

Ganzheitliche Modellierung von Fertigungsprozessen -

Ein erster Schritt bei der Konstruktion
unternehmensspezifischer Fertigungssteuerungssysteme

Wilhelm Dangelmaier

Winfried Felser¹

Universität-GH Paderborn

Heinz Nixdorf Institut

E-mail: {whdlwinfried}@hni.uni-paderborn.de

Zusammenfassung

Durch die unternehmensübergreifende Verwendung von Software-Bausteinen und ihre flexible, werkzeuguunterstützte Kombination können Fertigungssteuerungssysteme entwickelt werden, die an die unternehmensspezifischen Fertigungsprozesse und -strategien bestmöglich angepaßt sind und dabei gleichzeitig geringe Entwicklungskosten verursachen. Ein erster Schritt bei einer solchen Vorgehensweise der automatisierten Software-Konstruktion kann eine ganzheitliche Modellierung des Fertigungsprozesses sein. Das Ergebnis - ein Fertigungsprozeßmodell - läßt sich dann durch Zuweisung der notwendigen Steuerungsfunktionalität und einen nachfolgenden Generierungsprozeß in ein unternehmensindividuelles Fertigungssteuerungssystem transformieren. Im Rahmen dieses Fachbeitrags wird am Beispiel eines flexiblen Fertigungssystems dargestellt, wie eine solche ganzheitliche Fertigungsprozeßmodellierung systematisch durch die Analyse des Problems, die Wiederverwendung existierender Lösungen und die Anwendung von Heuristiken realisiert werden kann.

Schlüsselwörter: Fertigungssteuerung, Software-Konstruktion, Modellierung von Geschäftsprozessen, Objektorientierung, Wiederverwendung, Business Reengineering, Lean Production

1 Problematik

Die heutige Marktsituation mit ihrem zunehmenden Kostendruck und ihren hohen Anforderungen an die Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit der Unternehmen erfordert Fertigungssteuerungssysteme, die bestmöglich an die unternehmensspezifischen Fertigungsprozesse und -strategien angepaßt sind und dabei gleichzeitig geringe

1. Diese Arbeit wird im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs "Parallele Rechnernetzwerke in der Produktionstechnik", ME 872/4, gefördert

Entwicklungskosten verursachen [Dal/90]. Diese beiden konfliktären Ziele werden von existierenden Software-Entwicklungsansätzen nur eingeschränkt in Einklang gebracht. Die Unternehmen stehen heute im wesentlichen vor der Alternative, entweder Fertigungssteuerungssysteme selbst zu programmieren und die damit verbundenen hohen Entwicklungskosten zu akzeptieren oder Standardsoftware einzukaufen und die eingeschränkten Adaptionmöglichkeiten in Kauf zu nehmen [Ha/Ho/93].

Wünschenswert wäre hingegen ein Software-Entwicklungsansatz, der dieses softwaretechnologische Dilemma der Fertigungssteuerung überwindet, indem er die Vorteile der beiden Ansätze "Programmieren" und "Adaptieren" kombiniert und ihre Nachteile weitgehend vermeidet. Bei der automatisierten Software-Konstruktion wird wie bei Standardsoftware durch die unternehmensübergreifende Wiederverwendung eine kostengünstige Systementwicklung ermöglicht. Dadurch, daß beim "Konstruieren" aber nicht monolithische Programme als Ganzes, sondern flexibel kombinierbare und adaptierbare Bausteine wiederverwendet werden, können Fertigungssteuerungssysteme entwickelt werden, die weitgehend auf die unternehmensspezifischen Fertigungsprozesse und -strategien zugeschnitten sind.

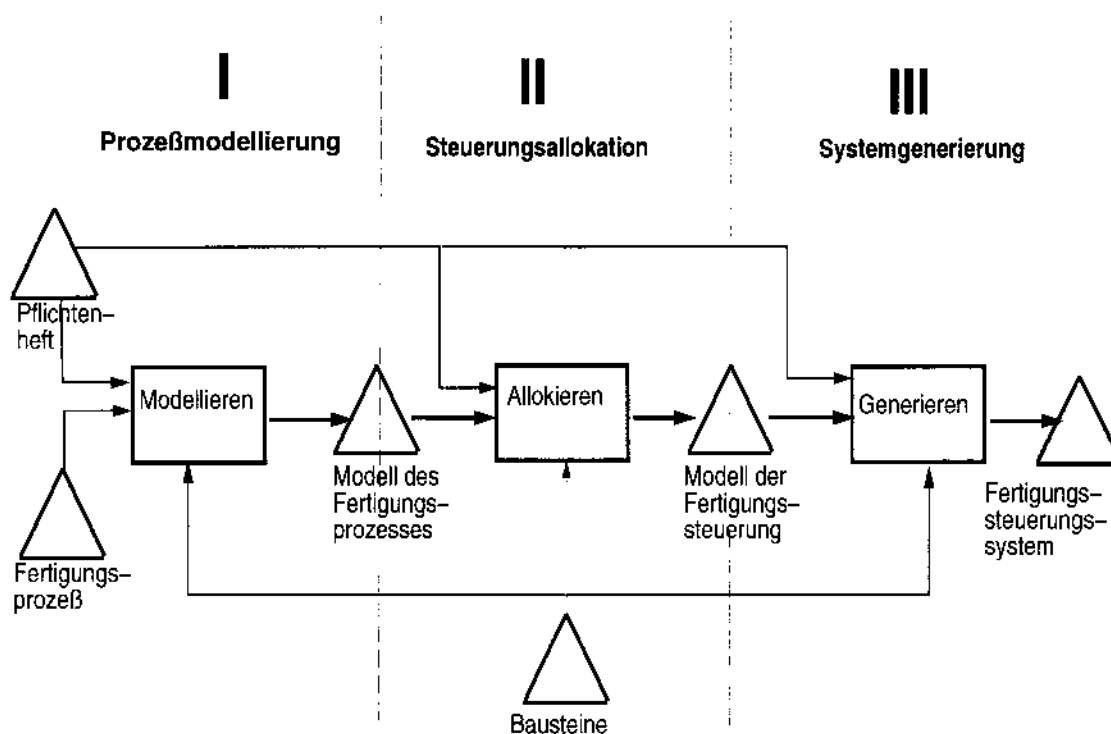


Abbildung 1: Entwicklungsprozeß

Eine mögliche Basis für eine solche Vorgehensweise kann ein ganzheitlicher Modellierungsansatz für Fertigungsprozesse und Fertigungssteuerungen sein, wie er z.B. durch das in [Da/Wi/93] beschriebene Modell der Fertigungssteuerung (MFST²) gegeben ist.

2. Das MFST stellt einen generischen, prozeßkettenbasierten und objektorientierten Modellierungsansatz dar, der zur Zeit im Rahmen der DIN-Normungsaktivitäten entwickelt wird und auch in die internationale Normung eingebracht werden soll.

