

Technisches Modellieren - Ein Zugang zur integrierten Produktdatenverwaltung

Rolf Paul¹, Bernd Sutter²

*¹TU Magdeburg, Sektion Informatik
Postfach 124, O - 3010 Magdeburg*

*²Universität Kaiserslautern, Fachbereich Informatik
Postfach 3049, W - 6750 Kaiserslautern
Email: sutter@informatik.uni-kl.de*

erschienen in: Fachtagung "Datenbanksysteme in Büro, Technik und Wissenschaft", Kaiserslautern, März 1991.

Technisches Modellieren - Ein Zugang zur integrierten Produktdatenverwaltung

Rolf Paul¹, Bernd Sutter²

*¹TU Magdeburg, Sektion Informatik
Postfach 124, O - 3010 Magdeburg*

*²Universität Kaiserslautern, Fachbereich Informatik
Postfach 3049, W - 6750 Kaiserslautern
Email: sutter@informatik.uni-kl.de*

Überblick

Zur Durchführung der Konstruktion und der technologischen Fertigungsvorbereitung eines technischen Erzeugnisses (Produkts) wird zunehmend die Entwicklung von integrierten Ingenieursystemen gefordert, deren Zielstellung durch eine homogene, durchgängige Rechnerunterstützung für den gesamten Entwurfsvorgang vorgegeben ist. Als Basis für einen derartigen Integrationsansatz wird eine gemeinsame Datenhaltung angesehen. Das erfordert die Definition und Verwaltung der benötigten Produktdaten in einem integrierten Produktmodell. Dies bedeutet zum einen die Bereitstellung einer zugeschnittenen Beschreibungsmethodik für das Produktmodell, in dem nicht nur die eigentlichen Entwurfsdaten, sondern auch die damit assoziierten Konsistenzbedingungen (als technisch funktionale Abhängigkeiten bezeichnet) beschrieben werden können. Zum anderen ist die Entwicklung von neuen Modellierungssystemen für den Einsatz während der Konstruktionsphase notwendig, die eine Erfassung der relevanten Produktdaten aus dem Konstruktionsprozeß ermöglichen.

Das in diesem Beitrag vorgestellte technische Modellieren stellt einen Zugang zum Aufbau eines integrierten Produktmodells dar. Wir werden die hierbei auftretenden Objekte und Operationen sowie die inhärenten technisch funktionalen Abhängigkeiten einführen und einen Vorschlag zur DB-seitigen Modellierung der Informationsstrukturen aufzeigen. Zum Schluß wollen wir einen von uns derzeit entwickelten Prototypen vorstellen.

1. Einleitung

Betrachtet man die Arbeitswerkzeuge eines Ingenieurs, so ist eine zunehmende Rechnerunterstützung seiner Aufgaben festzustellen. Dabei werden bislang spezielle, auf einen bestimmten Problembereich zugeschnittene und optimierte CAD- oder CAP/CAM-Systeme eingesetzt, die meist als Einzelsysteme erstellt werden (sog. Insellösungen) und daher überhaupt nicht oder nur beschränkt untereinander in Verbindung gebracht werden können. Unter dem Begriff **integrierte Ingenieursysteme** werden neuere Entwicklungen verstanden, die eine durchgängige, integrierte Unterstützung beim Entwurf, der Planung und der Fertigung eines Produkts ermöglichen sollen /AGPR88, Hä89, We88/.

Grundlage für die Entwicklung derartiger Systeme ist zum einen die adäquate Beschreibung aller anfallenden Produktdaten in einem Produktmodell, zum anderen müssen neuartige Modellierungssysteme entwickelt werden, die eine ganzheitliche Erfassung der im Entwurfsprozeß anfallenden Produktdaten ermöglichen. In einem **Produktmodell** werden alle Daten zusammengefaßt, die während des konstruktiven Entwurfs und in der technologischen Fertigungsvorbereitung entstehen und zur Dokumentation und Fertigung des Produkts benötigt werden. Die Bildung eines solchen integrierten Produktmodells muß schrittweise erfolgen, da zunächst die in den Teilprozessen anfallenden Daten allgemein be-

schrieben und in **Partialmodellen** zusammengefaßt werden. Solche Partialmodelle sind beispielsweise /An89/:

- **Technisches Modell**

Hier ist die Gestaltung des Entwurfsobjekts von der Baugruppe bis hin zum Einzel- und Normteil und deren Beziehungen untereinander durch die technische Objektstruktur spezifiziert.

- **Geometrisches Modell**

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

- **Technologisches Modell**

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

Der auf diesen Partialmodellen gestützte Konstruktions- und Fertigungsprozeß macht eine Datentransformation zwischen den einzelnen Teilmodellen nötig. Ein integriertes Produktmodell kann diesen Transformationsvorgang wesentlich erleichtern. Dazu müssen die funktionalen Abhängigkeiten, die zwischen den Objekten in den verschiedenen Partialmodellen existieren, erkannt und explizit in dem Modell beschrieben werden, so daß beim Übergang in ein anderes Partialmodell die dort vorherrschenden Objekte (weitgehend) automatisch über die beschriebenen Abhängigkeiten abgeleitet werden können /HPS90/.

Wie in diesem Beitrag verdeutlicht wird, kommt dem **technischen Partialmodell** eine zentrale Bedeutung innerhalb des Produktmodells zu, weil von diesem Partialmodell ausgehend über die eingeführten Abhängigkeiten das geometrische und das technologische Modell ableitbar sind. Daher ist die Frage entscheidend, welche Modellierungssysteme in der Konstruktionsphase eingesetzt werden müssen, um das technische Partialmodell eines Entwurfsobjektes als Teil einer integrierten Produktdatenverwaltung aufzubauen.

Mit den heute am weitesten verbreiteten Werkzeugen zur Bauteilmodellierung erstellt der Konstrukteur in erster Linie die Geometrie eines Bauteils. Die Basisobjekte sind dabei Linien, Kreisbogen, Ellipsen usw. oder räumliche Primitive (Quader, Zylinder usw.), die über einen gegebenen Operationsvorrat zu einem Modell für das Bauteil zusammengesetzt werden. Die technischen Randbedingungen werden nicht erfaßt und müssen vom Konstrukteur in einem zweiten Schritt bereitgestellt werden. Wegen der vorherrschenden Diskrepanz zwischen dem internen (geometrischen) Modell und den in den Konstruktionsprozeß eingehenden technischen Objekten ist eine Zuordnung der technischen Information zu den geometrischen Objekten i. allg. nicht möglich.

Ein möglicher Lösungsweg ist die Entwicklung und der Einsatz von technischen Modellierungssystemen. **Technisches Modellieren** bedeutet, daß der Konstrukteur beim Entwurf eines Bauteils mit technischen Objekten (d.h., die Basisobjekte sind jetzt Paßfeder, Lager, Stift, Fase etc.) arbeitet, die über objektspezifische Operationen (etwa Erzeugen oder Positionieren) manipuliert und in einer technischen Objektstruktur angeordnet werden. Diese Objektstruktur ist der zentrale Bestandteil des technischen Partialmodells. Somit sind dem System Objekte und Operationen mit einer stärker anwendungsorientierten Semantik bekannt, so daß die zeitliche Abfolge und die Zusammenhänge zwischen den Operationen sowie die Beziehungsstrukturen zwischen den Objekten ebenfalls im System explizit erfaßt und kontrolliert werden können. Diese werden im folgenden als **technisch funktionale Abhängigkeiten** bezeichnet.

