten Entwicklungsprozeß (andere Produktrepräsentation) oder bei anderen funktionalen Verknüpfungen der Partialmodelle (z.B.: Ermittlung der optimalen Rohteilabmaße für ein Einzelteil im Konstruktionsprozeß, fertigungsgerechtes Konstruieren usw.) möglich.

2.2 Technische Objekte im Konstruktionsprozeß

Nachfolgend soll die Betrachtung auf die Transformationsebenen des Produktmodells im konstruktiven Entwicklungsprozeß eingeschränkt werden, wobei durch die Gemeinsamkeiten der Teilprozesse der technischen Fertigungsvorbereitung /An85, Pa89/ gleiche oder ähnliche Schlußfolgerungen, besonders für die datenbankunterstützte Verwaltung der technischen Objekte, zu erzielen sind.

Der Konstruktionsprozeß stellt einen Lösungsprozeß dar, der den Ablauf der Erarbeitung von technischen Erzeugnissen, das Ermitteln ihres funktionalen und strukturellen Aufbaus und die Erzeugnisdokumentation einschließt /An85/. Beim Durchlauf der einzelnen Phasen der Konstruktion (Funktionsfindung, Prinzipiarbeitung, Gestaltung (Entwurfsphase), Detaillierung (Einzelteil-Konstruktion)) erfolgt eine zunehmende Konkretisierung und Verfeinerung des zu konstruierenden Objektes, bis alle benötigten Informationen vorliegen, die Ausprägungen in einem vorgegebenen Produktmodell-Schema sind.

Beim heutigen Erkenntnisstand ist es möglich, rechnerunterstützte Lösungen für die Phase der Einzelteilkonstruktion und teilweise des Baugruppententwurfs bereitzustellen, wobei der Aufsatz für diesen genannten Bereich einen Beitrag leistet. Auf diese Konstruktionsphase soll nachfolgend eingegangen und dabei parallel der Teilprozeß beschrieben und eine Begriffserklärung gegeben werden.

Nachdem in der Phase der Funktionsfindung und Prinzipiarbeitung die Funktionsparameter und die zur Anwendung kommenden Wirkprinzipien einer Maschine oder Anlage definiert worden sind, erfolgt der Baugruppententwurf.

- **Baugruppen** sind Teilgruppen einer Maschine oder Anlage, die eine Teilfunktion erfüllen. Der Aufbau wird durch Funktion und Aufbau der Maschine oder Anlage bestimmt. Eine Baugruppe kann wieder aus Baugruppen oder Einzelteilen bestehen.
- **Einzelteile** sind Teil einer Baugruppe und erfüllen damit auch eine Teilfunktion. Sie setzen sich aber nicht wieder aus anderen Teilen zusammen. Einzelteile werden entweder aus einer Menge vorgefertigter Teile ausgewählt (Normteile, Kaufteile) oder für einen speziellen Zweck, das Erfüllen einer technischen Funktion, angefertigt (Zeichnungsteil).

Das Kriterium für die Auswahl bzw. die Konstruktion des Einzelteils ist die aus dem Baugruppententwurf ableitbare Aufgabe des Einzelteils.

Beispiel: Lager . . . Abstützen eines rotierenden Teils gegen ein nicht rotierendes Teil

Die Auswahlparameter ergeben sich aus der quantifizierten Aufgabenstellung und der geometrischen Anpassung an die Umgebung. Die Dimensionierung wird bestimmt durch die quantifizierte Aufgabenstel-

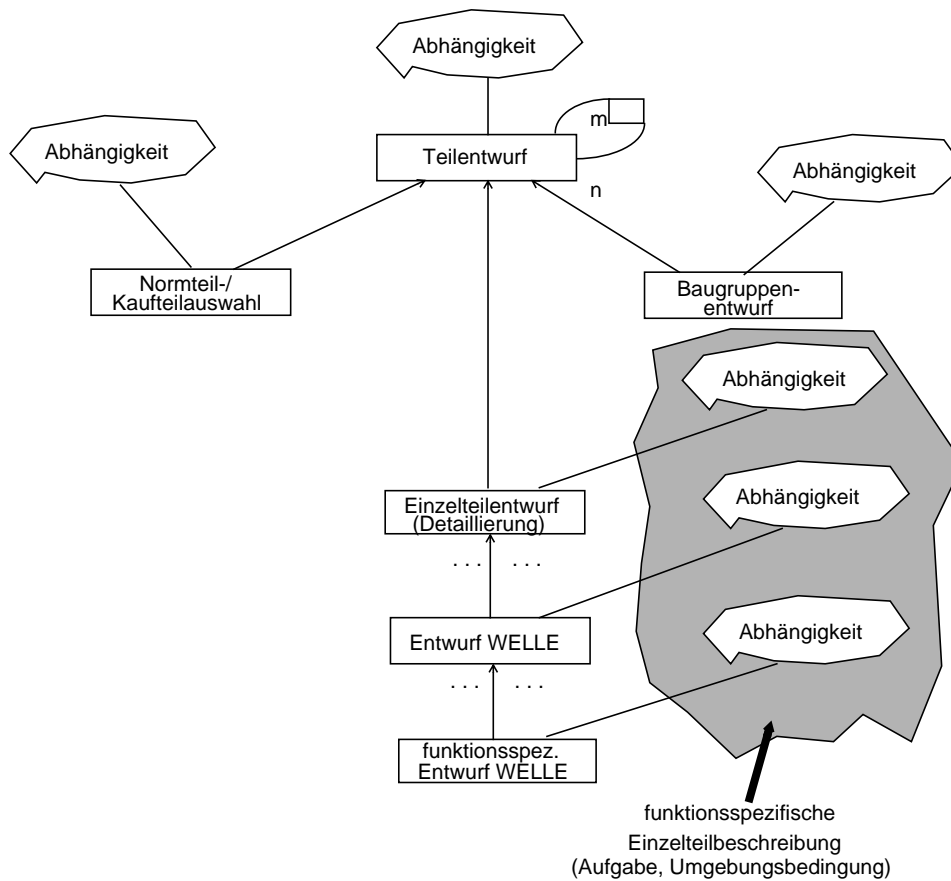


Bild 1 : Denkmodell für die Entwurfsphase

lung, dem ausgewählten Material, den erforderlichen Nachweisen und der geometrischen Anpassung an Norm- und Kaufteilen, Baugruppen und technologischen Möglichkeiten (Fertigung). Das Einzelteil besteht aus Funktionselementen, Hauptelementen und Nebenelementen.

- Ein **Funktionselement** repräsentiert den Bereich eines Einzelteils, durch den eine Funktion eines Einzelteils (z.B. Übertragung eines Drehmoments) realisiert wird. Es ist eine funktionsbedingte Gesamtheit von Haupt- und Nebenelementen.

Die Dimensionierung von Funktionselementen ergibt sich aus dem beim Einzelteil genannten Restriktionen (siehe oben).

- Ein **Hauptelement** bezeichnet ein rotationssymmetrisches oder prismatisches Formelement zur Beschreibung eines Einzelteils mit den dazugehörigen Informationen (z.B. Werkstoff, Oberflächengüte, Wärmebehandlung, Toleranzen u.ä.).
- **Nebenelemente** haben gegenüber Hauptelementen attributierenden Charakter. Sie werden aus einer möglichen Anzahl von Varianten ausgewählt und einem Hauptelement zugeordnet. Nebenelemente können eigene Informationen besitzen (z.B. Größe und Oberfläche eines Übergangsradius), die auch genormt sein können (z.B. Freistich).

Aus der gegebenen Prozeßbeschreibung bzw. Begriffserklärungen läßt sich ableiten, daß der Einstieg in eine Konstruktionsaufgabe immer über die Ebenen Maschine/Anlage, Baugruppe und Einzelteil verläuft. Nur in diesem Niveau ist es möglich, Zusammenhänge in der Funktion und Geometrie zu überblicken und daraus Aufgabenstellungen für Einzelteile abzuleiten und dazu bestehende Entwürfe zu nutzen.

Das in Bild 1 dargestellte Denkmodell geht genau von diesem funktionalen Ansatz aus. Dabei ist eine Konstruktionsaufgabe für den Baugruppentwurf über die Beschreibung der funktionalen Zielstellung

und der Umgebungsrestriktionen gegeben /Gr88/. Die Beschreibung erfolgt formal in den sogenannten **Abhängigkeiten**. Man kann bei den Abhängigkeiten zwischen

allgemeingültigen Abhängigkeiten: Konstruktionslogik,
physikalische Wirkprinzipien,
allgemeine Funktionen

und speziellen Abhängigkeiten : spezielle Funktionsbeschreibung für
ein Einzelteil/Baugruppe

unterscheiden. Diese Sicht impliziert die Top-Down-Vorgehensweise, wobei die Einzelteile als "atomare Teile" spezielle Teilfunktionen erfüllen, aber in ihrer Gesamtmenge und funktionalen Verknüpfung die allgemeine Konstruktionszielstellung der Maschine/Anlage erfüllen. Somit läßt sich auch formal die Unterscheidung der Entwurfsschritte (Baugruppe - (Unterbaugruppe) - Einzelteil) durch die formale Beschreibung der, speziell für das zu einer übergeordneten Baugruppe gehörende Aggregationsteil, geltenden Abhängigkeiten realisieren.

Im Prozeß des Baugruppententwurfs wird aus dem Gesamtentwurf die Aufgabenstellung (Abhängigkeit), das sind technische und geometrische Vorgaben und geometrische Umgebungsbedingungen, für das Einzelteil abgeleitet. In unserem Denkmodell ist dieser Prozeß so zu verstehen, daß aus den (allgemeinen) Abhängigkeiten der übergeordneten Baugruppe die speziellen funktionsorientierten Abhängigkeiten an das Einzelteil weitergeleitet (Delegieren, Propagieren) werden, welches die spezielle Teilfunktion erfüllt. Bei der Einzelteildetaillierung läuft der Prozeß des Weiterleitens von Abhängigkeiten in gleicher Form

Einzelteil ---> Hauptelement ---> Funktionselement
---> Nebenelement

ab, wobei hier auch eine Rückdelegierung zu beachten ist. So werden z.B. durch eine vollständige Detaillierung eines Einzelteils funktionale und geometrische Restriktionen (Abhängigkeiten) für ein anderes Einzelteil einer Baugruppe festgelegt (Kausalkette in der Konstruktion).

Ein nicht unbedeutender Nebeneffekt der formalen Beschreibung der funktionalen Abhängigkeiten ist darin zu sehen, daß dadurch auch das entsprechende Einzelteil funktionspezifisch beschrieben wird. Diese Beschreibung kann, nach dem heutigen Forschungsstand, sicher nur für die Einzelteilklassen getrennt erfolgen (z.B. Beschreibung einer Getriebewelle). Bei der Verwendung von Wiederholteilen (konstruiertes Einzelteil oder Baugruppe, die in anderen Baugruppen wieder verwendet werden können (sollen)) hat jetzt der Konstrukteur die Möglichkeit, in einen bestehenden Wiederholteilkatalog nach funktionalen Aspekten zu recherchieren.

z.B.: - Recherche nach einer Getriebewelle mit zwei Lagerstellen und zwei Lasteinleitungsstellen

Die funktionale Recherche in Verbindung mit geometrischen Parametern stellt eine Alternative zu der heute üblichen Recherche dar, in der über geometrische Parameter eines Teilklassifikator recherchiert wird, wobei hier besonders der aus der speziellen persönlichen Teilklassifikation herrührende subjektive Fehler entfällt.

Das beschriebene Denkmodell soll nun als Grundlage für die Produktdatenmodellierung dienen (siehe 4.4.).