Die Systementwicklung kann dann - wie in Abbildung 1 dargestellt - im wesentlichen als dreistufiger Prozeß realisiert werden. Ausgehend von einem gegebenen Fertigungsprozeß und einer Spezifikation der gewünschten Steuerungsziele, z.B. in Form eines Pflichtenheftes, entsteht im ersten Schritt ein Modell des unternehmensspezifischen Fertigungsprozesses inklusive aller Fertigungsobjekte (I. Prozeßmodellierung). Durch die Analyse dieses Modells und somit durch die Analyse des Fertigungsprozesses sowie durch die Analyse der gewünschten Steuerungsziele wird im zweiten Schritt die für die unternehmensspezifischen Gegebenheiten geeignete Steuerungsfunktionalität identifiziert und den Komponenten des Modells zugewiesen (II. Steuerungsallokation). In einem dritten Schritt wird das so erstellte Modell der Fertigungssteuerung automatisch in ein Fertigungssteuerungssystem transformiert (III. Systemgenerierung). In diesem Fachbeitrag wird vor allem der erste Schritt, die Prozeßmodellierung, betrachtet und aufgezeigt, wie sie sich systematisch durch Problemanalyse, Wiederverwendung existierender Lösungen und Anwendung geeigneter Heuristiken realisieren läßt.

2 Existierende Arbeiten

Die Idee, Modelle von Geschäftsprozessen an den Anfang der Systementwicklung zu stellen, ist keineswegs neu. So ist die Prozeßmodellierung auch ein wesentlicher Vorgang bei alternativen Software-Entwicklungsmethoden. Zu den bekanntesten Methoden im Bereich betrieblicher Informationssysteme gehören das von Scheer entwickelte ARIS-Konzept (Architektur integrierter Informationssysteme) [Sche/92], die SOM-Methode von Ferstl und Sinz [Fe/Si/93] und die auf GRAPES-86 basierende OO-Grapes-Methode des EMSC [Gü/Ha/Mr/Ra/92].

Von diesen Ansätzen unterscheidet sich die hier vorgestellte Prozeßmodellierung vor allem in zweierlei Hinsicht. Erstens sind sowohl Modellierungsansatz als auch Vorgehensmodell speziell auf die Notwendigkeiten der Fertigungssteuerung zugeschnitten. Daraus ergibt sich zwar einerseits eine Einschränkung des Anwendungsbereiches, andererseits kann dadurch aber gleichzeitig auch eine wesentlich weitergehende methodische Unterstützung des Modellierungsprozesses erreicht werden. Während alternative Ansätze sich häufig darauf beschränken müssen, deklarativ zu formulieren, was zu modellieren ist, kann durch die Spezialisierung auf die Fertigungssteuerung auch das wie wesentlich detaillierter geklärt werden.

Zweitens unterscheidet sich der Entwicklungsprozeß, der auf die Geschäftsprozeßmodellierung folgt, ganz entscheidend von dem bei alternativen Ansätzen. Bei ARIS, SOM und OO-Grapes folgt auf die Prozeßmodellierung eine Systementwicklung im konventionellen Sinne. Die MFST-basierte Methode ist hingegen eine Methode der automatisierten Software-Konstruktion. Nach der Prozeßmodellierung wird Software nicht entwickelt, sondern nur allokiert. Den spezifischen Anforderungen dieses nachfolgenden Allokationsvorgangs müssen Fertigungsprozeßmodell und -modellierung genügen. So

wird das Modell des "statischen" Fertigungsprozesses normalerweise um Angaben über die Dynamik des Fertigungsprozesses (Zeitmodell) ergänzt, um so die nachfolgende Selektion geeigneter Funktionalität zu unterstützen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit soll aber hier nicht darauf eingegangen werden.

3 Das MFST

Aber auch ohne die Beschreibung dieser Dynamik sind die Anforderungen an einen Modellierungsansatz, der für ein solches Vorgehen genutzt werden soll, sehr hoch. Es müssen sämtliche relevanten Aspekte des Fertigungsprozesses und der Fertigungssteuerung (Informationsobjekte, Prozeßketten, Steuerungslogik, Anbindung an die Realwelt etc.) modellierbar sein. Dies ist für das MFST der Fall, während herkömmliche Modellierungsansätze wie SA, ERM oder Petri-Netze (die bei alternativen Software-Entwicklungsmethoden eingesetzt werden) nur partielle Sichten beschreiben.

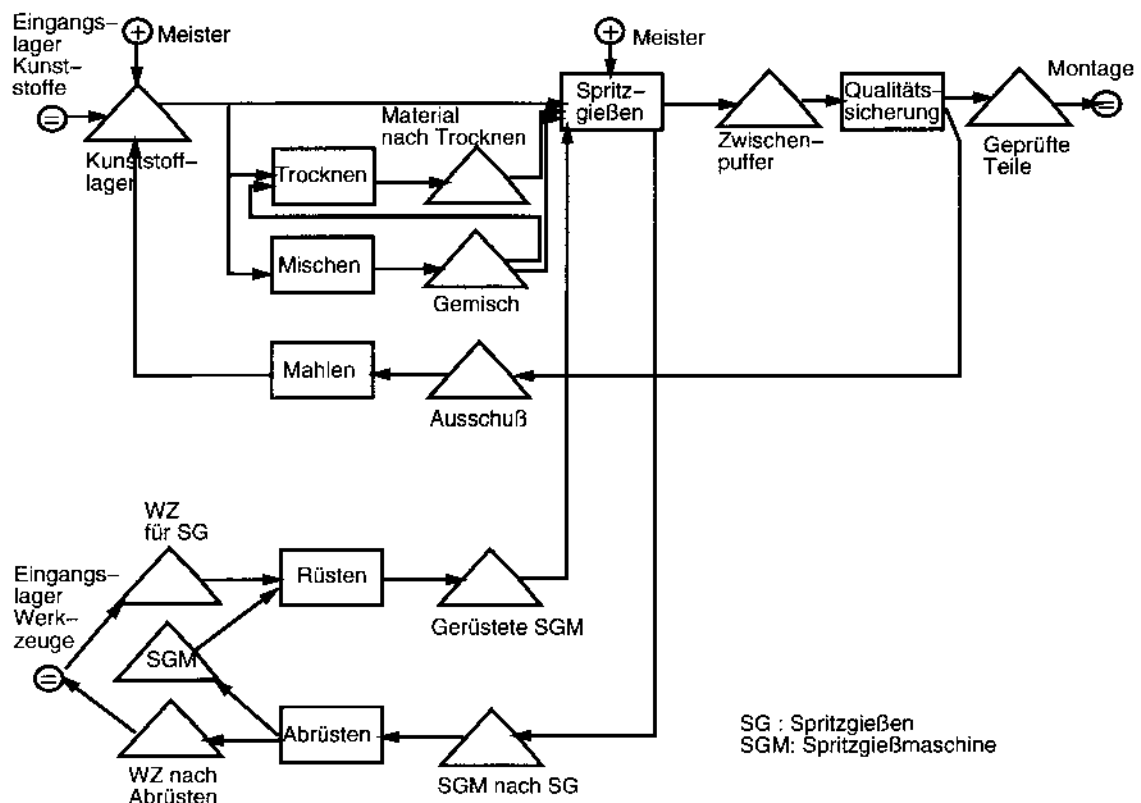


Abbildung 2: Fertigungsprozessmodell einer Spritzgießfertigung

Die Grundidee des MFST ist die Darstellung des für die Steuerung relevanten Teils des Fertigungsprozesses entsprechend dem Materialfluß und der schrittweisen Transformation des Materials durch Fertigungsteilprozesse. Die Fertigung wird im ersten Schritt als eine Menge von Knoten modelliert, die jeweils Fertigungsobjektklassen (kurz: FST-Objektklassen, z.B. Kunststoffgranulat vor dem Spritzgießen) und Fertigungsvorgangsklassen (kurz: FST-Vorgangsklassen, z.B. Spritzgießen) repräsentieren (siehe Abbildung 2). Knoten für Fertigungsobjektklassen werden als Dreiecke und Knoten für Fertigungs-

