

Lehrstuhl für
Montagesystemtechnik und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

**Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von
Montageanlagen**

Christian Jonas

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. rer.nat. H. Bubb

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann
3. Hon.-Prof. Dr.-Ing., Dr.h.c., Dr.-Ing.E.h. J. Milberg

Die Dissertation wurde am 16.12.1999 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 14.07.2000 angenommen.

Forschungsberichte

iwb

Band 145

Christian Jonas

***Konzept einer durchgängigen,
rechnergestützten Planung
von Montageanlagen***

***herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart***

Herbert Utz Verlag

UTZ

Forschungsberichte iwb

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart
Technische Universität München
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2000

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2000

ISBN 3-89675-870-5

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
Tel.: 089/277791-00 · Fax: 089/277791-01

Geleitwort des Herausgebers

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung. Denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren und Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozeß spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Produktentwicklung über die Planung von Produktionssystemen hin zu den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb*-Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Gunther Reinhart

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand neben meiner Tätigkeit am Institut für Produktionstechnik GmbH (ifp).

Besonders danken möchte ich Herrn Professor Dr.-Ing. J. Milberg sowie Herrn Professor Dr.-Ing. G. Reinhart, dem Leiter des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) an der Technischen Universität München für die wohlwollende Unterstützung und großzügige Förderung, die entscheidend zur erfolgreichen Durchführung dieser Arbeit beigetragen hat.

Herrn Professor Dr. Ing. K. Lindemann, dem Leiter des Lehrstuhls für Konstruktion im Maschinenbau an der Technischen Universität München, danke ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und die engagierte Übernahme des Koreferats.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Prof. Dr.-Ing. C. Maier und Herrn Dipl.-Ing. U. Kohler, Mitglieder der Geschäftsführung des Instituts für Produktionstechnik GmbH, die die Erstellung der vorliegenden Dissertation unterstützten. Sie gaben mir die Möglichkeit, meine Erfahrungen aus der Projektstätigkeit in die vorliegende Arbeit einzubringen.

Schließlich möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des ifp und iwB, insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. J. Böhl, für ihre Unterstützung und die kollegiale Arbeitsweise bedanken. Auch allen ehemaligen Studenten sei ein herzliches Dankeschön ausgesprochen. Dies gilt besonders für die Herrn Dipl.-Ing. D. Rempel und Dipl.-Ing. A. Entholzner, die mich mit ihrem Engagement tatkräftig unterstützt haben.

München, im Juli 2000

Christian Jonas

Für Sonja

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Ziel der Arbeit	3
1.3	Vorgehensweise	3
2	Situationsanalyse.....	5
2.1	Montage	5
2.1.1	Definition und Einordnung	5
2.1.2	Organisationsformen in der Montage	7
2.1.3	Montageanlagen.....	9
2.2	Aufgaben und Zielsetzung der Montageplanung.....	11
2.2.1	Einordnung der Montageplanung	11
2.2.2	Aufgaben der Montageplanung	12
2.3	Methoden zur Montageplanung	20
2.3.1	Konventionelle Methoden	21
2.3.1.1	Methode nach Bullinger.....	21
2.3.1.2	Methode nach REFA	23
2.3.1.3	Methode nach Merz	23
2.3.1.4	Weitere Methoden.....	25
2.3.1.5	Bewertung der konventionellen Planungsmethoden ..	25
2.3.2	Rechnergestützte Methoden und Systeme	27
2.3.2.1	Methode nach Scholz.....	28
2.3.2.2	Methode nach Huck	30
2.3.2.3	Planungssystem CosMonAut.....	32
2.3.2.4	Planungssystem ERGOMAS	35
2.3.2.5	Weitere rechnergestützte Methoden und Systeme.....	36

2.3.2.6	Bewertung der rechnergestützten Planungsmethoden.....	37
2.4	Fazit.....	40
3	Konzeption einer Methode für eine durchgängige Montageplanung	42
3.1	Planung mit unvollständigen und unsicheren Informationen	42
3.2	Intervalle mit kurzen Planungsregelkreisen.....	48
3.2.1	Gliederung des Produktentwicklungsprozesses in Planungsintervalle.....	48
3.2.2	Aufbau kurzer Planungsregelkreise	52
3.3	Durchgängige Planung.....	53
3.3.1	Durchgängige Planung aus Sicht des zeitlichen Ablaufs	54
3.3.2	Durchgängige Planung aus hierarchischer Sicht der digitalen Fabrik	58
3.4	Einfache Bearbeitung von Alternativen, Varianten und Versionen	60
3.4.1	Definition von Alternativen, Varianten und Versionen.....	61
3.4.2	Produktalternativen, -varianten und -versionen.....	61
3.4.3	Planungsalternativen, -varianten und -versionen.....	64
3.5	Reduzierung des Planungsaufwandes	66
3.5.1	Vermeidung redundanter Datengenerierung.....	66
3.5.2	Integration stark vereinfachter Anwendungssysteme in die Planungsumgebung.....	67
3.5.3	Übernahme bereits existierender Planungsinhalte.....	68
3.5.4	Standardisierung	69
3.6	Zusammenfassung.....	70

4 Die Datenmodellierungssprache "Unified Modeling Language" UML	72
4.1 Vorstellung der UML.....	72
4.2 Das Klassenmodell der UML.....	75
5 Datenmodell für eine durchgängige Montageplanung	79
5.1 Produkt.....	79
5.1.1 Anbindung an die Bauteilkonstruktion.....	80
5.1.2 Produktstruktur in Montagereihenfolge.....	85
5.1.3 Der Arbeitsvorrat zur Gewährleistung eines Änderungsmanagements.....	86
5.1.4 Handhabung von Produktalternativen und -varianten	88
5.2 Vorgang.....	89
5.2.1 Hierarchische Struktur	90
5.2.2 Montageablauf	91
5.3 Verbindungsinformationen	93
5.4 Ressource	96
5.4.1 Hierarchische Struktur	96
5.4.2 Layout	98
5.4.3 Der Arbeitsvorrat zur Gewährleistung eines Änderungsmanagements.....	100
5.5 Das Gesamtmodell	102
5.5.1 Zusammenfassung der einzelnen Klassen zum Gesamt- modell	102
5.5.2 Durchgängige Planung über alle Ebenen des Datenmodells ...	104
5.5.3 Abbildung von Planungsalternativen, -varianten und -versionen.....	108
5.6 Anbindung der Fabrikplanung	112

5.7 Zusammenfassung.....	114
6 Funktionen zur Entlastung des Planers	115
6.1 Automatismen für die Erstellung und Überprüfung der Planungs- daten	115
6.1.1 Automatische Erstellung von Planungsinhalten	116
6.1.2 Überprüfung der Planungsinhalte	118
6.2 Übernahme bestehender Planungsinhalte	118
6.2.1 Verwendung von Bibliotheken	118
6.2.2 Übernahme kompletter Planungsinhalte.....	120
6.3 Graphische Visualisierung der Konstruktionsinformationen	120
6.3.1 Visualisierung von Bauteilgeometrien	121
6.3.2 Visualisierung von Verbindungsinformationen.....	125
6.3.3 Visualisierung von Fertigungsmittelgeometrien	126
6.3.4 Planungsunterstützung mit Visualisierung	127
6.4 Layoutbasierte Montageplanung.....	129
6.4.1 Planungsunterstützung mit layoutbasierter Planungs- oberfläche	129
6.4.2 Voraussetzungen für eine layoutbasierte Montageplanung	133
6.5 Grafisch unterstützte Planung der Montagevorgänge.....	135
6.6 Integration bzw. Anbindung von Berechnungs- und Simulationssystemen.....	138
6.6.1 Integration stark vereinfachter Systeme in die Arbeits- umgebung des Planers	138
6.6.2 Anbindung eigenständiger Systeme über Schnittstellen	144
6.7 Erstellung von Arbeits- und Prüfanweisungen	147
6.8 Zusammenfassung.....	148

7 Anwendung des Planungsvorgehens in einem Beispielunternehmen	150
7.1 Aufgabenstellung des Beispiels	150
7.2 Durchführung der Planung.....	152
7.2.1 Planungsphase "grob"	153
7.2.2 Planungsphase "mittel"	156
7.2.3 Planungsphase "fein"	158
7.3 Überprüfung auf Zielerfüllung.....	160
8 Zusammenfassung	163
9 Literatur.....	165

Abkürzungsverzeichnis

2D	zweidimensional
3D	dreidimensional
BG	Baugruppe
BT	Bauteil
BM	Betriebsmittel
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Planning
CAPE	Computer Aided Production Engineering
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CE	Concurrent Engineering
CIM	Computer Integrated Manufacturing
DIN	Deutsches Institut für Normung
DMU	Digital Mockup
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
ET	Einzelteil
IGES	Initial Graphics Exchange Spezification
ISO	International Organisation for Standardization
MPM	Metra Potential Method
MTM	Method of Time Measurement