2.3 Operationale Schnittstelle eines technischen Modellierers

Im konstruktiven Entwicklungsprozeß werden allgemeine bzw. bauteilbezogene Methoden (Berechnungsverfahren, Dimensionsierungsverfahren, Auswahlverfahren, . . .) benutzt, um die technische und geometrische Gestalt des Bauteils (technisches Objekt) zu bestimmen. Dieser Vorgehensweise wird in unserem Ansatz für einen technischen Modellierer (siehe Bild 2) Rechnung getragen, indem nur technische Operationen zur Manipulation der technischen Objekte bzw. deren Objektstruktur definiert und zugelassen sind. Dem Entwurfprozeß ist nicht immanent, daß ein Konstrukteur für die Erzeugung des technischen Objekts "Bohrung" die CSG-Operation (Constructive Solid Geometry) Differenzmenge von Quader und Zylinder bildet. Er bestimmt die Bohrung nach gewissen funktionalen Vorgaben und gegebenen Standard- oder Kataloginformationen, mit technischen Operationen (Abhängigkeiten). Daraus ist zu erkennen, daß technische Operationen für den Benutzer eine objektbezogene funktionale Semantik tragen müssen.

Die **technischen Operationen** sollten solche Bedingungen unterstützen wie

- Berücksichtigung gegebener funktionaler Abhängigkeiten,
(z.B.: Zum Positionieren eines Lagers muß der aktuelle Absatz im Belastungsmodell als Lagerstelle vorgesehen sein.)
- Anschluß von Normteilkatalogen bzw. anderer Standards,
(z.B. Wälzlagerkatalog, Werkstoffkatalog, DIN. . .)
- Manipulation komplexer Objektstrukturen,
(z.B. Beim Positionieren eines Lagers muß entsprechend eines ausgewählten Lagerinnendurchmessers der Absatzdurchmesser geändert werden).

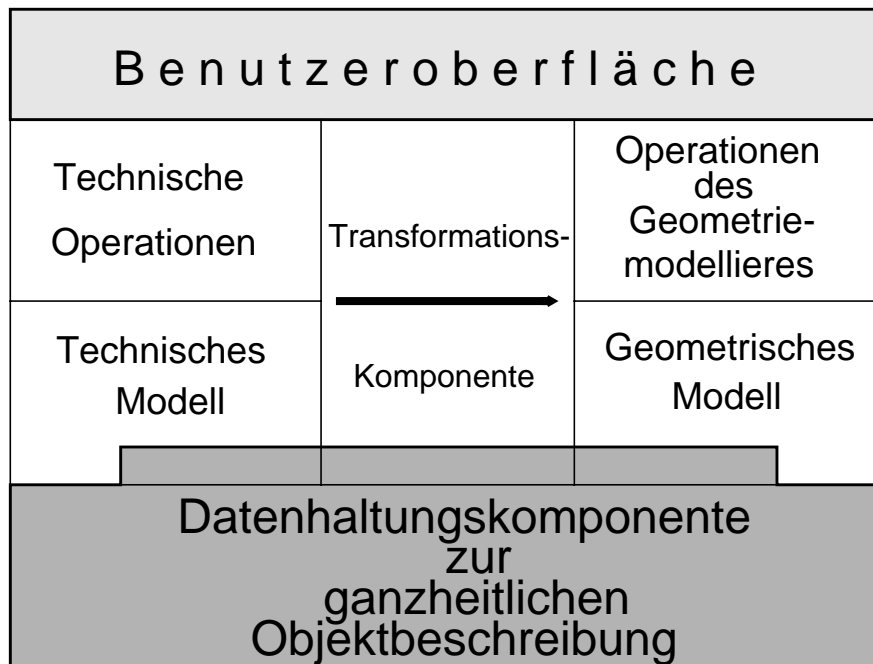


Bild 2 : Architektur eines technischen Modellierers

- Anschluß von Berechnungsalgorithmen.
(z.B. Festigkeit-, Dimensionierungs-, Lebensdaueralgorithm, . . .).

Der Begriff **technisches Modellieren** impliziert also das Manipulieren einer technischen Objektstruktur mit technischen Operationen unter Berücksichtigung der einem Entwurfsprozeß entsprechenden technisch-funktionalen Abhängigkeiten. Da aber die Abhängigkeiten "nur" im technischen Modell definiert sind, dürfen die technischen Operationen nur über das technische Modell ablaufen und über eine Transformationskomponente die entsprechenden geometrischen Operationen anstoßen, die zur Manipulation des Geometriemodells bzw. zur Visualisierung der technischen Objekte benötigt werden. Diese Vorgehensweise ist die Voraussetzung, um die Konsistenz der in den Abhängigkeiten beschriebenen Prozeßsemantik zu sichern.

Folgende technische Operationen sind definiert:

- Erzeugen von technischen Objekten,
- Löschen von technischen Objekten,
- Ändern von technischen Objekten,
- Positionieren von technischen Objekten,
- Orientieren von technischen Objekten.

An die Ausführung der technischen Operationen ist immer die Überprüfung und/oder Abarbeitung von **funktionalen Abhängigkeiten** geknüpft, wobei die folgenden Vorgehensweise vorstellbar ist:

- Übernahme von Abhängigkeiten von übergeordneten technischen Objekten
(z.B. Kräfte, Momente, . . .)
- Überprüfung von logischen Bedingungen
(z.B. Ist Lagerstelle vorhanden?)

- Anstoßen von Prozeduren und deren Datenversorgung für bestimmte Berechnungen, Auswahlprozessen, Überprüfung komplexer technischer Abhängigkeiten, Verbindung von technischen Objekten von Partialmodellen usw.
- Rückdelegierung von Abhängigkeiten.

Geht man noch einen Schritt weiter, so können die technischen Operationen in Verbindung mit den funktionalen Abhängigkeiten die Teilprozesse in einer Entwurfshierarchie für ein zu entwickelndes technisches Objekt abbilden. Daraus wird die Notwendigkeit der Beschreibung der Entwurfshierarchie als vollständiger Entwurfsprozeß und die Prozeßbeschreibung der einzelnen Teilprozesse (z.B.: Steuerung der verschiedenen Auswahl-, Berechnungs-, Dimensionierungsprozesse) innerhalb von Abhängigkeiten deutlich.

Für die Kopplung der einzelnen Komponenten eines technischen Modellierers ist die ganzheitliche Objektbeschreibung (siehe Bild 2) besonders wichtig. Jedes Objekt ist in seiner Ausprägung als technisches Objekt im technischen Modell, als geometrisches Objekt im geometrischen Modell und in der Ausprägung für die Nutzung der Transformationskomponente (siehe 4.3.) zu beschreiben. Die Kopplung des die technische Objektstruktur repräsentierenden technische Modells mit dem Geometriemodell erfolgt über die Transformationskomponente. Dabei wird über die ausgeführten technischen Operationen die Transformationskomponente angestoßen, die dann entsprechend der technischen Operation die geometrischen Operationen generiert und ausführt und somit die Objektdaten im Geometriemodell ändert.

Die Hauptfunktion vieler heute kommerziell verfügbarer CAD-Systeme ist das geometrische Modellieren und die graphische Darstellung von Objekten. Die graphische Darstellung des konstruierten Objekts repräsentiert aber nur eine Phase im konstruktiven Entwicklungsprozeß und unterstützt eine andere Sicht (Graphik) auf die abgelegten Geometrieinformationen.

In unserem Ansatz sind alle technischen Objekte auch als geometrische Objekte zu beschreiben. Dafür sind parametrisierte Volumenmodelle notwendig, um eine geometrische Objektdefinition zu ermöglichen.

Die für die Visualisierung der technischen Objekte benötigten Geometrie- bzw. Topologiedaten werden im Datenmodell eines zur Verfügung stehenden geometrischen Modellierers verwaltet, denn nur diese Datenstrukturen ermöglichen heute eine schnelle und den geforderten Darstellungen entsprechende (Volumenmodell) Visualisierung des Geometriemodells.

Mit dem dargelegten Instrumentarium für das technische Modellieren

- Definition technischer Objekte in technischer und geometrischer Ausprägung,
- Beschreibung funktionaler Abhängigkeiten
- technische Operationen

steht ein mächtiges Werkzeug zur Verfügung, um die Semantik des realen Entwurfsprozesses der technischen Fertigungsvorbereitung in Produktmodellen abzubilden und mit geeigneten Non-Standard-Datenbanksystemen zu verwalten.

3. Aspekte der DB-Unterstützung

Nachdem die grundlegenden Begriffe im Bereich der technischen Modellierung erläutert wurden, sollen nun Aspekte einer möglichen DB-Unterstützung bei der Realisierung integrierter Ingenieursysteme diskutiert werden. Ähnlich wie im administrativ-betriebswirtschaftlichen Anwendungsbereichen, in denen sich der Einsatz von DBS bereits durchgesetzt hat, erhofft man sich auch auf dem Gebiet der Ingenieurwissenschaften entsprechende Verbesserungen:

- explizite, klar strukturierte und redundanzfreie Beschreibung der relevanten Informationen und deren Abbildung auf ein DB-Schema (hierdurch erwartet man im wesentlichen eine Unterstützung bei der Standardisierung, dem Austausch und der Übertragung der im Ingenieurbereich meist vorherrschenden komplexen Datenstrukturen),
- zentralisierte Maßnahmen zur Sicherung der Daten (Durchführen von Integritätskontrollen, Kontrolle des Mehrbenutzerbetriebs, Mitführen von Protokollinformation etc.),
- Strukturierung und Organisation der Verarbeitung durch ein Transaktionskonzept,
- angemessene Handhabungskonzepte (Auswahl- und Zugriffsoperationen) auf großen Datenmengen.

Die Nutzbarmachung der DBS-Funktionalität im Entwurfs- und Fertigungsbereich kann generell in den folgenden vier Schritten erfolgen:

- (1) Die vorherrschenden Informationsstrukturen in den einzelnen Bereichen (CAD, CAP, CAM, ...) und in den jeweiligen Sichtweisen (tech. Zeichnung, 3D-Geometrie, Stückliste, Arbeitsplan etc.) sind explizit zu beschreiben. Dieser Schritt führt zunächst zu den in Kapitel 2 vorgestellten Partialmodellen.
- (2) In einem zweiten Schritt sind dann die unterschiedlichen Informationsstrukturen, die ja die verschiedenen Aspekte eines Entwurfs- oder Fertigungsobjektes beschreiben, zusammenzufassen. Redundante Strukturen werden dabei entweder beseitigt oder explizit als solche beschrieben. Damit einhergehend werden die Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Aspekten eines Objektes durch entsprechende Beziehungen explizit dokumentiert. Hiermit entsteht ein Produktmodell, das die unterschiedlichen Aspekte eines technischen Objektes in sich integriert.
- (3) Das so gewonnene integrierte Informationsmodell wird mit Hilfe eines Datenmodells auf ein konzeptionelles DB-Schema abgebildet und verfeinert.
- (4) Schließlich werden Anwendungsprogramme entwickelt, die unmittelbar auf den Daten des DB-Schemas arbeiten und die Funktionalität eines DBS nutzen.

Die Schritte (1) und (2) setzen neben einem tiefen Verständnis der Anwendungsproblematik angemessene Beschreibungskonzepte und Denkmodelle voraus, durch die eine einfache und möglichst umfassende Darstellung der Informationsstrukturen unterstützt wird. Auf dieser Ebene der Informationsmodellierung sind typischerweise das Entity-Relationship-Modell oder dessen Erweiterungen anzusiedeln. In Anbetracht der Komplexität der zu beschreibenden Ingenieurobjekte und der Vielfalt der vorherrschenden Informationen (extensional vs. intensional) scheint es jedoch hilfreich, semantischere Modelle einzusetzen und Konzepte aus dem Bereich der Wissensrepräsentation zu nutzen.