vorgangsklassen als Vierecke dargestellt. Diese Knoten sind durch gerichtete Kanten verbunden, die die Ablafrichtung des Fertigungsprozesses wiedergeben. Während das Gesamtmodell also die Transformationen von den Ausgangsmaterialien hin zu den Produkten beschreibt, repräsentieren die einzelnen Knoten - vereinfacht dargestellt - jeweils die verschiedenen Zustände des Materials innerhalb der Transformation (Dreiecke) und die verschiedenen Zustandsübergänge (Vierecke). Die Knoten sind aber nicht nur Repräsentanten der Fertigungsobjektklassen und -vorgangsklassen, sondern nehmen darüber hinaus alle für die Steuerung und Planung des Fertigungsprozesses relevanten Informationen wie z.B Bestand- und Zeitrestriktionen auf.

Die Steuerungsfunktionalität eines Modells wird nun ähnlich wie bei Denerts "Sachbearbeiter"-Ansatz [De/91] realisiert, indem jedem Knoten des Modells ein "Lokaler Manager" und eine Menge von lokalen Funktionen zugeordnet wird (Anthropomorphisierung). Die lokalen Funktionen aller Knoten bilden zusammen mit einem "Globalen Manager" die Fertigungssteuerung eines Systems. So wird aus dem Modell des Fertigungsprozesses durch Allokation von Steuerungsfunktionalität ein Modell der Fertigungssteuerung.

Weitere wesentliche Konzepte des MFSTs sind daneben Submodelle und Schnittstellen. Submodelle kapseln zusammengehörige Teile eines Modells, wobei über sogenannte Schnittstellen mit hierarchisch unter- und übergeordneten sowie nebengeordneten Systemen kommuniziert werden kann. Die unterste Ebene der Modellhierarchie bildet das reale System bzw. der reale Fertigungsprozeß. Das MFST bildet somit eine Möglichkeit, nicht nur Fertigungsprozesse zu modellieren, sondern auch unterschiedliche Ebenen der Fertigungssteuerung und -planung (PPS, Leitstände, CAM, DNC) und Bereiche (Montage, Fertigung, Versand) systematisch zu strukturieren und vertikal und horizontal zu integrieren.

Das Beispiel in Abbildung 2 gibt einen Teil einer Spritzgießfertigung wieder, wie es in [Da/Schn/Ge/93] als erste Studie im Rahmen einer Systemanalyse erstellt wurde. Relevante Fertigungsobjektklassen des Produktionsprozesses sind u.a. die Kunststoffe vor der Spritzgießfertigung oder die Kunststoffe nach dem Trocknen. Vorgangsklassen sind u.a. die verschiedenen Vorgänge zum Mischen der Kunststoffe und das Rüsten der Maschine. Nicht wiedergegeben sind hingegen die steuerungsrelevanten Informationen eines jeden Knotens und seine Steuerungs- und Planungsfunktionalitäten. Sie werden ausführlich in [Da/Schn/Ge/93] beschrieben.

4 Fertigungsprozeßmodellierung

Bei diesem Beispiel war der Erstellungsprozeß noch relativ einfach, da es eine verhältnismäßig geringe Komplexität aufwies. Oft wird aber bei einer Modellierung von Fertigungsprozessen eine derartige Komplexität erreicht, daß eine methodische Unterstützung des Modellierungsvorgang notwendig wird.

4.1

Ein Modell des inkrementellen Problemlösens

In Abbildung 3 ist nun ein generisches Modell des inkrementellen Problemlösens dargestellt, das auf gestaltpsychologische Arbeiten zur Kreativität und zum Problemlösen, insbesondere von Wallas und Polya, beruht (vgl. hierzu z.B. [Po/80]). Das Modell strukturiert das Problemlösen der Stufe N in die Teilvorgänge Analyse, Wiederverwendung, Erweitern und Evaluieren/Revidieren.