NC	Numerical Control
PC	Personal Computer
PDM	Produkt-Daten-Management
PPDM	Produkt- und Prozeß-Daten-Management
PPS	Produktionsplanung und Steuerung
SE	Simultaneous Engineering
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein deutscher Ingenieure e. V.
WMS	Wissens-Management-System

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Ausgangssituation

Der Trend zur industriellen Globalisierung stellt die Unternehmen vor einen steigenden Wettbewerbsdruck. Eine Festigung oder Verbesserung der Marktposition kann neben der Optimierung der Wettbewerbsfaktoren Kosten und Qualität, besonders durch innovative Produkte erreicht werden [Milberg 1997]

Diese Situation wird durch die jüngsten Meldungen der Wirtschaft bestätigt. So können sich Unternehmen mit neuen, innovativen Produkten am Markt durchweg besser behaupten als Unternehmen mit älteren Produktlinien [Eidenmüller 1999, Ruess 1999]. Nach Einschätzung des Präsidenten des Verbandes der deutschen Automobilindustrie "(...) ersetzen heute die Produktimpulse sogar die Marktimpulse (...)" [Gottschalk 1998].

Die Erfolge in der Industrie sind nicht zuletzt einer steigenden Anzahl von Produktneuentwicklungen in den vergangenen Jahren zu verdanken. Um diese positive Entwicklung aufrecht zu erhalten, müssen die Produktlebenszyklen reduziert und Innovationen sowie sich verändernde Marktanforderungen schnell umgesetzt werden [Reinhart u. a. 1998, Westkämper, 1999].

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, muß die Zeit von der Produktidee zur Markteinführung (Time-to-Market) stark verkürzt werden, damit einerseits Innovationen zeitnah in ein marktfähiges Produkt umgesetzt werden können und andererseits die ansteigende Zahl von Produktentwicklungen bewältigt werden kann [Milberg u. a. 1996].

Eine Verkürzung der Produktentwicklungszeit kann über verschiedene Maßnahmen erreicht werden. Die wesentlichen Werkzeuge hierbei sind die Automatisierung und die Parallelisierung der einzelnen Prozesse [Wildemann 1993].

Die Parallelisierung von Prozessen, als Simultaneous Engineering bzw. Concurrent Engineering bezeichnet, wird, mit den daraus neu gestalteten

Abläufen, bereits in vielen Unternehmen eingesetzt [Lincke 1995, Spur & Krause 1997]. Die Erfolgsmeldungen sind unterschiedlich. Einerseits konnte in den letzten Jahren die durchschnittliche Produktentwicklungszeit verkürzt werden, andererseits häufen sich auch Meldungen über eine Verschiebung des Produktionseinsatzes oder Rückrufaktionen aufgrund von funktionellen oder qualitativen Mängeln.

Die Gründe für die negativen Ergebnisse basieren zu einem hohen Anteil auf einer zunehmenden Überforderung der Konstrukteure und Fertigungsplaner. Steigende Produktkomplexität bei gleichzeitiger Verkürzung der Produktentwicklungszeit lassen die bisherigen Abläufe, mit Prototypenbau und anschließendem Versuch zur Absicherung der Planungsergebnisse, nicht mehr zu [Obermann 1999, Rose 1997, Spur & Krause 1997].

In den konstruktiven Bereichen wird deshalb zunehmend auf den virtuellen Prototypenbau gesetzt. Methoden wie Digital Mockup (DMU) ermöglichen die virtuelle Untersuchung der Produkteigenschaften an digitalen Prototypen.

Eine vergleichbare Unterstützung für die Montageplanung ist derzeit kaum bzw. nur in Form von losgelösten Spezialanwendungen (z. B. Robotersimulation) verfügbar. Aufgrund der fehlenden durchgängigen Unterstützung und der unzureichenden Integrationsfähigkeit hat sich der industrielle Einsatz dieser Systeme bislang nur zögernd durchsetzen können [Scharf 1998, Simon 1994].

Die Planung von automatisierten Montageanlagen ist von der fehlenden Unterstützung in besonderem Maße betroffen, da einerseits der Planungsbeginn von dem Reifegrad der Konstruktionsdaten abhängig ist und andererseits sich der Planungsabschluß für die Realisierung von komplexen Anlagen kaum verzögern läßt. Gleichzeitig bedürfen jedoch die Planungsergebnisse, für den Aufbau und Betrieb der Anlagen, einer sehr hohen Genauigkeit.

1.2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, eine Methode für die Planung von Montageanlagen zu erarbeiten, die einen verkürzten Produktentstehungsprozeß unterstützt. Die Planungsmethode soll im Hinblick auf eine zukünftige "digitale Fabrik", d. h. einen vollständig und durchgängig rechnergestützten Produktentstehungsprozeß, gestaltet werden.

Weiterhin soll ein EDV-System konzipiert werden, das den neu gestalteten Planungsablauf effektiv unterstützt. Die wesentlichen Anforderungen sind hierbei:

- Unterstützung des gesamten Planungsprozesses, d. h. aller Planungsaufgaben
- Gewährleistung einer verkürzten Produktentwicklungszeit
- Integrationsfähigkeit in die Produktentwicklungsprozesse
- einfache Anwendbarkeit des rechnergestützten Planungsablaufs

1.3 Vorgehensweise

Zunächst werden die Organisationsformen der Montage analysiert und die prinzipiellen Aufgaben der Montageplanung dargelegt (Kapitel 2). Anschließend werden konventionelle sowie rechnergestützte Montageplanungsmethoden vorgestellt und deren Planungsunterstützung anhand der prinzipiellen Montageaufgaben auf Vollständigkeit geprüft. Die Defizite der bestehenden Methoden werden als Anforderung für diese Arbeit formuliert (Bild 1-1).

In Kapitel 3 wird das Konzept für einen durchgängigen, rechnergestützten Planungsablauf erarbeitet und die detaillierten Anforderungen an eine Rechnerunterstützung abgeleitet.

In den folgenden Kapiteln wird ein Planungssystem entworfen, daß die aufgestellten Anforderungen erfüllt und den durchgängigen Planungsablauf unterstützt. Hierzu wird in Kapitel 5 das Datenmodell des Planungssystems mit der in Kapitel 4 vorgestellten Modellierungssprache dargelegt. Weiterhin wird

die Abbildung der Planungsinhalte in dem Datenmodell sowie die Anbindung an die Planungsinhalte anderer Produktentwicklungsprozesse aufgezeigt.

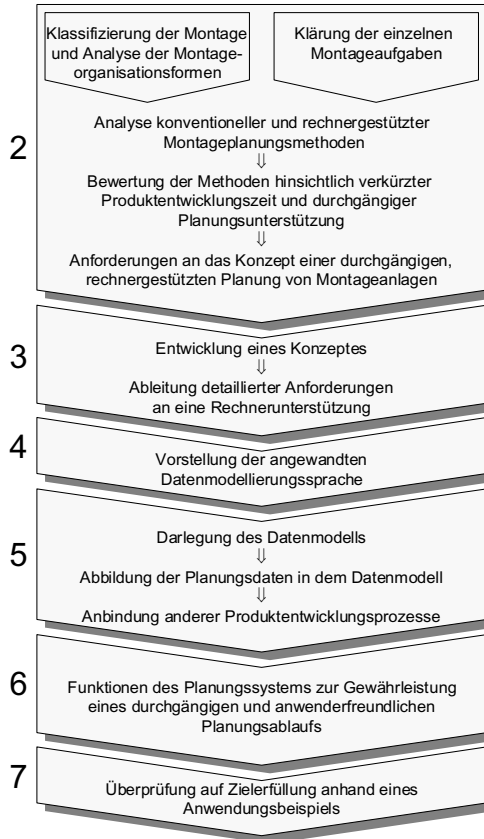


Bild 1-1: Aufbau und logische Vorgehensweise dieser Arbeit

Die geforderte Durchgängigkeit der Montageplanung sowie spezielle Funktionen für eine einfache Systembedienung werden in Kapitel 6 vorgestellt.

In Kapitel 7 wird anhand eines Praxisbeispiels die Zielerfüllung des rechnergestützten Planungskonzeptes aufgezeigt.

Kapitel 8 faßt die durchgeführten Arbeiten zusammen.

2 Situationsanalyse

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Montage sowie die Aufgaben der Montageplanung erläutert. Anhand der Planungsaufgaben werden herkömmliche und rechnergestützte Planungsmethoden vorgestellt und bezüglich einer Unterstützung kurzer Produktentwicklungszeiten bewertet. Abschließend werden auf Basis der festgestellten Defizite bestehender Methoden die Anforderungen an ein zukünftiges Planungsvorgehen abgeleitet.