Um dem Ziel einer integrierten Produktdatenverwaltung näher zu kommen, sind zunächst Lösungsmöglichkeiten gesucht, die eine durchgängige, uniforme und nichtredundante Produktdatenmodellie-

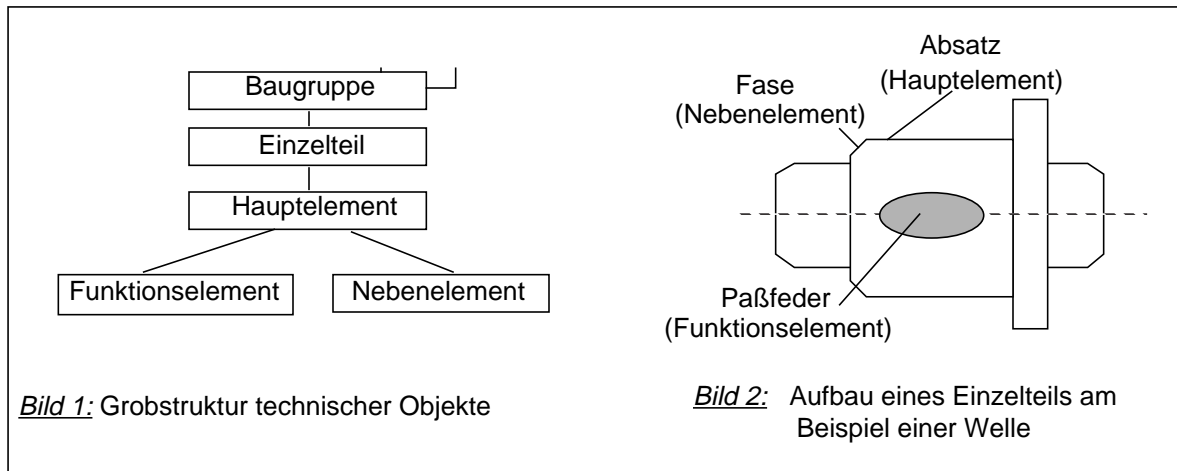
rung erlauben. Der Einsatz von Datenbanksystemen (DBS) vollzieht sich nur langsam, was hauptsächlich durch die bekannten Unzulänglichkeiten konventioneller DBS hinsichtlich einer geeigneten Modellierung und Verarbeitung der Daten sowie durch das schlechte Leistungsverhalten begründet ist. In diesem Beitrag wollen wir die Modellierung der Informationsstrukturen, die beim technischen Modellieren auftreten, und deren Abbildung auf ein strukturell objektorientiertes DBS /Di86/ aufzeigen, das eine ganzheitliche Beschreibung und Handhabung komplexer Objektstrukturen ermöglicht. Neben den eigentlichen Produktdaten müssen auch die technisch funktionalen Abhängigkeiten in geeigneter Weise beschrieben werden.

Im nächsten Kapitel werden wir zunächst die Vorgehensweise beim technischen Modellieren konkretisieren. Dazu werden die technischen Objekte und Operationen sowie die daran geknüpften technisch funktionalen Abhängigkeiten vorgestellt. Ein ausführliches Entwurfsbeispiel, das den Baugruppen- und Einzelteilentwurf bei der Getriebekonstruktion aufzeigt, macht die Bedeutung der technisch funktionalen Abhängigkeiten während des Entwurfsvorgangs deutlich und zeigt gleichzeitig deren Vielfältigkeit auf. Im darauffolgenden Kapitel werden schließlich Fragen der Modellierung der Informationsstrukturen (einschließlich der Abhängigkeiten) für eine ausgewählte Teileklasse (Entwurf einer Welle) behandelt. Im letzten Kapitel werden wir die Architektur eines von uns entwickelten Prototypen eines technischen Modellierers sowie dessen DB-seitige Datenverwaltung vorstellen.

2. Technisches Modellieren

Der Konstruktionsprozeß stellt einen Lösungsprozeß dar, der den Entwurf von technischen Erzeugnissen, das Ermitteln ihres funktionalen und strukturellen Aufbaus und die Erzeugnisdokumentation einschließt /An85/. Beim Durchlauf der einzelnen Phasen der Konstruktion (Prinziparbeit, Funktionsfindung, Gestaltung (Entwurfsphase bzw. Baugruppenentwurf) und Detaillierung (Einzelteilkonstruktion)) erfolgt eine zunehmende Konkretisierung und Verfeinerung des zu konstruierenden Objektes, bis alle benötigten Informationen vorliegen, die die Ausprägungen eines zu konstruierenden Bauteils in einem vorgegebenen Produktmodell repräsentieren. Beim heutigen Erkenntnisstand ist es möglich, rechnerunterstützte Lösungen für die Phase der Einzelteilkonstruktion und teilweise des Baugruppenentwurfs bereitzustellen. Das hier vorgestellte technische Modellieren bietet eine Unterstützung für diese beiden Konstruktionsphasen.

Der Begriff **technisches Modellieren** impliziert das Manipulieren von Objekten in einer technischen Objektstruktur mit anwendungsorientierten Operationen unter Berücksichtigung der einem Entwurfsprozeß inhärenten technisch funktionalen Abhängigkeiten. Die **technischen Objekte** beim Baugruppenentwurf sind Baugruppen und Einzelteile. **Baugruppen** sind Teilgruppen einer Maschine oder Anlage, die eine Teilfunktion erfüllen und wieder aus Baugruppen oder Einzelteilen bestehen können. **Einzelteile** sind Teile einer Baugruppe und werden entweder aus einer Menge vorgefertigter Teile ausgewählt (Normteile, Kaufteile) oder für einen speziellen Zweck angefertigt (Zeichnungsteile). Ein Einzelteil ist aus Haupt-, Funktions- und Nebenelementen aufgebaut (vgl. Bild 1). Ein **Hauptelement** (z.B. Absatz, siehe auch Bild 2) bezeichnet ein rotationssymmetrisches oder prismatisches Formelement zur Modellierung eines Bereichs eines Einzelteils mit den dazugehörigen Informationen (Werkstoff, Oberflächengüte, Wärmebehandlung, Toleranzen u.ä.). Ein **Funktionselement** (z.B. Lager, Paßfeder) repräsentiert den Bereich eines Einzelteils, durch den dessen Funktion (z.B. Übertragung eines Drehmoments durch eine Paßfeder) realisiert wird. **Nebenelemente** (z.B. Fase, Freistich) werden aus einer möglichen Anzahl von Varianten ausgewählt und einem Hauptelement zugeordnet, das damit näher



beschrieben wird. So wird beispielsweise eine Fase an einem Absatz angeordnet, damit in der späteren Fertigung etwa ein Zahnrad auf den Absatz geschoben werden kann.

Aus dem Konstruktionsvorgang bzw. der gegebenen Begriffsklärung läßt sich ableiten, daß der Einstieg in eine Konstruktionsaufgabe immer von einer Maschine bzw. Anlage ausgehend über die Definition von Baugruppen hin zum Einzelteil verläuft. Nur durch diese hierarchische Vorgehensweise ist es möglich, Zusammenhänge in der Funktion und Geometrie zu überblicken und daraus Aufgabenstellungen für Einzelteile abzuleiten.

Diese Vorgehensweise verdeutlicht, daß der Konstrukteur die technischen Objekte über ihre Funktion bzw. Teilfunktion bestimmt. Dabei ist die Konstruktionsaufgabe für den Baugruppentwurf über die Beschreibung der *funktionalen Zielstellung* und der *Umgebungsrestriktionen* gegeben /Gr88/. Im Prozeß des Baugruppentwurfs wird aus dem Gesamtentwurf die Aufgabenstellung (Abhängigkeiten) für die Unterbaugruppen bzw. für die Einzelteile in Form von technischen und geometrischen Vorgaben sowie geometrischen Umgebungsbedingungen abgeleitet. Für die Phase der Einzelteildetaillierung gilt dann nach dem Prinzip der hierarchischen Zerlegung die gleiche Aussage, indem aus der Teilfunktion des Einzelteils ebenfalls die funktionale Zielstellung und die Umgebungsrestriktionen für die Haupt-, Funktions- und Nebenelemente festgelegt werden.

Technisches Modellieren impliziert daher die Berücksichtigung der Beziehungen zwischen den technischen Objekten, d.h. eine formale Beschreibung der funktionalen Zielstellung und der Umgebungsrestriktionen. In unserem Ansatz erfolgt das in den sogenannten **technisch funktionalen Abhängigkeiten**, im folgenden auch kurz Abhängigkeiten genannt.