Die Schritte (3) und (4) dagegen beruhen auf der Existenz konkreter DBS, die sowohl adäquate Datenmodellierungs- als auch effiziente Verarbeitungskonzepte anbieten. Erfahrungen beim Einsatz real existierender DBS in unterschiedlichen Ingenieurwissenschaften machten allerdings schon frühzeitig deutlich, daß die dort angebotenen Konzepte im allg. nicht ausreichen, um die gesetzten Erwartungen zu erfüllen.

So resultiert ihr praktischer Einsatz in einem insgesamt sehr schlechten, nicht zu tolerierenden Leistungsverhalten.

Einen dominierenden Anteil an dieser Situation besitzt die sog. "**Modellierungsproblematik**". Die komplex-strukturierten Objekte innerhalb der Ingenieur Anwendungen können nur unzureichend und mit großem Aufwand auf die elementaren Datenstrukturen konventioneller Datenmodelle abgebildet werden. Eine ganzheitliche Handhabung der ein Anwendungsobjekt beschreibenden DB-Strukturen ist meist unmöglich. Zur Lösung dieser Modellierungsproblematik wurden u.a. eine Reihe von neueren Datenmodellen entwickelt, bzw. bestehende verfeinert und in ersten Prototypsystemen realisiert /LK84, SS86, PA86, Hä88/. Neben der Modellierungsproblematik kommt es beim Einsatz konventioneller DBS im Ingenieurbereich zu einer "**Verarbeitungsproblematik**". Sie beruht im wesentlichen auf der recht einseitigen Unterstützung der satzbezogenen Verarbeitung durch konventionelle DBS. So sind z.B. netzwerkorientierte DBS an ihrer Programmierschnittstelle durch eine "one-record-at-a-time"-Logik geprägt. Ebenso erlauben relationale Systeme lediglich die sukzessive Bearbeitung einer homogenen Tupel-Menge über einen darauf definierten Cursor [Co78, Da82]. Erforderlich sind dagegen Konzepte, die eine Bearbeitung der im Ingenieurbereich meist heterogen- und komplex-strukturierten "Verarbeitungsgegenstände" in einfacher und direkter Weise unterstützen.

Als Antwort auf diese Probleme wird allgemein die Realisierung von sog. Nicht-Standard-Datenbanksystemen (NDBS) vorgeschlagen. Als eine aussichtsreiche Systemarchitektur für solche NDBS wird vielerorts /HR85, Lo85, PSSWD87/ die NDBS-Kern-Architektur diskutiert (Bild 3). Die Vorteile dieses zweigeteilten Architekturansatzes sind vor allem darin zu sehen, daß einerseits durch die Modellabbildung (MA) eine anwendungsbezogene Schnittstelle (Anwendungsmodell-Schnittstelle) mit den von der jeweiligen Anwendungsklasse benötigten Objekten und Operationen bereitgestellt werden kann und andererseits alle geeigneten, allgemein verwendbaren Darstellungs- und Zugriffstechniken sich im NDBS-Kern vereinigen und effizient implementieren lassen. Die Aufgabe der Systemkomponente MA besteht nun darin, ein konkretes Anwendungsmodell auf ein allgemeines, der Komplexität der Anwendungsobjekte angepaßtes Datenmodell des Kerns abzubilden. Eine Erweiterung von bestehenden bzw. ein Übergang zu neuen Anwendungsklassen ist durch die Erweiterung bzw. den Austausch der MA recht einfach zu erreichen. In Bild 3 ist neben der NDBS-Kern-Architektur eine mögliche Abbildung auf eine workstation-orientierte Hardware-Umgebung aufgezeigt. Aufgrund der Homogenität zwischen Hardware- und Software-Struktur sind die durch rechnerübergreifende Kommunikation zu erwartenden "Reibungsverluste" relativ gering /HS89/. Dies gilt insbesondere, wenn es gelingt die verarbeitungsinhärente Lokalität bzgl. den Datenreferenzen auf Workstation-Seite, also innerhalb der Modellabbildung, zu erhalten und auszunutzen. Die Lokalität und damit verbunden die Autonomie der einzelnen Systemkomponenten wird

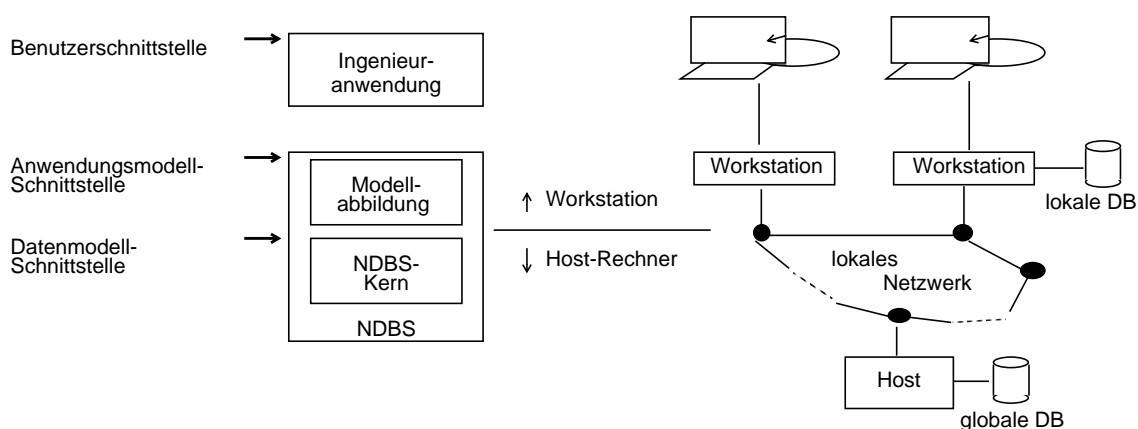


Bild 3 : Gesamtarchitektur eines NDBS-basierten Ingenieursystems

zusätzlich durch eine lokale Datenhaltung (lokale DB) unterstützt, die neben der globalen, von einem Host-Rechner kontrollierten Datenbank, zum Einsatz kommt.

Bei dem im folgenden Kapitel vorgestellten DB-basierten Ingenieursystem stützen wir uns auf die NDBS-Kern Prototypentwicklung PRIMA /Hä88/ und damit auf das dort realisierte Molekül-Atom-Datenmodell (MAD) /Mi88/. Dieses speziell entwickelte Datenmodell kann als eine Erweiterung des Relationenmodells um strukturbildende Elemente verstanden werden und fällt damit in die Kategorie der "strukturell-objektorientierten" DBS /Di86/. MAD erlaubt die Handhabung dynamisch definierbarer und über die eingeführten Strukturen ableitbarer komplexer Objekte. Hierzu wird eine SQL-ähnliche Abfragesprache, MQL (Molecule Query Language), angeboten. Die elementaren Objektbausteine im MAD-Modell, die Atome, spielen eine ähnliche Rolle wie Tupel im Relationenmodell; sie repräsentieren die elementaren Einheiten eines realen Weltausschnittes. Jedes Atom ist durch eine Art Surrogat eindeutig identifiziert und einem Atomtyp zugeordnet, durch den die Attribute und damit die logische Struktur der einzelnen Atomausprägung festgelegt wird. Die möglichen Datentypen der Attribute sind reichhaltiger als dies in konventionellen Systemen der Fall ist und eröffnen damit bereits auf Attributebene eine mächtige Strukturierungsmöglichkeit (z.B. durch die Bildung von Wiederholungsgruppen). Beziehungen zwischen den Atomen werden durch bidirektionale Referenzen ausgedrückt. Diese symmetrische Modellierung der Beziehungen wird ebenfalls auf Typebene beschrieben und stellt einen wesentlichen Faktor für die Flexibilität des Modells dar. Ausgehend von den Atomen, die über die Referenzen zu einem heterogenen Atomnetz verbunden sind, können die komplexeren Objekte, die Moleküle, definiert und abgeleitet werden. Die durch MQL-Anweisungen spezifizierten Molekültypen können dabei als zusammenhängende, azyklische Graphen verstanden werden, die sich im wesentlichen aus einem Wurzelatomtyp und weiteren Atom- und Beziehungstypen ergeben. Die Auswertung der MQL-Anweisung liefert dann die Molekülausprägungen, die einen Ausschnitt, bzw. eine spezielle Sicht auf das in der Datenbank befindliche Atomnetz darstellen.

Neben dem Datenmodell hat das Konzept der Datenanbindung entscheidenden Einfluß auf die Tauglichkeit der Kern-Schnittstelle. Das von uns entwickelte Verarbeitungskonzept beruht auf der Idee der Erhaltung von referentieller Lokalität nahe an ihrem "Entstehungsort", also nahe am Anwendungsprogramm bzw. an den Programmen der Modellabbildungsebene ("near by application locality"). Dies wird durch eine anwendungsnahe Pufferung der Verarbeitungsgegenstände erreicht, wobei ein sog. Objektpuffer /HHMM88/ oberhalb der eigentlichen DB-Schnittstelle über DB-Operationen mit Daten "versorgt" bzw. "entsorgt" werden kann (checkout/checkin /LP83, KDG87/). Die Verarbeitung der in den Puffer eingelagerten Objekte kann dann sehr direkt und effizient realisiert werden. Aus Gründen der Konsistenzhaltung, der Wartbarkeit von Änderungen sowie zur Unterstützung der Anwendungsprogrammierung (insbesondere durch die Einführung eines mächtigen Cursor-Konzeptes) ist eine funktionale Einbettung durch eine Laufzeitumgebung sowie eine programmiersprachliche Integration realisiert. Die prinzipielle Tauglichkeit dieses Ansatzes konnte durch eine Untersuchung an einem DB-gestützten 3D-Bauteilmodellierer bereits bestätigt werden: durch den Übergang von einer satz- zu einer strukturbezogenen, objektpuffergestützten, Verarbeitungsphilosophie konnte eine signifikante Reduzierung der Datenhaltungskosten erreicht werden /HP89/.

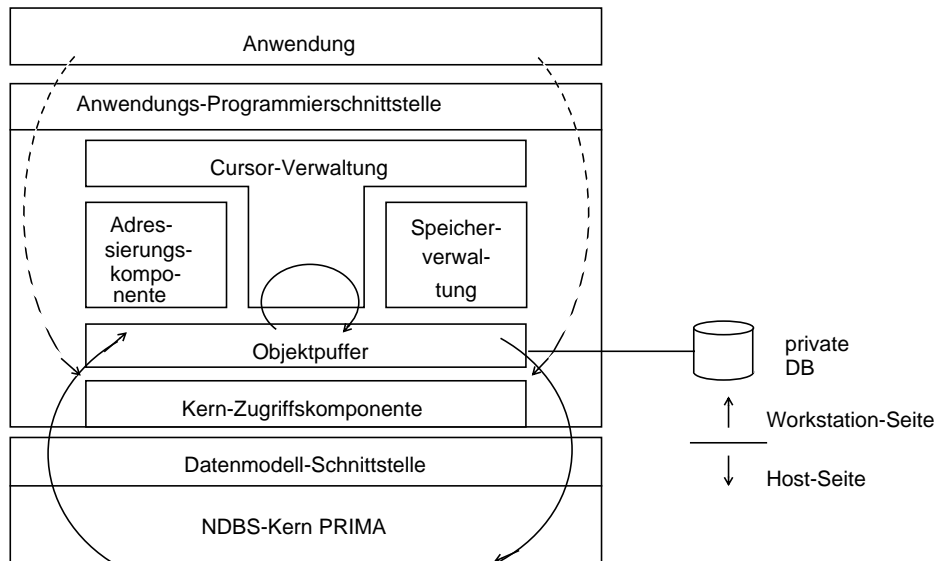


Bild 4 : Architektur der Objektpuffer-Einbettung

Bild 4 zeigt die Architektur zur Anbindung des NDBS-Kerns PRIMA über den eingeführten Objektpuffer an ein Anwendungsprogramm. Wie oben bereits motiviert, verspricht eine Zuordnung des NDBS-Kerns zu der Host-Seite und des Objektpuffers sowie der Anwendung zu der Workstation-Seite eine höhere Lokalität auf der Workstation und eine größere Autonomie der Systemkomponenten. Die Kommunikation mit dem Kern obliegt der Kern-Zugriffskomponente. Adressierungskomponente und Speicherverwaltung dienen zur Handhabung der Objektpuffer-Datenstrukturen. Aufgabe der Cursor-Verwaltung ist die Bereitstellung von Zugriffsmöglichkeiten auf die in den Objektpuffer eingelagerte Ergebnismenge. Über eine Anwendungs-Programmierschnittstelle können schließlich Programme auf den Objektpuffer und die Datenmodell- Schnittstelle zugreifen.