2.1 Montage

2.1.1 Definition und Einordnung

Der Kreislauf aus Produktentstehung und Produktmarkt beginnt und endet beim Kunden [*Spur & Krause 1997*]. Er gliedert sich in den Produktions- und Vertriebsbereich (Bild 2-1). Die Produktentwicklung ist bei vielen Unternehmen und Schulen als eigenständiger Bereich der Produktion vorangestellt. In der hier dargestellten Betrachtungsweise nach *Huck [1990]* ist die Konstruktion, mit der Produktentwicklung von der Idee bis zur detaillierten geometrischen Gestaltung, neben Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Montage der Produktion zugeordnet.

Die Arbeitsvorbereitung übernimmt die Planung für die Fertigung und die Montage des Produktes. Darin eingeschlossen ist der Entwurf der Fertigungs- und Montageanlagen. In der Fertigung werden die Einzelteile des Produktes hergestellt, die anschließend in der Montage zusammengesetzt werden. Das fertige Produkt gelangt über den Vertrieb zum Kunden. Am Markt werden, z. B. über den Gebrauch des Produktes, neue Anforderungen gestellt, die wiederum zu neuen Produktideen führen.

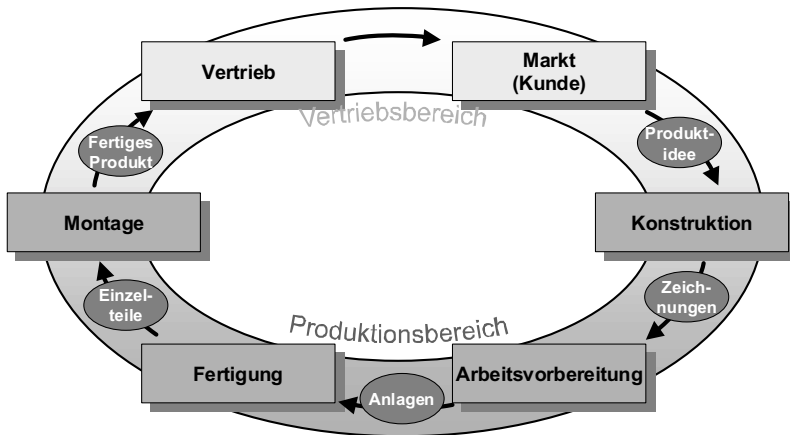


Bild 2-1: Kreislauf von Produktentstehung und Produktmarkt in Anlehnung an Spur & Krause [1997]

Die Montage verkörpert den Prozeß der Produktion, bei dem aus Einzelteilen, formlosen Stoffen (z. B. Kleber) und vormontierten Baugruppen ein fertiges Produkt entsteht [Classe & Scholz 1987, Spur 1988]. Unter der Montage werden somit alle Vorgänge betrachtet, die notwendig sind, um einen geometrisch bestimmten Körper zusammenzubauen. Die Montagefunktionen lassen sich nach primären und sekundären Funktionen unterscheiden (Bild 2.2). Primärfunktionen sind hierbei Montagefunktionen, die direkt zum Montagefortschritt beitragen.

Die Montage stellt den letzten Schritt bei der Herstellung eines Produktes dar, in der die Ergebnisse aller vorhergehenden Abschnitte des Produktionsprozesses zusammengefaßt werden (Bild 2-1). Dies hat zur Folge, daß fast alle technischen Änderungen, die in einem vorgelagerten Produktionsbereich durchgeführt werden, Auswirkungen auf die Montage haben. Hieraus entsteht die Forderung nach einer hohen Flexibilität der Montageanlagen, um auf Änderungen einfach und schnell reagieren zu können [Helberg 1987, Hesse 1993]. Sie wird nach folgenden Kriterien unterschieden [Schlaich & Kaufmann 1990]:

- Produktflexibilität, so daß gleichzeitig oder nebeneinander verschiedene Produktvarianten und -typen montiert werden können

- Stückzahlflexibilität, so daß auf wechselnde Anforderungen des Marktes schnell reagiert werden kann
- Störungsflexibilität, mit der Produktionsausfälle durch Maschinenstillstand oder fehlende Teile minimiert werden können
- Planungsflexibilität, damit auf denselben Maschinen verschiedene Montagevorgänge durchgeführt werden können und so der notwendige Planungsaufwand reduziert wird

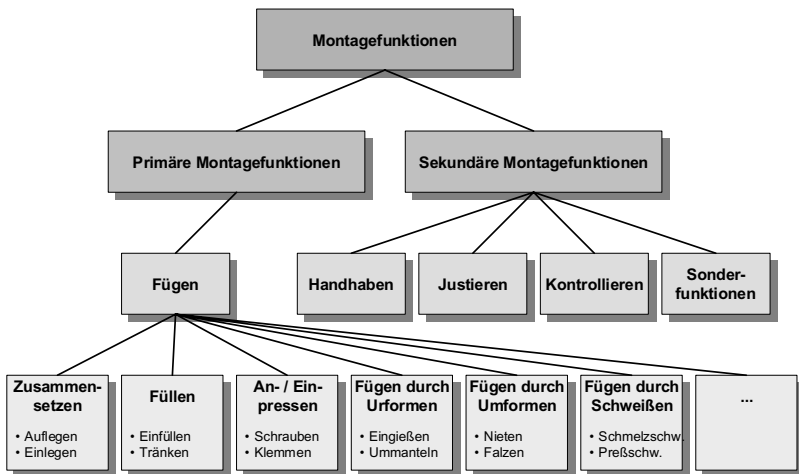


Bild 2-2: Hierarchie der Montagefunktionen nach [DIN 85 933]

2.1.2 Organisationsformen in der Montage

Die Organisationsform legt die technisch organisatorischen Rahmenbedingungen der Montage fest. Für die Gliederung der Organisationsformen können folgende Aspekte herangezogen werden [Hesse 1993]:

- räumliche Anordnung
- zeitliche Bindung des Materialflusses

- Umfang und Art der Arbeitsteilung
- Bewegungszustand des Objektes während der Montage

Entsprechend dieser Kriterien lassen sich verschiedene Organisationsformen unterscheiden:

Einzelplatzmontage

Die vollständige Montage eines Erzeugnisses oder einer Baugruppe erfolgt an einem ortsgebundenen Montageplatz [*Bullinger u. a. 1993, Zülch 1996*].

Baustellenmontage

In Analogie zu einer Baustelle wird das Montageprodukt stufenweise am Einsatzort des Erzeugnisses zusammengesetzt [*Bullinger u. a. 1993*]. Die Montage erfolgt in mehreren Schritten durch teilweise unterschiedliche Monteure [*Hesse 1993*].

Werkstattmontage

Die Montage erfolgt stufenweise an räumlich zusammengefaßten Montageplätzen, die nach dem Verrichtungsprinzip arbeiten. Das Montageprodukt wird jeweils in die nächste "Werkstatt" weiter transportiert [*Bullinger u. a. 1993*].

Reihenmontage

Die Montagestationen sind entsprechend dem Montageablauf angeordnet [*Nolting 1988*]. Es besteht keine direkte zeitliche Kopplung zwischen den Stationen im Montageablauf.

Fließmontage

Der Unterschied zur Reihenmontage ist die zeitliche Abhängigkeit der einzelnen Montagestationen [Hesse 1993, Tzafestas 1997]. Es wird zwischen Fließmontagen mit und ohne Taktzeitvorgaben unterschieden [Bullinger u. a. 1993].

2.1.3 Montageanlagen

Montageaufgaben können manuell, mechanisiert, automatisiert und automatisch ausgeführt werden [Hesse 1993]. Die Einrichtungen für die Durchführung der Montageaufgaben werden als Montageanlagen bezeichnet. Im allgemeinen werden darunter die Maschinen und Automaten für die automatisierte bzw. automatische Montage verstanden. Die Montageanlage schließt aber auch Einrichtungen ein, bei denen teilweise oder ausschließlich manuell montiert wird [Warnecke 1996].

Mit Robotern automatisierte Montageanlagen werden aufgrund der flexiblen Einsatzmöglichkeit des Roboters als "flexible Montageanlagen" bezeichnet [Sawlik 1999]. "Hybride Montageanlagen" sind Montageanlagen mit einer Arbeitsteilung zwischen Robotern und Monteuren [Huck 1990, Lotter 1998]. Vielfach werden die Montageanlagen auch als Montagesysteme bezeichnet. Meist ist ein Montagesystem jedoch eine Zusammenfassung von mehreren Montageanlagen [Helberg 1987, Lotter 1991, VDMA 1990].