In Anlehnung an den Entwurfsprozeß kann man zunächst zwischen zwei Arten von Abhängigkeiten unterscheiden:

- allgemeingültige Abhängigkeiten; sie ergeben sich aus der allgemeinen Konstruktionslogik und sind durch physikalische Wirkprinzipien und allgemeingültige Funktionen bestimmt.
- spezielle Abhängigkeiten; sie sind über die spezielle Funktionsbeschreibung für ein Einzelteil oder eine Baugruppe definiert.

Die Top-Down-Entwurfsvorgehensweise ist in unserem Ansatz so zu verstehen, daß aus den (allgemeinen) Abhängigkeiten der übergeordneten Baugruppe die speziellen funktionsorientierten Abhängigkeiten an eine Unterbaugruppe weitergeleitet (delegiert) werden, welche die spezielle Teilfunktion erfüllt. Bei der Einzelteildetaillierung läuft der Prozeß des Weiterleitens von Abhängigkeiten in gleicher Form

ab. Hierbei ist auch eine Rückdelegierung möglich. So werden z.B. durch eine vollständige Detaillierung eines Einzelteils funktionale und geometrische Restriktionen für ein anderes Einzelteil einer Baugruppe festgelegt.

Die Betrachtung von technischen Objekten im Zusammenhang mit ihren technisch funktionalen Abhängigkeiten legt die auf den Objekten zu definierenden Operationen fest. Das technische Objekt "Bohrung" wird beispielsweise nach gewissen funktionalen Vorgaben und gegebenen Standard- und Kataloginformationen bestimmt, die wiederum als Abhängigkeiten darstellbar sind. Generell werden im konstruktiven Entwicklungsprozeß allgemeine bzw. bauteilbezogene Methoden (Berechnungsverfahren, Dimensionierungsverfahren, Auswahlverfahren etc.) benutzt, um die technische und geometrische Gestalt eines Bauteils zu bestimmen. Daraus ist zu erkennen, daß die technischen Operationen im Entwurfsprozeß eine objektbezogene funktionale Semantik tragen müssen. Diese Semantik läßt sich durch folgende Anforderungen an **technische Operationen** charakterisieren:

- Manipulation komplexer Objektstrukturen
So muß beim Positionieren eines Lagers entsprechend eines ausgewählten Lagerinnendurchmessers der Absatzdurchmesser geändert werden.
- Berücksichtigung gegebener Abhängigkeiten
Zum Positionieren eines Lagers (Funktionselement) an einer Welle muß beispielsweise der aktuelle Absatz (Hauptelement) im Belastungsmodell (das sind die technisch funktionalen Abhängigkeiten für das Einzelteil Welle aus dem Baugruppentwurf) als Lagerstelle vorgesehen sein.
- Anschluß von Berechnungsalgorithmen
(z.B. Festigkeit-, Dimensionierungs- oder Lebensdaueralgorithm).
- Anschluß von Normteilkatalogen bzw. anderer Standards
(z.B. Wälzlagerkatalog, Werkstoffkatalog, DIN-Normen).

Aus diesen Überlegungen wird deutlich, daß sowohl die **Objekt-** als auch die **Operationsemantik** in den Abhängigkeiten beschrieben ist. Das bedeutet, daß die Ausführung von Operationen auf technischen Objekten immer mit der Überprüfung der dazugehörigen Abhängigkeiten verknüpft ist.

3. Beispiele für technisch funktionale Abhängigkeiten im Getriebeentwurf

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt das technische Modellieren vorgestellt wurde, wollen wir jetzt an einem konkreten Entwurfsvorgang vom Baugruppentwurf bis zur Einzelteildetaillierung Beispiele für technisch funktionale Abhängigkeiten herausarbeiten und deren Bedeutung innerhalb des Entwurfs-

vorgangs näher untersuchen sowie deren Komplexität und Heterogenität deutlich machen. Wir betrachten hier als Beispiel den Prozeß des Getriebeentwurfs.

1. Festlegung der Aufgabenstellung für einen Getriebeentwurf
2. Aufteilung der Gesamtübersetzung in Teilübersetzungen; Erstellen eines Getriebeplans
--> Funktionaler Baugruppenentwurf
3. Bearbeitung der einzelnen Getriebestufen; Positionieren der Stufen
--> Baugruppenentwurf
4. Verbindung von Getriebestufen (Verbindungselement Welle); Erstellung eines Belastungsmodells und Entwurf der Welle
--> Einzelteilentwurf

Bild 3: Vorgehensweise beim Getriebeentwurf (vereinfacht)

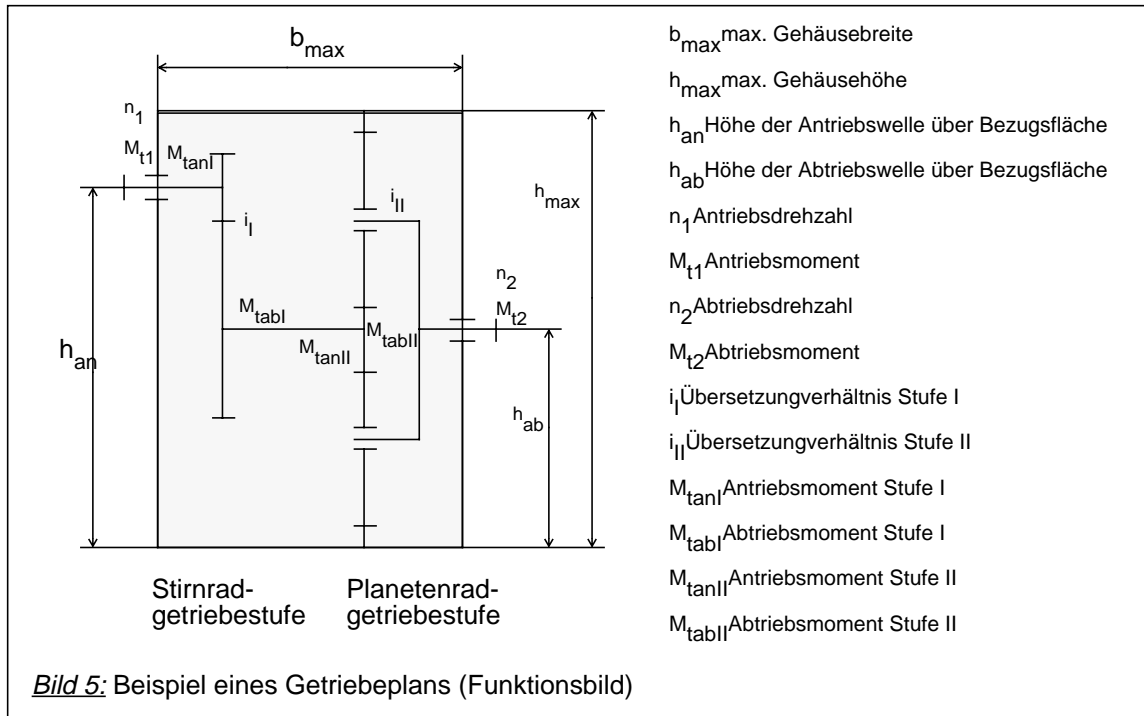
In Bild 3 ist eine mögliche Vorgehensweise für einen Getriebeentwurf dargestellt. Ein Getriebe hat die Aufgabe, eine Antriebsdrehzahl mit einem gegebenen Antriebsmoment in eine Abtriebsdrehzahl mit zugehörigem Abtriebsmoment unter Berücksichtigung der Nennleistung zu transformieren. Die Aufgabenstellung gliedert sich in die Beschreibung von Zielkriterien und die Spezifikation von Umgebungsrestriktionen (vgl. Kapitel 2). Sie ist in Bild 4 beschrieben. In dem durch die Aufgabenstellung bestimmten Entwurfsrahmen entwickelt der Konstrukteur iterativ seine Lösung und legt Teilentwurfsaufgaben für weitere Mitarbeiter fest. Dabei hält sich der Entwerfer an die generelle Konstruktionslogik und an das spezifische Entwurfswissen des Betriebes, in dem er tätig ist.