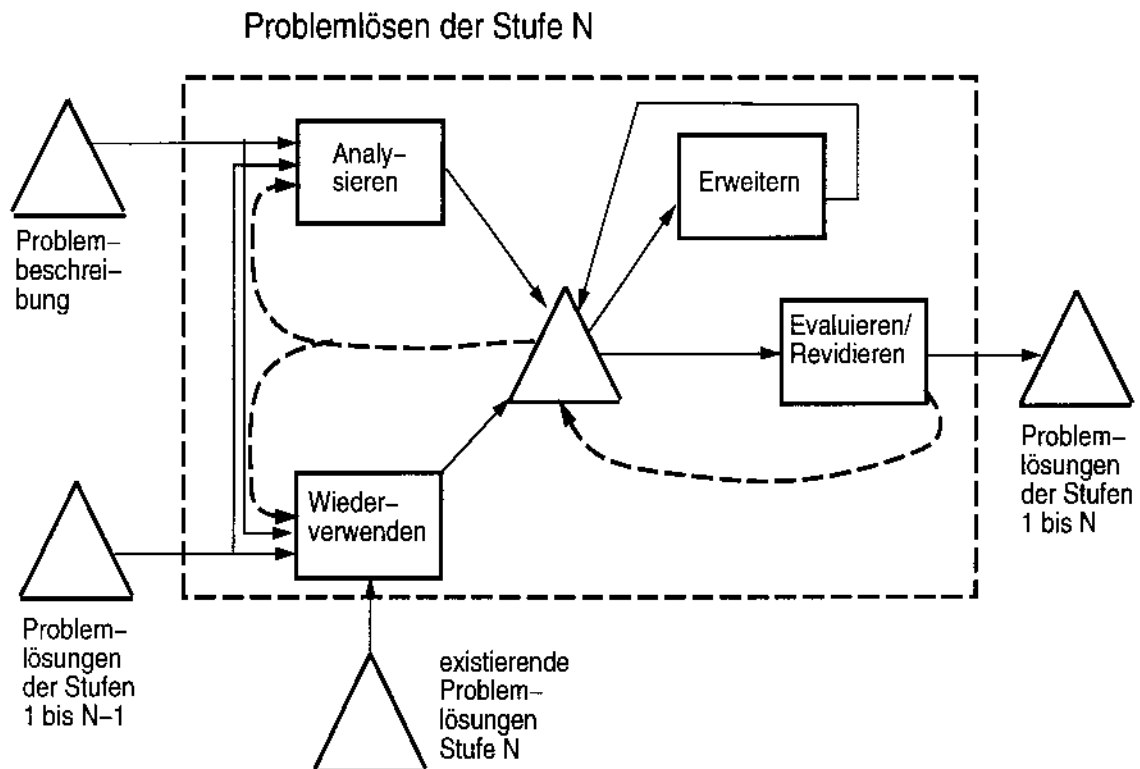


Abbildung 3: Generisches Modell des inkrementellen Problemlösens

Bei der Analyse wird einerseits versucht, aus den bereits entwickelten Problemlösungen der vorherigen Stufen 1 bis N-1 und der Problembeschreibung erste Lösungsansätze zu generieren. Daneben geht es andererseits darum, dem Problemlösungsprozeß in gestaltpsychologischen Sinne eine “Richtung” zu verleihen, d.h. zu klären, was genau das zu lösende Problem ist. Bei der Wiederverwendung wird versucht das gegebene Problem auf existierende Problemlösungen zu reduzieren. Dort, wo sich durch Analyse und Wiederverwendung keine vollständigen Problemlösungen ergeben, werden gegebenenfalls problemspezifische Heuristiken angewandt, um die Problemlösung zu erweitern. Die so erweiterten Problemlösungen werden dann laufend anhand gegebener Kriterien evaluiert und revidiert.

Dieses generische Submodell des inkrementellen Problemlösens kann nun für die Prozeßmodellierung spezialisiert und so genutzt werden, um den Vorgangsknoten “Modellieren” in Abbildung 1 zu verfeinern.

4.2 Ein Beispiel

Am Beispiel eines flexiblen Fertigungssystems zur Herstellung von Zahnrädern aus Rohlingen [Si/87] soll dies verdeutlicht werden. In Abbildung 4 ist die maschinentechnische Konfiguration wiedergegeben. Das System besteht aus drei Paaren funktionsgleicher Maschinen (D1, D2 = Drehmaschinen, S1, S2 = Schleifmaschinen, Z1, Z2 = Verzahnungsmaschinen), einem Roboter und einem Puffer sowie einem Eingangs- und Ausgangslager. Dieses Beispiel wird nun als Ausgangspunkt der nachfolgenden Prozeßmodellierung genutzt, weil es sämtliche wesentlichen Aspekte eines möglichen Fertigungsprozeßmodells beinhaltet (Schnittstellen zu über-, unter- und nebengeordneten Systemen, Bearbeitungs- und Transportvorgänge, Betriebsmittel etc.).

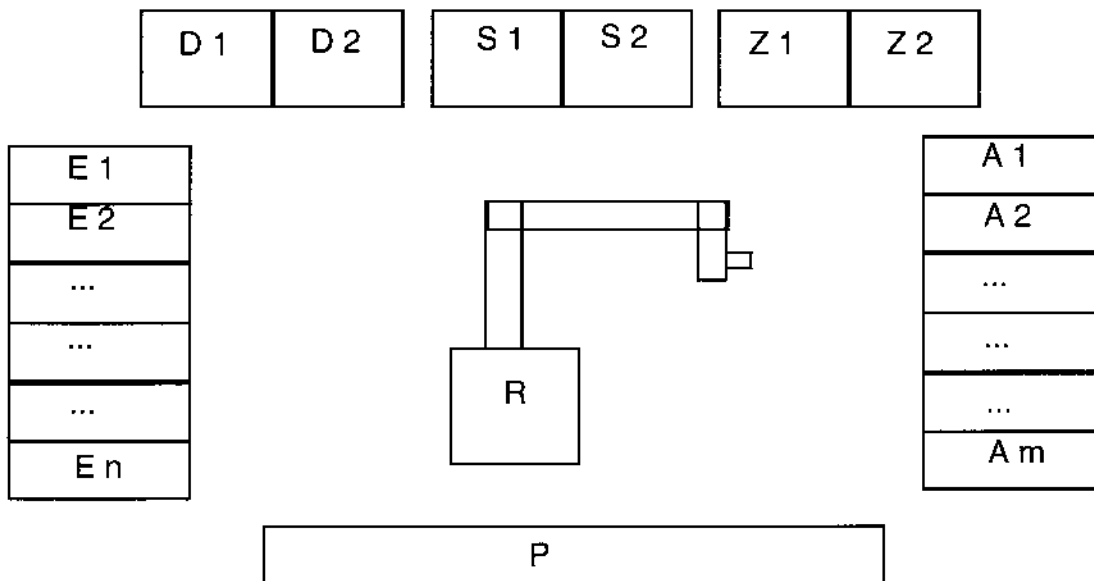


Abbildung 4: Ein flexibles Fertigungssystem

4.3 Analyse

Wie beim Problemlösen im allgemeinen ist auch bei der Fertigungsprozeßmodellierung im speziellen zuerst die "Richtung" der Problemlösung festzulegen bzw. aus dem Pflichtenheft abzuleiten. Zuerst sind drei Größen zu spezifizieren: die Modelltiefe, die Modellweite und die Modellgenauigkeit.

Die Modellweite und die Modelltiefe legen den zu modellierenden Teil eines Fertigungsprozesses fest, wobei die Modelltiefe beschreibt, welche Prozeßketten bzw. welche Produkte zu modellieren sind, und die Modellweite angibt, von welchem initialen bis zu welchem finalen Zustand die Prozeßketten betrachtet werden müssen. Hinweise auf diese Größen im Pflichtenheft sind für die Modellweite Angaben zu Anfangs- und Endzuständen von Teilen (Rohling, Zahnrad), Angabe von Funktionsbereichen (Montage, Fertigung) und organisatorischen Einheiten (Fertigungszelle) oder Schnittstellen zu umliegenden Systemen. Für die Modelltiefe werden die zu modellierenden Prozeßketten

bzw. Produkte zumeist explizit im Pflichtenheft beschrieben.