Die Montagezelle ist die kleinste autonome Einheit eines Montagesystems [Kleineidam 1990, Park 1992, Rockland 1995]. Zu ihr gehören Handhabungs- bzw. Bewegungseinrichtungen, Werkzeuge, Greifer und sonstige Bearbeitungssysteme sowie Überwachungs- und Kontrollelemente. Die Montagezelle kann wiederum in einzelne Montagestationen untergliedert werden. Montagestationen bilden jedoch keine selbständigen Einheiten [Brandimarte 1999].

Ein Montagezentrum ist eine Kombination von Montagezellen nach dem Prinzip der Reihenmontage [Huck 1990]. Ebenso wird auch eine Montagezelle in Verbindung mit einem Lager als Montagezentrum bezeichnet [Hesse 1993].

Eine Montagelinie ist eine Anordnung mehrerer Montagestationen nach dem Prinzip der Fließmontage [Huck 1990].

In Bild 2-3 ist die Hierarchie von der einzelnen Station bis zum kompletten System dargestellt. Weiterhin wird die Abgrenzung von Montagelinie und Montagezentrum aufgezeigt.

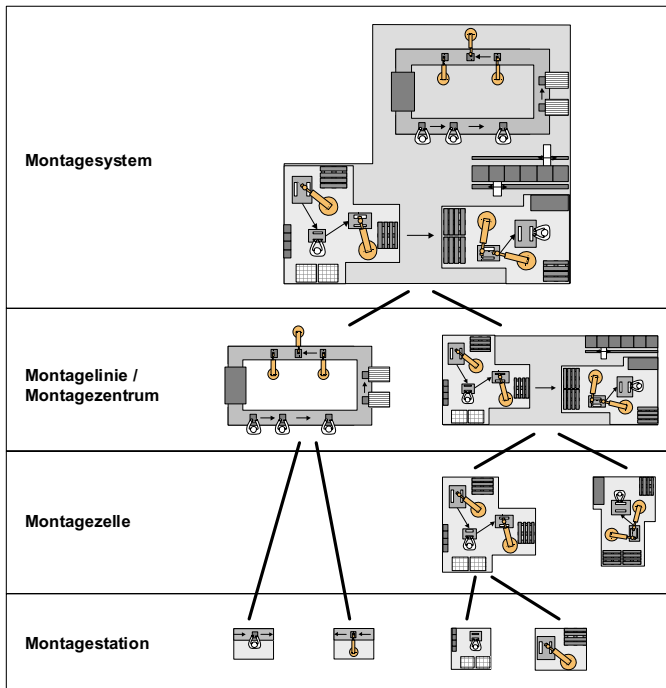


Bild 2-3: Hierarchische Gliederung von Montageanlagen

Diese Hierarchie wird meist bei der Montageplanung eingesetzt, um komplexe "Systeme" auf überschaubare "Stationen" zu gliedern und anschließend auszuplanen.

2.2 Aufgaben und Zielsetzung der Montageplanung

2.2.1 Einordnung der Montageplanung

Die Arbeitsvorbereitung bildet in dem Kreislauf von Produktentstehung und Produktmarkt das Bindeglied zwischen Konstruktion und Fertigung. Sie wird in die Teilbereiche Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung gegliedert. Die Arbeitsplanung umfaßt alle Planungsaufgaben, die eine fertigungsgerechte Herstellung des Erzeugnisses sichern. Die Montageplanung ist folglich neben der Fertigungs- und der Materialplanung ein Teilbereich der Arbeitsplanung (Bild 2-4).

Die Aufgabe der Arbeitssteuerung ist die termin-, kapazitäts- und mengenbezogene Planung und Steuerung der Fertigungs- und Montageprozesse [Eversheim 1997].

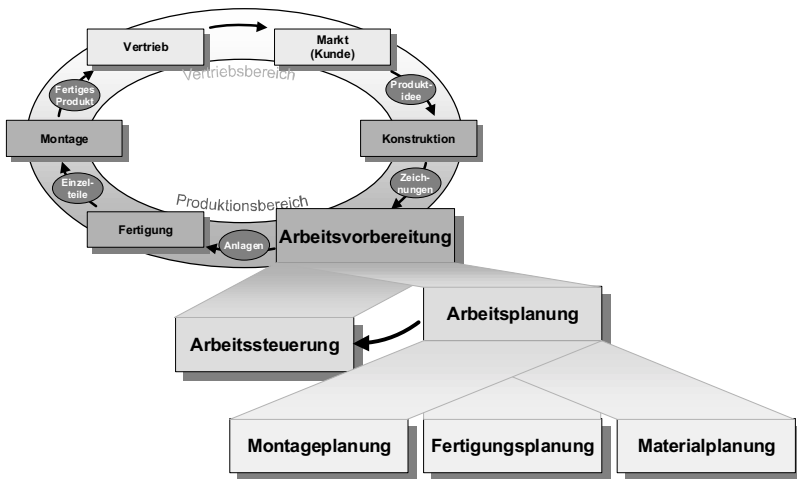


Bild 2-4: Einordnung der Montageplanung in den Kreislauf von Produktentstehung und Produktmarkt nach Spur & Krause [1997]

Die Montageplanung befindet sich in dem Kreislauf der Produktentstehung direkt nach der Konstruktion und ist somit im wesentlichen von deren Ergebnissen

abhängig. Aus der zeitlichen Sicht dieser Abhängigkeit läßt sich die Montageplanung in zwei unterschiedliche Formen gliedern [Kettner 1987]:

- Montageplanung bei bereits abgeschlossener Konstruktion
- Montageplanung parallel zur Konstruktion

Eine Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung wird vor allem zur Reduzierung der Produktentwicklungszeit bei Neuentwicklungen und zur verstärkten Einflußnahme der Montageplanung in den Konstruktionsprozeß vorangetrieben [Bullinger & Warschat 1995, Ranky 1994, Spur & Krause 1997]. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf der Arbeit nur dieser Fall behandelt.

2.2.2 Aufgaben der Montageplanung

Die Montageplanung ist ein komplexer, mehrstufiger Prozeß. Aufgrund der verschiedenartigen Ein- und Ausgangsinformationen der Montageplanung (Bild 2-5), sind die einzelnen Planungsprozesse mit vielen Bereichen des betrieblichen Umfeldes (z. B. Produktkonstruktion, Personalwesen, Vertrieb) eng verzahnt [Bullinger u. a. 1986, Schlaich & Kaufmann 1990].



Bild 2-5: Gliederung des Informationsumfeldes der Montageplanung (nach [Kettner 1987])

Das Bild 2-5 zeigt die Vielfalt der Informationsarten, die für die Montageplanung benötigt werden. Eine genaue Differenzierung zwischen Eingangs- und Ausgangsinformationen ist hierbei schwierig. Meist werden die Informationen sowohl als Eingangs- wie auch als Ausgangsinformationen verwendet [Meininger 1994].

Ebenso wie die Informationen sind auch die einzelnen Planungsschritte der Montageplanung, welche die Informationen verarbeiten bzw. erarbeiten, sehr unterschiedlich. Dementsprechend gibt es auch in der Literatur abweichende Definitionen über deren Inhalt und Ablauf (vgl. Kapitel 2.4). Aus diesem Grund wird im folgenden eine Zusammenstellung der in der Literatur dargestellten Planungsschritte sowie ein prinzipieller Ablauf aufgezeigt (Bild 2-6).

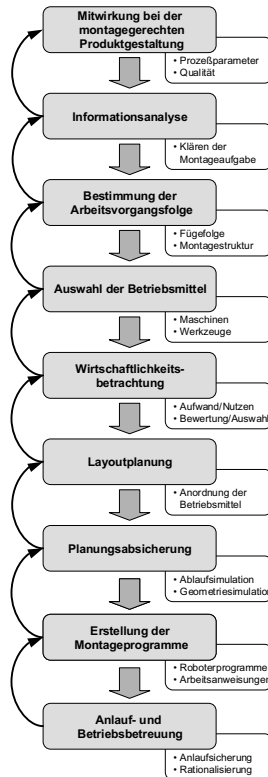


Bild 2-6: Prinzipieller Ablauf der Montageplanung

Der in Bild 2-6 aufgezeigte Ablauf der Montageplanung stellt lediglich eine prinzipiell mögliche Reihenfolge der Planungsschritte dar. Diese werden meist parallel und in mehreren Iterationsschleifen, in einer jeweils feineren Detaillierungsstufe, durchlaufen. Die einzelnen Planungsschritte werden nachfolgend diskutiert:

Mitwirkung bei der montagegerechten Produktgestaltung

Die Gestaltung der Produkte hat weitreichende Auswirkungen auf den gesamten Montageablauf. Aus diesem Grund sollten in der Produktkonstruktion verstärkt die Fertigungs- und Montageaspekte berücksichtigt werden [Barthelmeß 1987, Boothroyd & Dewhurst 1983, Ehrlenspiel 1995]. Da die Funktionsdefinition in den ersten Konstruktionsphasen festgelegt wird, sollte die Einflußnahme bzw. die Mitwirkung der Montageplanung bereits bei der Aufstellung des Pflichtenheftes erfolgen [Debuschewitz 1999, Linner 1995].

