

Peter Steinwasser

*Modulares Informationsmanagement
in der integrierten
Produkt- und Prozeßplanung*

Peter Steinwasser

*Modulares Informationsmanagement
in der integrierten
Produkt- und Prozeßplanung*

Herausgegeben von
Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,
Lehrstuhl für
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

FAPS



Meisenbach Verlag Bamberg

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung: 24. Juni 1996
Tag der Promotion: 13. September 1996
Dekan: Prof. Dr. phil. Dr.-Ing. habil. H. Stoyan
Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Steinwasser, Peter:

Modulares Informationsmanagement in der integrierten
Produkt- und Prozeßplanung / Peter Steinwasser. - Bamberg :
Meisenbach, 1997

(Fertigungstechnik - Erlangen ; 63)

Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1996

ISBN 3-87525-084-2 ISSN 1431-6226

NE: GT

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks
und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus,
vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des
Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein
anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichts-
gestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich
genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder
verbreitet werden.

© Meisenbach Verlag Bamberg 1996

Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf

Printed in Germany

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Universität Erlangen-Nürnberg. Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls, danke ich für die wohlwollende Förderung bei der Durchführung dieser Arbeit, seinen Anregungen und den Freiraum, den er mir bei der Bearbeitung des vielfältigen Aufgabenfeldes gewährte.

Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München, danke ich für die eingehende Durchsicht der Arbeit und für die Übernahme des Korreferats.

Ferner gilt mein Dank meinen Kollegen am Lehrstuhl, insbesondere aus der Gruppe für Rechnergestützte Planung und Programmierung, mit denen ich die Arbeit aus verschiedenen Blickwinkeln diskutieren konnte und die mir wertvolle Kritik und Anregungen für das Gelingen der Arbeit gaben. Den Diplomanden und wissenschaftlichen Hilfskräften, insbesondere Frau Simone Böhmer und Herrn Andreas Licha, danke ich für die Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit.

Herrn Dr.-Ing. G. Schäfer danke ich für die fachliche Begleitung, die vielen Diskussionen und die Durchsicht während des gesamten Entstehungszeitraums dieser Arbeit.

In privater Hinsicht gilt mein aufrichtigster Dank meinen Eltern, meiner Schwester Christine und Frau Gertrud Köhler, – auch für die Suche nach abenteuerlichen Formulierungen oder falschen Buchstaben – die mir moralisch den Rücken gestärkt haben und mir die Durchführung und den erfolgreichen Abschluß dieser Arbeit ermöglichten.

Mein herzlichster Dank gilt Frau Ursula Schauer, die neben zahlreichen Korrekturnächten und eigener Belastung viel Geduld, Rücksichtnahme, Verständnis und Zuspruch aufbrachte, die das Gelingen dieser Arbeit garantierten.

Peter Steinwasser

Modulares Informationsmanagement in der integrierten Produkt– und Prozeßplanung

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	4
2.1 Produkt– und Prozeßplanung	4
2.2 Defizite bestehender Lösungen	8
2.3 Planungsszenario	10
3 Modellierung der Planungsmodule	15
3.1 Analyse der Produkt– und Prozeßplanung	15
3.1.1 Aufgaben	15
3.1.2 Integrationsanforderung der Planung	18
3.1.3 Informationsinhalte und Strukturierung	21
3.2 Grundlagen der Modellbildung	25
3.2.1 Objektmodell	26
3.2.2 Dynamisches Modell	31
3.2.3 Funktionales Modell	34
3.2.4 Interdependenzen der Partialmodelle	36
3.2.5 Einordnung des Modellkonzeptes in Entwicklungsphasen	36
3.3 Transformation in den objektorientierten Ansatz	38
3.3.1 Bereitstellung von Klassen	38
3.3.2 Planungsabläufe und –zustände	41
3.3.3 Funktionale Komponenten in der Planung	42
3.3.4 Restriktionen und Sonderfunktionen	44
3.4 Aufbau der modularen Planungsbereiche	47
3.4.1 Der Prozeß als Zielfunktion der Planung	48
3.4.2 Transparenz und Flexibilität durch neutrales Modul	50

4 Von der Produktgestalt zum Prozeß:	
Das Modul PRODUKT	54
4.1 Geometrische Informationen	54
4.1.1 Gestaltbeschreibung des Einzelteils	54
4.1.2 Strukturinformationen auf Einzelteilebene	56
4.1.3 Prozeßrelevante geometrische Informationen	57
4.1.4 Der Begriff der geometrischen Unschärfe in der Planung	59
4.2 Prozeßrelevante Informationen	62
4.2.1 Technologieinformation auf Einzelteilebene	62
4.2.2 Funktionale Erweiterung gestaltbeschreibender Informationen ..	64
4.2.3 Abbildung beliebiger Produktstrukturen	66
4.2.4 Prozeßorientierte Informationen in der Produktstruktur	71
4.3 Der Produktzustand	75
4.3.1 Definition	75
4.3.2 Einschränkung der Produktzustände	76
4.3.3 Zeitliche Ordnung der Produktzustände	79
4.4 Zustandsübergang in der Produktion	81
4.4.1 Begriffe Zustandsübergang und Fertigungs- oder Montageaufgabe	81
4.4.2 Hierarchische Beschreibung von Zustandsübergängen	82
4.4.3 Erweiterung durch prozeßrelevante Zwischenzustände	84
4.5 Dynamik und Funktionalität des Moduls PRODUKT	85
4.5.1 Dynamisches Modell	86
4.5.2 Funktionale Sicht innerhalb des Moduls PRODUKT	87
4.6 Produktbeispiel	88
5 Abbildung funktionaler Komponenten der Produktion:	
Das Modul RESSOURCE	93
5.1 Aufbau des statischen Ressourcenmodells	93
5.1.1 Strukturierung von Betriebsmitteln	93
5.1.2 Definition der Klassenstruktur Ressourcen	96
5.1.3 Abbildung elementarer Funktionalität	97
5.1.4 Planungsorientierte Funktionalität	99

5.2	Anwendungsorientierte Prozeßfunktionalität	101
5.2.1	Abstraktion von Operationen unterschiedlicher Ressourcen	101
5.2.2	Strukturierung von Operationen nach Aufgabenbereichen oder Anwendungsgebieten	103
5.3	Der Planungsregelkreis innerhalb der Operationenstruktur	104
5.4	Abbildung der Funktionalität eines Roboter-/Dosiersystems zum automatisierten Klebstoffauftrag	105
5.4.1	Die Klassenstruktur der Komponenten	106
5.4.2	Die dynamischen Modelle	111
5.4.3	Parametrierung der Operationen am Beispiel	112
6	Integration von Produkt und Ressource: Das Modul PROZESS	115
6.1	Aufbau des Integrationsmoduls	115
6.2	Kopplung des Integrationsmoduls	118
6.2.1	Anforderungen an die Schnittstelle zwischen Produktgestaltung und Prozeß	119
6.2.2	Schnittstelle zwischen Prozeß und Ressource	120
6.2.3	Kommunikation zwischen den Modulen	121
6.3	Aufbau des Moduls PROZESS für den Teilbereich "Automatisierter Klebstoffauftrag"	123
7	Implementierung, Realisierungskonzept und Einsatz im betrieblichen Umfeld	132
7.1	Aufbau der Komponenten und deren Funktionalität	132
7.1.1	Abbildung der Komponenten	133
7.1.2	Abbildung des Gesamtsystems	138
7.2	Aufbau einer Datenstruktur zur Abbildung der Module	139
7.3	Ermittlung und Abbildung der Prozesse	145
7.4	Anbindung der Datenbank an das Gesamtsystem	149
7.5	Nutzung der Module während des Betriebes	151
7.6	Bewertung des Modellkonzepts	154
8	Zusammenfassung und Ausblick	157
	Literatur	160

1 Einleitung

Rechnergestützte Hilfsmittel unterstützen die Unternehmen in ihrem Bestreben, wirtschaftlich Produkte herzustellen, die die technischen und qualitativen Anforderungen seitens des Kunden erfüllen. Die große Euphorie der 80er Jahre, den gestiegenen Anforderungen aufgrund kurzer Produktlebenszyklen, flexibler Variantenvielfalt und verstärktem internationalem Wettbewerb durch Rechneinsatz zu begegnen [29,31,64], endete in der Einsicht, daß das direkte Abbilden der menschlichen Arbeit in einen rechnerinternen Ablauf keineswegs den erhofften Erfolg brachte. Zwar ließen sich mit den Hilfsmitteln größere Datenmengen bewältigen, aber die mangelnde Integration zwischen den verschiedenen Abteilungen und den Werkzeugen verursachte ähnliche Reibungsverluste wie bei der Taylorschen Arbeitsteilung (s. Bild 1.1) [40,48,61].

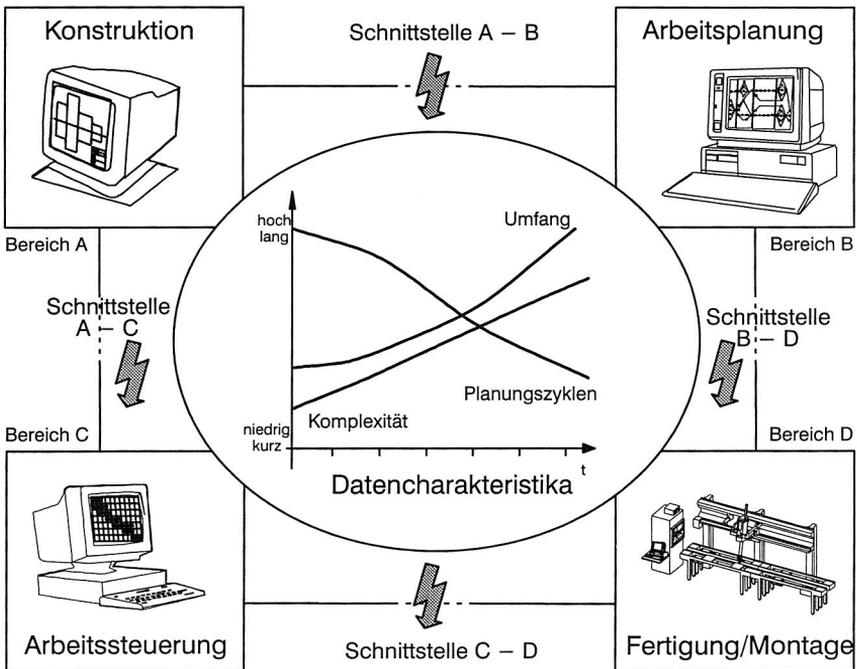


Bild 1.1: Entwicklung und Probleme der Rechnerintegration

Der Zielgedanke von CIM, der computerintegrierten Produktion, war aber in erster Linie, diese Arbeitsteilung zu senken, Integration zu fördern und Abläufe innerhalb des Unternehmens transparent zu machen [30,60,65]. Aufgrund mangelnder Vorbereitung bei der Einführung eines Rechnerkonzeptes und der dadurch oft folgenden ausbleibenden Akzeptanz der Anwender wurde jedoch häufig das Gegenteil erreicht [33].

Hardware– wie Softwareanbieter versprechen umfassende Gesamtsysteme, mit denen alle Bereiche des industriellen Produktionsprozesses erfaßt werden können. Bei der Installation dieser Werkzeuge sind dies oftmals wiederum Insellösungen, die speziell dem Unternehmen und dessen Prozeß– und Informationsstrukturen angepaßt wurden [22,26,80].

Diesbezüglich hat sich bis heute wenig geändert, was zur Folge hat, daß sich ein Unternehmen aufgrund der Investition über Jahre hinaus in die Abhängigkeit eines solchen Systemanbieters begibt. Entweder wird das System den Abläufen und Datenstrukturen innerhalb des Unternehmens angepaßt oder es erfolgt umgekehrt eine Anpassung an den Aufbau und die Erfordernisse der künftig die Prozesse unterstützenden Software [33,40]. Beide Varianten bauen eine starre Vernetzung auf und lassen Änderungen bei Planungsstrategien und im Vorgehen bei Arbeitsabläufen unberücksichtigt. Die menschliche Kreativität als Erfolgsfaktor wird in solchen Fällen oft als unzulässig und damit nicht abbildbar definiert.

Betrachtet man beispielsweise die Produkte der Automobilindustrie in Bezug auf ihre Lebensdauer, so werden einerseits Planungen während dieses Zeitraums zur Verbesserung, Fehlerbehebung oder Anpassung an Modetrends durchgeführt. Andererseits beginnt die Ermittlung erster Grobkonzepte schon 30 – 70 Monate vor dem Serienanlauf, aus denen Vorgaben für die Produktentwicklung abgeleitet werden. Während dieser Zeit nimmt der Informationsumfang und auch der Konkretisierungsgrad der Planungsdaten zu. Gleichzeitig kann sich allerdings die Informationsstruktur wesentlich ändern. Denkt man an das gestiegene Umweltbewußtsein oder an geänderte Fertigungstiefen, so können und dürfen Informationsstrukturen und –abläufe nicht starr bleiben. Würden sich diese nicht innerhalb einer konkreten Modellreihe ändern, so doch zumindest von einer zur nächsten. Da diese im allgemeinen nicht unbedingt sequentiell geplant und produziert werden, ist es einsichtig, bei der Nutzung rechnergestützter Hilfsmittel auf ein übergreifendes Konzept zu setzen, das diese Flexibilität auf jeden Fall gewährleistet.

In Teilbereichen, wie Konstruktion, Arbeitsplanung, –steuerung und Produktion, erfordert die Vielzahl der komplexen Aufgaben im allgemeinen sehr spezielle

Werkzeuge. Diese Werkzeuge sollen aber dem Anwender transparent und flexibel zur Verfügung stehen und je nach Bedarf einfach ausgetauscht werden können. Werden heute immer mehr Produktionsschritte aufgrund des Marktdruckes zertifiziert, so wird diese Entwicklung auch nicht vor den vorgelagerten Bereichen der Produktion, wie Konstruktion und Planung, haltmachen [42,86,106]. Insellösungen, Schnittstellenproblematiken und unzureichend dokumentierter Informationsfluß verhindern dies erheblich, sodaß eine wesentliche Verbesserung bezüglich der Abbildung und der Integration der Planungsausgangsdaten, deren Bearbeitung und die daraus resultierenden Ergebnisse erforderlich ist.

2 Stand der Technik

2.1 Produkt- und Prozeßplanung

Die Bemühungen, die Planungsaktivitäten in Unternehmen mit Hilfe bestimmter Methoden und Verfahren rechnergestützt abzubilden, vermehrten sich anfangs des letzten Jahrzehnts, als sich das Preis-/Leistungsverhältnis zugunsten der Anwender von EDV-Systemen entwickelte [58,68,69]. Erforderten diese Planungshilfsmittel zu dieser Zeit einen nicht unerheblichen Aufwand bei Bedienung und Pflege, stehen heute Softwaresysteme zur Verfügung, die diese Nachteile nicht mehr besitzen und gute Ergebnisse in ihrem Einsatzfeld liefern. Wesentliche Verbesserungen wurden dabei im Bereich der Benutzerergonomie erzielt [56,92].

Der Kreislauf der Produktentstehung, Produktion und des Verkaufes beginnt und endet beim Kunden (s. Bild 2.1). Der in dieser Arbeit betrachtete Bereich der Produkt- und Prozeßplanung ist das Segment, das die Produktidee in Fertigungs- und Montageaufgaben überführt und deren Ergebnisse in die Realisierung einer entsprechen-

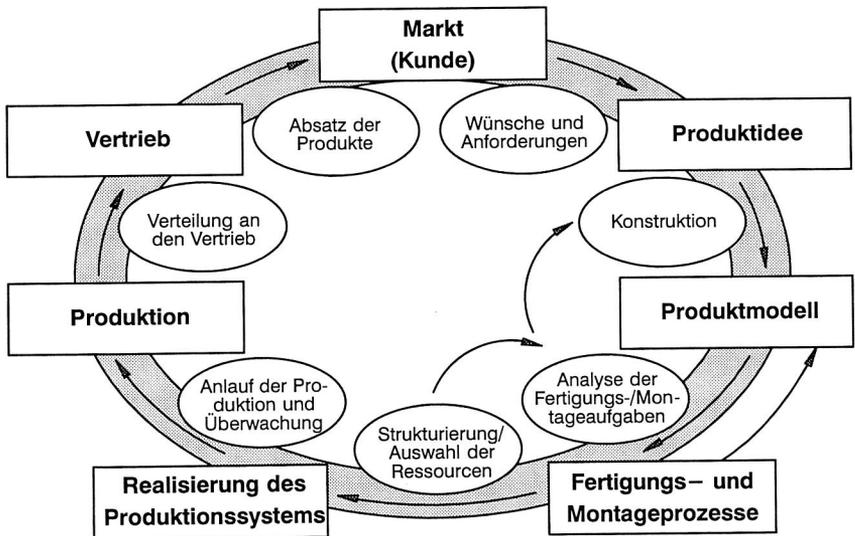


Bild 2.1: Produkt- und Prozeßplanung im Produktkreislauf aus Planungssicht

den Produktionsanlage einfließen. Die Grenzen innerhalb der betroffenen Bereiche sind nicht als starr zu sehen, da sich im allgemeinen Interdependenzen mit vor- oder nachgelagerten Segmenten ergeben [32,93].

Erste Ansätze, Planungsaufgaben zu integrieren und eine Durchgängigkeit zu schaffen, entstanden vor allem im Bereich der Produktentwicklung in Bezug auf die Fertigung. Hier sind heute CAD-Systeme Standard, die eine automatische NC-Programm-Generierung für Dreh- und Fräsbearbeitung beinhalten [37,51,78]. In den letzten Jahren gab es eine sprunghafte Entwicklung im Bereich des Rapid Prototyping, bei dem die Modellerzeugung aufgrund weitestgehender Freiheiten in der Gestaltung deutlich über die Möglichkeiten der traditionellen Fertigungsverfahren hinausgeht. Die Integration in CAD-Systeme ist heute inzwischen weit verbreitet [83], wobei sich die Herstellungsverfahren im allgemeinen nicht für den Serieneinsatz eignen.

Weiterhin führt der Trend immer mehr weg von der reinen Modellierungsaufgabe des Konstrukteurs hin zu einem fertigungsorientierten Aufbau des Produktes. Beim Parametric- oder auch dem Feature-based Modeling wählt der Anwender aus einer Bibliothek Konstruktionsbausteine aus, deren genaue geometrische Ausprägung er definiert und die den gesuchten Kriterien am besten entsprechen [27,28,99]. Dies reduziert den Aufwand in der Fertigungsplanung aufgrund der Ähnlichkeitskonstruktion und ermöglicht damit eine Wiederverwendung von Vorrichtungen und Programmen. Bei der letztgenannten Modellierungsart können den Bausteinen direkt Fertigungsprozesse zugeordnet werden, deren Gesamtheit zur Herstellung des Bauteiles führt. Eine Übersicht, wie mit Hilfe wissensbasierter Methoden der Aufwand innerhalb der Konstruktion reduziert werden kann, findet sich in [52].

Das Bestreben, eine umfassendere Integration über alle Bereiche der Planung zu erreichen, soll mit Hilfe einer Normung des Produktmodells gelingen. Das internationale Komitee zur Erstellung des STEP-Datenmodells hat die Standardisierung der Informationen zum Austausch von Produktdaten teilweise abgeschlossen. Vor allem Geometrie, Administration und teilweise organisatorisch/funktionale Komponenten wurden bei dem Entwurf berücksichtigt. Die CAD-System-Hersteller arbeiten diese Normung zur Zeit in ihre Software ein, wobei sie im wesentlichen den Geometriedatenaustausch berücksichtigen [73,72]. Die Akzeptanz dieses Standards beschränkt sich derzeit auf den Bereich der CAD-Systeme, andere Planungswerkzeuge können aufgrund Inkompatibilität und fehlender Umsetzung in Richtung des Standards dieses Modell derzeit nicht nutzen [59].

Bei der Fertigungs- und Montageplanung kann der Anwender auf eine Vielzahl von Werkzeugen, wie beispielweise Datenbanken und Expertensysteme zur Auswahl und Auslegung von Fügeverbindungen, Programme zur Festigkeitsberechnung oder unterstützende Systeme zur Ermittlung der Montagereihenfolge, zurückgreifen [8,21,24,87,105]. Die weiterführende Analyse und die Zusammenfassung unter organisatorischen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu einer Montagegrobstruktur erfolgt im allgemeinen durch den Planer. Seine Erfahrung und die Qualität der Eingangsparameter beeinflussen wesentlich die Güte der Ergebnisse. Unterstützung in dieser Planungsphase leisten Werkzeuge zur Analyse der Produktstruktur (z.B. Simulation der Demontage, Virtual Reality) und zur Optimierung der Prozeßreihenfolge durch Abtaktung [36,49].

Im Bereich der Ressourcenverwaltung und der Funktionsträgerauswahl finden Gerätebibliotheken, teilweise mit wissensbasierter Unterstützung, ihren Einsatz. Die Anordnung dieser Systeme in einem Groblayout und die Optimierung nach materialflußtechnischen Gesichtspunkten wird durch graphisch gestützte Layoutplanungssysteme durchgeführt, die hier sehr gute Ergebnisse liefern [98]. Vor allem in diesem Bereich werden inzwischen eng gekoppelte Systeme zur integrativen Behandlung von Layout- und Simulationsdaten eingesetzt. Die Ergebnisse einer Zeit- und Wegeoptimierung können so direkt im Modell umgesetzt und wieder verifiziert werden [1,77].

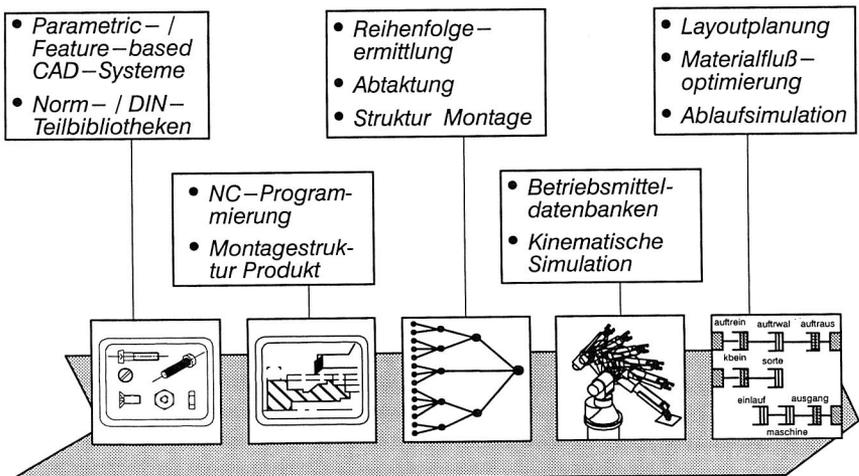


Bild 2.2: Planungswerkzeuge und deren Einsatzgebiete

Der Bereich der kinematischen Simulation setzt vor allem auf einem Produkt- und Ressourcenmodell im CAD-Umfeld auf. Die Möglichkeiten der Bewegungssimulation erlauben eine Bewertung der Planungsergebnisse in einem virtuellen Umfeld und zeigen die zu realisierenden Vorgänge auf [15,54]. Ähnlich wie in der spanenden Fertigung findet man vor allem bei der Programmierung von Robotern die Möglichkeit der Offline-Programmgenerierung. Bild 2.2 ordnet die verschiedenen Werkzeuge innerhalb des Produktentstehungsprozesses ein.

Die oben genannten Anwendungen unterstützen im wesentlichen die Integration durch den Aufbau einer gesamtheitlichen Datenbasis, auf die alle Komponenten des Systems zugreifen [45,107]. Hier stehen vor allem die beschreibenden Daten der Objekte im Vordergrund. Zur Entwicklung dieser Systeme werden CASE-Tools (Computer Aided Software Engineering) zum Aufbau der Datenstrukturen verwendet, die im begrenzten Maße Regeln und semantische Merkmale abbilden können. Bei Werkzeugen, die Zielsystem-neutrale Modelle aufbauen, sind diese Möglichkeiten weiter eingeschränkt, da meist nur der gemeinsame Standard als kleinstes gemeinsames Vielfaches zur Verfügung steht [74,75,82].

Die Abbildung von Planungsaktivitäten bezüglich deren zeitlichen Ablauf untereinander unterstützen Werkzeuge zur Strukturierung von Prozessen. Der Schwerpunkt liegt hier auf der Definition der Abfolge, wobei teilweise auf Ressourcen zur Durchführung verwiesen werden kann. Systeme zum Projekt- oder Workflowmanagement kommen in diesem Bereich zum Einsatz [85].

Ansätze zur Abbildung von Planungsaktivitäten durch rechnergestützte Hilfsmittel konzentrieren sich vor allem auf den Aufbau einer einheitlichen Datenbasis für alle Planungsbereiche. Aufgrund der heterogenen Systeme und der fehlenden Vorarbeit auf höherer Ebene zur Gruppierung der vorhandenen Informationsbasen entstehen isolierte und spezialisierte Rechnerlösungen. Ebenso berücksichtigt die Analyse der vorhandenen Daten, deren Strukturierung in Entitäten und die Überführung in ein meist relationales Datenschema nicht dynamische oder funktionale Zusammenhänge. Außerdem stieß man beim Einsatz in CAD/CAM-Ketten schnell an die Grenzen der relationalen Schemata bzgl. der benötigten Datentypen [90], so daß auch hier spezialisierte Lösungen entstanden. Erst in letzter Zeit werden konkrete Aufgabenanalysen durchgeführt, die zur Entwicklung rechnerintegrierter Werkzeuge genutzt werden (z.B. Analyse des Bereiches Konstruktion in Hinblick auf weiterführende Planungsaufgaben) [62].

Die aus der Programmentwicklung bekannten Methoden der Objektorientierung [7] finden inzwischen auch in anderen Bereichen Verwendung. Beispielsweise wird bei der Normung des STEP–Datenmodells zum Austausch der grafischen Informationen zwischen CAD–Systemen ein objektorientierter Aufbau verwendet. Die Anbindung funktionaler Informationen an die statische Information ist erst ansatzweise zu beobachten [59,72].

2.2 Defizite bestehender Lösungen

Die in Kap. 2.1 beschriebenen Werkzeuge bearbeiten einen abgegrenzten Bereich innerhalb der Planungskette. Sind die Eingangsdaten nicht genau spezifiziert oder qualitativ nicht ausreichend, so scheitert im allgemeinen der Einsatz der Programmsysteme, die Qualität der Ergebnisse ist nicht befriedigend und die gewünschte Durchgängigkeit der Planungskette wird unterbrochen. Werden die Schwachstellen nicht sofort aufgedeckt, kann der Fehler in nachfolgenden Planungsinstanzen eskalieren und zu fatalen Folgen führen [50,55,60].

Der Einsatz dieser Planungswerkzeuge erfolgt aus spezialisierten Anforderungen heraus und baut auf fest definierten Datenstrukturen auf [16,38]. Die Prozeduren und Informationen werden getrennt voneinander verwaltet und die Verbindung durch Schnittstellen festgelegt. Werden mehrere dieser Werkzeuge über eine gemeinsame Datenbasis integriert, so wird die Lücke zwischen prozeduraler und datentechnischer Sicht noch größer. Die Folge einer solchen Entwicklung ist die fehlende Transparenz der Vorgänge und Strukturen. Gleichzeitig reduziert sich die durch den Einsatz von rechnergestützten Werkzeugen beabsichtigte Wirtschaftlichkeitssteigerung.

Ein weiterer Schwachpunkt ist die mangelnde Abbildung übergreifender Planungstransaktionen. Vorgänge, die mehrere Werkzeuge betreffen, müssen bei jeder Instanz neu initiiert werden. Eine Beschreibung dynamischer Abläufe in einer übergeordneten Ebene ist nicht möglich. Gleichzeitig fehlt die Bereitstellung verschiedener Benutzersichten auf die Planungsaufgabe und eine hierarchische Darstellung des Planungsvorgangs. Bei dem Einsatz der Planungswerkzeuge wird vom Anwender oftmals eine völlige Umstellung bei Benutzerergonomie und Datenbereitstellung verlangt. Dies führt zu vermeidbaren Fehlern im Einsatz dieser Werkzeuge [25,43].

Die Ansätze, mit Hilfe objektorientierter Schemata und Methoden die Problematik einer umfassenden Integration nicht nur auf datentechnischer Ebene anzugehen,

beschränken sich auf enge Planungsphasen und berücksichtigen allerdings nur wenige Betrachtungsweisen des zu lösenden Planungsproblems [6]. Zu stark wird auf nachfolgende Entwicklungsstufen, insbesondere die Implementierung bei der Umsetzung des Modellkonzeptes, geachtet. Ein wesentliches Defizit beim Einsatz ist eine zunächst von Zielsystemen losgelöste Beschreibung der Information, der möglichen Modifikationen dieser Daten und darüberhinaus die Einordnung dieser Komponenten in einen dynamischen Ablauf .

Die Versuche, eine vollständige Integration zu erreichen, scheitern auch an der Komplexität der Daten, je mehr und je größer die beteiligten Planungsbereiche sind. Die Unterschiede in den Datenstrukturen und in den verwendeten Planungshilfsmitteln erzeugen ein unflexibles und intransparentes Planungsmodell. Die in Bild 2.3 dargestellten Defizite werden im folgenden anhand eines Szenarios für den Bereich der Produkt- und Prozeßplanung konkretisiert und die Zielsetzung abgeleitet.

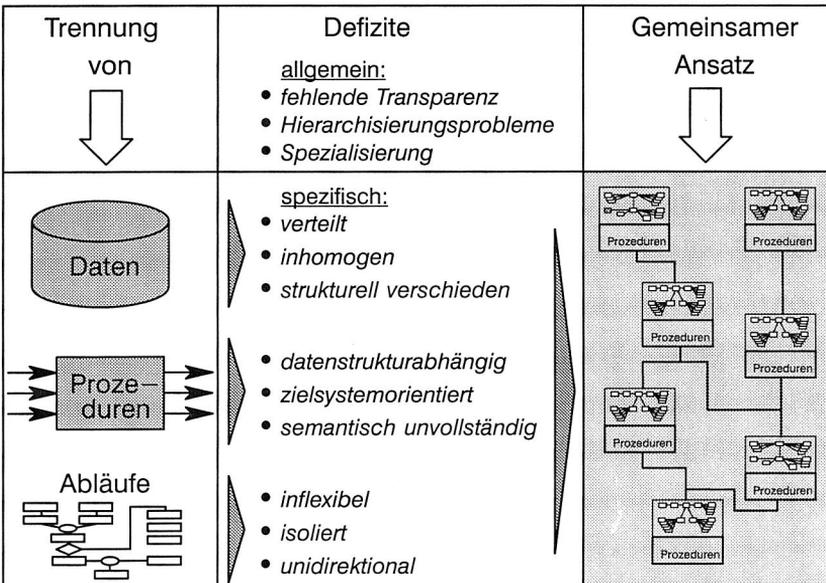


Bild 2.3: Defizite planungsunterstützender Werkzeuge und Lösungsansatz

Nach Meinung der Experten beansprucht die Herstellung eines Prototypen 25% der gesamten Entwicklungszeit [79]. Selbst mit modernen Verfahren wie Rapid Prototyping wird sich diese Zeit kaum verkürzen lassen. Trends, vollständig auf physische Modelle zu verzichten, erfordern ein völliges Umdenken in den

Informationsstrukturen der Unternehmen und setzen höhere Ansprüche an die Integration der Werkzeuge, die weitaus verteilter und heterogener sein werden als bisher.

2.3 Planungsszenario

Im betrieblichen Umfeld und im speziellen in der Produkt- und Prozeßplanung sind Aufgaben von stark unterschiedlichen und teilweise widersprüchlichen Merkmalen gekennzeichnet. Dies reicht von vagen Aussagen bis hin zu exakten Berechnungen je nach Einsatzgebiet und Planungsfortschritt. In diesen Bereichen kommen verschiedenste Werkzeuge und Instanzen zum Einsatz. Die Quellen zur Generierung und Manipulation von Informationen im Planungsfortschritt bilden im Verbund der Mensch mit seiner intuitiven Vorstellungskraft, Nachschlagewerke, Tabellen, mathematische Formeln oder letztendlich komplexe Berechnungssysteme mit der Unterstützung der elektronischen Datenverarbeitung.

Die Dokumentation und die Weitergabe dieser Daten gestalten sich nicht nur im Zeitverlauf unterschiedlich, sondern je nach eingesetztem Werkzeug und erzeugender Instanz sind unterschiedliche Medien im Einsatz. Diese variieren von mündlicher Kommunikation, schriftlicher Erfassung, datentechnischer Speicherung durch zentrale Erfassungsgeräte bis zum umfassenden Datenbankmanagementsystem mit entsprechender Benutzer- und Informationsergonomie.

Die o.g. Beschreibung zeigt deutlich das heterogene Umfeld, in dem sich Geschäftsprozesse und Planungsvorgänge bewegen und daraus gestaltet werden. Die Problematik liegt darin, Objekte innerhalb von Abläufen, die inhaltlich eng miteinander verzahnt sind, trotz ihrer Diversifizität so zu beschreiben, daß diese in allen Vorgängen und unter verschiedenen Sichtweisen betrachtet werden können. Gleichzeitig soll die Bearbeitung nicht durch mühsames Suchen der Informationen in Abhängigkeit des betrachteten Objektes und der Aufgabe gestartet werden, sondern Objekt und Daten sind so miteinander zu verbinden, daß sie in der betrachteten Umgebung dem Anwender in entsprechender Weise zur Verfügung stehen.

Im Bereich der Zellenplanung treffen beispielsweise unterschiedlichste Anforderungen an Beschreibungsdaten aufeinander. Das Layout zur Platzierung der einzelnen Komponenten ist in einem CAD-System entworfen und gespeichert worden. Der Schaltplan für die Verdrahtung der Steuerung wurde mit einem anderen Werkzeug ermittelt und berücksichtigt im allgemeinen keinerlei räumliche Größen. Der

Prozeßplaner, der die konkrete Produktionsaufgabe in dieser Zelle realisieren soll, benötigt vom Systemplaner technische Daten über einzusetzende Komponenten, während wiederum letzterer auf Informationen zur Generierung der Steuerprogramme und zur richtigen Anordnung der Sensorik und Aktorik angewiesen ist.

Aus den bisher beschriebenen Randbedingungen lassen sich zunächst folgende übergeordnete Ziele ableiten:

Ziel 1: Einheitliche Beschreibung heterogener Strukturen und heterogener Werkzeuge

Ziel 2: Hierarchisierung der beschreibenden Modelle

Ziel 3: Bereitstellung verschiedenster Benutzersichten

Für das o.g. Beispiel bedeutet dies, daß die Informationen allen Planungsbeteiligten in Form einer kompletten Beschreibung der Zelle zur Verfügung gestellt werden. Durch definierte Benutzersichten, beispielsweise für den Anlagenplaner und den Elektroinstallateur, wird auf die benötigten Daten zugegriffen. Um dabei die Transparenz der Informationen zu gewährleisten, muß die Abbildung einen hierarchischen Aufbau aufweisen.

Die Produkt- und Prozeßplanung beeinflusst fast alle Geschäftsbereiche innerhalb eines produzierenden Unternehmens. Ebenso erzeugen aber die einzelnen Geschäftsbereiche Randbedingungen, die die Abläufe und Ergebnisse innerhalb der Planung beeinflussen. Zu der Abhängigkeit während des Zeitablaufs addiert sich die Interdependenz über Zeitintervalle hinweg, d.h. Vorgänge können sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten beeinflussen. Zur Kontrolle dieser dynamischen Vorgänge und Abhängigkeiten ist es notwendig, diese in geeigneter Weise abzubilden:

Ziel 4: Integration von Daten und Prozeduren unter zeitlichen Gesichtspunkten in einem gemeinsamen Modell

Vor der eigentlichen Produktentwicklung finden sich in einer ersten Phase Aufgaben, wie z.B. das Zusammentragen von Ideen und Daten, Marktanalysen, Verbraucherbefragungen u.v.m. Aus verschiedenen Bereichen strömen stark unterschiedliche Informationen zusammen, die im Endeffekt doch nur ein Objekt, nämlich das zu planende Produkt beschreiben. Die heterogenen Sichtweisen münden nach diversen Sondierungs-, Auswahl- und Detaillierungsphasen in ein Designkonzept, welches von der Unternehmensleitung verabschiedet wird und als Grundlage für die Produktentwicklung dient. Dort werden ähnliche Phasen durchlaufen, wobei

fortlaufend Interaktionen mit anderen Bereichen zum Abgleich stattfinden sollten. Die erste Phase schließt mit der Produktbeschreibung ab, die sukzessive durch Informationen der Konstruktion ergänzt wird.

Bedenkt man, daß durch die Verabschiedung des Designkonzeptes schon 60%–70% der Produktionskosten festliegen [79], darf es keine diskreten Übergänge zwischen den Phasen geben. Wenn zeitliche Interdependenz nicht vermeidbar ist, müssen kontinuierliche Prozesse existieren, die eine Konsistenz sich zeitlich ändernder Informationsstrukturen gewährleisten. Beispielsweise können bestimmte Teile des Produktes schon bis zur Prototypenreife oder sogar noch weiter entwickelt worden sein, während andere noch nicht in Form einer Handskizze vorliegen. Neben der einheitlichen Beschreibung aller Komponenten müssen alle Phasen in der Informationsverarbeitung berücksichtigt werden:

Ziel 5: Einbindung aller, auch zeitlich unterschiedlicher, Partialmodelle in einem Gesamtkonzept

Die Konstruktion nimmt innerhalb der Produktplanung einen wesentlichen Bereich ein. Hauptaufgabe ist die Definition der Gestalt und die Durchführung der damit zusammenhängenden Teilaufgaben, wie Festlegung bzw. Auswahl von Fertigungsverfahren für die Einzelteile, die Auslegung der Fügeverbindungen und die Schaffung einer Basis für die zu ermittelnden Produktionsstrukturen.

Gerade in der Konstruktion treffen die unterschiedlichsten Sichtweisen im Produktmodell zusammen. Während sich der Designer mit einer optisch gefälligen und ansprechenden Geometrie beschäftigt, versucht eine andere Person gleichzeitig mit dessen Vorgaben die geforderte Funktion zu realisieren, während ein Dritter sich Gedanken darüber macht, aus welchen Materialien und mit welchen Fertigungsverfahren das gerade bearbeitete Einzelteil hergestellt werden soll. Für jede Aufgabe kommen unterschiedliche Werkzeuge zum Einsatz, und es werden Ergebnisse erzeugt, die sich in verschiedenen Quantitäts- und vor allem Qualitätszuständen befinden und somit Probleme beim Abgleich und einer Konformitätsprüfung bereiten. Ein zentrales Produktmodell wäre hier von Vorteil, ist aber nicht ausreichend, da die verschiedenen Informationszustände überprüft, deren Ablauf gesteuert und kontrolliert werden muß.

Die diversen Teilaufgaben müssen ebenfalls untereinander koordiniert werden. Dies bedeutet, daß die Ergebnisse einerseits in eine nachfolgende Aufgabe einfließen müssen, andererseits aber auch dem entsprechenden Bearbeiter mitgeteilt werden

muß, daß er seine Arbeit jetzt beginnen kann. Dies muß analog bei der Rückführung von Ergebnissen in frühere Planungsphasen gewährleistet werden, um den Vorteil von Planungsregelkreisen auch in einen Zeitvorteil umzusetzen. Um hierbei aufwendige Datenanpassungen zu reduzieren, bedarf es einer transparenten Abbildung der Informationsobjekte:

Ziel 6: Einheitliche Beschreibung der Planungsvorgänge und –ergebnisse unabhängig von Hierarchiestufe oder Benutzersicht

Der Übergang vom Produktmodell in ein Prozeßmodell zur Herstellung bedingt die Durchführung weiterer Aufgaben, die in ersten Linie die Analyse der Produktbeschreibung hinsichtlich prozeßrelevanter Information beinhalten. Diese Daten werden sukzessiv detailliert, vervollständigt und nehmen wiederum Einfluß auf die Produktgestalt. Ziel ist es, die Fertigungs– und Montageaufgaben zu präzisieren, die durch Betriebsmittel gelöst werden sollen.

Die Zuordnung von Ressourcen zu Produktionsaufgaben erfordert eine präzise Parametrierung zur Beschreibung des dazugehörigen Prozesses. Diese Informationen müssen aus dem Produktmodell und aus der Ressourcenbeschreibung ermittelt werden, damit eine Kontrolle des Ablaufes stattfinden kann. Dies geschieht durch die Erstellung von Steuerungsprogrammen für automatisierte Anlagen oder durch Arbeitsanweisungen für den Werker. In jedem Fall wird eine enge Kopplung zwischen Ressource und Produkt aufgebaut, die im Falle einer Modifikation überprüft und gegebenenfalls korrigiert werden muß.

Die Problematik zeigt sich gerade dann, wenn ein Prozeß aufgrund der Produktgestalt nicht realisiert werden kann. Je nach Aufwand kann dies bis zu einer kompletten Neuplanung der Geometrie und damit aller abhängigen Teilaufgaben führen. Je mehr Prozeß– und Ressourceninformationen bei der Produktgestaltung zur Verfügung stehen, desto geringer ist das Risiko, große Änderungen durchführen zu müssen:

Ziel 7: Abbildung von Alternativen für flexibel anpaßbare Planungsvorgänge bei Fehlen exakter Informationen

Gleichzeitig gilt es, eine zu starre Verzahnung in der Planung zu vermeiden, da dadurch Freiheiten in der Produktentwicklung beschränkt werden und die Transparenz der Abläufe nicht mehr erkennbar ist.

Bei allen Abbildungen in bestimmte Modellkonstrukte ist im allgemeinen das Zielsystem bekannt. Um allerdings in einer frühen Phase bei der Entwicklung eines

Systems – sei es ein Produkt oder sei es das Planungssystem, mit dem diese Produktentwicklung begleitet wird – nicht durch Restriktionen in der Modellierung behindert zu werden, ist es von Vorteil, zunächst neutrale Elemente zu nutzen:

Ziel 8: Vermeidung implementierungsabhängiger Konstrukte zur Beschreibung der Realkomponenten

Für den Bereich der Produkt- und Prozeßplanung wird in den nachfolgenden Kapiteln ein Lösungsansatz aufgezeigt, der auf objektorientierten Beschreibungsstrukturen basiert. Hintergrund dieser Auswahl ist der Vorteil der geforderten Zielsystem-unabhängigkeit und die Möglichkeit der Abbildung umfangreichen semantischen Inhalts. Trotzdem erlaubt das in dieser Arbeit dargestellte System eine einfache Überführung in eine beliebige Implementierungsumgebung [81,88].

Die Elemente bilden eine gemeinsame Kommunikationsplattform für alle Anwender und ermöglichen eine einfache Übertragung auf konkrete Planungsprobleme, die durch Hierarchiebildung beliebig detailliert werden können. Es wurde wesentlich auf eine Modularisierung der Planungsbereiche geachtet, um eine möglichst lose Kopplung und damit ein Höchstmaß an Transparenz zu erreichen.

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Werkzeuge, Grundlagen und Module zum Aufbau des Gesamtmodells und ihr Einsatz erläutert. In den darauffolgenden Kapiteln werden mit Hilfe der vorgestellten Werkzeuge die Modulbereiche *PRODUKT* und *RESSOURCE* konzipiert und anschließend die Verknüpfung miteinander aufgezeigt. Zur Veranschaulichung erfolgt die Umsetzung des Modellkonzeptes anhand praktischer Beispiele, die die Nutzung der Modelle widerspiegeln und die in der Folge der Kapitel aufeinander aufbauen. Eine konkrete Detaillierung wird anhand eines Planungsbeispiels zur Veranschaulichung der Vorgehensweise und des Einsatzes durchgeführt.

3 Modellierung der Planungsmodule

Zunächst wird der Bereich der Produkt- und Prozeßplanung hinsichtlich der Anforderungen untersucht, die sich aus den in Kap. 2 genannten Zielen ableiten. Die Ergebnisse stellen Merkmale dar, die in dem Konzeptmodell abgebildet werden müssen, um die o.g. Ziele zu erreichen. Nach dieser Überführung wird eine Strukturierung des Gesamtmodells in drei Teilbereiche aufgezeigt, die die gewünschte Flexibilität innerhalb der Planung bereitstellt.

3.1 Analyse der Produkt- und Prozeßplanung

Die Aufgaben innerhalb des angesprochenen Bereiches werden aufgezeigt, deren Beschreibungsmerkmale unter Berücksichtigung der Anforderungen untersucht und zur Abbildung in das Gesamtmodell extrahiert.

3.1.1 Aufgaben

Die Produkt- und Prozeßplanung umfaßt alle Aufgaben, ausgehend von der Produktentwicklung und Konstruktion, die Prozesse zu ermitteln, die zur Herstellung des betreffenden Produktes führen [11,19,20]. Dabei sind verschiedenste Randbedingungen, die durch die Produktanalyse und durch die Auswahl der einzusetzenden Ressourcen aufgestellt werden, zu beachten. Der Begriff Produkt- und Prozeßplanung impliziert in seiner Verwendung die enge Verknüpfung der reinen konstruktiven Tätigkeit und der "nachfolgenden" planerischen Tätigkeit bei der Ermittlung der technischen Abläufe. Diese sind teilweise immer noch von einer isolierten Betrachtung der einzelnen Teilbereiche geprägt [55]:

- *Produktkonstruktion (Geometrie, Funktionalität, Technologie usw.)*
z.B. Festlegung von Gewindebohrungen, Definition der Materialien
- *Prozeß- und technologieorientierte Produktanalyse*
z.B. Feststellen der verwendeten Fügetechnologien
- *Strukturierung und Bestimmung der Prozeßreihenfolge*
z.B. Untersuchung auf Bauteilkollisionen oder Unmöglichkeit der Montage

- *Auswahl und Festlegung der Ressourcen und deren Funktionalität*
z.B. Suche nach einem Greifer mit bestimmter Schließkraft
- *Zuordnung der Ergebnisse der Produktanalyse zu den Ressourcen*
z.B. Zuordnung des Eindrehens einer Schraube zu einem bestimmten Gerät
- *Bestimmung der Abläufe und deren Steuer- und Regelstrukturen*
z.B. Ermittlung eines Steuerprogramms zum Fügen eines Bauteils durch einen Roboter

Die Trennung von Konstruktion und Produktanalyse, gerade in Fragen der Technologie, wurde durch die fortschreitende Entwicklung rechnerintegrierter Werkzeuge und deren Funktionserhöhung in diesem Bereich teilweise vermindert. Allerdings fehlt grundsätzlich eine Optimierung des Informationsaustausches auf allen Ebenen. Dieses Defizit betrifft einerseits die Integration aus datentechnischer Sicht, andererseits die Nutzung einheitlicher Methoden in allen Phasen des Planungszyklus.

Für eng abgegrenzte Problemstellungen können die o.g. Aufgabenbereiche auch als zeitliche Abfolge in der Planung gelten. Der strenge chronologische Ablauf ist aber im allgemeinen nicht gegeben, da sich Lösungen in späteren Abschnitten als fehlerhaft erweisen können und nochmals verifiziert werden müssen. Je detaillierter Aufgaben von ihrem Informationsinhalt sind, desto weiter können sie aufgrund dieser Planungszyklen zeitlich auseinandergerissen werden. Ende und Beginn der jeweiligen Planungsbereiche fließen somit ineinander.

In vielen Fällen kann eine enge datentechnische Verknüpfung nicht vermieden werden. Aus diesem Grund sollten kurze Planungsregelkreise aufgebaut werden, die eine Entkopplung im Planungsablauf ermöglichen. Das bedeutet, daß Teilergebnisse schnellstmöglich in der nächsten Phase genutzt werden, damit diese verifiziert werden können. In Kap. 2.3 wurden innerhalb des Szenarios verschiedene Phasen vor und nach der Produktentwicklung erwähnt. Heute findet nach der ersten Phase (Marktanalyse, Kundenbefragungen usw.) meist eine Entscheidung durch die Unternehmensleitung über die Vorgaben statt, wie das neue Produkt auszusehen hat, welche Funktion es erfüllen muß und wieviel es kosten darf. Genau an dieser Stelle wird eine Diversifikation der Informationen durchgeführt, bei der bestimmte Daten übernommen und für die Zukunft festgeschrieben werden. Diese Situation findet in der Folge immer wieder statt, so daß isolierte Bereiche entstehen. Bei einer späteren Korrektur muß möglicherweise eine Änderung über den Abschnitt hinaus erfolgen, in dem der Fehler erkannt wurde. Dies kann sich auch auf früher erzeugte Informationen

auswirken. Es erfolgt zwangsweise eine erneute Bestimmung der zu übergebenden Daten und damit möglicherweise eine weitere Änderung an Informationen, die ebenfalls eine Revision schon ermittelter Folgeergebnisse erfordert (Bild 3.1).

Durch die Planungsregelkreise wird an den Übergabestellen eine Art Filter gebildet, der die Informationen transformiert, aber nicht die Referenz zwischen den beiden Bereichen aufhebt.

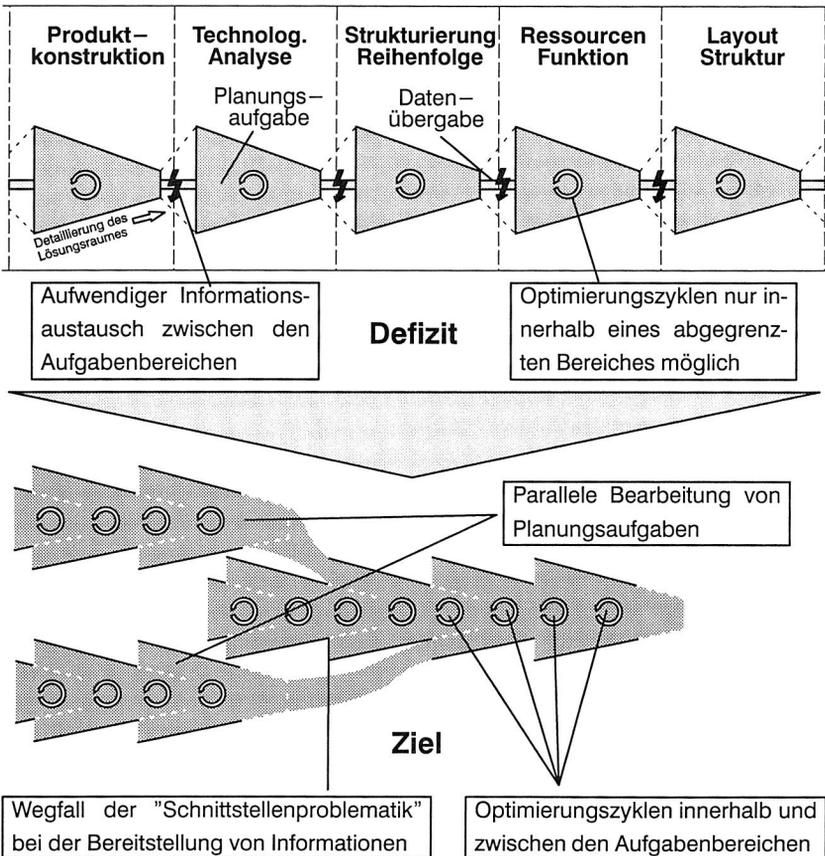


Bild 3.1: Problematik der isolierten Betrachtung von Planungsaufgaben

Eine streng sequentielle Vorgehensweise stellt aus einem weiteren Grund eine Verzögerung im Planungsfortschritt dar. Der Konstrukteur ist sich beispielsweise noch

nicht sicher, wie stark er eine Schraubverbindung auslegen muß und wartet zu diesem Zweck die Ergebnisse der Versuchsabteilung ab. In den Konstruktionsunterlagen bleibt diese Informationen zunächst offen. Der Prozeßplaner kann aufgrund der fehlenden Daten die Operationen zur Herstellung der Fügeverbindung nicht planen und wartet bis alle Informationen vorhanden sind.

Könnte der Konstrukteur den Sachverhalt der fehlenden exakten Informationen in seinen Unterlagen hinterlegen, so würde er dem Prozeßplaner übermitteln, daß es sich bei der Fügeverbindung um eine Schraubverbindung handeln wird und die beschreibenden Parameterwerte im Bereich von A bis B liegen werden. Der Prozeß kann dadurch in seiner Grobstruktur schon ermittelt werden und bis zu dem Punkt geplant werden, bis zu dem der Detaillierungsgrad der vorhandenen Informationen ausreicht.

Durch die gewünschte parallele Arbeitsweise ergibt sich ein Problem in Bezug auf die Zusammenführung von Ergebnissen. Betrachtet man zunächst nur rechnergestützte Werkzeuge, sind deren Einsatzbereiche stark unterschiedlich und in Folge auch die Art der Ergebnisse. Der Mensch als Individuum verstärkt diese Diversifikation. Für eine effektive und zeitlich optimierte Durchführung der Abläufe innerhalb der Planung muß für die Aufgaben und deren Ergebnisse eine Abbildung im Modell gefunden werden, die jede Art von Information in der Weise darstellt, daß ein leichter Ver- und Abgleich möglich ist.

3.1.2 Integrationsanforderung der Planung

Die im vorgehenden Kapitel genannten Grundsätze zur Optimierung der Planung erzwingen die integrierte und simultane Bearbeitung der genannten Aufgaben. Um in diesem Fall die Transparenz sicherzustellen, müssen Konstrukte, wie die vertikale und horizontale Integration, beim Modellaufbau berücksichtigt werden. Dies darf sich nicht nur, wie in Kap. 2 erwähnt, auf die datentechnische Integration beziehen, sondern auf alle Ebenen der Informationsrepräsentation.

Die horizontale Integration beinhaltet die Zusammenfassung und gesamtheitliche Betrachtung von Vorgängen, die, projiziert auf die Zeitachse, chronologisch aufeinander folgen (Bild 3.2). Ein in dieser Weise integrierter Vorgang verbirgt möglicherweise das Potential an Parallelität der darin abgebildeten Teilvorgänge, da die Gesamtdauer der Summe der Einzelvorgangsdauer entspricht. Die horizontale

Integration unterstützt stärker den prozeduralen Faktor bei der Abbildung in ein Modell.

Bei der vertikalen Integration werden elementare oder atomare Einheiten zu Konstrukten höherer Ebene verdichtet und werden dort als ein Element angesprochen. Die Integration stellt die Kommunikation zwischen den einzelnen Ebenen und innerhalb des komplexen Elementes sicher (Bild 3.2). Beim Arbeiten mit solchen Objekten werden diese in ihrer Gesamtheit aktiviert. Dem Benutzer bleibt der Informationsaustausch mit anderen funktionalen Einheiten verborgen.

Die Bearbeitung einer konkreten Planungsaufgabe beinhaltet auf einer niederen Ebene mehrere Teilaufgaben. Um hier eine gesamtheitliche optimale Lösung zu erhalten, gilt es, die einzelnen Komponenten integrativ zu vernetzen, da optimale Einzellösungen keine hinreichende Bedingung für eine optimale Gesamtlösung bedeuten. Die atomare Planungsaufgabe kann Teilaufgaben aus mehreren der in Kap. 3.1.1 genannten Bereiche enthalten.

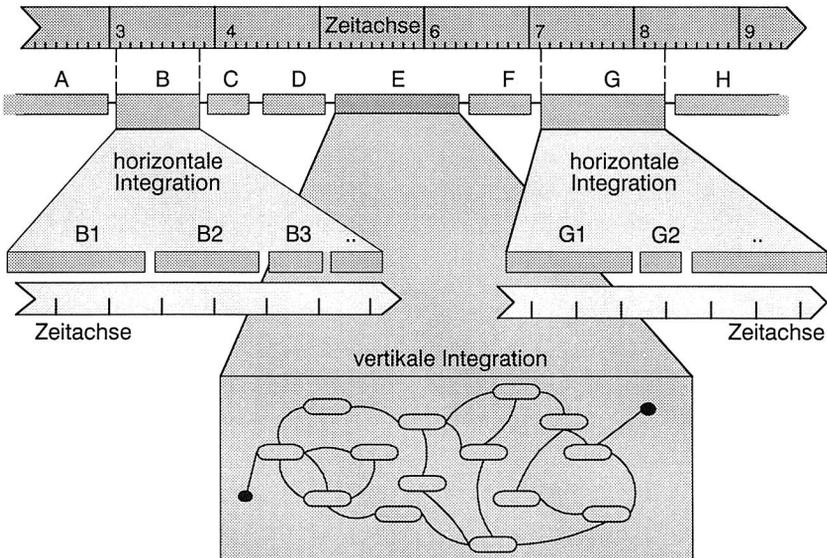


Bild 3.2: Vertikale und horizontale Integration von Planungsabläufen

Die Produkt- und Prozeßplanung stellt innerhalb der vertikalen Integration vor allem zwei zentrale Forderungen bzgl. der Abbildung an das Gesamtmodell. Zunächst gilt

es, den Realitätsausschnitt umfassend abzubilden. Diese Informationsintegration umfaßt neben der datentechnischen Sicht noch weitaus stärker die dynamische und funktionale. Weiterführend ergänzt die Aufgabenintegration die Abbildung einer funktionsorientierten Sicht in der Weise, daß nicht die Konzentration an einem Ort im Vordergrund steht, sondern die funktionale Verflechtung der Teilaufgaben (Bild 3.2). Das wesentliche Ziel ist ein optimal aufeinander abgestimmter und selbst initiiertes Ablauf der Teilaufgaben und die Bereitstellung einheitlicher Werkzeuge für die an der Lösung arbeitenden Personen.