4. Der technische Modellierer TechMo

In Kapitel 2 wurden die wesentlichen Anforderungen an rechnerunterstützte Ingenieursysteme aus der Sicht der technischen Fertigungsvorbereitung genannt. Dabei geht es um

- eine problemprozeßnahe Unterstützung des Benutzers durch technische Operationen,
- eine produktbezogene Beschreibung der technischen Objekte im Produktmodell und
- eine funktionsbezogene Anbindung von Methoden an technische Operationen.

Deshalb sind neue Überlegungen zur Architektur von Softwaresystemen zur Realisierung von rechnerunterstützten Entwurfssystemen notwendig /Gr86, Pa89/. Im Mittelpunkt dieser Überlegungen steht dabei die Modellierung der komplex-strukturierten technischen Objekte in einem Produktmodell, die Abbildung des Produktmodells in geeignete Datenmodelle und die Bereitstellung allgemeingültiger Operationen zur Manipulation der technischen Objekte. Diese Problematik führt zu der in Kapitel 3 dargelegten Anwendung im Bereich der Non-Standard-Datenbanksystemen unter Berücksichtigung einer Workstation-Server-Umgebung.

In diesem Kapitel wollen wir den von uns derzeit entwickelten Modellierer TechMo genauer vorstellen. Wir haben uns zunächst auf die Realisierung der technischen Operationen für den Baugruppentwurf sowie die Einzelteildetaillierung zur Konstruktion einer Welle beschränkt. Die hierbei zu berücksichti-

genden funktionalen Abhängigkeiten werden in der ersten Prototypversion von TechMo ebenfalls erfaßt. Darüber hinausgehende Bedingungen zur vollständigen Durchführung der technischen Operationen (etwa Anschluß von Normteilkatalogen oder Anschluß von Berechnungsalgorithmen, wie in Kapitel 2 dargelegt) werden in der Basisversion nicht erfüllt.

4.1 Architektur

Das Bild 5 zeigt die Systemarchitektur des DB-gestützten technischen Modellierers **TechMo**. TechMo gliedert sich in die Hauptkomponenten

- Benutzerschnittstelle,
- Technische Modellierungsoperationen,
- Geometrischer Modellierer,
- Geometrischer Evaluator und
- Datenbanksyst mit dem NDBS-Kern PRIMA und der Anwendungs-Programmschnittstelle.

Über die Benutzerschnittstelle werden die möglichen technischen Operationen angeboten. Wichtig ist, daß die Manipulation der technischen Objektstruktur nur über diese technischen Operationen erfolgt. D.h., der Benutzerdialog läuft immer über diese Operationen ab. Bei einer Änderung der geometrischen Gestalt der technischen Objekte bzw. auf Anforderung wird das aktuelle technische Objekt visualisiert. Im technischen Modell werden die technischen Objekte selbst, deren technische Struktur und Beziehungen untereinander abgebildet. Zur Manipulation der technischen Objekte werden technische Operationen für den Baugruppententwurf und die Einzelteildetaillierung angeboten, die in ihrer Mächtigkeit an den Entwurfsprozeß angelehnt sind. Dabei ist der Versuch unternommen worden, allgemeine Entwurfsoperationen in technische Operationen abzubilden und für verschiedene Teileklassen bereitzustellen. Spezielle Aspekte von Modellierungsoperationen können über die Formulierung von Abhängigkeiten im DB-Schema (siehe 4.4.) eingebracht werden.

Der geometrische Evaluator realisiert die Verbindung vom technischen Modell zum Geometriemodellierer POLY. Die Ausführung von technischen Operationen impliziert die Ausführung von geome-

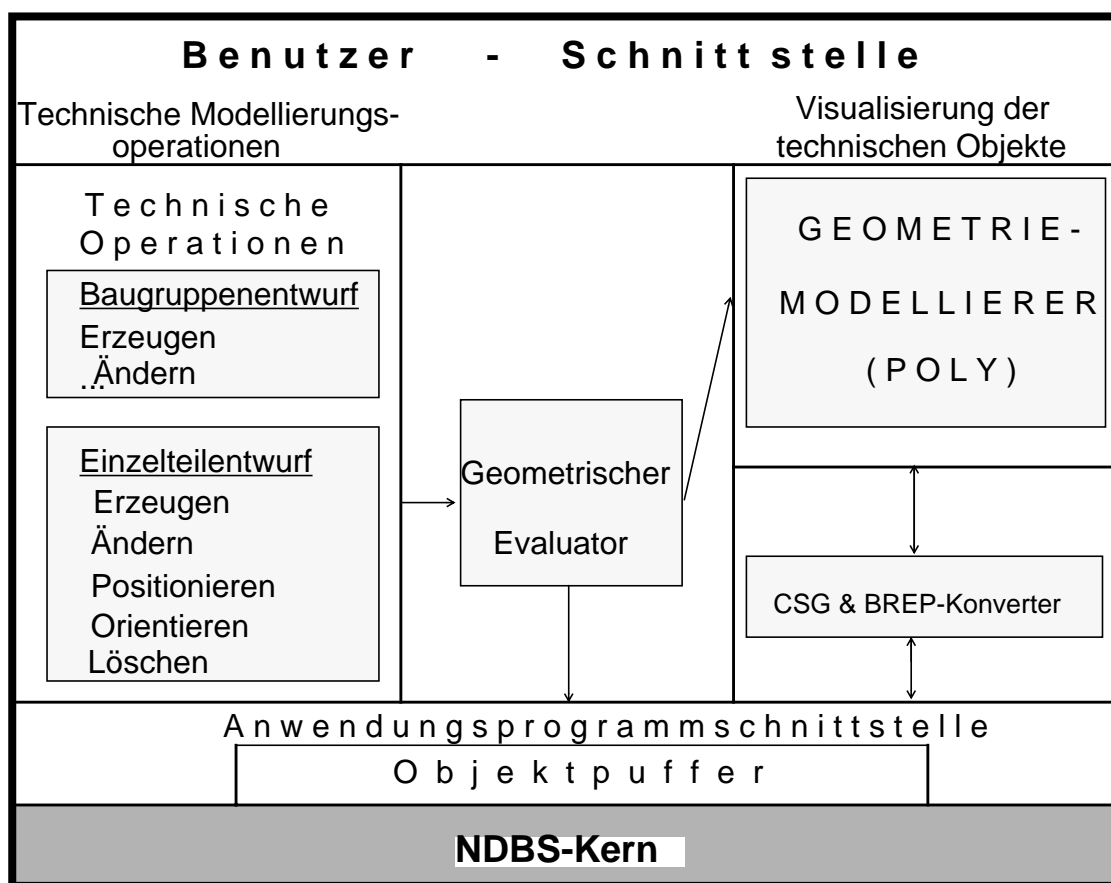


Bild 5 : Systemarchitektur des technischen Modellierers TechMo

trischen Modellieroperationen, z.B.: - Erzeugen Absatz ---> Operationen zur geometrischen Modellierung eines Absatzes

Der geometrische Evaluator wird von der jeweiligen technischen Operation über einem technischen Objekt angestoßen. Dabei wird die für jedes Objekt verwaltete parametrisierte Geometriestruktur mit Daten versorgt und in eine Sequenz von Erzeugungsoperationen des Geometriemodellierers umgesetzt.

Der Geometriemodellierer POLY ist ein Softwareprodukt der ETH-Zürich /LM87/. Er besitzt eine CSG-Oberfläche (Constructive Solid Geometry) für die Modellieroperationen. Intern wird die Objektstruktur der geometrischen Objekte in einer BREP-Struktur (Boundary Representation) abgelegt. POLY wird über seine Programmschnittstelle durch den geometrischen Evaluator aktiviert und realisiert die hauptspeicherbezogene Verwaltung des Geometriemodells bzw. dessen Visualisierung. Eine persistente Speicherung der geometrischen Objekte wird nicht unmittelbar von POLY unterstützt.

Als Datenbanksystem wird in TechMo der NDBS-Kern PRIMA eingesetzt. PRIMA übernimmt die Verwaltung der technischen Objekte in der technischen Ausprägung und in der geometrischen Ausprägung als BREP-Struktur. Die Datenhaltung erfolgt in einer Workstation-Server-Umgebung auf der Server-Seite, wobei über eine Schnittstelle für die Ausführung der technischen Operationen die lokal benötigten Daten im Objektpuffer bereitgestellt werden /HS89/. Damit wird eine ganzheitliche Datenhandhabung der komplex-strukturierten Anwendungsobjekte ermöglicht und die Anzahl der erforderlichen Server-Aufrufe reduziert.

Der Objektpuffer unterstützt die hauptspeicherinterne Verwaltung und Manipulation der Entwurfsobjekte. Die Anwendungsprogrammchnittstelle stellt Operationen zum Zugriff auf die Objekte über ein Cursorkonzept zur Verfügung. Diese Operationsmenge ist die Basis für die technischen Operationen und die Operationen des geometrischen Evaluators. Die Hauptspeicherstruktur von POLY wird über einen Konverter in die im DB-Schema beschriebene BREP-Struktur in den Objektpuffer umgesetzt und im NDBS-Kern gespeichert.

4.2 Benutzeroberfläche

Über die Benutzerschnittstelle wählt der Anwender die im aktuellen Entwurfsschritt benötigte technische Operation aus, er kann ein bestimmtes technisches Objekt identifizieren und die geometrische Gestalt des Entwurfsobjekts visualisieren. Für diese Handhabungen werden dem Benutzer gleichzeitig drei Windows angeboten, die

- das Menü der technischen Operationen,
- den Konstruktionsbaum und
- die graphische Darstellung des Entwurfsobjekts (Visualisierungswindow)

beinhalten.

Im Visualisierungswindow wird das Entwurfsobjekt graphisch dargestellt. Für die gegenwärtige Forschungsanwendung wurde auf bestimmte Schnittdarstellungen, weitere Ansichten, u.a. verzichtet, wobei diese Funktionen natürlich über die aktuellen Modellierungsoperationen des Geometriemodellierers erweitert werden können. Auch wird in dieser Implementierung nicht der Anspruch erhoben, eine Werkstattzeichnung zu erstellen. Die Funktionalität des Erstellens einer Werkstattzeichnung, d.h., das Ausfertigen der Bemaßung, die Beschriftung, usw. soll auch in unserem Ansatz einem nachgelagerten Fertigstellungsprozeß unter Nutzung des Geometriemodellierers überlassen bleiben.