Die Modellgenauigkeit festzulegen, ist schwieriger, da sie oft nicht explizit im Pflichtenheft genannt wird, sondern aus den dort vorhandenen Informationen, insbesondere aus den Steuerungszielen und den über- und untergeordneten Systemen abgeleitet werden muß. Die Modellgenauigkeit läßt sich weiter in Abstraktionsebene, Aspektrelevanz und zulässige Unschärfe unterteilen. Bei der Abstraktionsebene ist oft die in [Sche/90] aufgeführte Unterscheidung der Funktionsebenen einer Logistikkette in Betriebs-, Betriebsbereichs-, Fertigungsbereichs- und Betriebsmittelebene hilfreich. Eine Einordnung in eine dieser Kategorien kann dann z.B. entscheiden helfen, ob die zwei Drehmaschinen des flexiblen Fertigungssystems jeweils als Netz (Betriebsmittelebene), als Knoten (Fertigungsbereichsebene) oder als 2 Objekte (Betriebssebene) modelliert werden müssen. Hilfreich ist dabei vor allem, daß in [Sche/90] für jede der Unternehmensebenen die Ergebnisse der Planungs- und Steuerungsfunktionalität genannt werden (Fertigungsaufträge, terminierte Arbeitsgänge, Steueranweisungen an Betriebsmittelkomponenten). Sie vereinfachen so die Einordnung in eine der genannten Kategorien, weil in Pflichtenheften oft die an die untere Ebene weiterzugebenen Planungs- und Steuerungsergebnisse explizit genannt werden. Bei der Aspektrelevanz und der zulässigen Unschärfe ist zu entscheiden, welche Komponenten eines Fertigungsprozesses modelliert werden müssen und wie genau dies zu geschehen hat. Sind z.B. Betriebsmittel- und Werkzeugkapazitäten unbegrenzt vorhanden, so müssen sie nicht beachtet werden. Sind Bearbeitungszeiten relativ unabhängig von vorherigen Beanspruchungen der Betriebsmittel (bezüglich der gewünschten Planungs- und Steuerungsgenauigkeit!!!), so können sie als konstant modelliert werden.

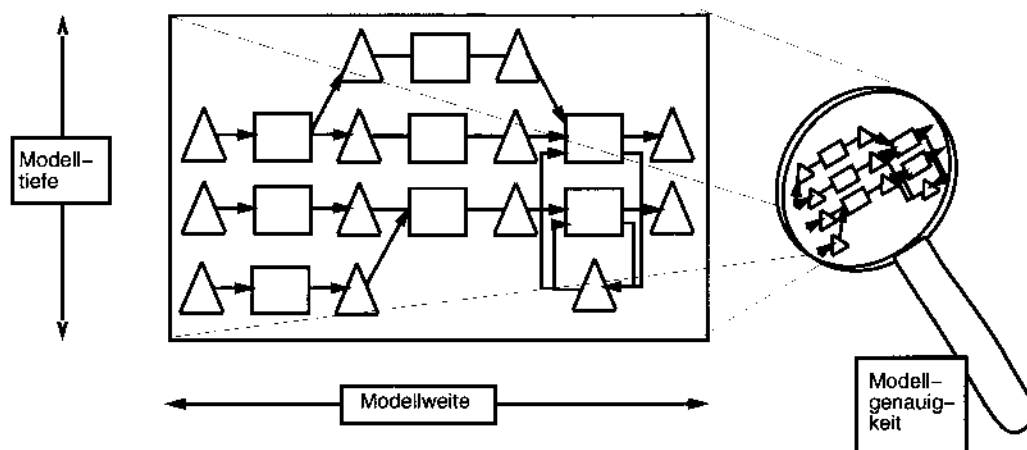


Abbildung 5: Modellweite, -tiefe und -genauigkeit

Für das gewählte Beispiel zeigt die Analyse des Pflichtenheftes, daß nur die Vorgänge innerhalb des Bearbeitungssystems zu beachten sind (Modellweite). Die Modellierung erfolgt auf Fertigungsbereichsebene, da die Maschinen autonome Steuerungen besitzen und über Transportaufträge und NC-Programme gesteuert werden (Abstraktionsebene).

Da die Ressourcen beschränkt sind, müssen sie bei der Modellierung beachtet werden (Aspektrelevanz), wobei Bearbeitungszeiten als konstant angenommen werden können (zulässige Unschärfe).

Die Analyse des Pflichtenheftes kann aber nicht nur für die Richtungsgebung, sondern auch bei der Ableitung erster Modellierungsergebnisse hilfreich sein. Ähnlich wie bei Abotts Methode [Ab/83] kann eine Textanalyse des Pflichtenheftes zur Identifikation erster Modellkomponenten führen. Unterstützt durch einen fertigungssteuerungsspezifischen Thesaurus wird das Pflichtenheft systematisch auf Angaben zu Materialien, Vorgängen, Betriebsmitteln und Schnittstellen, sonstigen Ressourcen, Orten und Zustände sowie Beziehungen zwischen diesen Elementen untersucht. Eine Tabelle der so extrahierten Begriffe kann dann nach Beseitigung von Synonymen und Homonymen für eine erste Skizze des Prozeßmodells genutzt werden, wobei es zumeist am einfachsten ist, die gefundenen Elemente entsprechend dem Materialfluß und der schrittweisen Transformation von links nach rechts zu positionieren.

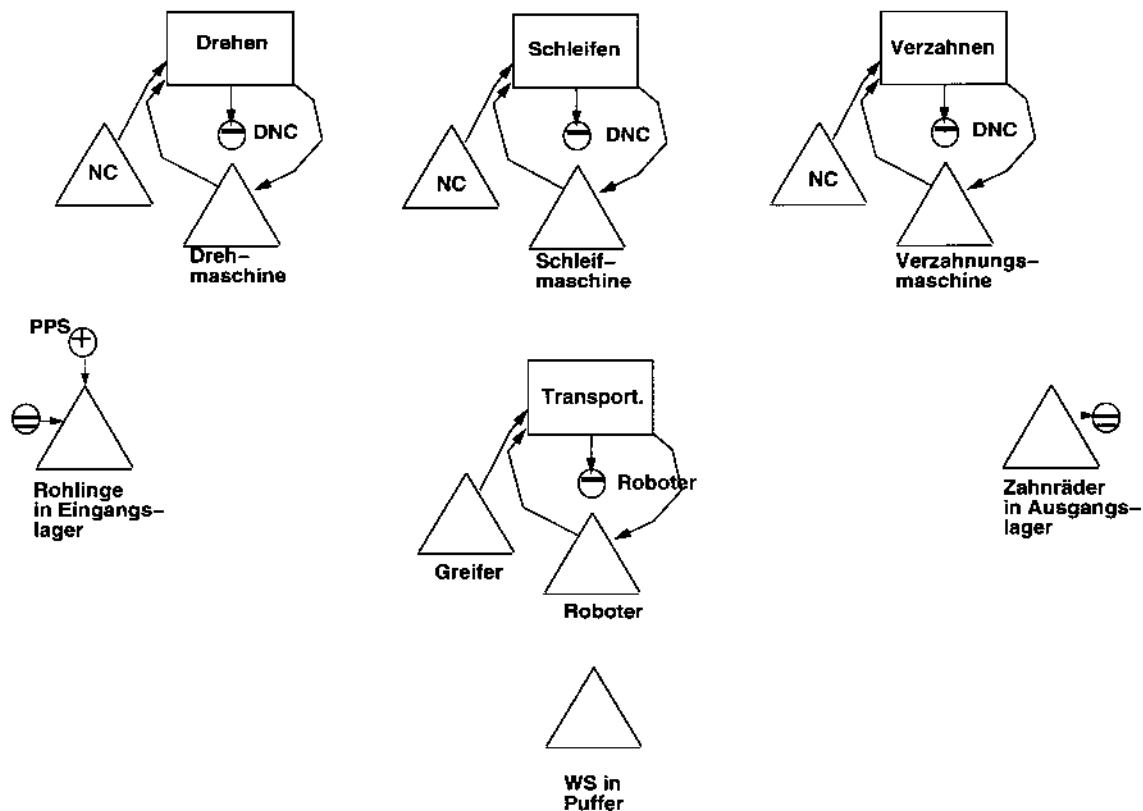


Abbildung 6: Initiales MFST-Modell des flexiblen Fertigungssystems

Für das Fertigungssystem erhalten wir z.B. als Materialangaben Rohling und Zahnrad, als Vorgänge Drehen, Schleifen und Verzahnen und als Ressourcen u.a. Drehmaschinen, Greifer, Roboter und NC-Programm, wobei Schnittstellen zum Roboter und zu den verschiedenen Maschinen über ein DNC-System gegeben sind. In Abbildung 6 ist das so durch die Analyse des Ausgangsdokuments entstandene initiale Modell wiedergegeben.