In diesem Zusammenhang ist der Begriff der Abstraktion näher zu erläutern. Darunter versteht man die Vernachlässigung nicht relevanter Aspekte des Originals bei der Abbildung auf ein Modell. Je nach Qualität der Abbildung ergeben sich das Abstraktionsniveau und umgekehrt der Detaillierungsgrad. Beim Aufbau von Elementen auf höheren Abstraktionsniveaus bilden die Einheiten und deren Verhalten auf dem niederen Niveau das Original für die Modellierung.

Die Integration fordert die Kommunikation zwischen verschiedenen Aufgaben oder Anwendungen als notwendige Bedingung. Man unterscheidet im wesentlichen zwei Arten des Informationsaustausches:

- *Datenaustausch zum Zweck der Berechnung von Ergebnissen für die Lösung eines Problemfeldes*
z.B. Abbildung des Bohrungsdurchmessers einer Schraube in den Konstruktionsunterlagen für die Ermittlung des Anzugsdrehmomentes eines Schrauberwerkzeuges
- *Austausch von Daten zum Zwecke der Steuerung der Anwendung, der zeitlichen Abfolge oder zum Austausch von Statusinformationen der Anwendungen*
z.B. bezugnehmend auf das oben genannte Beispiel: Durch Eintrag der Informationen in den Konstruktionsunterlagen und deren Freigabe wird dem Prozeßplaner seine zu lösende Aufgabe mitgeteilt. Dies kann und sollte ein durch das Modell überwachter Vorgang sein.

Bei der Zuordnung der Information wird man feststellen, daß bei manchen Daten dies nicht eindeutig möglich ist. Wie in Kap. 3.2.3. zu sehen sein wird, können Parameterübergaben zusätzlich steuernde Informationen die Anwendung betreffend beinhalten. Ein exakte Charakterisierung ist in dem Modellkonzept nicht notwendig, da ein reales Objekt nur in der Gesamtheit aller Informationen komplett beschrieben

ist. Eine explizite Ausweisung der Informationsart ist aus diesem Grund hinfällig und würde der Transparenz entgegenwirken. Z.B. ist eine Werkzeugmaschine nur durch ihre technischen Daten, die notwendigen Eingabeparameter für eine Bearbeitungsaufgabe und die Kenntnis der Reaktionen auf die Steuerbefehle vollständig beschrieben. Würde einer dieser Informationen fehlen, könnte die Maschine nicht eingesetzt werden.

3.1.3 Informationsinhalte und Strukturierung

Je nach Anwendungs- oder Dokumentationsabsicht unterscheiden sich Abbildungsumfang und -struktur der Informationen in der Planungskette. Im Bereich der Produkt- und Prozeßplanung finden sich im wesentlichen Produkt- und Ressourcendaten, die zu Prozeßinformationen verknüpft werden. Die verschiedenen Formen des Inhaltes werden im folgenden genannt, charakterisiert und im Abbildungsumfang des Modells mit aufgenommen.

Die eindeutige, die Gestalt beschreibende Form eines Objektes ist die Geometrie. Sie beinhaltet neben der exakten Dimensionierung aller Einzelkörper die genaue räumliche Lage dieser zueinander. Bezogen auf ein Erzeugnis spricht man von einer *Produktstruktur*, wenn zusätzlich eine Hierarchisierung durch Baugruppen vorgenommen wird, bei der sich auf unterster Ebene die Einzelteile, auf höchster Ebene das komplette Erzeugnis findet. Die sog. Strukturstückliste bildet im allgemeinen die Basis für diese Beschreibungsform.

Diese Struktur wird auf Einzelteilebene mit weiteren Informationen wie Material, Eigenschaften und möglichen administrativen Daten ergänzt. Diese Form der Strukturierung bildet die wichtigste Basis für den betrachteten Planungsbereich, ist aber nicht ausreichend.

Ergänzend sind Daten über die eingesetzte Technologie zur Herstellung des Erzeugnisses notwendig. Die genaue Beschreibung einer Fügeverbindung ermöglicht erst die exakte Spezifikation des diese Verbindung herstellenden Prozesses. Eine Einteilung nach Technologiearten stellt eine mögliche Strukturierungsart dar und weist auf die wertschöpfenden Tätigkeiten hin.

Diese sog. Primäroperationen werden um die Sekundäroperation [11,90,96] ergänzt und in ihrer Gesamtheit in einer funktionalen Beschreibung und Strukturierung hinterlegt. Die Primäroperation als wertschöpfender Prozeß definiert, welche

Änderung am Erzeugnis durchgeführt wurde. Die zeitliche Ordnung beider Bereiche findet sich in der ablauforientierten Beschreibung wieder.

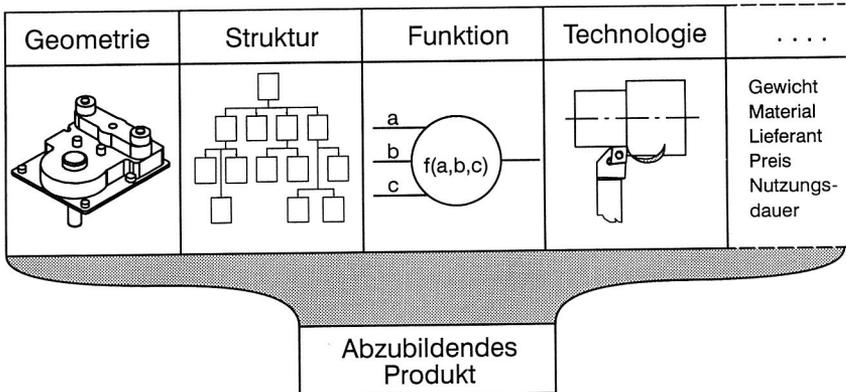


Bild 3.3: Beschreibungsformen in der Planung aus Produktsicht

Bild 3.3 zeigt die erwähnten Beschreibungsformen für den Bereich Produkt. Sie bilden nur in einer Einheit eine gesamtheitliche Darstellung des abgebildeten Objektes. Dieser Informationsumfang muß durch das Modellkonzept abgebildet werden.

Die Modellierung der Ressourcen bedient sich der gleichen Konstrukte, da diese in identischer Weise beschrieben werden können. Die geometrische Abbildung ist analog dem des Produktes aufgebaut, allerdings werden sich die weiteren Informationen vor allem auf den Funktionsumfang konzentrieren, da dieser innerhalb des Planungsprozesses wesentliches Betrachtungsobjekt ist. Beispielsweise sind hier eher die technischen Daten eines Betriebsmittels von Belang als dessen Materialeigenschaften oder Oberflächenbeschaffenheit.

Die Heterogenität innerhalb der Informationen, die ein Objekt beschreiben, zeigt den unterschiedlichen Wissensbedarf seitens der Planer. Er entspricht deren Sicht auf das zu bearbeitende Objekt, was aber nicht zu einer Trennung der Informationen führen darf, da sich die Benutzersichten im allgemeinen teilweise überlappen. Die Bereitstellung der Sichten für den Anwender muß im Modell inhärent hinterlegt werden. Das bedeutet, daß die Objekte dem Anwender durch Abbildungsfunktionen in der entsprechenden Weise zur Verfügung gestellt werden (Bild 3.4).

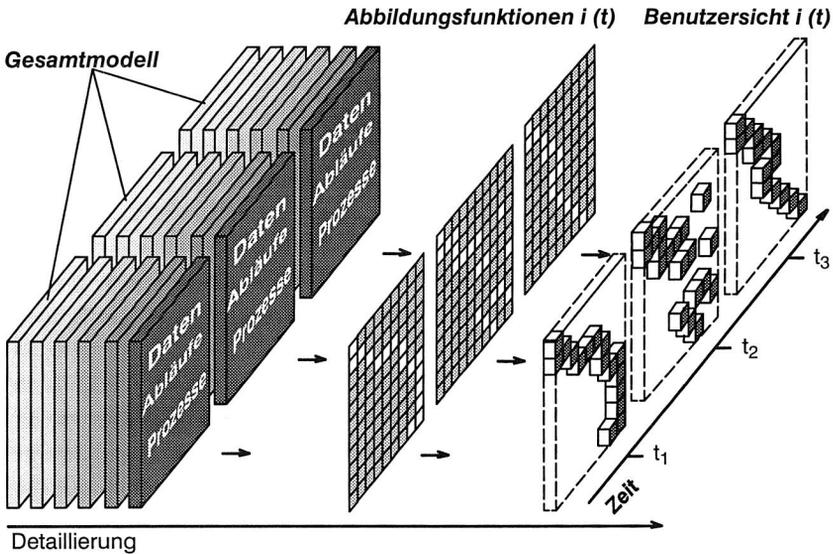


Bild 3.4: Definition der varianten Benutzersichten im Gesamtmodell

Diese Abbildungsfunktionen stellen nicht eine statische oder einmalige Extraktion von Daten aus dem Gesamtmodell dar, sondern sind als Online–Selektion und Online–Abstraktion zu verstehen. Aufgrund der Anforderung durch den Planungsablauf können sich die Benutzersichten auf zweifache Weise ändern:

- *Änderungen innerhalb des Gesamtmodells durch Informationsänderungen z.B. durch Ergänzung von Informationen, zeitabhängige Ereignisse usw.*
z.B. Änderung der geometrischen Gestalt eines Bauteils
- *Geänderte Anforderungen durch die Beschreibungsform (Benutzersicht) z.B. durch modifizierte Strukturen, Informationsbedarf, konkrete Abfragen, Abstraktion, Diversifikation, Detaillierung, u.ä.*
z.B. Änderung der Technologie in der Herstellung, dadurch Änderung der Relevanz von Parametern seitens der Produktbeschreibung

Im ersten Fall erfolgt die Aktualisierung der Informationen aufgrund der temporär festen Verbindung zwischen Daten und Datensicht. Im zweiten Fall wird grundsätzlich eine Änderung der Benutzersicht durchgeführt, so daß bei deren Aufbau die

entsprechenden Informationen durch Anfragen an das Informationsmodell zur Verfügung gestellt werden.

Bei der Modellierung werden die Abbildungsfunktionen in das Modell integriert und bleiben dem Anwender bei der Nutzung verborgen. Sie stellen ihm die Ergebnisse strukturiert und in der seiner Sicht entsprechenden Weise zur Verfügung. Die Planungstätigkeiten des Anwenders (Neueingabe von Bauteilen, Ändern von Maßen, Löschen von Werten) innerhalb der Benutzersichten stößt ereignisgesteuert wiederum Funktionen an, die mit dem Gesamtmodell kommunizieren und dort ihrerseits Funktionen aktivieren (Bild 3.5).

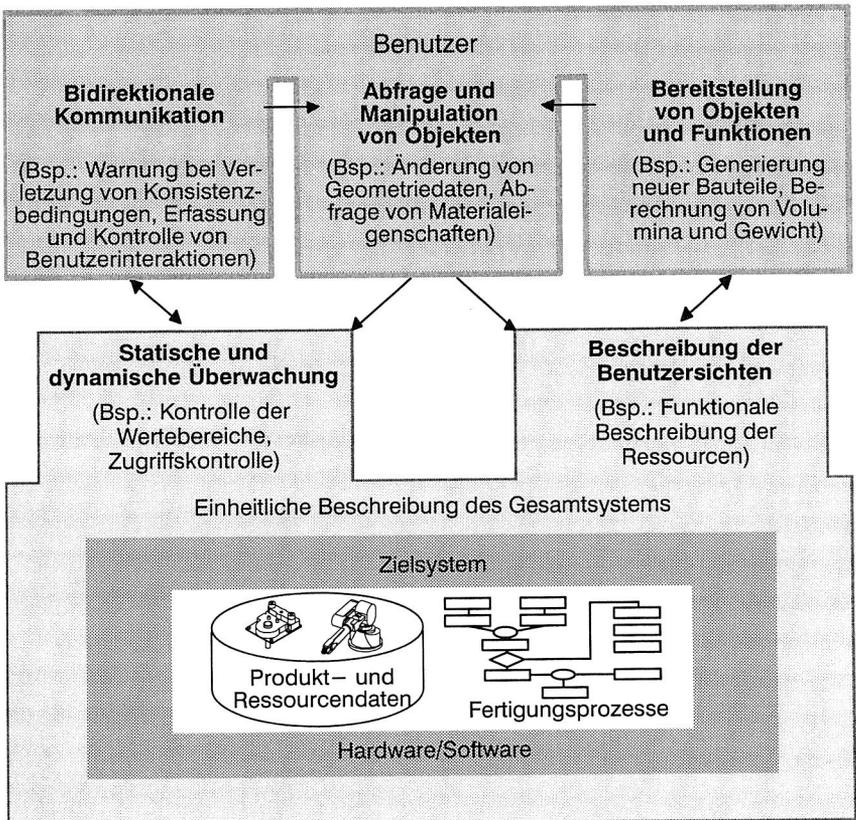


Bild 3.5: Funktionen im Modell und Interaktionen mit dem Benutzer

Da die Kommunikation des Anwenders mit dem System grundsätzlich über die von ihm benutzte Sicht erfolgt, werden weitere Funktionen integriert, die auf der einheitlichen Beschreibung der Planungsbereiche aufsetzen. Auf keinem Fall darf der Anwender mit Komponenten des Zielsystems konfrontiert werden.

3.2 Grundlagen der Modellbildung

Die im vorangegangenen Kapitel aufgezeigten Elemente der Produkt- und Prozeßplanung werden mit Hilfe objektorientierter Werkzeuge in das Gesamtmodell integriert. Die Grundlagen und das Vorgehen bei der Modellierung werden im folgenden beschrieben. Das gewählte Konzept wird anschließend in die Entwicklungsphasen beim Entwurf und der Realisierung rechnergestützter Werkzeuge eingeordnet, um dessen Ausstrahlung auf die angrenzenden Bereiche in der Planung aufzuzeigen.

Beschreibt man Ausschnitte der realen Welt durch eine Modellbildung, die auf objektorientierten Ansätzen basiert, so liegt die Konzentration im Gegensatz zu anderen Modellierungsansätzen wesentlich auf der umfassenden Abbildung der Objekte (Komponenten) der Wirklichkeit. Zu diesem Begriff finden sich eine Vielzahl von Definitionen [67,94], wobei im Rahmen dieser Arbeit der Zweck des Objektes Gegenstand der Präzisierung sein soll:

- *ein Objekt innerhalb des Modell erleichtert die reale Welt zu verstehen*
- *das Objekt dient dabei als praktikabler Ausgangspunkt für die Implementierung*

Diese sehr abstrakten Definitionen aus Rumbaugh [88] zeigen einerseits auf, daß dem Modellobjekt ein bestimmtes Äquivalent in der Realität gegenübersteht, welches durch dieses Objekt im Modell in der notwendigen Weise beschrieben wird. Andererseits wird darauf hingewiesen, daß es im vorliegenden Fall kein rechnerinternes Abbild ist, sondern sich bewußt von einem Zielsystem distanziiert. Die hier gewählten Werkzeuge der OMT (Object Modeling Technique) konzentrieren sich auf eine absolut implementierungsneutrale Beschreibung des Realitätsausschnittes, schließen aber zeitliche und funktionale Zusammenhänge in die Modellierung mit ein [88]. Die drei Teilmodelle *Daten*, *Dynamik* und *Funktion* des Gesamtkonzeptes werden im folgenden in Art und Umfang ihrer Abbildung beschrieben und ihre Interdependenzen untereinander aufgezeigt.

3.2.1 Objektmodell

Das Objektmodell definiert die statischen und beschreibenden Informationen der relevanten Objekte und wird auch als statisches Modell bezeichnet. Es beinhaltet im wesentlichen die Identität der Objekte, deren Beziehungen untereinander, die jeweiligen Ausprägungen und die Operationen, die das Objekt ausführen kann. Dies schließt auch solche ein, die das Objekt selbst verändern oder sogar löschen.

Das Objektmodell bildet den Bezugsrahmen, an dem einerseits der dynamische Ablauf aber auch die funktionalen Abhängigkeiten definiert werden. Veränderungen innerhalb des Objektmodells werden durch eine zeitliche Beeinflussung hervorgerufen, deren Auswirkungen durch Berechnungs- bzw. Bearbeitungsvorschriften festgelegt werden. Das statische Modell grenzt den Realitätsausschnitt ein, der für die konkrete Aufgabe in Betracht gezogen wurde. Für die Art der Abgrenzung sei auf weiterführende Literatur der Modell- und Systembildung hingewiesen [9,91,104]. Im betrachteten Bereich der Produkt- und Prozeßplanung sind typische Objekte das herzustellende Produkt oder eine Maschine, an der ein bestimmter Fertigungsschritt durchgeführt wird.

Zur Abbildung des geforderten Umfangs an Informationen werden bei der Modellierung der Objekte verschiedene Werkzeuge und Komponenten eingesetzt. Im folgenden finden sich die Begriffe und deren Verwendung erklärt.

Jedes *Objekt* wird durch Attribute, durch sein Verhalten und durch seine Beziehungen zu anderen Objekten beschrieben. Diese Merkmale kennzeichnen ein Objekt, legen aber nicht die *Identität* fest. Das bedeutet, daß sich zwei Objekte durch ihre inhärente Existenz unterscheiden, nicht aber möglicherweise durch die Eigenschaften. Beispielsweise sind zwei identische Produkte einer Serienfertigung, obwohl sie bis auf die letzte Schraube übereinstimmen, trotzdem zwei verschiedene Objekte. Diesen Sachverhalt soll der Ausdruck *Objektinstanz* oder *Instanz* noch verdeutlichen.

Eine *Objektklasse* oder kürzer *Klasse* beschreibt im Gegensatz dazu eine Gruppe von Objekten mit ähnlichen Eigenschaften, gemeinsamen Verhalten und Relationen sowie einer einheitlichen Semantik. Die Individualität der einzelnen Objekte ergibt sich aus unterschiedlichen Attributwerten und Relationen, die aber aufgrund der inhärenten Existenz bei Objekten dennoch übereinstimmen können. Den Vorgang der individuellen Generierung eines Objektes aus einer Klasse nennt man *Instanzierung*. Gleichzeitig kennt jedes Objekt die Klasse, aus der es "instanziiert" wurde [13,67]

Klassen bieten den Vorteil, den Abstraktionsgedanken umzusetzen. Es wird eine Menge von Objekten zu Klassen zusammengefaßt und damit zu einer Menge ähnlicher Elemente abstrahiert. In diesem Zusammenhang gilt es auch, den *semantischen Zweck* einer Klasse zu definieren. Objekte können der gleichen Klasse angehören, wenn das beabsichtigte Verhalten identisch beschrieben werden kann. So kann man z.B. ein zu erzeugendes Produkt und die Maschine, die es produziert, in der gleichen Klasse abbilden, wenn man nur den Wert der Objekte betrachten will. Wird eine produktionsorientierte Einordnung gewünscht, wird man zwei verschiedene Klassen aufstellen. Die *Semantik* ist damit einerseits Ermessenssache, andererseits hängt sie vom Zweck der Anwendung ab.

Attribute sind die Eigenschaften einer Klasse oder eines Objektes. Bei der Instanziierung werden Attributen konkrete Werte zugeordnet. Aufgrund der inhärenten Existenz kann auf die Einführung eines eindeutigen Bezeichners verzichtet werden.

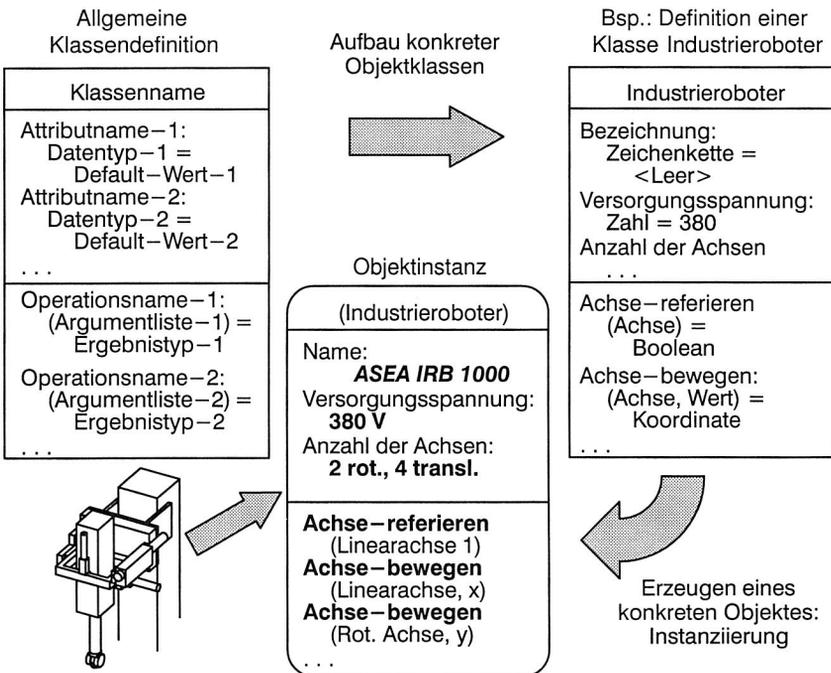


Bild 3.6: Grafische Darstellung von Klasse und Objekt am Beispiel

Operationen sind Funktionen oder Transformationen, die auf Objekte oder von Objekten einer Klasse angewendet werden. Operationen können *polymorphe* Strukturen aufweisen, d.h. eine Operation kann für mehrere Klassen gelten, hat aber für jede Klasse eine andere Ausprägung. Dies fordert wiederum die Kenntnis der Klasse, von der das Objekt abstammt.

Polymorphismus kann auch bei *Methoden* vorkommen, die die Implementierung einer Operation einer Klasse darstellen. Je nach Objekt können verschiedene Methoden für ein und dieselbe Operation angewendet werden.

In Bild 3.6 finden sich die o.g. Begriffe in ihrer grafischen Repräsentation. Die Elemente der OM-Technique werden vor allem zum leichteren Verständnis in dieser Weise wiedergegeben, um eine einfache Überprüfung der Abbildungstreue zwischen realer Welt und Modellwelt zu unterstützen.

Anhand des genannten Bildes soll der Nutzen des Polymorphismus verdeutlicht werden. In der Klasse, die die Industrieroboter abbildet, wurde eine Operation *Achse-bewegen* definiert. Wird diese Operation beispielsweise in einer Klasse zur Abbildung von Drehmaschinen verwendet, so ist dies eine Definition in einem komplett geänderten Umfeld. In der Klasse *Industrieroboter* wird die Bewegung eines Gelenkarmes beschrieben, während in der Klasse *Drehmaschine* der Vorschub der Z-Achse abgebildet wird.

Bei der Objektinstanziierung wurde im vorliegenden Beispiel für jede Achse explizit eine Operation angegeben. Die Bewegung einer Linear- und einer rotatorischen Achse unterscheidet sich in der Art und Weise, wie der Zahlenparameter verwendet wird. Im ersten Fall ist die Bewegung um eine Distanz, im zweiten Fall um einen Winkel beschrieben. Da diese Funktionen möglicherweise unterschiedlich spezifiziert werden, wurden sie zur Verdeutlichung als zwei Methoden aufgeführt. Gleichzeitig können aber auch für die unterschiedlichen Linearachsen verschiedene Implementierungen im Zielsystem erfolgen.

Bild 3.7 zeigt ein weiteres Konstrukt zum Aufbau von Klassen- bzw. Objektmodellen. Die sog. *Assoziation* ist eine Gruppe von Verknüpfungen mit einer gemeinsamen Struktur und Semantik. Im allg. werden Assoziationen, wie die Grafik zeigt, innerhalb von Problembeschreibungen in der Form von Verben ausgedrückt. Sie sind inhärent bidirektional, d.h. sie können in beide Richtungen durchlaufen werden. Assoziationen können binärer, ternärer oder höherer Ordnung sein, wobei letztere in der Praxis kaum

vorkommen, schwer zu verstehen sind und in Assoziationen niederer Ordnung zerlegt werden können. In Bild 3.7 finden sich ausschließlich binäre Assoziationen.

In diesem Beispiel wird ein Bereich der Fertigungssteuerung, konkret die Zuordnung zwischen Produktionsplänen und Produktionsmittel zur Ermittlung der Maschinenbelegung, abgebildet. Durch die Assoziation können einzelne Objekte zu größeren Einheiten zusammengesetzt werden und bilden damit die Grundlage für den geforderten transparenten Aufbau.

Assoziationen können, genauso wie Klassen oder Objekte mit Attributen, mit *Verknüpfungsattributen* ausgestattet werden. Jede Assoziation besitzt pro durchlaufener Richtung eine sog. *Rolle*, die jeweils mit einem eindeutigen Namen identifiziert wird. Damit kann die Rolle des assoziierten Objektes benannt werden, ohne die Assoziation selbst direkt zu spezifizieren.

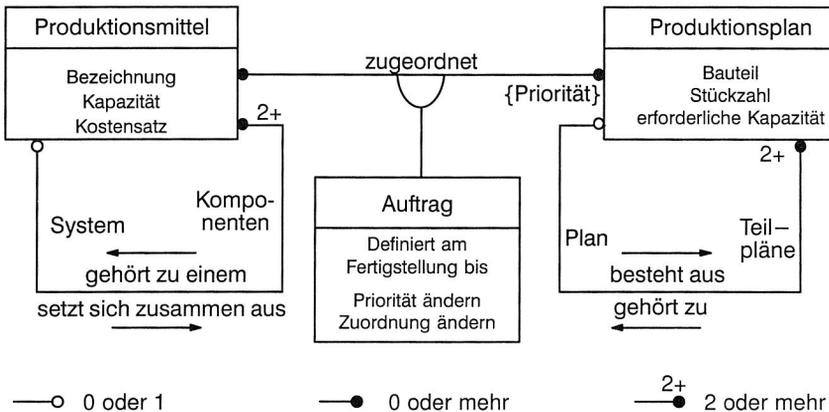


Bild 3.7: Darstellung von Assoziationen und Multiplizität an einem Objektmodell zur Abbildung von Arbeitsplänen

Die Anzahl der Instanzen einer Klasse, die der Instanz einer anderen Klasse zugeordnet sind, definiert die *Multiplizität*. Aus der E–R-Notation (Entity–Relationship) sind die Assoziationen 1:1, 1:c, 1:m und 1:mc als grundlegende Verknüpfungen bekannt [14,76]. Die OM-Technique bietet die Freiheit, diese durch Angabe konkreter, nichtnegativer Zahlen zu detaillieren (s. Bild 3.7).

Klassen, Objekte und Assoziationen können durch weitere *Einschränkungen* genauer beschrieben werden. Die Angabe eines Ordnungskriteriums oder die Abhängigkeit

zweier Attribute eines Objektes voneinander ermöglichen, den semantischen Inhalt weiter zu spezifizieren. Beispiele zu den eben genannten Modellierungselementen finden sich ebenfalls in Bild 3.7.

Als Element zum Aufbau hierarchischer Modelle ist die *Aggregation* als Sonderform der Assoziation zu nennen. Sie repräsentiert die "ist Teil von" –Relation, in der Objekte als Komponenten einem anderen Objekt als Komponentengruppe zugeordnet werden. Die Aggregation ist eine transitive und antisymmetrische Relation und kann ebenfalls durch die o.g. Einschränkungen weiter spezifiziert werden [88].

Kennzeichen und wichtigstes Element der objektorientierten Modellierung ist die *Generalisierung und Vererbung*. Die Generalisierung beschreibt die Relation zwischen einer Klasse (Oberklasse) und einer oder mehrerer verfeinerter Versionen davon (Unterklassen). Die Unterklasse erbt alle Merkmale der Oberklasse, kann weitere hinzufügen oder bestimmte Merkmale neu definieren und damit überschreiben. Die Generalisierung bildet eine Relation zwischen Klassen und bietet die Möglichkeit, diese zu strukturieren. Im Gegensatz dazu ist die Aggregation eine Relation zwischen Instanzen, an der zwei unterschiedliche Objekte beteiligt sind.

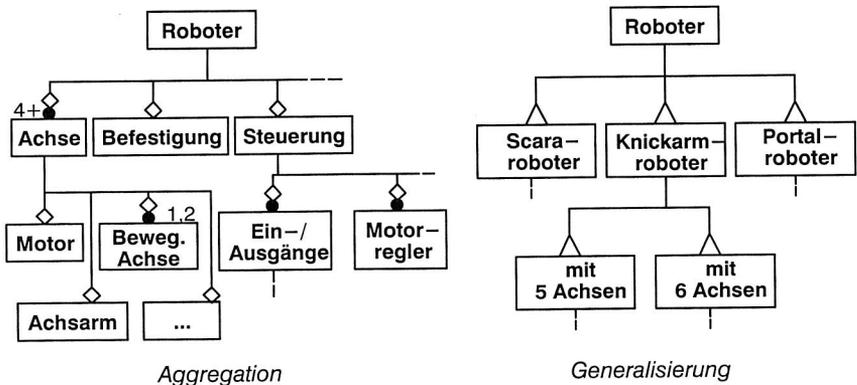


Bild 3.8: Vergleich Aggregation und Generalisierung im Objektmodell am Beispiel

Bild 3.8 zeigt Vererbung und Generalisierung beispielhaft im Vergleich. Ein Objekt, das aus dem rechten Klassenmodell instanziiert wird, besitzt alle Attribute der Klassen, die auf dem Pfad zur Wurzel liegen. Ebenso verhält es sich mit den Operationen. Werden dabei auf niederen Ebenen Attribute oder Operationen neu definiert, so werden die auf der höheren Ebene liegenden überschrieben.

Zur Gruppierung komplexer Objektmodelle werden *Module* eingesetzt, die eine bestimmte Sicht auf eine Situation beinhalten. Klassen und Assoziationen sind innerhalb eines Moduls eindeutig und können Verweise auf andere Module und den darin enthaltenen Klassen beinhalten. Es ist allerdings anzustreben, bei der Modellierung die Verweise auf externe Module (externes Binden) weitestgehend zu vermeiden.

3.2.2 Dynamisches Modell

Das dynamische Modell beschreibt den Teil eines Gesamtsystems, der die zeitliche Dauer und Abfolge von Operationen abbildet. Dazu gehören z.B. Ereignisse und Zustände, die wiederum Ereignisse auslösen oder die zulässige Umgebung für weitere Aktionen schaffen. Die Definition des dynamischen Modells ist unabhängig von Operationen, dem Objekt, auf dem die Operation ausgeführt wird oder in welcher Weise diese Operation ausgeführt wird.

Die zeitlichen Abhängigkeiten beschreiben die Steuerung des Gesamtsystems, in dem Änderungen innerhalb des Objektmodells entstehen. Typische Darstellungen dynamischer Vorgänge sind beispielsweise Planungs- oder Projektablaufe in Form von Netzplänen oder Flußdiagrammen [4,41,95]. Die Begriffe und deren grafische Darstellung durch die OMT zur Abbildung der dynamischen Vorgänge in einem System werden im folgenden definiert (Bild 3.9).

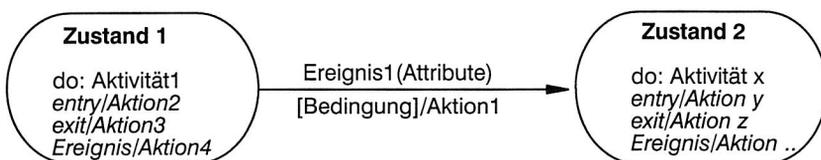


Bild 3.9: Definition und grafische Darstellung dynamischer Abläufe

Im statischen Modell findet sich die exakte Beschreibung der Objekte mit Attributen und Verknüpfungen. Die Instanziierung, d.h. die Wertzuweisung der Attribute und die Konkretisierung der Verknüpfung, definiert einen Zustand des Objektmodells. Durch ein bestimmtes Ereignis wird ein Reiz auf ein Objekt ausgelöst, auf den das Objekt je nach Zustand, in dem es sich bei Empfang des Reizes befand, unterschiedlich reagiert. Es ändert beispielsweise seinen Zustand durch Modifikation eines Attributwertes oder sendet wiederum ein Ereignis an ein anderes Objekt. Die

Verflechtung der *Zustände*, *Zustandsänderungen* und *Ereignisse* wird in einem *Zustandsdiagramm* dargestellt. Es existiert von jeder Klasse mit relevantem dynamischen Verhalten, das in das Modell einfließen soll, ein solches Diagramm. Die Kombination aller *Zustandsdiagramme* über gemeinsame Ereignisse bilden das dynamische Modell.

Ein *Ereignis* oder eine *Ereignisinstanz* definiert, was zu einem bestimmten Zeitpunkt passiert und besitzt keine zeitliche Ausdehnung, z.B. "Datei wird geöffnet" oder "Ergebnis einer Berechnung liegt vor". Ereignisse können entweder in einer bestimmten logischen Folge stattfinden oder ohne Bezug zueinander sein (parallel). Sie werden analog wie Objekte zu *Ereignisklassen* gruppiert und mit Attributen näher beschrieben. Die Werte der *Ereignisattribute* werden bei Eintritt des Ereignisses mit an das Objekt übergeben. Es wird allerdings nur ein Resultat zurückgesendet, wenn das empfangende Objekt genau dieses Ereignis initiiert.

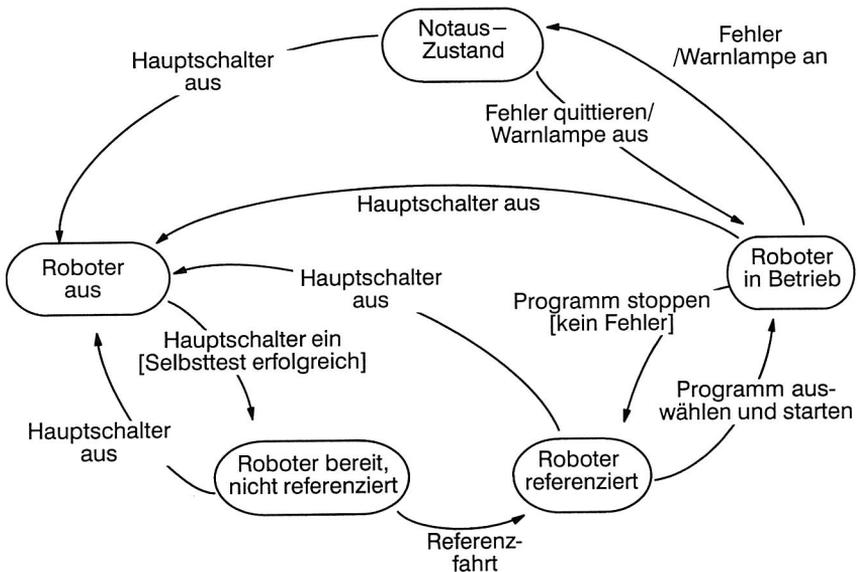


Bild 3.10: Beispiel: Zustandsdiagramm eines Industrieroboters

Ein *Zustand* beschreibt eine Wertemenge von Attributen und Verknüpfungen, die für das Verhalten des Objektes in dem betrachteten Zusammenhang relevant ist. Vom aktuellen Zustand beim Empfang eines Ereignisses hängt die Reaktion eines Objektes auf dieses Ereignis ab. Objekte mit gleichem Zustand reagieren qualitativ gleich bei

Empfang identischer Ereignisse. Ein Ereignis wird auch als Transition bezeichnet, da von einem Zustand in den anderen übergegangen wird. Durch die Angabe einer kausalen Abhängigkeit definiert man bestimmte Eingangsbedingungen (s. Bild 3.10), unter der die Transition auslöst oder "gefeuert" wird.

Ereignisse definieren Anfang und Ende eines Zustandes, der somit eine zeitliche Ausdehnung besitzt und zwei Ereignisse voneinander trennt. Umgekehrt trennt ein Ereignis zwei Zustände. Diese Zusammenhänge werden im Bild 3.10 durch das Beispiel verdeutlicht. Der Roboter befindet sich im Zustand "Roboter aus" und wird durch das Ereignis "Hauptschalter ein" in den Zustand "Roboter ein, nicht referenziert" versetzt, unter der Bedingung, daß der Selbsttest ohne Fehler durchlaufen wird. Analog erfolgen die Zustandswechsel aufgrund der anderen Ereignisse unter den festgelegten Bedingungen. Dieses Zustandsdiagramm stellt beispielsweise einen Grobentwurf für die Entwicklung eines Steuerprogramms dar, der für den Systemplaner als Vorgabe dient bzw. von ihm selbst als erste abstrakte Abbildung aufgebaut wird.

Um reale Probleme vollständig abbilden zu können, müssen an Zustände oder Transitionen Operationen gebunden werden. Dabei unterscheidet man die *Aktion*, die mit einer Transition assoziiert wird und ebenfalls zeitlos ist. Die sog. *Aktivität* beschreibt eine fortdauernde Operation oder sequentielle Operationen, die beim Einnehmen eines Zustandes ausgeführt werden (s. Bild 3.10). Ebenso besteht die Möglichkeit, bei Erseintritt, Verlassen oder bei einem Ereignis ohne Zustandsänderung Aktionen auszuführen. Zustände und Ereignisse können in gleicher Weise wie Objekte generalisiert und damit hierarchisch strukturiert werden.

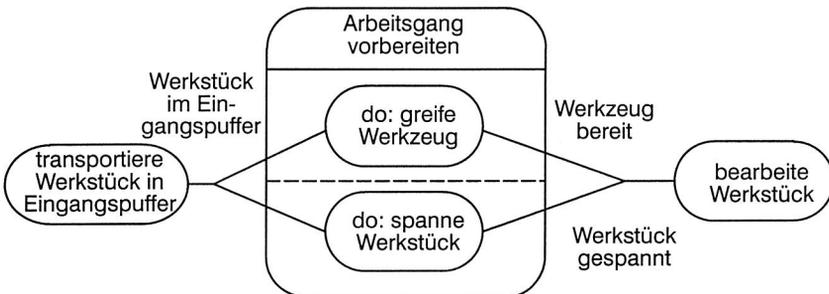


Bild 3.11: Beispiel: Synchronisation von Prozessen beim Beladen einer Arbeitsstation

Bei der Modellierung paralleler Operationen wird die *Parallelität* zwischen und innerhalb von Objekten unterschieden. Bei Aggregation (s. Kap. 3.2.1) existiert für jedes Objekt ein eigenes Zustandsdiagramm, d.h. der Zustand des Gesamtsystems besteht aus dem Produkt aller Objektzustände. Innerhalb eines Objektes werden durch eine mögliche Teilmengenbildung von Attributen und Verknüpfungen mehrere Unterdiagramme definiert. Der Zustand des Objektes ist durch die Zustände aller einzelnen Diagramme beschrieben. Eine *Synchronisation* kann innerhalb des Objektes durch gegenseitiges Senden von Ereignissen oder extern durch Aufspalten eines Eingangsereignisses und wieder Zusammenführen der Ausgangsereignisse erreicht werden (s. Bild 3.11).

Anhand der Beispiele ist zu sehen, daß die gezeigten Beschreibungskonstrukte beliebige Vorgänge unter zeitlichen Aspekten darstellen. Neben der Abbildung von Steuerungsabläufen innerhalb eines Produktionssystems können analog Planungsvorgänge mit ihren Interdependenzen wiedergegeben werden. Je nach Anwendung werden somit verschiedene dynamische Modelle für identische Objekte oder Mengen von Objekten definiert.

3.2.3 Funktionales Modell

Das funktionale Partialmodell oder Datenflußschema umfaßt die Abbildung der Transformation von Daten oder Werten innerhalb eines Systems unabhängig vom Zeitpunkt der Ausführung. Datenflußdiagramme zeigen typischerweise die Berechnung der Ausgangswerte durch Eingabewerte in Abhängigkeit der vorgegebenen Funktion.

Als Beispiel sei die Berechnung von Masse und Trägheitsmomenten eines Körpers genannt, bei der die Körpergeometrie und Dichte des Materials Eingabedaten sind. Ebenso ist die Ermittlung von Investitionskosten für eine Produktionsanlage eine mögliche Funktion, bei der eine Vielzahl von Eingabeparametern, wie Kaufpreis, Nutzungsdauer, Abschreibungssatz, Kapazität usw., zu einem Ergebnis verknüpft werden. Im folgenden werden die verschiedenen Konstrukte zum Aufbau des funktionalen Modells erläutert und in ihrer grafischen Form dargestellt.

Im funktionalen Modell werden die Ergebnisse von Berechnungen, die innerhalb des Systems stattfinden, beschrieben, ohne Angaben über die Art und den Zeitpunkt zu machen. Die Darstellung erfolgt in Form von *Datenflußdiagrammen*, die den Fluß von

Datenwerten von ihrer Quelle in Objekten über Transformationen zu ihrem Ziel in anderen Objekten aufzeigen.



Bild 3.12: Definition und grafische Darstellung der Komponenten des funktionalen Modells

Das Hauptelement *Prozeß* ist eine Funktion mit einer festen Anzahl von Ein- und Ausgabewerten, die von anderen Elementen geliefert werden. Die Funktion spezifiziert nur die Ergebnisse, nicht jedoch auf welche Art diese Ergebnisse erzeugt werden. Ein *Datenfluß* verbindet die Ausgabe eines Prozesses oder Objektes mit der Eingabe anderer, wobei der Datenwert nicht verändert wird, dieser mehreren Objekten oder Prozessen zur Eingabe zugeordnet oder bei einem Aggregationswert aufgespalten werden kann.

Durch ein *Handlungsobjekt* können Datenwerte erzeugt oder verbraucht werden und dienen in den meisten Fällen als Terminatoren des Datenflußgraphen. *Datenspeicher* sind im Gegensatz zu Handlungsobjekten passive Objekte, die Informationen für einen späteren Zugriff speichern und nicht selbständig Operationen generieren, sondern nur auf Anforderungen reagieren.

Entscheidungen, die eigentlich dem dynamischen Modell zugeordnet sind, werden oft aus Gründen der Übersichtlichkeit als *Kontrollflüsse* im funktionalen Modell abgebildet. Sie liefern keine Datenwerte und dienen dazu, die Ausführung einer oder mehrerer Funktionen zu steuern. Bild 3.12 zeigt die genannten Modellierungselemente in ihrer grafischen Darstellung.

Im Bereich der Produkt- und Prozeßplanung können verschiedenste Elemente durch Funktionen abgebildet werden. Die in Kap. 3.1 erwähnten Abbildungsfunktionen für die Benutzersichten, Berechnungsfunktionen für Bauteilgewichte oder die Ermittlung von Belastungen bei Krafteinwirkung auf Fügeverbindungen sind dafür Beispiele. Auch die Auswahl von Alternativen für die Lösung eines Planungsproblems durch den Menschen fallen in diesen Bereich.

3.2.4 Interdependenzen der Partialmodelle

Die drei erwähnten Modelle bilden jeweils eine andere Sicht auf den gewählten Realitätsausschnitt ab. Das Objektmodell beinhaltet die Komponenten des Gesamtsystems, auf denen Operationen ausgeführt werden. Deren Ausführung und Zeitpunkt werden im dynamischen Modell definiert, wobei die für jede Operation durchgeführten Funktionen im funktionalen Modell zu finden sind. Die Werte für die Berechnung finden sich wiederum im statischen Modell.

Im Gegensatz zu anderen objektorientierten Methoden wie JSD (Jackson Structured Development) oder SA/SD (Structured Analysis/Structured Design), die Ähnlichkeiten mit dem vorliegenden Ansatz aufweisen [12,18,57], liegt hier der Schwerpunkt auf dem Objektmodell als Ausgangspunkt für den Aufbau. Die objektorientierte Dekomposition des realen Ausschnittes bildet die Basis für ein breites Verständnis des zu behandelnden Problems, da dem Anwender reale oder konzeptionelle Objekte in seiner Weltsicht zur Verfügung gestellt werden. Damit findet der Entwickler und der Benutzer sich in einer vertrauten Begriffshierarchie gegenüber [44]. Die dynamische Sicht auf das Problem ist dem Benutzer aufgrund zeitlicher Abfolgen ebenfalls geläufig. Funktionale Abläufe dagegen sollten verborgen bleiben, da hier nur Eingangs- und Ausgangswerte von Interesse sind.

Die genannten Werkzeuge der drei Modellbereiche sind vollständig in Rumbaugh [88] abgebildet, wo sie noch weiter detailliert werden. Für den Aufbau des Modellkonzeptes zur Abbildung der Produkt- und Prozeßplanung wird sich im vorliegenden Fall auf die erläuterten Komponenten gestützt. Die Freiheiten, die durch die Nutzung der OMT angeboten werden, ermöglichen es, an entsprechender Stelle auf die exakte Wiedergabe der Syntax zu verzichten, ohne den semantischen Inhalt der Abbildung zu beeinträchtigen. Dies wird genutzt, um nicht durch Details die Veranschaulichung und Transparenz der modellierten Elemente zu verlieren.

3.2.5 Einordnung des Modellkonzeptes in Entwicklungsphasen

Die Werkzeuge der verwendeten Modellierungsmethode unterstützen die Entwicklung von rechnergestützten System in jeder Detaillierungsphase. Wesentliches Ziel dieses Modellentwurfs und auch Grundvoraussetzung für eine umfassende Abbildung aller Komponenten ist jedoch deren einheitliche Beschreibung, so daß die Übereinstimmung zwischen Modell und Realsystem verifiziert werden kann.

Für die Entwicklung von Softwaresystemen findet sich in der Literatur folgende Strukturierung in Phasen [88]:

- a) *Analyse*:
 - Abbildung des Realitätsausschnittes
 - Sicherstellung der Funktionalität
 - anwendungsbezogen, Fehlen von Implementierungsorientierung
- b) *Systementwurf*:
 - Ermittlung von Teilsystemen
 - Untersuchung auf Zielarchitektur
 - Zuweisung von Ressourcen
- c) *Objektentwurf*:
 - Definition von Datenstrukturen und Algorithmen
 - Modifikation der Objektklassen aus der 1. Phase entsprechend der gewählten Ressourcen
- d) *Implementierung*:
 - Umsetzung in Programmiersprachen, Datenbanken und hardwareabhängige Implementierungsformen

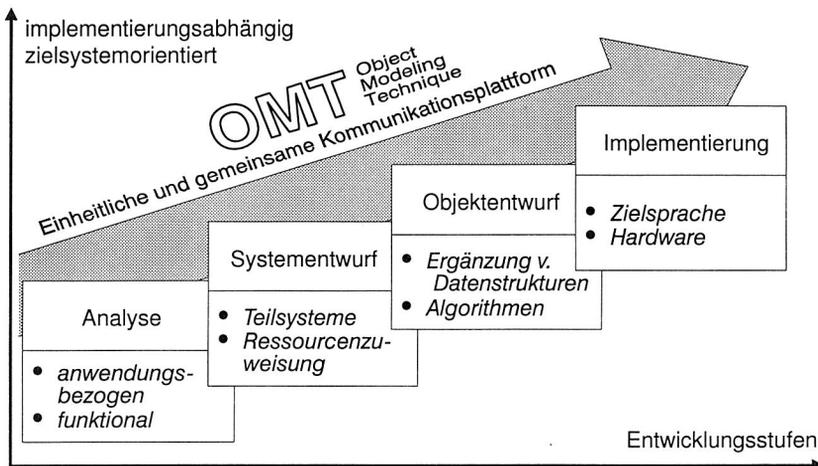


Bild 3.13: Einsatz von OMT innerhalb der Entwicklungsstufen

Anhand der genannten Merkmale der verschiedenen Phasen wird deutlich, daß in der Entwicklungsstufe der Analyse die Zielkriterien aus Kapitel 2 erfüllt werden. Alle

nachfolgenden Stufen beinhalten Informationen, die die Heterogenität bzgl. Objekt und Abläufe nicht mehr verbergen und Implementierungselemente aufzeigen. Die Überführung in ein Zielsystem wird allerdings direkt durch die in jeder Phase analogen Konstrukte der OMT unterstützt (Bild 3.13). Damit entfallen aufwendige Transformationen der verschiedenen Beschreibungen im Vergleich zu anderen Abbildungsmechanismen [47,97]

3.3 Transformation in den objektorientierten Ansatz

Für den in Kap. 3.1 ermittelten Informationsumfang seitens der Produkt- und Prozeßplanung werden im folgenden mit Hilfe der aufgezeigten Werkzeuge Klassenstrukturen definiert, die die Grundlage zu einem flexiblen und transparenten Aufbau des Modells bilden. Es erfolgt eine Ausrichtung nach der Anwendung und dem Nutzen der Klassen im Planungsdurchlauf.

3.3.1 Bereitstellung von Klassen

Bei der Ermittlung der relevanten Objekte für das Gesamtmodell lassen sich folgende Klassen nennen und deren Informationsumfang spezifizieren:

a) *Geometrieklassen:*

Sie definieren die geometrischen Informationen von Bauteilen und Maschinen. Die Operationen der Klasse betreffen im allgemeinen geometrische Manipulationen oder Berechnungen, wie beispielsweise Gewicht oder Abmessungen. Die instanziierten Objekte definieren die geometrische Benutzersicht und bilden die Grundlage für ortsbezogene Informationen.

Die in einem CAD-System hinterlegte Geometrie von Bauteilen wird durch Objekte, die aus diesen Klassen instanziiert werden, abgebildet. In Analogie zu einem volumenorientierten CAD-System entsprechen die dort verwendeten geometrischen Primitive den entsprechend parametrisierten Objekten der "geometrischen" Klassen. Die Operationen, wie z.B. *Vergrößern*, *Drehen* oder auch *perspektivisch Darstellen*, werden in den Klassen als Operationen auf Objekte beschrieben. Die Bohrung in einem Bauteil entsteht, geometrisch betrachtet, durch den Abzug des Objektes *Zylinder* von einem anderen Objekt.

b) *Klassen mit technologischer Ausrichtung*

Sie beinhalten Daten wie z.B. Materialeigenschaften, Belastungen, Art der Fügeverbindung, Toleranzen auf Produktseite oder die Leistungsmerkmale

bestimmter Ressourcen in bezug auf eine bestimmte Technologie. Angaben, wie Toleranzen mit einer Bezugsgröße, haben in dieser Klasse eine technologische Ausprägung, während in a) dazu ein geometrisches Objekt existiert, die mit den Objekten dieser Klasse verknüpft ist.

Bezugnehmend auf das Beispiel der Bohrung aus a) definiert eine Toleranzangabe des Durchmessers ein Kriterium zur Auswahl des entsprechenden Paßstiftes oder ein Qualitätsmerkmal für die Erstellung. Diese Angabe hat, unabhängig von einer geometrischen Darstellung, Einfluß auf den Planungsablauf. In Verbindung mit der Gestalt werden Abweichungen von der exakten Geometrie des Bauteiles wiedergegeben.

c) *Funktionsklassen*:

Vorgänge und Operationen werden als eigenständige Objekte definiert. Dabei wird zwischen ressourcenneutralen und ressourcenbezogenen Objekten unterschieden, die durch die Produkt- und Prozeßplanung miteinander verknüpft werden. Im ersten Fall stehen vor allem die technologiebedingten Eigenschaften, bei letzteren die Funktionalität der Ressource und deren primärer Einsatz im Vordergrund (s. Kap 5. und 6)

Die Bohrung aus den o.g. Beispiel kann durch die Operation *Bohrung erstellen* (*Nullpunkt, Durchmesser, Tiefe*) zunächst völlig unabhängig von einer Ressource spezifiziert werden. Dieser Prozeß kann durch eine Fräs- oder eine Bohrmaschine durchgeführt werden; in beiden Fällen trifft die neutrale Beschreibung zu. Die funktionale Abbildung der Ressource wird dieser Beschreibung zugeordnet und beinhaltet maschinennahe Parameter. Beispielweise werden bei der Bohrmaschine Drehzahl-, Vorschub- und Werkzeugangaben angegeben sein.

d) *Klassen mit administrativer Ausrichtung*:

In diesen Klassen werden Zusatzinformationen hinterlegt, die nicht primär zur Lösung der Planungsaufgabe benötigt werden.

Dies sind z.B. der Name der Abteilung oder des Konstrukteurs, Katalogdaten, Lager- und Einkaufsdaten. Sie spielen innerhalb der Produkt- und Prozeßplanung eine eher untergeordnete Rolle.

e) *Klassen zur Spezifikation von Restriktionen*:

Bei der Planung von Produktionsanlagen sind bestimmte vorgegebene Randbedingungen einzuhalten, sei es bei den Ressourcen durch begrenzte Leistungsfähigkeit oder auf der Seite des Produktes aufgrund max. zulässiger

Belastungen. Restriktionen beziehen sich grundsätzlich auf Eigenschaften von Objekten und deren Zulässigkeit.

Im statischen Objektmodell können in beschränkter Weise Kontrollfunktionen auf Attributwerte abgebildet werden. Diese müssen aber beim Aufbau bekannt sein und, das ist wesentlich, für alle Objekte der Klasse gelten. Bezugnehmend auf das Beispiel mit der Bohrung will der Konstrukteur den Durchmesser soweit einschränken, daß nur Normpaßstifte zwischen 8 und 16 mm verwendet werden können. Diese Restriktion kann nicht in die Klassendefinition aufgenommen werden, da sonst die Durchmesser aller existierender Bohrungen eingeschränkt würden. Sie wird explizit als eigenes Objekt instanziiert und überwacht bei Zugriff auf das bezogene Objekt den Eintrag möglicher Werte für den Durchmesser.

- f) *Klassen zur Abbildung von Sonderfunktionen zur Überwachung des Modells*
Diese Klassen werden aus Gründen der Übersichtlichkeit von denen der Restriktionen unterschieden und tragen nicht unmittelbar mit Informationen zur Lösung des Planungsproblems bei.

Aufgrund sequentieller und paralleler Planungsaktivitäten bei gleichzeitigem Zugriff zahlreicher Planungsinstanzen ist es notwendig, Kontrollfunktionen zu schaffen, die im Gegensatz zu Restriktionen nicht Werte überwachen, sondern Operationen auf Attribute, wie den Eintrag oder das Löschen bestimmter Daten. Andere Funktionen, z.B. Versionsverwaltung und Planspielmodi werden ebenfalls durch diese Klassen charakterisiert und in das Gesamtmodell eingebunden.

Bei der Generierung der Bohrung aus dem obigen Beispiel kann möglicherweise automatisch eine Überprüfung durchgeführt werden, die dem Konstrukteur anzeigt, ob schon ähnliche Bohrungen vorhanden sind. So ist ein gewisser Zwang auf die Nutzung einheitlicher Konstrukte gegeben.

Die Klassen können in allen Fällen hierarchisch durch Aggregation oder Generalisierung strukturiert werden. Die Ausführung hängt vom zu beschreibenden Objekt und Anwendungsfall ab. Typischerweise treten in dem Gebiet der Produkt- und Prozeßplanung oft rekursive Klassenstrukturen auf. Beispielsweise definiert eine Klasse Bauteile auf höchster Ebene das komplette Erzeugnis, auf unterster Ebene ein konkretes elementares Einzelteil. Dies ermöglicht den Aufbau der in Kapitel 3.1.3 genannten Benutzersichten auf die Produktstruktur.

3.3.2 Planungsabläufe und –zustände

Die Abläufe innerhalb der Planungskette werden durch die in Kap. 3.2.2 genannten Ereignisse und Zustände abgebildet. Sie definieren die Abfolge und die Abhängigkeiten der Manipulationen von Informationen innerhalb des Gesamtmodells. Eine sequentielle Vorgehensweise läßt sich im allgemeinen aufgrund der fehlenden Rückkopplung leicht beschreiben und abbilden. In dem betrachteten Planungsbereich ist jedoch gerade wegen der geforderten Zeitminimierung die optimale Abstimmung des Planungsablaufes unerlässlich, was zwangsläufig zu parallelen Vorgängen führt. Dies erfordert Verzweigungen, die teilweise durch Bedingungen überwacht werden, Alternativen im Planungsfortgang zulassen und Regelkreise ermöglichen.