Der Konstruktionsbaum bildet die aktuelle technische Objektstruktur des Entwurfsobjektes im Entwurfsprozeß ab. Als Darstellungsmittel wurde ein azyklischer Graph gewählt, bei dem die Knoten die technischen Objekte und die Kanten die Aggregationsbeziehungen der Baugruppenstruktur bzw. beim Einzelteil die Einzelteilstruktur darstellen. Dem Benutzer stehen Bewegungsoperationen (Top, Up, Down, Left, Right) und Zoom-Operationen (Begrenzung des Ausschnitts) auf dem Graphen zur Verfügung. Damit lassen sich der geforderte Ausschnitt des Konstruktionsbaumes einstellen und die gewünschten technischen Objekte (Baugruppen, Einzelteile, usw.) über die zugeordneten Knoten mit Hilfe einer Maus identifizieren. Die Knoten sind durch die Namen der technischen Objekte gekennzeichnet. Die identifizierten Namen werden dann zur Datenversorgung einer aktivierten technischen Operationen benötigt.

Im Menü der technischen Operationen werden die Operationen für den Baugruppenentwurf und für die Einzelteildetaillierung angeboten. Diese Trennung der Entwurfsphasen entspricht den in Kapitel 2 dargestellten Teilprozessen des konstruktiven Entwicklungsprozesses. Trotz der Trennung der Entwurfsphasen wird davon ausgegangen, daß der Ingenieur im technischen Entwurfsprozeß (Konstruktion, Technologie) gleiche Datenhandhabungsfunktionen zur Manipulation der technischen Objekte benutzt / An85, Pa89/. Solche allgemeinen und für verschiedene technische Objektklassen geltenden Funktionen sollen durch die Operationsmenge von TechMo unterstützt werden. Die Präsentation ist deshalb nicht

für eine spezielle Anwendung ausgelegt (mögliche Einkapselung in die Fachsprache des Benutzers). Die technischen Operationen für den Baugruppentwurf sind in der folgenden Tabelle aufgeführt:

Operation	Semantik
Erzeugen	Erzeugen eines Bauteils und Verbinden mit dem übergeordneten Bauteil
Ändern	Ändern von Parametern eines Bauteils (nur für noch nicht detaillierte Bauteile erlaubt)
Löschen	Löschen eines Bauteils mit allen nachgeordneten technischen Objekten und deren Verbindungen
Laden	Laden eines Bauteils (z.B. aus einem Wiederholteil-Katalog)
Verbinden	Verbinden eines Bauteils mit einem (mehreren) technischen Objekt(en) im Konstruktionsbaum
Speichern	Persistente Speicherung eines technischen Objekts in der Datenbank

Mit der Ausführung der Baugruppen-Entwurf Funktion ist keine Visualisierung verbunden. In einer weiteren Ausbaustufe wird aber an eine graphische Darstellung von Wiederholteilen und eine funktion-sbezogene Darstellung von Baugruppen (Neuteilen) gedacht. Wesentlich ist, daß alle in der Phase bekannten Stücklisteninformationen erzeugt und verwaltet werden. Weiterhin wird für jedes Einzelteil die detaillierte (quantifizierte) Aufgabenstellung abgefordert und verwaltet.

Über die quantifizierte Aufgabenstellung kann in die Einzelteildetaillierung übergegangen werden. In dieser Phase stehen folgende technische Operationen zur Verfügung:

Die Beziehung zwischen technischen Objekten sind eindeutig im Datenbankschema (siehe Bild 11) festgelegt. Bei der Gestaltung von Funktionselementen wird das dimensionierte und aus einem Standardkatalog ausgewählte Standardteil als Einzelteil in den Konstruktionsbaum eingetragen und automatisch eine Beziehung (Aggregation) zur übergeordneten Baugruppe hergestellt.

Bei jeder Operation mit einem technischen Objekt wird nach der vollständigen Gestaltsbestimmung auch dessen Visualisierung angestoßen. Damit kann sich der Benutzer graphisch über den Fortschritt seines Entwurfsprozesses informieren.

Für den speziellen Entwurf von technischen Objekten läßt sich über die dargestellte Operationsmenge mit Hilfe eines Menüsystems eine weitere mit mehr Prozeßsemantik angereicherte Nutzerschnittstelle legen.

Operation	Semantik
Erzeugen	Erzeugen eines technischen Objekts
Ändern	Ändern von Parametern eines technischen Objekts (nur für spezielle technische Parameter)
Positionieren	Positionieren eines technischen Objekts in einem Einzelteil
Orientieren	Festlegung der Position im Raum für ein technisches Objekt
Löschen	Löschen eines technischen Objekts mit allen untergeordneten technischer Elementen und zugeordneten Verbindungen

4.3 Der geometrische Evaluator

Der geometrische Evaluator stellt das Bindeglied zwischen technischem und geometrischem Modell dar. Das Geometriemodell unseres technischen Modellierers ist zweigeteilt: es besteht aus einer CSG-Struktur (Constructive Solid Geometry), aus der dann eine Begrenzungsflächendarstellung (BREP, Boundary Representation) abgeleitet werden kann /RV84/. Die Verwaltung und Handhabung der geometrischen Objektbeschreibungen liegt im Aufgabengebiet des Geometriemodellierers POLY, der allerdings über einen Koppelbaustein (Konverter) an die zentrale Datenhaltung des PRIMA-Systems angeschlossen ist /Zi89/. Die POLY-Schnittstelle ist durch die Funktionalität des CSG-Modells bestimmt. Die bekannten CSG-Operationen (Vereinigung, Schnitt, Differenz, Verschiebung, Skalierung und Rotation) beziehen sich dabei stets auf das(die) oberste(n) Element(e) eines Objekt-Stack, der über eine Reihe von Stack-Operationen mit geometrischen Objekten ver- bzw. entsorgt werden kann. Darüber hinaus können innerhalb eines CSG-Baumes Teilbäume identifiziert und für weitere Modellierungen genutzt, d.h. "herauskopiert" werden. Die geometrischen Objekte Quader, Kegel, Torus und Sphäre, genauer deren polyederartige Approximationen, werden als Grundkörper zur Verfügung gestellt. Die Aufgabe des geometrischen Evaluators ist es nun, durch Interpretation der technischen Objektbeschreibung eine Sequenz von POLY-Operationen zu erzeugen, durch die dann eine korrespondierende geometrische Objektbeschreibung erstellt wird. Daneben soll der geometrische Evaluator in der Lage sein, eine durch die technischen Operationen bewirkte Veränderung der Teilegeometrie unmittelbar durchzuführen. Das technische Modell sowie die technischen Operationen beruhen auf "technischen Basiselementen", den Hauptelementen, den Funktionselementen und den Nebenelementen. Durch eine explizite Beschreibung der diesen Basiselementen zugeordneten geometrischen Repräsentationen sowie den durch die technischen Operationen bewirkten Änderungen einer Teilegeometrie, kann die Aufgabe des geometrischen Evaluators sehr flexibel gelöst werden. So kann eine Erweiterung des technischen Modells um ein neues Basiselement (z.B. Bohrung) sehr einfach erfolgen, in dem die dazugehörige geometrische Repräsentation und die geometrischen Auswirkungen, die die technischen Operationen auf dem neu eingeführten Basiselement bewirken, in Form einer expliziten Beschreibung in das technische Modellierungssystem eingebracht werden.

Alle technischen Basiselemente besitzen Parameter, die neben den technischen Eigenschaften ihre geometrische Gestalt bestimmen. Daher beruht der geometrische Evaluator ebenfalls auf einer parametrisierten geometrischen Beschreibung. Aus pragmatischen Gründen (POLY besitzt eine CSG-Schnittstelle) ist diese als parametrisiertes CSG-Modell realisiert. Bild 6 zeigt am Beispiel einer Paßfedernut das prinzipielle Vorgehen. Der CSG-Baum wird in "depth-first"-Ordnung durchlaufen, wobei jeder Knoten unmittelbar in eine CSG-Operation an der POLY-Schnittstelle umgesetzt werden kann. Anhand einer aktuellen Parameterbelegung kann der geometrische Evaluator eine konkrete Teilegeometrie instanziiieren. Hierzu führt er die aktuellen Parameter beim Abstieg im CSG-Baum mit und nimmt die jeweils spezifizierten Umrechnungen vor. Wird in dem hier skizzierten Beispiel eine Paßfedernut mit der Dimension

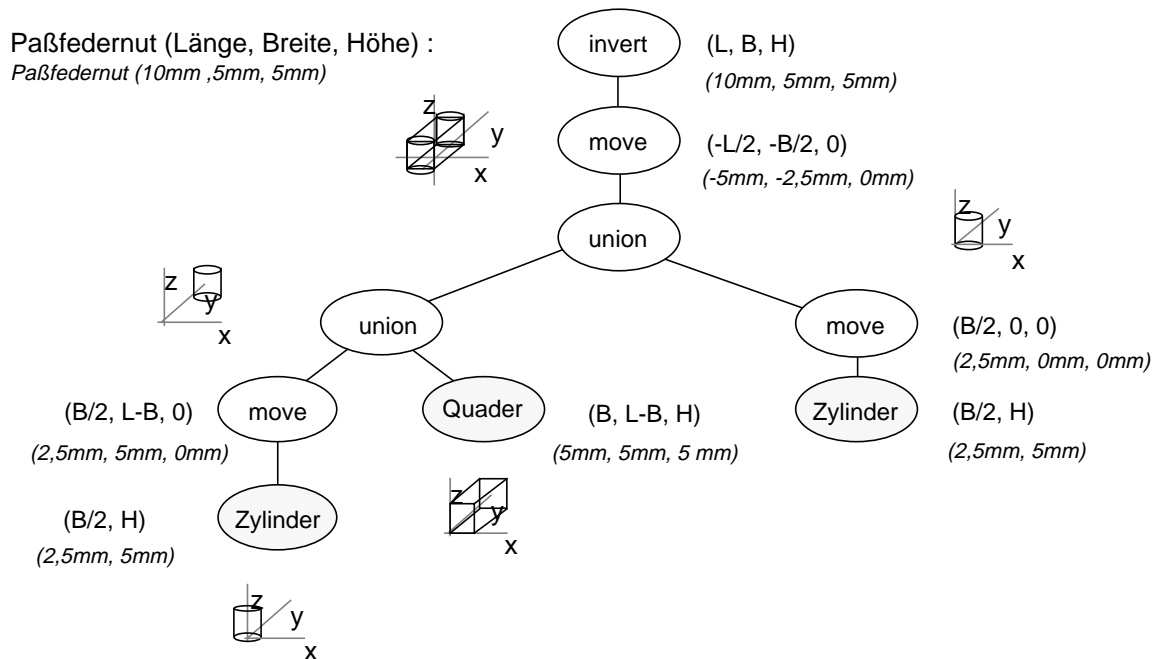


Bild 6 :Parametrisierte CSG-Struktur einer Paßfedernut

10mm Länge, 5mm Breite und 5mm Tiefe angelegt, so werden vom geometrischen Evaluator beispielsweise Zylinder mit einem Radius von 2,5mm und einer Höhe von 5mm instanziiert.

Neben der Dimensionierung, d.h. der Gestaltsfestlegung eines technischen Basiselementes, muß dessen Positionierung in der geometrischen Teilerepräsentation reflektiert werden. Die Positionierung erfolgt dabei meist relativ, also in Bezug zu einem umgebenden bzw. bestimmenden Element. So werden Funktions- oder Nebenelemente relativ zu einem Hauptelement, Hauptelemente relativ zu einem Einzelteil positioniert. Durch die strikte Unterscheidung zwischen der Gestaltsbeschreibung und der Positionbeschreibung eines technischen Basiselementes wird gleichzeitig eine klare Zuordnung zu dessen geometrischer CSG-Teilstruktur unterstützt. Somit ist stets eine geometrische Beschreibung der einzelnen Basiselemente verfügbar. Hieraus ergeben sich insgesamt Vorteile bei der geometrischen Umsetzung technischer Operationen, die die Lage verschiedener Elemente zueinander betreffen, bzw., die sich nur auf einzelne Elemente auswirken.