Zielkriterien (technische Daten):	Umgebungsrestriktionen (Spezifikation) :
Nennleistung P_n	• max. Abmessungen des Gehäuses/Einbaubedingungen
Antriebsdrehzahl n_1	• Abstand Antriebs-/Abtriebswelle bzw. Lage zu Bezugspunkten des Gehäuses
Antriebsnenntorsionsmoment M_{t1}	• Umwelteinflüsse/Verwendungszweck des Gehäuses
Nennübersetzung i_{nenn}	
Abtriebsnenntorsionsmoment M_{t2}	
Lebensdauer L_n	

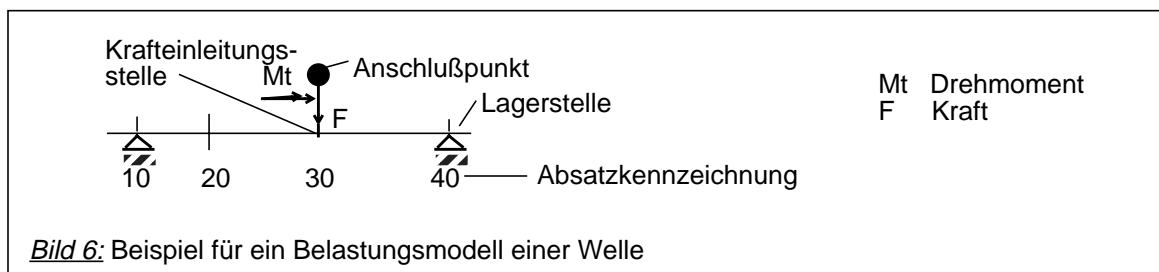
Bild 4: Aufgabenstellung für einen Getriebeentwurf

Aus der Aufgabenstellung wird der Getriebeplan entwickelt, in dem das Getriebe in einzelne Getriebestufen aufgeteilt und für jede Getriebestufe die Getriebeart festgelegt wird. Bild 5 zeigt einen Getriebeplan mit einem Stirnrad- und einem Planetenradgetriebe. In dieser Phase der Funktionsfindung arbeitet der Konstrukteur mit sogenannten Funktionsbildern (z.B. Getriebeplan, Belastungsmodell), in denen wiederum die Zielkriterien (z.B. Aufteilung in Teilübersetzungen) und Umgebungsbedingungen

(Gehäuseabmessungen) für die einzelnen Getriebestufen festgelegt werden. Dies entspricht auch der allgemeinen Top-Down-Vorgehensweise im Konstruktionsprozeß.



Der Top-Down-Entwurf wird auch beim Übergang zur Auslegung einer Getriebestufe bzw. des Verbindungselements Welle deutlich. Aus den Vorgaben des Getriebeplans wird eine Getriebestufe ausgelegt, indem die entsprechenden Zahnräder berechnet und aus einem Normteilkatalog ausgewählt werden. Dadurch wird die funktionale Darstellung zur geometrischen und technischen Auslegung einer Getriebestufe verfeinert. Durch das Positionieren der Getriebestufe werden geometrische (Achsabstand, Zahnraddurchmesser) und technische (Moment, Drehzahl) Vorgaben für die gesamte Baugruppe definiert, die unbedingt einzuhalten sind. Für die anderen Getriebebaugruppen werden zu diesem Zeitpunkt die geometrischen Vorgaben für ihre Positionierung im Gesamtgetriebe durch die Definition von Anschlußpunkten realisiert, ebenso wie für das Verbindungselement Welle, was in Bild 6 dargestellt ist. Im Einzelteilentwurf wird die Welle in ihrer technischen und geometrischen Gestalt bestimmt, d.h. insbesondere, daß die Kräfteinleitungsstellen (Einleitung der Kraft durch ein Zahnrad über eine Paßfeder auf eine Welle) und die Lagerstellen gestaltet werden. Die Daten zur Bestimmung einer Paßfeder werden aus Vorgaben der Aufgabenstellung berechnet, um danach eine Auswahl nach einem Normteilkatalog zu treffen. Beim Positionieren der Paßfeder erfolgt eine komplexe Konsistenzüberprüfung, um eine Kollision mit anderen Funktionselementen zu vermeiden.



Der bisher beschriebene Entwurfsprozeß nennt eine Vielzahl von Beziehungen zwischen den Entwurfsobjekten und Bedingungen bei der Durchführung einer Operation, für die nachfolgende Unterteilung möglich ist:

- Abhängigkeiten, die durch die hierarchische Zerlegung bei der Top-Down-Entwurfsvorgehensweise bestimmt sind; damit werden Vorgaben und Restriktionen in Form einer Aufgabenbeschreibung für die technischen Objekte auf der nächsten Hierarchiestufe festgelegt.
- Abhängigkeiten, die logische Bedingungen zwischen den technischen Objekten beschreiben; so wird beim Baugruppentwurf über die Festlegung von Anschlußpunkten zwischen Baugruppen deren räumliche Zuordnung fixiert. Beim Einzelteilentwurf werden über logischen Bedingungen technische bzw. geometrische Parameter bestimmt, bzw. deren Wertebereich eingeschränkt. Z.B. ist der Durchmesser eines Absatzes, für den eine Lagerstelle vorgesehen ist, durch die Abmaße des ausgewählten Lagers implizit festlegt.
- Abhängigkeiten, die bei der Durchführung einer Operation zu beachten sind; dies sind sowohl physikalische Grundgesetze als auch funktionale Beziehungen zur Ergebnisbestimmung aus gegebenen Eingabeparametern. Hierzu zählen Verfahren zur Auswahl eines technischen Objektes aus Katalogen sowie verschiedenste Berechnungsprogramme.

Es erhebt sich nun die Frage, welche Beschreibungsmittel zur Modellierung der Abhängigkeiten notwendig sind, wie sie in das technische Modell einbezogen werden können und wie schließlich die Ausführung bzw. Überprüfung während des Entwurfsprozesses durchzuführen ist.

Das zentrale technische Objekt des technischen Modells in Bild 7 ist das Bauteil. Dies kann ein Einzelteil oder eine Baugruppe sein. Zur Repräsentation der Baugruppenstruktur ist darauf eine n:m-Beziehung definiert. Ein Bauteil, bei dem es sich um ein Einzelteil handelt, kann ein Normteil, ein Kaufteil oder ein Zeichnungsteil, d.h. ein noch zu entwerfendes Einzelteil, sein. Ein Zeichnungsteil ist wie beschrieben aus Hauptelementen aufgebaut, und jedem Hauptelement kann ein Funktionselement und mehrere Nebenelemente zugeordnet sein. Die Funktionselemente selbst werden wiederum aus den Normteilen ausgewählt. Die durchgeführte Spezialisierung der Haupt-, Funktions- und Nebenelemente ist hier auf den betrachteten Wellenentwurf zugeschnitten. Hauptelemente untergliedern sich zunächst in rotationssymmetrische und prismatische Formelemente, wobei das Element Absatz zur ersten Gruppe gehört. Ebenso sind bei den Funktions- und Nebenelementen nur die für den Wellenentwurf relevanten Objekte eingeführt. Sie werden durch jeweils einen eigenen Entity-Typ repräsentiert.

In Kapitel 3 wurden Beispiele für die Abhängigkeiten in den verschiedenen Phasen des Entwurfsprozesses vorgestellt. Sie haben gezeigt, daß der Begriff technisch funktionale Abhängigkeiten ein sehr breites, heterogenes Spektrum von Beziehungen einschließt, die in ihrer Gesamtheit einen Teil der Semantik eines Entwurfsobjektes im Entwurfsprozeß widerspiegeln. Wie die Analyse der in Kapitel 3 beschriebenen Vorgehensweise zur Getriebekonstruktion zeigte, ist die Erfassung und formale Beschreibung des "Entwurfs-Know-Hows" schwierig und konnte bisher nur für Teilbereiche durchgeführt werden. Wir wollen nun die aufgeführten Abhängigkeiten explizit im technischen Modell abbilden, was eine sehr flexible und erweiterbare Beschreibung der Abhängigkeiten erlaubt. Darüber hinaus ist durch eine Zuordnung der Abhängigkeiten zu den Objekten in der technischen Objektstruktur in einfacher Weise eine Organisation und Strukturierung der Abhängigkeiten möglich. Aus den bisherigen Überlegungen lassen sich folgende Beschreibungsformen für technisch funktionale Abhängigkeiten unterscheiden:

- attributierte oder tabellarische Beschreibung von Aufgabenstellungen bzw. von Baugruppenzusammensetzungen.
- Beschreibung der Beziehungen zwischen Attributen verschiedener technischer Objekte in einer formalhaften Darstellung, z.B. die Festlegung, daß der Innendurchmesser eines Lagers den Außendurchmesser des zugehörigen Absatzes bestimmt.
- prädikative Beschreibung zur Überprüfung von Entwurfsvorgaben, von logischen Zuordnungsbedingungen usw.
- Methoden zur Beschreibung von Dimensionierungs- oder Auswahlalgorithmen, für den Anschluß von Normteilkatalogen, für komplexe Kontrollalgorithmen usw. Im allgemeinen sind diese Methoden als eigenständige Programmpakete oder Prozeduren realisiert, wie z.B. eine Normteilauswahl oder eine Festigkeitsberechnung nach der Finite-Element-Methode.