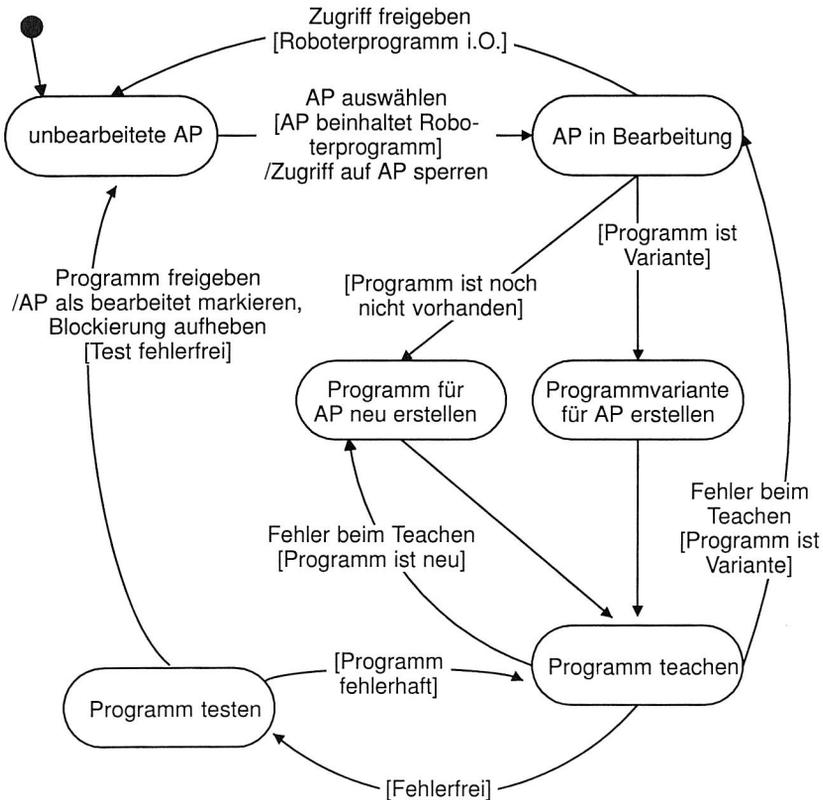


Bild 3.14: Abbildung von Planungsabläufen durch Ereignisse und Zustände

Ausgehend von einem bestimmten Planungszustand, wird das betroffene Objekt durch die Stimulanz eines Ereignisses zu der dem Zustand entsprechenden Reaktion veranlaßt. Der schwarze Punkt im Diagramm definiert den Anfangszustand, von dem aus ein Ablauf gestartet wird. In Bild 3.14 beispielsweise sind die Vorgänge zur systematischen Erstellung der Steuerprogramme für eine Arbeitsstation in Abhängigkeit der dort durchzuführenden Arbeitspläne dargestellt. Durch feuern der Transitionen wird das Zustandsdiagramm auf einem Pfad bis zu einem Ausgangszustand durchlaufen. In der Abbildung wird deutlich, daß bestimmte Ereignisse und Zustände mehrmals durchlaufen werden können. Der exakte Aufbau des dynamischen Modells erlaubt es, diese Regelkreise zu erkennen. Ziel dabei ist es, sie erst in tieferen Detaillierungsebenen explizit darstellen zu müssen, um höchstmögliche Modularität und Transparenz im Modell zu gewährleisten.

Die Transformation der dynamischen Vorgänge beschränkt sich nicht nur auf den Bereich des Planungsgeschehens, sondern auch auf denjenigen der Ergebnisse, die durch die Informationsgewinnung entstehen. Da das Ziel der Produkt- und Prozeßplanung die Ermittlung der detaillierten Produktionsabläufe ist, werden diese ebenfalls durch die angesprochenen Werkzeuge in dem Modell abgebildet. Das Bezugsobjekt ist in beiden Fällen identisch. Das dynamische Modell kontrolliert somit innerhalb des Planungsgeschehens die Informationsgewinnung für den Produktionsprozeß als Ganzes. Innerhalb der Produktion spezifiziert es die Abfolge der Fertigungs- und Montageprozesse.

3.3.3 Funktionale Komponenten in der Planung

Hier lassen sich analog zum dynamischen Partialmodell ebenfalls zwei Betrachtungsweisen bzgl. der Nutzung der Abbildungsmechanismen angeben. Innerhalb des 1. Bereiches werden typische Funktionen, wie die Berechnung von Festigkeiten, Gewichten, Abmessungen oder die Ermittlung eines Steuerprogramms für einen Industrieroboter, durch die Beschreibungselemente abgebildet. Die Ein- und Ausgabewerte der Funktionen werden dort ebenfalls spezifiziert. Auf abstrakter Ebene sind die Produkt- und Prozeßplanung selbst Funktionen, die innerhalb des Auftragsdurchlaufes in Anspruch genommen werden.

Der zweite Bereich, die Sichtweise der Produktion, umfaßt alle Funktionen, die durch Prozesse in Anspruch genommen werden. Die Bewegung durch ein Förderband, das Stanzen von Bauteilen, das Einlegen eines Bauteils durch eine Vorrichtung usw., sind Funktionen, die sich bestimmten Ressourcen zuordnen lassen. Die menschliche

Arbeit lässt sich ebenfalls durch Funktionen beschreiben, die die betreffende Person innerhalb des Unternehmens ausführt. Für beide genannten Bereiche werden identische Abbildungselemente verwendet.

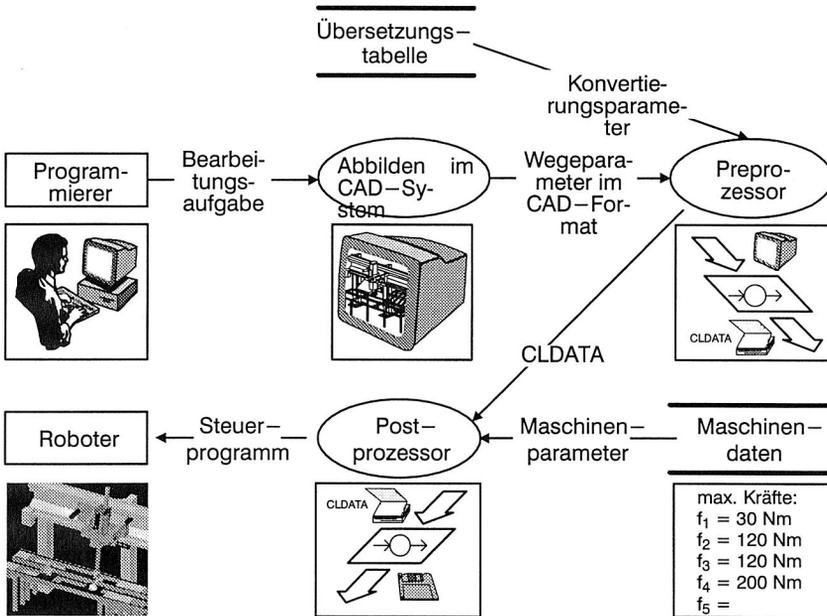


Bild 3.15: Beispielhafte Darstellung der Funktionen bei der Erstellung eines Roboterprogramms durch Offline-Programmierung

Das in Bild 3.15 aufgeführte Beispiel zur Erstellung eines Roboterprogramms durch die auf einem CAD-System aufbauende Offline-Programmierung zeigt die verschiedenen Elemente des funktionalen Teilmodells. Nach der Definition der kinematischen Abläufe durch einen Programmierer übergibt dieser mit weiteren Informationen die gespeicherte Datei an einen Preprozessor, der daraus ein zunächst maschinenneutrales (z.B. CLDATA) Format erzeugt. Mittels Angabe der Zielsteuerung und weiterer Parameter übersetzt ein Postprozessor dieses in den endgültigen Maschinencode. Durch Kalibrierung und exakte Justage des relativen Nullpunktes und der Lage wird das Roboterprogramm letztendlich der Maschine angepaßt. Konstrukteur und Roboter bilden bei diesem funktionalen Modell die Handlungsobjekte.

Insbesondere für die Planung spielt die Generierung neuer Objekte und deren Verknüpfung eine wesentliche Rolle. Aus den o.g. Datenflüssen werden durch den Vorgang der Instanziierung Objekte erzeugt, die zu einem späteren Zeitpunkt verwendet oder auf denen Operationen ausgeführt werden. Auch dieser Sachverhalt kann als Funktion innerhalb des funktionalen Modells abgebildet werden. Im Bild 3.15 wird durch die Funktion *Postprozessor* eine neue Instanz aus der Klasse STEUERPROGRAMM erzeugt.

3.3.4 Restriktionen und Sonderfunktionen

Ähnlich wie bei der Multiplizität lassen sich für Attributwerte in der Klassendefinition bestimmte zulässige Wertebereiche angeben. Abgeleitete Attribute innerhalb des Objektes bzw. der Klasse werden aufgrund der inhärenten Funktionalität automatisch kontrolliert.

Die Abhängigkeiten bestimmter Objekte untereinander werden, soweit sie bei der Analyse bekannt sind, im Modellentwurf mit aufgenommen. Zugriffsmechanismen, wie die Einrichtung und Zuordnung der Objektklassen zu bestimmten Benutzergruppen, können allerdings nur teilweise berücksichtigt werden.

Bei der Produkt- und Prozeßplanung sind aufgrund eines vorgegebenen Spielraums (Kosten, Investitionen, Ressourcen usw.) Randbedingungen zu beachten, die modifiziert und vor allem permanent kontrolliert werden müssen. Aufgrund dieser dynamischen Veränderung während der Planung können Restriktionen nicht mehr modellimmanent abgebildet werden, sondern müssen als eigene Klasse modelliert werden (s. Bild 3.16). Solche Restriktionen können zu Beginn von Planungsvorgängen zunächst meist nur vage angegeben, zu einem späteren Zeitpunkte aber genauer detailliert werden. Die Überwachung zulässiger Zustandskombinationen der Objekte in den Zustandsdiagrammen wird durch ein Modul sichergestellt, das auch in der Lage ist, lang andauernde Transaktionen zwischen konsistenten Zuständen zu überwachen.

<p>Statisch abbildbare Restriktionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Festlegen von Wertebereichen der Attribute (Bohrungsdurchmesser 8–16 mm) • Überwachung mehrerer Attribute innerhalb von Objekten (Bohrungstiefe = 2 x Bohrungsdurchmesser) • Eindeutigkeit von Objekten (Verschiedenheit zweier identischer Bauteile) • Relationen zwischen Objekten (Produkt besteht aus Bauteil A, B und C) 	<p>Zusätzliche Kontrolle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zeitliche Konsistenzüberwachung (Zulässigkeit fehlender Informationen) • Zugriffsüberwachung (Blockierung der Änderung von Daten aufgrund lesenden Zugriffs durch Benutzer) • Ereignisüberwachung (Benutzer führt Änderung an Daten durch)
---	---



<p>Ereignis</p> <p>Ereignisart: Speicherung eines Objektes <i>Bohrung</i> Datum: 21.12.95, 17:31:01,05</p>	<p>Bedingung</p> <p>Parameter: Bohrung.Durchmesser</p> <p>Bedingung: $8 \leq \text{Parameter} \leq 16$</p>	<p>Aktion</p> <p>Befehlsfolge: Warnung ausgeben, Speicherung abbrechen, Korrekturaufforderung</p>
---	--	--

Kontrolleinheit (Bedingung, Aktion)	
Objekt:	Bohrung1
Bedingung:	Ist Bohrung.Durchmesser $\geq 8\text{mm}$ und $\leq 16\text{mm}$
Aktion:	1) Gebe Hinweis aus: Durchmesser ist nicht zulässig: (8–16mm), 2) Speicherung abbrechen 3) Korrekturaufforderung
Status:	1

Bild 3.16: Abbildung von Restriktionen und Sonderfunktionen

Der Aufbau dieses Kontrollelementes erfolgt in einer Klassenhierarchie zur Abbildung der Ereignis–Bedingung–Aktion–Tripel. Treten zwei identische Ereignisse gleichzeitig auf (inhärente Existenz), so sind für deren Kontrolle zwei verschiedene Restriktionsinstanzen zu erzeugen. Dies erfolgt bei Eintritt des Ereignisses durch die Generierung eines Objektes *Kontrolleinheit*, welches die Abwicklung der kompletten

Restriktionsüberwachung und daraus resultierender Aktionen sicherstellt. Dieses Objekt wird nach Ausführung aller Operationen wieder gelöscht. (s. Bild 3.17)

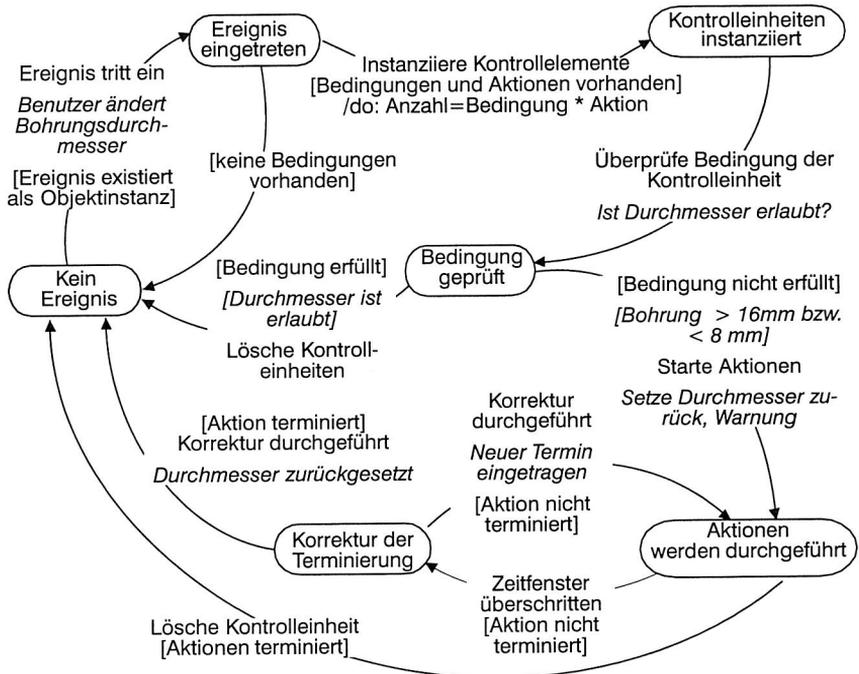


Bild 3.17: Kontrollmodul zur Überwachung von Konsistenzbedingungen

Das Beispiel zeigt, bezugnehmend auf die Daten aus Bild 3.16, die Überwachung der Änderung eines Bohrungsdurchmessers. Durch dieses Ereignis wird auf das entsprechende Objekt ein Reiz ausgelöst und für jede zu überwachende Bedingung und Aktion Kontrollinstanzen erzeugt. Diese agieren als eigenständige Elemente und prüfen, ob die Bedingung erfüllt ist. Ist dies der Fall, erfolgt keinerlei Eingriff und die Kontrollinstanzen werden wieder gelöscht. Ist die Bedingung nicht erfüllt (im vorliegenden Fall liegt der Bohrungsdurchmesser außerhalb des vorgegebenen Bereiches), so werden die Aktionen durchgeführt. Im Beispiel wird der Wert wieder auf den vorherigen zurückgesetzt und dem Anwender eine Meldung angezeigt. Den Aktionen wird beim Aufruf eine gewisse Zeitdauer bis zur Terminierung zugeteilt. Dies ermöglicht den Aufbau von Kontrollelementen, die über einen längeren Zeitraum Inkonsistenzen tolerieren (s. Kap. 2, Ziel: *Abbildung bei Fehlen exakter Informationen*).

Im Zustandsdiagramm sind Ereignisse als zielgerichtete Aktion angegeben, auf die Objekte je nach Zustand unterschiedlich reagieren. Das beschriebene Konstrukt der Kontrollinstanz müßte in diesem Fall von allen auftretenden Ereignissen explizit angesprochen werden. Ein auftretendes Ereignis führt Informationen über Art, Ort und Zeitpunkt der Entstehung mit sich. Darum kann die Überwachung der Restriktionen als passives Modul aufgebaut werden, das auftretende Ereignisse empfangen kann ohne einen dedizierten Reiz auf ein Objekt auszuüben, damit dieses ihm das Ereignis mitteilt. Das erlaubt die getrennte Modellierung im dynamischen Modell und erhöht die Übersichtlichkeit. Gerade in der Planung werden, wie schon erwähnt, solche Restriktionen erst erheblich später nach der Abbildung des betreffenden Objektes modelliert.

Die in Kap. 3.3.1 f) genannten Restriktionen auf struktureller Basis ermöglichen keine Kontrolle auf semantischer Ebene. Diese kann ebenfalls nur durch die eben spezifizierte Metaklassenhierarchie berücksichtigt werden, aus der erst zum Zeitpunkt der Definition von Restriktionen Klassen eingerichtet werden, die bei Auftritt der entsprechenden Ereignisse die Instanziierung der Kontrolleinheiten veranlassen. Weitere Sonderfunktionen, wie z.B. Versionsverwaltung und –kontrolle, Sicherungsmechanismen, Zugriffsregelung, Recovery bei Datenverlust usw., sollten ebenfalls durch eigene Module realisiert werden. Damit ist wiederum eine einfache Änderung der Kontrollelemente möglich, ohne an den Planungsobjekten selbst Modifikationen vornehmen zu müssen.

3.4 Aufbau der modularen Planungsbereiche

Die Ergebnisse der vorangegangenen Kapitel bilden die Grundlage zur Abbildung der verschiedenen Informationen in der Produkt- und Prozeßplanung. Weiterhin bieten sie die Möglichkeit, komplexe Ausschnitte der Realwelt mit Hilfe hierarchischer Komponenten zu strukturieren. Das Ziel, ein transparentes und flexibles Modell zu erstellen, erfordert eine Modularisierung des gesamten betroffenen Planungsbereiches. Die beiden wesentlichen Bereiche *Produkt* und *Ressource* mit ihren Teilkomponenten stellen die Daten zur Ermittlung der Prozesse und werden im folgenden als Module innerhalb des Gesamtmodells spezifiziert.

3.4.1 Der Prozeß als Zielfunktion der Planung

Der Zusammenhang zwischen Prozeß, Produkt, Ressource und der damit zusammenhängenden Planung läßt sich anhand der folgenden Definition konkretisieren [32,35,66]:

- *Ein Prozeß oder mehrere Prozesse erzeugen aus einem oder mehreren Elementen niederer Komplexität Elemente höherer Komplexität mit Hilfe von Ressourcen und deren Funktionalität.*
- *Die Produkt- und Prozeßplanung erzeugt aus dem Produktmodell die Beschreibung der Gesamtheit der Prozesse mit den beteiligten Ressourcen und deren durchzuführenden Funktionen.*

Ausgehend von dieser Definition können innerhalb der angesprochenen Planung zwei Bereiche genannt werden, die sich bezüglich Ausrichtung und Vorgehensweise charakterisieren lassen. Sie sind nicht als eigenständige und unabhängige Planungskomplexe anzusehen, sondern als Zielgrößen der Bearbeitung des in diesem Bereich liegenden wesentlichen Betrachtungsobjektes.

- *Produktorientierte Planung*

Die produktorientierte Planung konzentriert sich bei ihrer Aufgabe auf die Ermittlung einer Beschreibungsform, die die Herstellung eines Erzeugnisses wiedergibt, dabei aber die frühzeitige Referenzierung konkreter Ressourcen vermeidet. Zielgedanke ist, die Systemunabhängigkeit aus Kap. 2 auch beim Aufbau der Objekte innerhalb eines Bereiches sicherzustellen. Das bedeutet, daß die Informationen soweit detailliert werden, wie es die Daten, die inhärent durch das Produkt definiert werden, zulassen. Darüber hinausgehende Informationen werden nicht in die Objektbeschreibung aufgenommen, sondern als Module mit den beschreibenden Objekten des Produktes verknüpft.

- *Systemorientierte Planung*

Bei der Planung der Prozesse werden im allgemeinen Produktionsaufgaben Ressourcen zugewiesen und anschließend deren Funktionen konkret für die gestellte Aufgabe detailliert und spezifiziert. Der Nachteil dieser Vorgehensweise besteht darin, daß durch die Kenntnis der Ressource zunächst keine Tauglichkeitsprüfung der

Funktionen für die gestellte Aufgabe durchführbar ist. Dies erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt. Allerdings besteht dann die Möglichkeit, daß die gewählte Ressource nicht den Anforderungen genügt. Aus diesem Grund sollten die Funktionen der Ressourcen in den Vordergrund gerückt und den Produktionsaufgaben seitens des Produktes gegenübergestellt werden. Implizit sind die Ressourcen den Funktionen zugeordnet und können so über diese referenziert werden. Durch die Möglichkeit der Hierarchisierung können elementare Funktionen des Betriebsmittels beschrieben und einer Aufgabe zugewiesen werden.

Die eben beschriebenen Merkmale finden sich im Gesamtmodell in Modulen wieder, die eine Zusammenfassung der in den jeweiligen Bereichen vorkommenden Objekte sind:

- a) Modul *PRODUKT*: Er beinhaltet alle produktbeschreibenden Klassen, die Zustände, die die Produkte während des Herstellungsprozesses einnehmen können und damit implizit die Übergänge zwischen diesen Zuständen. Ziel innerhalb der Planung ist die Darstellung aller das Produkt betreffenden Fertigungs- und Montageaufgaben durch ressourcenneutrale Informationen.
- b) Modul *RESSOURCE*: Innerhalb dieses Moduls werden alle die Ressourcen beschreibenden Informationen eingeordnet. Wesentliches Ziel der Abbildung in diesem Modul ist die Ausrichtung der Struktur auf die Operationen (Funktionen) der Ressourcen, die diese bei ihrem Einsatz in der Produktion ausführen. Durch einen hierarchischen Aufbau soll eine Detaillierung der Operationen bis hin zu elementaren Einheiten ermöglicht werden. Diese Informationen dienen als Ausgangsbasis bei der Entwicklung der Steuerung.

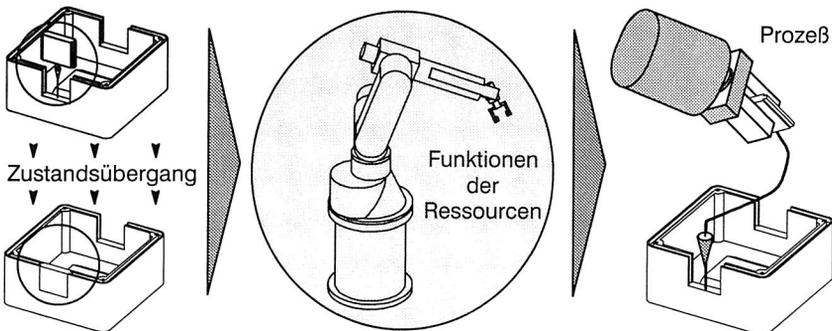


Bild 3.18: Ermittlung der Prozesse aus *PRODUKT* und *RESSOURCE*

Durch die beiden genannten Module werden zunächst die Ausgangsinformationen für die Ermittlung der Prozesse abgebildet. Der Prozeß selbst wird erst durch die Zuordnung eines Objektes aus dem Modul *PRODUKT* und aus dem Modul *RESSOURCE* definiert (s. Bild 3.18). In welcher Form diese Verknüpfung stattfinden soll, wird in den folgenden Kapiteln festgelegt.

3.4.2 Transparenz und Flexibilität durch neutrales Modul

Die angesprochene Zuordnung der Module durch die direkte Verknüpfung eines Produktzustandsüberganges mit einer oder mehreren Funktionen definiert den Prozeß, wie er beim Aufbau der Produktion realisiert werden soll. Die Produktstruktur einerseits und der Planer andererseits ordnen die Prozesse unter zeitlichen Gesichtspunkten. Diese Informationen stellen in ihrer Gesamtheit die Vorgänge bei der Produktherstellung dar.

Durch die genannte Art der Kopplung muß der Planer ein erhebliches Wissen an Produkttechnologie und Ressourcenfunktionalität besitzen, um den Prozeß korrekt zu spezifizieren. Bei Änderungen innerhalb eines Moduls werden grundsätzlich über die Zuordnung Daten im anderen Modul beeinflußt. Diese starre Abhängigkeit schränken Einsatz und Nutzen der beiden Module innerhalb der Planung in erheblicher Weise ein.

Aus diesem Grund wird der Modul *PROZESS* als verknüpfendes Element zwischen den beiden Bereichen integriert (s. Bild 3.19). Er bildet auf der einen Seite die Produktzustandsübergänge auf die darin vorkommenden Technologien ab, gleichzeitig werden im Modul neutrale Operationen definiert, die durch Ressourcenoperationen realisiert werden können. Innerhalb des Moduls erfolgt dann eine Abbildung zwischen Technologie und neutrale Operation, so daß die semantische Lücke zwischen Produkt und Ressource geschlossen wird.

Durch die Modularisierung in diesem Bereich ergeben sich verschiedenste Nutzungsmöglichkeiten. Die Zuordnung innerhalb des Moduls *PROZESS* bildet die Möglichkeitsmenge an Prozessen, die zur Verfügung gestellt wird. Werden beispielsweise nur bestimmte Technologien innerhalb des Moduls abgebildet, so stehen nur diese dem Produktplaner zur Verfügung. Dadurch wird eine gewisse Standardisierung beim Produktaufbau unterstützt.

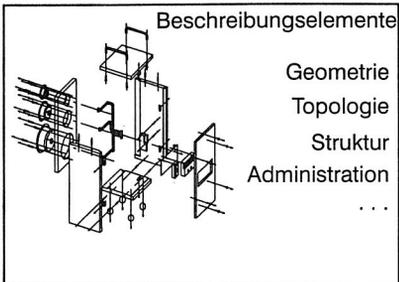
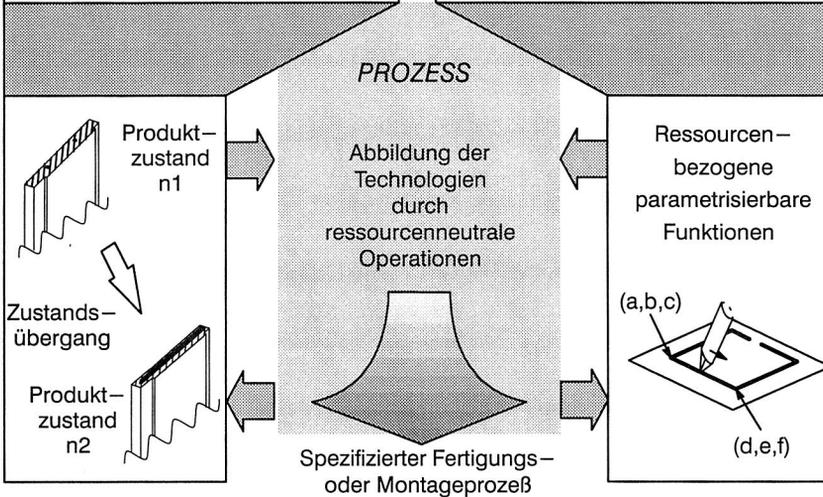
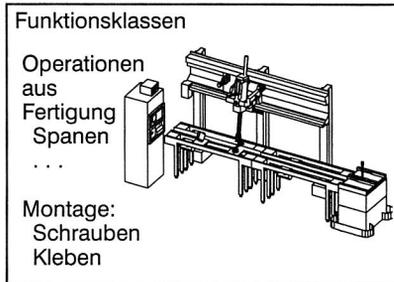
PRODUKT**RESSOURCE**

Bild 3.19: Einbindung des Moduls PROZESS in das Gesamtmodell

Analog können bestimmte Funktionen, die für die Realisierung von Technologien erforderlich sind, grundsätzlich Funktionen bestimmter Ressourcen zugeordnet werden. Dadurch erfolgt ebenso eine Normierung der Vorgänge und eine Verbesserung der Planungsergebnisse. Innerhalb des Moduls *PROZESS* kann dieses Ziel auch durch die Verknüpfung zwischen Technologie und neutralen Operationen realisiert werden.

Die Relationen zwischen den beiden Bereichen innerhalb des Moduls können durch Analyse bestehender Planungsergebnisse ermittelt werden. Bei der Zuordnung fließen diese Informationen wiederum in das Modul ein und bauen sukzessive eine Wissensbasis zur Unterstützung der Produkt- und Prozeßplanung auf. Durch entsprechende Strukturierung kann diese Wissensbasis konkret den Bedürfnissen

angepaßt und auf die Situation des Unternehmens zugeschnitten werden (z.B. Ausrichtung auf bestimmte Betriebsmitteltypen, Prioritätenvergabe bei Auswahl von Funktionen, Kostenbewertung von Technologien).

Bei der Nutzung des Moduls wird durch die Existenz eines Zustandsübergangs in der Produktstruktur die Anforderung postuliert, diesen Übergang durch einen Prozeß durchzuführen. Diese Anforderung initiiert innerhalb des Moduls *PROZESS* die Anfrage nach der Technologie, mit deren Erkenntnis direkt über die neutralen Operationen eine Selektion ressourcenbezogener Funktionen erfolgt. Durch Zuweisung der Parameterwerte ist der konkrete Prozeß zur Durchführung der gestellten Fertigungs– oder Montageaufgabe spezifiziert. Der in diesem Modul ebenfalls geforderte hierarchische Aufbau führt zu einer Detaillierung einerseits der Technologien und andererseits der neutralen Operationen, so daß der Planer in jedem Fall die Informationen für die Bestimmung seiner Zuordnung zur Verfügung gestellt bekommt.

Die Vorgabe von Bandbreiten für die Realisierung gestellter Produktionsaufgaben erfolgt mit Hilfe der flexiblen Zuordnung zwischen den Bereichen. Die Verknüpfung wird dem Anwender durch die objektorientierten Werkzeuge transparent gemacht. Der Produktplaner erhält damit Einblick in die Funktionen für die Realisierung bestimmter Technologien, so daß er die Arbeit des Prozeßplaners unterstützen kann. Aus diesem Grund wird keine Zuweisung von Ressourcen zu Fertigungs– und Montageaufgaben durchgeführt, sondern eine zielgerichtete Abbildung auf die Objekte der Bereiche *PRODUKT* und *RESSOURCE*, die sich in der Produktion äquivalent gegenüberstehen (Bild 3.20).

Anhand der Grafik in Bild 3.20 wird die Vorgehensweise in der Planung deutlich. Während herkömmlich erst durch die Zuordnung der Ressourcen deren Eignung für eine Produktionsaufgabe ermittelt werden konnte, wird dies durch die Auswahl von Funktionen unmittelbar erreicht. Die Ermittlung der Zustandsübergänge und die Bestimmung der Operationen der Ressourcen erfolgt parallel. Änderungen beeinflussen nur die direkt angrenzenden Bereiche; eine Modifikation im Modul *PRODUKT* zieht somit keine Korrektur im Modul *RESSOURCE* nach sich. Dies bedeutet kleine Regelkreise und transparente, kontrollierbare Einheiten.

In den folgenden Kapiteln wird der Inhalt der einzelnen Module, deren Aufbau und anschließend deren Nutzung auch über die Planung hinaus in den Betrieb aufgezeigt. Dies wird, anlehnend an das Szenario aus Kap. 2, anhand eines Produktbeispiel veranschaulicht.

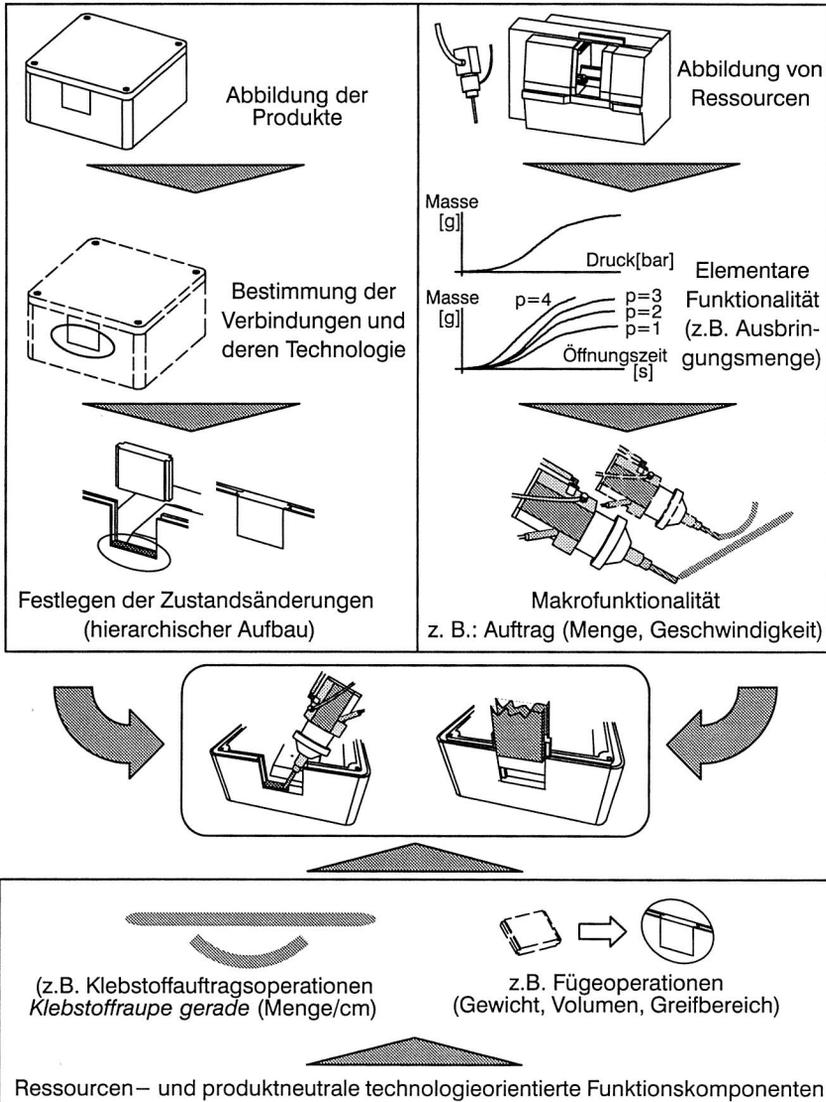


Bild 3.20: Einsatz der Modulbereiche

4 Von der Produktgestalt zum Prozeß: Das Modul *PRODUKT*

Die Produkt- und Prozeßplanung hat zum Ziel, ausgehend von einer Beschreibung des Erzeugnisses, diejenigen Parameter zu ermitteln, die eine exakte Definition der Ressourcenoperationen zur Durchführung der Prozesse ermöglichen. Das im Kap. 3 abgegrenzte Modul *PRODUKT* wird mit Hilfe der dort abgebildeten Werkzeuge in seinem Informationsumfang und seiner Struktur modelliert, so daß die geforderten Daten bereitgestellt werden.

4.1 Geometrische Informationen

Ausgangspunkt aller Planungsaktivitäten zur Herstellung von Erzeugnissen ist die geometrische Gestalt. Die Abbildung als wichtigster Baustein des statischen Modells (s. Kap. 3.2.1) bildet die Voraussetzung zur Verknüpfung aller weiterführenden Informationen. Wesentliches Ziel ist gemäß den Anforderungen aus Kap. 2, daß dem Anwender die heterogenen Datenstrukturen und die darauf basierenden Werkzeuge nicht sichtbar sind.

4.1.1 Gestaltbeschreibung des Einzelteils

Elementare Komponente der Fertigung und Montage ist das Einzelteil, dessen genaue Gestalt nur durch eine räumlich interpretierte Darstellung exakt wiedergegeben werden kann. Sie beinhaltet die genauen Abmessungen des Körpers und damit die Möglichkeit, Volumen, Flächen, Kantenlängen usw. und deren Lage im Raum zueinander zu berechnen. Bei den Aufgaben der Produktplanung werden die geometriebasierten Komponenten, sei es die Beschreibung der Gestalt wie auch die Bearbeitungswerkzeuge, genutzt. Das betrifft die Informationsbereitstellung (Berechnungen) und die Manipulation (= Gestaltung) der Körper. In dieser Arbeit werden im Bereich der Produktplanung beim Aufbau des Klassenmodells schwerpunktmäßig Abfragefunktionen in Betracht gezogen, da eine Orientierung in Richtung Prozeß stattfinden soll. Es wird allerdings die Existenz konstruktiver Operationen vorausgesetzt. Derzeit werden in der Realität beide Bereiche durch die Funktionen eines CAD-Systems abgedeckt.

Ein geometrischer Körper, egal welcher Gestalt, kann grundsätzlich in drei Grundgeometrien Flächen, Linien und Punkte strukturiert werden (s. Bild 4.1). Daraus wird das Klassenmodell abgeleitet, wobei hier bewußt die Rekursion innerhalb der Klassen Fläche und Linie angegeben wird. Hintergrund ist die geforderte Abstrahierung bzw. Hierarchisierung in der Objektstruktur. Beispielsweise ist unter einer bestimmten Sichtweise nur der komplette Kantenzug eines Bauteiles von Belang, während ein anderer Anwender eine Unterteilung nach Geraden- und Kurvenelementen benötigt. Die rekursive Zerlegung ermöglicht bei der Planung der Prozesse die direkte Übernahme der für die Steuerung von Anlagen nötigen geometrischen Parameter und die Verknüpfung mit technologischen Informationen. Auf diesen Zusammenhang soll in Kapitel 6 noch detaillierter eingegangen werden.

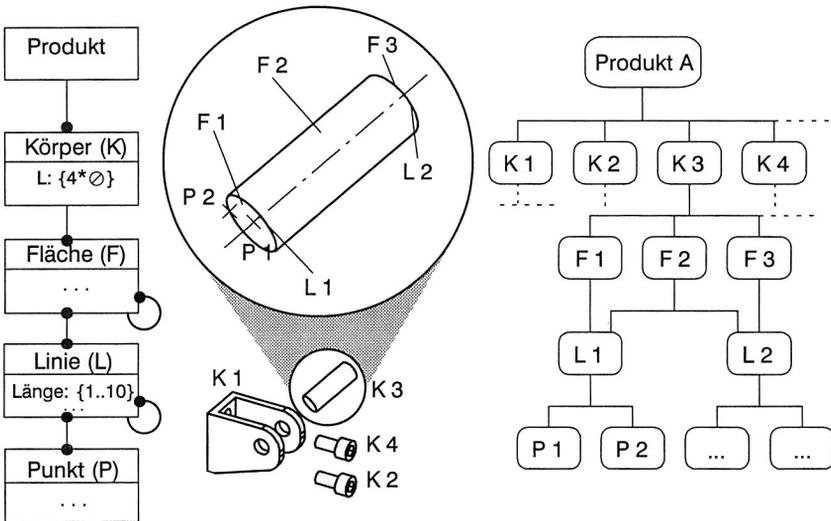


Bild 4.1: Strukturmodell zur Abbildung gestaltbeschreibender Informationen von Einzelteilen

Zur genaueren Spezifikation möglicher Objektinstanzen lassen sich die Wertebereiche der Attribute im Klassenmodell angeben. In Bild 4.1 bezeichnet die Mengenangabe hinter dem Attribut *Länge* *L* die zulässigen Werte. Einschränkungen definieren funktionale Beziehungen zwischen den Entitäten eines Objektmodells. Die Multiplizität schränkt beispielsweise eine Assoziation in der Weise ein, wie sie in der Grafik in Bild 4.1 bei der Rekursion definiert ist. Das bedeutet in diesem Fall, daß eine Fläche

nur zu einem Körper gehören kann, allerdings ein Punkt mehreren Linien als Endpunkt dient.

Bestimmte Kombinationen von Attributen oder Abhängigkeiten von Attributen untereinander können durch die Angabe von einfachen Restriktionen beschrieben werden. Beispielsweise wird die Länge des Bolzens in Bild 4.1 auf das 4-fache seines Durchmessers definiert. Eine explizite Festlegung mit einem konkreten Wert erfolgt nicht (s. Kap. 4.1.4). Die Attribute werden durch die Referenzierung ihren Identität angesprochen. Komplexe Einschränkungen, wie sie möglicherweise bei geometrischen Manipulationen auftreten, werden im funktionalen Modell abgelegt.

4.1.2 Strukturinformationen auf Einzelteilebene

Ein Produkt besteht im allgemeinen aus mehreren Einzelteilen, deren geometrische Lage zueinander die gesamte Gestalt wiedergeben. Erzeugt man aus dem in Bild 4.1 gezeigten Klassenmodell zwei Objektinstanzen, so haben sie zueinander zunächst keinen geometrischen Bezug. Eine Wiedergabe der korrekten Geometrie des Produktes ist damit unmöglich.

Im Klassenmodell der Körperbeschreibung wird das Attribut *Koordinatensystem* definiert. Die in Bild 4.1 dargestellte Zusammenfassung aller Körper, die zu einem Produkt gehören, ermöglicht durch die Beschreibung der räumlichen Lage den korrekten Aufbau der geometrischen Gestalt des kompletten Produktes.

Die genannten Klassen werden um weitere Operationen ergänzt, die auf alle Körper, die aus dieser Klasse instanziiert werden, anwendbar sind. Konkret bedeutet z.B. *Lage berechnen* mit zwei Objektinstanzen als Parameter die Angabe des Abstandes der Koordinatensysteme und die Orientierung zueinander. Sind mehr Instanzen vorhanden, so ergeben sich die vollständigen Angaben für die Anzeige aller Körper im Raum. Die Einführung weiterer Operationen, wie z.B. *Drehen* und *Verschieben* von Körpern im Raum, stellen Funktionen für den Planungsprozeß zur Verfügung, um die dynamischen Vorgänge während der Prozesse zu definieren (Bild 4.2).

Die Angabe der Operationen im Klassenmodell und auch deren Verwendung referenzieren in dieser Phase der Modellierung keinerlei Funktionsträger. Die vertikale Integration verbirgt vor dem Anwender die Art und Weise, wie die Operationen durchgeführt werden. Rechnergestützte Werkzeuge, wie das erwähnte CAD-System, oder aber auch eine Person können in diesem Fall Funktionsträger sein. Durch die

abstrakte Beschreibung der geometrischen Informationen in Form einer Komponente des Moduls *PRODUKT* wird der geforderten einheitlichen Beschreibung aller Daten Rechnung getragen.

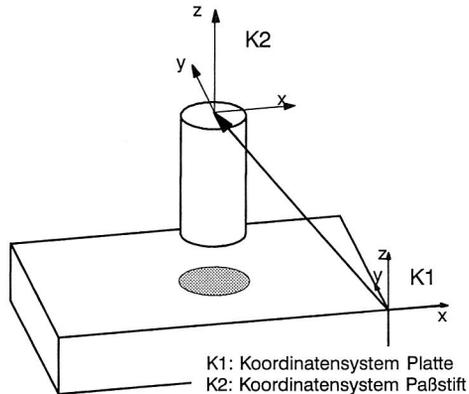
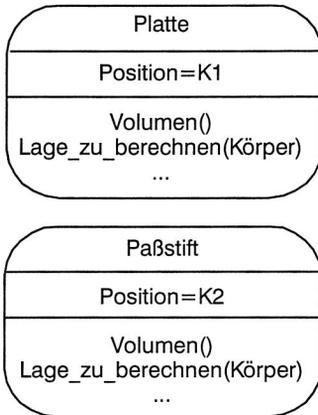


Bild 4.2: Definition der Lage zweier Einzelteile durch Objektattribute

4.1.3 Prozeßrelevante geometrische Informationen

Außer der reinen Gestaltbeschreibung des Produktes sind für die Prozeßplanung weitere Informationen von Bedeutung, die auf die Verwendung als Parameter innerhalb der Prozesse ausgerichtet sind. Es lassen sich zwei Bereiche abgrenzen, deren Unterscheidung im Ursprung ihrer Informationen liegt. Im ersten Bereich finden sich Daten, die aus dem gestaltbeschreibenden Klassenmodell abgeleitet werden können. Dies sind z.B.:

- ☐ Ermittlung von Berührungsflächen zu anderen Bauteilen
- ☐ Kollisionsermittlung von Körpern
- ☐ Freiheitsgradbestimmung eines Körper innerhalb der geometrischen Struktur

Das Klassenmodell bietet die Möglichkeit, diese Informationen als Operation auf die angesprochenen Elemente oder explizit als eigene Objektinstanzen abzubilden. Um Redundanzfreiheit zu gewährleisten, wird eine Abbildung als Operation gewählt. Die Nutzung der objektorientierten Werkzeuge verbirgt beim Verweis auf diese Daten den Unterschied der Abbildungsform.

Die Darstellung links oben im Bild 4.3 zeigt die Berührungsflächen zweier Körper. Diese können einerseits direkt als eigene Objekte im System abgebildet oder, wie erwähnt, als Operation *Berührungsflächen ermitteln* definiert werden. In einem Prozeß innerhalb der Produktion werden diese Flächen beispielsweise zum Auftrag des Klebstoffes genutzt, falls die beiden Bauteile verklebt werden. Dem Prozeßplaner bleibt die Art der Abbildung, als Objekt oder als Operation, verborgen.

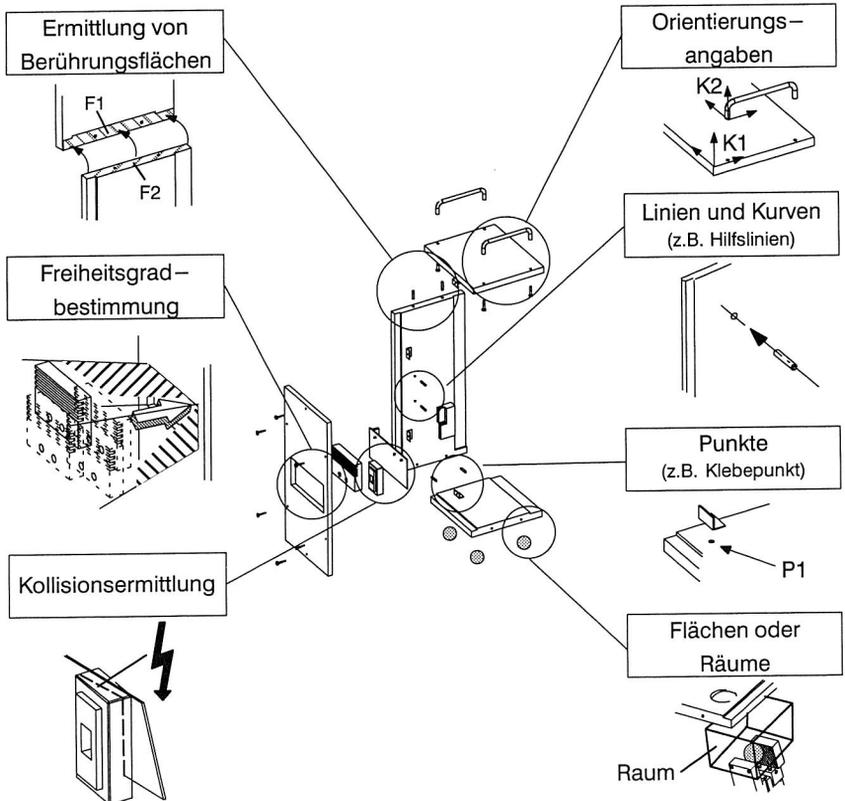


Bild 4.3: Prozeßrelevante Produktgrößen am Beispiel

Der zweite Bereich umfaßt Informationen, die nicht als eigenständige Elemente aus den Attributen bereits definierter Körperinstanzen ermittelt werden können. Dabei wird im allgemeinen ein referentieller Bezug zu schon vorhandenen Elementen hergestellt, da diese Informationen eine Erweiterung in Richtung Prozeßabbild darstellen. Typische Beispiele aus diesem Bereich sind:

- ☒ *Orientierungsangaben (z.B. für die Ausrichtung von Bauteilen)*
- ☒ *Punkte (z.B. zur exakten Positionierung in Verbindung mit einer Orientierung für das zu positionierende Element)*
- ☒ *Linien und Kurven (z.B. zur Kennzeichnung der kinematischen Bewegung)*
- ☒ *Flächen oder Räume (z.B. zur Darstellung von Greif- oder Freiräumen)*

Bild 4.3 zeigt anhand eines Geometriebeispiels die eben genannten Informationen. In der Darstellung wird die Auftragsstelle für einen Klebepunkt als eigenständiges Element mit Bezug zum Zentrum der Bohrung definiert. Die Hilfslinie als Orientierung für den Konstrukteur ist ohne Bezug zu einem bestehenden Element, möglicherweise nur temporär oder als Basiselement, für eine assoziierte Gestaltungsregel hinterlegt. Die Kennzeichnung der Flächen F1 und F2 als Berührungsflächen der beiden Bauelemente wird dagegen als Funktion abgebildet und fällt in den erstgenannten Bereich.

Diese sog. Hilfsgeometrien sind wesentliche Informationen für die Prozeßplanung, da sie, neben der Körpergeometrie, wichtige Parameter für die Durchführung der Prozeßoperationen darstellen. Teilweise besitzen sie kein reales Äquivalent, sondern stellen den geometrischen Bezug für ein semantisches Objekt dar, welches eine bestimmte Intention zur Nutzung dieser Komponenten beinhaltet. Für den in Kap 4.4 beschriebenen Zustandsübergang bilden diese Informationen eine wesentliche Grundlage zum Aufbau der Schnittstelle zum Prozeß.

4.1.4 Der Begriff der geometrischen Unschärfe in der Planung

In Kap. 2 wurde innerhalb der Planung das Defizit aufgezeigt, daß durch das Fehlen oder die ungenaue Angabe von Informationen der Planungsfortschritt unterbrochen wird. Die Möglichkeit der Abbildung und der adäquaten Bereitstellung dieser Daten wurde daher in dieser Arbeit als Ziel formuliert.

Fehlen schon in der geometrischen Beschreibung exakte Informationen, so wirkt sich das auf alle anderen Bereiche aus. Gerade zu Beginn der Planung werden permanent Änderungen am Geometriemodell durchgeführt. Die Prozeßplanung selbst nimmt ebenfalls nochmals erheblichen Einfluß auf das Aussehen der Einzelteile. Konkret bedeutet dies, daß ein Einzelteil in seinem Aussehen modifiziert wird, was zum einem die Änderung eines anderen Einzelteils bedingen kann, aber auch Einfluß auf weitere

möglicherweise abhängige Größen für den Herstellungsprozeß nimmt. Ebenso ist es möglich, daß die Konkretisierung einer Verbindung zweier Bauteile aufgrund verschiedener Gegebenheiten zurückgestellt wird, wobei schon bekannt ist, mit welcher Technologie diese verbunden werden sollen.

Erst die exakte Definition der Geometrie ermöglicht somit die Spezifikation der Prozesse. Dies bedeutet allerdings, daß die Planung der Prozesse wegen fehlender Daten nicht fortgeführt oder im schlimmsten Fall nicht begonnen werden kann. Aus diesem Grund werden im vorliegenden Modellkonzept geometrische Informationen als Parameter erfaßt, wobei die dazugehörigen Werte nicht notwendigerweise existieren müssen. Zusätzlich ist eine Definition mit Bezug auf eine andere geometrische Größe möglich, deren Wert wiederum nicht definiert sein muß. Die hinterlegte Referenz zeigt aber den Planungszusammenhang auf und konkretisiert bei Angabe des exakten Wertes alle Bezugsgrößen.

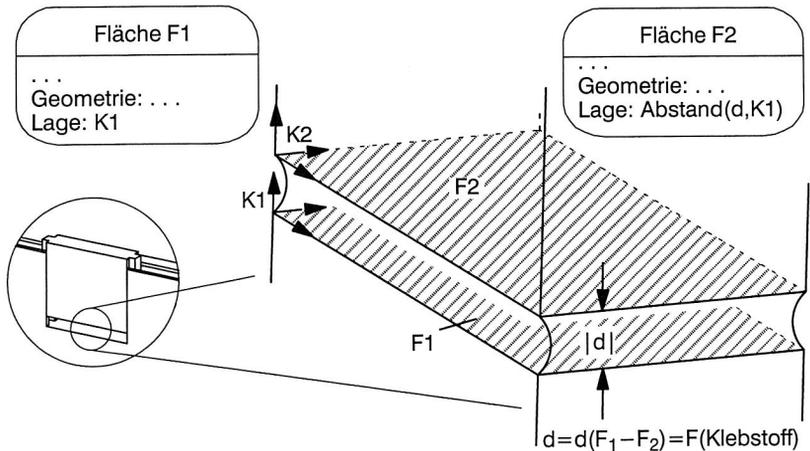


Bild 4.4: Attributwert als Referenz innerhalb des Geometriemodells

Im Modell werden bei der Angabe von Attributwerten die Attributnamen der Objekte im Sinne einer Referenz eingetragen. Ist eine Auflösung auf einen exakten Wert nicht möglich, entsteht eine geometrische Unschärfe und damit ein Planungsspielraum bei der Lösung der nachfolgenden Aufgaben. Das in Bild 4.4 gezeigte Beispiel beschreibt die Klebefuge zweier zu fügender Bauteile durch den Abstand der beiden zu verbindenden Oberflächen. Ist die räumliche Position der Flächen genau definiert, so steht auch die Dicke der Klebefuge fest. Da aber möglicherweise durch den

Herstellungsprozeß Toleranzen im Abstand auftreten können, würde eine Klebstoffmenge, die aus einer fest definierten Größe errechnet wird, zu einer fehlerhaften Verbindung führen. Die Ermittlung der korrekten Größe für den Prozeß kann beispielsweise unmittelbar vor dem Klebstoffauftrag erfolgen und so auf die Menge Einfluß nehmen.

Ebenso kann am oben genannten Beispiel der Klebefuge die umgekehrte Abhängigkeit definiert werden. Der zur Herstellung der Klebeverbindung benutzte Klebstoff ist in der Konstruktionsphase noch unbekannt. Je nach Art muß die Klebefuge zum Erreichen der optimalen Festigkeit eine bestimmten Stärke aufweisen. Um die konstruktive Gestaltungsfreiheit zu gewährleisten, werden die beteiligten Körpermaße der zu verbindenden Bauteile in Abhängigkeit von der Klebefuge definiert. Durch Definition mehrerer in Frage kommender Klebstoffe wird zunächst eine weitere Einschränkung der geometrischen Ausprägung vorgenommen, die bei endgültiger Auswahl den exakten Wert liefert (s. Bild 4.4).

Der Vorteil, der durch die Zulässigkeit einer solchen geometrischen Beschreibung entsteht, liegt einerseits in der direkten Abbildung der Abhängigkeiten zwischen geometrischen Größen und Prozeßparametern; andererseits wird durch einen Verzicht auf Detailinformationen der Planungsfortlauf nicht behindert.

Die vorgenannten Ansätze zur Attributierung in Form von festen Werten über Funktionen, bis hin zur direkten Abhängigkeit, finden ansatzweise ihren Eingang bei der Implementierung von CAD-Systemen im Bereich des Parametric Modeling und weiterführend bei Variational Geometry [89,101]. Der Aufwand bei Änderungen des Modells reduziert sich in erheblichem Maße, und es können frühzeitig geometrische Abhängigkeiten im Modell abgebildet werden.

Die Möglichkeit der Kopplung geometrischer Größen in einer frühen Planungsphase bildet die Basis für eine ganzheitliche Betrachtung der Produktionsaufgabe, da der Entwickler schon fertigungs- bzw. montageorientierte Elemente in die Produktgestalt einbringen kann.

Alle beschriebenen Komponenten werden zunächst in einem Klassenbereich konzentriert, der die Gestalt eines Bauteiles exakt abbildet. Diese Basis wird von allen Informationen oder Operationen genutzt, die sich auf geometrische Daten beziehen bzw. sie als Parameter benötigen. Dieses Modell findet sich in Kapitel 5 bei der Abbildung der Ressourcen wieder. Ihre Geometrie wird analog derjenigen der

Produkte für die Prozeßplanung bereitgestellt, wobei allerdings Änderungen in der Gesamtstruktur erforderlich sind. Genauer wird darauf noch in Kapitel 5 eingegangen. Festzuhalten bleibt jedoch die Wiederverwendbarkeit und die einheitliche Struktur des Geometrieklassenmodells für Produkt und für Ressource.

4.2 Prozeßrelevante Informationen

Ausgehend von den im vorhergehenden Kapitel beschriebenen geometrischen Größen gilt es, weitere Informationen, die für die Prozeßplanung erforderlich sind, abzubilden. Alle Daten lassen sich einem geometrischen Element zuordnen. Sie ergänzen dies um zweckgerichtete Informationen für den Herstellungs- oder Montageprozeß.

4.2.1 Technologieinformation auf Einzelteilebene

Zunächst werden Informationen betrachtet, die sich auf die Mikrostruktur eines Produktes, also auf Einzelteile beziehen. Zur Ermittlung der exakten Prozesse sind neben administrativen Daten, wie z.B. Katalognummer oder Lieferantenangaben, technologische Informationen für die Prozeßplanung von wesentlicher Bedeutung. Dazu gehören:

- ☐ *Materialeigenschaften*, wie z.B. Art des Materials, Dichtewerte, Wärmekoeffizienten, Leitfähigkeit usw.
- ☐ *Oberflächeneigenschaften*, wie z.B. Angaben über die Oberflächenrauigkeit oder -beschaffenheit. Dies schließt auch Behandlungsverfahren mit ein, da alle diese Werte eine wesentliche Grundlage für die Fertigung der Einzelteile und die Auslegung der Fügeverbindungen sind.
- ☐ *Toleranzen*, die sich in Maß-, Form- und Lagetoleranzen unterscheiden lassen, beziehen sich grundsätzlich auf geometrische Elemente.

Während der Bereich der Materialeigenschaften durch Erweiterung des gestaltbeschreibenden Modells mit Attributen abgebildet werden kann, ist eine Beschreibung der beiden anderen Informationsbereiche mit Hilfe von eigenen Klassen vorteilhafter. Grundsätzlich referenzieren diese Daten Elemente aus der gestaltbeschreibenden Struktur. Die Angabe der Rauigkeit für ein Flächenelement veranlaßt beispielsweise bei Darstellung des Bauteilkörpers in einem CAD-System eine farbige Kennzeichnung, während der Wert selbst bei der Auswahl des Klebstoffes

zur Verbindung mit dem Fügepartner zum Tragen kommt. Bild 4.5 stellt die Informationen und deren Abbildung im Modell dar.