Bild 7 verdeutlicht dies an einem Beispiel: Das Einzelteil *Welle 4711* ist auf technischer Seite durch die Hauptelemente *Absatz1*, *Absatz2* und *Absatz3* bestimmt, die dann wiederum durch weitere Neben- und Funktionselemente konkretisiert sind. Jedem dieser technischen Elemente kann eindeutig eine positionneutrale geometrische Beschreibung zugeordnet werden, wodurch sich insgesamt die technische Struktur eines Teils unmittelbar im geometrischen Modell widerspiegelt. Bild 7 illustriert die Änderungen innerhalb der geometrischen Beschreibung, die sich aufgrund der weiteren Konkretisierung des Hauptelementes *Absatz3* durch das Funktionselement *Paßfeder1* ergeben.

MAD-Datenmodell abgebildet (vgl. Kapitel 3). Hierbei müssen die folgenden Anforderungen berücksichtigt werden:

- anwendungsneutrale Modellierung
Das DB-Schema soll nicht auf die Unterstützung einer bestimmten Anwendung zugeschnitten sein. Dies gilt u.a. für das geometrische Modell, da bei einer integrierten Datenhaltung, wie sie hier vorgeschlagen wird, das Datenbanksystem die Abspeicherung der Daten von verschiedenen Werkzeugen übernehmen soll.
- Erweiterbarkeit des DB-Schemas
Es muß möglich sein, auf einfache Weise neue technische Objekte ebenso wie andere geometrische Repräsentationen (z.B. Freiformflächen) im DB-Schema zu reflektieren.

Das von uns gewählte geometrische Modell umfaßt die CSG- und BREP-Darstellung eines Einzelteils. Das Modell lehnt sich an den in /WFOP85/ gemachten allgemeingültigen Vorschlag an und ist in Bild 9 in Form eines abgewandelten ER-Diagramms repräsentiert. Eine Überführung in das von uns erstellte

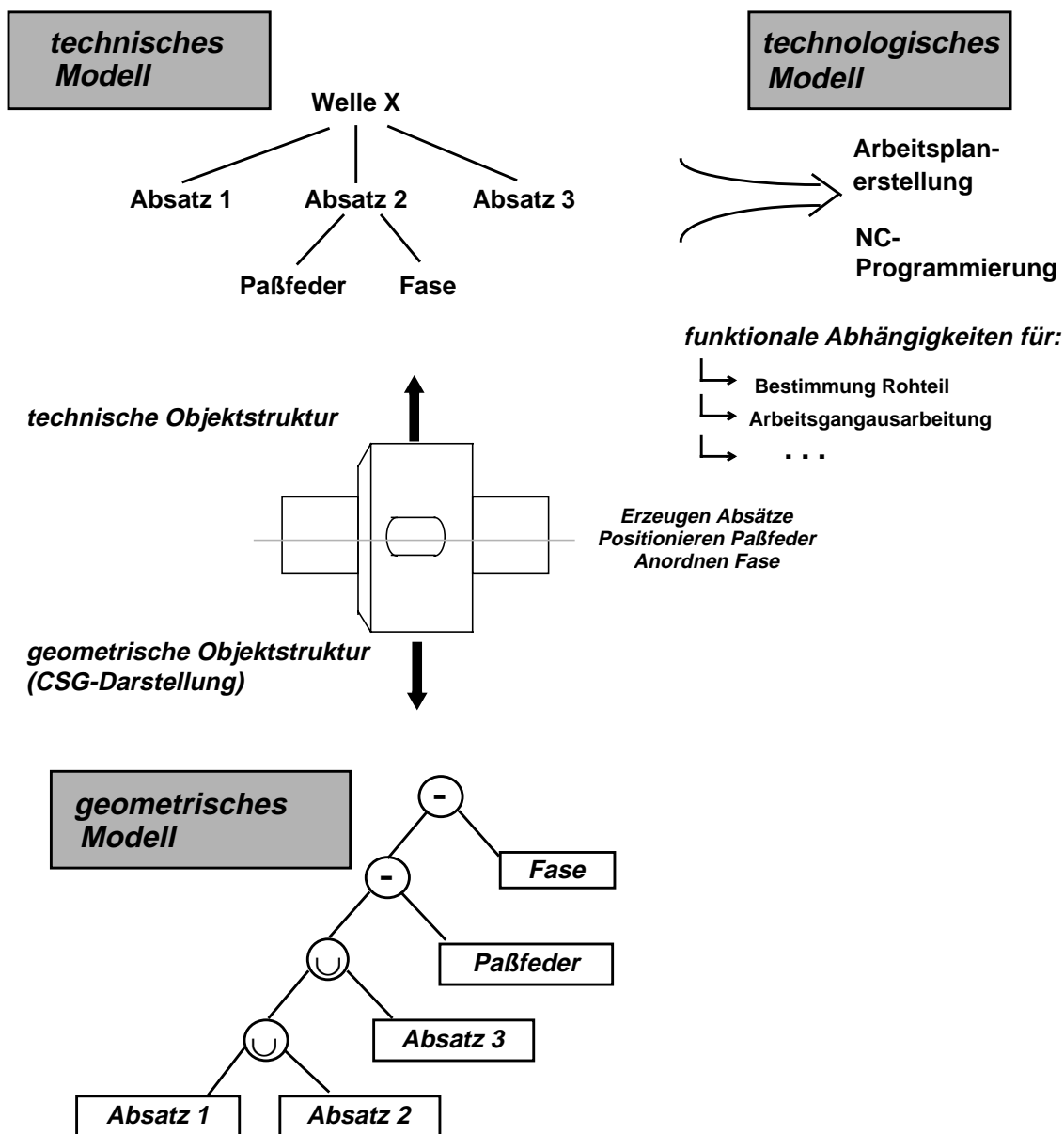


Bild 8 : Zusammenhang von drei Partialmodellen

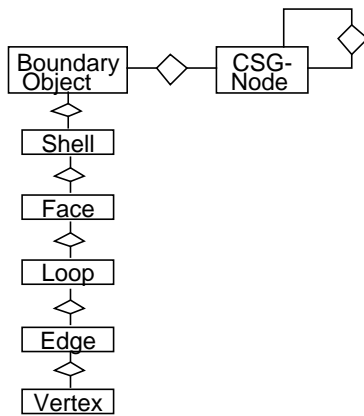


Bild 9 : Darstellung des geometrischen Modells in einem ER-Diagramm.

MAD-Schema ist recht einfach möglich. Im BREP-Modell wird ein Einzelteil zunächst durch die geometrischen Elemente Flächen, Kanten und Punkte dargestellt. Ein Einzelteil wird durch ein 'Boundary Object' modelliert, das aus einer Menge von 'Shells' besteht. Ein Shell wird durch eine Menge von 'Faces' gebildet, die die Oberfläche eines Objektes umgrenzen. Ein Shell wird für die äußere Umgrenzung eines Objektes benötigt, eine weitere Shell für jeden Leerraum in dem Objekt. Eine Face wird durch mindestens einen 'Loop' begrenzt. Es werden mehrere Loops benötigt, wenn in einer Fläche "Löcher" auftreten. Ein Loop besteht aus einem geordneten, geschlossenen, nicht selbst überschneidenden Zykel von 'Edges'. Eine Edge wird durch ihre beiden begrenzenden Endpunkte, die 'Vertices', festgelegt. Durch die beschriebenen Entities wird zunächst die Topologie eines Objektes modelliert. Durch die Hinzunahme von geometrischen Attributen bei Faces, Edges und Vertices (z.B. Koordinatenangaben bei Punkten) werden auch die geometrischen Eigenschaften des Objektes beschrieben. Die CSG-Struktur eines Objektes wird durch das Entity CSG-Node modelliert.

Das technische Modell wird in den Konstruktionsphasen Gestaltung und Einzelteildetaillierung mit Daten aufgefüllt, d.h., es enthält hauptsächlich Informationen über den Baugruppenentwurf und die Einzelteilkonstruktion:

- Teilestruktur für Baugruppen und Einzelteile
- Aufbau der technischen Objektstruktur eines Einzelteils (vgl. Bild 10)

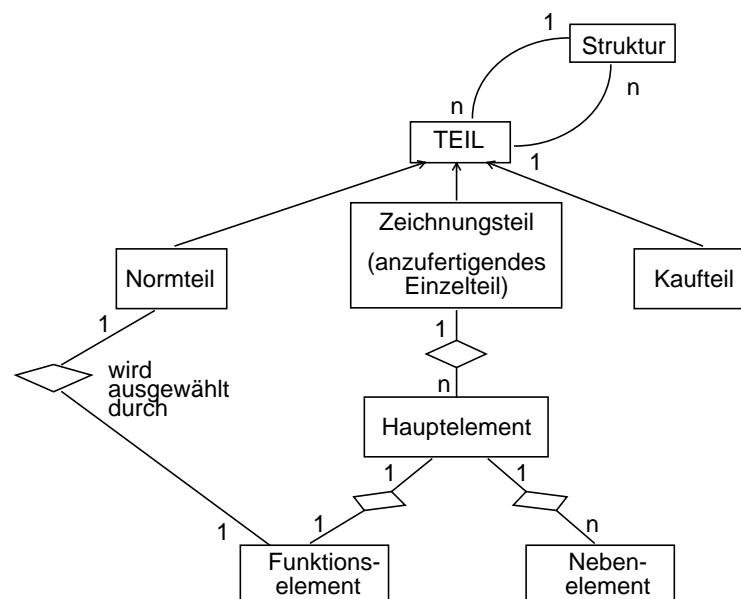


Bild 10 : Vereinfachte Darstellung des technischen Modells

und geometrischer Repräsentation eines Einzelteils wird in unserem DB-Schema die geometrische Information wie in Bild 9 dargestellt modelliert und für jedes in den Konstruktionsprozeß eingehendes technisches Objekt die geometrische Struktur an das korrespondierende Haupt-, Funktions- oder Nebenelement gehängt. Die gesamte geometrische Struktur eines Einzelteils wird an den Entity-Typ Zeichnungsteil angehängt. Diese Struktur enthält dann, wie in Bild 7 dargestellt, Verweise auf die Substrukturen, die die Geometrie der Haupt-, Funktions- und Nebenelemente beinhalten.

Bild 11 zeigt eine Detaillierung des technischen Modells, in dem zum einen die für den hier betrachteten Fall des Einzelteilentwurfs einer Welle notwendigen technischen Objekte und zum anderen die Abhängigkeiten eingeführt werden. Jeder Typ von technischen Objekten, z.B. Lager, Einstich, Radius, Welle usw., wird durch einen eigenen Entity-Typ repräsentiert. Jeder dieser Entity-Typen ist selbst wieder eine 'Variante' eines Funktions-, Haupt- oder Nebenelements und wird daher über einen 'varianten Beziehungstyp' /Eb84/ mit einem dieser technischen Objekte verbunden (z.B. Lager und Paßfeder sind zwei Objektklassen, die Funktionselemente sind).

Zur expliziten Beschreibung der in Kapitel 2 eingeführten funktionalen Abhängigkeiten werden in dem ER-Diagramm sämtlichen Entity-Typen je ein weiterer Entity-Typ zugeordnet, in dem die funktionalen Abhängigkeiten (z.B. Überprüfung von logischen Bedingungen, Anstoßen von Prozeduren und deren Datenversorgung zur Überprüfung komplexer technischer Abhängigkeiten, vgl. auch Kapitel 2) prozedural, funktional, prädikativ oder regelbasiert beschrieben werden. In ähnlicher Weise werden die phasenübergreifenden funktionalen Abhängigkeiten, wie sie in Bild 8 beispielhaft beim Übergang vom technischen in das technologische Modell aufgeführt sind, in dem Schema beschrieben. In Kapitel 4.5 werden die funktionalen Abhängigkeiten beschrieben, die bei der Positionierung einer Paßfeder zu beachten sind. Eine detaillierte Untersuchung der DB-seitigen Modellierung der funktionalen Abhängigkeiten innerhalb des Baugruppentwurfs und der Einzelteildetaillierung sowie die Vorstellung eines Basismechanismus zur Abarbeitung der funktionalen Abhängigkeiten während der Ausführung einer technischen Operation findet sich in /HPS89/.