Bild 8 zeigt eine mögliche Formalisierung für einen Ausschnitt der Abhängigkeiten in einer Getriebebaugruppe. In einer Tabelle sind die zur Baugruppe Getriebe gehörenden Bauteile durch ihren Identifikator (Name des Einzelteils oder der Baugruppe) gekennzeichnet. Durch das Positionieren einer Baugruppe werden die Positionskoordinaten und die Orientierung durch die Angabe eines Winkels angegeben. Zusätzlich werden weitere Anschlußpunkte (z.B. für die spätere Montage der Baugruppe, funktionsbezogene Verbindungen zwischen den Getriebestufen, etc.) festgelegt /SIAHL89/.

Einzelteil/Baugruppe	Koordinaten	Orientierung	Anschlußpunkte
Gehäuse_Oberteil	$x_{K1}y_{K1}z_{K1}$	w_1	$x_{A11}y_{A11}z_{A11}, x_{A12}y_{A12}z_{A12}$
Gehäuse_Unterteil	$x_{K2}y_{K2}z_{K2}$	w_2	$x_{A2}y_{A2}z_{A2}$
Getriebewelle 1	$x_{K3}y_{K3}z_{K3}$	w_3	$x_{A3}y_{A3}z_{A3}$
Getriebewelle 2	$x_{K4}y_{K4}z_{K4}$	w_4	$x_{A4}y_{A4}z_{A4}$
Zahnrad 1	$x_{K5}y_{K5}z_{K5}$	w_5	$x_{A5}y_{A5}z_{A5}$
Zahnrad 2	$x_{K6}y_{K6}z_{K6}$	w_6	$x_{A6}y_{A6}z_{A6}$

Bild 8: Funktionale Abhängigkeiten einer Baugruppe (Ausschnitt)

Weitere funktionale Abhängigkeiten ergeben sich bei der Auslegung einer Getriebewelle. Aus der Auslegung der einzelnen Getriebestufen sind die geometrischen Abmessungen der Zahnräder und bestimmte Belastungsgrößen bekannt. Diese Vorgaben werden in das Belastungsmodell eingetragen, welches die Aufgabenstellung für das Einzelteil Welle beschreibt (Bild 6). Im Belastungsmodell sind koordinatenbezogen die Lagerstellen, die Krafteinleitungsstellen, Werkstoffvorgaben und bestimmte Durchmesserangaben gekennzeichnet. Eine formale Beschreibung für das Belastungsmodell zeigt Bild 9. Den Lagerstellen, Krafteinleitungsstellen und der Werkstoffkennzeichnung sind bestimmte Koordinaten zugeordnet. Die Angabe der Kräfte und Momente erfolgt in x-, y- und z-Richtung. Im dargestellten Beispiel ist desweiteren in Koordinate 60 eine Werkstoffänderung zu erkennen, womit für die technologische Fertigungsverfahren die Information verknüpft ist, daß es sich um eine reibgeschweißte Welle handelt.

Koordinaten	Lagerstelle	Krafteinleitungsstelle	Werkstoff
10	ja	-	St50
40	-	Kräfte, Momente	St50
60	-	-	St60
80	-	Kräfte, Momente	St60
100	ja	-	St60

Bild 9: Funktionale Abhängigkeiten des Einzelteils Welle (Ausschnitt)

In Bild 7 ist zur Repräsentation der Abhängigkeiten eine eigene Symbolik eingeführt. Einem technischen Objekt werden stets die für diesen Objekttyp definierten Abhängigkeiten zugeordnet. Das Objekt Abhängigkeiten der Paßfeder enthält z.B. die spezifischen Auswahlalgorithmen zur Bestimmung einer Paßfeder und das Objekt Abhängigkeiten, das dem Entity Funktionselement zugeordnet ist, enthält einen Kollisionsprüfungsalgorithmus, der beim Positionieren eines Funktionselements, also auch einer Paßfeder, durchgeführt werden muß. Neben einer geeigneten Repräsentation der Abhängigkeiten ist zu klären, wie die Überprüfung der Abhängigkeiten durchgeführt wird. Die Überprüfung von Abhängigkeiten ist stets an die Ausführung von Operationen auf technischen Objekten gebunden. Ferner existieren Abhängigkeiten, deren Überprüfung am Ende einer Folge von Benutzeroperationen durchgeführt wird (verzögerte Überprüfung), da erst zu diesem Zeitpunkt die Abhängigkeiten erfüllt sein können. Für den Ablauf einer Operation läßt sich die nachfolgende allgemeine Vorgehensweise feststellen /Pa89/:

- Übernahme von Abhängigkeiten übergeordneter technischer Objekte, etwa die Aufgabenstellung oder einzuhaltende Umgebungsrestriktionen
- Überprüfen von komplexen logischen Beziehungen zwischen den technischen Objekten
- Anstoßen von Methoden und deren Datenversorgung
- (Rück-) Delegieren von Abhängigkeiten zu in Beziehung stehenden technischen Objekten.

Die Art der Modellierung der Abhängigkeiten und deren Überprüfung ist von den in einem konkreten System angebotenen Konzepten abhängig. In Wissensbankverwaltungssystemen (WBVS) können beispielsweise Dämonen, Methoden oder Regeln zur Modellierung der Abhängigkeiten benutzt werden. In /DHMS90/ ist ein Ansatz zur Modellierung der Abhängigkeiten für die Auswahl und das Positionieren einer Paßfeder mit einem WBVS beschrieben. In diesem Beitrag verfolgen wir jedoch den Ansatz einer DB-seitigen Modellierung der Abhängigkeiten, was im nächsten Kapitel näher ausgeführt wird.

5. Die Entwicklung des DB-gestützten technischen Modellierers TechMo

Im letzten Kapitel soll nun die Konzeption unseres Prototypsystems eines DB-gestützten technischen Modellierers, TechMo, vorgestellt werden. Die Modellierung und Verwaltung der Produktdaten und der Abhängigkeiten ist die Aufgabe des zugrundeliegenden DBS. Der Einsatz von Datenbanksystemen zur Produktdatenverwaltung in Ingenieur Anwendungen wurde in der Literatur schon ausführlich behandelt, wenngleich der praktische Einsatz von DBS wegen der bekannten Unzulänglichkeiten nur zögernd erfolgt.

5.1 DB-seitige Modellierung und Verwaltung des technischen Modells

Wir wollen hier unsere Überlegungen zur DB-seitigen Modellierung und Verwaltung der Informationsstrukturen des technischen Modells beschreiben. Dabei soll untersucht werden, inwiefern ein strukturell objektorientiertes DBS zur Unterstützung dieses Anwendungsbereichs geeignet ist.