Allgemeine Gestaltungsrichtlinien sind u. a. [Ehrlenspiel 1992]:

- Reduzierung der Anzahl der Einzelteile
- Verwendung vereinheitlichter Einzelteile (Standard-, Normteile)
- einfache Fügetechniken (z. B. vertikale oder horizontale Fügebewegungen, Füge- und Zentrierhilfen)
- einfache Verbindungstechniken (z. B. Schnappverbindungen, selbstschneidende Schrauben)
- Erleichterung des Zuführens, Ordners und Handhabens der Einzelteile (z. B. symmetrische Einzelteilgestaltung, Positionierhilfen, geeignete Greifflächen)

Bei der Produktgestaltung ergeben sich meist verschiedene Lösungsalternativen, die neben der reinen funktionellen und wirtschaftlichen Betrachtung im Rahmen der Produktmitgestaltung auch bezüglich der Montagefreundlichkeit bewertet werden.

Eine Mitwirkung bei der montagegerechten Produktgestaltung kann nur bei noch nicht abgeschlossenen Konstruktionsumfängen erfolgen. Damit wird die Forderung nach einer Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung bestärkt.

Informationsanalyse

Die Informationsanalyse beinhaltet die Betrachtung und Auswertung aller Eingangsinformationen der Montageplanung (Bild 2-5). Da das zu montierende Produkt die Ausgangsbasis der Montageplanung ist, liegen die Produktinformationen im Fokus der Betrachtung [*Bullinger u. a. 1986*].

Ziel der Informationsanalyse ist die Erstellung eines aufgabenimmanenten und lösungsneutralen Pflichtenheftes, das alle benötigten Informationen der weiteren Planungsschritte enthält [*Schäfer 1991*].

Die primäre Montageaufgabe wird auf Basis der technischen und strukturbezogenen Produktinformationen abgeleitet. Hierzu gehören u. a. folgende Tätigkeiten:

- Klassifizierung der Fügeverbindungen
- Abschätzung der Automatisierungsmöglichkeiten
- Analyse elementarer Montagevorgänge

Für eine vollständige Klärung der Montageaufgabe müssen die Rahmenbedingungen der Planung festgelegt werden. Die dafür benötigten Informationen sind in Bild 2-5 unter Potentialinformationen zusammengefaßt. Es muß eine Abstimmung bzw. Festlegung zu folgenden Themen erfolgen:

- Projektterminplan
- zur Verfügung stehenden Fläche
- vorgegebener Automatisierungsgrad
- genehmigtes Investitionsvolumen
- etc.

Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge

Die Arbeitsvorgangsfolge ist die Reihenfolge der Verrichtungen, um einen Stoff oder Körper über schrittweises Verändern der Form und/oder Stoffeigenschaften vom Rohzustand in den Fertigzustand zu überführen [Eversheim 1997].

In bezug auf die Montageplanung ist die Arbeitsvorgangsfolge die Reihenfolge der Montagevorgänge [Crama u. a. 1994]. Damit ist auch die Fügefolge der Einzelteile und Baugruppen festgelegt. Da die Montagevorgänge von den einzelnen Stationen durchgeführt werden, wird hiermit auch der Ablauf und die Arbeitsinhalte der Montagestationen definiert. Folglich werden durch die Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge auch die Eigenschaften der Betriebsmittel und damit ein Großteil der Kosten festgelegt.

Da diesem Arbeitsschritt somit eine wesentliche Bedeutung zukommt, werden in der Regel verschiedene Lösungsalternativen erarbeitet, die nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien bewertet werden [Deutschländer 1989].

Ziel ist es also, mit der Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge eine, für die gestellte Montageaufgabe, geeignete Struktur zu finden. Auf diese Weise kann für jeden organisatorischen Teilabschnitt ein Anforderungsprofil für die Betriebsmittel abgeleitet werden.

Auswahl der Betriebsmittel

Betriebsmittel sind alle beweglichen und unbeweglichen Mittel, die zur betrieblichen Leistungserstellung beitragen. Dies sind [Xu 1990]:

- Maschinen,
- Werkzeuge,
- Vorrichtungen sowie
- Förder- und Lagermittel.

Die Auswahl der Betriebsmittel erfolgt auf Basis des, in dem vorangegangenen Arbeitsschritt erstellten, Anforderungsprofils. Die Angebote verschiedener Her-

steller und unterschiedliche technische Daten der Anlagen ergeben meist mehrere Lösungsalternativen.

Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist eine vollständige Auflistung der benötigten Montagekomponenten sowie die funktionale Zuordnung der Betriebsmittel zu den Montageaufgaben.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In diesem Arbeitsschritt werden die verschiedenen Lösungsalternativen für die Montageaufgabe unter Betrachtung der wirtschaftlichen Aspekte bewertet und gegenübergestellt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung stellen die Basis für die Auswahl der weiter zu verfolgenden Planungsalternativen dar [Bochtler & Eversheim 1995].

Für die Bewertung der Planungsalternative wird der Aufwand dem voraussichtlichen Nutzen gegenübergestellt. Zum Aufwand zählen hierbei Investitions- und Betriebskosten der Anlage. Unter dem Nutzen wird vornehmlich die Produktionskapazität betrachtet. Ausfallsicherheit und Flexibilität der Anlage sowie Qualität der Montagevorgänge stellen zusätzliche Kriterien dar. Diese werden jedoch, aufgrund der schwer monetären Bewertbarkeit, vielfach vernachlässigt [Hering & Draeger 1999, Spur & Krause 1997].

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung findet, von Beginn der Planung an bis nach Realisierung der Montageanlage, regelmäßig statt. Die Daten zur Berechnung werden dabei zunehmend genauer. Nicht wirtschaftliche Lösungsalternativen scheiden somit frühzeitig aus und werden nicht weiter verfolgt.

Layoutplanung

Die Layoutplanung für den Bereich der Montageplanung ist die grafische Anordnung der Betriebsmittel auf einer gegebenen Fläche oder in einem gegebenen Raum unter Berücksichtigung der relevanten Kriterien [Bullinger u. a. 1986]. Diese sind [Aggteleky 1982, Kettner 1984]:

- gute Flächen und Raumaufteilung,
- günstiger Materialfluß,
- menschengerechte Arbeitsbedingungen sowie
- hohe Flexibilität der Anlagen und Einrichtungen.

Je nach Gewichtung dieser Kriterien führen unterschiedliche Layoutalternativen zu einer optimalen Lösung.

Bezüglich des Detaillierungsgrades wird zwischen Grob- und Detaillayout unterschieden [Kettner 1984]. Für die Layoutplanung automatisierter Montageanlagen wird ein immer detaillierteres Ergebnis gefordert, da der Mensch als flexibles Element nicht mehr in den Prozeß eingreifen soll und somit kleinste Planungsfehler weitreichende Auswirkungen haben.

Die Layoutplanung wird den Verfahren der Fabrikplanung zugeordnet. Das Layout einer Fabrik resultiert aus dem Gebäude-, Installations- und Anlagenlayout. Hierzu werden die einzelnen Layouts der Montage- und Fertigungsbereiche unter Berücksichtigung der erforderlichen Verkettung zu einem Fabriklayout zusammengeführt [Huck 1990].

Planungsabsicherung

In diesem Arbeitsschritt werden die Ergebnisse der vorangegangenen Planungsschritte durch Einsatz von Simulationstechniken, d. h. durch die Nachbildung dynamischer Prozesse in einem experimentierfähigem Modell, überprüft [VDI-3633 1993]. Bei den in der Montageplanung eingesetzten Simulationstechniken wird zwischen der:

- dynamische Ablaufsimulation und
- Geometriesimulation bzw. Bewegungssimulation

unterschieden [Lehmann 1997, Noche 1993].

Die Ablaufsimulation wird in der Montageplanung zur Klärung der dynamischen Abhängigkeiten der Produktions- und Logistikprozesse (z. B. Pufferdimensionierung) eingesetzt [Abels 1993, Kuhn 1993, Wiendahl 1990].

Die Geometrie- bzw. Bewegungssimulation ermöglicht vielfältige Untersuchungsbereiche. Beispiele hierfür sind: Einbausimulation [AnySIM 1997, Cenit 1999], Robotersimulation [Cenit 1999, Tecnomatix 1998], NC-Programmsimulation [Hagen 1988] und Ergonomieuntersuchungen [Geyer 1997, Kummelsteiner 1994].