Die Datenversorgung der Algorithmen zur Durchführung der technischen Operationen beim Baugruppen- bzw. Einzelteilentwurf ist durch das in Kapitel 3 beschriebene Verarbeitungskonzept bestimmt. Beim Einzelteilentwurf wird die technische Objektstruktur sukzessive im Objektpuffer aufgebaut und dann in der Datenbank abgespeichert. Eine detaillierte Beschreibung der hierbei auftretenden Probleme findet sich ebenfalls in /HPS89/.

4.5 Technische Operationen - Implementierungsaspekte

Die wesentlichen Anforderungen an technische Operationen (Manipulation komplexer Objektstrukturen, Anschluß von Normteilkatalogen, Berücksichtigung funktionaler Abhängigkeiten) wurden im Kapitel 2 näher erläutert. Generell lassen sich die Anforderungen unterteilen in strukturorientierte und verhaltenorientierte Anforderungen.

Die Manipulation komplexer Objektstrukturen wird vom NDBS-Kern PRIMA unterstützt. Die Notwendigkeit der Berücksichtigung funktionaler Abhängigkeiten und den Anschluß von Berechnungs- und/oder

Auswahlalgorithmen soll am Beispiel der technischen Operation Positionieren eines Funktionselement auf dem Einzelteil *Welle* dargestellt werden.

Wie im Datenbankschema (siehe 4.4.) beschrieben, existiert immer eine eindeutige Zuordnung eines Funktionselements zu einem Hauptelement, d.h. z.B. das Funktionselement *Paßfeder* ist eindeutig einem Hauptelement *Absatz* zugeordnet. Der technisch-funktionale Hintergrund dieser Beziehung ist der, daß in der Aufgabenstellung für eine *Welle* an einer bestimmten Position im Raum eine Krafteinleitungsstelle vorgesehen ist und mit dem Funktionselement *Paßfeder* und dem Hauptelement *Absatz* gestaltet wird. Bild 12 zeigt die zum Positionieren einer Paßfeder notwendigen Teiloperationen für die Berechnung und die Standardauswahl mit deren Datenversorgung. Der Benutzer identifiziert dafür den als Krafteinleitungsstelle vorgesehenen *Absatz* (1). Für diesen *Absatz* werden die benötigten Daten (Durchmesser, Torsionsmoment, Werkstoff) aus dem Objektpuffer bereitgestellt (2), wobei gleichzeitig über die Kennzeichnung des *Absatzes* als Krafteinleitungsstelle geprüft werden kann, ob die Positionieroperation an diesem *ABSATZ* erlaubt ist. Über die Spezifikation des Werkstoffes der Nabe durch den Nutzer (1) können aus der Standarddatenbank die Werkstoffparameter bereitgestellt (3) und die Festigkeitswerte für *Welle*, *Nabe* und *Paßfeder* ermittelt werden(4). Aus dem *Paßfeder*standard wird die zugeordnete Höhe der *Paßfeder* in Abhängigkeit vom Wellendurchmesser ausgewählt (3). Danach kann die notwendige tragende Länge der *Paßfeder* in Abhängigkeit von der Höhe, der Belastung und den Festigkeitswerten berechnet werden. Dabei wird die Längenstaffelung unter Berücksichtigung der *Paßfeder*form beachtet. Das Ergebnis des Auswahl- und Berechnungsprozesses kann nun vom Be-

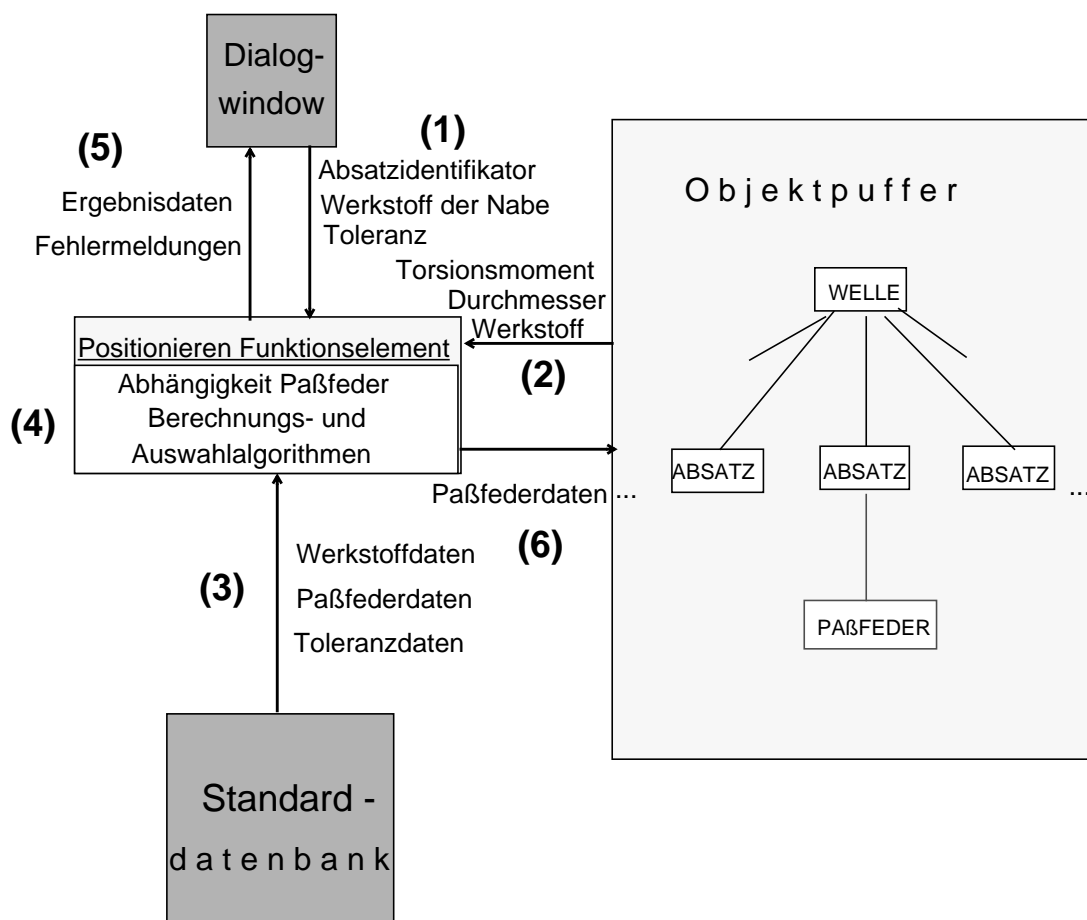


Bild 12 : Positionieren einer Paßfeder (Berechnungs- und Auswahloperationen)

nutzer bewertet (5) und gegebenenfalls durch eine Wiederholung des Prozesses mit anderen Vorgaben bzw. durch eine Änderung der Ergebniswerte (Anzahl der Paßfeder erhöhen) geändert werden..

Nun erfolgt das "eigentliche" Positionieren der Paßfeder im Objektpuffer (6). Hier sind komplexe Konsistenzbedingungen zu berücksichtigen, um eine Kollision mit anderen Funktionselementen zu verhindern. Diesen Prozeß verdeutlicht das Bild 13 vom Belastungsmodell bis zur vollständigen geometrischen Ausprägung. Das Belastungsmodell gibt einen Überblick über die Anordnung der Krafteinleitungs- und Lagerstellen auf dem Einzelteil (siehe Bild 13 oben). Hier wird eine Paßfeder an *Absatz30* positioniert. Dafür wird in positiver und negativer X-Koordinate über die jeweilige halbe Breite des Funktionselements geprüft, ob ein danebenliegender *Absatz* mit einem zugeordneten Funktionselement mit der zu positionierenden *Paßfeder* kollidiert. In diesem Algorithmus werden zur Kennzeichnung des Funktionselementebereichs sogenannte Begrenzungsabsätze (*Absatz29*, *Absatz31*) eingeführt. Die an der Positionierung beteiligten Absätze werden in ihren Parametern entsprechend geändert und alle technischen Objekte entsprechend dem Datenbankschema im Objektpuffer gespeichert.

Das dargelegte Szenario für die technische Operation zum Positionieren einer *Paßfeder* verdeutlicht schon für das als relativ "klein" zu kennzeichnende technische Objekt den Umfang, aber auch die Semantik von technischen Operationen im technischen Modellierer, deren Komplexität die reinen geometrischen Operationen in einem Geometriemodellierer weit übertrifft.

In TechMo wird als Mittel zur Beschreibung der Bedingungen für eine technische Operation das Objekt *Abhängigkeit* (siehe Kapitel 2 und 4.4.) eingeführt, da die Abarbeitung der beschriebenen funktionalen

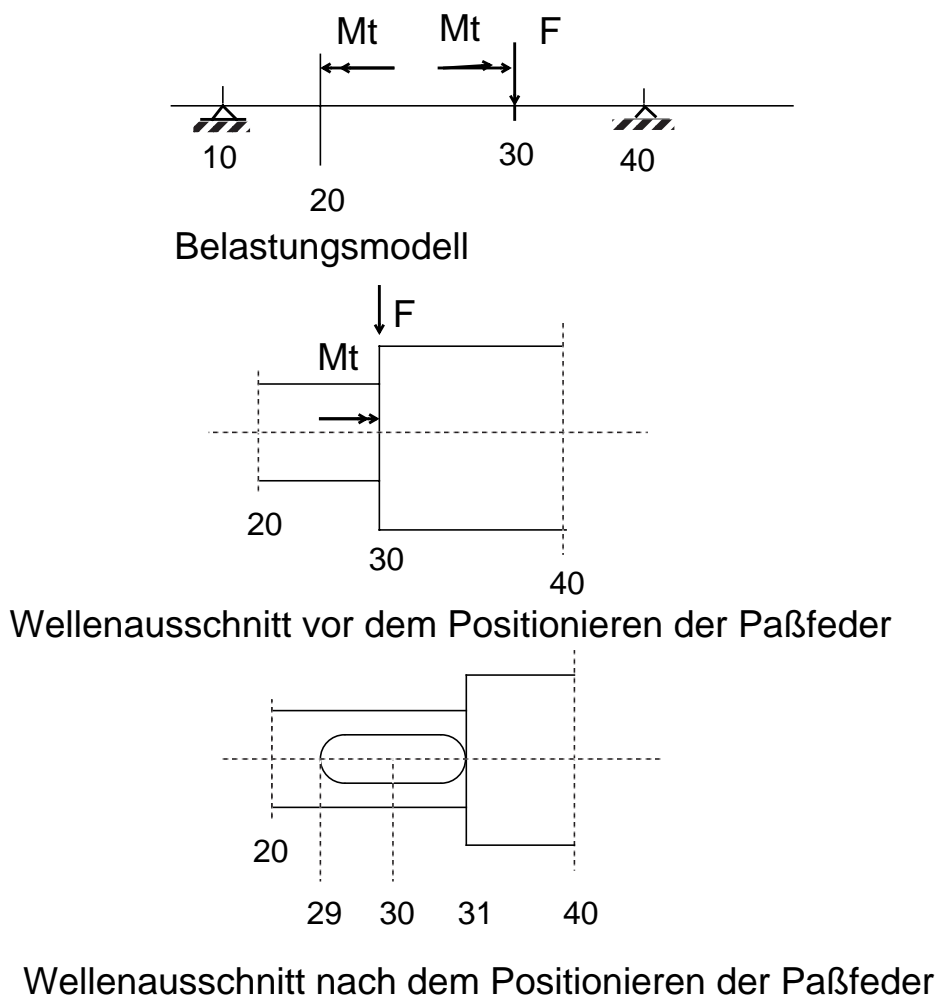


Bild 13 : Positionieren einer Paßfeder (Kollisionsprüfung)

Abhängigkeiten immer an die technischen Operationen geknüpft ist. Im Objekt *Abhängigkeit* werden die zu delegierenden Parameter, die zu prüfenden Parameter und die benötigten Prozeduren und ihre Datenversorgung beschrieben. Als Beispiel wird in Bild 14 die Beschreibung des Objekts *Abhängigkeit* für eine Paßfeder gezeigt.