In den folgenden Ausführungen stützen wir uns auf die DBS-Prototypentwicklung PRIMA /Hä88/ und auf das dort realisierte Molekül-Atom-Datenmodell (MAD) /Mi88/. MAD erlaubt die ganzheitliche Handhabung dynamisch definierbarer, komplexer Objektstrukturen und gehört somit zur Klasse der strukturell objektorientierten Datenmodelle. Atomtypen (Atome) sind die Grundbausteine des MAD-Modells und entsprechen den Relationen (Tupel) im Relationenmodell. Beziehungen werden im MAD-Modell über spezielle Referenzattribute der Atome abgebildet, die eine direkte Darstellung von n:m-Beziehungen erlauben. Komplexe Objekte im MAD-Modell, Moleküle genannt, werden aus dem Atomnetzwerk, das sich durch die Darstellung aller Beziehungen ergibt, dynamisch abgeleitet. Neben der Datenmodellierung hat auch die Datenverarbeitung wesentlichen Anteil an einer adäquaten Unterstützung von Ingenieur Anwendungen. Hier sind Konzepte erforderlich, die eine Bearbeitung der meist heterogenen und komplex-strukturierten Verarbeitungsgegenstände auf einfache und direkte Weise ermöglichen. Dies wird durch eine anwendungsnahe Pufferung der Datenstrukturen in einem sog. Objektpuffer /HHMM88/ erreicht, der oberhalb der eigentlichen DB-Schnittstelle mit Daten versorgt wird. Die Verarbeitung der Daten im Objektpuffer erfolgt dann über eine zugeschnittene Programmierschnittstelle /HS89/ (siehe auch Bild 12).

Bei einer Umsetzung der Modelldarstellung aus Bild 7 in das MAD-Modell werden die Rechtecke auf Atomtypen und die benutzerdefinierten Beziehungen auf Referenzattribute abgebildet. Da die n:m-Beziehung des Entity-Typs Bauteil informationstragend ist (sie enthält z.B. Mengenangaben über die Zu-

sammensetzung einer Baugruppe), kann sie nicht direkt über die Referenzattribute des MAD-Modells abgebildet werden. Daher wird, ähnlich wie bei einer Abbildung von n:m-Beziehungen im Relationenmodell, ein weiterer Atomtyp neben dem Atomtyp Bauteil eingeführt. Die Generalisierungs- bzw. Spezialisierungsbeziehung ist im MAD-Modell nicht vorhanden und mußte daher auf eine einfache Beziehung zwischen Atomtypen abgebildet und durch die Anwendung gewartet werden. In der gewählten Abbildung muß für jede Ausprägung eines Atomtyps, der über einen varianten Beziehungstyp mit einem zweiten Atomtyp verbunden ist, auch eine Ausprägung des zweiten Atomtyps erzeugt werden, die über die definierte Beziehung der beiden Atomtypen im DB-Schema mit der ersten Ausprägung verbunden ist.

Wiederholtes Erzeugen eines Absatzes:

- (1) Benutzereingabe über Länge und Durchmesser eines Absatzes
- (2) Ist für den Absatz im Belastungsmodell eine Kräfteinleitungs- oder Lagerstelle vorgesehen?
- (1) Überprüfen von Bedingungen: Ist der Innen- bzw. Außendurchmesser in den vorgegebenen Grenzen

nach dem Erzeugen aller Absätze:

- (1) Prozedur zur Überprüfung der Festigkeit der Welle
- (1) Bestimmen der Gesamtlänge der Welle

Bild 10: Arbeitsschritte zum Grobentwurf einer Welle (vereinfacht)

Wir wollen nun unseren Ansatz zur Modellierung der Abhängigkeiten und deren Überprüfung anhand eines konkreten Beispiels vorstellen. Dazu betrachten wir den Entwurfsschritt zum Grobentwurf einer Welle, in dem ausgehend vom Belastungsmodell die grobe Aufteilung einer Welle in Absätze vorgenommen wird, für die Innen- und Außendurchmesser sowie eine Längenvorgabe festgelegt wird /Pa89/.

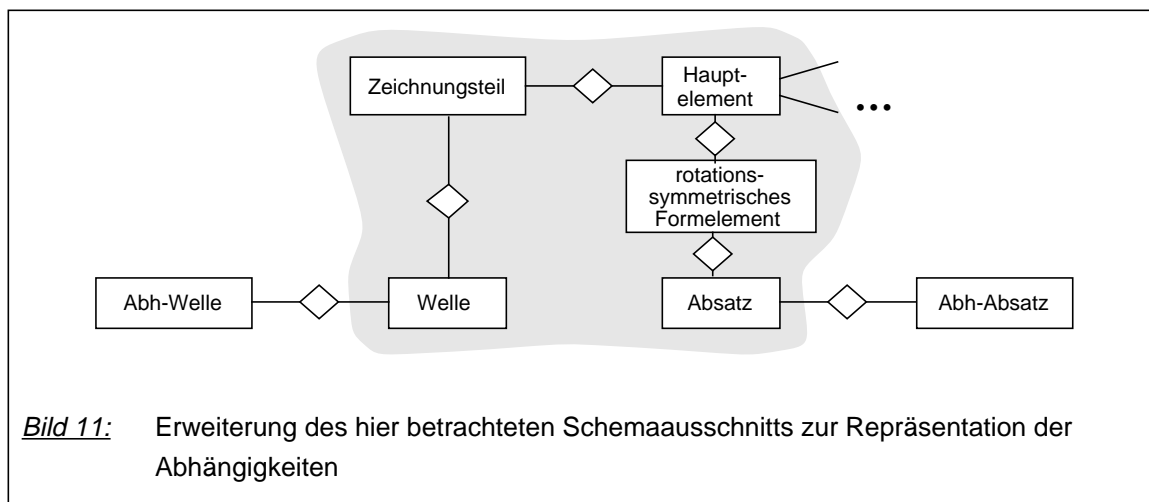


Bild 11: Erweiterung des hier betrachteten Schemaausschnitts zur Repräsentation der Abhängigkeiten

In Bild 10 sind die Arbeitsschritte zur Durchführung des Grobentwurfs vereinfacht aufgelistet. Als Abhängigkeiten werden in dem Beispiel das Belastungsschema, die logischen Bedingungen, die über dem Absatzdurchmesser definiert sind (sie lassen sich als Formeln beschreiben), eine Prozedur zur Festigkeitsüberprüfung sowie eine Bedingung zur Bestimmung der Gesamtlänge der Welle aufgeführt. Die Modellierung der Abhängigkeiten erfolgt nun über die in Bild 11 eingeführten Atomtypen Abh-
<techn. Elemente>. Dabei steht <techn. Elemente> für den Namen des zugehörigen technischen Elements. Dieser Atomtyp hat allgemeine, d.h. sämtlichen Typen zur Beschreibung der Abhängigkeiten

gemeinsame Attribute und spezielle Attribute zur Beschreibung der Abhängigkeiten des spezifischen technischen Elements. Zu den allgemeinen Attributen gehört ein Identifikator, Attribute zur Beschreibung der Methoden (vom Typ 'CODE', vgl. dazu /Mi88/) und der dazugehörigen Parameter sowie ein Attribut zur Repräsentation von Formeln bzw. Prädikaten (vom Typ 'LIST'). In dem Atomtyp Abh-Welle ist auch das Belastungsmodell dargestellt, wozu die speziellen Attribute Koordinate, Werkstoff, Lagerstelle, Kraft und Moment eingeführt werden.

Zur Überprüfung und Auswertung der Abhängigkeiten müssen diese während der Abarbeitung einer Operation aus der Datenbank gelesen werden. Eine Ausführung der Formeln, Prädikate und Methoden kann in unserem Fall nicht DB-seitig erfolgen, da das MAD-Modell derartige Operationen nicht vorsieht. Vielmehr muß eine Zusatzkomponente eingeführt werden, die die Datenversorgung und die Ausführung dieser Abhängigkeiten übernimmt. Hierzu existieren bislang jedoch nur konzeptionelle Überlegungen.

Eine Bewertung des hier vorgestellten Modellierungsansatzes führt zu zwei Kritikpunkten. Eine Einführung der Generalisierung in das Datenmodell würde die Modellierung in mehrfacher Hinsicht vereinfachen:

- Entlang den Objekten, die über einen varianten Beziehungstyp verknüpft sind, wäre eine Attributvererbung möglich.
- Durch die Einführung der Generalisierung ist eine explizite Trennung zwischen Klassen- und Instanzobjekten möglich. Dies hat zur Folge, daß für ein technisches Element (z.B. eine Paßfeder) genau eine Atomausprägung (nämlich als Instanz des Atomtyps Paßfeder) erzeugt wird.