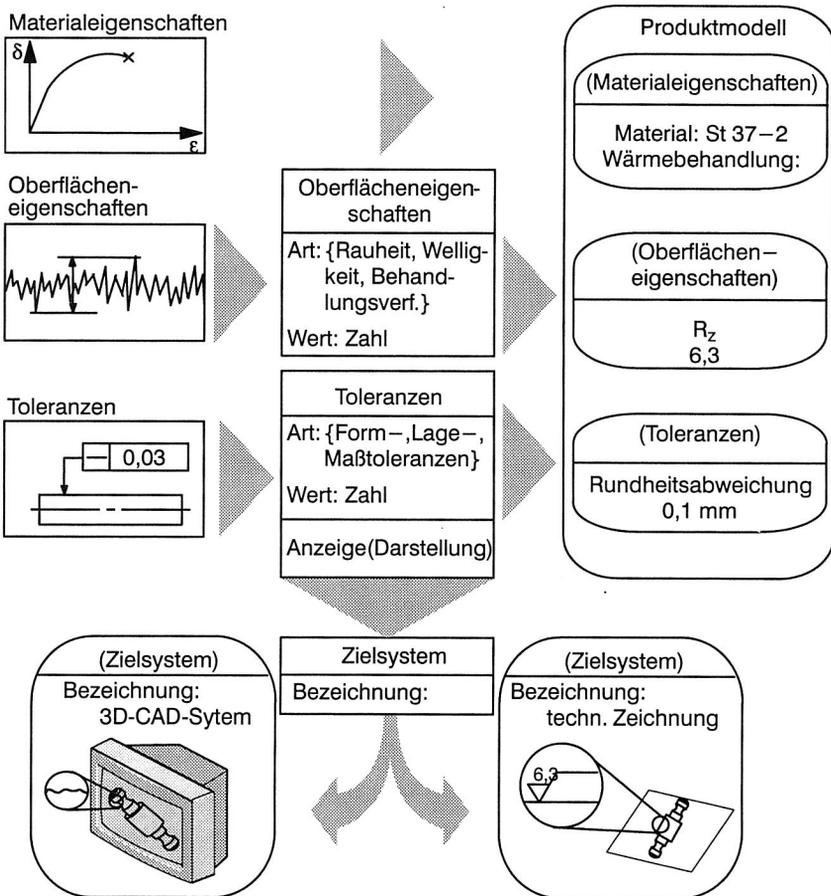


Bild 4.5: Abbildung technologischer Informationen des Einzelteils

Die anfangs erwähnten administrativen Informationen, wie beispielsweise eine Zuordnung zu Sachmerkmalsleisten, Katalognummern, Bearbeiter usw., können ebenso als eigene Klassen berücksichtigt werden, spielen aber bei der Prozessplanung eher eine untergeordnete Rolle.

4.2.2 Funktionale Erweiterung gestaltbeschreibender Informationen

Funktionale Eigenschaften erweitern die geometrischen Merkmale von Einzelteilen um eine auf den Prozeß ausgerichtete Semantik, die in der Prozeßumgebung auf eine Nutzung oder Funktionalität des Elementes abzielen. Im Gegensatz zu den in Kap. 4.2.1 genannten Informationen können sich diese Eigenschaften auf geometrische Elemente beziehen, wie sie in Kap. 4.1.3 genannt wurden. Diese Informationen lassen sich in folgende Bereiche einteilen:

☐ Produkt- und Hilfsgeometrie zur Prozeßparametrierung

Verschiedene Geometrieelemente eines Einzelteils stellen gleichzeitig für den Prozeß konkrete Parameter zur Definition für die durch die Ressource auszuführende Operation dar. Informationen, wie beispielsweise Ortsangaben für den Klebstoffauftrag oder die Kennzeichnung von Greifflächen, werden als weitere Klassen im Modul Produkt aufgenommen. Als zusätzliche Daten können Anfahrpunkte und -kurven oder die Definition von Fügekurven von Bauteilen genannt werden. Denkbar sind ebenfalls räumliche Geometrien, die den Freiraum, innerhalb dessen sich das Bauteil beispielsweise bei der Montage bewegen darf, einschränken (Bild 4.6).

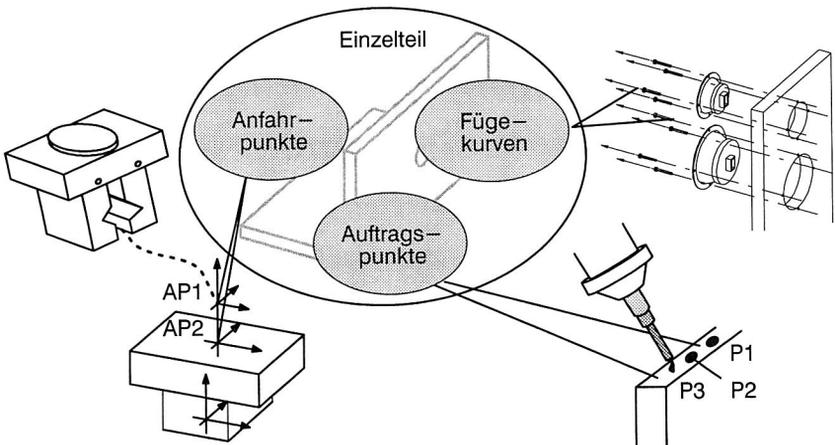


Bild 4.6: Beispiele für die Abbildung von Prozeßgeometrie

Der Vorteil einer Abbildung in eigenen Klassen liegt in der gezielten Informationserweiterung von einer rein geometrieorientierten hin zu einer prozeßorientierten Beschreibung und damit mit einem in Richtung der Ressourcenfunktion weisenden

Inhalt. Die instanziierten Objekte aus diesen Klassen referenzieren grundsätzlich Bauteilgeometrien oder Hilfsgeometrien, wobei diese Referenz erst innerhalb der Planung definiert werden kann (s. Kap. 4.1.4: Geometrische Unschärfe).

Formelemente

Formelemente besitzen neben ihrer, dem Typ entsprechenden, charakteristischen geometrischen Gestalt, eine fertigungs- und/oder montagetechische Ausrichtung, deren genauer Inhalt stark variieren kann. Im Gegensatz zu den vorgenannten Geometrieelementen haben Formelemente direkten Einfluß auf die geometrische Gestalt und müssen im Modell mit ihrer eigenen Geometrie berücksichtigt werden (Bild 4.7).

Formelemente bieten die Möglichkeit, Geometrie und Prozeßorientierung zu verknüpfen und bei der Produktgestaltung als quasi standardisierte Komponenten dem Konstrukteur zur Verfügung zu stehen. Bild 4.7 zeigt das Beispiel eines Formelementes als Senkbohrung in einem Bauteil. Eine zunächst neutrale Beschreibung mit allen zu definierenden Parametern wird durch Instanziierung im Bauteil plaziert. Dadurch werden eindeutig die durch das Formelement beschriebenen Prozesse zur Herstellung der Senkbohrung am Produkt spezifiziert. Formelemente, die im Bereich der spanenden Fertigung eingesetzt werden, finden sich als Konstruktionshilfsmittel in CAD-Systemen wieder. Die Verwendung dieser Planungstechnik in anderen Produktionsbereichen ist zur Zeit nur ansatzweise in verwandten Gebieten erkennbar [53,100].

Im vorliegenden Beispiel stellt sich die Frage der Darstellung der korrekten Gestalt eines Formelementes dieser Art, da eine Bohrung an sich keinen Körper besitzt. In Anlehnung an die Vorgehensweise bei Volumenmodellierern und durch die Abstraktionsmöglichkeiten der objektorientierten Darstellung, impliziert eine Bohrung einen negativen Körper. Das bedeutet, daß dadurch dem Zielsystem, sei es ein CAD-System oder eine Berechnungsfunktion für das Volumen, mitgeteilt wird, um welche Art von Körper es sich handelt. Alle weiteren Vorgänge zur Bestimmung der korrekten Ergebnisse sind durch Implementierung in den eingesetzten Werkzeugen selbst sicherzustellen.

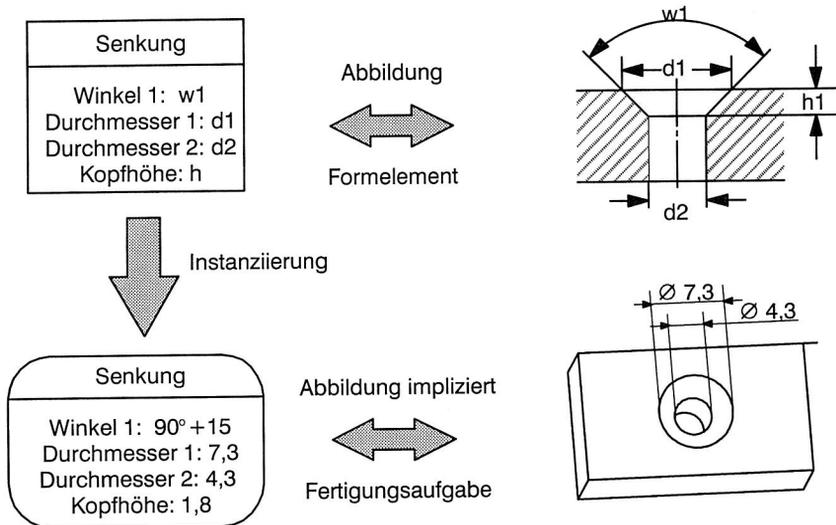


Bild 4.7: Aufbau einer Bohrung mit Hilfe eines Formelementes

Ein weiteres Beispiel soll den Einsatz und Nutzen von Formelementen verdeutlichen. Zwei Bauteile sollen miteinander verklebt werden. Zu diesem Zweck werden auf dem einen Teil geradlinige Kleberauppen aufgebracht. Durch die Definition eines Formelementes *Kleberaube* mit entsprechender Parametrierung kann dieser Auftrag beschrieben werden. Die Geometrie des Formelementes ist abhängig von der aufzutragenden Menge, der Länge der Raupe und der genauen Platzierung. Diese Größen dienen dem Prozeßplaner direkt zur Spezifikation einer entsprechenden Auftragsfunktion.

4.2.3 Abbildung beliebiger Produktstrukturen

Die in 4.1 definierte zweistufige Hierarchie zur Abbildung der geometrischen Gestalt ist nicht ausreichend, um komplexe Strukturinformationen, wie beispielsweise die topologische Makrostruktur, aufzunehmen. Letztgenannte Struktur kann beliebige Benutzersichten, wie z.B. die Montage- oder Ersatzteilstruktur und damit verbundene Daten, abbilden.

Für die Betrachtung dieses Problems wird zunächst das Klassenmodell für die Abbildung der gestaltbeschreibenden Informationen außer acht gelassen. Eine

mehrstufige Hierarchie zur Abbildung beliebiger Produktstrukturen wird durch die in Bild 4.8 dargestellten Klassen erreicht. Dabei bleibt das Erzeugnis auf höchster Stufe bestehen. Auf unterster Ebene finden sich diejenigen Einzelteile, die als nicht weiter strukturierbare Einheiten behandelt werden. Dazwischen wird die Struktur durch eine rekursive Klasse BAUGRUPPEN abgebildet, die die erwähnte mehrstufige Hierarchie aufnimmt.

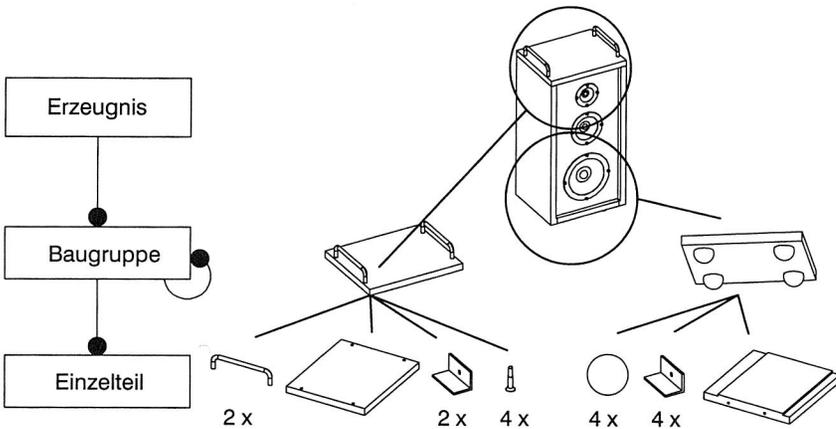


Bild 4.8: Abbildung mehrstufiger Hierarchien im Klassenmodell

Verschiedene Strukturen eines Produktes werden in einem gemeinsamen Modell abgebildet, da sie grundsätzlich verschiedene Sichten auf ein und dasselbe Erzeugnis darstellen. Da jede Struktur auf oberster Ebene mit dem Erzeugnis beginnt und auf unterster Ebene mit den Einzelteilen endet, übernehmen die Baugruppen die Aufgabe, alternative Struktursichten abzubilden.

Eine Baugruppe kann innerhalb des Modells einer oder mehreren abgebildeten Strukturen angehören. Die Kennzeichnung, welcher Struktur ein Objekt zugeordnet ist, erfolgt durch Attributierung. Bild 4.9 zeigt die Darstellung verschiedener Strukturen in dem o.g. Klassenmodell. Bei Betrachtung einer bestimmten Struktur erfolgt eine Ausblendung in Form einer Schablonenfunktion der nicht relevanten Baugruppen.

Innerhalb des Objektmodells wird durch die objektorientierte Funktionalität sichergestellt, daß die abgebildeten Strukturen in sich und untereinander konsistent und widerspruchsfrei sind. Dem Anwender wird, je nach Bearbeitungsgebiet, die

entsprechende Sicht zur Verfügung gestellt, ohne daß er die anderen, im gleichen Modell abgebildeten Strukturen sieht.

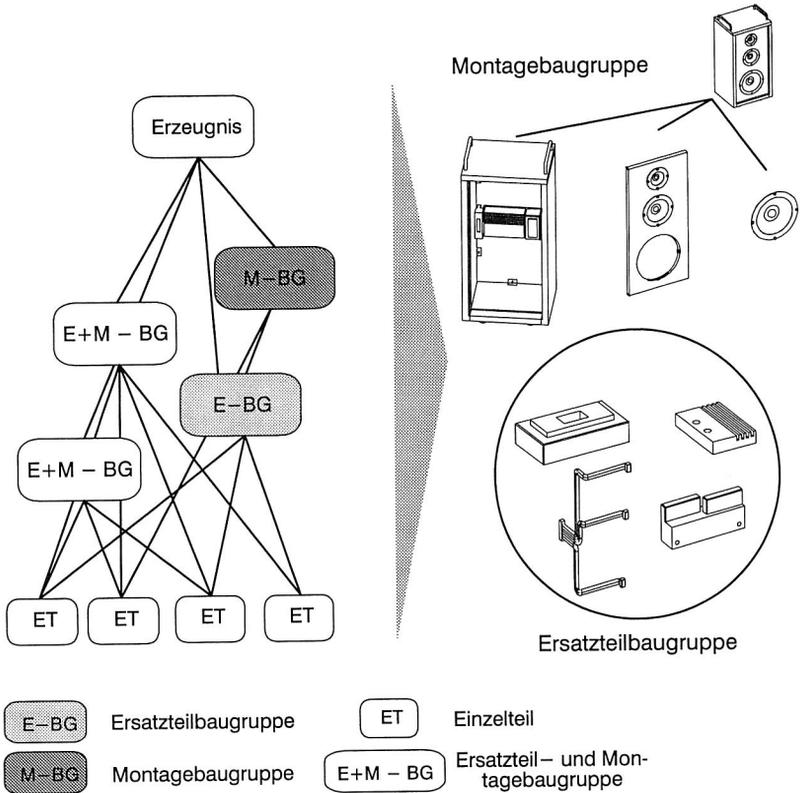


Bild 4.9: Alternative Struktursichten in einem gemeinsamen Modell

In das o.g. Abbildungsmodell wird die geometrische Beschreibung aus Kap. 4.1 in folgender Weise eingegliedert: Die Klasse *Erzeugnis* entspricht jener in der Strukturbeschreibung, die geometrische Beschreibung der Körper wird in die Klasse *Einzelteil* integriert. Die Attribute und Operationen der jeweiligen Objektklassen ergänzen im Strukturmodell die bereits existierenden. Die geometrische Beschreibung ordnet sich damit der betrachteten Erzeugnisstruktur unter und ist ebenfalls in einer mehrstufigen Hierarchie abgebildet. Die geometrische Gestalt einer Baugruppe wird durch die Gesamtheit der zugehörigen Einzelteile definiert. Alle definierten geometrischen Operationen sind auf die Baugruppe anwendbar, werden

aber, für den Anwender verborgen, nach Bedarf auf Operationen der Einzelteilebene transformiert.

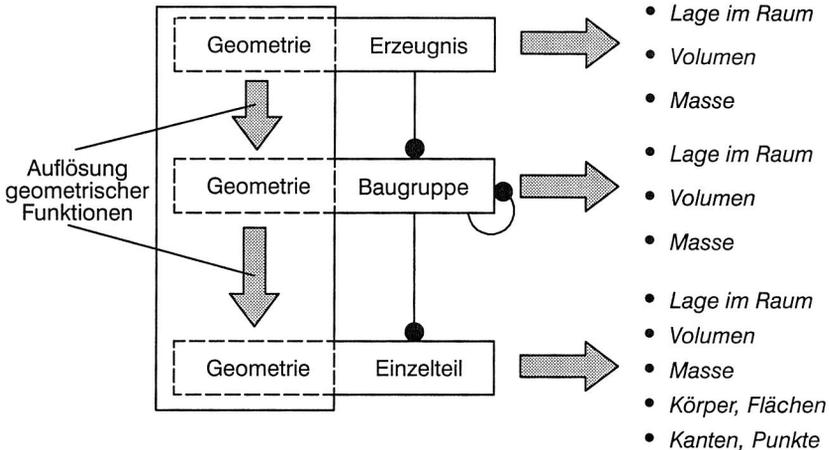


Bild 4.10: Aufbau der Gesamtstruktur inkl. der Geometriedaten

Strukturierungsmöglichkeiten, wie sie beispielsweise für den Verkauf von Ersatzteilen oder der Beschaffung des Materials notwendig sind, spielen eine untergeordnete Rolle bei der Produkt- und Prozeßplanung. Von größerer Bedeutung ist hingegen eine Darstellung des Erzeugnisses, die die Aufgaben während der Fertigung und der Montage widerspiegelt und gleichzeitig die Grundlage für die Abbildung der Abläufe bildet. Betrachtet man zunächst die Menge aller möglichen Strukturen, ausgehend von der Beschreibung in flachen Hierarchien bis hin zu einer komplexen Baumstruktur, so sollen aus dieser Menge die optimale Struktur ermittelt und die Prozesse festgelegt werden.

Strukturüberlegungen beginnen bei komplexen Produkten oftmals schon vor dem Konstruktionsbeginn und stellen damit in gewisser Weise eine Einteilung des Planungs- und auch des Produktionsprozesses in Teilaufgaben dar. Im Planungsfortgang wird diese Struktur durch ein von der menschlichen Entscheidungstätigkeit beeinflusstes Vorgehen permanent geändert. Eine völlig automatisierte Ermittlung der Prozeßstruktur des Produktes ist aufgrund komplexer Randbedingungen nicht möglich. Ziel ist es, durch Integration unterschiedlich ausgeführter Aufgaben letztendlich die Prozeßstruktur zu bestimmen, die neben der

Spezifikation der einzelnen Prozesse die Daten für Systemaufbau, Abtaktung, Prozeßparameter usw. zur Verfügung stellt.

Für die prozeßorientierte Produktstruktur im Klassenmodell wird per Definition festgelegt, daß untergeordnete Elemente nur in ihrer Gesamtheit in ein übergeordnetes Element einfließen. Das bedeutet, daß Baugruppen entsprechend ihres Aufbaus komplettiert werden, bevor sie als ganzes Teil in die übergeordnete Komponente eingehen. Diese Restriktion stellt eine Vorgänger–Nachfolger–Beziehung entlang eines Astes in der Baumstruktur dar, die noch Freiräume für die Gestaltung des Produktionssystems beinhaltet. Im Fortgang der Planung werden die endgültigen Prozesse und Abläufe durch eine sukzessive Feinstrukturierung festgelegt.

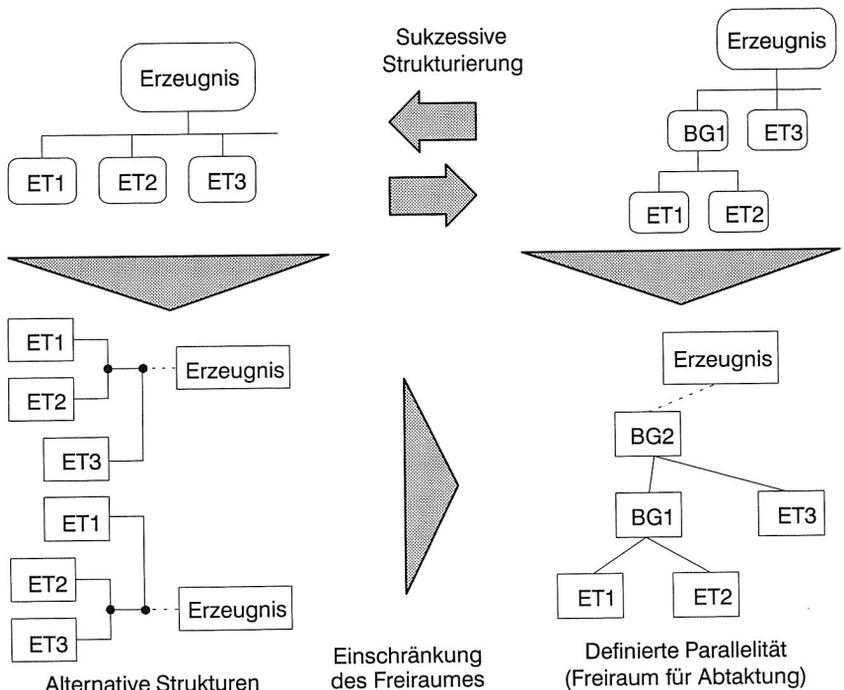


Bild 4.11: Aufbau detaillierter Produktstrukturen innerhalb des Modells

Gemäß Definition wird als weitere Bedingung für die Struktur festgelegt, daß jedes übergeordnete Element mindestens zwei untergeordnete Elemente besitzt. Dadurch wird gewährleistet, daß Baugruppen aus mindestens zwei Bauteilkomponenten

bestehen. Eine Struktur, die ausschließlich aus binären Verknüpfungen (binärer Baum) besteht, legt eindeutig die Prozeßreihenfolgen innerhalb eines Astes fest. Die Anzahl der noch möglichen Reihenfolgen zeigt die Parallelität von Prozessen auf, deren optimale Abtaktung in den Aufbau des Produktionssystems einfließen muß.

4.2.4 Prozeßorientierte Informationen in der Produktstruktur

In Anlehnung an die funktionalen Komponenten auf Einzelteileebene (Kap. 4.2.2) werden diese Informationen auch innerhalb der Produktstruktur ergänzt. Fügegeometrie, Handhabungsgeometrie, Formelemente und sonstige Funktionsmerkmale werden analog auf Baugruppenebene mit den entsprechenden Objekten verknüpft. Die Abbildung weiterer Informationen, wie Belastungen, Kraftansatzpunkte usw. ,erfolgt in gleicher Weise.

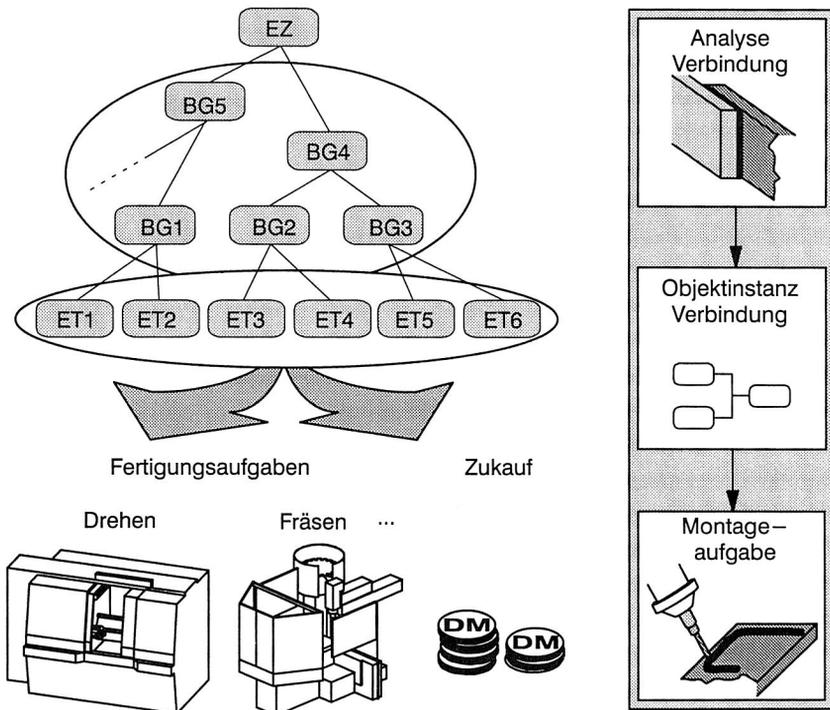


Bild 4.12: Sichtweise auf die Produktionsaufgaben innerhalb der Produktstruktur

Bei Definition der Prozesse zur Herstellung und Bearbeitung von Einzelteilen kann zunächst die Produktstruktur unberücksichtigt bleiben. Das Einzelteil an sich impliziert die Aufgabe des Herstellungs-, bzw. allgemeiner formuliert, des Beschaffungsprozesses (Bild 4.12). Die darüberliegende Struktur der Baugruppen beinhaltet die Montageaufgaben. Die Analyse dieser Struktur zielt auf die Bestimmung und Auslegung der Verbindungen ab. Der Planer kann sich beispielsweise der Operation *Kontaktflächen ermitteln* aus dem Bereich der gestaltbeschreibenden Objekte bedienen, die ihn bei der Instanziierung des Objektes *VERBINDUNG* unterstützt. Dieses Objekt stellt implizit die Aufgabe dar, den Prozeß zur Herstellung einer form-, kraft- oder stoffschlüssigen Verbindung der beteiligten Bauteile planen.

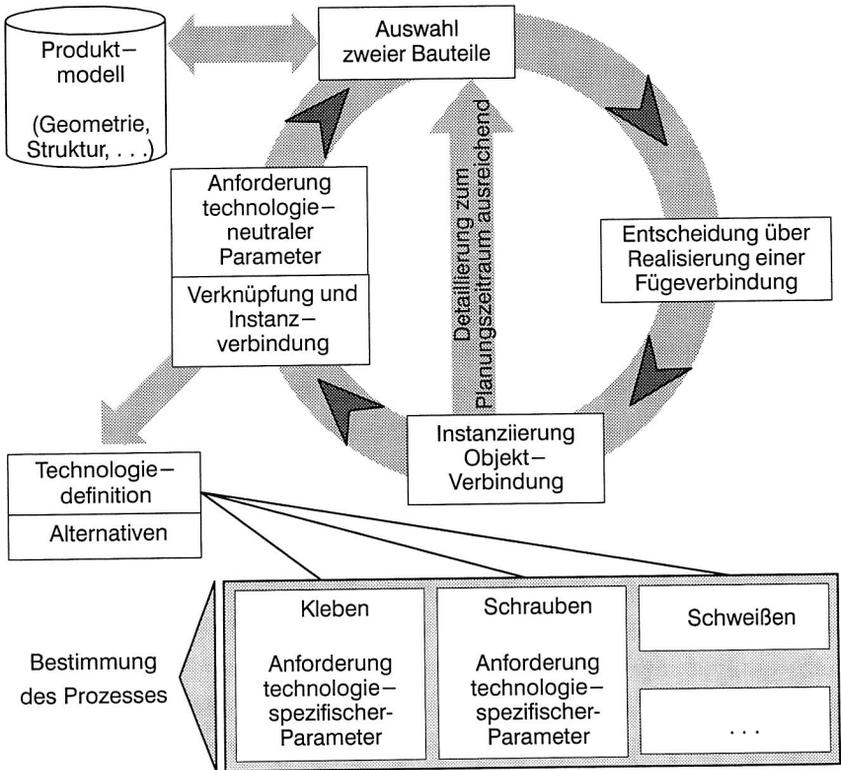


Bild 4.13: Planungsablauf zur Erstellung einer Verbindungsinstanz

Das Objekt *VERBINDUNG* definiert innerhalb des Moduls *PRODUKT* zunächst nur die Tatsache, daß zwei Bauteile zusammengefügt werden sollen; es beinhaltet keinerlei

Informationen, auf welche Weise und womit dies geschehen soll. Allerdings läßt im allgemeinen die Geometrie Rückschlüsse auf die einzusetzende Verbindungstechnologie zu. Im vorliegenden Fall soll das Objekt *VERBINDUNG* als Bezugselement dienen, an das Technologie- und Prozeßinformationen geknüpft werden können. Außerdem ist es innerhalb des Moduls *PRODUKT* möglich, Relationen zu den gestaltbeschreibenden Elementen aufzubauen. Auf diese Weise können die gegenseitigen Anforderungen zwischen Verbindungstechnologie und Geometrie des Produktes abgebildet werden. Besteht eine solche Verknüpfung, so handelt es sich analog zu dem in Kap. 4.2.2 dargestellten Beispiel der Senkbohrung um ein Formelement, allerdings im Bereich der Montage.

Die Vorgehensweise bei der angesprochenen Analyse der Produktstruktur zeigt Bild 4.13. Alle Bauteilkombinationen werden auf eine mögliche Verbindung hin untersucht, was, zumindest teilweise, durch den Planer geschieht, der in diesem Stadium bereits eine Vorauswahl trifft. Er kann sich bei der Auswahl verschiedenster Werkzeuge bedienen, die ihn bei dieser Aufgabe unterstützen (s. Kap. 4.1). Soll eine Verbindung realisiert werden, wird eine Instanz *VERBINDUNG* generiert und mit den Bauteilen verknüpft. Dadurch ergibt sich die Anforderung zu weiterer Detaillierung, die je nach Bedarf durchgeführt werden kann.

Mit den eben beschriebenen Elementen besteht die Möglichkeit, die Verbindungsstruktur eines Erzeugnisses zunächst vollkommen technologieneutral abzubilden. Erfolgt die Zuweisung einer Verbindungstechnologie, wird gleichzeitig eine Anforderung an das Modul *PRODUKT* definiert, die Parameter zur exakten Beschreibung bereitzustellen. Die Abbildung alternativer Verbindungstechnologien und die damit verbundene Möglichkeit, ein schnelles "Umschalten" direkt in das Modell aufzunehmen, stellt bei der Konzeption des Erzeugnisses einen großen Vorteil dar, da der Planungsfortgang trotz fehlender oder ungenauer Daten nicht behindert wird. Werden z.B. einer Fügeverbindung mehrere Technologien zugewiesen, kann die Auswahl und Detaillierung durch den Prozeßplaner durchgeführt werden, indem Kosteneinflüsse aus der Montage bei seiner Entscheidung berücksichtigt werden. Diese Informationen sind dem Produktentwickler oder dem Konstrukteur im allgemeinen nicht zugänglich bzw. intransparent.

Legt der Prozeßplaner die Verbindungstechnologie fest, wird eine der Alternativen aus den bisher existierenden Technologien ausgewählt. Damit sind automatisch alle anderen Größen, auch die der Produktgestalt, definiert. Die Umkehrung des Zusammenhangs zwischen Verbindungstechnologie und Fügeverbindung erlaubt es,

in einer frühen Phase auf die exakte Beschreibung der geometrischen Gestalt zu verzichten, statt dessen erfolgt die Definition durch die eingesetzte Technologie oder sogar erst durch den spezifizierten Prozeß (Bild 4.14). Das Beispiel zur Darstellung der geometrischen Unschärfe (s. Kap. 4.1.4, Bild 4.4) stellt eine solche Verknüpfung zwischen einem Technologieparameter (Stärke der Klebefuge) und der Produktgestalt dar. Durch den Modulaufbau wird der in Kap. 2 genannten Forderung nach kurzen Regelkreisen innerhalb der Planung Rechnung getragen.

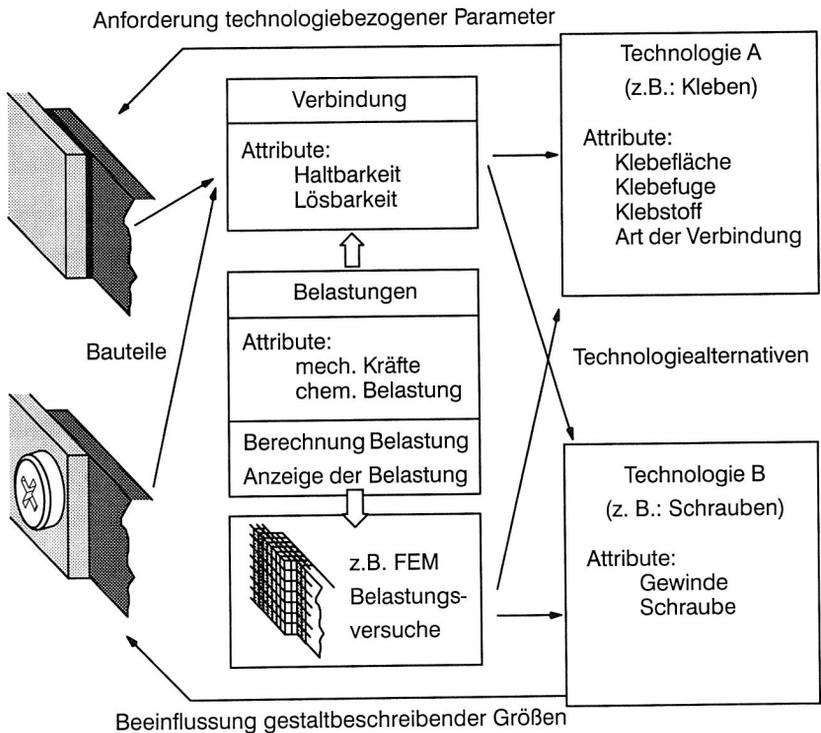


Bild 4.14: Wechselwirkung zwischen Fügeverbindung und Technologie

Weiterführende prozeßorientierte Parameter, die produktimmanent sind, werden dem Objekt VERBINDUNG entsprechend zugeordnet. Die Abbildung kann, je nach Ausprägung, durch Attribute direkt am Objekt erfolgen oder durch den Aufbau unabhängiger Klassen. Beispielsweise definiert eine Klasse BELASTUNG Kräfte, die auf mehrere Verbindungen einwirken können und aus diesem Grund mit der Objektinstanz verknüpft werden.

Für Darstellung und Berechnungen diese Klasse betreffend werden entsprechende Operationen definiert, wie z. B. das Anzeigen der Kräfte oder die dynamische und kinematische Auswirkung auf Bauteile, wobei die Parameter für diese Operationen aus den gestaltbeschreibenden Objekte der einzelnen Komponenten zur Verfügung gestellt werden (Bild 4.14).

4.3 Der Produktzustand

Die Beschreibung eines Erzeugnisses mit Hilfe der Verbindungsdefinition läßt keinerlei Rückschlüsse auf die mögliche Prozeßreihenfolge zu. Eine Analyse der Produktstruktur hinsichtlich Fertigungs- und Montagereihenfolgen ist aus diesem Grunde unerlässlich. Die Abbildung der aus dieser Analyse abgeleiteten Ergebnisse ergibt im Zusammenhang mit den Verbindungsinstanzen die vollständige neutrale Beschreibung der Produktherstellung unter den geforderten Gesichtspunkten.

4.3.1 Definition

Ein Produktzustand beschreibt in einer Momentaufnahme den aktuellen Produktionsfortschritt eines Erzeugnisses. Er dokumentiert, welche Einzelteile in welchem Zustand vorliegen, welche Baugruppen montiert sind und welche Einzelteile noch nicht eingebaut wurden. In diesem Zusammenhang wird der Zustand, in dem sich das Produkt zu Beginn der Herstellung befindet, als Anfangszustand oder Z_0 bezeichnet. Dies entspricht der untersten Ebene in Bild 4.15, in der alle Komponenten in einem Rohzustand vorliegen. Rohzustand bedeutet im vorliegenden Fall, daß, je nach Definition der Elementarzustandes entweder die Fertigungsaufgaben auszuführen sind, oder das Bauteil beschafft werden muß (s. Kap. 4.2.4). Sind alle Einzelteile in einem montierbaren Zustand, so spricht man von einem Ausgangszustand Z_M für die Montage. Der Endzustand (Z_∞) ist erreicht, wenn das Produkt komplett montiert vorliegt. Alle denkbaren Produktzustände dazwischen lassen sich durch die Angabe durchgeführter Herstellungsprozesse am Einzelteil und deren Kombination in Baugruppen dokumentieren. Die Darstellung eines bestimmten Zustandes innerhalb der Struktur erfolgt durch Kennzeichnung (Markierung) der aktuell existierenden Bauelemente, sofern diese in der Struktur explizit abgebildet sind.

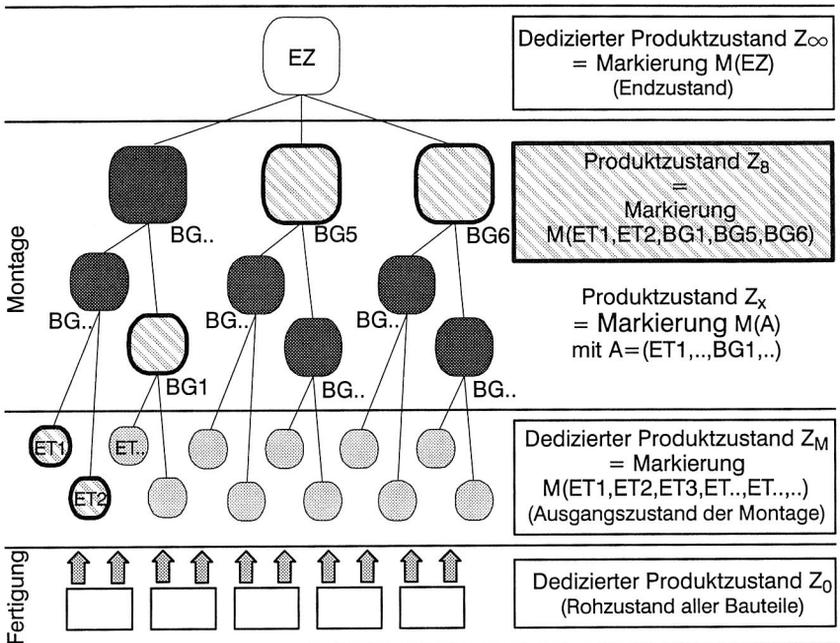


Bild 4.15: Modelldefinition der Produktzustände innerhalb der Modellstruktur

Betrachtet man die Produktstruktur, so ist bei gegebener Teileanzahl die Menge der dadurch beschriebenen Produktzustände umso größer, je flacher die Hierarchien sind. Je mehr Ebenen durch die Detaillierung aufgebaut werden, desto stärker wird die Menge der relevanten Zustände aufgrund eindeutiger Vorrangsbeziehungen beschränkt. Die Produktzustände stellen damit die Eingangsbedingungen für die Durchführung des konkreten Produktionsprozesses dar.

4.3.2 Einschränkung der Produktzustände

Die definierte Struktur schränkt aufgrund ihres Aufbaus die Anzahl der zulässigen Produktzustände syntaktisch durch die Unzulässigkeit von Markierungen ein, die innerhalb eines Teilbaumes auf einem Pfad zum Vater liegen. Dies bedeutet, daß ein Einzelteil nicht unverbaut vorliegen kann, gleichzeitig aber die Baugruppe, in die es eingeht, als markiert und damit als komplett ausgewiesen wird. In der Literatur existieren verschiedene Algorithmen, die Markierungen in Strukturbäumen auf ihre

Zulässigkeit überprüfen [3,63]. Die genannten Produktzustände erfordern zunächst nicht die Umorganisation der Struktur, sondern kennzeichnen nur die Gültigkeit von Markierungen. Ein ungültiger Produktzustand kann jedoch nur durch Änderung der Struktur in einen gültigen Zustand überführt werden.

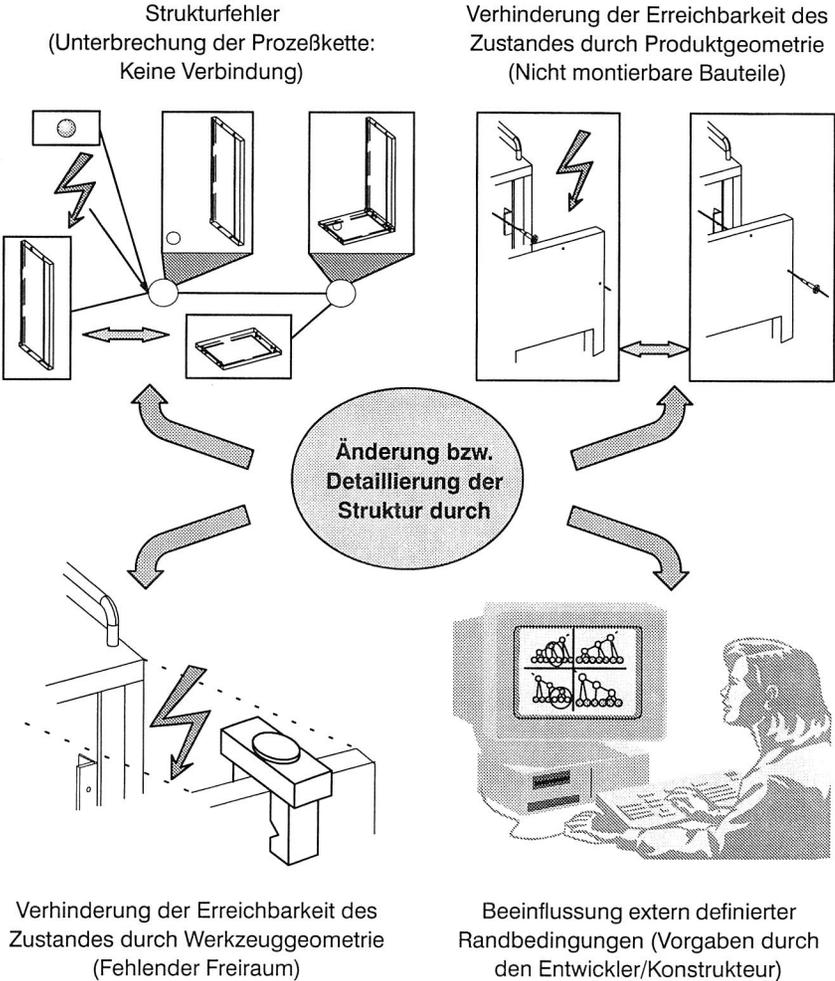


Bild 4.16: Implizite und explizite strukturbeeinflussende Größen

Die Einschränkungen gliedern sich in zwei Bereiche:

Implizite Einschränkung von Produktzuständen

Implizite Einschränkungen von Produktzuständen können durch Geometrieangaben aus dem gestaltbeschreibenden Modell ermittelt werden. Sie lassen sich in drei Abstufungen beschreiben:

- *Unterbrechung in der Prozeßkette*

Die Produktstruktur ermöglicht Produktzustände, die durch die Anordnung der Bauteile nicht realisiert werden können. Typisch hierfür ist ein Einzelteil, das als montiert markiert wurde, ohne daß das Teil mit einem Bauteil verbunden ist und damit "in der Luft hängen" würde. Die Analyse der geometrischen Gestalt über die Fügeverbindungen deckt solche falschen Produktzustände auf.

- *Nicht montierbare Bauteile*

Die Montage von Bauteilen kann durch andere Teile blockiert werden. Durch die Vorgabe von genauen Fügekurven kann die Kollision mit anderen Elementen entdeckt und damit der vorausgegangene Produktzustand als unzulässig ermittelt werden.

- *Fehlender Freiraum für die Montageprozesse*

Die Bewegungsmöglichkeit entlang definierter Bahnen ein Teil zu montieren, fordert den Einsatz eines Montagemittels, das möglicherweise durch schon vorhandene Bauteile behindert wird. Durch die Definition von Freiräumen kann ebenfalls über Kollisionsermittlung innerhalb des gestaltbeschreibenden Modells die Durchführbarkeit einer Zustandsänderung ermittelt werden.

Explizite Einschränkung von Produktzuständen

Ausgehend von den Einschränkungen, die durch die geometrische Gestalt des Produktes inhärent im Modell abgebildet sind, steigt die Komplexität und die Unabhängigkeit der Restriktionen in bezug auf das Produktmodell. Der Planer definiert aufgrund seiner Erfahrung und seiner menschlichen Vorstellungskraft weitere Unzulässigkeiten von Produktzuständen. Dabei spielen produktionssystem- und ressourcenbezogene Informationen in zunehmendem Maße eine Rolle, sei es, um gewisse Technologien zu konzentrieren oder eine transparente Struktur zu erhalten.

Die Werkzeuge zur Umorganisation der Struktur sind denen aus Kap. 4.3.2 identisch. Eine klare Abgrenzung, wann welche Restriktionen bestimmte Produktzustände für unzulässig ausweisen, ist nicht möglich, da möglicherweise bestimmte Einschränkungen erst durch spezielle Maßnahmen des Planers zum Tragen kommen.

Restriktionen haben auf das Modell in zweierlei Hinsicht Einfluß. Zunächst muß die Struktur in entsprechender Weise geändert werden, um den zulässigen und gewünschten Produktzustand abzubilden. Weiterhin kann die Restriktion selbst schon im Modell abgebildet sein (implizit) oder wird von außen dem System hinzugefügt (explizit). Diese Maßnahme ist optional, je nachdem, ob die Restriktion künftig auf Einhaltung überwacht und dokumentiert werden soll, oder ob sie nur temporär zur Bestimmung eines zulässigen Produktzustandes herangezogen wird.

Durch die genannten Einschränkungen läßt sich, bei Existenz mehrerer Unterteile zu einem Oberteil, eine zeitliche Reihenfolge der Zustände innerhalb dieses Teilebaumes ermitteln. Die anfangs geringe Hierarchisierung wird sukzessive durch eine verfeinerte Baumstruktur ersetzt. In diesem Fall ist der Aufwand der Umorganisation gering. Bestehen allerdings schon sehr exakt definierte Strukturen, deren mögliche Zustände durch eine spätere Angabe von geforderten Freiräumen oder Bewegungskurven der Teile unzulässig werden, so steigt der Aufwand aufgrund des höheren semantischen Inhalts beträchtlich. Eine Automatisierung des Vorgangs reduziert sich in diesem Maße, so daß interaktive Eingriffe erforderlich sind.

Die genannten Strukturierungsvorgänge sind nicht in strenger zeitlicher Abfolge innerhalb der Analyse zu sehen. Sie stellen eher eine Typisierung der Zulässigkeit der Produktzustände dar und sollen als Gültigkeitsprüfung verstanden werden. Bei der Betrachtung von Bauteilpaarungen wird der Anwender oder das Anwendungsprogramm mit Hilfe der genannten strukturierten Abbildung auf Unzulässigkeiten aufmerksam gemacht.

4.3.3 Zeitliche Ordnung der Produktzustände

Durch die erstellte Produktstruktur lassen sich die zulässigen Produktzustandsfolgen abbilden. Dies entspricht einer Menge von Markierungen innerhalb der Struktur (s. Bild 4.17), die in eine zeitliche Abfolge gebracht werden. Im Bereich der Montage sind beispielsweise im Ausgangszustand alle Einzelteile auf unterster Ebene markiert. Der Zustandsübergang erfolgt dort durch Löschen der Markierung auf unterer Ebene und Setzen der Markierung auf nächsthöherer Ebene. Dieser Vorgang ist allerdings nur

möglich, wenn alle Elemente innerhalb des Baumes auf der Ebene unterhalb des neu zu markierenden Elementes markiert waren. Das Löschen und Setzen der Markierungen ist bei der Produktion von Erzeugnissen nur in Richtung höherer Hierarchiestufen zulässig. Nur bei der Demontage von Erzeugnissen erfolgt dies in die entgegengesetzte Richtung, wobei in den meisten Fällen die Struktur dann ebenfalls unterschiedlich sein wird [2].

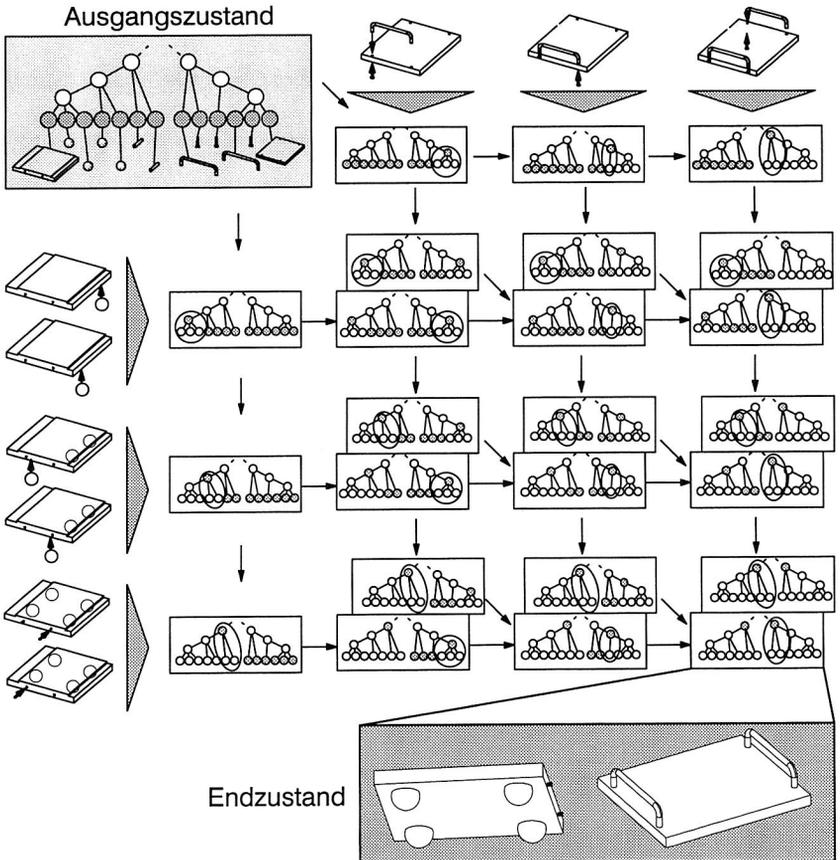


Bild 4.17: Bestimmung alternativer Zustandsfolgen in der Modellstruktur

Die Produktstruktur, selbst wenn sie als binärer Baum ausgeführt ist, bildet die Reihenfolge der Zustandsänderungen nicht deterministisch ab. Parallel laufende Äste in der Struktur bieten alternative Möglichkeiten, an welcher Stelle in der Struktur das

Löschen und die Neumarkierung erfolgen soll (Bild 4.17). Die Menge der möglichen Zustandsänderungen, ausgehend von einem definierten Zustand, stellt die parallele Durchführung von Übergängen dar und schafft damit den Freiraum zur Reduzierung sequentieller Abläufe und zur Optimierung des Durchlaufs bei zeitlicher Bewertung der Übergänge (s. Kap. 4.4).

Die Zusammenführung jedes Teilbaums der Produktstruktur in einen gemeinsamen Knoten ermöglicht eine durch eine rekursive Vorgehensweise eine Suboptimierung der Gesamtfolge der Produktzustände bei gegebener Struktur. Da die Struktur möglicherweise nicht notwendigerweise gesamt optimal ist, wirken die Ergebnisse dieser Analyse wiederum auf die Umgestaltung der Produktstruktur ein, so daß die Einschränkung der möglichen Produktzustände und deren zeitliche Anordnung in einem engen Zusammenhang stehen und als komplexer Regelkreis zur Determinierung der späteren Prozeßreihenfolge zu sehen sind.

Die ermittelte Folge mit sequentiellen und parallelen Produktzuständen bildet die Grundlage zum Aufbau einer Grobstruktur für das Produktionssystem. Je nach Detaillierungsgrad, können erste Überlegungen über das Fertigungsprinzip und daraus resultierende Layoutschemata durchgeführt werden.

4.4 Zustandsübergang in der Produktion

Ausgehend von der in 4.3 beschriebenen Zustandsfolge des Produktes in der Produktstruktur, wird der Prozeß aus der Sicht des Produktes spezifiziert. Das Ergebnis bildet die Schnittstelle zum Modul *PROZESS*, welcher in Kap. 6 detailliert beschrieben wird.

4.4.1 Begriffe Zustandsübergang und Fertigungs– oder Montageaufgabe

Ein Zustandsübergang beschreibt die Änderung von einer Momentaufnahme des Produktes in der Produktion zur nächsten. Ausgehend von der Produktstruktur ist ein Zustandsübergang ein Tupel von Markierungen, wobei die zweite Markierung auf einem Pfad zur Wurzel von der ersten Markierung liegen muß. Ein Zustandsübergang ist damit ein gerichteter Graph von einem niederen zu einem höher komplexen System. Die Transformation definiert die Aufgabe der Produktion, diese Zustandsänderung durchzuführen. Zunächst wird nur die Tatsache, daß eine Transformation

stattfindet, abgebildet. Auf welche Weise oder genauer, womit dies geschieht, bleibt noch offen. Der Zustandsübergang beschreibt einen ressourcenneutralen Vorgang, der im Modul *PRODUKT* keine zeitliche Dauer besitzt. (s. Kap 3.2: statisches versus dynamisches Modell). Die Durchführung des Zustandsüberganges mittels Operationen (funktionales Modell) ist von gewisser Dauer und ermöglicht so die zeitliche Bewertung der Abläufe (Bild 4.18), die optimiert werden sollen.

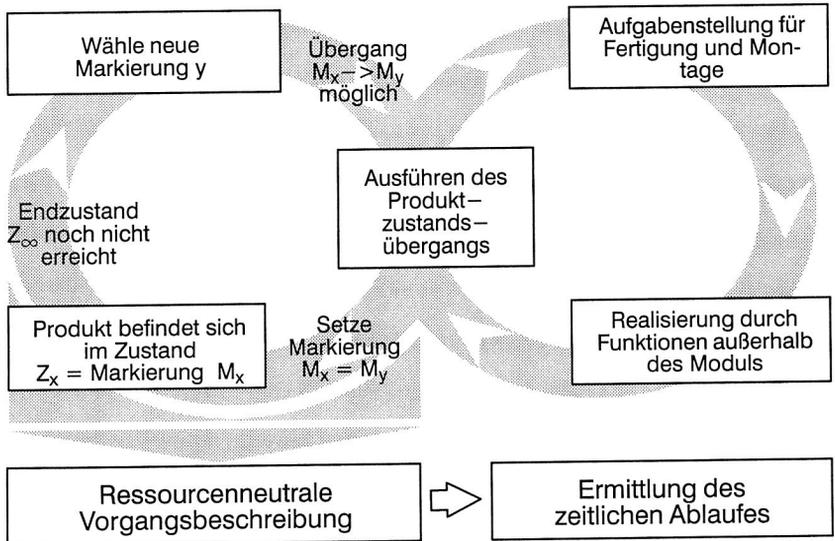


Bild 4.18: Zusammenhang zwischen Produktstruktur und Produktionsaufgabe

4.4.2 Hierarchische Beschreibung von Zustandsübergängen

Um die Transparenz innerhalb der Produktstruktur zu verdeutlichen, wurde eine Zusammenfassung der Bauelemente zu Baugruppen in Form einer Baumstruktur durchgeführt. Analog dazu wird im Modell ein hierarchischer Aufbau von Zustandsübergängen bereitgestellt, der eine einfache Überführung in eine Produktionssystemstruktur erlaubt.

Die Hierarchisierung von verschiedenen Zustandsänderungen erfolgt durch die Bildung des Tupels der Markierung des Ausgangszustandes der ersten und der Markierung des Endzustandes der letzten Transformation. Zwingend notwendig ist

dabei, daß alle Zustände vom Ausgangszustand erreicht werden können und daß alle Zustände den Endzustand als determinierten Zustand erreichen.

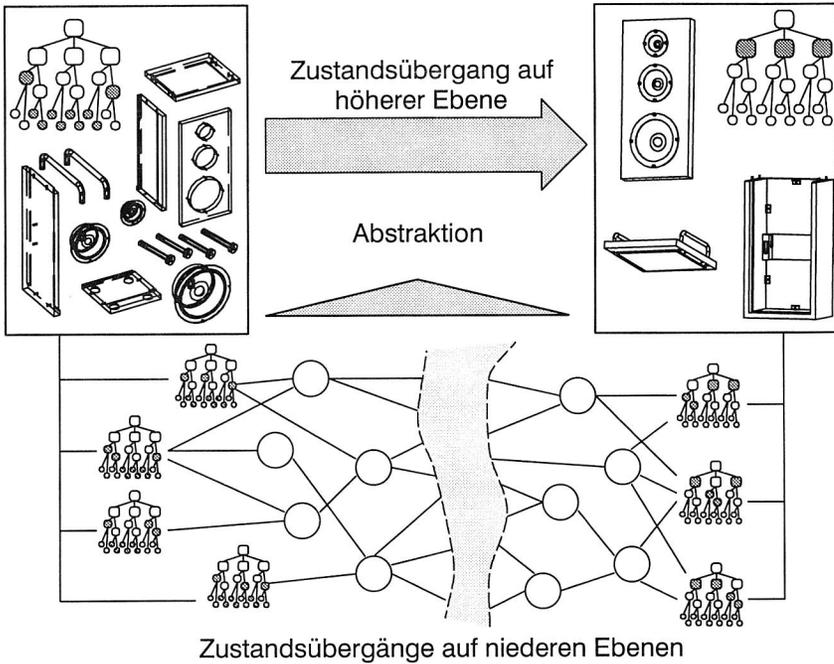


Bild 4.19: Aufbau von Hierarchieebenen auf Basis von Zustandsübergängen

Die Ermittlung der o.g. Beschreibung der Zustandsübergänge kann durch rechnergestützte Analysewerkzeuge aus dem Bereich der Softwareentwicklung unterstützt werden [17,34]. Beispiele können für dieses Vorgehen aus allen Bereichen der industriellen Fertigung angegeben werden. In der Automobilindustrie werden unter den Begriffen Rohbau, Lack und Montage jeweils die Übergänge bei der Erstellung der Rohkarosserie, dem Aufbringen der Farbe und der Montage zum vollständigen Fahrzeug zusammengefaßt. Je nach Betrachtungsweise entspricht dies der geforderten Integration im Ablauf von Vorgängen (s. Kap. 2).