4.4 Wiederverwendung

Neben der Analyse spielt dann vor allem die systematische Wiederverwendung beim Erstellen des Prozeßmodells eine große Rolle. In bezug auf die Art ihrer Wiederverwendung kann zwischen Primär- und Sekundärdokumenten (bzw. -bausteinen) unterschieden werden.

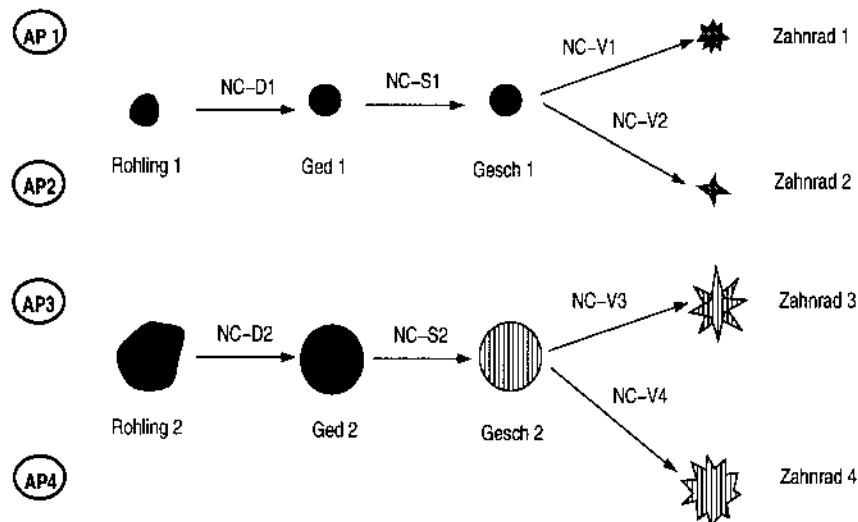


Abbildung 7: Arbeitspläne für vier Zahnräder

Bei Primärdokumenten sind die Fertigungsprozesse bereits als MFST-Modell gegeben, so daß keine Transformation zu erfolgen hat. Hier ist zum einen an die unternehmensinterne Verwendung ähnlicher Modelle zu denken. Zum anderen können aber auch unternehmensübergreifend Referenzmodelle genutzt werden, die dann jeweils an die unternehmensspezifischen Gegebenheiten anzupassen sind. Da mit EXPRESS-P [Fe/Mü/94] eine Sprache gegeben ist, die es erlaubt, derartige MFST-Modelle textuell zu spezifizieren und unternehmensübergreifend auszutauschen, kann derartige "Designware" in Zukunft eine wesentliche Rolle bei der Systementwicklung spielen. EXPRESS-P erlaubt zudem die Spezialisierung und Generalisierung derartiger Modelle, so daß - ähnlich wie es von CIM-OSA angedacht wurde - aufeinanderaufbauende Hierarchien branchenübergreifender, branchenspezifischer und unternehmensspezifischer Modelle entwickelt werden können.

Bei Sekundärdokumenten sind Fertigungsprozesse nicht als MFST-Modelle, sondern in einer Form gegeben, die eine vorherige Transformation notwendig macht. So beschreiben z.B. Arbeitspläne und Stücklisten partielle Sichten auf den Fertigungsprozeß, wobei Stücklisten die Objekte einer Fertigung und Arbeitspläne die Vorgänge (Arbeitsgänge) wiedergeben. Zwar müssen derartige Sekundärbausteine transformiert werden, dafür spiegeln sie aber anders als Referenzmodelle unternehmensspezifische Gegebenheiten unmittelbar wieder, so daß eine diesbezügliche Adaption unnötig ist. Zudem können vielfach, z.B. auch bei Arbeitsplänen und Stücklisten, die Transformationen in MFST-Teilmodelle automatisiert werden, und nur die Integration von derartigen Teilmodellen

in ein Gesamtmodell erfordert geringfügige manuelle Eingriffe. Neben Stücklisten und Arbeitsplänen können eine Vielzahl anderer Unterlagen wie Simulationsmodelle, Ablaufdiagramme, Maschinenkonfigurations- und Fabriklayoutpläne genutzt werden. Im Beispiel von Sinz sind für jedes Werkstück Arbeitspläne gegeben. Jeder Arbeitsplan beschreibt eine Folge von Bearbeitungs- und Transportvorgängen zusammen mit den nötigen Greifertypen und NC-Programmen. Abbildung 7 deutet derartige Arbeitspläne für 4 Arten von Zahnrädern an. Ihre Integration soll aber erst im nächstem Kapitel nach einer vorherigen Erweiterung des Modells durchgeführt werden.

4.5 Systematisches Erweitern

Analyse und Wiederverwendung reichen in der Regel nicht aus, um ein vollständiges Modell zu erstellen. Wie bei der Unternehmensdatenmodellierung [Sche/88] können aber auch bei der Prozeßmodellierung Konstruktionsoperatoren genutzt werden, um aus vorhandenen Modellelementen weitere systematisch abzuleiten.

Principle of Correlates	Principle of Relation
<p>1. Intrakategoriale Beziehungen 1.1. Dekomposition/Komposition</p>	<p>1. Intrakategoriale Kombinationen</p>
<p>besteht aus</p>	<p>2. Interkategoriale Kombinationen</p>
<p>1.2. Spezialisierung/Generalisierung</p>	
<p>2. Interkategoriale Beziehungen</p>	

Tabelle 1: Konstruktionsoperatoren für die Modellerweiterung

Gerade dabei kommt dem Modellierer die ganzheitliche Sicht des MFST zugute, weil Informationen zu einem Aspekt des Fertigungsprozesses Informationen zu anderen induzieren. Letztendlich liegen dieser "Modellexpansion" Speamans neogenetischen Prozesse der Kreativität zugrunde [Spe/31]. Modellelemente mit Beziehungen konfrontiert, lassen den Modellierer bei genügendem Fachwissen neue Modellelemente erkennen ("Principle of Correlates"), Modellelemente in Kombination betrachtet führen dazu, daß die Beziehung zwischen diesen Elementen und mittelbar weitere relevante Modellelemente bewußt werden ("Principle of Relation"). Da es bei den generischen Modellelementkategorien (Vorgänge, Betriebsmittel, Schnittstellen etc.) nur endlich viele generische Beziehungen (z.B. Material "wird verändert durch" Vorgang) und endlich viele sinnvolle Kombinationen von Elementen gibt (z.B. Material und Betriebsmittel führen zum Erkennen der zugehörigen Vorgänge), können diese aufgelistet und systematisch bei Bedarf angewandt werden. Ein erfahrener Modellierer wird dies, ohne das es ihm bewußt ist, sowieso tun, um so sein Modell zu vervollständigen. .