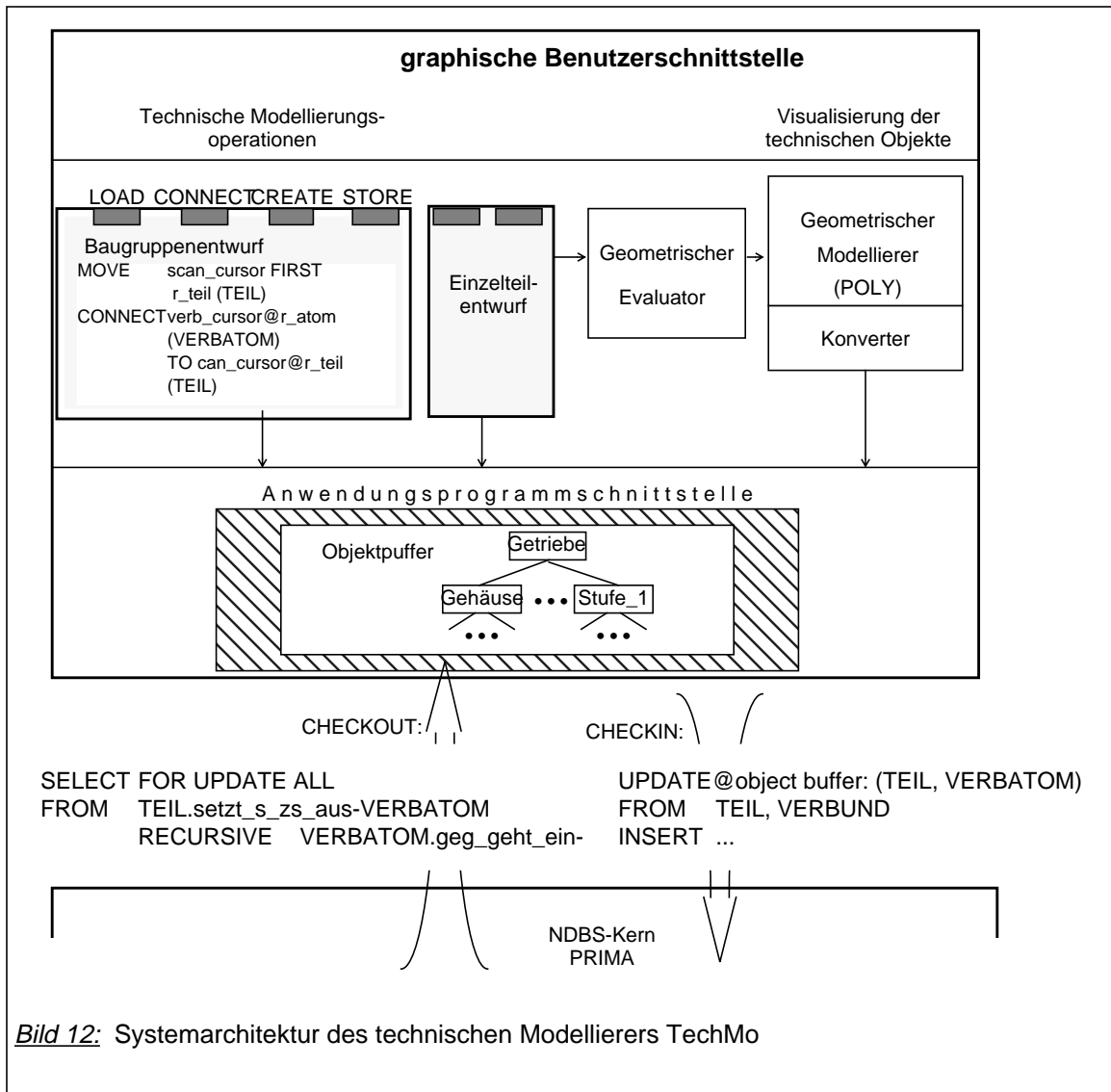
Die Modellierung der Abhängigkeiten geschieht hier über eigene Attribute bzw. über die Einführung weiterer Atomtypen. Damit ist eine adäquate Modellierung der Aufgabenstellung möglich. Eine Beschreibung der Formeln bzw. Prädikate in einem 'STRING'-Typ oder der Methoden über den Datentyp 'CODE' erlaubt zwar deren DB-seitige "Ablage", aber die Aktivierung bzw. Ausführung dieser Abhängigkeiten muß von einer Zusatzkomponente oberhalb der DBS-Schnittstelle organisiert werden.

5.2 Architektur des technischen Modellierers TechMo

Zur Durchführung der Konstruktion kann der Konstrukteur das Entwurfsobjekt nur über die an der Benutzerschnittstelle angebotenen technischen Operationen manipulieren. Zur Visualisierung des Entwurfsobjekts wird aus der technischen Objektstruktur intern ein geometrisches Modell aufgebaut. Das bedeutet, daß die geometrische Darstellung des Objektes an der Benutzerschnittstelle lediglich dazu dient, dem Entwerfer den aktuellen Objektzustand anzuzeigen, über diese Darstellung jedoch keine Änderungsoperationen ausgeführt werden können.

In TechMo werden Operationen für den Baugruppentwurf sowie für die Einzelteildetaillierung zur Konstruktion einer Welle angeboten. Die hierbei zu berücksichtigenden Abhängigkeiten werden ebenfalls erfaßt. Darüber hinausgehende Bedingungen zur vollständigen Durchführung der technischen Operation (etwa der Anschluß von Normteilkatalogen) werden in der Basisversion nicht erfüllt. Bild 12 zeigt die Systemarchitektur von TechMo.

Die Benutzerschnittstelle bildet den Zugang zu dem technischen Modellierer. Es wird eine graphische Oberfläche für den Baugruppentwurf und für die Einzelteildetaillierung angeboten. Die Oberfläche für den Baugruppentwurf enthält eine Operationsmenüleiste, eine Darstellung des Konstruktionsbaums, der im wesentlichen die aufgebaute Baugruppenstruktur repräsentiert sowie ein Ablagefenster, in dem Baugruppenstrukturen zwischengespeichert werden können. Die Oberfläche für die Einzelteildetaillie-



Das System sieht ebenfalls drei Arbeitsfenster vor. Im Konstruktionsbaum wird hier die aktuelle technische Objektstruktur repräsentiert. Dem Anwender stehen Bewegungs- und Zoom-Operationen zum Traversieren des Baumes zur Verfügung. Im Visualisierungsfenster wird das Entwurfsobjekt graphisch dargestellt. Für die gegenwärtige Prototypenanwendung wurde auf bestimmte Schnittdarstellungen, weitere Ansichten und ähnliches verzichtet. Im Menüfenster werden die zur Verfügung stehenden Operationen angeboten. Der Anwender kann über den Konstruktionsbaum ein technisches Objekt auswählen, auf dem eine Operation ausgeführt werden soll, und die neue geometrische Gestalt wird dann im Visualisierungsfenster dargestellt.

Zwei weitere Komponenten realisieren die eigentlichen Operationen für den Baugruppen- und Einzelteilentwurf. Für den Baugruppentwurf ist die Anbindung der Operationen an den NDBS-Kern genauer dargestellt. Über die Query-Sprache des MAD-Modells an der Kern-Schnittstelle wird der in den Objektpuffer einzulagernde Verarbeitungsgegenstand spezifiziert. Über die an der Anwendungsmodell-Schnittstelle angebotenen technischen Operationen wird dann der Baugruppentwurf durchgeführt und die internen Datenstrukturen im Objektpuffer aufgebaut. Nach Beendigung der Verarbeitung werden schließlich die Modifikationen in den NDBS-Kern PRIMA eingebracht.