4.4.3 Erweiterung durch prozeßrelevante Zwischenzustände

In den vorangegangenen Ausführungen wird von der Annahme ausgegangen, daß der Zustand eines Produktes innerhalb der Struktur durch Markierungen festgelegt wird. Da dies allerdings nur auf Basis der geometrischen Lage der Bauteile zueinander geschieht, ist es für eine detaillierte Prozeßplanung unerlässlich, weitere Informationen in Form von Zwischenzuständen anzugeben, die explizit im Modell hinterlegt werden. Die Definition einer Bewegungskurve, z.B. beim Fügen eines Elementes an ein anderes, beinhaltet eine unendliche Menge solcher Zwischenzustände. Diese sind aber nur in ihrer Gesamtfolge zugänglich; eine bestimmte Konstellation der geometrischen Lage muß allerdings explizit ausgewiesen werden. Ein weiteres Beispiel für die Nutzung der Zwischenzustände findet sich bei der Erstellung der Arbeitspläne für den Werker. Eine grafische Darstellung des Einbauvorgangs veranschaulicht ihm die Lage der Bauteile und weist ihn auf eine bestimmte Situation hin, die aus der Produktstruktur nicht ersichtlich wäre (Bild 4.20).

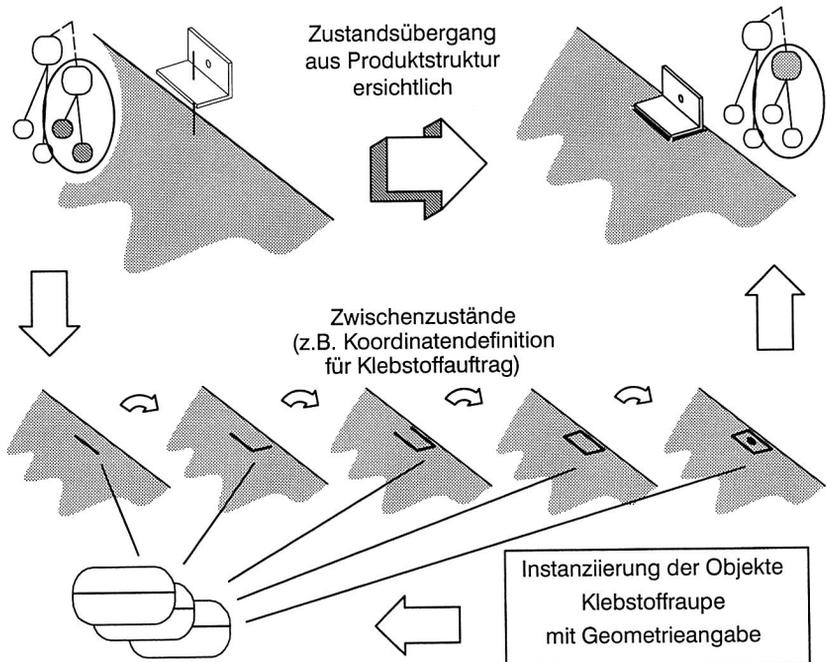


Bild 4.20: Detaillierung der Prozesse durch die Definition von Zwischenzuständen am Beispiel

Die Produktstruktur wird durch die Zwischenzustände ergänzt, deren Eintritt Bedingungen für Aktionen in Fertigung und Montage bedeuten, die für den Aufbau der Produktionsanlage von Relevanz sind und die die zeitliche Synchronisation von Vorgängen ermöglichen. Zwischenzustände werden entlang eines Astes innerhalb der Produktstruktur von einem untergeordneten Element zu dem darüberliegenden eingegliedert.

Die genannten Zustände werden im Planungsablauf nicht von den durch die Montagestruktur vorgegebenen Produktzuständen unterschieden. Damit eröffnen sie die Möglichkeit, elementare Transitionen während des Produktaufbaus abzubilden und stellen eine weitere Detaillierungsstufe des Produktaufbaus dar. Häufig herrscht eine starke Abhängigkeit zur Verbindungstechnologie, da die Anfangs- und Endzustände innerhalb der Produktstruktur keine expliziten Angaben dazu enthalten. Selbst bei einer Spezifizierung (z.B. Kleben) kann der Ablauf des Zustandekommens des darauffolgenden Produktzustandes auf verschiedenartige Weise durchgeführt werden.

Die Zwischenzustände ergänzen die aus der Produktstruktur ermittelten Zustände um detaillierte Informationen zur Parametrierung elementarer Prozesse. Sie ermöglichen damit die Bereitstellung exakter Daten bzgl. der Produktgeometrie und der Steuerung von Ressourcen. Die Operationen und Funktionen, die diese Parameter nutzen, werden durch das in Kap. 5 definierte Ressourcenmodell beschrieben.

4.5 Dynamik und Funktionalität des Moduls *PRODUKT*

Bei der Abbildung der Produktinformationen im Modul werden an einigen Stellen bereits dynamische und funktionale Zusammenhänge der Objekte aufgezeigt. Der Vorgang der Instanziierung der Verbindungsobjekte stellt beispielsweise einen zeitlichen Ablauf dar, in dem die Operationen der gestaltbeschreibenden Objekte benutzt werden, um den Planer in seiner Analyse zu unterstützen. Die Ergebnisse der Planung beschreiben einen zeitlichen Ablauf innerhalb der Produktion. Das Modul *PRODUKT* wird aus diesem Grund unter verschiedenen Blickwinkeln betrachtet, die im folgenden erläutert werden.

4.5.1 Dynamisches Modell

- *aus Sicht der Planung*

Innerhalb der Planung erfolgt eine dynamische Sicht auf das Produktmodul unter dem Aspekt der Informationsgewinnung und Aufbereitung von Daten zur Ermittlung der Produktionsprozesse und deren Parametrierung. Zentrales Element der Betrachtung ist die Bestimmung der Produktstruktur und die damit verknüpften Informationen, die für die Herstellung relevant sind. Die Generierung dieser Struktur mit Hilfe verschiedener Werkzeuge geschieht zielgerichtet, um die optimalen Abfolge zur Herstellung des Erzeugnisses als ressourcenneutrale Basis zu ermitteln.

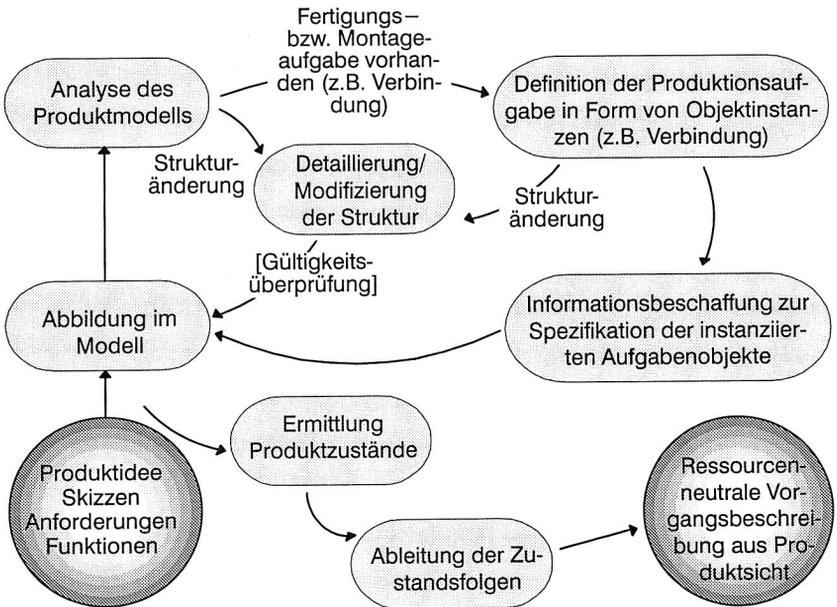


Bild 4.21: Abstrahiertes Zustandsdiagramm für das Modul PRODUKT

Die Initiierung der Planung und das eben genannte Ziel bilden ausgezeichnete Zustände, die während der verschiedensten Planungsaktivitäten der Teilbereiche immer wieder durchlaufen werden. Die Definition von Abhängigkeiten, die Überprüfung von Restriktionen, die Hierarchisierung der Strukturen, die Definition der Technologien u.v.m. sind zu jedem Zeitpunkt möglich. Änderungen an der

Produktstruktur werden überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Aus der Struktur wird die Menge der Produktzustandsfolgen ermittelt und durch Selektion wiederum eine Änderung der Produktstruktur bewirkt. Das dynamische Modell zur Abbildung dieser Vorgänge zeigt Bild 4.21 in einer abstrahierten Form. Bei einer Detaillierung des Zustandsdiagramms finden sich die in Kap. 4.1–4.4 genannten Vorgänge der Planung wieder. Beispielsweise ist unter dem Ereignis *Gültigkeitsüberprüfung* die Gesamtheit aller Restriktionen sowie deren Kontrollelemente zusammengefaßt, die eine Konsistenzsicherung der Produktstruktur gewährleisten.

- *aus Sicht der Produktion*

Die Vorgänge innerhalb der Produktion sind durch die Zustandsänderungen definiert, die aus der Analyse und dem Aufbau der Produktstruktur abgeleitet werden. Diese Zustandsänderungen entsprechen den Prozessen, die zur Herstellung des Produktes führen. Mit Hilfe dieser Informationen kann innerhalb des Moduls *PRODUKT* ein Zustandsdiagramm für die Produktion erstellt werden. Die Ereignisse entsprechen im Modell den Produktzuständen, innerhalb der Produktion der Fertigmeldung eines bestimmten Arbeitsschrittes (Überwachung des Montagefortschritts). Die Zustände im Modell sind die Zustandsänderungen innerhalb der Produktstruktur und referenzieren Prozesse im realen System.

4.5.2 Funktionale Sicht innerhalb des Moduls *PRODUKT*

- *aus Sicht der Planung*

Aus Kap. 3 folgt, daß die Aktionen im funktionalen Modell durch die Operationen der Objekte ausgeführt werden, die im statischen Modell beschrieben sind. Für die verschiedenen funktionalen Abhängigkeiten können deshalb Datenflußdiagramme zur Berechnung aufgestellt werden. Es werden nur Eingangs- und Ausgangsvariablen spezifiziert; die Art der Berechnung ist unerheblich und wird erst im Hinblick auf eine spätere Implementierung näher detailliert. Funktionen innerhalb der Planung sind von sehr unterschiedlicher Natur. Sie können von einer einfachen Volumenberechnung eines Bauteils bis hin zu einer komplexen kinematischen Simulation der Funktionen eines Produktes reichen, um zu bestimmten Aussagen über die Gestalt zu kommen. Alle Operationen der gestaltbeschreibenden Objekte fallen in diesen Bereich, ebenso manuelle Tätigkeiten des Planers, wie z.B. die Auswahl eines Bauteils aus einem Normteilkatalog.

- *aus Sicht der Produktion*

Ausgehend von dem dynamischen Modell aus der Sicht der Planung, können Funktionen den Produktzustandsübergängen und damit den Prozessen zugeordnet werden. Diese Funktionen sind nicht innerhalb des Moduls *PRODUKT* hinterlegt, da sie durch Operationen der Ressourcen ausgeführt werden. Darauf wird näher im Kap. 5 eingegangen.

Trotz der unterschiedlichen Sichten kann durch die einheitlichen Beschreibungselemente eine gemeinsame Abbildung der Informationen realisiert werden. Auf diese Weise erfolgt eine transparente Wiedergabe aller Daten, die durch beliebige Werkzeuge referenziert werden können. Der Aufbau des Modells ermöglicht eine einfache Verifizierung, da jedem Anwender verständliche und identische Beschreibungskonstrukte zur Verfügung stehen, die eine gemeinsame Basis des Informationsaustausches, nicht nur auf datentechnischer Ebene, bieten.

4.6 Produktbeispiel

Ein Produktbeispiel (Verteilerkasten, s. Bild 4.22) soll den Planungsablauf mit Hilfe des Modellkonzept verdeutlichen. Anhand einzeln ausgeführter Beispiele werden die genannten Elemente der Abbildung detailliert beschrieben. Ausgangspunkt ist im vorliegenden Fall eine Konstruktionszeichnung, die alle Einzelteile erkennen läßt und deren exakte und vollständige Beschreibung (Geometrie, Stammdaten usw.) enthält. Die hier gezeigte Ausführung konzentriert sich auf den Bereich der Produktmontage. Es wird davon ausgegangen, daß alle Einzelteile Zukaufteile sind und somit die Herstellung selbst nicht betrachtet werden muß.

Die erste Stufe der Abbildung ist die Instanziierung aller Einzelteile und des Erzeugnisses, bei der alle Attributwerte vollständig und gültig definiert werden. Diese Elemente werden durch Verknüpfung zu einer 2–stufigen Struktur zusammengefaßt.

Bei der Geometrieabbildung des Bodenteils werden die Bohrungen für die Führungsstifte und Verschraubungen als negative Körper im Objektmodell aufgenommen. Dies kennzeichnet die Bohrung als Feature für die Fertigung.

Die Zuweisung der Fügeachsen zu den einzelnen Komponenten erfolgt durch Generierung neuer geometrischer Elemente oder durch Verwendung vorhandener

Elemente schon instanzierter Objekte. Beispielsweise ist die Fügeachse des Paßstiftes P1 die Mittelachse der Bohrung BP1.

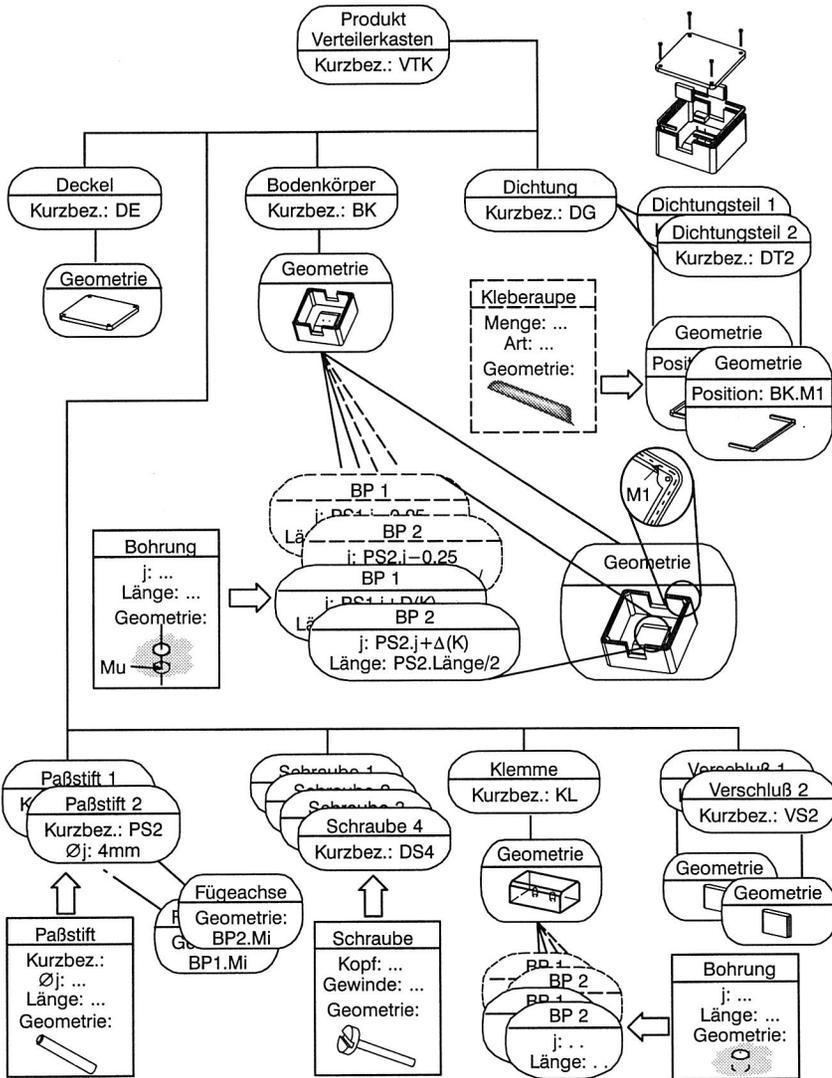


Bild 4.22: Objekt- und Klassendarstellung zur Abbildung des Beispielproduktes

Die Deckeldichtung soll durch Dichtstoffauftrag in die Nut appliziert werden. Zur Zielpositionierung des Dichtstoffes wird die Mittellinie am Boden der Nut als explizites Objekt definiert.

Die Art der Befestigung der Paßstifte soll noch nicht festgelegt werden. Als Alternativen kommen Kleben und Pressen in Frage. Für das Kleben wird zum Auftrag des Klebstoffes der Mittelpunkt am Boden der Bohrung definiert. In Abhängigkeit von den beiden Technologien wird der Bohrungsdurchmesser auf $d + \Delta$ (Klebstoff) beim Kleben oder $d - 0,25$ beim Pressen gesetzt. Dies entspricht der genannten Geometriedefinition aus Kap. 4.2.4 in Form einer Technologieausprägung, so daß ein Regelkreis aufgebaut wird. Für die Verbindungen der Paßstifte mit der Klemme KL soll eine identische Definition bzgl. der Festlegung des Bohrungsdurchmessers in der Klemme gelten.

Durch die Analyse der geometrischen Gestalt lassen sich, entweder automatisiert über Geometriekontakt oder manuell durch den Anwender, die relevanten Verbindungen kennzeichnen und mit prozeßrelevanten Informationen ergänzen. Während das Bauelement Schraube direkt Rückschluß auf die Verbindungstechnologie erlaubt, wird für den Paßstift keine Konkretisierung im Modell hinterlegt. Die Parametrierung der Bohrung läßt, wie erwähnt, Pressen oder Kleben zu.

Die beiden Einschubverschlüsse werden in ihrer Führung ebenfalls eingeklebt. Zu diesem Zweck wird in der Mitte der Aufnahme die Zielposition des Klebstoffes mit Hilfe eines geometrischen Elementes gekennzeichnet. Die Flächengeometrie und die Belastung der beiden Fügepartner an der Verbindung werden für die Berechnung der geforderten Festigkeit extrahiert, von einem externen Modul verarbeitet und das Ergebnis mit der Objektinstanz VERBINDUNG verknüpft.

Die bisherigen Informationen beziehen sich streng auf einzelne Objekte, also auf Einzelteilebene. Ausgehend von der zweistufigen Struktur wird nun die produktionsrelevante Struktur ermittelt. Analog der in Kap. 4.3 beschriebenen Vorgehensweise werden zunächst nicht durchführbare Bauteilkombinationen ausgeschlossen. Die Analyse erfolgt z.B. durch Ermittlung von Kontaktflächen, Kollisionskörpern oder möglicherweise schon eingegebener Verbindungen. Werkzeuge aus dem Bereich "Virtual Reality" können in diesem Zusammenhang den Planer in erheblichen Maße unterstützen [23]. Wie aus der Gesamtdarstellung ersichtlich ist, sind die Bauteilpaare PS1/PS2, DS1/DS2 oder PS1/DE nicht zu montierende Baugruppenkombinationen.

Ergänzend zu diesen Informationen lassen sich über die Untersuchung der Demontagemöglichkeiten weitere Zustände ausschließen. Ist Bauteil D schon montiert, kann VS1 und VS2 nicht mehr entfernt werden, ohne mit D zu kollidieren. Ebenso verhält es sich mit Bauteil D, wenn DS1 – DS4 in ihrem Endzustand sind. Die Analysen können durch die simulierte Bewegung der Bauteile entlang ihrer definierten Fügekurven durchgeführt werden. Die Operationen dazu stellt das Objektmodell bereit, die die betroffenen Objekte als Parameter nutzen.

Der Planer nimmt eine weitere Einschränkung vor und definiert, daß PS1 und PS2 erst mit KL zu montieren sind, bevor die Verbindungen mit BK durchgeführt werden. Die aus diesen Einschränkungen resultierende Montagestruktur stellt Bild 4.23 dar. Die Menge aller Produktzustandsfolgen bildet den Freiraum für die Montage bezügl. Optimierung der Reihenfolge und Anordnung der Systemkomponenten ab.

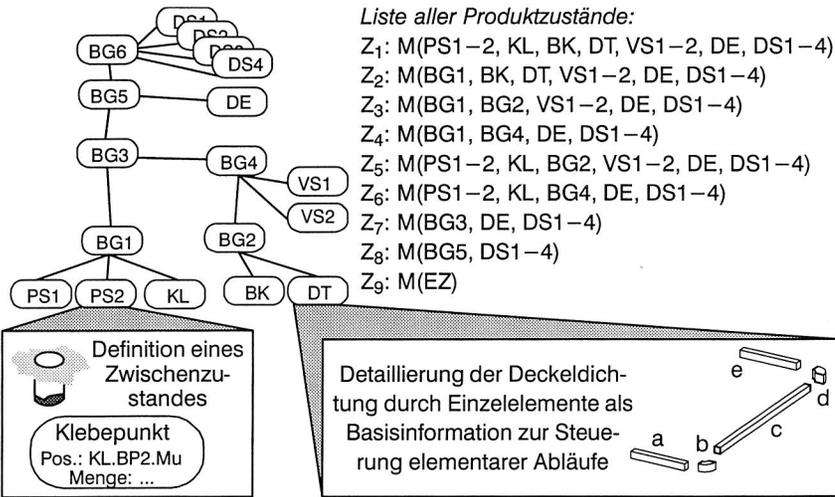


Bild 4.23: Darstellung der Produktstruktur und aller Produktzustände

Die weitere Detaillierung der Verbindungstechnologien wird konkret an den Bauteilpaarungen durchgeführt, die geklebt werden sollen. Die mögliche Verklebung der Paßstifte ist eine Rohr–Steck–Verbindung, bei der im Mittelpunkt der Bohrung der Klebstoff aufgebracht wird. Da beide Paßstifte in Verbindung mit der Klemme gleichzeitig montiert werden, müssen beide Klebepunkte vorher gesetzt werden. Dies erfolgt durch die Definition zweier Zwischenzustände, die jeweils eine bestimmte Menge Klebstoff in den Bohrungen der Klemme abbilden. Der Klebstoffauftragspunkt

wird als eigenes Objekt innerhalb der Produktabbildung instanziiert. Die Mengenangabe referenziert die Parameter der Verbindung und dient gleichzeitig als Formelement zur Bereitstellung des Klebstoffes an dem selektierten Ort.

Analog werden der Klebstoffauftrag der Einschubverschlüsse und das Applizieren der Dichtung definiert. Bei letzterer wird zunächst die Teilung der Gesamtdichtung vorgenommen (Bild 4.23). Bis zu diesem Zeitpunkt ist bzgl. der Abbildung innerhalb des Modells noch kein Unterschied festzustellen, ob die Dichtung in Form einer Festdichtung ausgeführt ist, oder durch Einbringen eines Dichtstoffes in die Nut aufgebaut wird.

Da durch die Zieltechnologie Kleben bei der vorhandenen Geometrie das Einbringen als Raupe oder Ausgiessen mit hoher Wahrscheinlichkeit in Frage kommt, werden durch weitere Detaillierung die benötigten Parameter bereitgestellt. Es werden Zwischenzustände definiert, die die Einteilung in Geraden und Kurvenelemente zeigen, wobei die Reihenfolge noch nicht festgelegt ist. Diese Elemente definieren die exakten Auftragspositionen für den Prozeß.

In Bild 4.23 sind alle elementaren Zustandsübergänge in einer Gesamtansicht dargestellt und hierarchisch strukturiert. Sie stellt die Aufgaben der Produktion aus der Sicht des Produktes dar, gleichzeitig ist eine ressourcenneutrale Abbildung gewährleistet.

5 Abbildung funktionaler Komponenten der Produktion: Das Modul *RESSOURCE*

In diesem Kapitel wird der analoge Aufbau der Ressourcen in die beschriebenen Teilmodelle durchgeführt. Ziel ist dabei, die Ausrichtung der Beschreibung auf die Funktionen der Betriebsmittel im Hinblick auf die in der Produktion durchzuführenden Vorgänge und die Nutzung dieser Abbildung unter den unterschiedlichen Sichten in der Planung.

5.1 Aufbau des statischen Ressourcenmodells

Analog zum Objektmodell des Produktes gilt es, Betriebsmittel in adäquater Weise abzubilden, um sich möglichst viele der schon erstellten Konstrukte und Operationen zunutze zu machen. Deshalb werden in diesem Teilmodell ähnliche Klassenmodelle wie im Modul *PRODUKT* zu finden sein, so daß wiederum der Forderung nach einheitlichen Beschreibungselementen in der Planung Rechnung getragen wird.

5.1.1 Strukturierung von Betriebsmitteln

Ressourcen allgemein, im besonderen Fertigungs- und Montagemittel, lassen sich in unterschiedlichster Weise ordnen und einteilen. In vielen Betrieben existieren Gerätedatenbanken, die den Anwender in der Auswahl der richtigen Ressource bei der Planung unterstützen. Man kann zwischen herstellereigenen Systemen, die einen engen Betriebsmittelbereich (z.B. für Pneumatikgreifer) abdecken, oder firmeninternen Systemen, die beispielsweise auf der Inventarliste basieren, unterscheiden. Die Strukturierung ist dabei stark anwendungsbezogen und vom Unternehmen abhängig.

Die in dieser Arbeit vorwiegend betrachteten Ressourcen aus dem Bereich der automatisierten Montage können nach unterschiedlichen Kriterien strukturiert werden. Häufig findet sich jedoch bei Betriebsmitteln im Bereich der Montage folgenden Einteilung [11,102]:

- *Roboter*
- *Steuerungen*
- *Greifer*
- *Fördermittel*
- *Sensoren*
- *Peripheriegeräte*

Jeder dieser Bereiche läßt sich, wie auch bei anderen Ressourcenarten, unter verschiedenen Sichten betrachten, deren Informationsumfang nachfolgend skizziert ist:

- **Geometrische Darstellung:** Sie beinhaltet eine genaue und exakte, die Gestalt beschreibende Abbildung des Betriebsmittels, wie sie ein 3-D-Modell darstellt. Beispielsweise kann das Modell eines Menschen in dieser Darstellungsform dazu dienen, einen Handarbeitsplatz unter ergonomischen Gesichtspunkten zu optimieren. Die Informationen in diesem Bereich werden bei der Layout- und Detailplanung oder zur exakten Simulation von Bewegungsabläufen benötigt.
- **Strukturelle Information:** Analog wie beim Produkt, das sich aus mehreren Bauteilen zusammensetzt, beschreiben diese Daten die einzelnen Komponenten der Ressource. Je nach Anwendungsfall kann z.B. ein Produktionssystem auf unterschiedlich detaillierten Ebenen betrachtet werden (Zelle → Subsysteme → Komponenten → Elementarkomponenten).

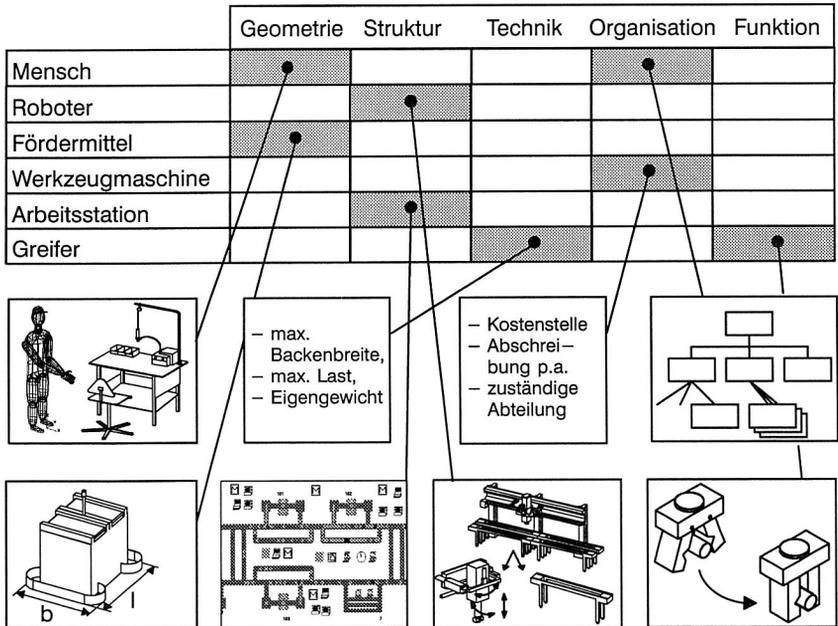


Bild 5.1: Strukturierung von Ressourcen nach Typ und Information

- *Technische Information:* Diese Daten charakterisieren die technischen Merkmale eines Betriebsmittels, wie z.B. Anschlußdaten der Versorgungsmedien, Leistungsaufnahme, Steuerungsmerkmale. Verwendung finden diese Informationen vor allem innerhalb der Fabrikplanung bei der Auslegung der Infrastruktur und der Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Betriebsmittels.
- *Organisatorische und wirtschaftliche Information:* Die Zuordnung zu Kostenstellen, die Verbrauchskosten, Abschreibungen und die organisatorische Eingliederung (Zuständigkeit) im Unternehmen werden in diesem Bereich abgebildet. Beispielsweise sind die Maschinenstundensätze wichtige Daten für die Ermittlung von Kosten in der Montage.
- *Funktionalität:* Im Zusammenhang mit den durchzuführenden Aufgaben in der Montage ist vor allem die Funktionalität eines Betriebsmittels von entscheidender Bedeutung. Die Einsatzmöglichkeiten bezogen auf die Vorgänge der Montage stehen im vorliegenden Fall im Vordergrund. Das bedeutet wiederum nicht, daß die anderen genannten Informationen von geringerer Relevanz sind, vielmehr sind gerade die gestaltbeschreibenden und technischen Daten in engem Zusammenhang mit den funktionalen Informationen zu sehen. Die Ausrichtung des statischen Modells soll deshalb zweckgerichtet auf die durch die Ressource ausführbaren Aktionen sein, aber trotzdem eine gesamtheitliche Abbildung aller Informationen gewährleisten.

Die weiteren Ausführungen beziehen sich zwar vorrangig auf Betriebsmittel, sind jedoch ebenso auf den Bereich Ressource im allgemeinen anwendbar, wobei hier im nicht wirtschaftlichen Sinne Zeit oder Material ausgeschlossen sind. Ergänzend sei noch erwähnt, daß im unternehmerischen Sprachgebrauch auch der Faktor "Mensch" mit seiner Arbeitsleistung und seinen Fähigkeiten in diesen Bereich fällt. Die Abbildung der funktionalen, dynamischen und statischen Eigenschaften eines Menschen im Modell ermöglicht die analoge Verwendung der Objektinstanzen innerhalb der Planung. Ein wesentlicher Vorteil ist allerdings, daß die Prozeßanforderungen durch das Produkt hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Menschen angepaßt bzw. optimiert werden können. Existiert eine exakte Darstellung der Geometrie des Werkers, so kann dessen Arbeitsplatz so eingerichtet werden, daß Werkzeug und Material unter Gesichtspunkten der Erreichbarkeit und Handhabung angeordnet werden. Automatisierte Anlagen können auf ihr Gefahrenpotential hin untersucht werden. Darüber hinaus ist mit Hilfe der Angaben über die körperliche

Belastungsfähigkeit die Bestimmung und Auslegung unterstützender Hilfsmittel zum Schutz des Werkers durchgeföhbar [5,10].

5.1.2 Definition der Klassenstruktur Ressourcen

Die Notwendigkeit einer dynamischen Anpassung an den Markt hat zunehmenden Einfluß auf die Strukturierung der Betriebsmittel. Die jeweiligen Gerätedatenbanken geben durch die Attributierung ein festes, unveränderliches Raster vor, das möglicherweise bei Modifikationen innerhalb der Organisation oder des Produktspektrums nicht mehr die erforderliche Unterstützung bei der Planung liefert. Das Modell zur Aufnahme der Ressourcen muß diesem Wandel Rechnung tragen und die Funktionalität bereitstellen, die Modellstruktur flexibel anzupassen.

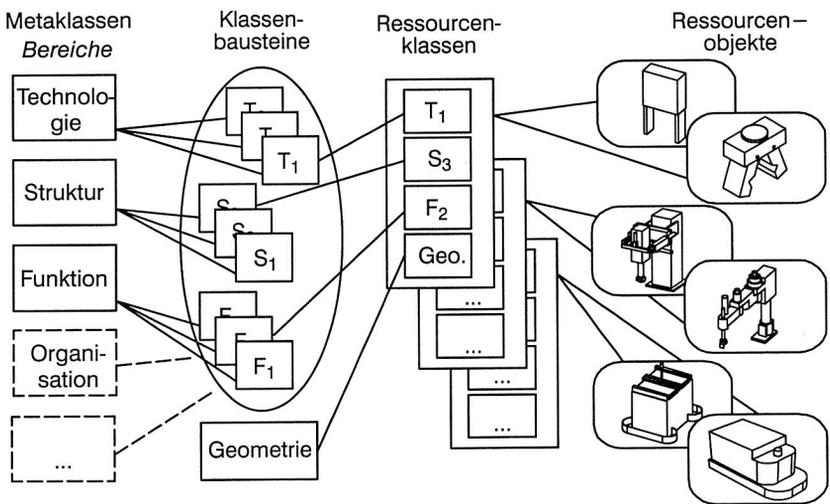


Bild 5.2: Flexibler Aufbau der Ressourcenklassen

Die Vorgehensweise zur Erstellung einer bestimmten Ressourcenklasse erfolgt nach folgendem Schema:

Die einzelnen Teil- oder Informationsbereiche werden durch Klassenbibliotheken abgebildet, die hierarchisch strukturiert sind. Darin können neue Klassen erzeugt oder vorhandene Klassen modifiziert werden. Damit eine optimale Planungsunterstützung erfolgen kann, ist die Anzahl der extrahierten Klassen für die Abbildung einer

bestimmten Ressourcenart abhängig von der Strukturierung innerhalb dieser Bibliotheken und vom Informationsumfang der Betriebsmittelart.

Die einzelnen sog. Klassenbausteine bilden im Verbund die Ressourcenklasse für eine bestimmte Betriebsmittelart (z.B. Roboter). Auf gleicher Ebene findet sich die Klasse zur Beschreibung der geometrischen Gestalt, die ebenso mit eingebunden wird. Die Instanziierung aus diesem Klassenverbund bildet ein konkretes Betriebsmittel ab (Bild 5.2). Für die Definition des Aufbaus der gestaltbeschreibenden Klassen wird auf Kap. 4.1 verwiesen. Die verschiedenen Klassenbausteine entsprechen den unterschiedlichen Sichten, die sich dem Anwender innerhalb der Prozeßplanung als eine Einheit "Ressource" darstellen und nur bei Bedarf einzeln referenziert werden.

Analog werden für Subkomponenten ähnliche Klassenstrukturen aufgebaut, so daß ein hierarchisches Abbild der Ressource erstellt werden kann. Der Vorteil dieses Aufbaus liegt in der starken Modularisierung der einzelnen Teilbereiche, die auf jeder Ebene transparent bleibt (Bild 5.2). Gleichzeitig wird damit die Grundlage geschaffen, verteilte Strukturen und heterogene Systeme bei einer weiterführenden Detaillierung in Richtung Realisierung des Gesamtsystems einzubinden.

5.1.3 Abbildung elementarer Funktionalität

Bei der Bestimmung der Prozesse wird bisher einer Produktionsaufgabe eine Ressource zugewiesen, und es wird untersucht, ob die damit zur Verfügung gestellten Funktionen die Anforderungen in bezug auf die Aufgabe erfüllen (s. Kap. 3.4). Die erwähnte Vorgehensweise bedingt jedoch, daß einerseits die Durchgängigkeit der Informationen unterbrochen und andererseits die Planungsdauer verlängert wird. Dies wird durch eine explizite Abbildung der Funktionen der Ressourcen vermieden, um eine bessere Anbindung Richtung Prozeß zu schaffen.

– *Klassenbezogene Funktionalität*

Durch die Definition der Ressourcenklasse werden die Attribute und Operationen in einer gemeinsamen Menge zusammengefaßt. Dem Benutzer bleibt dieser Vorgang verborgen. Wünscht er beispielsweise eine Angabe über das Gewicht eines Betriebsmittels, so kann dies aus einem Attribut ausgelesen oder durch Addition der Gewichte aller Subkomponenten ermittelt werden.

Die Operationen, die die Funktionalität auf elementarer Ebene der Ressourcenklasse beschreiben, werden in einer getrennten Klasse verwaltet, um einen hierarchischen Aufbau abzubilden. Sie sind damit eigene Objektklassen, die die abgebildete Betriebsmittelart bzgl. ihrer möglichen durchführbaren Operationen in Fertigung oder Montage spezifizieren. Gleichzeitig stellen sie die Funktionsmöglichkeitsmenge der betrachteten Ressourcenklasse dar.

Wird der Ressourcenklasse *ROBOTER* beispielsweise die Funktionsklasse *Achse verschieben bzw. drehen* zugewiesen, so stehen dem Planer diese Elementaroperationen zur Verfügung, die nahe der Steuerungsebene eine Abstraktion dieser Ebene bilden. Diese Steuerfunktionen können ebenso hierarchisch aufgebaut und als Klassenmodell hinterlegt werden. Ein weiteres Beispiel ist die Abbildung der Funktionen eines einfachen Doppelgurtförderers. Dieser Klasse werden die beiden Elementarfunktionsklassen *Fördern Richtung A* und *Fördern Richtung B* zugeordnet.

– Objektbezogene Funktionalität

Durch die Instanziierung eines Objektes aus der Klasse Ressource erfolgt auch eine Instanziierung der Operationen aus den Funktionsklassen. Die Operationen *Achse verschieben bzw. drehen* aus dem oben genannten Beispiel werden durch Angaben über Bewegungsraum, Geschwindigkeiten, Toleranzen, Kraftmomente u.ä. genauer spezifiziert. Damit wird die Menge der möglichen, durch das konkrete Montagemittel, ausführbaren Operationen, also dessen Funktionsmöglichkeitsmenge, beschrieben. Aus der auf der Ebene der Ressourcenklasse definierten Funktionalität wird durch die Instanziierung des Montagemittels eine Untermenge gebildet.

Führt man das o.g. Beispiel des Industrieroboters weiter aus, so sind die Funktionen *Drehe Achse 1 auf 45 Grad* oder *Verschiebe Achse 3 um 10 mm* exakte Bewegungen des spezifizierten Montagemittels Roboter. Aus diesen Informationen können beispielsweise direkt die Signalfolgen an die Regelkarten der die Achsen steuernden Motoren abgeleitet werden.

Bezugnehmend auf Bild 5.3 bildet die Unterklasse der Funktionen, die durch die erste Instanziierung entsteht, den Ausgangspunkt der 2. Stufe der Instanziierung aus Sicht der Funktionalität eines Betriebsmittels. Das daraus generierte Objekt beschreibt eine konkrete Operation. Die zeitliche Aneinanderreihung dieser Operationen bildet eine Vorgangsfolge für diese Ressource ab, die wiederum Grundlage für die Ermittlung der Steuerfolge für diesen Ablauf ist. In Bild 5.3 werden aus der Ressourcenklasse der Drehmaschinen zwei Objektinstanzen gebildet, denen jeweils eine Klasse von

Funktionen zugewiesen wird, aus denen letztendlich die elementaren Operationen in der Drehbearbeitung ermittelt werden.

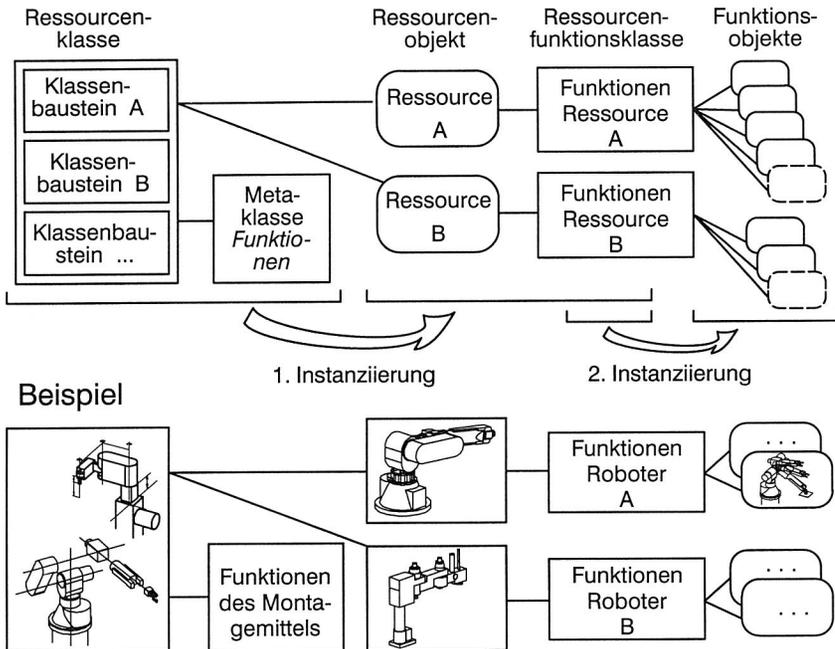


Bild 5.3: 2–Stufen–Instanziierung zur Definition von Operationen

5.1.4 Planungsorientierte Funktionalität

Die in den vorherigen Kapiteln definierte Funktionalität der Ressourcen stützt sich vorwiegend auf eine Beschreibung aus technischer Sicht, um die elementaren elektrischen, elektronischen und mechanischen Vorgänge zu verbergen. Der Prozeßplaner ist mit dieser Ressourcensicht überfordert. Es fehlt eine semantische Ebene, die diese für den Systemplaner notwendigen Informationen abstrahiert und entsprechend abbildet. Deshalb müssen Funktionen zur Verfügung gestellt werden, die der Prozeßplaner nachvollziehen kann, und die ihn nicht mit maschinennahen Details belasten.

Zunächst werden von elementarer oder steuernder Ebene die möglichen Operationen der Ressource ermittelt und abgebildet. Diese werden unter planerischen Gesichtspunkten abstrahiert, so daß technische Details dem Anwender erst bei der Steuerung des Betriebsmittels selbst offenbar werden (Bild 5.4). Der semantische Inhalt der Funktionen nimmt dabei immer mehr zu, während direkte steuerungstechnische Informationen in den Hintergrund treten.

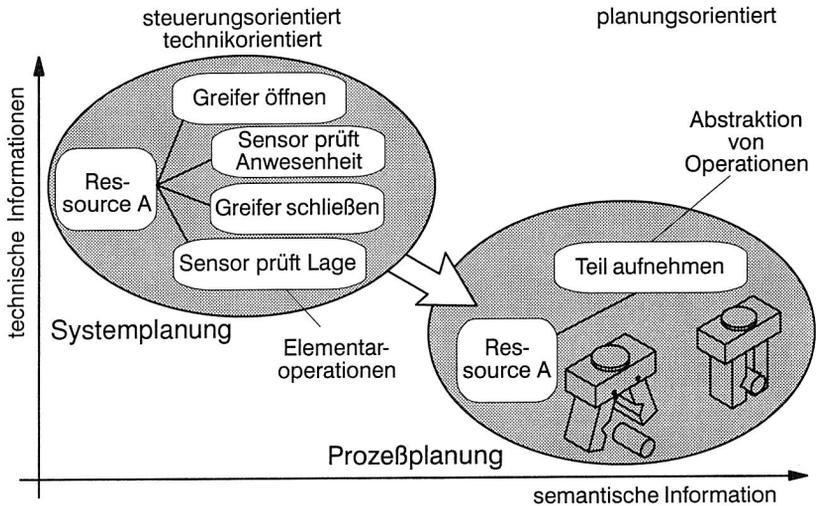


Bild 5.4: Abstraktion von elementaren zu planungsorientierten Operationen

Die Vorgehensweise soll am Beispiel eines elektrischen Greifers verdeutlicht werden. Es soll eine Montageaufgabe, beispielsweise das Einpressen eines Paßstiftes in eine Bohrung, durchgeführt werden. Der Paßstift wird zu diesem Zweck durch eine Vorrichtung in die Bohrung gebracht. Der Prozeßplaner will diese Aufgabe mit Hilfe der erwähnten Ressource ausführen. Stünden ihm nur die im Bild 5.4 genannten Elementarfunktionen zur Verfügung, müßte er jede einzelne Funktion betrachten und diese in eine korrekte zeitliche Reihenfolge bringen. Vor allem ist der Umfang an Detailinformationen zu diesem Zeitpunkt der Lösung des Problems nicht förderlich, sondern im Gegenteil dem Planer eher hinderlich. Im vorliegenden Fall ist durch die Abstraktion von elementaren Operationen die Operation *Teil aufnehmen* im Modell zur Verfügung gestellt worden. Durch die höhere semantische Ebene ist der Abgleich zwischen der gestellten Produktionsaufgabe und der zur Verfügung stehenden Funktionsmöglichkeitsmenge mit weniger Aufwand möglich. Eine Detaillierung in die

Elementaroperation kann der Systemplaner direkt nutzen, um das Öffnen und Schließen des Greifers und dessen Kontrolle durch ein Steuerprogramm abzubilden.

Der Aufbau der Ressourcenoperationen durch Zuordnung von abstrakten Funktionsklassen bietet weitere Vorteile. So kann die produktionstechnische Ausrichtung bei der Ermittlung der Operationen berücksichtigt werden. Das bedeutet, daß die Beschreibungen der Betriebsmittel auf deren Einsatz innerhalb des Aufgabenbereiches abzielen, in dem sie eingesetzt werden. Beispielsweise kann bei einem Industrieroboter einerseits eine Funktionsbeschreibung in Richtung Montageaufgabe im Bereich Fügen von Bauteilen erfolgen, andererseits ist beim Einsatz in einem Schweißsystem eine funktionale Ausrichtung zur Herstellung von Schweißverbindungen von Interesse.

Einen weiteren Vorteil bietet die Möglichkeit, in einer frühen Planungsphase eine Fokussierung auf wenige Operationen der Betriebsmittel zu betreiben, und das auf einem hohen Abstraktionsniveau. Dies unterstützt die, durch die Objektorientierung beabsichtigte, Wiederverwendung von Programmcode in der späteren Realisierungsphase und den Aufbau parametrierbarer Standardbausteine für eine bessere Transparenz der Abläufe. Eine verminderte Diversifikation der Operationen schafft gleichzeitig die Möglichkeit, beim Aufbau einer Produktionsanlage gleiche bzw. ähnliche Konstruktionselemente zu verwenden. Damit werden mögliche Fehlerquellen reduziert und die Kontrolle von Anlagen wird vereinfacht.

5.2 Anwendungsorientierte Prozeßfunktionalität

Die in Kapitel 5.1 beschriebene Abbildung der Ressourcen stellt ein mächtiges Werkzeug bei der konkreten Definition der Abläufe dar. Dem Planer steht die Funktionalität der Betriebsmittel in einem beliebigen Abstraktionsgrad zur Verfügung, allerdings nur ressourcenbezogen und auf ein ausgewähltes Betriebsmittel beschränkt. Damit das Modell eine weitere Unterstützung in Richtung Prozeßplanung leisten kann, müssen zusätzliche Strukturierungsmöglichkeiten eingebunden werden.

5.2.1 Abstraktion von Operationen unterschiedlicher Ressourcen

Im Bereich der Montage lassen sich die Operationen der Betriebsmittel nur bis zu einem gewissen Grad isoliert voneinander betrachten. Der Arbeitsplatz eines Werkers, der manuell zwei Bleche mit einer Schweißnaht zusammenfügt, kann durch Analyse

in eine Kombination verschiedener Einzelsysteme (Handhabung der Blechteile, Schweißgerät) aufgeteilt werden. Einzeln wären die Systeme nicht in der Lage, die geforderte Aufgabe zu erfüllen. Die Operationen des Schweißsystems und die gleichzeitige Bewegung des Werkers stellen eine Operation kombinierter Systeme dar. Eine ähnliche Konstellation bildet die Verbindung zwischen Industrieroboter und Schweißsystem, die beispielsweise als automatisierte Schweißstation in einer Montagelinie im Automobilbau eingesetzt wird.

Im genannten Beispiel werden nur zwei Komponenten betrachtet. Komplexe Anlagen der Fertigung und der Montage beinhalten oft mehrere hundert Teilsysteme, deren Operationen gleichzeitig durchgeführt werden. Aus diesem Grund abstrahiert man die Funktionen der Einzelsysteme zu Gesamtoperationen. Dabei wird durch die objektorientierte Ausrichtung sichergestellt, daß die Gesamtsystemoperation ihre untergeordneten Teiloperationen kennt, andererseits die Teiloperationen wiederum wissen, von welcher übergeordneten Operation sie aktiviert werden. Bild 5.5 stellt diesen Zusammenhang grafisch dar.

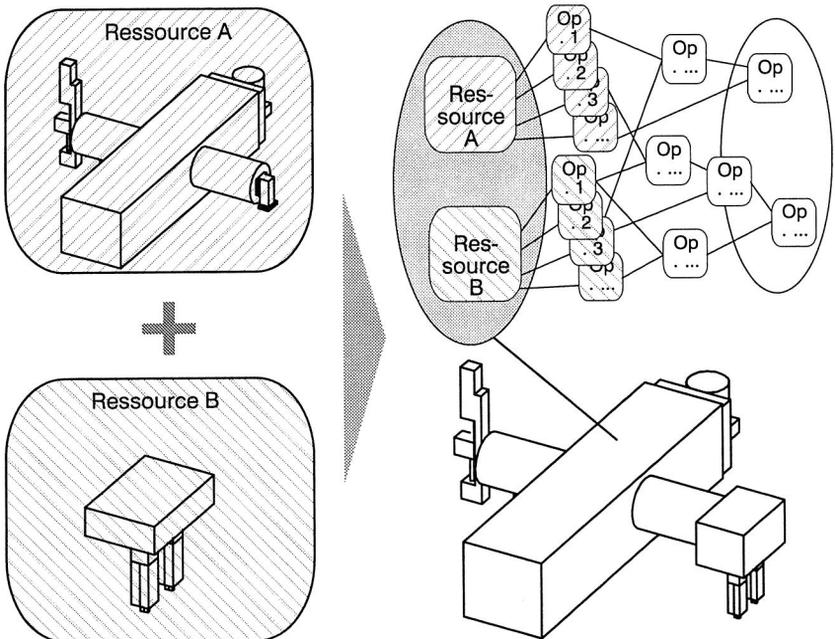


Bild 5.5: Integration von Operationen unterschiedlicher Ressourcen

Bei dieser Vorgehensweise können komplexe Anlagen auf einem hohen Abstraktionsniveau bezüglich ihrer Funktionalität beschrieben werden. Der Austausch einzelner Komponenten stellt andere Operationen für das Gesamtsystem zur Verfügung, wobei dem Anwender die Änderung auf der niederen Ebene verborgen bleibt. Auch können alternative Komponenten eingesetzt werden, ohne daß sich die Funktionalität auf oberster Ebene ändern muß. Der beschriebene Aufbau erhöht deutlich die Flexibilität bei der Nutzung des Modells.

5.2.2 Strukturierung von Operationen nach Aufgabenbereichen oder Anwendungsgebieten

Die bisher beschriebene Abbildung der Ressourcenoperationen bezieht sich im wesentlichen auf die direkte Beschreibung der Vorgänge während des Prozesses. Um nicht bei der Suche nach der entsprechenden Funktionalität alle Operationen der Ressourcen betrachten zu müssen, ist es sinnvoll, weitere Strukturierungsmöglichkeiten zu schaffen, die entweder anwendungsorientiert sind oder bestimmte Aufgabenbereiche beschreiben. Hierbei können unternehmensspezifische Ausrichtungen von Fertigung und Montage berücksichtigt werden.

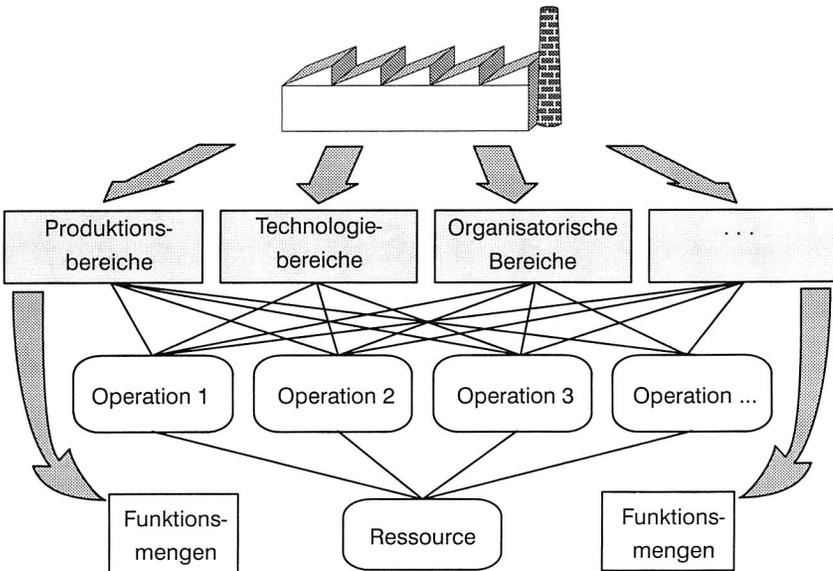


Bild 5.6: Strukturierung der Ressourcenoperationen nach Anwendungsgebieten

Eine Strukturierung ist auf allen Abstraktionsebenen der Ressourcenoperationen durchführbar. Ebenso ist eine mehrfache Zuordnung von Ressourcenfunktionalität auf Anwendungsgebiete oder Aufgabenbereiche möglich. Der Anwender wird dadurch in die Lage versetzt, ausgehend von der gestellten Aufgabe, schneller die erforderliche Operation zu finden (Bild 5.6). Darüber hinaus bindet diese Strukturierung jenen Bereich des Gesamtmodells ein, welcher im Modul *PROZESS* die Zuordnung zu den Technologien unterstützt.

5.3 Der Planungsregelkreis innerhalb der Operationsstruktur

Im vorangegangenen Kapitel wurde der Zusammenhang zwischen der Gesamtsystemoperation und den untergeordneten Operationen der Teilsysteme beschrieben. Definiert der Planer eine Operation als diejenige, die eine konkrete Fertigungs- oder Montageaufgabe erfüllen soll, so initiiert er eine Vorgangsfolge bei

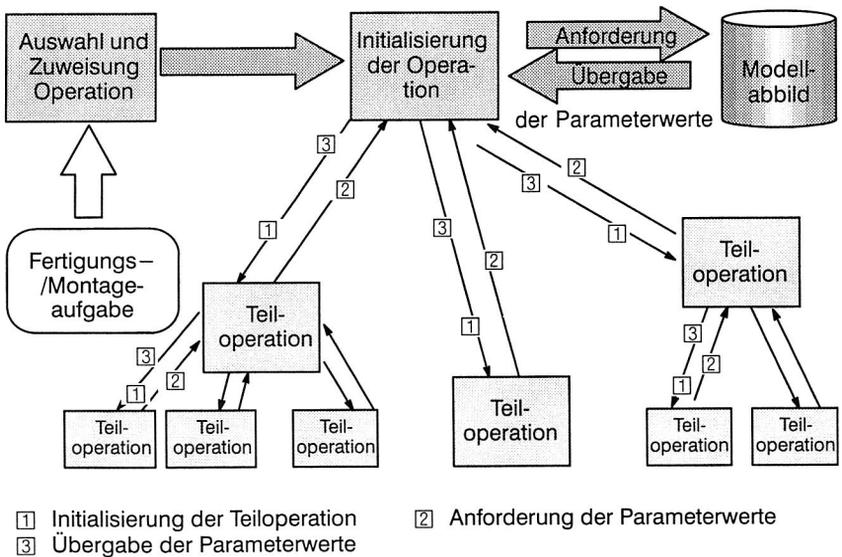


Bild 5.7: Veranschaulichung der Regelkreise innerhalb der Operationsstruktur

der Ermittlung der Parameter für die untergeordneten Operationen. Auf höchster Ebene wird durch die Aufgabenzuordnung der Verweis auf ein oder mehrere Objekte übergeben. Die Operation extrahiert sich daraus die notwendigen Parameter und übergibt an untergeordnete Operationen wiederum nur Verweise auf Objektinstanzen. Diese Vorgehensweise setzt sich bis zur untersten Ebene fort (Bild 5.7).