Neben der reinen Planungsabsicherung werden in der Montageplanung die Simulationstechniken vermehrt auch zur Planungsunterstützung, d. h. Gestaltung und Optimierung, herangezogen [Abels 1993, Huck 1990, Tecnomatix 1998]. Der Einsatz von Simulationstechniken erfolgt damit nicht nur an der aufgezeigten Position von Bild 2-6 sondern zunehmend parallel zu fast allen Planungsphasen.

Erstellung der Montageprogramme

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist die Erstellung von Unterlagen und Programmen zur Durchführung der einzelnen Montagevorgänge unter Berücksichtigung der vorangegangenen Planungsergebnisse (z. B. Anordnung im Layout). Dies sind:

- Roboterprogramme (z. B. für Roboterbewegungen bei einem Schweißvorgang)
- SPS-Programme (z. B. zur Steuerung von Anlagenverkettungen)
- NC-Programme (z. B. zur Bewegungssteuerung von Montagemaschinen)
- Arbeitsanweisungen (bei manueller Montage)

Ebenso wie bei der Layoutplanung werden auch bei der Erstellung der Montageprogramme höhere Anforderungen an die Programme der automatisierten Anlagen gestellt. Meist werden zur Programmerstellung spezielle Programmiersysteme eingesetzt [Eisele 1990].

Anlauf- und Betriebsbetreuung

Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, die vorangegangenen Ergebnisse der Montageplanung in die Realität umzusetzen.

Vielfach werden Fehler der Montageplanung trotz Simulationsuntersuchungen erst bei dem Aufbau und der Inbetriebnahme der Anlagen erkannt. Diese Situation stellt eine große Herausforderung an die Montageplanung, da nachträgliche Änderungen an den Montageanlagen meist hohe Kosten und eine Verzögerung des Serienanlaufes verursachen. Die Aufgabe der Montageplanung ist somit das schnelle Erarbeiten von Lösungen, die sich kurzfristig, kostengünstig und ohne Einbußen an Funktionalität, Kapazität und Qualität realisieren lassen.

Ebenso muß die Montageplanung während der gesamten Betriebsphase der Anlagen auf eine stetige Optimierung und Anpassung auf veränderte Rahmenbedingungen achten. Ziel ist es, eine hohe Produktivität der Anlagen über den gesamten Einsatzzeitraum zu gewährleisten.

2.3 Methoden zur Montageplanung

In der Literatur werden viele verschiedene Methoden zur Montageplanung vorgestellt. Das Ziel dieser Methoden ist es, eine für den jeweiligen Betrachtungsschwerpunkt sinnvolle Möglichkeit für die Durchführung der Montageplanung bzw. Verwaltung der Montageplanungsdaten aufzuzeigen. Die in Kapitel 2.2 vorgestellten Aufgaben der Montageplanung werden hierbei in unterschiedlicher Reihenfolge, Detaillierungsgrad und Form behandelt.

In diesem Kapitel wird, anhand der zuvor vorgestellten Planungsschritte, eine kurze Beschreibung ausgewählter Planungsmethoden sowie ein Überblick über die bestehenden Methoden zur Montageplanung gegeben. In einer Zusammenfassung werden die Verfahren bewertet und deren Mängel in bezug auf eine durchgängige Montageplanung und auf eine Unterstützung verkürzter Produktentwicklungszeiten aufgezeigt.

2.3.1 Konventionelle Methoden

Unter konventionellen Methoden zur Montageplanung werden Verfahren verstanden, die eine Montageplanung ermöglichen, ohne auf zusätzliche (rechnergestützte) Hilfsmittel angewiesen zu sein.

2.3.1.1 Methode nach Bullinger

Die Methode nach *Bullinger u. a. [1986]* gliedert sich in sechs Planungsphasen in chronologischer Reihenfolge (Bild 2-7). Den Planungsphasen vorangeschaltet ist die Zusammenstellung des Planungsteams und die Erstellung eines Projektterminplanes und Pflichtenheftes.

In der ersten Planungsphase, der "Konzeption", wird eine Analyse der Grunddaten mit allgemeiner Zielsetzung, der produkt-, produktions- und personalspezifischen Planungsdaten durchgeführt. Auf Basis der Informationsanalyse erfolgt eine Ableitung und Gewichtung der Planungsziele. Anschließend werden projektneutrale Prinzipzlösungen entworfen. Diese werden mit projektspezifischen Zielkriterien abgeglichen und mit einer Montagekostenkalkulation bewertet.

Die Planungsinhalte der "Ablaufplanung" korrespondieren größtenteils mit den Inhalten des Aufgabenpaketes "Bestimmung der Arbeitsvorgangsfolge" (vgl. Kapitel 2.2). Nach einer Produktstrukturierung aus Montagesicht wird der Ablauf der Teileverrichtungen festgelegt und die Planzeiten der Teileverrichtungen ermittelt. Anschließend wird eine Differenzierung der Arbeitsinhalte in direkt produktive, indirekt produktive und dispositive Tätigkeiten durchgeführt, um eine Bewertung der Planungsalternativen hinsichtlich Zumutbarkeit der Arbeit zu erhalten.

In der Planungsphase "Montagesystementwurf" werden durch Variation von Organisations- und Materialbereitstellungsformen verschiedene Prinzipzlösungen entworfen. In mehreren Iterationsschleifen werden diese Prinzipzlösungen in einem Layout angeordnet (Grob- und Feinlayout) und mit Hilfe einer dynamischen Ablaufsimulationsstudie verifiziert. Auf Basis dieser Planungs-

informationen sowie einer Montagekostenkalkulation wird eine Bewertung und Auswahl der Alternativen vorgenommen.

Die "Ausarbeitung" entspricht weitgehend dem in Kapitel 2.2 vorgestellten Aufgabenpaket "Auswahl der Betriebsmittel" mit einer abschließenden Überprüfung hinsichtlich der Arbeitswerte, Vorgabezeiten und Investitionen. Zusätzlich wird eine Präzisierung des Layouts vorgenommen, um Aufstellungspläne für die Realisierungsphase zu erhalten.

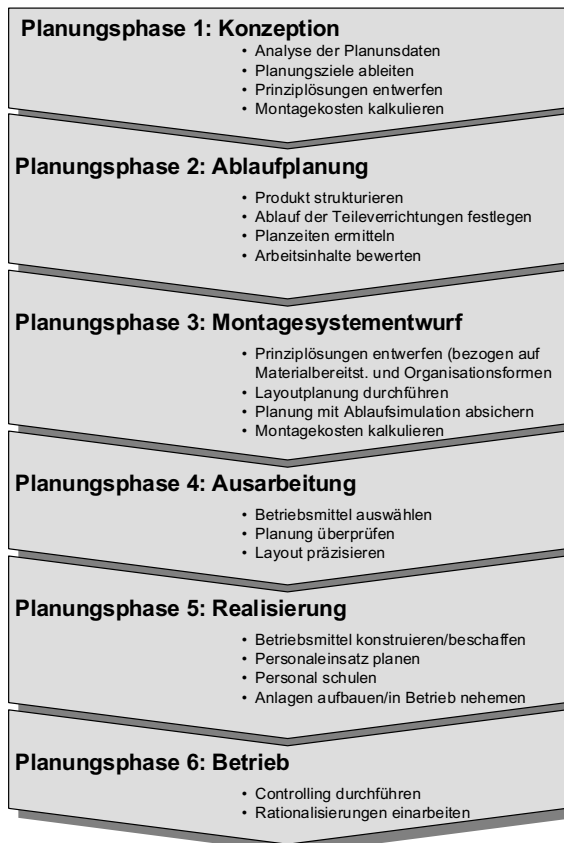


Bild 2-7: Phasen der Montageplanung nach Bullinger u. a. [1986] (vereinfacht)

In der "Realisierungsphase" werden die konzipierten Betriebsmittel konstruiert und beschafft. Nach einer Personaleinsatzplanung sowie der Mitarbeiterschulung erfolgt der Aufbau und Anlauf der Anlagen.

Die Arbeitsinhalte der "Betriebsphase" sind durch regelmäßige Controllingmaßnahmen sowie der Umsetzung der aufgedeckten Rationalisierungspotentiale geprägt (vgl. Kapitel 2.2 "Anlauf- und Betriebsbetreuung").

2.3.1.2 Methode nach REFA

Die Planungsmethode nach *REFA* [1987] ist ebenfalls in sechs Planungsphasen (Stufen) eingeteilt. Im Vergleich zur Methode nach *Bullinger u. a.* [1986] werden die Inhalte der Planungsphase "Konzeption" in zwei Planungsstufen, der "Analyse der Ausgangssituation" und der "Konkretisierung der Planungsaufgaben", aufgeteilt.