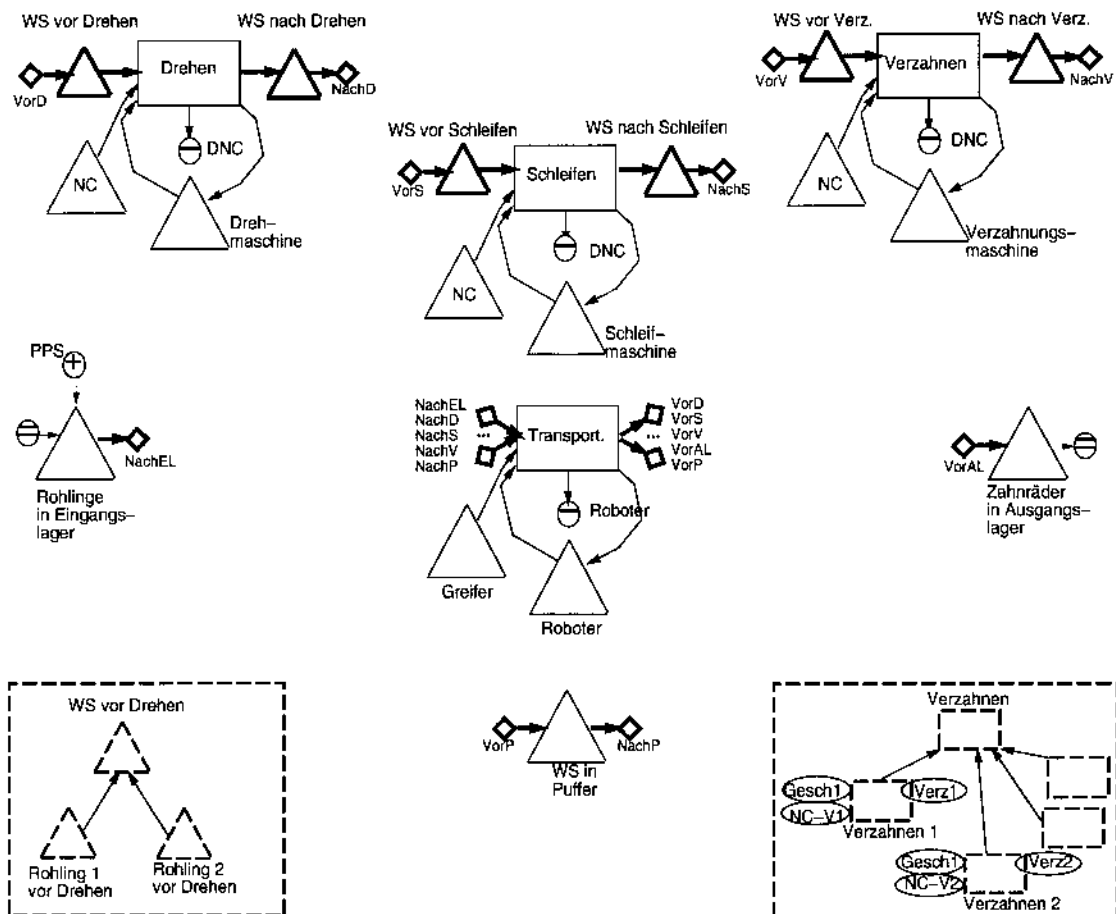


Abbildung 8: Erweitertes MFST-Modell des flexiblen Fertigungssystems

In Tabelle 1 ist eine Liste einiger, exemplarischer Konstruktionsoperatoren wiedergegeben. Normalerweise werden diese Konstruktionsoperatoren nur bei Bedarf angewandt, um ein Modell zu vervollständigen. Sind hingegen nur wenige Informationen im Pflichtenheft oder als wiederverwendbare Dokumente gegeben, so können Konstruktionsope-

ratoren genutzt werden, um ausgehend von den zu betrachtenden Fertigungsobjekten systematisch das komplette Prozeßmodell herzuleiten. Dabei wird zuerst der Lebenszyklus der Fertigungsobjekte im modellrelevanten Bereich betrachtet (welche Zustände durchläuft das Objekt) und im zweiten Schritt werden die Vorgänge identifiziert, die die Zustandsänderungen verursachen. Zuletzt werden die für die Vorgänge notwendigen Ressourcen sowie Schnittstellen zu unterliegenden Systemen betrachtet

Wenden wir die Konstruktionsoperatoren auf das initiale Modell in Abbildung 6 an, dann erhalten wir das erweiterte Fertigungsprozeßmodell in Abbildung 8. Die dickumrandeten Modellelemente sind dabei neu konstruiert worden.

Die gestrichelten Ergänzungen in den Rechtecken deuten an, wie die Arbeitspläne in das Modell eingearbeitet wurden. Die durch die Arbeitspläne für jedes Werkstück gegebenen Vorgangsfolgen bzw. MFST-Teilmodelle können genutzt werden, um entweder das Netz (disjunktes Modellieren der Arbeitspläne) oder Knoten des Netzes (überlagertes Modellieren der Arbeitspläne) zu verfeinern. Im Beispiel wurden die Knoten verfeinert, um das Modell übersichtlich zu halten, so daß z.B. bei der Verrichtung "Verzahnen" entsprechend der verschiedenen Arbeitspläne AP1 bis AP4 "Verzahnen 1" bis "Verzahnen 4" unterschieden werden. Die Rauten/Konnektoren im Modell dienen der Übersichtlichkeit.

4.6 Evaluation und Revision

Qualitativ hochwertige Modellierungsergebnisse ergeben sich aber nicht allein durch Analyse, Wiederverwendung und kreative Erweiterung. Der Modellierungsprozeß ist leider nicht deterministisch, so daß eine laufende Evaluation und Revision des Modells bzw. verschiedener Modellierungsalternativen notwendig ist. Überprüft werden kann das Modell auf Korrektheit, Vollständigkeit und Redundanz sowie auf Optimalität. Eine ausführliche Liste derartiger Evaluationskriterien kann hier nicht angegeben werden. Exemplarisch soll daher anhand einiger Kriterien das Spektrum angedeutet werden. Bei der Fehleranalyse gehören Kontrollen zur Syntax der graphischen Beschreibungssprache zu den einfachen Prüfungen. So sind nur alternierende Folgen von Drei- und Vierecken zulässig und unverbundene Elemente unzulässig. Semantische Analysen schließen sich diesen Syntaxanalysen an. Sie stellen z.B. fest, ob die FST-Objektklassen aller Knoten disjunkt sind. Bei den Vollständigkeitstests wird u.a. überprüft, ob alle Information aus der Liste der Pflichtenheftanalyse erfaßt wurden. Redundante Modellelemente können z.B. Vorgangs-Knoten ohne Schnittstelle sein. Häufig können sie weggelassen werden, da fehlende Schnittstellen auf fehlende Steuerungsnotwendigkeit hinweisen. Optimalitätskriterien wurden hingegen bisher nur ansatzweise erarbeitet. Gerade in Zukunft muß aber genauer festgelegt werden, wann eine Modellierungsalternative bezüglich eines gewünschten Modellierungsziels "besser" oder "schlechter" ist, um den keineswegs trivialen Entscheidungsprozeß des Modellierers diesbezüglich zu unterstützen.