Auf diese Weise erfolgt die Parametrierung von Operationen ausschließlich durch eine Referenzierung von Objekten und nicht durch die konkrete Angabe von Werten in den Attributen der Ressourcenoperationen. Dies hat den Vorteil, daß Änderungen der Operationen auf den verschiedenen Ebenen keinen Einfluß auf andere Elemente haben. Die Planungskette kann bis ins Detail aufgebaut werden, da die konkreten Werte erst bei Bedarf explizit angegeben werden müssen. Dabei ist keine sukzessive Berechnung in allen Ebenen notwendig, sondern aufgrund der Referenzierung erfolgt dies auf allen Ebenen gleichzeitig.

Der Zeitpunkt für die Ermittlung der konkreten Werte ist dabei beliebig und kann bis in die Betriebsphase verschoben werden. Auf diese Weise ist es möglich, Prozeßabläufe aufzubauen, die während der Laufzeit ihre Steuerinformationen anfordern. Beim Aufbau von Prozeßregelkreisen wird erst während des Vorgangs beispielsweise ein Bauteil durch Sensorik vermessen, um eine exakte Positionierung der Werkzeuge durchführen zu können. Der Parameter an sich wurde in der Planung schon früher ermittelt, der Wert dieses Parameters erst zum Zeitpunkt der Nutzung. Je früher im Planungsfortlauf festgestellt wird, daß eine Größe in den Prozeß einfließt, desto stärker ist eine Abbildung nach dem oben beschriebenen Modell gefordert. Ist dies nicht der Fall, so entsteht eine informatorische Lücke.

5.4 Abbildung der Funktionalität eines Roboter-/Dosiersystems zum automatisierten Klebstoffauftrag

Anhand des nachfolgenden Beispiels wird die angesprochene funktionsorientierte Abbildung der Ressourcen aufgezeigt. Diese soll, wie erwähnt, die bisher eher statisch-orientierte Wiedergabe der auszuführenden Produktionsaufgaben ändern und damit einen schnelleren Planungsdurchlauf ermöglichen und qualitativ bessere Ergebnisse erreichen.

5.4.1 Die Klassenstruktur der Komponenten

Die Betrachtung der Betriebsmittel erfolgt entsprechend Kap. 5.2 gemäß deren Einsatz in der Produktion. Das bedeutet, daß im vorliegenden Fall die Funktionalität zum Auftrag von Klebstoff in diesem Kapitel im Vordergrund stehen wird.

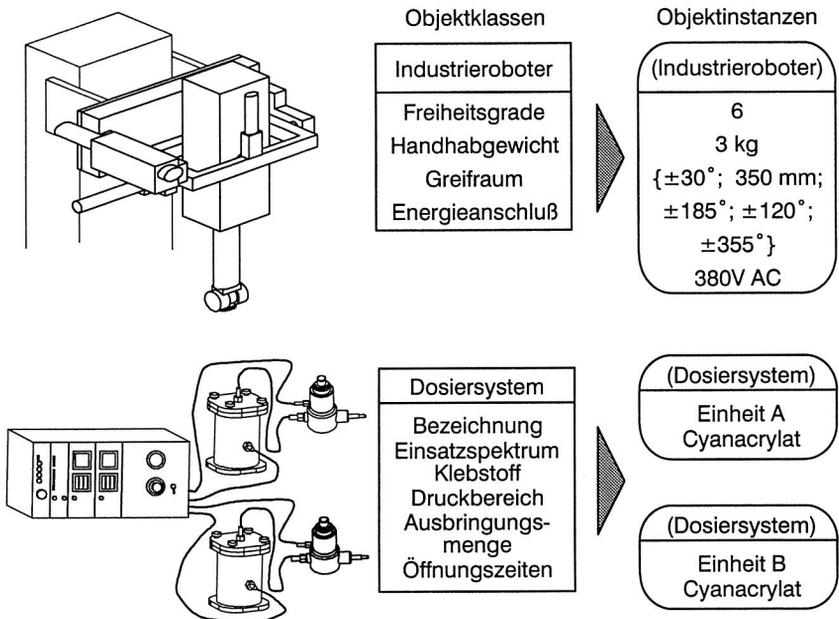


Bild 5.8: Roboter und Dosiersystem und ihre Abbildung als Objektinstanzen

Das betrachtete System besteht aus den zwei Komponenten 6-Achsen-Roboter und Dosiersystem. Der Roboter entspricht in seiner Grundfunktionalität einem handelsüblichen Industrieroboter mit einer translatorischen und fünf rotatorischen Achsen.

Das Dosiersystem enthält ein Steuergerät, welches zwei unabhängige Dosierventile steuern und die dazugehörigen Klebstofftanks überwachen kann. Entsprechende Steuerleitung ermöglichen eine Impulsöffnung oder eine dauerhafte Öffnung der Ventile. Die Ausbringungsmenge des Klebstoff hängt weiterhin von Randbedingungen, wie z. B. Viskosität des benutzten Klebstoffes, Luftdruck im Klebstofftank usw., die im Klassenmodell mit hinterlegt werden, ab. (Bild 5.8).

Die beiden genannten Komponenten werden hinsichtlich Klebstoffauftrag weiter detailliert und deren Funktionalität ermittelt. Ziel ist die Bereitstellung der Informationen zur Kopplung mit dem Modul *PROZESS*.

Roboter:

Es wird zunächst eine Funktionsklasse *Achse verschieben/drehen* erstellt. Durch die Instanziierung der Komponente werden die Klassen für die Funktionalität weiter spezifiziert. Entsprechend der Anzahl der Achsen stehen für den Roboter 6 Operationen zur Verfügung. Je nach Achsenart sind diese entsprechend Bild 5.9 definiert. Die elementaren Achsoperationen werden zu den Operationen *Bewege TCP zu Punkt* (TCP=Tool Center Point), *Bewege TCP zu Punkt linear* und *Bewege TCP in Kreisbogen* zusammengefaßt. Zusätzlich wird eine allgemeine Operation *Bearbeite Programm* angegeben, die eine fest definierte Abfolge der o.g. Operationen beinhalten

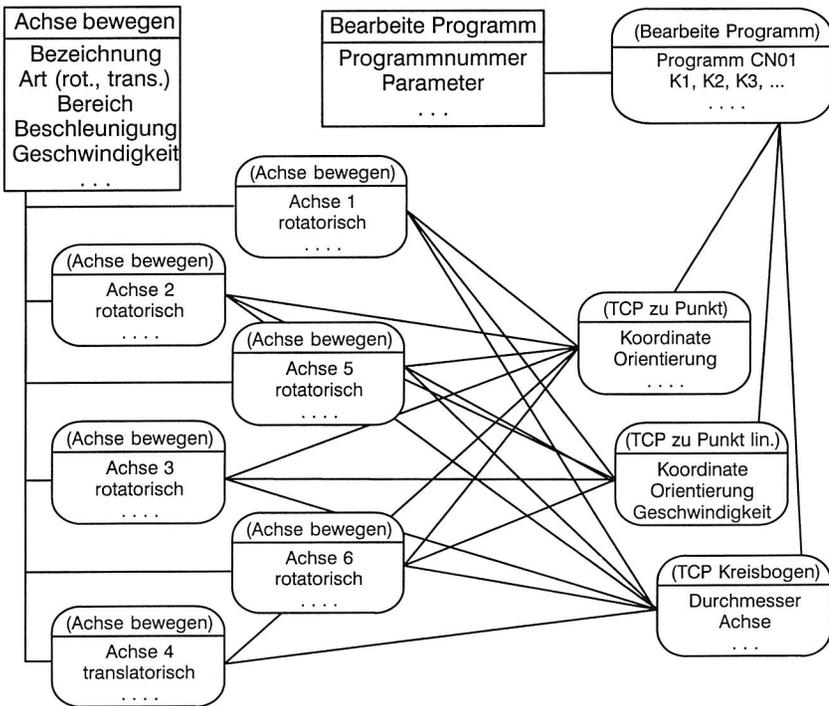


Bild 5.9: Abstraktion elementarer Operationen der Betriebsmittel

kann oder dem Anwender ein beliebiges schon spezifiziertes Bewegungsmakro zur Verfügung stellt.

Dosiersystem:

Die manuelle Vorwahl der Impulszeit am Gerät, im folgenden als Punktdosierung bezeichnet, stellt eine Dosierfunktion auf elementarer Ebene bereit. Bei dieser Funktion besteht keine Möglichkeit, während des Prozesses auf die Menge Einfluß zu nehmen. Durch die explizite Steuerung, wann das Dosierventil öffnet und schließt, im folgenden Dauerdosierung genannt, können Einflüsse, wie Temperatur, Position, Viskosität usw. berücksichtigt werden. Bei der Definition von Funktionsklassen werden alle Randbedingungen als einstellbare Parameter angesehen. Daraus ergeben sich die in Bild 5.10 angeführten Operationen.

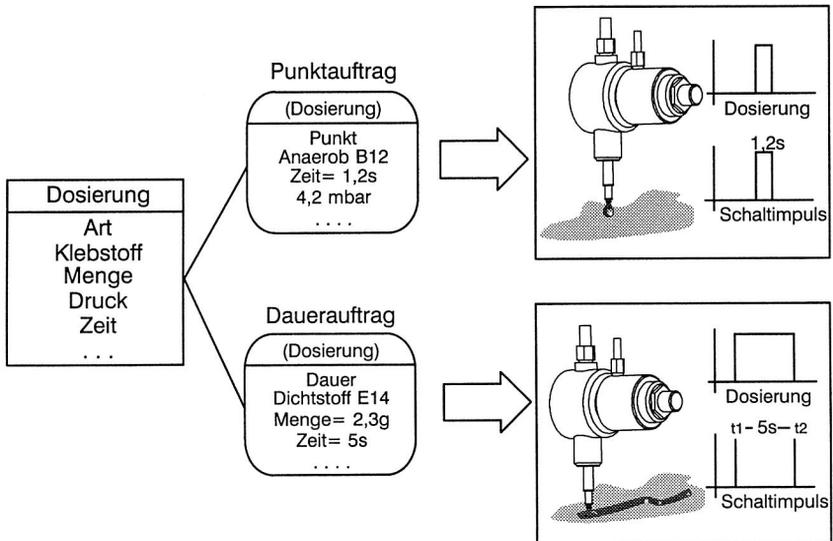


Bild 5.10: Grundfunktionen der Dosierung (Punkt- bzw. Dauerdosierung)

Die Dosiernadel ist an der letzten Achse des Roboters montiert und hat, außer den Klebstoff zu transportieren, keine eigene Funktion. Der TCP des Roboters wird in den Kreismittelpunkt am Ende der Auftragsspitze definiert. Dadurch sind den Operationen der Klasse Roboter direkt die Positionierungen der Dosiernadel zugeordnet. Der TCP definiert weiterhin auch die Lage im Raum. Dies bedeutet, daß eine vorgegebene Orientierung während der Bewegung oder eine Änderung der Orientierung durch die Parametrierung der Funktionen des Gesamtsystems festgelegt wird.

Es gilt nun, die Einzeloperationen der Komponenten in der Weise zu abstrahieren, daß sie die Funktionen des Roboter-/Dosiergesamtsystems abbilden und dem Prozeßplaner zur Verfügung stehen. Auf einer übergeordneten Ebene werden die Bewegungs- und Dosieroperationen zu Auftragsoperationen zusammengefaßt. Beispielsweise stellt die Operation *Appliziere Klebepunkt* mit den angegebenen Attributen (Bild 5.11) die Funktionalität in bezug auf die Punktdosierung bereit. Die Operation *Appliziere Klebstoff auf Linie* definiert den Auftrag von einem Anfangspunkt bis zu einem Endpunkt auf einer Gerade. Die Dosierung wird am Anfangspunkt gestartet und am Endpunkt unterbrochen. In Bild 5.11 sind alle möglichen Operationen des Roboter-/Dosiersystems dargestellt. Die erwähnten Operationen werden auf höchster Ebene zu der allgemeinen Operation *Klebstoffauftrag* abstrahiert. Sie beinhaltet die Funktionsmöglichkeitsmenge des Betriebsmittels, die dem Planer zur Verfügung stehen soll.

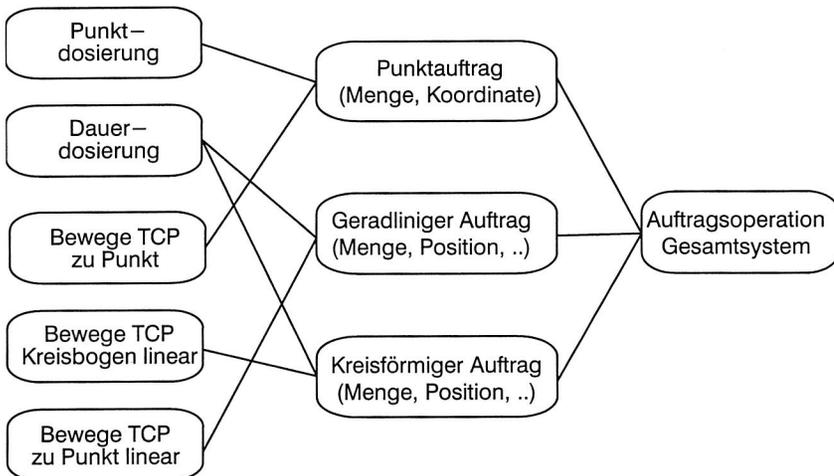


Bild 5.11: Zusammenfassung der elementaren Operationen zu Auftragsoperationen

Den Aufbau des statischen Modells mit Ressourcen und Operationen zeigt Bild 5.12. Auf eine exakte Attributierung wird, soweit es zum Verständnis nicht erforderlich ist, in diesem Rahmen verzichtet. Die bereits ausgeführten Operationen sind teilweise aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht alle einzeln aufgeführt. Wegen des objektorientierten Aufbaus kann jedes Element auf jeder hierarchischen Ebene und damit in den verschiedenen Abstraktionsgraden angesprochen werden, was eine Strukturierung aller Funktionen der Betriebsmittel nach unternehmensspezifischen

Gesichtspunkten ermöglicht. Beispielsweise kann die Operation *Appliziere Klebepunkt* einer Aufgabengruppe *Vergießen* zugeordnet werden, da dieser Vorgang vom Aufbau identisch ist. Allerdings gilt es im Vorfeld zu prüfen, ob die jeweiligen Komponenten für die geänderten Einsatzbedingungen geeignet sind. Der Aufbau einer solchen Struktur basiert überwiegend auf dem Erfahrungswissen von Montageplanern und Anlagenbetreibern. Da Funktionen nach Technologien eingeteilt werden, sind sie in der Lage, Ressourcen bestimmten Anwendungsgebieten zuzuordnen. Der Produkt- und der Prozeßplaner hat damit Zugriff auf den jeweils anderen Informationsbereich, in dem er durch die bei seinen Planungsaufgaben auftretenden Kriterien nach Lösungen suchen kann.

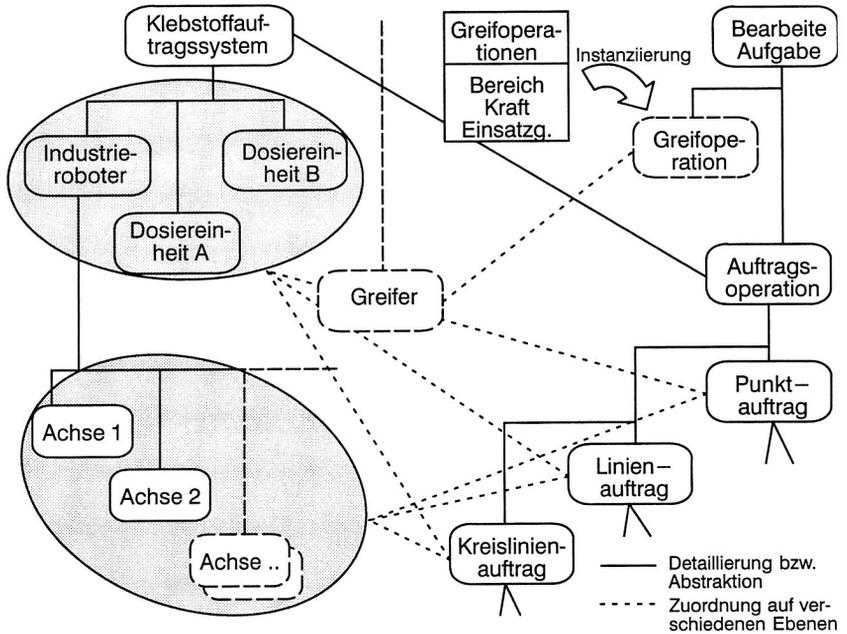


Bild 5.12: Verknüpfung der statischen Modelle auf verschiedenen Ebenen

Das System in Bild 5.12 wird konkret für die Funktionalität zum Auftrag von Klebstoffen abgebildet. Für den Anwender wirkt sich dies insoweit vorteilhaft aus, als er sich bei der Lösung eines Planungsproblems ausschließlich auf diejenige Ebene beschränken kann, die ihm genau die Semantik zur Verfügung stellt, die er im betrachteten Zeitpunkt und in dem von ihm geforderten Abstraktionsgrad benötigt. Die Abstraktion erlaubt dem Planer jederzeit die Ebenen zu wechseln und verbirgt Details der

darunterliegenden Ebenen vor ihm. Fehlen beispielsweise auf einer Ebene bestimmte Informationen, so kann durch Abstraktion der Planungsfortlauf auf der darüberliegenden Ebene gesichert werden. Die Aufgabe der einzelnen Auftragsoperationen ist im vorliegenden Fallbeispiel für den Planungsfortlauf nicht notwendigerweise erforderlich, da durch die Abstraktion auf übergeordneter Ebene eine entsprechende Operation in der Planung genutzt wird. Der Aufbau der Prozeßkette kann unbehindert fortgesetzt werden, während die Detaillierung der einzelnen Operationen erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen muß

5.4.2 Die dynamischen Modelle

Das dynamische Modell des Roboter-/Dosiersystems definiert die Abläufe während des Einsatzes in der Produktion. Das Zustandsdiagramm definiert, daß das System von

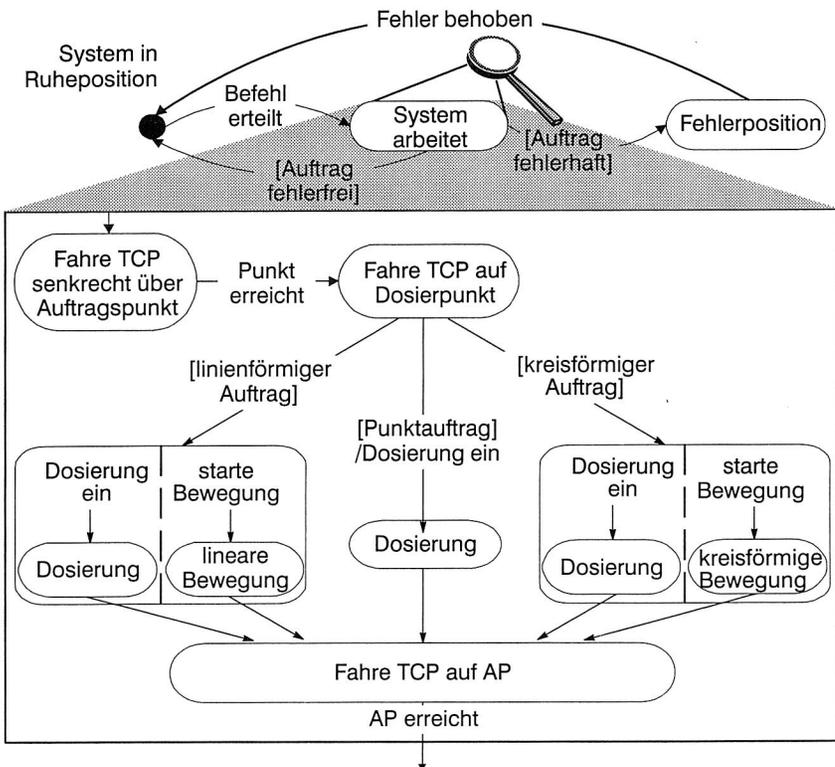


Bild 5.13: Dynamisches hierarchisches Modell des Klebesystems

einem Ausgangszustand (*System in Ruheposition*) auszugehen hat, der beispielsweise nach dem Einschalten der Geräte eingenommen wird. Bei Ankunft eines Auftrages (*Befehl erteilt*), wechselt das System in den Zustand *System arbeitet* (s. Bild 5.13).

Nach Fertigstellung des Auftrages und einer fehlerfreien Bearbeitung wird wieder der Ausgangszustand eingenommen. Für den Zustand *System arbeitet* erfolgt eine Detaillierung des Zustandsdiagramms bis hin zu den elementaren Abläufen innerhalb des Systems. In Bild 5.13 ist dabei die Synchronisation der Öffnungs- und Schließzeitpunkte des Dosiersystems mit den Bewegungsfunktionen des Roboters zu erkennen.

5.4.3 Parametrierung der Operationen am Beispiel

Entsprechend dem in Kapitel 5.3 erläuterten Vorgehen bei der Parametrierung der Operationen, sollen im folgenden Beispiel die funktionalen Zusammenhänge dargestellt werden, wenn eine Operation selektiert wird. In Bild 5.14 wird eine Notation verwendet, die die Funktion durch Angabe des gesamten Pfades des aufrufenden Objektes und durch die Zuweisung der Parameter wiedergibt.

Die Operation *Appliziere Klebstoff* wird durch Referenz auf eines diese Aufgabe beschreibendes Objekt initiiert. Dieses Objekt beinhaltet die Information, daß ein Klebepunkt an eine bestimmte Stelle appliziert werden soll [1]. Dadurch wird die untergeordnete Operation *Appliziere Klebepunkt* aktiviert, deren Parameter Ort und Menge aus der übergeordneten Operation zugeordnet werden [2]. Durch Selektion der Operation *Appliziere Klebepunkt* erfolgt wiederum die Aktivierung der Teiloperationen [3], deren Auswahl durch das Objekt bestimmt ist [4].

Die Dosieroperation erhält ihre Informationen durch Übergabe der Referenz auf die aufzutragende Menge. Das im Modul *RESSOURCE* hinterlegte Objekt beinhaltet die Informationen, aus der Mengenangabe, unter Berücksichtigung der Randbedingungen Druck im Produkttank, Viskosität des Klebstoffs und Temperatur, die Öffnungszeit zu ermitteln, die direkt als Steuerinformation ausgewertet werden kann [5].

Die Bestimmung der Bewegungsoperation verläuft analog. Dabei werden die Einzeloperationen zur Steuerung der Achsen aktiviert. Die Stellgrößen werden mit Hilfe des Objektes, das den anzufahrenden Punkt beschreibt, ermittelt [6]. Dies kann beispielsweise durch Rücktransformation des Differenzkoordinatensystems vom

Ausgangspunkt zum Auftragspunkt erfolgen [7]. Auch hier ist die Angabe für den Auftragspunkt eine Referenz auf den Zielpunkt des Klebstoffauftrages.

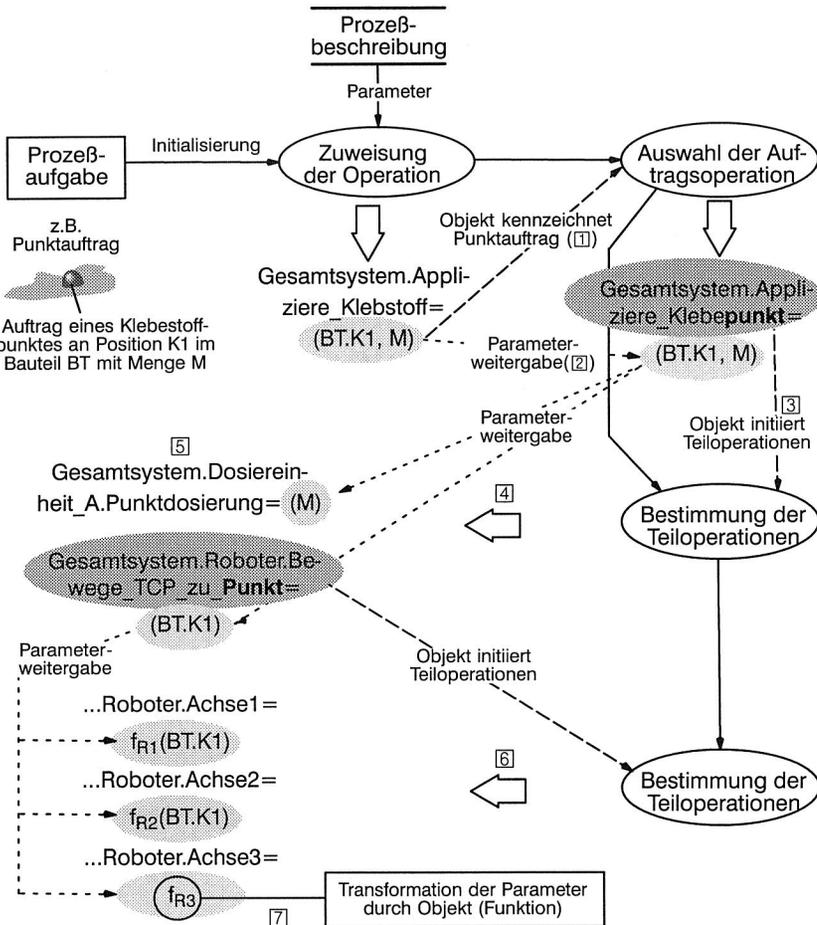


Bild 5.14: Funktionales Modell beim Planungsablauf (Beispiel)

Der Ablauf zur Detaillierung der Operationen und deren Parametrierung erfolgt automatisiert durch die Instanziierung der Objekte, ausgehend von einer zu erfüllenden Produktionsaufgabe oder übergeordneten Operation. Dem Anwender bleiben die elementaren Abläufe zur Ermittlung der Parameterwerte verborgen, da er die Operationen nur als Einheit nutzt und die Referenzierung der Größen im Modell

schon hinterlegt ist. Zu jedem Zeitpunkt bleiben auf diese Weise die Planungsergebnisse und deren Ableitung aus den Ursprungsinformationen transparent. Außerdem werden dem Anwender die Ressourcen gezielt unter dem Gesichtspunkt des Produktionseinsatzes veranschaulicht, was die semantische Lücke zwischen Produktionsaufgabe und Lösungsmöglichkeiten schließt und so zu qualitativ besseren Ergebnissen führt.

6 Integration von Produkt und Ressource: Das Modul *PROZESS*

In Kapitel 3 wird das Modul *PROZESS* als integrative Komponente zwischen den Modulen *PRODUKT* und *RESSOURCE* definiert. Die nachfolgenden Kapitel beschreiben Aufbau, Informationsumfang und Einsatz des Moduls, während die Verknüpfung der Produktzustandsübergänge aus Kap. 4 mit den Operationen der Ressourcen aus Kap. 5 zur Spezifizierung konkreter Produktherstellungsprozesse aufgezeigt wird.

6.1 Aufbau des Integrationsmoduls

Im folgenden wird der Aufbau des Integrationsmoduls mit Hilfe objektorientierter Ansätze unter Berücksichtigung der Neutralität bzgl. Produkt und Ressource erläutert.

Hauptanforderung ist, daß dem Anwender, sei es der Produkt- oder Prozeßplaner, Informationen innerhalb dieses Moduls zur Verfügung gestellt werden sollen, die das Äquivalent zu seinen Ausgangsdaten darstellen. Weiterhin muß er diese Informationen ohne aufwendige Mechanismen erkennen können. Je nach Anforderung werden deshalb für Produkt- und Prozeßplanung innerhalb des Moduls Klassifizierungen vorgenommen, die eine schnelle und sichere Zuordnung erlauben.

Die Festlegung der verschiedensten Fertigungs- und Montagetechnologien bei der Produktgestaltung ist ein wesentliches Kriterium zum Aufbau der Produktionsanlagen. Aus diesem Grund ist es naheliegend, eine Struktur zu definieren, die diese Technologieklassen widerspiegelt. Eine Möglichkeit besteht darin, sich beispielsweise an der DIN-Einteilung zur Herstellung von Verbindungen zu orientieren, wodurch ein Bereich der Montageaufgaben abgedeckt werden kann [70,71]. Ebenso können fertigungsorientierte Klassen wie z.B. Drehen, Fräsen, Gießen usw. definiert werden. In diesen Klassen kann eine weitere Systematisierung durchgeführt werden. Im Bereich Kleben kann z.B. nach der Art der Klebstoffe, der Art der Klebeverbindungen oder der Funktionen innerhalb der Verfahrenskette 'Herstellung einer Klebeverbindung' unterschieden werden.

Der Aufbau ist analog zu den beiden korrespondierenden Modulen hierarchisch. Dem Anwender wird dadurch ein Übergang von einem Modul zu anderen auf jeder Ebene ermöglicht. Unabhängig vom gewählten Abstraktionsgrad im Ausgangsmodul

können die Informationen referenziert werden. Die Daten innerhalb des Modells, das das Modul abbildet, repräsentieren die Technologiemenge, die dem Anwender zur Verfügung stehen soll (Bild 6.1).

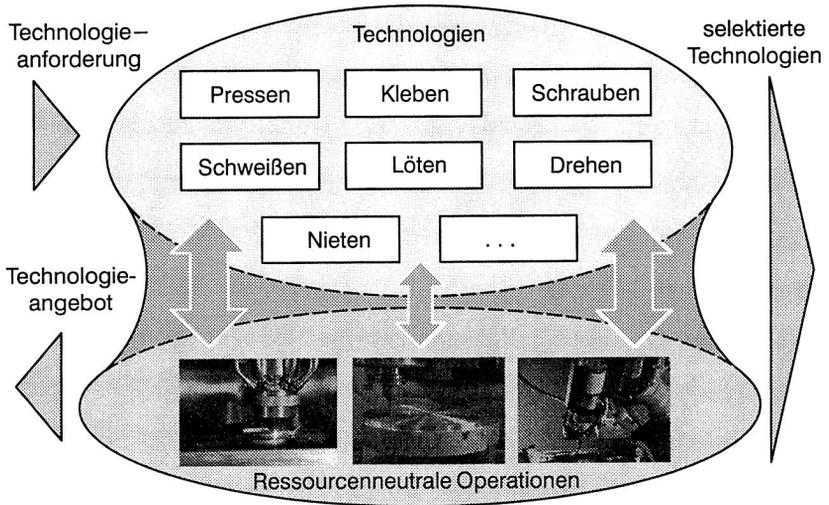


Bild 6.1: Teilbereiche und Informationsumfang des Moduls PROZESS

Zur Vollständigkeit sei erwähnt, daß zwar die beschriebene Strukturierung nach Technologieausrichtungen die für das in dieser Arbeit beschriebene Einsatzgebiet die naheliegendste ist, andere Formen der Unterscheidung aber genauso denkbar sind. Unternehmensinterne Gesichtspunkte, wie organisatorische oder wirtschaftliche Kriterien, können z. B. beim Aufbau Berücksichtigung finden. Der Anwender sollte die sich bietenden unterschiedlichen Strukturierungsmöglichkeiten im Aufbau der Prozesse entsprechend der gestellten Aufgabe und gegebener Randbedingungen nutzen. Diese Vorgehensweise wird bereits beim Aufbau des Moduls *RESSOURCE* (Kap. 5) angesprochen.

Um die Verbindung zu dem eben genannten Modul herzustellen, müssen den Technologieklassen Operationen zugewiesen werden, die die Äquivalenz zu den Ressourcenoperationen bilden. Dies erfolgt durch Spezifikation neutraler Operationen, die den Prozeß aus Sicht der Technologie beschreiben, und nicht aus Sicht der konkreten Fertigungs- oder Montageaufgabe und der eingesetzten Ressource.

Betrachtet man beispielsweise die Füge­technologie Kleben, so kann man diese grundsätzlich in *Vorbereitung der Bauteile, Auftragen des Klebstoffes, Zusammenfügen der Bauteile* und eine mögliche *Nachbehandlung* gliedern (vgl. Kap. 6.3). Der Klebstoffauftrag selbst kann aus Sicht der Technologie wiederum in *flächiger Auftrag, Punktauftrag* oder *Raupenauftrag* eingeteilt werden. Wie hieraus ersichtlich, ist durch diese Strukturierung eine Detaillierung der Spezifikation und damit eine Konkretisierung der Informationen möglich, indem der Anwender in jedem Teilbereich den Wechsel der Ebenen nach unten vollziehen kann (Bild 6.2).

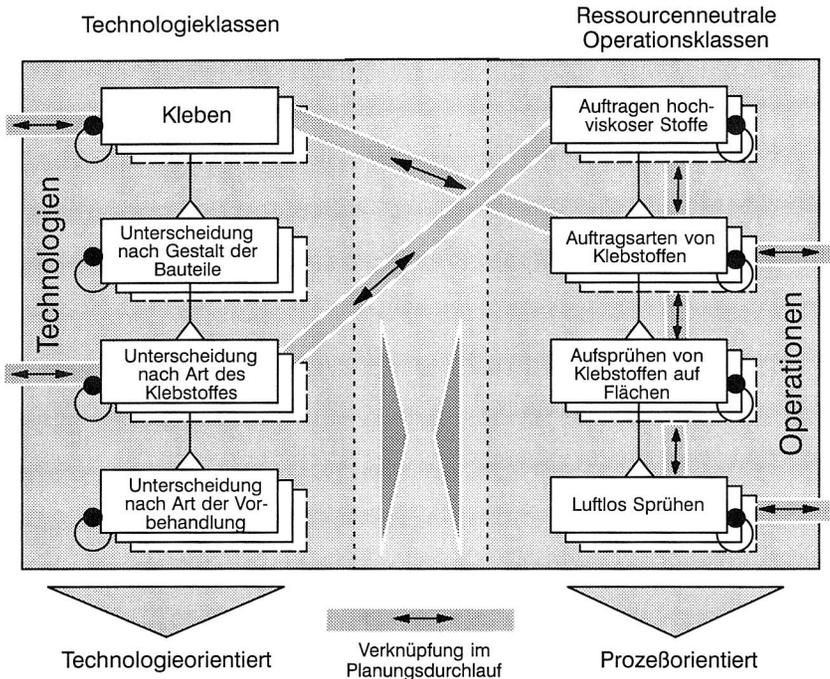


Bild 6.2: Verknüpfung der Klassenstrukturen im Modul PROZESS

Der Aufbau der beiden Komponenten *Technologieorientierung* und *Prozeßorientierung*, wird im Modul durch eine hierarchische Struktur der Klassen realisiert. Auf jeder Ebene ist eine m:m-Verbindung zu beliebigen Ebenen der gegenüberliegenden Seite möglich. Die Abbildung der konkreten Informationen innerhalb der Komponenten erfolgt durch Instanziierung von Objekten aus den abgebildeten Klassen, während das Zuordnungsnetzwerk durch Instanziierung von Assoziationen aufgebaut wird. Der Übergang vom Produkt zur herstellenden Ressource ist erst durch

dieses Netzwerk möglich, wobei hier das Wissen definiert werden soll, welche Menge von Technologiemöglichkeiten abzubilden ist.

6.2 Kopplung des Integrationsmoduls

Der Integrationsmodul soll, wie in Kap. 3 definiert, die Verbindung zwischen dem Produkt und den Ressourcen herstellen, wobei, bei einem typischen Planungsablauf, unidirektional vom Produkt in Richtung Ressource vorgegangen wird. Allerdings sollen dem Produktplaner frühzeitig Technologiekenntnisse zur Verfügung gestellt werden, damit bei der Produktgestaltung ressourcenbezogene Randbedingungen berücksichtigt werden können. Aus diesem Grund gilt es, die Schnittstellen zwischen den einzelnen Modulen näher zu spezifizieren, um einen bidirektionalen Übergang zu ermöglichen. In Hinblick auf die spätere Realisierung einer Softwarelösung ist außerdem eine exakte Trennung der Modulbereiche zu beachten (Bild 6.3).

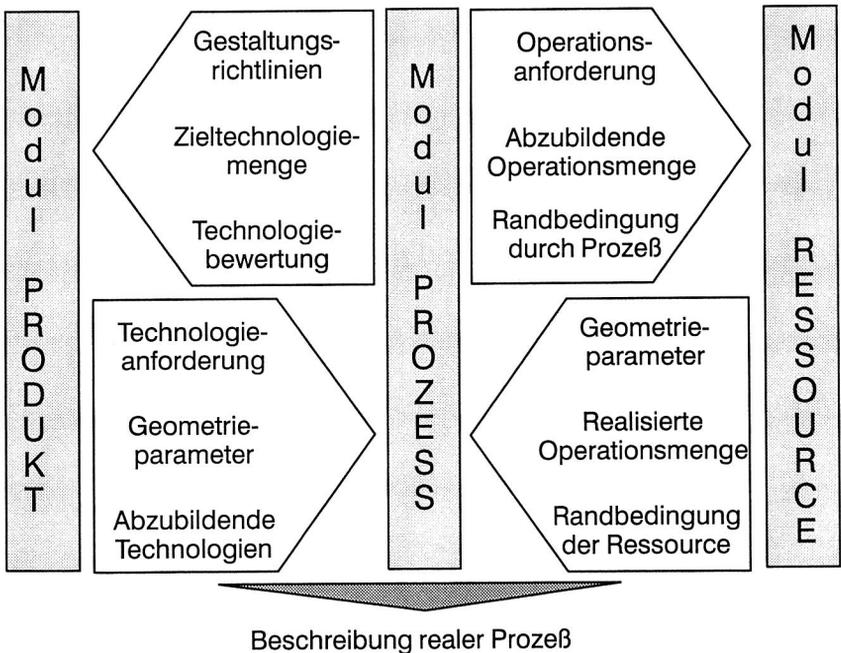


Bild 6.3: Informationsaustausch zwischen den Modulen

6.2.1 Anforderungen an die Schnittstelle zwischen Produktgestaltung und Prozeß

Die Ausgangsinformationen seitens des Produktes sind die im Modell definierten Produktzustandsübergänge, die in unterschiedlichen Abstraktionsgraden spezifiziert sein können. Die Zuweisung zu den Technologieklassen erfolgt implizit durch die Zuweisung der Technologie im Produktmodell. Diese Zuweisung kann inhärent bei der Gestaltung schon aufgebaut werden. Mit der Verknüpfung werden die Vorgänge für die Durchführung des selektierten Zustandsüberganges durch das im Modul *PROZESS* hinterlegte Netzwerk ressourcenneutral beschrieben.

Die Attributierung des Technologieobjektes findet zum Zeitpunkt seiner Instanziierung statt, welche wiederum durch die Zuweisung initiiert wird. Eine Referenz auf den Produktzustandsübergang löst den Datenaustausch vom Produkt in Richtung Prozeß aus. Der Modul *PROZESS* ist in diesem Zusammenhang derjenige Teil, der die Informationen für die Attributierung anfordert, da hier die Detailkenntnisse über die benötigten Informationen abgebildet sind, die als Parameter für die Operationen bereitgestellt werden.

Durch Zuordnung alternativer Technologien zu ein und demselben Zustandübergang besteht die Möglichkeit, frühzeitig vergleichbare Informationen zu erhalten. Eine Bewertung dieser Daten kann beispielsweise durch die Einbindung technischer und/oder wirtschaftlicher Kennzahlen in die Technologieklassen stattfinden. Festzuhalten ist hier, daß der Produktplaner, durch die Zuordnung der Produktzustandsübergänge, Anforderungen in Form einer Menge von Operationen beschreibt, die durch Ressourcenoperationen erfüllt werden müssen.

Nimmt man den Modul *PROZESS* als Ausgangspunkt der Betrachtung, so stellt dieser dem Produktplaner die Menge an Technologiemöglichkeiten zur Verfügung, mit der die Zustandsübergänge realisiert werden sollen. Der Anwender hat bei der Produktgestaltung somit die Möglichkeit, sich in einer Art Bibliothek an bestimmten Regeln zur Auslegung der Fertigungs- und Montageaufgabe seitens des Produktes zu orientieren. Bedingt ein Element dieser Bibliothek ein bestimmtes gestalterisches Element, so ist auf diese Weise ein Feature (Fertigungs- oder Montagefeature) definiert. Wesentliches Ziel, neben der Informationsbereitstellung, ist auch, dem Produktplaner ein Werkzeug in die Hand zu geben, das die vielfältigen Technologiealternativen in der Produktgestaltung zu reduzieren hilft und damit zu Kosteneinsparungen beiträgt.

Bei der oben beschriebenen Verknüpfung werden keine konkreten Werte übergeben, sondern es werden Referenzen auf Objekte bzw. deren Attribute oder Operationen definiert. Planungsregelkreise können so innerhalb der Module aufgebaut werden, wobei keine wechselseitig direkten Abhängigkeiten zwischen ihnen bestehen.

6.2.2 Schnittstelle zwischen Prozeß und Ressource

Analoge Anforderungen sind an die Schnittstelle zwischen den Modulen *PROZESS* und *PRODUKT* zu stellen. Betrachtet man die ressourcenneutralen Operationen, so stellen diese einerseits Anforderungen dar, denen die Ressourcen gerecht werden sollen, andererseits dienen diese Operationen als Pool, der zur Realisierung von Technologieaufgaben zur Verfügung steht. Im Modul *PROZESS* erfolgt eine "Transformation" von den Parametern, die die Fertigungs- und Montageaufgabe seitens des Produktes beschreiben, zu Werten für die Bestimmung der ressourcenneutralen Operationen. Diese Werte werden über die Schnittstelle als Informationen für die Ressourcen weitergereicht (Bild 6.4).

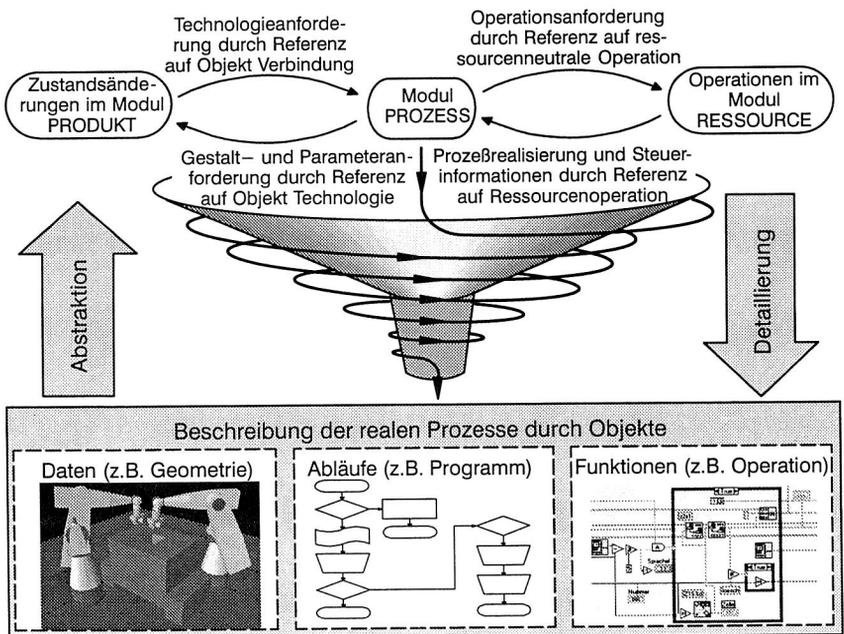


Bild 6.4: Planungszyklen im Gesamtmodell durch Referenzbildung

Bewegt der Anwender sich vom Modul *RESSOURCE* auf die Schnittstelle zu, so werden die ressourcenbezogenen Informationen durch den Übergang abstrahiert und nach technologischen Gesichtspunkten strukturiert. Damit findet eine Entkopplung von der technischen Beschreibung der Ressourcen statt.

Wie bei der Schnittstelle Prozeß/Produkt und sowie auch innerhalb der Module erfolgt bei der Instanziierung die Attributierung der Objekte durch Referenz auf die benötigten Informationen.

6.2.3 Kommunikation zwischen den Modulen

Aufgrund der Referenzierung von Informationen über die Schnittstellen hinweg werden einerseits der Datenaustausch und damit die übergreifenden Änderungen durch Manipulationen reduziert. Andererseits müssen bei Zugriff auf die Datenwerte die Referenzen "übersetzt" werden, was eine erhöhte Kommunikation zur Folge hat. Der Vorteil untereinander unabhängiger Teilbereiche und Module, erlaubt zur Abbildung der Informationen, den Aufbau heterogener und verteilter Partialmodelle, die aber dem Anwender als homogene Einheit präsentiert werden. Bei der Implementierung und Realisierung der Schnittstellen ist diesen Aspekten Rechnung zu tragen.

Durch die Referenzierung von Objekten, Attributen oder Operationen, besteht die Möglichkeit, den Zeitpunkt der Bestimmung der konkreten Werte bis zuletzt hinauszuzögern. Das bedeutet, daß z. B. erst während des Betriebes einer Produktionsanlage die zur Steuerung notwendigen Informationen bestimmt werden müssen. Während der Planung genügt es, mit den Referenzen in Form abstrakter Informationen zu arbeiten und sich nur bei Bedarf temporär die expliziten Datenwerte ermitteln zu lassen.

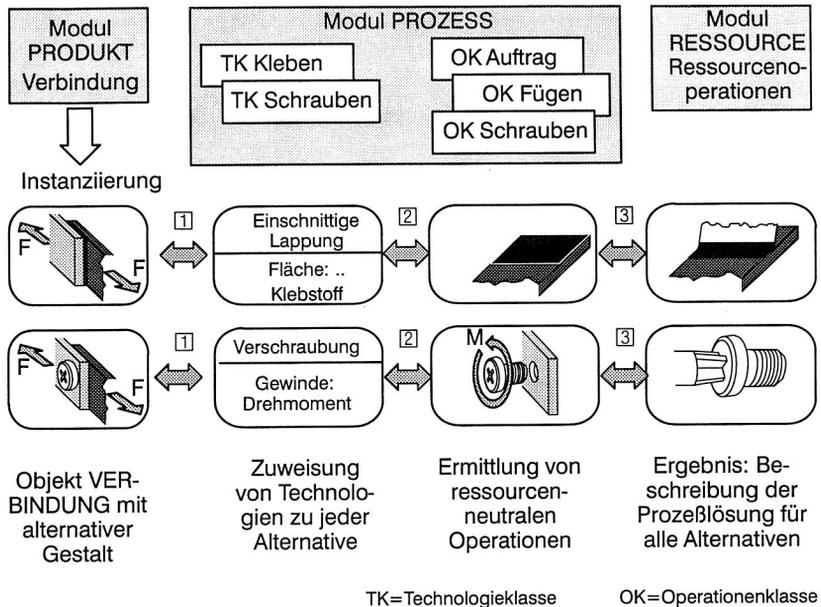


Bild 6.5: Direkte Abbildung alternativer Lösungen zur Planungsunterstützung

Die Referenzierung ermöglicht ebenfalls die Abbildung von alternativen Prozessen für die Durchführung ein und desselben Zustandsüberganges. In Bild 6.5 wird dieser Sachverhalt am Beispiel der Verbindungstechnologien Kleben und Schrauben dargestellt. Im Modul *PRODUKT* werden beispielsweise für das Fügen zweier Bauteile zwei alternative Verbindungstechnologien definiert. Es sind nur Belastungsangaben vorhanden. Durch die Zuweisung der Technologien wird eine Anforderung an die Gestalt der Fügeverbindung initiiert [1], andererseits werden anhand der Vorgaben die Operationen und deren Parameter ermittelt [2], die bis zur Ressourcenoperation spezifiziert werden [3]. Das Modul *PROZESS* ist somit in der Lage, eine alternative Prozeßplanung durchzuführen. Welche Alternative letztendlich gültig ist, wird durch das gewählte Zielsystem bestimmt.

6.3 Aufbau des Moduls *PROZESS* für den Teilbereich "Automatisierter Klebstoffauftrag"

Bezugnehmend auf die Beispiele in Kap. 4.6 und Kap. 5.4 soll für die Technologie des automatisierten Klebstoffauftrages das Modul *PROZESS* definiert und die Übergänge zwischen den Modulen aufgezeigt werden. Für die konkreten, durch die Herstellung des Produktes definierten Fertigungs- und Montageaufgaben soll weiterhin die exakte Definition der Prozesse einschließlich ihrer Parameter erfolgen.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die nachfolgend definierte Struktur eine mögliche Gliederung ist und diese das gewählte Beispiel am sinnvollsten veranschaulicht. Jede andere Einteilung ist ebenso zulässig und kann, falls vorhanden, gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden. Die Informationen sind in der Regel im Unternehmen existent, allerdings in verteilten und isolierten Systemen sowie in verschiedenen Detaillierungsgraden hinterlegt.

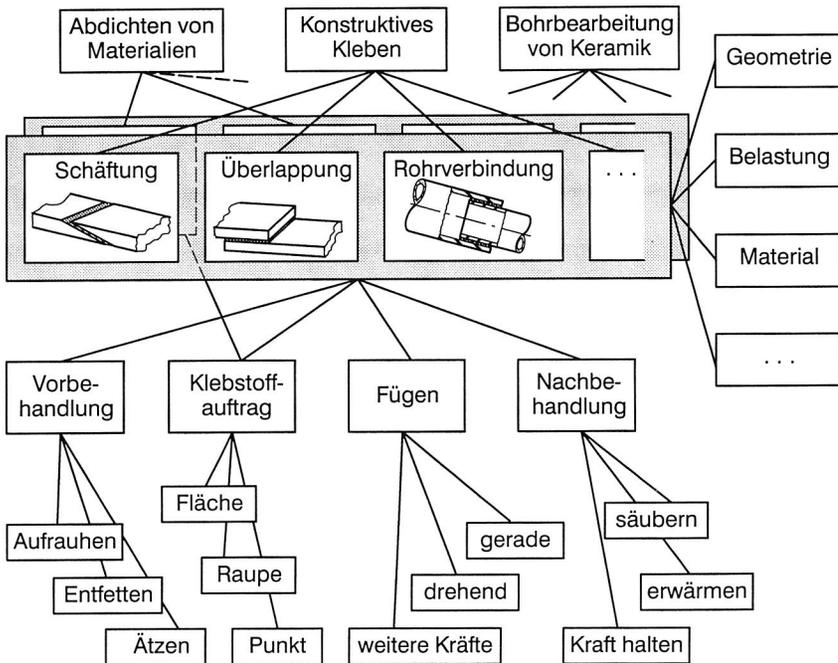


Bild 6.6: Beispielhafte Strukturierung im Bereich Konstruktives Kleben

Ausgehend von der Technologie Kleben als übergeordneter Klasse, wird eine Einteilung in verschiedene Verbindungsgeometrien vorgenommen, die eine grundsätzliche Charakterisierung erlauben [39]. Im vorliegenden Beispiel wird die Schäftung, die Überlappung und die Rohr-/Steckverbindung gewählt (Bild 6.6). Diese können jeweils noch detaillierter in bezug auf ihre Geometrie unterteilt werden.

An jede Klebegeometrie lassen sich verschiedene weitere Merkmale, wie Kraftverläufe, Ausgestaltung der Klebefugen, Materialanforderungen und Kenngrößen für die Klebstoffauswahl, anbinden. Grundsätzlich sind jeder der genannten Klebeverbindungen die abstrakten Grundoperationen Vorbehandlung, Klebstoffauftrag, Zusammenfügen der Bauteile und Nachbehandlung zuzuordnen. Die Ausprägung ist unterschiedlich, und teilweise können Operationen ganz entfallen.

Der Klebstoffauftrag kann, je nach Verbindungsgeometrie, auf verschiedene Weise durchgeführt werden. Ziel ist es, zunächst den Klebstoff so zu applizieren, daß er nach Herstellung der Verbindung in der gewünschten Form im Erzeugnis vorhanden ist und seine Aufgabe als Verbindungsmedium erfüllt. Es wird zwischen flächigem Auftrag und Punkt-/Linienauftrag unterschieden. Die beiden Arten können wiederum hierarchisch untergliedert werden. Beispielsweise kann ein Flächenauftrag durch Sprühen oder Walzen erfolgen, aber auch durch das Setzen einer Vielzahl von Klebepunkten, die eng zusammenliegen. Die Grundoperationen auf elementarer Ebene, die zur Verfügung gestellt werden sollen, sind dabei der Inhalt des Abbildungsziels.

Um die Möglichkeit der dynamischen Veränderung und Umstrukturierung im Modul *PROZESS* zu gewährleisten, wird eine Metaklassenhierarchie, aufgebaut, aus der die relevante Struktur instanziiert wird. Die Metaklassen enthalten im wesentlichen Operationen, mit deren Hilfe Technologieklassen mit ihren entsprechenden Unterklassen erzeugt, geändert, gelöscht und die hierarchische Struktur modifiziert wird (Bild 6.7). Die Attribute der instanziierten Klassen legen die Art der Anforderung in Form von Parametern fest. Diese Anforderung wird bei der Objektinstanzierung, die durch Zuweisung eines konkreten Produktzustandsübergangs erfolgt, ausgelöst.

Durch die Funktionalität des Metamodells wird für das genannte Beispiel *Konstruktives Kleben* das Klassenmodell aufgebaut, das die im Bild 6.6 aufgezeigten Informationen über die Verbindungsgeometrien und den damit verbundenen Auftragsoperationen enthält. Die Attribute der einzelnen Klassen sind in den jeweiligen Darstellungen nicht vollständig angegeben, sie können an entsprechender Stelle nachgelesen werden [39]. Im Vordergrund dieser Arbeit stehen die Zusammenhänge zwischen den

Klassen und der Übergang von der produktneutralen technologieorientierten zur ressourcenneutralen operationsorientierten Seite.

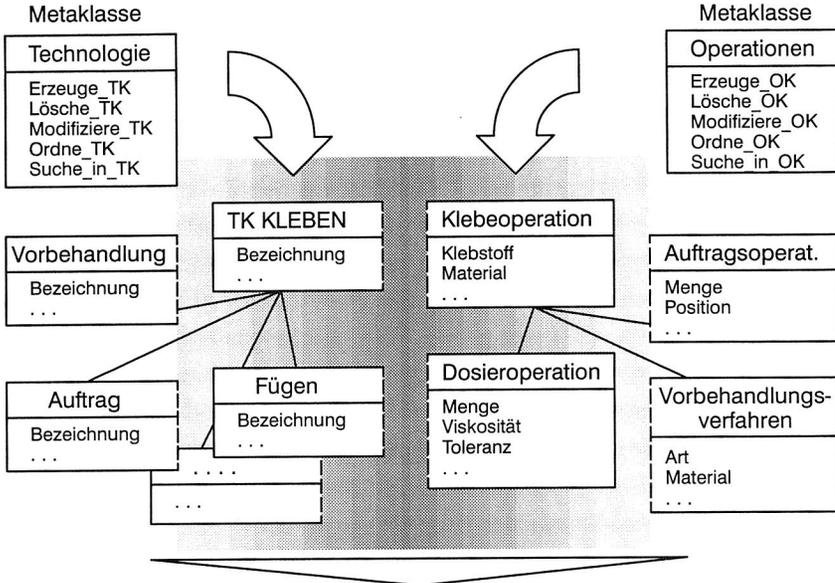


Abbildung des Technologiewissens für den Bereich KLEBEN

TK=Technologiekasse

OK=Operationenklasse

Bild 6.7: Metaklassenstruktur zum Aufbau des Moduls PROZESS

In Kap. 6.1 wird der Modul *PROZESS* als Wissensrepräsentation bezeichnet, der die einzusetzende Menge an Technologiemöglichkeiten abbildet. Durch den Aufbau eines Modells mit integrierten Werkzeugen zur Selbstgestaltung schafft die genannte Metaklassenhierarchie die Voraussetzung für eine flexible und dynamische Bearbeitung von Informationen, wie sie beim Einsatz von Experten- oder wissenbasierten Systemen gefordert wird. Es steht damit ein Kernsystem zur Verfügung, mit dessen Hilfe verschiedene Anwender und Anwendungen auf eine gemeinsame Informationsbasis zugreifen können (Bild 6.8).



Bild 6.8: Veranschaulichung des Moduls *PROZESS* als wissensbasiertes System

Mit Hilfe des Modells werden für das Produktbeispiel aus Kap. 4.6 die in Kap. 5.4 aufgestellten konkreten Ressourcenoperationen ermittelt. Betrachtet wird der Zustandsübergang bei der Befestigung der beiden Paßstifte in dem Gehäuseboden. Im Modul *PRODUKT* wird weder über die Art der Verbindungstechnologie eine Aussage getroffen, noch werden Zwischenzustände definiert, die eine Konkretisierung in diese Richtung erlauben würden. Man kann diesen Zusammenhang auch in der Weise interpretieren, daß dem Zustandsübergang zunächst mehrere sinnvoll erscheinende Verbindungstechnologien zugewiesen sind. Im vorliegenden Beispiel ist durch die alternative Festlegung des Bohrungsdurchmessers das Einpressen des Paßstiftes ebenso möglich wie diesen Stift in der Bohrung zu verkleben (s. Kap. 4, Bild 4.22).

Im vorliegenden Beispiel wird die Technologie Kleben gewählt. Zur Bestimmung der Auftragspositionen für den Klebstoff werden die Daten der Verbindungsgeometrie, die den Ort der Klebefuge spezifizieren, ausgewertet. Dadurch bieten sich zunächst verschiedene Alternativen an, an welches Bauteil und jeweils an welcher Stelle Klebstoff appliziert werden soll. Die Zuordnung zu Produktzustandsübergängen, in Form einer Instanziierung, löst die Anforderung aus, diese Stellen zu spezifizieren.