In der dritten Planungsphase, "Grobplanung des Produktionssystems", der Methode nach *REFA* [1987], werden hingegen die beiden Planungsschritte "Ablaufplanung" und "Montagesystementwurf" der Methode nach *Bullinger u. a.* [1986] zusammengefaßt.

Die restlichen Planungsphasen stimmen im wesentlichen mit den Planungsinhalten der Methode nach *Bullinger u. a.* [1986] überein.

2.3.1.3 Methode nach Merz

Merz [1987] schlägt eine Aufteilung der Montageplanungsinhalte in eine Struktur- und eine Auslegungsplanung vor. Die Detaillierungsebenen von "Montageteilbereich", "Montagesystem" und "Montageteilsystem" sowie "Montagestation" bilden hierbei gleichzeitig die Aufgabenbereiche und die zeitliche Abfolge der Planungsphasen (Bild 2-8).

Die Planungsaufgabe der Ebene "Montageteilbereich" ist die Gliederung des Erzeugnisses in Produktgruppen und die Zuordnung zu den entsprechenden Montagesystemen. Die Aufteilung erfolgt hinsichtlich der Systemanzahl, der Systemkapazität, dem Funktionsprinzip und der Flexibilität der Systeme.

In der Planungsebene "Montagesystem" wird eine Gliederung in Vor- und Hauptmontagebereiche sowie eine Anordnung dieser Bereiche im Layout vorgenommen. Anschließend werden die Organisationsformen und die Steuerungsprinzipien der Montagesysteme geplant. Die Aufgaben von "Montageteilbereich" und "Montagesystem" entsprechen der eigentliche Strukturplanung [Kunder 1993].

Die Unterteilung der Montagesysteme in Montagestationen wie auch die Planung der Stationsverkettung wird in der Planungsebene "Montageteilsysteme" vorgenommen. Die Montagestationen werden bezüglich ihres Funktionsumfanges und der Positionierung des Montageobjektes ausgelegt. Ebenso wird ein Groblayout der Montagestationen erstellt.

Die Detaillierung der Montagestationen wird in der Auslegungsplanung durchgeführt. Die Auslegungsplanung ist jedoch nicht Inhalt dieser Planungsmethode [Merz 1987].

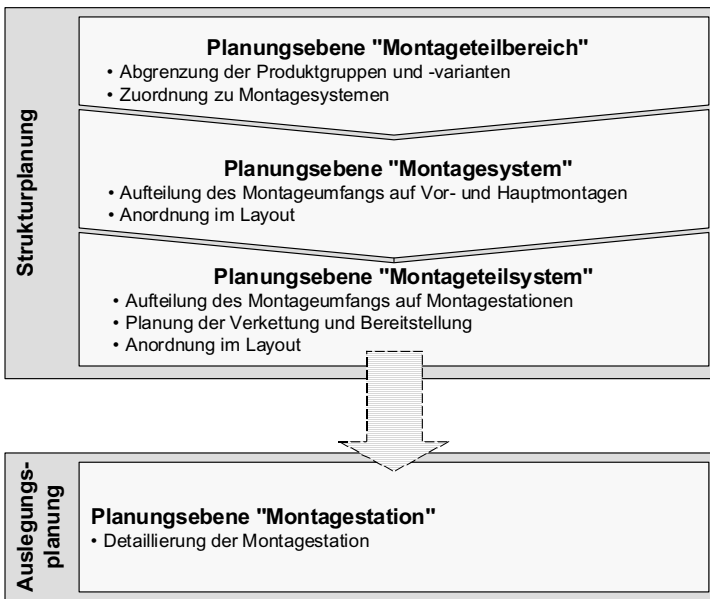


Bild 2-8: Ebenen der Montage- bzw. Strukturplanung nach Merz [1987] (vereinfacht)

Durch die Aufteilung in unterschiedliche Planungsbereiche entsteht, zwischen der Strukturplanungsphase, die bereits Montageplanungsinhalte aufweist und der Auslegungsplanung, ein Bruch in dem durchgängigen Planungsablauf. Die Rückwirkung der Detailplanung auf die groben Planungsphasen wird damit erschwert und es entsteht ein starrer Planungsablauf.

2.3.1.4 Weitere Methoden

Bei *Grob & Haffner [1982]* werden acht Planungsschritte aufgezeigt. Im Gegensatz zu den bereits vorgestellten Planungsmethoden, stellen *Grob & Haffner [1982]* eine Schwachstellenanalyse der Planung voran. In mehreren Schritten werden aus den Schwachstellen Planungsziele und Systemkriterien ermittelt. Die Planung der Montageanlagen wird in einer Planungsphase betrachtet und in Arbeitsumgebung, Arbeitsorganisation, Werkstattsteuerung und Personalorganisation untergliedert.

Nach *Feldmann [1997]* können die VDI-Richtlinien für systematische Konstruktion auf die Montageplanung übertragen werden. Die Planungsphasen gliedern sich somit nach den VDI-Richtlinien 2221 [1993] und 2222 [1982] in "Aufgabe klären", "Konzipieren", "Entwerfen" und "Ausarbeiten". In der Konzeptphase werden abstrakte Lösungsprinzipien erarbeitet, die in der Entwurfsphase grob ausgestaltet werden.

Für die Beschreibung weiterer konventioneller Planungsmethoden wird an dieser Stelle auf *Feldmann [1997]* verwiesen.

2.3.1.5 Bewertung der konventionellen Planungsmethoden

Die Bewertung erfolgt hinsichtlich der Durchführung der in Kapitel 2.2 vorgestellten Planungsschritte und der Unterstützung paralleler Prozesse. Des Weiteren wird die Planungsdurchgängigkeit nach den Kriterien:

- "Durchgängigkeit der Planungslogik", d. h. ähnliche Planungsmethoden über alle Planungsschritte, und

- "Datendurchgängigkeit", d. h. Weiterverarbeitung einmal erstellter Daten in den darauffolgenden Planungsschritten sowie einer Rückwirkung auf vorangegangene,

beurteilt.

Die hier vorgestellten konventionellen Planungsmethoden bearbeiten die einzelnen Planungsschritte von Kapitel 2.2 in teilweise veränderter Reihenfolge, Aufteilung und Intensität. Ebenso bleiben verschiedene Planungsinhalte bei einigen Methoden komplett unbeachtet (Bild 2-9).

Methode	nach Bullinger u. a. [1986]	nach REFA [1987]	nach Merz [1987]	nach Grob & Häfner [1982]
Bewertungskriterium				
Unterstützte Planungsschritte				
Produktmitgestaltung	0	-	-	-
Informationsanalyse	+	+	0	+
Arbeitsvorgangsfolge	+	+	0	0
Betriebsmittelauswahl	+	+	0	+
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	+	0	0	+
Layoutplanung	+	+	+	+
Planungsabsicherung	0	0	0	-
Montageprogrammerst.	0	0	-	0
Anlauf- und Betriebsbetr.	+	0	-	0
Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung	-	-	-	-
Durchgängigkeit der Planungslogik	-	-	-	-
Datendurchgängigkeit über alle Planungsschritte	0	0	-	0

Bewertungskriterium gut erfüllt: +

Bewertungskriterium teilweise erfüllt: 0

Bewertungskriterium ungenügend erfüllt: -

Bild 2-9: Bewertung der konventionellen Planungsmethoden

Die Produktmitgestaltung bezüglich der Montageaspekte wird bei keiner der vorgestellten Methoden beschrieben. Lediglich bei der Planungsmethode nach *Bullinger u. a. [1986]* wird ein paralleler Ablauf von Konstruktion und Montageplanung gefordert. Hinweise zur Gestaltung des Zusammenspiels dieser beiden Bereiche werden jedoch nicht gegeben.

Eine gestufte Planung über mehrere Detaillierungsschritte ("vom Groben ins Feine") ist bei allen Methoden vorgesehen. Die direkte Weiterverarbeitung von Ergebnissen in darauffolgenden Planungsschritten ist nur bedingt möglich. Rückwirkungen auf vorangegangene Planungsschritte sind lediglich mit erheblichem Zusatzaufwand zu bewerkstelligen. Bei der Planungsmethode nach *Merz [1987]* wird eine Rückwirkung, infolge einer Aufteilung der Montageplanung in Struktur- und Auslegungsplanung, nahezu ausgeschlossen.

Bei allen vorgestellten Planungsmethoden wird das Vorgehen in den einzelnen Arbeitsschritten als in sich abgeschlossener Teilbereich mit jeweils eigenständigen Teilmethoden dargestellt. Eine Durchgängigkeit der Planungslogik kann nicht erkannt werden.