Das Geometriemodell unseres Modellierers ist zweigeteilt: es besteht aus einer CSG-Struktur (Constructive Solid Geometry), aus der eine Begrenzungsflächendarstellung (BREP, Boundary Representation) abgeleitet werden kann /RV84/. Die Verwaltung und Handhabung der geometrischen Objektbeschreibung liegt im Aufgabengebiet des Geometriemodellierers POLY, einem Softwareprodukt der ETH Zürich /LM87/, der über einen Koppelbaustein (Konverter) an die zentrale Datenhaltung angeschlossen ist. Intern wird das Objekt in einer CSG- und einer BREP-Struktur abgelegt. Die Benutzerschnittstelle des geometrischen Modellierers ist ins Visualisierungsfenster integriert. Die interne 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 POLY-internen Objekt-Stacks, der über eine Reihe von Stack-Operationen mit geometrischen Objekten ver- bzw. entsorgt werden kann.

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. Desweiteren hat der geometrische Evaluator die Aufgabe, eine durch die technischen Operationen bewirkte Veränderung der Teilegeometrie unmittelbar auf der geometrischen Struktur nachzuvollziehen. Durch eine explizite Beschreibung der den technischen Basiselementen (Haupt-, Funktions- bzw. Nebenelemente) zugeordneten geometrischen Repräsentation sowie den durch die technischen Operationen bewirkten Änderungen einer Teilegeometrie kann die Aufgabe des geometrischen Evaluators sehr flexibel gelöst werden. Die Objekte im technischen Modell besitzen Parameter, die neben den technischen Eigenschaften ihre geometrische Gestalt bestimmen. Der geometrische Evaluator nutzt die geometrische Information und baut daraus eine geometrische Beschreibung auf. Aus pragmatischen Gründen (POLY besitzt eine CSG-Schnittstelle) ist diese als parametrisiertes CSG-Modell realisiert. Anhand einer aktuellen Parameterbelegung kann der geometrische Evaluator eine konkrete Teilegeometrie ableiten. Eine detaillierte Beschreibung dieser Komponente ist in /En90/ zu finden.

6. Zusammenfassung

In diesem Beitrag haben wir uns mit einem anwendungsorientierten Modellierungsverfahren zur Unterstützung des Konstruktionsprozesses, dem technischen Modellieren, und der Modellierung der dabei anfallenden Informationsstrukturen beschäftigt. Der vorgestellte Ansatz zeigt einen Zugang für eine durchgängige Entwurfsunterstützung und eine integrierte Produktdatenverwaltung auf, womit ein wesentlicher Schritt in Richtung der angestrebten CAD/CAP-Integration erreicht wird.

Das hier vorgestellte technische Modellieren unterstützt den Konstrukteur bei der Durchführung des Entwurfsprozesses durch Objekte und Operationen, die sich an den im Entwurfsvorgang vorherrschenden Objektstrukturen und Vorgehensweisen orientieren. Technisches Modellieren ermöglicht damit, die Beziehungen zwischen den Entwurfsobjekten und die Semantik des Entwurfsablaufs zu erfassen und dem Konstrukteur somit eine anwendungsspezifische Unterstützung zu bieten. Zur Beschreibung von Aspekten der Entwurfssemantik wurden die technisch funktionalen Abhängigkeiten eingeführt und deren Korrelation zum Konstruktionsprozeß an einem ausführlichen Entwurfsbeispiel dargestellt. Gleichzeitig wurden an dem Beispiel die vielfältigen heterogenen Typen von Abhängigkeiten deutlich. Schließlich haben wir einen Weg zur Modellierung des technischen Partialmodells sowie der technisch funktionalen Abhängigkeiten, die die Objekt- und Prozeßsemantik beschreiben und Bestandteil dieses Partialmodells sind, mittels eines strukturell objektorientierten DBS (dem PRIMA-System) aufgezeigt und die auftretenden Problempunkte beschrieben.

Das vorgestellte Modellierungssystem TechMo, das derzeit in einer Basisversion implementiert wird, bietet an seiner Benutzerschnittstelle anwendungsbezogene technische Operationen und Objekte zur Unterstützung des Baugruppentwurfs und zur Einzelteildetaillierung von rotations-symmetrischen Teilen (Wellen) an. TechMo ist auf einer DB-gestützten Datenverwaltung des technischen und geometrischen Partialmodells aufgebaut. Weiterführende Arbeiten werden sich mit einer Verbesserung des Konzepts zur Überprüfung der Abhängigkeiten bei der Durchführung einer technischen Operation sowie einer Anbindung der technologischen Fertigungsvorbereitung an den technischen Modellierer beschäftigen. Daneben werden wir eine vergleichende Bewertung zu anderen Modellierungsansätzen (insbesondere zu objektorientierten Systemen und Wissensbankverwaltungssystemen) durchführen.

Danksagung

Wir möchten unserem Kollegen, Herrn Dipl.-Inform. C. Hübel, für die intensiven Diskussionen während der Entwicklung des technischen Modellierers und Herrn Prof. Dr. T. Härder für die hilfreichen Anmerkungen während der Konzeption des Papiers danken.

7. Literatur

- AI90 Albert, G.: Konzeption und Realisierung von Operationen für den Baugruppen- und Einzelteilentwurf eines DB-gestützten technischen Modellierers, Diplomarbeit, Universität Kaiserslautern, 1990.
- AGPR88 Anderl, R., Grabowski, H., Pätzold, B., Rude, S.: The Development of Advanced Modeling Techniques - 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.
- An89 Anderl, R.: Integriertes Produktmodell, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung, Vol. 12, 1989.
- DHMS90 Deßloch, S., Hübel, C., Mattos, N., Sutter, B.: KBMS Support for Technical Modeling in Engineering Systems, in: Proc. of the third International Conf. on Industrial & Engineering Applications of Artificial Intelligence & Expert Systems, Vol. II, pp. 790-799, Charleston, SC, July 1990.
- 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.
- Eb84 Eberlein, W.: Architektur technischer Datenbanken für integrierte Ingenieursysteme, Dissertation, Erlangen, 1984.
- En90 Englesos, P.: Konzeption und Realisierung eines geometrischen Evaluators in dem Modellierer TechMo, Projektarbeit, Universität Kaiserslautern, 1990.
- Gr88 Grabowski, H.: Integrierte Produktmodelle als Basis intelligenter CAD-Systeme, Symposium "Erneuerung von Prozessoren und Erzeugnissen durch Schlüsseltechnologien", Magdeburg, 1988.
- Hä88 Härder, T. (ed.): The PRIMA-Project - Design and Implementation of a Non-Standard Database System, Forschungsbericht 26/88 des SFB 124, Universität Kaiserslautern, 1988.

- Hä89 Härdter, T.: Die Rolle von Datenbanksystemen in CIM; in: CIM-Management - Produkte, Strategien, Entscheidungshilfen 6/89, Oldenbourg-Verlag, 1989.
- HHMM88 Härdter, 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.
- HPS90 Hübel, Ch., Paul, R., Sutter, B.: Datenbank-gestützte technische Modellierung - ein Ansatz für die CAD/CAP-Integration; in: CIM-Management - Produkte, Strategien, Entscheidungshilfen 2/90, Oldenbourg-Verlag, 1990.
- HS89 Hübel, Ch., Sutter, B.: Aspekte der Datenbankanbindung in workstation-orientierten Ingenieur Anwendungen, in: Proc. der 19. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, München 1989.
- LM87 Loacker, H., Meier, A.: POLY - Computergeometrie für Informatiker und Ingenieure, McGraw-Hill, Hamburg, 1987.
- Mi88 Mitschang, B.: Eine Molekül-Atom-Datenmodell für Non-Standard-Anwendungen - Anwendungsanalyse, Datenmodellentwurf, Implementierung, Dissertation, Universität Kaiserslautern, 1988.
- Pa89 Paul, R.: Ein Beitrag zur Produktmodellierung einer abgegrenzten Objektklasse, Dissertation, Technische Universität Magdeburg, DDR, 1989.
- 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.
- SIAHL89 Spur, G., Imam, M., Armbrust, P., Hapter, J., Loske, P.: Baugruppenmodelle als Basis der Montage- und Layoutplanung, in: Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, Nr. 5, S. 232-237, München, 1989.
- We88 Wedekind, H.: Die Problematik des Computer Integrated Manufacturing (CIM) - Zu den Grundlagen eines strapazierten Begriffs, in: Informatik-Spektrum, Vol. 11, 1988, S.22-39.