Wird im Produktmodell eine Detaillierung durchgeführt, die die Übergänge beim Auftrag abbildet, so ist die Anforderung schon erfüllt und die Positionen stehen fest. Ist dies nicht der Fall, wird die Detaillierung im Modul *PRODUKT* initiiert und als Zwischenzustände abgelegt.

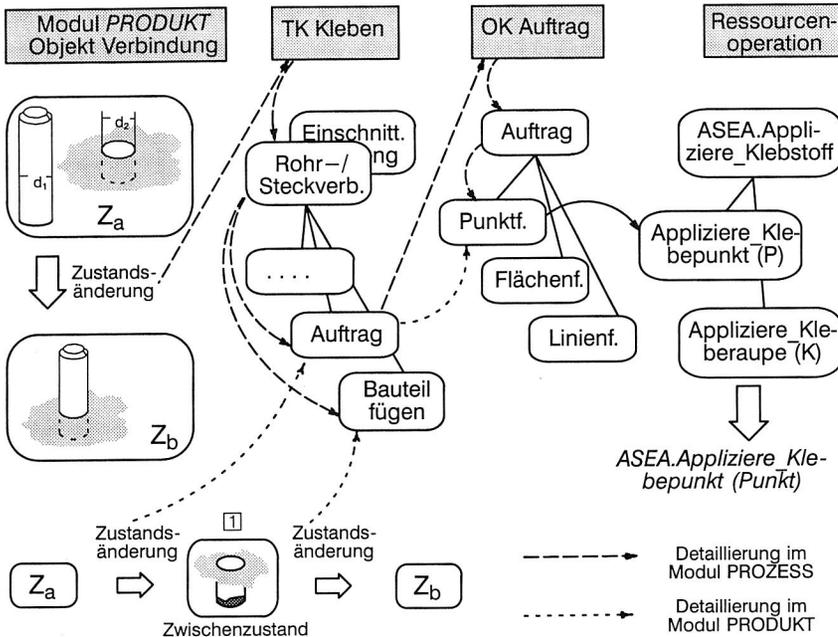


Bild 6.9: Alternativer Planungsdurchlauf in Abhängigkeit des Detaillierungsgrades im Modul PRODUKT

Anhand des Beispiels der Paßstifte sollen zwei Möglichkeiten aufgezeigt werden. Auf der einen Seite wird im Modul *PRODUKT* die Detaillierung mit Hilfe der Zwischenzustände durchgeführt; auf der anderen Seite wird im Modul *PROZESS* durch Zuweisung der Technologie ein Wechsel der Hierarchieebenen zu den Operationen vollzogen.

Die erste Variante verlangt vom Produktplaner eine weitestgehende Detaillierung, in dem er den Ort des Klebstoffauftrages spezifiziert und den zu setzenden Klebepunkt in einem Zwischenzustand beschreibt (Bild 6.9, 1). Über den Einstieg der Technologie Kleben und über die Rohr-/Steckverbindung wird der Zustandsübergang dem Punktauftrag zugewiesen. An dieser Stelle erfolgt dann der Übergang

zu den ressourcenbezogenen Operationen, die im vorliegenden Fall als Operation *ASEA.Appliziere_Klebspunkt (Punkt)* bezeichnet ist.

Die zweite Variante geht von der noch bestehenden Unbestimmtheit der Verbindungstechnologie aus. Der Planer entscheidet sich für eine Zuweisung des Produktzustandsüberganges zur Technologie Kleben und, aufgrund der Verbindungsgeometrie, zur Rohr-/Steckverbindung. Die Instanziierung dieser Verbindungsart erzeugt die Anforderung zur Attributierung des Objektes mit Hilfe der Informationen aus dem Modul *PRODUKT*. Das Objekt Klebstoffauftrag erfordert weitere Informationen über den exakten Ort zur Applikation des Klebstoffes für diese Verbindung. Aus diesen Daten können, rückwirkend auf den Modul *PRODUKT*, die Zwischenzustände definiert werden, die den Klebstoffauftrag erkennen lassen. Die Ermittlung der ressourcenbezogenen Operation erfolgt analog der ersten Variante.

Bei der Montage der Einschübe in den Seitenwänden (s. Bild 4.22) wird festgelegt, daß diese nicht vollständig verklebt, sondern nur an der unteren Seite gegen Herausfallen gesichert werden. Dieser Zusammenhang wird vom Produktplaner schon in Form eines Zwischenzustandes und der Definition der Flächen als Klebeflächen im Modul *PRODUKT* kenntlich gemacht. Die Verbindungsgeometrie beschreibt typischerweise einen Stumpfstoß, bei dem der Klebstoff einseitig aufgetragen werden soll. Aufgrund der Zuweisung der Operationen wird dies durch einen linienförmigen Auftrag des Klebstoffes erreicht. Die Ortsposition des Auftrages und die Menge des Klebstoffes wird durch eine Referenz auf die Geometrie (*Mittellinie der Fläche = VTK.BK.Fläche3.ML*, vgl. Bild 6.10) und auf das Volumen des Klebspaltes zugewiesen.

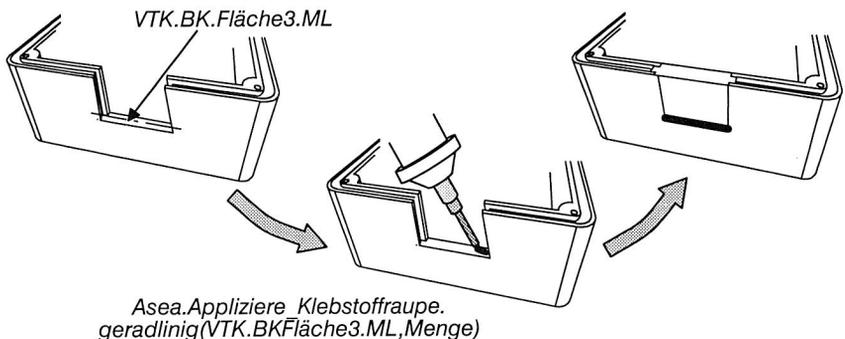
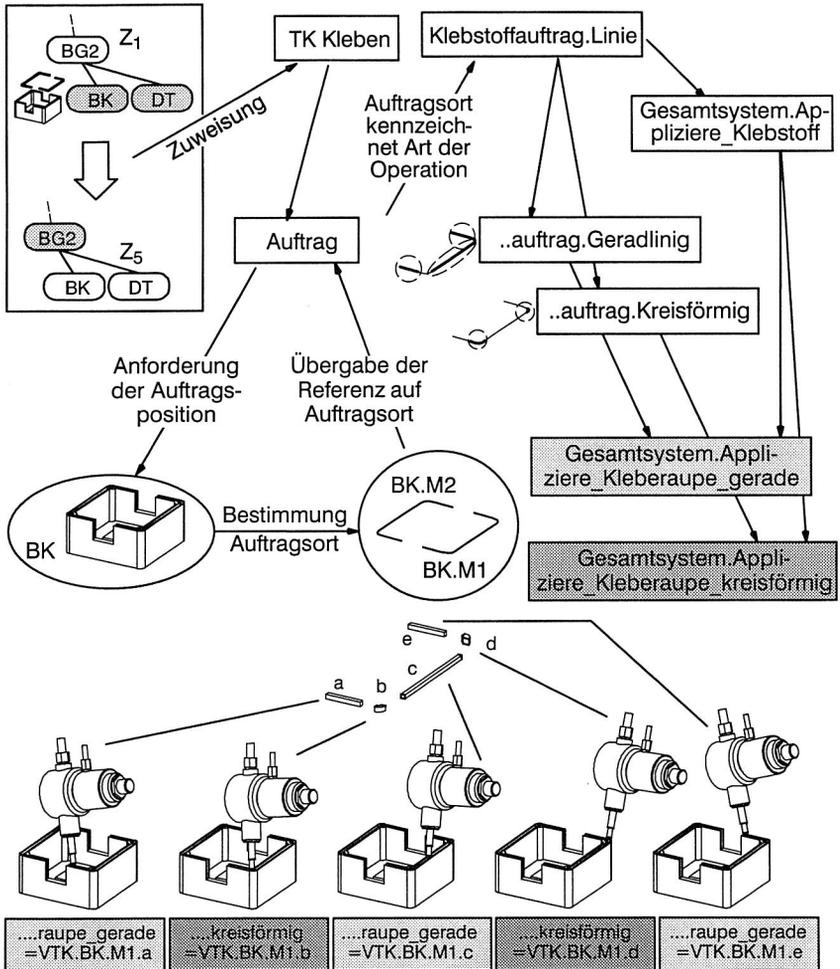


Bild 6.10: Applikation einer Klebstoffraupe zur Fixierung der Einschübe

Bei der Ermittlung der Operationen erfolgt zunächst eine Detaillierung auf linienförmigen Auftrag, anschließend auf geradlinig linienförmig. Mit dieser Operation als Ausgangsinformation wird die ressourcenbezogene Operation *Asea.Appliziere_Klebstoffraupe.geradlinig(Parameter)* zugewiesen. Die exakte Spezifikation erfolgt ebenfalls über die Referenz auf die relevanten Objekte.

Die Montage der Dichtung in der Nut des Bodenkörpers ist keine Klebeverbindung im engeren Sinne, obwohl sie viele Charakteristiken davon aufweist. Streng genommen fehlt als einzige Komponente das zweite Bauteil und damit die Operation, die Teilepartner zusammenzufügen. Bei der Strukturdarstellung der Technologie *Konstruktives Kleben* wird die Operation *Klebstoff auftragen* auch von der Technologie *Abdichten von Materialien* genutzt. Aus diesem Grund werden die gestellten Aufgaben bzgl. der Applikation auf die gleichen ressourcenneutralen Operationen abgebildet. Dies unterstützt wiederum die Möglichkeit, den Planer, trotz unterschiedlich gewählter Technologien, auf bestimmte Funktionalitäten der Ressourcen zu lenken. Durch die Zuweisung des Produktzustandsübergangs (vgl. Bild 4.23, z.B. $Z_1 \Rightarrow Z_5$) zur Technologieklasse erfolgt unmittelbar die Anforderung an das Modul *PRODUKT* zur Zielortangabe des Dichtstoffes. Dieser soll in die Nut an der Oberkante der Seitenwände des Gehäuses eingebracht werden. Eine Referenz auf die Mittellinie am Boden der Nut übermittelt die Informationen an das Modul *PROZESS*. Mit dieser Information wird die Operation *Klebstoffauftrag.Linie* angesprochen, die entweder im Modul *PROZESS* in geradlinigen und kreisförmigen Auftrag weiter unterteilt oder direkt der ressourcen- bezogenen Operation *Gesamtsystem.Appliziere_Klebstoff* zugeordnet wird. Eine alternative Möglichkeit, die Prozesse zu detaillieren, besteht analog dem Beispiel der Paßstifte darin, im Modul *PRODUKT* entsprechende Zwischenzustände zu definieren.

Im vorliegenden Fall wird dies im Modul *PROZESS* durchgeführt. Die sich daraus ergebenden Prozesse, um die Dichtung zu applizieren, sind in Bild 6.11 dargestellt. Berücksichtigt ist bereits eine zeitliche Reihenfolge, um einen durchgängige Bewegung des Auftragsystems zu gewährleisten.



Abkürzungen s. Bild 4.22

Bild 6.11: Ermittlung der Prozesse zur Herstellung der Deckeldichtung

Die Prozesse für die drei angesprochenen Zustandsübergänge (Paßstift, Einschub, Dichtung) werden zunächst vollkommen isoliert voneinander betrachtet, liegen aber aufgrund der im Modul *PRODUKT* definierten Struktur schon in einer gewissen zeitlichen Reihenfolge fest. Diese bietet noch zusätzliche Freiräume für die endgültige Anordnung der Prozesse.

Die Eingliederung in ein systemtechnisches Umfeld der Fertigung oder Montage mit zusätzlichen Sekundäroperationen und damit nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, ist der letzte Schritt, um alle Prozesse zur Herstellung des Erzeugnisses zu beschreiben. Der Frage, wie Planungsergebnisse unmittelbar in den Betrieb einfließen und dort genutzt werden können, wird im folgenden Kapitel nachgegangen. Bezugnehmend auf ein reales System werden dort Implementierungsansätze aufgezeigt.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist jedoch, daß die drei Module *PRODUKT*, *RESOURCE*, *PROZESS* in ihrer Gesamtheit ein Informationssystem bilden, welches nicht statisch ist, sondern durch den Planungsvorgang selbst erzeugt, modifiziert und korrigiert wird. Gleichzeitig spiegelt es die Anforderungen der Anwender, entsprechend ihres Verständnisses von Aufgabenlösungen wider. Unter diesem Aspekt kann und muß ein Modell zur Planungsunterstützung erst auf seine Tauglichkeit überprüft werden, bevor Anstrengungen zur Umsetzung auf ein Zielsystem unternommen werden.

7 Implementierung, Realisierungskonzept und Einsatz im betrieblichen Umfeld

Die Erkenntnisse aus dem vorhergehenden Kapitel werden für die Abbildung der Funktionalität einer kompletten Zelle zum Auftrag von Klebstoff eingesetzt. Neben den Operationen der Ressourcen werden die eingesetzten Werkzeuge, die Ermittlung der konkreten Datenwerte während des Betriebes und die Interaktionen der einzelnen Objekte untereinander in den Vordergrund gerückt. Dem Planer soll dadurch eine Plattform zur Verfügung gestellt werden, die ihn bei seinem hierarchischen Vorgehen zur Spezifikation der Prozesse und deren Abfolge unterstützt.

7.1 Aufbau der Komponenten und deren Funktionalität

Zunächst wird eine Strukturierung der Zelle (s. Bild 7.1) in die verschiedenen Komponenten durchgeführt und deren Abbildung im statischen Modell aufgezeigt. Für jede Komponente wird das Zustandsdiagramm im einzelnen ausgeführt und anschließend übergreifend für die komplette Zelle aufgebaut.

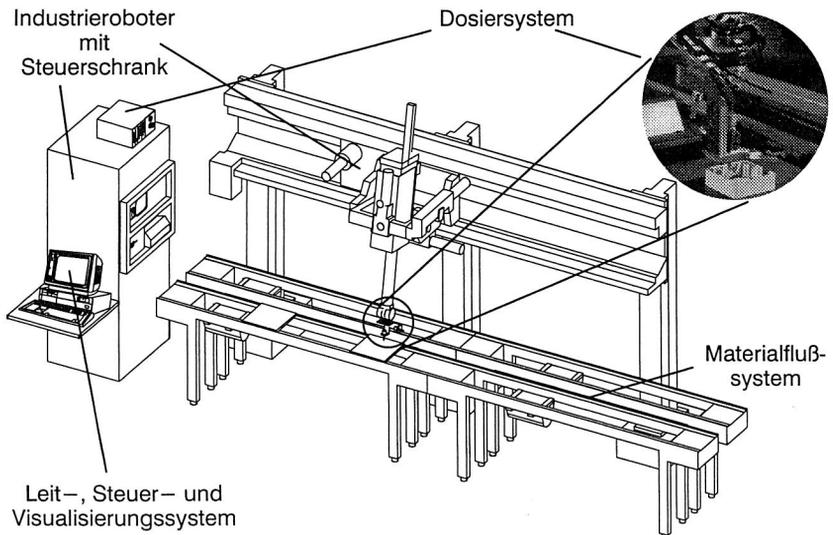


Bild 7.1: Abbildung der Komponenten der Zelle

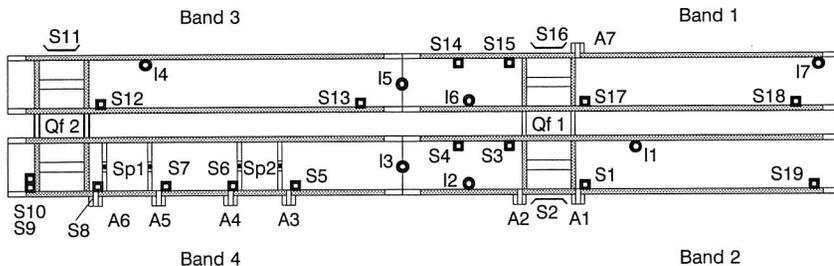
7.1.1 Abbildung der Komponenten

Die Zelle wird für die Objektanalyse in die vier Komponenten *Materialflusssystem*, *Steuerung*, *Dosiersystem* und *Handhabungssystem* eingeteilt.

Die einzelnen Komponenten werden im folgenden detailliert erläutert und die erwähnten Partialmodelle aufgestellt.

- *Materialflusssystem*

Das Materialflusssystem besteht aus 4 Doppelgurtförderern zum linearen Transport von 320mm Werkstückpaletten in beide Richtungen. Die Förderer sind jeweils paarweise angeordnet und mit Querförderern zum Übersetzen der Paletten ausgerüstet. Die vordere Bandlinie dient zum Antransport der Werkstücke in den Bearbeitungsraum, die hintere zum Abtransport. An der rechten Seite ist ein Übergabebahnhof zu einem freifahrenden Transportsystem installiert, welcher mit jeweils vier Pufferplätzen von dem eigentlichen Bearbeitungsbereich entkoppelt ist.



Legende:

A = Außenstopper



I = Innenstopper



S = Sensor



Qf = Querförderer

Sp = Spannstation

Bild 7.2: Schematische Darstellung der Komponenten des Materialflusystems

Bild 7.2 zeigt die schematische Anordnung der Förderer, Sensoren und Stopper. Zur definierten Steuerung der Werkstückpaletten sind die Sensoren zur Positionserkennung und die Stopper zur Arretierung der Paletten installiert. Das System hat die Aufgabe, Paletten aus den Puffern, je nach Arbeitsprogramm, zu den entsprechenden Spannstationen zu befördern. Nach Beendigung des Arbeitsschrittes im Bearbeitungsraum sind die Paletten in den Ausgangspuffer zu transportieren.

Neben diesen Grundfunktionen können Paletten direkt vom Eingangspuffer in den Ausgangspuffer oder vom Ausgangspuffer zurück in eine der Spannstationen befördert werden.

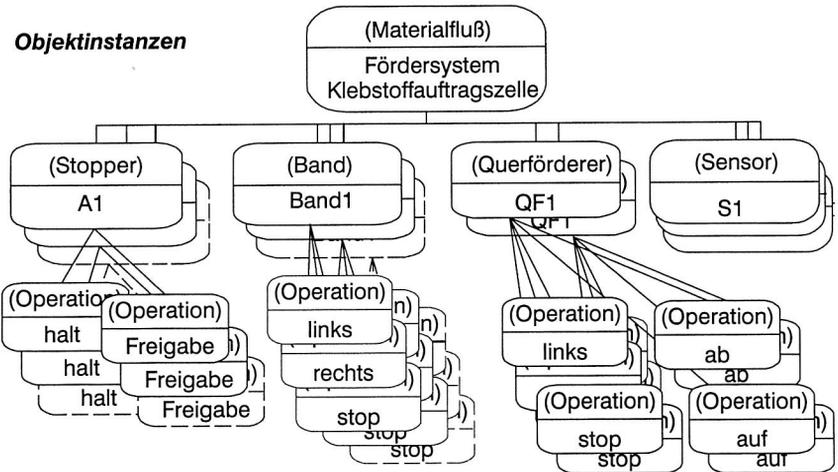
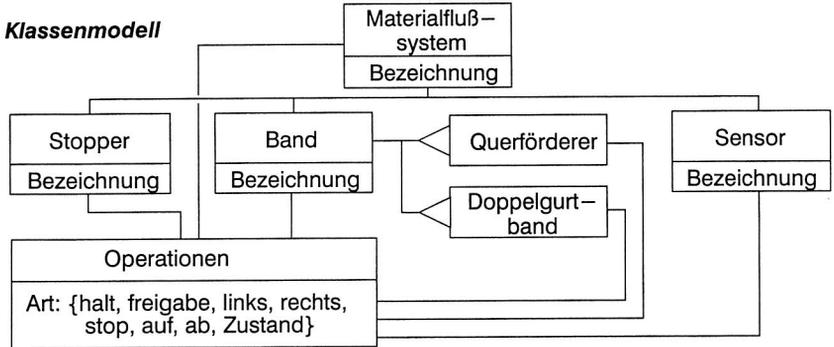


Bild 7.3: Klassenmodell zur Abbildung eines zelleninternen Materialflußsystems und Darstellung der daraus abgeleiteten Objektinstanzen für das aufgezeigte Beispiel

Das Klassenmodell, das den angesprochenen Umfang an Komponenten und Operationen abbildet, zeigt Bild 7.3. Im unteren Bereich finden sich die instanziierten Objekte für das gewählte Beispiel des Materialflußsystems der Zelle. Darin abgebildet sind die elementaren Operationen, die dem Planer als Funktionen des

Materialflussesystems der Zelle zur Verfügung gestellt werden sollen. Im Objektmodell wird aus Gründen der Übersichtlichkeit die Operation *Zustand* nicht dargestellt, die jeder Objektinstanz zugeordnet ist und Auskunft über den aktuellen Zustand innerhalb des Materialflussesystems gibt.

Zur Abbildung des zeitlichen Verhaltens des Materialflussesystems wird für die Planung der Abläufe das dynamische Modell aufgebaut. Die Darstellung in Bild 7.4 zeigt ein relativ hohen Abstraktionsgrad, der aber ein einfaches Verständnis der Vorgänge für alle Planungsbeteiligten ermöglicht. Ausgehend von einem definierten Zustand, der durch Initialisierung des Systems nach dem Einschalten oder dem Zurücksetzen eingenommen wird, erfolgen je nach Ereignis und Bedingung Zustandsänderungen, die sich durch den hierarchischen Aufbau bis auf elementare Operationen oder sogar Steuerbefehle detaillieren lassen.

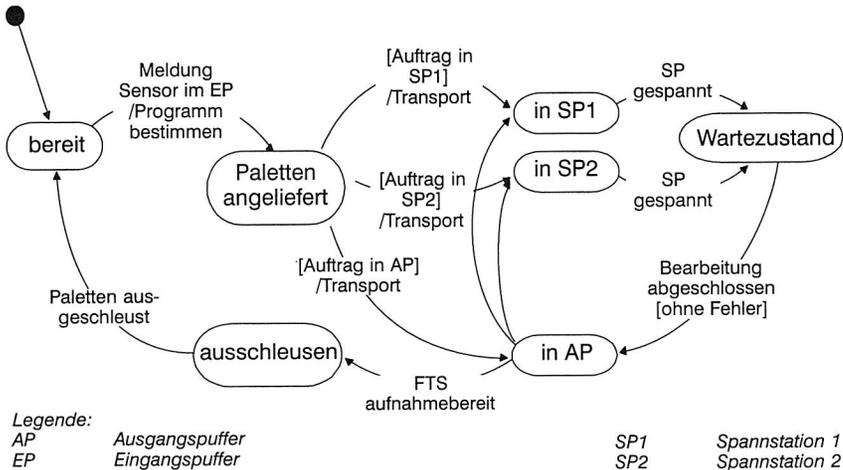


Bild 7.4: Dynamisches Modell des Materialflussesystems

Für ein konkretes Transportbeispiel sollen die elementaren Operationen angegeben werden. Ein Werkstück wird vom Eingangspuffer in Spannstation 2 befördert. In dem in Bild 7.4 gezeigten Zustandsdiagramm entspricht dies dem Übergang vom Zustand *Paletten angeliefert* zum Zustand *in SP2*. Mit Hilfe eines detaillierteren dynamischen Modells, welches konkret diesen Teilbereich beinhaltet, kann direkt die Ableitung der elementaren Steueroperationen unterstützt werden.

Für das angesprochene Beispiel findet sich im folgenden die Spezifikation der Abläufe in Form einer objektorientierten Programmnotation (MFS=Materialflußsystem):

MFS . Band2 . links \Rightarrow MFS . A1 . freigabe \Rightarrow MFS . A2 . freigabe \Rightarrow MFS . I3 . freigabe \Rightarrow MFS . Band4 . links \Rightarrow MFS . A4 . halt \Rightarrow MFS . A3 . freigabe \Rightarrow MFS . Sp2 . halt

Jede Zeile initiiert eine Operation aus dem Objektmodell, die die Funktion der Ressource beschreibt. Die Parameterwerte, falls notwendig, werden durch diese Aktion angefordert bzw. die Auflösung der Referenzierung veranlaßt. Das Objekt selbst beinhaltet das Wissen, in welcher Weise die Werte ermittelt werden. Der Verzicht einer Darstellung der Parameter in der o.g. Aufstellung ist aufgrund der Eindeutigkeit der Operationen zulässig.

- *Dosiersystem*

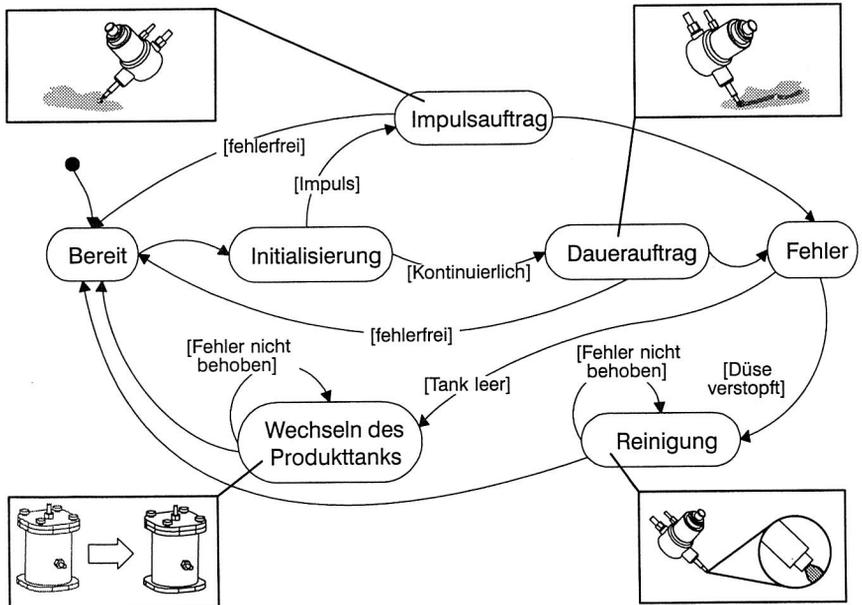


Bild 7.5: Zustandsdiagramm der Dosiereinheit

Das Dosiersystem ist in seiner elementaren Funktionalität bereits in Kap. 5 abgebildet. Es werden im vorliegenden Fall Funktionen zur Initialisierung, Reinigung des Systems und für den Wechsel der Produkttanks ergänzt (s. Bild 7.5), welche nicht wert-

schöpfende Vorgänge darstellen. Die oben genannten Operationen zur Durchführung der Prozesse werden als eigene Klasse angegliedert.

- *Industrieroboter mit Verfahrsschiene*

Für den Industrieroboter erfolgt in Kap. 5 ebenfalls die Abbildung der Operationen, die dem Planer zur Durchführung der Prozesse zur Verfügung gestellt werden sollen. Diese werden zunächst um eine weitere Kinematik in Form einer linearen Verfahrachse erweitert, die es dem Industrieroboter ermöglicht, die oben beschriebenen Operationen in verschiedenen Stellungen dieser Achse durchzuführen. Desweiteren werden diverse Grundfunktionen, wie *Fahre in Referenzposition* oder *Meldung ausgeben*, abgebildet (Bild 7.6).

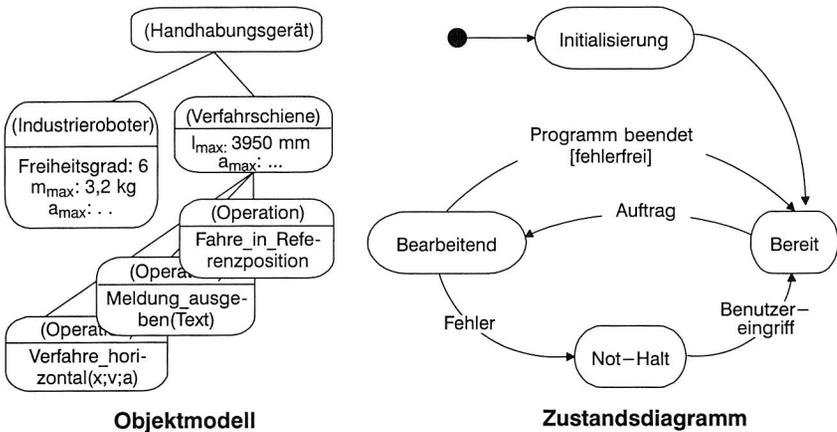


Bild 7.6: Objektmodell und abstraktes Zustandsdiagramm des Handhabungssystems

In Kapitel 5 werden die Funktionen von Dosiersystem und Industrieroboter zu einem Gesamtauftragssystem integriert. Dies soll auch hier durchgeführt werden, allerdings unter Berücksichtigung der geänderten Funktionen und der abzubildenden Intention des Einsatzes der Ressourcenkombination. Die beiden Auftragsseinheiten des Dosiersystems können unterschiedliche Auftragsaufgaben erfüllen. Die Zuordnung der zwei unterschiedlichen Auftragsseinheiten des Dosiersystems zu bestimmten Bearbeitungsräumen des Industrieroboters definiert beim Aufruf der Auftragsfunktion des Gesamtsystems implizit den Ort der Prozessdurchführung.

- *Steuerungssystem*

Das Steuerungssystem der kompletten Zelle setzt sich aus den Komponenten Steuerung des Materialflusses, Robotersteuerung und übergeordneter Zellenrechner zusammen. Für die Beschreibung der Funktionalität im Objektmodell sollen diese Teilsysteme als Einheit betrachtet werden, die die Aufgabe der Kommunikation mit übergeordneten Systemen und zwischen den vorgenannten aktiven Komponenten der Zelle übernehmen. Gleichzeitig dient dieses Objekt als Visualisierungssystem, in dem alle relevanten Informationen der Zelle grafisch und textuell angezeigt werden können. Die Visualisierung wird so ausgeführt, daß sie neben der Anzeige der aktuell laufenden Funktion, durch Umschalten in einen Lernmodus diese Funktion auslösen kann. Auf den Nutzen dieser Möglichkeit soll später beim Einsatz der Planungsplattform eingegangen werden (s. Kap 7.4).

7.1.2 Abbildung des Gesamtsystems

Die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Komponenten werden in einem Gesamtsystem integriert und abgebildet. Die Operationen sind auf höchster Ebene definiert, was eine abstrakte Beschreibung der Aufgaben und Zustände in der Zelle erlaubt. Diese Abbildung bietet die Möglichkeit, die Gesamtfunktion des Systems in einer übergeordneten Ebene, z. B. im Leitstand, einzubinden, damit zu kontrollieren, zu überwachen und falls notwendig, steuernd einzugreifen.

Darauf aufbauend, wird im folgenden das dynamische, abstrakte Modell für die gesamte Zelle dargestellt (Bild 7.7). Das System befindet sich bei Initialisierung in einem definierten Zustand, der aufgrund einer Bearbeitungsanforderung in die Zustände *Bearbeitung Spannstation1* oder *Bearbeitung Spannstation2* wechselt. Weitere Ereignisse, die die Zelle in einen Not–Aus– oder in einen Wartungszustand setzen, werden im Diagramm zusätzlich berücksichtigt.

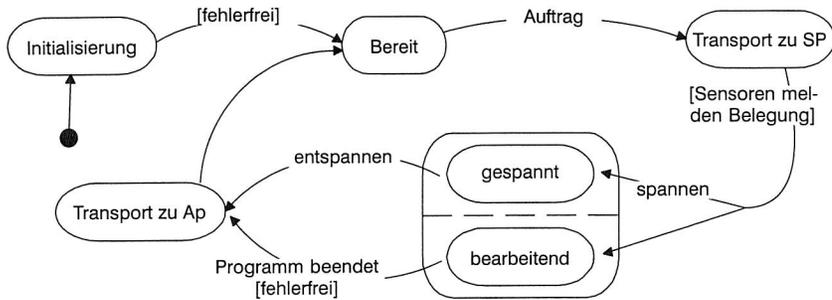
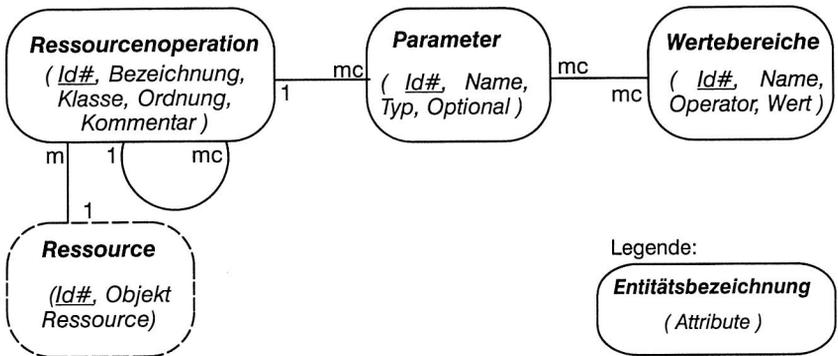


Bild 7.7: Dynamisches Modell für die gesamte Zelle

7.2 Aufbau einer Datenstruktur zur Abbildung der Module

Aufgrund der objektorientierten Analyse des angesprochenen Planungsbereiches wäre es naheliegend, die erstellten Klassenmodelle direkt in einer objektorientierten Datenbank abzubilden. Die eingesetzten Werkzeuge für den Aufbau der Modelle bieten allerdings aufgrund ihrer Unabhängigkeit von irgendwelchen Implementierungszwängen die Möglichkeit, jedes Zielsystem auszuwählen. Prototypisch wird deshalb für die exemplarische Implementierung eine relationale Datenbank mit Standard SQL-Sprache als Informationszielsystem verwendet, welche die Anbindung bereits vorhandener Applikationen aus dem Produktionsumfeld wie z. B. Geräte- und Produktdatenbanken erlaubte.

Ausgangspunkt ist die in Kap. 6 beschriebene Metaklassenhierarchie, die es erlaubt, beliebige Objektklassen innerhalb der Module zu generieren. Aufgrund der auf dem Relationenmodell basierenden Struktur der Datenbank wurde eine Lösung gewählt, die dem Benutzer bei der Abbildung der ressourcenbezogenen Operationen eine große Freiheit läßt, die genaue Parameterstruktur zu definieren. Bei der Ersteingabe wird die Struktur der Operation als Klassenstruktur definiert, die durch einen Schlüssel gekennzeichnet wird. Bei Eingabe weiterer Operationen stehen dem Anwender diese Strukturen automatisch durch Selektion zur Verfügung. Wird die Struktur durch Eingabe weiterer Parameter korrigiert, so hat der Benutzer die Möglichkeit, beim Speichern die Parameter als optional für diese Operation oder generell für die ganze Objektklasse zu hinterlegen. Der Attributwert dieses Parameters wird dabei bei allen anderen Operationen zunächst auf *Nicht definiert* gesetzt.



```

CREATE TABLE ressourc_op (
id#          NUMBER  CONSTRAINT pk_resop PRIMARY KEY,
bezeichnung  VARCHAR2(80),
klasse       VARCHAR2(25) NOT NULL,
ordnung      NUMBER  (10,0),
kommentar    VARCHAR2(2000),
vater_id#    NUMBER  CONSTRAINT vat_resop REFERENCES ressourc_op(id#),
res_id#      NUMBER  CONSTRAINT ressourc REFERENCES ressourc(id#))
  
```

```

CREATE TABLE resop_parameter (
id#          NUMBER  CONSTRAINT pk_oppar PRIMARY KEY,
name         VARCHAR2(80) NOT NULL,
typ          VARCHAR2(25) NOT NULL,
optional     CHAR(1),
resop_id#    NUMBER  CONSTRAINT resop REFERENCES ressourc_op(id#)
ON DELETE CASCADE)
  
```

```

CREATE TABLE resop_wertebereich (
id#          NUMBER  CONSTRAINT pk_domain PRIMARY KEY,
name         VARCHAR2(25) NOT NULL,
operator     VARCHAR2(10) CONSTRAINT oper
CHECK (operator in ('<','>','>=','<=','IN')),
wert         VARCHAR2(1000))
  
```

```

CREATE TABLE resop_param_bereich (
param_id#    NUMBER  CONSTRAINT param REFERENCES resop_parameter(id#),
domain_id#   NUMBER  CONSTRAINT domain REFERENCES resop_wertebereich(id#),
CONSTRAINT par_ber UNIQUE (param_id#, domain_id#))
  
```

Bild 7.8: Entity–Relationship–Diagramm und Tabellenlisten zur Abbildung der Ressourcenoperationen

Die Operationen werden in der Tabellenstruktur rekursiv über Angabe der übergeordneten Operation abgelegt (Bild 7.8). Für die Elemente einer Ebene kann die zeitliche Abfolge mit angegeben werden, die damit Informationen zum Aufbau von Teilbereichen aus dem Zustandsdiagramm einer Ressource enthält. Sind auf einer

Ebene keine Abhängigkeiten definiert, so kennzeichnet dies eine Menge alternativer Operationen, aus der bei der Lösung konkreter Aufgaben gewählt werden kann.

Die Parameter werden in einer eigenen Tabelle abgebildet, die Namen und Datentyp beinhaltet. Diese können elementarer Art (SQL–Standardtypen) sein oder aus komplexen Informationsobjekten bestehen. Im letzten Fall besteht in der vorliegenden Realisierung eine Referenz auf Informationen, die außerhalb der Tabellenstruktur liegen.

Bei den Parametern wird zwischen zwei Arten unterschieden. Diejenigen, die feste Werte für die Operation zugewiesen bekommen, beschreiben eindeutig die Operation und dienen damit zu deren Spezifikation. Die übrigen Parameter werden dem Typ nach bestimmt und können beispielsweise über Mengenangaben (Domains) eingeschränkt oder mit *Nicht_definiert* belegt werden. Die exakten Werte für diese Parameter werden durch Zuweisung bei der Planung oder, bei Aktivierung der Operation, mit Referenzwerten oder konkreten Werten ermittelt. Beide Parameterarten werden innerhalb derselben Struktur abgelegt. Die Art der Wertebelegung impliziert die Unterscheidung der Parameter.

Die Zuordnung der Operation zu einer Ressource erfolgt über einen Verweis auf ein externes Informationsobjekt, welches alle weiteren Informationen, wie technische oder wirtschaftlich/organisatorische Daten, abbildet. Diese Informationen werden bei Bedarf von den Operationsparametern referenziert oder zur Strukturierung herangezogen.

Durch den hierarchischen Aufbau der Operationen wird jeweils eine Ressource definiert, die diese ausführt, wobei aufgrund der Hierarchisierung folgende Konvention gilt:

Die Angabe einer Ressource für eine hierarchisch tieferliegende Operation impliziert, daß diese Ressource als funktionale Komponente zu einer Ressource gehört, die auf der am nächsten gelegenen übergeordneten Ebene definiert wurde. Fehlt die Angabe einer Ressource, so ist die Operation eine Verfeinerung der übergeordnet definierten Operation und ist damit eine Funktion der Ressource, die zur letztgenannten Operation gehört. Dieser Mechanismus, wie auch die oben erwähnten erforderlichen Restriktionen und Konventionen werden durch die in Kap 3.3.4 angesprochenen Kontrollelemente überwacht und gesteuert.

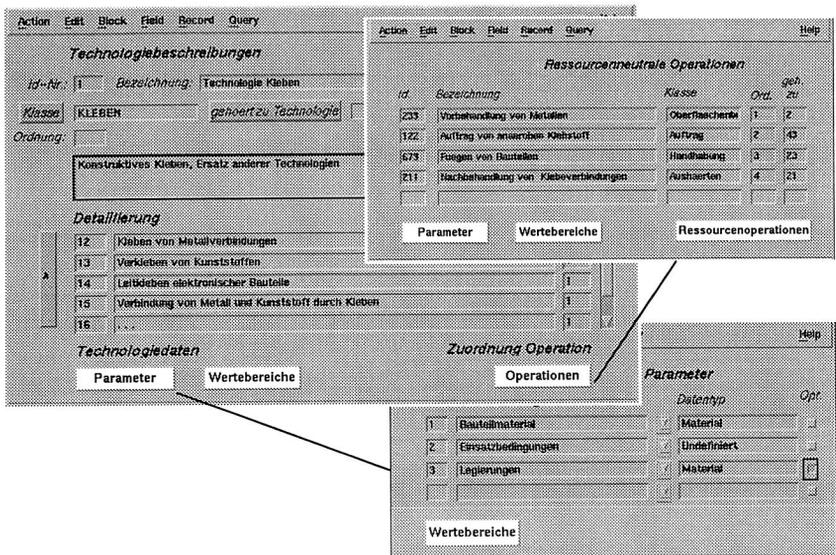


Bild 7.9: Benutzeroberflächen zur Bearbeitung von Technologieinformationen innerhalb des Moduls PROZESS

Der Anwender wird bei der Eingabe oder der Änderung durch eine Benutzeroberfläche geführt, die die Kontrollmechanismen vor ihm verbirgt, ihm gleichzeitig aber alle Informationen über bereits vorhandene Daten zur Verfügung stellt (Bild 7.9). Er kann über jedes Attribut einer Operation eine Suche auslösen und sich somit in jeder beliebigen Ebene Informationen anzeigen lassen. Der Wechsel der Ebenen nach oben oder nach unten und der Aufruf von externen Informationen, wie z.B. der technischen Daten der Ressourcen, ist ebenfalls möglich.

Mit Hilfe der Masken wird der Anwender bei der Eingabe von Operationen geführt, und er wird zur Beschreibung der Mußeingaben aufgefordert. Der Ablauf in Bild 7.10 beschreibt die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Komponenten der Benutzeroberfläche und den daraus resultierenden Aufbau der Wissensstruktur im Modul PROZESS.

Die Abbildung der Informationen dieses Moduls erfolgt in zwei Stufen. In jeweils getrennten Tabellen werden die Informationen für die Technologiestruktur und die ressourcenneutralen Operationen abgelegt. Der Aufbau ist hierarchisch analog demjenigen im Modul RESSOURCE. Bei den Operationen werden Parameter

mitgeführt, die die informatorischen Anforderungen an das Modul *PRODUKT* darstellen. Das übergeordnete Strukturkriterium wird durch einen Verweis in den Attributen auf der jeweiligen Ebene abgebildet. Die verschiedenen Sichten werden mittels alternativer Strukturbäume innerhalb der Tabelle abgebildet. Der Benutzer selektiert über die höchste Ebene die untergeordneten Elemente, wobei auf jeder Ebene sämtliche Strukturierungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Der Anwender ist also gezwungen, auf die höchste Ebene zu wechseln, um eine alternative Sicht zu wählen.

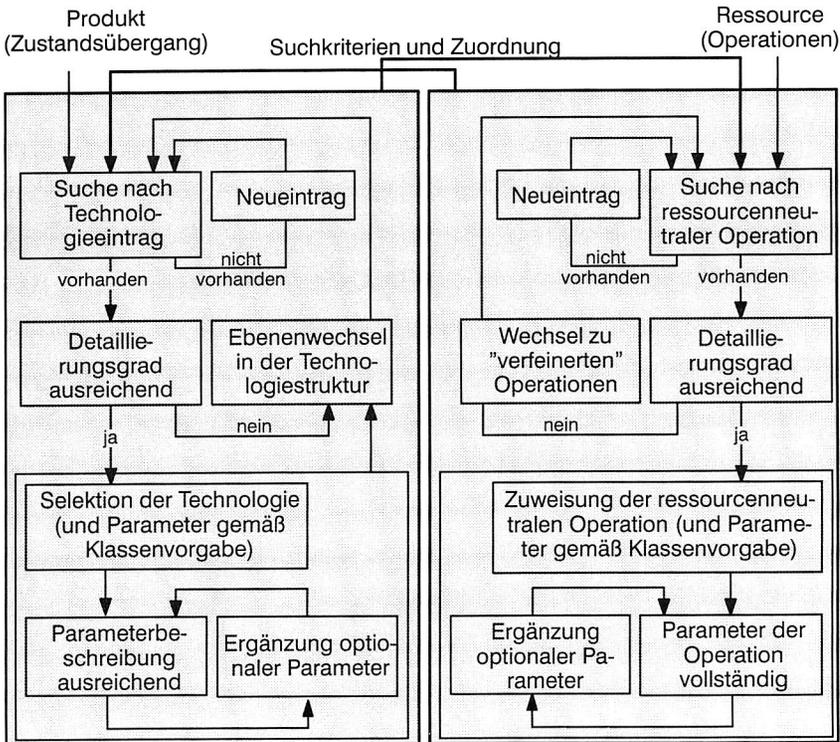


Bild 7.10: Anwenderfunktionen und Ablauf zur Aufnahme von Informationen im Modul *PROZESS*

In der zweiten Stufe wird die Struktur mit den ressourcenneutralen Operationen verknüpft. Auf Datenbankebene erfolgt dies durch die Bildung einer Relation zwischen den Tabellen *TECHNOLOGIE* und *NEUTRALE_OPERATION*. Der Anwender kann einem Element der Technologiestruktur ein beliebiges Element der Operationen zuweisen,

wobei diese Relation hierarchisch auf niederen Ebenen weiter gültig ist. Die Zuweisung kann bidirektional erfolgen, das bedeutet, daß die Zuordnungen von Strukturelementen zu Operationen ebenso möglich sind wie umgekehrt (s. Bild 7.11).

Weiterhin besteht die Möglichkeit, daß Zuordnungen auf untergeordneten Ebenen solche auf höheren Ebenen überschreiben oder explizit ausschließen. Die Kontrollelemente zur Überwachung der hierarchischen Zusammenhänge sowie die Informationsbereitstellung und Navigation für den Benutzer werden im System einerseits durch die Datenbankfunktionalität, andererseits durch die Benutzeroberfläche bereitgestellt.

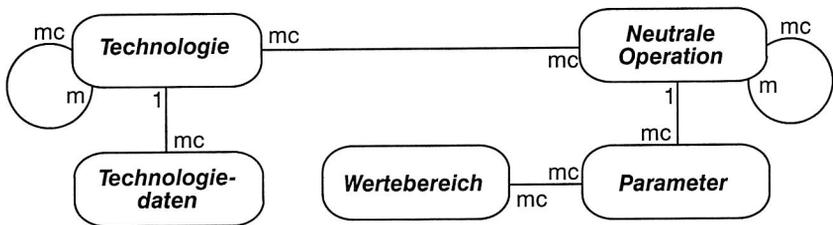


Bild 7.11: Entity-Relationship-Diagramm zur Abbildung der Menge an Technologiemöglichkeiten im Modul PROZESS

Das Modul *PROZESS* bildet durch die Vernetzung von Technologiestruktur mit ressourcenneutralen Operationen die Menge an Technologiemöglichkeiten ab. Werden allen neutralen Operationen ressourcenbezogene zugewiesen, so spricht man von einer realisierten Menge an Technologiemöglichkeiten. Der Übergang von Technologie zu Operation bildet ein Potential an Wissen zur Herstellung von Produkten ab (vgl. Kap. 6). Es bietet sich an, über die o.g. Grundfunktionalität der Datenbank ein wissensbasiertes System zu stellen, welches Regeln und Bewertungen für den Anwender bereitstellt, die er bei der Auswahl von Operationen für Zustandsübergänge nutzen kann. Für einen möglichen Aufbau eines solchen Systems wird auf weiterführende Literatur verwiesen [46,103]

Die Verknüpfung zwischen den Modulen *PRODUKT* und *PROZESS* erfolgt im allgemeinen erst bei der konkreten Ermittlung der Operationen zur Realisierung eines Produktzustandüberganges, wie beispielsweise der Herstellung einer Fügeverbindung. Durch die o.g. Wissensbasis kann, aufgrund äquivalenter Merkmale, eine Zuordnung zwischen Geometrie- und Technologieausprägung als Gestaltungsregel hinterlegt werden.

Die Vernetzung zwischen Modul *PROZESS* und *RESSOURCE* erfolgt im Aufbau analog wie innerhalb des Moduls *PROZESS*. Den ressourcenneutralen Operationen werden ressourcenbezogene zugeordnet oder umgekehrt. Es findet eine gegenseitige Referenzierung der Parameter statt, die bei Auswahl einer Operation und deren Zuordnung zu einem Zustandsübergang, den Parameterwert direkt an die ressourcenbezogene Operation weitergibt.

Die Zuordnungen zwischen den Modulen stehen jedem Planer entsprechend seiner Sichtweise zur Verfügung. Durch die Verknüpfung zwischen *PRODUKT* und *PROZESS* werden dem Prozeßplaner die Technologien aufgezeigt, die realisiert werden sollen, während durch die Zuordnung zwischen *PROZESS* und *RESSOURCE* dem Produktplaner eine Informationsbasis zur Verfügung steht, welche Technologien er nutzen soll.

Die bisher beschriebenen Entitäten und Relationen bilden eine Informationsbasis ab, mit deren Hilfe der Planungsprozeß effizienter und qualitativ besser gestaltet werden kann. Die Abbildung konkreter Prozesse, die auf der Grundlage dieser Basis geplant werden, und die Vorgehensweise werden im folgenden Kapitel aufgezeigt.

7.3 Ermittlung und Abbildung der Prozesse

Ziel ist es, die Planungswelten von Prozeß- und Produktgestaltung zu integrieren. Dies läßt sich umso besser realisieren, je mehr Informationen strukturiert verfügbar sind. Die Zuordnung bereits geplanter und realisierter Prozesse soll deshalb durch geeignete Analyse wiederum in den Aufbau der Netzstrukturen in und zwischen den Modulen einfließen. Aus diesem Grund werden die Informationen, die bei der Planung der Prozesse durch die Zuordnung von einem Zustandsübergang zu einer ressourcenbezogenen Operation entstehen, mit Verweis auf die referenzierten Daten abgelegt bzw. werden, bei Nicht-Existenz der entsprechenden Komponenten, automatisch in den Modulen generiert und stehen damit für zukünftige Planungsvorgänge zur Verfügung.

Die Planung der Prozesse erfolgt je nach Anwendungsfall und Planungsbedarf in zwei Stufen. Mit Hilfe der Angaben von Technologiecharakteristika im Produktmodell kann der Planer über die Suche im Strukturbaum diejenigen ressourcenneutralen Operationen ermitteln, die den betrachteten Produktzustandsübergang durchführen. Mit dieser Festlegung werden die geforderten Parameter spezifiziert, die durch Angaben aus dem Produktmodell belegt werden müssen. Dies erfolgt entweder durch

direkte Zuweisung von Werten oder aber, um den Vorteil des Modells auszunutzen, durch Referenzierung auf Objekte, Attribute oder Operationen aus dem Modul *PRODUKT*.

Aufbauend auf das ER-Modell in Bild 7.11, wird eine Relation zwischen Produktzustandsübergängen und Technologieelementen aufgebaut. Für jeden Eintrag erfolgt die Angabe der ressourcenneutralen Operationen, die für diese konkrete Zuordnung ausgewählt werden. Der hierarchische Aufbau wird dabei übernommen, allerdings werden die in Frage kommenden Elemente im allgemeinen eingeschränkt, da im Modul Prozess mehrere Alternativen abgebildet sind.

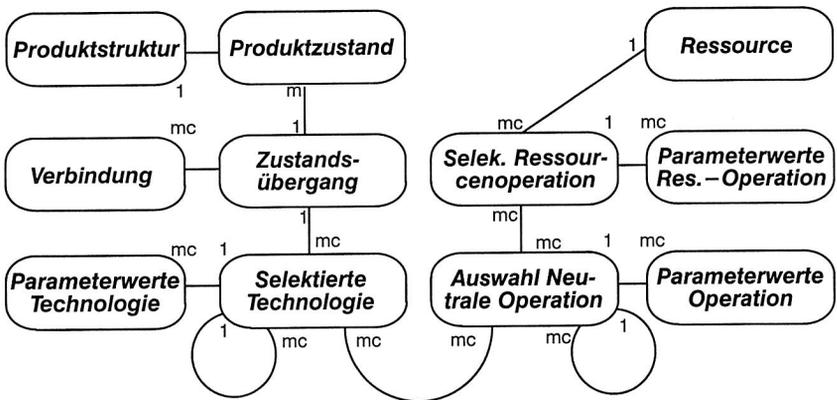


Bild 7.12: Entity-Relationship-Diagramm zur Abbildung der Planungsergebnisse

Die Abbildung der Produktzustandsübergänge im Modul *PRODUKT* baut auf Vorarbeiten auf [90]. Das hybride Datenmodell zur Aufnahme von geometrischen und prozeßrelevanten Informationen wird unter dem Aspekt der Strukturierung hinsichtlich des Fortgangs bei der Herstellung des Produktes erweitert. Dabei steht eine technologie neutrale Beschreibung im Vordergrund, d.h. es wird der Zustandsübergang beschrieben, der durch weitere Angaben in seiner Technologie spezifiziert wird und den Übergang zum Modul *PROZESS* dargestellt.

Das Relationenmodell in Bild 7.12 zeigt auf der linken Seite die Abbildung der Produktzustandsübergänge, die sich auf die Entität Produktzustand beziehen, welche wiederum die Produktstruktur referenziert. Die Abbildung von Zwischenzuständen und den davon betroffenen Übergängen erfolgt hierarchisch innerhalb der entsprechenden Entitäten. Sämtliche weitere Informationen den Zustandsübergang

betreffend, werden mit diesem verknüpft und getrennt abgebildet. Diese die Technologie beschreibenden Daten bilden das Selektionskriterium zum Übergang in den Modul *PRODUKT*.

Die Festlegung der Operationen löst die Anforderung aus, die Parameter zu definieren. Dem Anwender werden alle Parameter angezeigt, und er kann in entsprechenden Feldern Attribute in Form konkreter Werte oder in Form von Referenzangaben hinterlegen. Bei der Eingabe steht ihm zur Suche nach den entsprechenden Informationen die Funktionalität zur Verfügung, die sich aus der Zuordnung über Produktzustandsübergang zur Produktbeschreibung bzw. Bauteilbeschreibung ergibt.

Der Anwender vollzieht die Zuweisung der Technologien für alle im Modul *PRODUKT* hinterlegten Zustandsübergänge. Er ist durch den Aufbau nicht auf eine bestimmte Ebene fixiert, sondern er kann entsprechend des Abstraktionsgrades und des Umfangs der bereitgestellten Informationen diesen Planungsschritt ausführen und erst zu einem späteren Zeitpunkt eine weitere Detaillierung vollziehen. Bis zu diesem Moment werden die konkreten Fertigungsaufgaben in ihrer Gesamtheit beschrieben. Mit Hilfe dieser Information können beispielsweise erste Analysen zur Strukturierung und Gestaltung der Produktion sowie zur Ablaufplanung durchgeführt werden. Es kann weiterhin eine Grobabschätzung der parallelisierbaren Vorgänge erfolgen. Diese Ergebnisse können somit frühzeitig in der Layout- und Materialflußplanung genutzt werden.

In der zweiten Stufe wird die Auswahl der ressourcenbezogenen Operationen und deren Zuweisung zu den Operationen im Modul *PROZESS* vorgenommen. Da hier ebenfalls die Möglichkeit alternativer Realisierungen besteht, muß dieser Vorgang analog der Vorgehensweise in der ersten Stufe erfolgen. Dem Benutzer steht bei Selektion der ressourcenneutralen Operationen unmittelbar die Auswahl der zugeordneten ressourcenbezogenen zur Verfügung, aus denen er diejenigen selektiert, die er nutzen möchte. Damit stehen die zu belegenden Parameter fest, die wiederum durch konkrete oder referenzierte Werte bestimmt werden. Jedes noch nicht mit ressourcenbezogenen Operationen definierte Element aus dem Bereich der neutralen Operationen stellt eine Anforderung dar, die fehlenden Daten zu generieren. Das Ergebnis beinhaltet die Gesamtheit aller die Herstellung des Produktes betreffenden Operationen.

Das in Bild 7.12 aufgezeigte ER–Modell bildet die eben beschriebenen Informationen bei der Bestimmung der einzelnen Prozesse ab. Es wird aus dem Modul *PROZESS* genau diejenige Teilmenge an Elementen herausgeschnitten, die die gestellten Fertigungsaufgaben erfüllen soll. Solange ein Produktzustandsübergang keiner ressourcenneutralen Operation bzw. diese noch keiner ressourcenbezogenen Operation zugeordnet ist, steht implizit die Anforderung zur Zuweisung von Lösungen fest. Damit ist der Planungsfortgang in einfacher Weise aufgrund der Beschreibung der Prozesse im Datenmodell zu überwachen.

Es stellt sich die Frage, wie alternative Lösungen, die im Modell realisiert werden sollen, in dieser Datenstruktur abgebildet werden können. Die Abbildung im Datenmodell an sich bildet mit Hilfe von 1:n Relationen kein Problem. Dadurch stehen jedoch bei Realisierung der Alternativen bzw. bei der Ermittlung der konkreten Parameterwerte beim Wechsel der Ebenen mehrere möglicherweise widersprüchliche Informationen zur Verfügung. Die objektorientierte Ausrichtung der Module (Kenntnis des aufrufenden Objektes, Parameterstruktur) garantiert allerdings die eindeutige Zuordnung der Operationen zu bestimmten Ressourcen und ermöglicht damit die widerspruchsfreie Koexistenz der alternativen Lösungen. Wird bei der Realisierung eine bestimmte Ressource ausgewählt, ist eine konkrete Lösung und deren Verknüpfung zum Modul *PRODUKT* festgelegt. Sollten trotzdem noch Alternativen bestehen, so sind diese gewollt bzw. es muß eine weitere Detaillierung erfolgen.