Die bereitgestellten technischen Operationen mit dem Konzept der Beschreibung der funktionalen Abhängigkeiten in Objekten und Beziehungen des Datenbankschemas bildet die Basis für die Erweiterung des Datenbankschemas mit weiteren technischen Objekten.

Ausprägung der Abhängigkeit Paßfeder	Erklärung
-----	/ * keine Delegierung * /
Absatz.Krafteinleitungsgestellt = Ja	/ * Prüfen Krafteinleitungsgestelle * /
MAIN	/ * Steuerprozedur * /
Werkstoffdaten-Auswahl (. . .)	/ *
Paßfederdaten-Auswahl (. . .)	Auswahlprozeduren
Toleranzdaten-Auswahl (. . .)	* /
Berechnung (. . .)	/ * Berechnungsprozedur * /
Funktionselement-Konsistenz (. . .)	/ * Konsistenzbedingungen * /

Bild 14 : Abhängigkeiten für das Objekt Paßfeder

5. Zusammenfassung

Die Unterstützung des Konstrukteurs in der Konstruktionsphase durch technische Modellierungssysteme und eine adäquate Beschreibung der Produktdaten sind zwei wesentliche Forderungen zur Erlangung eines integrativen Produktmodells. Dieses Papier erläuterte zunächst den Begriff technisches Modellieren. Es bedeutet die Konstruktion eines Bauteils aus anwendungsspezifischen technischen Objekten mit darauf definierten technischen Operationen. Dabei wurden die Vorteile gegenüber den herkömmlichen geometrischen Modellierern deutlich. Technische Modellierer erlauben die Ableitung von technischen Produktmodellen während der Konstruktion eines Bauteils.

Wir haben den von uns entwickelten technischen Modellierer TechMo vorgestellt, der derzeit in einer Basisversion implementiert wird. Er bietet an seiner Benutzeroberfläche allgemeine Operationen für die Organisation im Baugruppentwurf (Zusammensetzung, Gruppenbildung) sowie Operationen im Bereich des Einzelteilentwurfs (speziell für rotationssymmetrische Teile) an. Ein in TechMo integrierter geometrischer Modellierer sorgt für die Visualisierung des konstruierten Bauteils. Eine DB-gestützte Datenhaltung, basierend auf dem NDBS-Kernsystem PRIMA /Hä88/, ist für die globale Datenhaltung zuständig.

Weiterführende Arbeiten werden sich mit einer Konkretisierung und Erweiterung im Bereich Baugruppentwurf (z.B. Dimensionierung, Platzierung) und beim Einzelteilentwurf (Erweiterung um eine weitere Teileklasse, z.B. prismatische Teile) beschäftigen. Darüber hinaus ist an eine Einbeziehung des technologischen Modells und dessen Verknüpfung mit dem bestehenden technischen und geometrischen Modell gedacht. Schließlich sind die einem Konstruktionsprozeß inhärenten funktionalen Abhängigkeiten geeignet zu repräsentieren und durch einen Formalismus zu beschreiben. Hierbei wird ggfs. auf Methoden aus dem Bereich der Wissensrepräsentationssysteme zurückgegriffen.

6. Literatur

- AGPR88 Anderl, R., Grabowski, H., Pätzold, B., Rude, S.: The Development of Advanced Modelling Techniquis-Meeting the Challenge of CAD/CAM-integration, in: Proc. 4th CIM Europe Conference, May 1988.
- An85 Anderl, R.: Fertigungsplanung durch Simulation von Arbeitsvorgängen auf der Basis von 3D-Produktmodellen, VDI-Forschungsberichte, Reihe 10: Angewandte Informatik, Nr. 40, 1985.
- BS83 Bobrow, D.Y., Stefik, M.: The LOOPS Manual, Xerox PARC, Palo Alto, California, 1983.
- BS85 Brachman, R.J., Schmolze, J.G.: An Overview of the KL-ONE Knowledge Representation System, Cognitive Science, Vol. 9, 1985.
- BKVV88 Bienert, M., Krause, F.-L., Vasgerau, F.H., Yaramanoglu, N.: Feature Oriented System Design for Geometric Modeling, in: St88.
- Co78 CODASYL Data Description Language Comittee Report, Information Systems, Vol. 3, No. 4, 1978, pp. 247-320.
- Da82 Date, C.J.: An Introduction to Database Systems, third editon, Addison Wesley-Verlag, 1982.
- Di86 Dittrich, K.R.: Object-Oriented Database Systems: The Notion and the Issues; in: Proc. Int. Workshop on Object-Oriented Database Systems, pp. 2-6, Pacific Grove, Ca., 1986.
- DHMM89 Deßloch, S., Härder, T., Mattos, N., Mitschang, B.:KRISYS: KBMS Support for Better CAD Systems; erscheint in Conf. on Data and Knowledge Systems for Manufacturing and Engineering, Gaithersburg, October 1989.
- Eb84 Eberlein, W.: Architektur technischer Datenbanken für integrierte Ingenieursysteme, Dissertation, Erlangen, 1984.
- FK85 Fikes, R., Kehler, T.: The Role of Frame-Based Representation in Reasoning, CACM Vol. 28, No. 9, 1985.
- Gr88 Grabowski, H.: Integrierte Produktmodelle als Basis intelligenter CAD-Systeme, Symposium "Schlüsseltechnologien zur Erneuerung von Prozessoren . . .", Magdeburg, 1988.
- Gr86 Grabowski, H.: Die Zukunft von CAD/CAM-Systemen, VDI Berichte 611, SYSTEC'86, München, 1986.
- Hä88 Härder, T. (ed.): The PRIMA-Projekt - Design and Implementation of a Non-Standard Database System, Forschungsbericht 26/88 des SFB 124, Universität Kaiserslautern, 1988.
- HHM88 Härder, T., Hübel, Ch., Mitschang, B.: Information Structures and Database Support for Solid Modeling, in: St88.
- HHMM88 Härder, T., Hübel, Ch., Meyer-Wegener, K., Mitschang, B.: Processing and Transaction Concepts for Cooperation of Engineering Workstations and a Database Server, in: Data and Knowledge Engineering, 3(1988), pp. 87-107, 1988.
- HP89 Hübel, Ch., Pick, M.: Anwendungsnahe Pufferung komplex-strukturierter DB-Objekte, in Proc. der GI-Fachtagung Datenbanken in Büro, Technik und Wissenschaften (BTW), Zürich, Informatik-Fachberichte, Springer Verlag, S. 355-360, 1989.
- HPS89 Hübel, Ch., Paul, R., Sutter, B.: DB-seitige Modellierung funktionaler Abhängigkeiten innerhalb des Baugruppen- und Einzelteilentwurfs (in Vorbereitung), Universität Kaiserslautern, 1989.

- HR85 Härdler, T., Reuter, A.: Architektur von Datenbanksystemen für Non-Standardanwendungen, in: Tagungsband der GI-Fachtagung Datenbanken für Büro, Technik und Wissenschaft, Karlsruhe, 1985, pp. 253-286.
- HS89a Hübel, Ch., Sutter, B.: Verarbeitung komplexer DB-Objekte in Ingenieur Anwendungen, Bericht des Zentrums für Rechnergestützte Ingenieursysteme (ZRI), Nr. 5/89, Kaiserslautern, 1989.
- HS89b Hübel, Ch., Sutter, B.: Aspekte der Datenbankanbindung in workstation-orientierten Ingenieur Anwendungen, erscheint in: Proc. der 19. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, München 1989
- In84 IntelliCorp Inc: The Knowledge Engineering Environment, IntelliCorp, Menlo Park, California, 1984.
- KDG87 Küspert, K., Dadam, P., Günauer, J.: Cooperative Object Buffer Management in the Advanced Information Prototype, Proc. VLDB '87, Brighton, U.K., Sept. 1987, pp. 483-492.
- LK84 Lorie, R., Kim, W., et al.: Supporting Complex Objects in a Relational System for Engineering Databases, IBM Research Laboratory, San Jose, CA, 1984.
- LM87 Loacker, H., Meier, A.: POLY - Computergeometrie für Informatiker und Ingenieure, McGraw-Hill, Hamburg, 1987.
- Lo85 Lockemann, P. C., et al.: Anforderungen technischer Anwendungen an Datenbanksysteme, in: Proc. GI-Fachtagung Datenbanken für Büro, Technik und Wissenschaft, Karlsruhe, 1985.
- LP83 Lorie, R., Plouffe, W.: Complex Objects and Their use in Design Databases, in: Proc. Database Week 1983, IEEE Computer Society Press.
- Ma89 Mattos, N.M.: An Approach to Knowledge Base Management - requirements, knowledge representation, and design issues (Dissertation), Kaiserslautern, 1989.
- Mi88 Mitschang, B.: The Molecule-Atom Data Model in: The PRIMA Project, Design and Implementation of a Non-Standard Database System, T. Härdler (ed.), Report Nr. 26/88, SFB 124, Universität Kaiserslautern, März 1988.
- Pa89 Paul, R.: Ein Beitrag zur Produktmodellierung einer abgegrenzten Objektklasse, Dissertation, Technische Universität Magdeburg, DDR, 1989.
- PA86 Pistor, P., Anderson, F.: Designing a Generalized NF2 Data Model with a SQL-Type Language Interface, Proc. 12th VLDB Conf., Kyoto, 1986.
- PSSWD87 Paul, H.-B., Schek, H.-J., Scholl, M.H., Weikum, G., Deppisch, U.: Architecture and Implementation of the Darmstadt Database Kernel System, in: ACM SIGMOD Conf., San Francisco, 1987, pp. 196-207.
- RV84 Requicha, A.A.G., Voelcker, H.B.: Boolean operations in solid modelling: Boundary evaluation and merging algorithms, Technical Memorandum No. 26, Production Automation Project, University of Rochester, New York, 1984.
- SR88 Shah, J.J., Rogers, M.T.: Expert Form Feature Modelling Shell, in: computer-aided design, volume 20, number 9, november 1988, pp. 515-524.
- SS86 Schek, H.-J., Scholl, M.H.: The Relational Model with Relation-Valued Attributes, in: Informatik Systems, Vol. 2, No. 2, 1986, pp. 137-147.
- St88 Straßer, W.: Theory and Practice of Geometric Modeling, Symposium, October 1988, Blaubeuren.

- WFOP85 Wilson, P.R., Faux, J.D., Ostrowski, M.C., Pasquill, K.G.: Interfaces for Data Transfer Between Solid Modeling Systems, in: IEEE Computer Graphics and Applications, January 1985.
- Zi89 Zimmermann, J.: Realisierung und Vergleich unterschiedlicher Ansatz für eine DB-gestützte Datenhaltung des Modellierers POLY, Diplomarbeit (in Vorbereitung), Kaiserslautern, 1989.