Da das Beispiel sehr systematisch erstellt wurde, kann in diesem Fall auf eine zusätzliche Evaluation und Revision verzichtet werden.

5 **Ausblick**

Das so erstellte Modell der Fertigung wird im nächsten Schritt zu einem Modell der Fertigungssteuerung erweitert. Im wesentlichen geschieht dies durch ein zweistufiges Verfahren. Die Analyse des Fertigungsprozeßmodells sowie die Analyse der gewünschten Steuerungszielen führt zur Identifikation der gewünschten Funktionalität des Systems in Form sogenannter Szenarien, die ähnlich wie Boochs "Mechanismen" [Bo/86] und die "Contracts" von Helm et al. [He/Ho/Ga/90] Sammlungen aufeinander abgestimmter Software-Bausteine (Rollen) zur Erreichung der Gesamtfunktionalität darstellen. Während eines zweiten Schrittes werden diese Bausteine dann den einzelnen Komponenten entsprechend ihrer lokalen Aufgabe im Steuerungs- und Planungsprozeß zugewiesen (s. [Da/Fe/94]).

In [Da/Fe/He/Ko/94] wird beschrieben, wie dann durch ein Generierungssystem ein so erweitertes Modell der Fertigungssteuerung durch Generierung, Instanzierung sowie Einbettung in ein Rahmensystem in ein Fertigungssteuerungssystem mit Anbindung an einen realen oder simulierten Fertigungsprozeß transformiert werden kann. Im wesentlichen werden die "lokalen Manager" auf ein System kommunizierender, verteilter Prozesse abgebildet, die zusätzlich mit Monitoring- und Schnittstellenprozessen interagieren. Im Augenblick werden der Modellierungsansatz, die Methode und darauf aufbauende Werkzeuge im Rahmen mehrerer Pilotprojekte mit unterschiedlichen Ausgangsszenarien evaluiert und weiterentwickelt. U.a. soll eine ereignisorientierte Werkzeugaufbereitung [Pe/Mü/93] und ein Demonstrationslabor für integrierte Fertigung mit diesem Ansatz realisiert werden.

Bei dem hier dargestellten Vorgehen wurde der Fertigungsprozeß durchgehend als gegeben angesehen. Gerade in Zukunft soll aber den Forderungen von Business Reengineering und Lean Production insofern entsprochen werden, daß die automatisierte Software-Konstruktion der Fertigungssteuerung zur automatisierten Systemkonstruktion von Fertigungsprozeß und Fertigungssteuerung erweitert wird. Der Fertigungsprozeß wird dann also nicht mehr als gegeben angenommen, vielmehr wird seine Neuorganisation oder Erstimplementierung mit in den gestalterischen Prozeß einbezogen. Rechnerunterstützt und auf der Basis des MFST erfolgt seine Modellierung, Dimensionierung und simulierte Erprobung unter Einbeziehung der gewählten Steuerungsfunktionalität und schließlich die tatsächliche Realisierung von Prozeß und Steuerung.

6 Literatur

- Ab/83** Abott, R.J., Program Design by Informal English Descriptions, Communications of the ACM, Bd. 26, Nr. 11, S. 883-894, 1983.
- Bo/91** Booch, G., Object Oriented Design with Applications, Benjamin-Cummings Publishing Comp., 1991.
- Da/Fe/94** Dangelmaier, W., Felser, W., Henkel, S., Kociemba, M.-O., Vom Modell des Fertigungsprozesses zum Modell der Fertigungssteuerung, eingereicht für: EMISA-Fachgruppentreffen, Universität Münster, Oktober 1994.
- Da/Fe/He/Ko/94** Dangelmaier, W., Felser, W., Henkel, S., Kociemba, M.-O., OOPUS - Ein integriertes System zur Modellierung, Simulation und Fertigungssteuerung, ASIM Mitteilungen aus den Arbeitskreisen, Heft 42, S. 166-177, März 1994.
- Da/Schn/Ge/93** Dangelmaier, W., Schneider, U., Gerdes, K.-H., F&QLS Modellierung einer Spritzgießfertigung, Arbeitspapier, Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 1993.
- Da/Wi/93** Dangelmaier, W., Wiedenmann, H., Modell der Fertigungssteuerung. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich, 1993.
- Dal/90** Dalluege, C.A., "Nicht den Anschluß verpassen", Focus/Computerwoche, S. 15 - 17, April 1990.
- De/91** Denert, E., Software Engineering, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1991.
- Fe/Mü94** Felser, W., Müller W., EXPRESS-P - Extending Express for Process Modeling and Monitoring, wird erscheinen in: Tagungsband der ASME International Computers in Engineering Conference, Minneapolis, 1994.
- Fe/Si/93** Ferstl, O.K., Sinz, E.J., Grundlagen der Wirtschaftsinformatik, Band 1, R. Oldenbourg Verlag GmbH, München, 1993.
- Gü/Ha/Mr/Ra/92** Günther, R., Hagenmüller, R., Mraz, A., Raue, H., OO-Grapes Methode, EMSC, München, 1992.
- Ha/Ho/93** Hamelmann S., Hollemann, C., "PPS-Lösungen nach Maß", Werkstatttechnik, S. 15 - 17, Mai 1993.
- He/Ho/Ga/90** Helm, R., Holland, I. M., Gangopadhyay, Contracts: Specifying Behavioral Compositions in Object-Oriented Systems, ECOOP/OOPSLA '90 Proceedings, 1990
- Po/80** Potya, G., Schule des Denkens, A. Francke AG Verlag, Bern, 1980.
- Pe/Mü/93** Petuelli, G., Müller, U., Simulation zur Planung und Steuerung von Werkzeugversorgungssystemen, Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe, 4. Symposium, Braunlage, 1994.
- Sche/92** Scheer, A.-W., Architektur integrierter Informationssysteme, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1992.
- Sche/90** Scheer, A.-W., CIM - Der Computergesteuerte Industriebetrieb, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1990.
- Sche/88** Scheer, A.-W., Entwurf eines Unternehmensdatenmodells, Information Management, S. 14 -23, 1988.
- Si/87** Sinz, E. J., Datenmodellierung betrieblicher Probleme und ihre Unterstützung durch ein wissensbasiertes Entwicklungssystem, Habilitationsschrift, Regensburg, 1987.
- Spe/31** Spearman, C., Creative Mind, Appleton, New York, 1931.