Bei der Definition der Prozesse werden zunächst Reihenfolgerestriktionen, die außerhalb eines Produktzustandsüberganges liegen, nicht berücksichtigt. Inhärent können diese einerseits schon durch Informationen im Modul, andererseits durch zusätzliche Angaben festgelegt werden. Die Zustandsfolgen im Modul *PRODUKT* bringen die einzelnen Teilmengen in eine Gesamtreihenfolge, die, im Zuge der endgültigen Realisierung des Produktionssystems, in den noch bestehenden Freiheitsgraden optimiert wird. Da die angesprochene Beschreibung im wesentlichen die wertschöpfenden Prozesse beinhaltet, besteht nun die Möglichkeit, Sekundäroperationen einzubinden. Durch die definierte Reihenfolge werden diese als Übergang zwischen den Zustandsübergängen oder zwischen Operationen zur Realisierung eines Zustandsüberganges abgebildet.

Die Definition der sekundären Operationen erfolgt analog der der primären, mit dem einzigen Unterschied, daß keine Zuordnung zwischen Technologie und Produktzustandsübergang stattfindet, sondern zwischen zwei Operationen oder Teilmengen von Operationen. Aufgrund einer analogen Struktur ist das Datenmodell

im Modul *PROZESS* und im Modul *RESSOURCE* in der Lage, diese Informationen ebenfalls abzubilden. Damit besteht seitens der datentechnischen Abbildung kein Unterschied zwischen primären und sekundären Operationen.

Für die weitergehende Optimierung und den Aufbau des zu realisierenden Produktionssystems können die abgebildeten Informationen in mehrerer Hinsicht genutzt werden. So kann z.B. ein exaktes Prozeßmodell mit Hilfe der Simulationstechnik aufgebaut und untersucht werden. Gleichzeitig unterstützen die Informationen den Aufbau der steuerungstechnischen Abläufe auf unterster Ebene und die Eingliederung der Anlage als Komponente in das Leitsystem.

7.4 Anbindung der Datenbank an das Gesamtsystem

Für das Modul *RESSOURCE* wird zur Nutzung als unterstützendes Werkzeug im Betrieb die Anbindung an die in Kap. 7.1 beschriebene Montagezelle auf der Ebene der Elementaroperationen vorgesehen. Das Visualisierungssystem auf dem Leitreechner läßt sich durch Umschalten in ein Kontrollsystem für die Elementaroperationen aller Komponenten umwandeln.

Durch direktes Auswählen am Bildschirm lassen sich die Funktionen der Bänder, der Querförderer, aller Stopper und die Grundfunktionen wie STOP, START und INIT der Gesamtanlage ausführen. Für die Kombination Roboter/Dosiersystem stehen auf der einen Seite komplexe Auftragsprogramme zur Verfügung, auf der anderen Seite können einfache Operationen wie Punkt- und Linienauftrag mit Angabe der Menge direkt ausgelöst werden. Es besteht zwar die Möglichkeit, durch Sensorinformationen den Ablauf dynamisch anzupassen, allerdings muß bei der Entwicklung des Steuerprogramms auf die Einbindung der Sensordaten geachtet werden. Ein System, bei dem einerseits Referenzeinträge genutzt werden, andererseits die Auflösung der Referenzen zur Laufzeit stattfindet, wäre hier von Vorteil. Im vorliegenden Beispiel wird eine Lösung in Form einer Zusammenstellung, Compilierung und Übergabe des Steuerprogramms durch den Zellerrechner aufgebaut.

Die o.g. Operationen sind in den Tabellen des Datenmodells im Modul *RESSOURCE* abgebildet, wodurch sich verschiedene Möglichkeiten des Einsatzes und der Nutzung anbieten.

- *Durch Auswahl in der Datenbank und direkte Anbindung an die Realität kann die Operation in ihrer Funktionsweise getestet werden*
- *Die Zuordnung zu den ressourcenneutralen Operationen und letztendlich zur Technologie wird veranschaulicht und nachvollziehbar*
- *Durch Abbildung im Datenmodell können die konkreten Prozesse für die gestellte Produktionsaufgabe direkt in ihrem Ablauf am System getestet werden. Dazu besteht die Möglichkeit, dies entweder am Kontroll- und Visualisierungssystem zu verdeutlichen oder aber direkt an den realen Komponenten zu testen.*
- *Die Verbindung zwischen Datenbank und real durchführbaren Ressourcenoperationen kann in umgekehrter Weise zum Aufbau hierarchisch höher eingestufte Operationen genutzt werden. Auf diese Weise können durch das Auslösen der Elementaroperationen und das Protokollieren der Ereignisse Makros erstellt werden, die komplexere Aufgaben abbilden. Dies kann mit direkter Anbindung an das reale System oder nur auf dem Kontrollsystem durchgeführt werden.*
- *Durch den vorgenannten Punkt kann der Prozeßplaner wesentliche Informationen für das Modul *PROZESS* bereitstellen, in dem er komplexe Operationen ressourcenneutralen zuordnet bzw. darüber hinaus eine Verknüpfung mit den Technologien aufbaut.*

Bild 7.13 zeigt die Oberfläche des Kontroll-/Visualisierungssystems zur Steuerung der Elementaroperationen. Diese entsprechen auf der Steuerungsebene Bausteinen, die in beliebiger Reihenfolge aufgerufen werden können. Erfolgt eine Zusammenfassung von elementaren Operationen zu Makros, so werden diese zunächst ohne Kontrollelemente (z.B. Sensorinformationen) abgelegt. Der Systemplaner ermittelt diese Kontrolldaten in einer weiteren Detaillierungsphase. Der Einsatz des rechnergestützten Kontrollsystems dient im vorliegenden Fall nicht zur automatischen Generierung der Steuersequenzen, sondern zur Strukturierung und zur Integration der Sichten von allen beteiligten Planungsinstanzen, die zum Aufbau

und Betrieb der Produktionsanlage führen. Die bereitgestellten Informationen erhöhen jedoch die Effizienz bei der Ermittlung der Steuerungsprogramme erheblich.

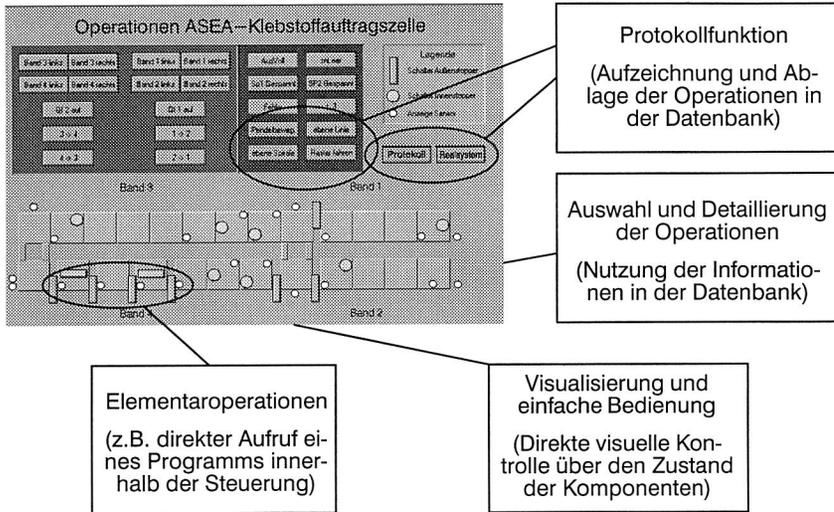


Bild 7.13: Anbindung der Steuer-/Visualisierungskomponente an die Datenbank

Die direkte Anbindung der Datenbank an die realen Prozesse stellt dem Prozeßplaner die zu realisierenden Operationen und deren Parameter zur Verfügung. Je nach vorhandenem Detaillierungsgrad der Planung, nutzt der Prozeßplaner die Funktionalität der Module *PROZESS* oder *RESSOURCE* (s. Kap. 6). Er begibt sich damit nicht auf ein ihm fremdes "Planungsterrain", sondern er erfährt mittels ihm verständlicher Werkzeuge eine Erweiterung seiner Planungswelt, wodurch eine bessere Kommunikation mit dem Produktplaner gewährleistet ist.

7.5 Nutzung der Module während des Betriebes

Der Aufbau der Module und das Bestreben, möglichst Werte zu referenzieren, die an anderer Stelle festgelegt oder ermittelt werden, schaffen die Voraussetzung, daß der Umplanungsanfang auf ein Minimum reduziert werden kann. Die Planungsregelkreise werden dadurch auf engstem Raum eingegrenzt. Gleichzeitig muß die Ermittlung der exakten Prozeßparameterwerte zur Durchführung der Operationen erst während des Betriebes erfolgen. Dies garantiert einerseits die Aktualität der Informationen, erfordert aber andererseits geänderte Strukturen in der

Informationsverteilung und –bereitstellung. Ebenso wird sich der Datenumfang und das Kommunikationsverhalten der verschiedenen Komponenten, sei es Datenbanken, Zellen– oder Leitrechner und schließlich das Werkstück selbst als Informationsträger, in erheblicher Weise gegenüber bisherigen Produktionssystemen unterscheiden. Aufgrund des objektorientierten Informationsabbildes sind in jedem Element Daten beinhaltet, die die Reaktion auf bestimmte Ereignisse beschreiben und die entsprechenden Funktionen aktivieren.

Anhand der in diesem Kapitel betrachteten Montagezelle soll der beschriebene Sachverhalt anschaulich dargestellt werden. Nach der Initialisierung befindet sich die Zelle in einem definierten Zustand, wobei sich keine Werkstückträger innerhalb der Systemgrenzen aufhalten sollen. Der Übergabebahnhof mit dem FTS ist die einzige Ein– bzw. Ausgabestelle zu anderen Systemen, wobei dies nur für das Material gilt. Informationstechnische Flüsse laufen über den Leitrechner aus und in das System.

Erreicht ein FTS mit einem zu bearbeitenden Werkstückträger den Bahnhof, löst dies zunächst ein Ereignis aus, worauf der Werkstückträger in das System übernommen wird. Z.B. wird die Aktion *Zelle.Bearbeite_Auftrag(Nr.)* in der Zelle ausgelöst (Bild 7.14). Die Informationsstruktur der Zelle beinhaltet das Wissen, welche Zustandsänderungen im Gesamtablauf und schließlich konkret am Produkt durchzuführen sind. Das bedeutet, daß in der Datenstruktur die Operation auf höchster Ebene ermittelt wird, welche einerseits über die Zustandsänderung dem Werkstück zugeordnet, andererseits durch die Referenz auf die aktuelle Ressource gekennzeichnet ist.

Durch den hierarchischen Aufbau wird die o.g. abstrakte Operation in Sekundär– und Primäroperationen unterteilt. Im ersten Fall wird der Transport des Werkstücks zu und von den Spannstationen z. B. durch die Aktionen *Zelle.Transport(Spannstation1)* und *Zelle.Transport(Ausgang)* ausgeführt. Aufgrund der objektorientierten Beschreibung kann die Angabe des Materialflussesystems als Objekt weggelassen werden, da keine andere Komponente innerhalb der Zelle diese Operation ausführen kann.

Die beiden erwähnten Funktionen der Komponente Materialflusssystem werden innerhalb der Datenstruktur bis auf die Elementaroperationen weiter detailliert und über die Steuerung direkt zur Ausführung gebracht. Dies bedeutet im vorliegenden Beispiel, daß der Transport des Werkstückes aus dem Eingangsbereich in die Elementaroperationen, die schon in Kap. 7.1 detailliert werden, zerlegt wird. Diese Informationen stehen direkt über die definierten Operationen aus dem Modul

RESSOURCE für die gestellte Aufgabe zur Verfügung. Analog wird die Operation für den Abtransport des Werkstückes in den Ausgangsbereich ausgeführt.

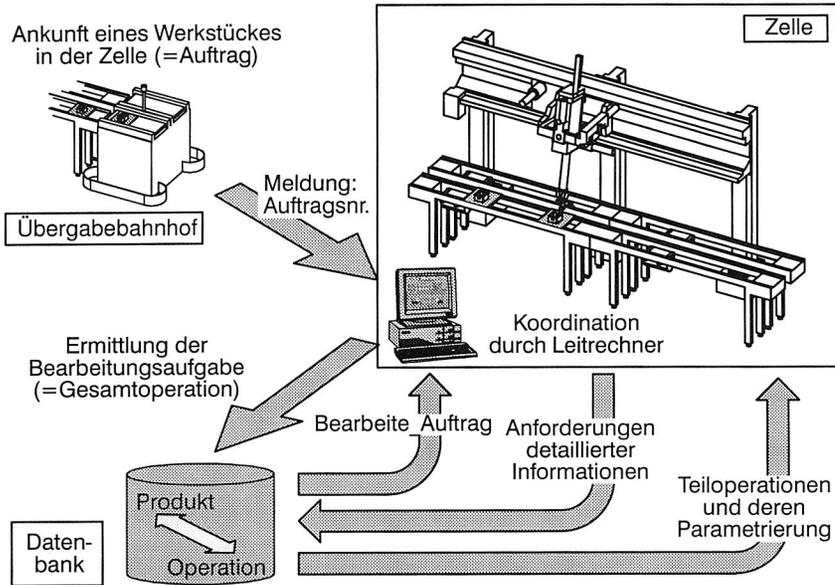


Bild 7.14: Kopplung der Datenbank mit dem Realsystem

Die abstrakte Primäroperation *Zelle.Auftragssystem.Bearbeite(Werkstück)* läßt sich wiederum durch die Datenstruktur in einzelne Teiloperationen aufschlüsseln. Diese Operationen beinhalten Parameter, die, mittels Zuweisung zu einem Produktionszustandsübergang, durch Attributwerte aus dem Modul *PRODUKT* besetzt werden. Die genannte Operation schlüsselt sich beispielsweise auf einer niederen Ebene in die Operationen *Zelle.Auftragssystem.Punktauftrag(Ort,Menge)* und *Zelle.Auftragssystem.Linienauftrag(Kurve)* auf. Diese Operationen stellen Anforderungen an die spezifizierten Komponenten dar, die angesprochene Funktion auszuführen.

Durch die Abbildung im Modul *RESSOURCE* wird z. B. die Operation *Punktauftrag* in getrennte Operationen für die Objekte *Roboter* und *Dosiersystem* aufgeteilt. Beide Objekte fordern die zur Ausführung der Operation notwendigen Parameter an. Durch die hierarchische Abbildung der Prozesse ermitteln die auf niederen Ebenen liegenden Operationen ihre Parameter aus den Angaben der darüberliegenden. Im vorliegenden Fall bedeutet dies, daß die Mengenangabe als Parameter das

Dosiersystem in der Öffnungszeit steuert, während die Ortsangabe den genauen Zielpunkt und die Orientierung der Auftragsspitze für den Industrieroboter definiert. Je nach Detaillierung im Modul *RESSOURCE* können diese Informationen bis zur Steuerungsebene spezifiziert werden.

Sind Parameter, wie beispielsweise der Auftragsort des Klebstoffes, in der Datenstruktur als Referenz angegeben, so muß der konkrete Wert erst im letzten Moment ermittelt werden. Wenn z.B. im Extremfall im Steuerprogramm des Roboters der Auftragspunkt als Referenzeintrag vorliegt, wird erst zur Laufzeit durch eine Anfrage an das Datenmodell der Zahlenwert angefordert. Dieser kann mit Hilfe geometrischer Operationen innerhalb des Moduls *PRODUKT* ermittelt werden oder dort als konkreter Wert abgebildet sein. Änderungen am Produktmodell rufen damit keine Änderungen in der Parametrierung der Operationen hervor.

Wie das angeführte Beispiel zeigt, erfolgt die Bearbeitung von Aufträgen ereignisgesteuert, wobei grundsätzlich ein Durchlaufen der Hierarchie von oben nach unten zu beobachten ist. Dieser Ebenenwechsel erfolgt innerhalb der Datenstruktur, wobei diese die Ereignisse von den Objekten empfängt, detailliert und an die Objekte zurücksendet. Die Module unterstützen einerseits die Integration von Produkt- und Prozeßplanung, andererseits können die in den Planungsphasen generierten Daten direkt während des Betriebes genutzt werden.

7.6 Bewertung des Modellkonzepts

Der vorgestellte Ansatz zur Beschreibung von Elementen innerhalb der Produkt- und Prozeßplanung ermöglicht eine über die statische Abbildung hinausgehende Darstellung der Informationen. Wesentliches Konstrukt ist die Abstraktion, die es erlaubt, jedem Anwender Informationen in der ihm entsprechenden Sicht zur Verfügung zu stellen. Durch Abstraktion werden Planungsobjekte als umfassendes Element definiert, das statische, funktionale und dynamische Charakteristika zusammenfaßt. Dadurch wird eine einheitliche Beschreibung aller Elemente erreicht.

Mit dieser Abbildung wird ein Modell realisiert, welches mit Hilfe dynamischer Klassen (Metaklassen, Rekursion) eine flexibel anpaßbare Strukturierung und eine beliebige Hierarchisierung ermöglicht. Vorteilhaft für den Anwender ist die freie Wahl der für ihn aktuell relevanten Ebene, da er dadurch in die Lage versetzt wird, trotz möglicherweise unvollständiger Daten, auf höherer Ebene die Planungskette weiter zu verfolgen.

Im vorliegenden Modellkonzept wird eine funktionale Ausrichtung bzgl. der herzuleitenden Ergebnisse aus dem Bereich der Produkt- und Prozeßplanung in den Vordergrund gestellt. Dies bedeutet, daß die hier relevanten Informationen im Kern der Abbildung stehen und eine Äquivalenz zwischen den Elementen des Bereiches Produkt und Ressource zu ermitteln ist. Werden bei der traditionellen Planungsweise zunächst die Ressourcen bestimmten Produktionsaufgaben zugewiesen und anschließend die Ressourcenoperationen ermittelt, so stehen sich bei diesem Ansatz der Zustandsübergang als Anforderung und die Operationen als Lösung gegenüber. Die Ressource wird erst im Anschluß zur Durchführung der gewählten Operationen bestimmt. Der Zusammenhang zwischen beiden Bereichen wird dem Planer dadurch transparenter.

Für den Informationstransfer zwischen beiden Bereichen ist eine direkte Verknüpfung zu starr und nicht ratsam. Der Produktplaner kann die Beschreibung von Ressourcenoperationen kaum nutzen, da er im allgemeinen keinerlei detaillierte technische Kenntnisse über bestimmte Betriebsmittel besitzt. Durch Eingliederung des neutralen Moduls *PROZESS* kann der Anwender die Verknüpfung zwischen Ressource und Produkt nutzen. Gleichzeitig wird ihm ein Wissenspotential über verwendete und verwendbare Technologierealisierungen zur Verfügung gestellt.

Das Modul bietet an der Schnittstelle zum Modul *PRODUKT* Informationen über einsetzbare Technologien an, die sich zur Durchführung eines Zustandsübergangs eignen. Aufgrund der Vernetzung mit den neutralen Operationen bildet das Modul *PROZESS* eine Wissensbasis, von der Produkt-, Prozeß- und Systemplaner im gleichen Maße profitieren. Das von den Mitarbeitern während des Planungsvorgangs generierte Wissen wird in diesem Modul hinterlegt und ist für nachfolgende Aufgaben jederzeit wieder abrufbereit.

Durch die kontinuierliche Überführung der Planungsdaten von der Produktbeschreibung zu den Ressourcenoperationen, was in beliebigen Abstraktionsgraden im Modell realisiert werden kann, wird eine Überschneidung der Benutzersichten auf die Planungsobjekte erreicht (Bild 7.15). Während der Produktplaner innerhalb des Moduls *PRODUKT* vorwiegend Informationen mit Bezug auf Fügetechnologien benötigt, steht der Systemplaner ihm gegenüber mit dem technischen Know-How zum detaillierten Aufbau der Anlage und deren Steuerung. Dazwischen befindet sich der Prozeßplaner, der die Anforderungen und Möglichkeiten jeweils in Richtung der beiden Module transferieren soll. Der Nutzen des modularen Aufbaus ergibt sich aus den flexiblen Grenzen beim Planungsübergang (z. B.: Wie

detailliert ist die Technologie einer Fügeverbindung durch den Produktplaner beschrieben ?) und der damit verbundenen Abbildung des Planungsgegenstandes als ein einziges Objekt.

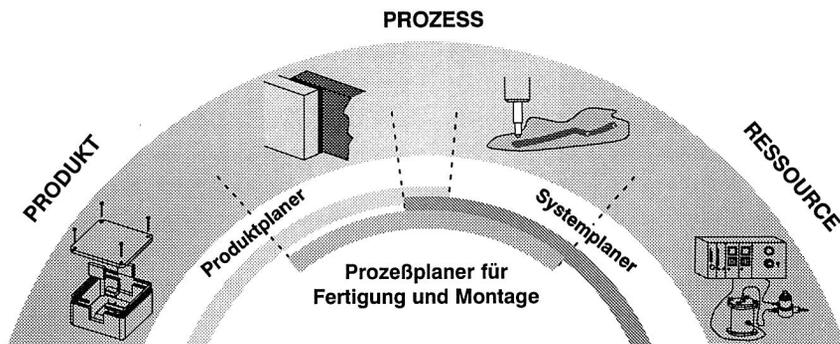


Bild 7.15: Integration durch überlappende Planungsbereiche

Das vorgestellte Konzept erreicht vor allem die Abbildung eines sehr hohen semantischen Inhaltes durch die gewählten Beschreibungsstrukturen. Eine deutliche Annäherung der Modellwelt an die realen Gegebenheiten wird realisiert, was zu einem verbesserten Informationsaustausch zwischen verschiedenen Planungswelten beiträgt. Aufgrund fehlender Restriktionen durch ein Zielsystem bei der Modellbildung existiert eine qualitativ hochwertige und umfassende Abbildung, die die Überprüfbarkeit des Systems auf Korrektheit unterstützt.

Die Auswahl bzw. die Erstellung des Zielsystems, das die Rechnerunterstützung bereitstellen soll, wird in bezug auf die oben erwähnte Neutralität der Beschreibung in keinsten Weise eingeschränkt. Das hat den Vorteil, daß einerseits moderne Werkzeuge, die eine einfache Überführung ermöglichen, genutzt und andererseits bestehende Informationen eingegliedert werden können. In jedem Fall ist die Berücksichtigung humaner Ressourcen als funktionale Komponenten im System gewährleistet.

Die Kontrolle der dynamischen Abläufe und damit des temporären Verhaltens, das Struktur- und Informationsmodifikationen einschließt, ist im Modell inhärent hinterlegt. Die Instanziierung eines Objektes löst bestimmte Abläufe aus, die wiederum durch andere Objekte kontrolliert werden. Typische Situationen, wie sie innerhalb der Planung auftreten, wie z.B. fehlende Daten oder Bandbreiten als Parametervorgaben, werden auf diese Weise ohne außergewöhnliche Maßnahmen integriert.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Gewährleistung größtmöglicher Flexibilität in allen Stadien der Entwicklung und Produktion gewinnt angesichts schwieriger Marktbedingungen und sich immer schneller ändernder Kundenbedürfnisse immer mehr an Bedeutung. In der vorliegenden Arbeit wird ein Modellkonzept erstellt, das auf abstrakter Ebene Informationen, Abläufe und funktionale Komponenten innerhalb der Produkt- und Prozeßplanung abbildet. Dieses Modell dient als Grundlage für den Aufbau rechnergestützter Werkzeuge und kann integrativ bis in die Produktion eingesetzt werden.

Die im Kapitel 2 aufgezeigten Defizite bestehender Rechnerlösungen zeigen vor allem die Problematik sowohl der Heterogenität als auch der stark unterschiedlichen Sichtweisen der an der Planung beteiligten Personen auf. Eine frühzeitige Berücksichtigung von Realisierungs- und Implementierungsdetails in der Entwicklung dieser Werkzeuge verstärkt die Diversifikation in den Zielsystemen noch mehr. Eine umfassende Betrachtung und Überprüfung der korrekten Abbildung des realen Ausschnittes ist damit nicht mehr möglich.

In den letzten Jahren nahm der Einsatz objektorientierter Methoden gerade im Bereich der Programmentwicklung zu. Die Elemente bei der Modellierung von Realitätsabschnitten entsprechen mehr der menschlichen Vorgehensweise im Vergleich zu den rein prozeduralen Sprachen herkömmlicher Softwaresysteme. Gleichzeitig ermöglichen sie die Abbildung komplexer Elemente, die mit Hilfe der modellinhärenten Abstraktion transparent bleiben.

Die in Kapitel 3 aufgezeigten Elemente der Planung werden mittels der erwähnten objektorientierten Konstrukte abgebildet und für den Bereich der Produkt- und Prozeßplanung strukturiert. Es wird darauf Wert gelegt, daß eine Entkopplung zwischen Produkt- und Ressourceninformationen stattfindet. Diese informatorische Lücke wird durch ein Modul geschlossen, das in der Lage ist, nach beiden Seiten die jeweiligen Benutzersichten mit den entsprechenden Informationen zur Verfügung zu stellen.

Die Beschreibung des Produktes innerhalb des Modells wird in Kapitel 4 aufgezeigt. Durch die Abbildung der Informationen als Objekte, die bei Instanziierung den Planungsfortgang steuern, kann der Produktplaner auf beliebigen Detaillierungsebenen und entsprechend seinem Informationsstand eine neutrale Beschreibung in

Form von Produktzustandsübergängen definieren. Die neutrale Abbildung beinhaltet die Aufgaben, die durch die Prozesse innerhalb der Produktion erfüllt werden sollen.

Im Gegensatz zu einer statischen Betrachtung, wird in Kapitel 5 zur Anbindung der Ressourcen eine Abbildung der funktionalen Eigenschaften in den Vordergrund gestellt. Ressourcenoperationen können damit als Bestandteil der Zielfunktion der Prozeßplanung direkt ermittelt und überprüft werden. Durch einen flexiblen hierarchischen Aufbau ist darüberhinaus eine beliebige Strukturierung nach verschiedenen technologischen Gesichtspunkten möglich.

Die Verknüpfung der beiden beschreibenden Module durch eine neutrale Komponente, die Informationen aus fertigungs- und montagetecnologischen Anforderungen mit funktional operationsorientierten Komponenten verbindet, erfolgt in Kapitel 6. Der Vorteil des Moduls *PROZESS* ist einerseits die Darstellung der Menge an Technologiemöglichkeiten als Informationsbasis, die dem Produktplaner entsprechend seiner Benutzersicht prozeßorientiertes Wissen zur Verfügung stellt. Andererseits erfolgt durch die Abbildung der Technologien auf ressourcenneutrale Operationen eine Entkopplung von ressourcenbezogenen Randbedingungen, gleichzeitig aber auch die definierte Ausrichtung der Technologielösungen nach unternehmerischen Kriterien (Kosten, Standards usw.)

Auf diese Weise verfügt der Prozeßplaner über ein Netzwerk an Lösungen, das ihm auf jeder Detaillierungsstufe die möglichen Alternativen aufzeigt und die gewählte Lösung wiederum in das System integriert.

Die in den Kapiteln dargestellten Ausführungen für den Bereich des automatisierten Klebstoffauftrages werden in Kapitel 7 anhand einer beispielhaften Realisierung des Moduls *PROZESS* präzisiert. Die Ankopplung dieses Moduls an eine reale Montagezelle zeigt den über die Planung hinausgehenden Nutzen des Konzeptes für den Betrieb exemplarisch auf.

Das in dieser Arbeit gezeigte Modellkonzept berücksichtigt in umfassender Weise die unterschiedlichen Strukturen und Sichtweisen im Planungsablauf. Bei der Entwicklung rechnergestützter Werkzeuge wird deshalb auf ein übergeordnetes Konzept gesetzt, das die Integration von Daten, Abläufen und Funktionen gewährleistet. Daraus leitet sich ein erhöhter Anspruch an Softwarelösungen ab, die künftig nicht mehr nur konkreten, isoliert betrachteten und spezialisierten Aufgaben genügen dürfen, sondern sich grundsätzlich auf übergeordneter Ebene in ein Gesamtkonzept mit einer dedizierten Funktion einordnen müssen. Die Nutzung eines objektorientierten

Ansatzes ermöglicht die Detaillierung in jeder Phase der Entwicklung von Lösungen und stellt gleichzeitig ein besseres Äquivalent für die Abbildung menschlichen Planungsvorgehens dar. "Human Resources" können deshalb in das Modell problemlos eingegliedert werden. Ein Vorteil, der in Zukunft zunehmend an Bedeutung gewinnen wird, um die menschliche Kreativität als Rationalisierungspotential verstärkt nutzen zu können, was bei vorgegebenen, starren Strukturen in weitaus geringerem Maße möglich ist.

Die Entwicklungen im Bereich des "Rapid Prototyping" haben in den letzten Jahren bereits zu erheblichen Einsparungen in der Produktentwicklung geführt. Für einen bestimmten Fertigungsprozeß werden rechnergestützte Werkzeuge miteinander gekoppelt und die Prozeßkette wird für einen dedizierten Bereich optimiert. Das Ergebnis der Planung ist ein physisches Modell, das allerdings immer wieder neu erstellt werden muß, sobald eine Änderung am Produkt erfolgt. Gefordert wird heute ein System, das in jedem Stadium der Produktentwicklung Änderungen an Design, Funktionalität, Gestalt, Material usw. erlaubt, ohne daß aufwendige Neuplanungen notwendig sind. Gleichzeitig sollen Wechselwirkungen mit anderen Bereichen in kürzester Zeit dargestellt werden können. Beim "Virtual Prototyping" wird ein Ansatz verfolgt, bei dem vollständig auf physische Modelle in der Planung verzichtet wird und verschiedene rechnergestützte Werkzeuge mit Hilfe eines rechnerinternen Modells verknüpft werden sollen. Das Rationalisierungspotential, das diese Entwicklungsmethodik bietet, läßt sich weiter deutlich erhöhen, wenn sich einzelne Komponenten beliebig austauschen lassen und alle Planungsinstanzen umfassend abgebildet sind. Dabei gilt es, eine Betrachtung weitaus umfassender Strukturen als bisher durchzuführen, diese zu beherrschen und zu koordinieren.

Aufgrund der damit verbundenen Integration vielschichtiger, verteilter und heterogener Informationsobjekte (Text, Bild, Ton, Video, Netzwerke usw.) kann die Analyse und Entwicklung solcher Systeme nicht mehr ausschließlich auf datentechnischer Ebene erfolgen, sondern muß künftig auf einem Abstraktionsniveau durchgeführt werden, das dem Anwender alle Informationen in seiner Sichtweise und unabhängig von ihrem Ursprung zur Verfügung stellt. Systeme, die die geforderte Flexibilität bei gleichzeitiger Kontrolle der modularen Strukturen gewährleisten, stützen sich auf ein Informationsmanagement, das auf dem in dieser Arbeit entwickelten Modellkonzept aufbaut. Künftige Lösungen, sei es auf übergreifender Ebene oder nur für Teilbereiche, werden sich deshalb beim Aufbau von rechnergestützten Werkzeugen für die Produkt- und Prozeßplanung an dem hier beschriebenen Ansatz orientieren.

Literatur

1. Abels, S.:
Modellierung und Optimierung von Montageanlagen in einem integrierten Simulationssystem
München Wien, Carl Hanser Verlag 1993
2. Ammer, E.-D.:
Rechnerunterstützte Planung von Montageablaufstrukturen für Erzeugnisse der Serienfertigung
Berlin u.a., Springer Verlag 1985
3. Banachowski, L.; Kreczmar, A.; Rytter, W.:
Analysis of algorithms and data structures
Wokingham Reading Menlo Park, Addison–Wesley 1991
4. Bartusch, M., Plagwitz, J.:
Netzplan
Passau 1987
5. Benitz, G.:
Mit Menschen und Modellen. Rechnergestützte Arbeitsplatzgestaltung
in: Industrie Anzeiger, Band 113 (1991) 3/4, S. 24–26
6. Binger, G.; Neubert, J.:
Montageprozesse auf der Basis der objektorientierten Datenhaltung planen
in: Zwf 87 (1992) 1, S. 20–24
7. Blaha, M.; Premerlani, W.; Rumbaugh, J.:
Relational database design using an object–oriented methodology
in: Communications of the ACM 31, 4 (April 1988)
8. Bolst, K., Hertwig, J.:
Expertensystem Kleben in einer CAD–Umgebung
in: CAD/CAM 1/89, S. 100–104
9. Bossel, H.:
Modellbildung und Simulation
Braunschweig u.a., Vieweg Verlag 1992
10. Braun, W.; Waldhier, T.; Schmitt, R.:
Einsatz des Expertensystems EMMA. Rechnergestützte Planung und Gestaltung manueller Montagesysteme
in: Technische Rundschau, Bern, Band 85 (1993), Heft 22, S. 46–49

11. Bullinger, H.–J., Ammer, D.:
Systematische Montageplanung
München u.a., Carl Hanser Verlag 1986
12. Cameron, J. R.:
JSP and JSD
Washington u.a., IEEE Computer Soc. Pr. 1989
13. Chroust, G.:
Modelle der Software–Entwicklung
München u.a., Oldenbourg Verlag 1992
14. Codd, E. F.:
The relational model for database management
Reading Mass. u.a., Addison–Wesley 1990
15. Corves, B.:
Simulation des kinematischen und dynamischen Verhaltens von Handhabungsgeräten mit geschlossenen kinematischen Teilketten
Düsseldorf, VDI–Verlag 1989
16. Dadam P., Südkamp N.:
Datenbanksysteme als Werkzeuge zur Integration von CAx–Systemen
in: atp 31 (1989) 9, S. 431–438
17. Damavandi, K. R.:
Eine Methodenkette zur integrierten Software–Entwicklung
1990
18. Demuth, F.:
Ein Beitrag zum rechnergestützten Software–Entwurf
Deutsche Dissertation 1990
19. Deutschländer, A.:
Integrierte rechnerunterstützte Montageplanung
München u.a., Hanser Verlag 1989
20. Dimitrov, K.:
Integrierte Produkt–, Prozeß– und Fabrikgestaltung auf der Grundlage simulativer Planungsansätze
Chemnitz, Dissertation, 1992
21. Dorn, L.; Salem, N.:
FEM–Berechnungen von Kunststoff–Metall–Klebverbindungen
in: Adhäsion Kleben & Dichten 3/93, S. 34–38

22. Drave, A.–D.:
Datenbanken bei der Integration von CAD/CAM–Anwendungssystemen
in: CAD/CAM 4/89, S. 78–80
23. Drozkowski, S.:
Mit dem Virtual-Reality-Prototyping geht die Zeit der Holzmodelle zu Ende
in: Die Computer Zeitung, Band 26 (1995) Heft 23, S. 19
24. Ehrlenspiel, K.; Müller, R.:
Datenbankgestützte Konstruktionsdatenverwaltung
in: CIM Management 2/90, S. 10–16
25. Ehrlenspiel, K.:
Integrierte Produktentwicklung
München u.a., Hanser Verlag 1995
26. Eigner, M.; Rüdinger, W.; Schmich, M.:
Kopplung von CAD und PPS– und Informationssystemen als Baustein eines
CIM–Konzepts
in: Zwf 81 (1986) 11, S. 611–614
27. Engeli, M.; Taiber, G.:
"Featured–Based Modeling" – Resultat eines tiefgreifenden Wandels
in: VDI–Z 136 05/94, S. 60–65
28. Englert, H.:
CAD–Normalien–Datei zur Erleichterung der Konstruktionsarbeit
in: Zwf 11/87, S. 92–105
29. Feldmann, F.; Schlüter, K.:
CAD/CAM–Systeme für die Montage
MIC–Tagung, 6. Deutscher Montagekongreß, München, 1985
30. Feldmann, K.; Classe, D.:
Planung und Einsatz rechnerintegrierter Produktionssysteme in der Elektronik
Tagungsband zur Fachtagung "Maschinenverketzung und Informationsverbund
in der Elektronikproduktion", München, 1987
31. Feldmann, K.:
Simulation in der Fertigungstechnik
Berlin u.a., Springer Verlag 1988
32. Feldmann, K.:
Montageplanung in CIM
Berlin u.a., Springer Verlag 1992

33. Fiedler, A.; Regenhard, U.:
Mit CIM in die Fabrik der Zukunft ?
Opladen Westdt. Verlag 1991
34. Fox, M.; Long, D.:
Hierarchical planning using abstraction
in: IEE Proceedings – Control Theory and Applications Band 142 (1995) Heft 3, S. 197–210
35. Friedmann, T.:
Integration von Produktentwicklung und Montageplanung durch neue, rechnerunterstützte Verfahren
Karlsruhe, Dissertation, 1989
36. Frühwald, C.:
Analyse und Planung produktionstechnischer Rüstabläufe
Düsseldorf, VDI–Verlag 1990
37. Gehrke, U.; Holland, M.:
CAD–Daten vorhanden – und dann ? (Praxisnahe Analyse der NC–Datengenerierung zur Erstellung eines strukturierten Anforderungsprofils zukünftiger CAD/CAM–Systeme aus Sicht der NC–Programmerstellung
in: VDI–Z 133 (1991), Nr. 8, S. 48–53
38. Germer, H.–J.:
Geometriebasierte technologische Ersatzmodelle für Planungsaufgaben
München u.a., Hanser 1990
39. Habenicht, G.:
Kleben: Grundlagen, Technologie, Anwendungen
Berlin u.a., Springer 1990
40. Hahne, J.:
Erfahrungen und Probleme des Einsatzes von CIM
in VDI–Nachrichten: Ergebnisse einer Befragung, Bochum 1990
41. Hartig, S.:
Rechnergestützte Ablauf– und Kapazitätsplanung in der Instandhaltung mittels Netzstrukturen
Magdeburg, Dissertation, 1993
42. Hartung, S.:
Methoden des Qualitätsmanagements für die Produktplanung und –entwicklung
Aachen, Shaker Verlag 1994

43. Hebbeler, M. B.:
Standardisierung von Ablauf- und Zeitplanung
Köln, Verlag TÜV Rheinland 1989
44. Heeg, G.; Bücken, M.:
Objektorientierte Verhaltensanalyse. Von der Suche nach Objekten
Konferenz-Einzelbericht: Online 94, Neue Wege mit objektorientierten Methoden u. Client/Server-Architekturen, Hamburg, 1994 (6), S. C612.01-612.12
45. Heib, R.; Scheer, A.-W.:
Datenmodelle: Nutzen wiegt hohen Aufwand auf
in: Online Journal für Informationsverarbeitung (1992) Heft 5, S. 43-45
46. Hennings, R.-D.:
Informations- und Wissensverarbeitung. Theoretische Grundlagen wissenschaftlicher Systeme
Berlin, New York, Walter de Gruyter Verlag 1991
47. Heuer, A.:
OO-Datenbanken. Teil1: Datenbanken – relational oder objektorientiert
in: MC – Magazin für Computerpraxis, (1994) Heft 2, S. 86-90
48. Holz, B., F.:
Die Kraftreserven der Fabrik stecken in der Fertigung
in: VDI-Nachrichten Nr. 3 7. Januar 1992, S. 13
49. Kim, B.-S.:
Industrielle Ablaufplanungsprobleme und heuristische Verfahren zu ihrer Lösung
Karlsruhe, Dissertation, 1987
50. Knoop, J.:
Online-Kostenrechnung für die CIM-Planung
Berlin, Schmidt Verlag 1986
51. Köpfer, T.:
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung – ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
Berlin u.a., Springer Verlag 1991
52. Krause, F.-L.; Schlingheider, J.:
Entwickeln und Konstruieren mit wissensbasierten Softwarewerkzeugen – ein Überblick
in: VDI-Bericht 903, Düsseldorf, VDI-Verlag, S. 205-230,
53. Krause, F.-L.; Ciesla, M.; Rieger, E.; Stephan, M.; Ulbrich, A.:
Features als semantische Objekte. Teil 1
in: CAD-CAM Report, Band 13 (1994) Heft 5, S. 80-91

-
54. Kummetsteiner, G.:
3D–Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
Berlin u.a., Springer Verlag 1994
 55. Leisner, E.:
CIM–orientierte Montage
Forschungsbericht Kernforschungszentrum Karlsruhe 1992
 56. Long, J.:
Cognitive ergonomics and human–computer interaction
Cambridge u.a., Cambridge Univ. Press 1989
 57. Lüth, T; Mackay, R.:
Einsatz von CASE–Tools bei der Erstellung von CIM–Systemen. Use of CASE tools in the development of CIM systems
in: Informationstechnik und Technische Informatik, 35 (1993) Heft 1, S. 55–58
 58. Männer, U.:
Der deutsche Software–Markt und die internationale Wettbewerbsfähigkeit deutscher Anbieter
Hamburg Verlag, Weltarchiv 1986
 59. Maihack, S.:
Schnittstellentools für neutrale CAD–Schnittstellen
in: CAD–CAM Report 09/94, S. 59–66
 60. Maßberg, W. (Hrsg.):
Fertigungsinseln in CIM–Strukturen. (CIM–Fachmann)
Berlin u.a., Springer Verlag u.a. 1993
 61. Mayer, C.F.:
Bewertung von Rechnerinvestitionen durch den Vergleich von Wertschöpfungsketten.
Berlin u.a., Springer Verlag 1994
 62. Meerkamm, H.; Bachschuster, S.:
Wissenbasierte Lösungsfindung in der frühen Entwurfsphase durch Integration eines Expertensystems in ein 3D–CAD–System
in: Jahrbuch VDI–EKV, S. 109–126, VDI–Verlag, Düsseldorf 1996
 63. Meyer, E.–C.:
Baumstrukturen als Beschreibungsgrundlage für Objekte in Projektmanagement– und Informationssystemen
in: Projektmanagement, Band 6 (1995) Heft 1, S. 31–39

64. Milberg, J.:
Münchener Kolloquium: Wettbewerbsvorteile durch Stärkung der Integration
Berlin u.a., Springer Verlag 1988
65. Milberg, J.:
Von CAD, CAM zu CIM
Berlin u.a., Springer Verlag 1992
66. Nolting, F.-W.:
Projektierung von Montagesystemen
München Wien, Carl Hanser Verlag 1990
67. Neumann, H. A.:
Objektorientierte Entwicklung von Software-Systemen: Konzepte, Notationen,
Einführung in die praktische Anwendung
Bonn u.a., Addison-Wesley Verlag 1995
68. Neugebauer, U.; Marock, J.; Bujara, G.:
Der Markt für Software, Systeme und DV-bezogene Dienstleistungen in der
Bundesrepublik Deutschland
St. Augustin 1983
69. Nomina, Gesellschaft für Wirtschafts- und Verwaltungsregister (Hrsg.):
ISIS-Firmen-Report, Nomina information services
München Nomina 1991
70. N.N.:
DIN 8593 : Fertigungsverfahren Fügen
1985
71. N.N.:
DIN 8580 E: Fertigungsverfahren, Begriffe - Einteilung
1985
72. N.N.
Auf dem Weg der Integration
in: CAD/CAM 04/94, S. 34-39
73. N.N.:
STEP-Prozessoren: AP214 im Mittelpunkt
in: CAD/CAM 05/94, S. 47-49
74. N.N.
Objektorientierte Datenverwaltung
in: CAD User 09/94, S. 19

-
75. Parthier, U.:
Datenbankführer 1993
IT Verlag für innovative Technologien, Sauerlach 1993
 76. Pascal, F.:
Understanding relational databases with examples in SQL–92
New York u.a., Wiley 1993
 77. Patzina, P.:
Einsatz rechnergestützter Simulationswerkzeuge zur Planung von Produktionssystemen
Würzburg compuTEAM 1993
 78. Peiker, S.:
Entwicklung eines integrierten NC–Planungssystems
Berlin u.a., Springer Verlag 1989
 79. Peters, R.–H.:
Besser im Handstreich: Maschinen werden künftig rundum virtuell entwickelt
in: Die Wirtschaftswoche Nr. 23/30.5.96, S. 81–83
 80. Preissner, A.:
Auf nach Westen: SAP ist nicht zu stoppen
in: Manager Magazin, 11/1995, S. 42–50
 81. Rautenstrauch, C.:
Integration engineering
Bonn u.a., Addison–Wesley 1993
 82. Reichenbächer, J.:
Pflichtenheft und Bewertung von CASE–Tools zur durchgängigen Software–
Erstellung und Software–Dokumentation
Forschungsbericht, Frankfurt VDW 1993
 83. Reinhart, G.; Geuer, A.; Macht, M.:
Integration des Rapid Prototyping in die Produktentwicklung
in: Produktionsautomatisierung – pa, Band 3 (1994) Heft 5,6,16–19
 84. Reinisch, H.:
Planungs– und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung
in Roboterzellen
München Wien, Carl Hanser Verlag 1992
 85. Reinwald, B.:
Workflow–Management in verteilten Systemen
Stuttgart u.a., Teubner Verlag 1993

86. Rentschler, P.:
ISO 9000ff: Bedeutung für den Dienstleistungssektor
in: Office Management 7–8/95, S. 36–42
87. Rudolph, F.N.:
Konfigurierbare Technische Elemente für Konstruktion und Arbeitsplanung.
(Fortschritt–Berichte VDI Reihe 20 Nr. 84), Düsseldorf, VDI Verlag 1993
88. Rumbaugh, J.; Blaha, M.; Premerlai, W.; Eddy, F.; Lorensen, W.:
Object–oriented modeling and design
Englewoods Cliff, Prentice–Hall International Editions, 1993
89. Sachs, K.-H.:
Concurrent Engineering – erfolgreich realisieren mit neuen CAD–Technolo-
gien
in: Simultaneous Engineering, Tagungsbericht zu den 2. Entwicklungsmanage-
menttagen, Giessen, Band 2 (1994), Herborn: Oranien-Verlag, S. 130–144
90. Schäfer, G.:
Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung
München, Wien, Carl Hanser Verlag 1992
91. Schaschinger, H.:
Objektorientierte Analyse und Modellierung
Linz, Dissertation, 1992
92. Schönplflug, W.:
Software–Ergonomie '87 Nützen Informationssysteme dem Benutzer ?
Stuttgart, Teubner Verlag 1987
93. Scholz–Reiter, B.;
CIM–Schnittstellen
München u.a., Oldenbourg Verlag 1991
94. Schramm, W.:
Ein objektorientiertes Metamodell fuer die Software–Entwicklung
Kaiserlautern, Dissertation, 1991
95. Schuhmacher, G.:
Modelle dynamischer Potentiale im Rahmen der industriellen Ablaufplanung
Köln, Dissertation, 1985
96. Schuster, G.:
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
Berlin u.a., Springer Verlag 1992

-
97. Sinz, E.–J.:
Objektmodellierung betrieblicher Informationssysteme
Konferenz–Einzelbericht: Objektorientierte Informationssysteme, IAO–Forum,
Berlin, Heidelberg; Springer 1991, S. 61–80
 98. Soliman, M.:
Rechnerunterstützte Optimierung des Betriebsmittelflusses in flexibel
automatisierten Fertigungen
(Fortschritt–Berichte VDI Reihe 2 Nr. 133), Düsseldorf, VDI–Verlag 1987
 99. Staples, D.:
Assoziativität und featurebasierende Modellierung
in: CAD–CAM Report 10/94, S. 80–86
 100. Stoll, G.:
Montagegerechte Produkte mit featurebasiertem CAD
München, Hanser Verlag 1995
 101. Ulrich, K.:
Parametrisches Konstruieren mit Constraint–Manager
in: F+M, Band 103 (1994), Heft 10, S. 588–590
 102. VDI–Gemeinschaftsausschuß CIM: AK Flexible Montage (Hrsg.)
Rechnerintegrierte Konstruktion und Produktion: Band 8 Flexible Montage
Düsseldorf, VDI–Verlag 1992
 103. Vetter, M.:
Aufbau betrieblicher Informationssysteme
Stuttgart, Teubner Verlag, 1985
 104. Voges, U.:
Software–Diversität und ihre Modellierung
Berlin, Springer Verlag 1989
 105. Warnecke, G.:
Expertensysteme in CIM
Berlin, Springer u.a. 1991
 106. Wendeln–Münchow, D.:
Bei Software bringt weniger Umfang mehr Nutzen
in: Office Management 7–8/95 S. 68–69
 107. Zehnder, C. A.:
Informationssysteme und Datenbanken
Stuttgart, Teubner Verlag 1987

Lebenslauf

Peter Steinwasser

geboren am 23.09.1964 in Neumarkt

ledig

- | | |
|-------------|---|
| 1970- 1974 | Grundschule in Neumarkt |
| 1974 - 1983 | Willibald–Gluck–Gymnasium in Neumarkt |
| 1983 - 1984 | Grundwehrdienst |
| 1984 - 1991 | Studium der Informatik
an der Universität Erlangen-Nürnberg
Abschluß 03/1991 |
| 1991 – 1997 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
an der Universität Erlangen-Nürnberg.
Leiter: Prof. – Dr.-Ing. K. Feldmann |
| 1994 – 1997 | Leitender Ingenieur des Bereiches "Rechnergestützte Pro-
grammierung und Planung" am Lehrstuhl für
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik
an der Universität Erlangen-Nürnberg. |

Reihe Fertigungstechnik Erlangen

Band 1

Andreas Hemberger

Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion durch wissensbasierte Systeme

208 Seiten, 107 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 2

Deflef Classe

Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montagesysteme durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte

194 Seiten, 70 Bilder. 1988. Kartoniert.

Band 3

Friedrich-Wilhelm Nolting

Projektierung von Montagesystemen

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

Kartoniert.

Band 4

Karsten Schlüter

Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen durch den Einsatz der Simulationstechnik

177 Seiten, 97 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 5

Shir-Kuan Lin

Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern

168 Seiten, 46 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 6

Rudolf Nuss

Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität im Fertigungssystem Laserstrahlschneiden

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 7

Wolfgang Scholz

Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen

194 Seiten, 89 Bilder. 1989. Kartoniert.

Band 8

Hans-Jürgen Wißmeier

Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens von Hartmetall-Fließpreßmatrizen

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989. Kartoniert.

Band 9

Rainer Eisele

Konzeption und Wirtschaftlichkeit von Planungssystemen in der Produktion

183 Seiten, 86 Bilder. 1990. Kartoniert.

Band 10

Rolf Pfeiffer

Technologisch orientierte Montageplanung am Beispiel der Schraubtechnik

216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990. Kartoniert.

- Band 11
Herbert Fischer
Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitatssteigerung der rechnerintegrierten Teilefertigung
201 Seiten, 82 Bilder. 1990. Kartonierte.
- Band 12
Gerhard Kleineidam
CAD/CAP: Rechnergestutzte Montagefeinplanung
203 Seiten, 107 Bilder. 1990. Kartonierte.
- Band 13
Frank Vollertsen
Pulvermetallurgische Verarbeitung eines berautektoiden verschleißfesten Stahls
XIII + 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990. Kartonierte.
- Band 14
Stephan Biermann
Untersuchungen zur Anlagen- und Prozediagnostik für das Schneiden mit CO₂-Hochleistungslasern
VIII + 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991. Kartonierte.
- Band 15
Uwe Geißler
Material- und Datenfluß in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991. Kartonierte.
- Band 16
Frank Oswald Hake
Entwicklung eines rechnergestutzten Diagnosesystems für automatisierte Montagezellen
XIV + 166 Seiten, 77 Bilder. 1991. Kartonierte.
- Band 17
Herbert Reichel
Optimierung der Werkzeugbereitstellung durch rechnergestutzte Arbeitsfolgenbestimmung
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991. Kartonierte.
- Band 18
Josef Scheller
Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen für rechnergefhrte Montagezellen
198 Seiten, 65 Bilder. 1991. Kartonierte.
- Band 19
Arnold vom Ende
Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrize
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991. Kartonierte.
- Band 20
Joachim Schmid
Beitrag zum automatisierten Bearbeiten von Keramikgu mit Industrierobotern
XIV + 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991. Kartonierte.
- Band 21
Egon Sommer
Multiprozessorsteuerung für kooperierende Industrieroboter in Montagezellen
188 Seiten, 102 Bilder. 1991. Kartonierte.
- Band 22
Georg Geyer
Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten in der Montage
192 Seiten, 112 Bilder. 1991. Kartonierte.

Band 23

Rainer Flohr

Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik in der Oberflächenmontage (SMT)

186 Seiten, 79 Bilder. 1991. Kartoniert.

Band 24

Alfons Rief

Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen in der Rohkarosseriefertigung

VI + 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991. Kartoniert.

Band 25

Christoph Thim

Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen in der Elektronikmontage durch Simulation

188 Seiten, 74 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 26

Roland Müller

CO₂-Laserstrahlschneiden von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen

141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992. Kartoniert.

Band 27

Günther Schäfer

Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung

195 Seiten, 76 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 28

Martin Hoffmann

Entwicklung einer CAD/CAM-Prozesskette für die Herstellung von Blechblegteilen

149 Seiten, 89 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 29

Peter Hoffmann

**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und -schweißen :
Prozßführung und Systemtechnik in der 3D-Laserstrahlbearbeitung von Blechformteilen**

186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992. Kartoniert.

Band 30

Olaf Schrödel

Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen

180 Seiten, 84 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 31

Hubert Reinisch

Planungs- und Steuerungswerkzeuge zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen

XI + 212 Seiten, 112 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 32

Brigitte Bärnreuther

Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen

XI + 179 Seiten, 71 Bilder. 1992. Kartoniert.

Band 33

Joachim Hutfless

Laserstrahlregelung und Optikiagnostik in der Strahlführung einer CO₂-Hochleistungslaseranlage

175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 34

Uwe Günzel

Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der Produktionsplanung und -steuerung

XIV + 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 35
Bertram Ehmann
**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung auftragsbezogener
Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**
XV + 167 Seiten, 114 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 36
Harald Kolléra
**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems
für das Laserstrahlschneiden**
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993. Kartoniert.

Band 37
Stephanie Abels
**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen
in einem integrierten Simulationssystem**
188 Seiten, 88 Bilder. 1993. Kartoniert.

Band 38
Robert Schmidt-Hebbel
**Laserstrahlbohren durchflußbestimmender
Durchgangslöcher**
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993. Kartoniert.

Band 39
Norbert Lutz
**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe mit
XeCl-Excimerlaserstrahlung**
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994. Kartoniert.

Band 40
Konrad Grampp
**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung an
Steuerungssoftware von SMD-Bestücklinien**
178 Seiten, 88 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 41
Martin Koch
**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung
in der Investitionsgüterindustrie**
169 Seiten, 68 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 42
Armin Gropp
**Anlagen- und Prozeßdiagnostik beim Schneiden mit einem
gepulsten Nd:YAG-Laser**
160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 43
Werner Heckel
**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biege winkelmessung
mit dem Lichtschnittverfahren**
149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 44
Armin Rothhaupt
**Modulares Planungssystem zur Optimierung
der Elektronikfertigung**
180 Seiten, 101 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 45
Bernd Zöllner
Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion
195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 46
Bodo Vormann
Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung komplexer Blechbiegeteile
126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 47
Peter Schnepf
Zielkostenorientierte Montageplanung
144 Seiten, 75 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 48
Rainer Klotzbücher
Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung in flexiblen Fertigungssystemen
156 Seiten, 62 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 49
Wolfgang Greska
Wissensbasierte Analyse und Klassifizierung von Blechteilen
144 Seiten, 96 Bilder. 1995. Kartoniert.

Band 50
Jörg Franke
Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien für räumliche spritzgeossene Schaltungsträger (3-D MID)
196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 51
Franz – Josef Zeller
Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter
190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tabellen. 1995. Kartoniert.

Band 52
Michael Solvie
Zeitbehandlung und Multimedia-Unterstützung in Feldkommunikationssystemen
200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 53
Robert Hopperditzel
Reengineering in der Elektro- und Elektronikindustrie
180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tabelle. 1996. Kartoniert.

Band 54
Thomas Rebhahn
Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung mit Excimerlasern – Systemkomponenten und Verfahrensoptimierungen
148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 55
Henning Hanebuth
Laserstrahlhartöten mit Zweistrahntechnik
157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 56
Uwe Schönherr
Steuerung und Sensordatenintegration für flexible Fertigungszellen mit kooperierenden Robotern
188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 57
Stefan Holzer
Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung
162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 58
Markus Schulz
Fertigungsqualität beim 3D-Laserstrahlschneiden von Blechformteilen
165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 59
Thomas Krebs
Integration elektromechanischer CA-Anwendungen über einem STEP-Produktmodell
198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tabellen. 1996. Kartoniert.

Band 60
Jürgen Sturm
**Prozeßintegrierte Qualitätssicherung
in der Elektronikproduktion**
167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert.

Band 61
Andreas Brand
**Prozesse und Systeme zur Bestückung räumlicher
elektronischer Baugruppen (3D-MID)**
182 Seiten, 100 Bilder, 1997. Kartoniert

Band 62
Michael Kauf
**Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokussparameter einer
CO₂-Hochleistungslaseranlage**
140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tabellen. 1997. Kartoniert

Band 63
Peter Steinwasser
**Modulares Informationsmanagement in der integrierten
Produkt- und Prozeßplanung**
190 Seiten, 87 Bilder, 1997. Kartoniert.