2.3.2 Rechnergestützte Methoden und Systeme

Die rechnergestützten Montageplanungsmethoden werden unter dem Begriff "Computer Aided Planning" (CAP) zusammengefaßt [*Helberg 1987, Neipp & Stracke 1991, Delchambre 1992*]. Vielfach wird auch der Begriff CAPE, "Computer Aided Production Engineering", verwendet [*Mertins u. a. 1994*]. Beide Begriffe charakterisieren den EDV-Einsatz bei der Arbeitsplanung.

CAP bzw. CAPE bilden einen wesentlichen Baustein in dem Modell der computerintegrierten Produktion (CIM). Der Grundgedanke von CIM ist die Integration aller Entwicklungs-, Planungs- und Fertigungsprozesse durch bereichsübergreifende Informations- und Anwendungslösungen [*Helberg 1987, Leondes & Bai 1994, Kuark 1996, Süssenguth 1991*]. Hierbei wird versucht, die entstandenen Insellösungen von CAD ("Computer Aided Design") und CAM ("Computer Aided Manufacturing") mit der rechnergestützten Planung (CAP) zu verbinden (Bild 2-10).

Mit Hilfe der rechnergestützten Planung soll ein durchgängiger Daten- und Informationsfluß zwischen der Bauteilkonstruktion und Produktion gewährleistet werden [Schlingensiepen 1988]. Die Qualitätssicherung bzw. -steuerung ermöglicht die Rückflüsse aus der rechnergestützten Produktion zur Planung (Bild 2-10).

In diesem Kapitel wird untersucht, wie die rechnergestützten Methoden bzw. Systeme diesen Kerngedanken von CAP unterstützen. Hierbei werden verschiedene rechnergestützte Methoden für die Montageplanung vorgestellt und bewertet.

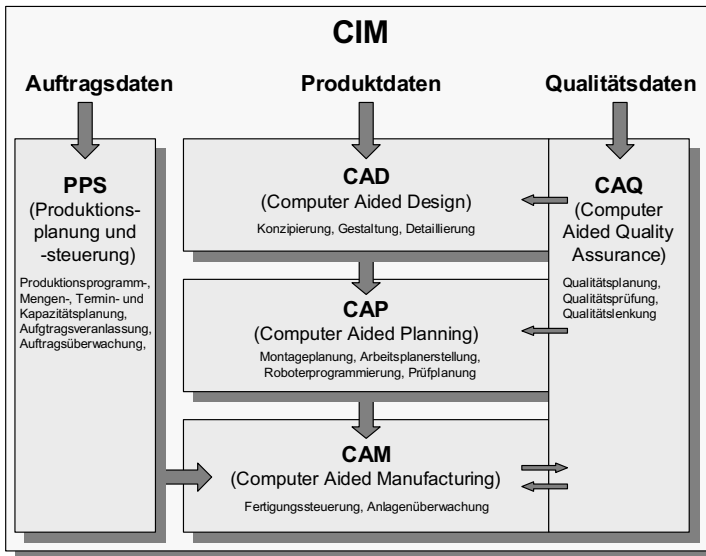


Bild 2-10: Eingliederung der Planung in die computerintegrierte Produktion nach Helberg [1987]

2.3.2.1 Methode nach Scholz

Die Planungsmethode nach Scholz [1989] basiert auf einer Integration aller Planungsinhalte der Montageplanung in ein Datenbanksystem (Bild 2-11). Die

einzelnen Planungsergebnisse werden in dem Datenbanksystem abgelegt und stehen somit für alle weiteren Planungsaufgaben zur Verfügung.

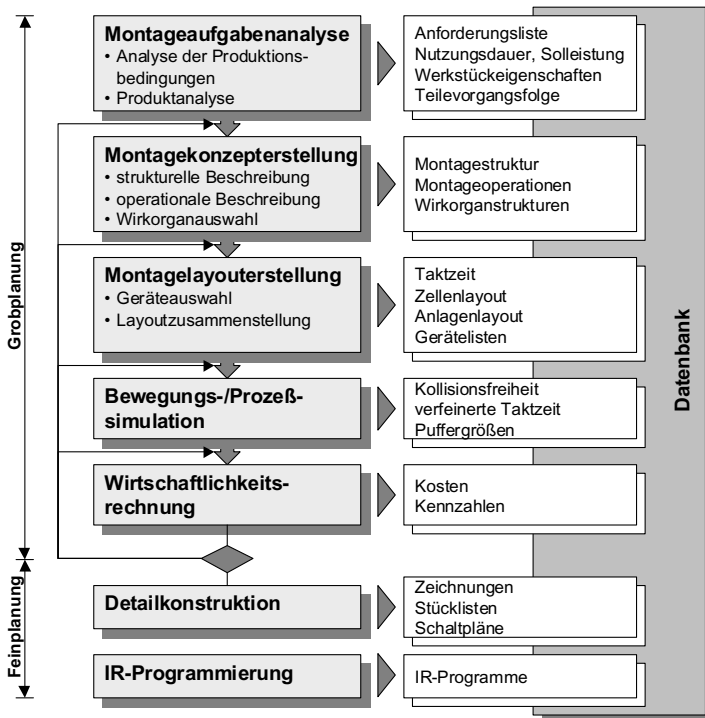


Bild 2-11: Planungsablauf nach Scholz [1989] (vereinfacht)

Scholz [1989] unterteilt die Montageplanung in die Phasen "Grobplanung" und "Feinplanung". Der erste Arbeitsschritt der "Grobplanung" ist die Klärung der Montageaufgabe durch die Analyse von Produkt- und Produktionsdaten (vgl. Kapitel 2.2 "Informationsanalyse"). Mit einem CAD-System wird dabei direkt auf die originalen Daten der Konstruktion, die ebenfalls in dem Datenbanksystem integriert sind, zugegriffen. Das Konzept eines einheitlichen Datenmodells von Konstruktion und Montageplanung mit dem Ziel der Integration dieser Bereiche greift damit den Kerngedanken von CIM auf.

In dem Arbeitsschritt "Montagekonzepterstellung" wird ein Teilevorranggraph erstellt und daraus eine strukturelle Beschreibung des Montageablaufes abgeleitet. Der Montageablauf wird durch rechnerunterstützte Zuweisung von Montageoperationen in eine abstrakte Montagevorgangsfolge überführt.

Diese Informationen bilden die Grundlage für die Auswahl und Anordnung der Betriebsmittel in dem Arbeitsschritt "Montagelayouterstellung". Ein direkter Bezug zwischen den Wirkorganen und den Montagevorgängen wird jedoch nicht erstellt.

In weiteren Arbeitsschritten können die Planungsergebnisse mit dynamischer Ablauf- und Bewegungssimulation entsprechend dem Aufgabenpaket "Planungsabsicherung" überprüft sowie mit einer Kostenrechnung bewertet werden (vgl. Kapitel 2.2).

In der "Feinplanung" wird die Detailkonstruktion der Betriebsmittel und die Roboterprogrammierung durchgeführt. Der Aufbau, Anlauf und Betrieb der Montageanlagen wird nicht unterstützt.

Die Integration aller Planungsinhalte in ein Datenbanksystem ermöglicht, daß die Planungsergebnisse der vorangegangenen Arbeitsschritte als Grundlage der folgenden Arbeitsschritte zur Verfügung stehen. Eine direkte Weiterverarbeitung der Daten (z. B. Überführung der Montagevorgangsfolge zu einem Layout bzw. Übernahme des Layouts in die Simulation) wird jedoch nicht ermöglicht.

Innerhalb der Planungsphasen (Grob- und Feinplanung) wird zwar ein iteratives Vorgehen ermöglicht, der Übergang zwischen den Phasen verhindert jedoch eine Rückwirkung der Detailplanung auf die vorangegangenen Phasen (vgl. Kapitel 2.3.1.3).

2.3.2.2 Methode nach Huck

Die Planungsmethode nach *Huck* [1990] strebt die produktorientierte Montageablauf- und Layoutplanung für die Roboterontage an. Sie ist in vier Planungsphasen gegliedert (Bild 2-12). Die einzelnen Planungsschritte werden dabei in einem datenbankgestützten Simulationssystem bearbeitet.

Die Phase der "strategischen Montageplanung" beginnt mit der Analyse der produktspezifischen Montagereihenfolge und Montagewege, die nach Huck [1990] in einer montagegerechten Konstruktion festgelegt wurden. Die Mitarbeit der Montageplanung bei der Produktgestaltung wird jedoch nicht näher beschrieben.

Das Planungssystem ermöglicht eine automatische Generierung der Fügeoperationen auf Basis der Montagereihenfolge. Durch das Einfügen zusätzlicher Teilverrichtungen entsteht eine eindeutige Teilverrichtungssequenz. Ergebnis der "strategischen Montageplanung" ist ein produktorientierter Montageablauf.

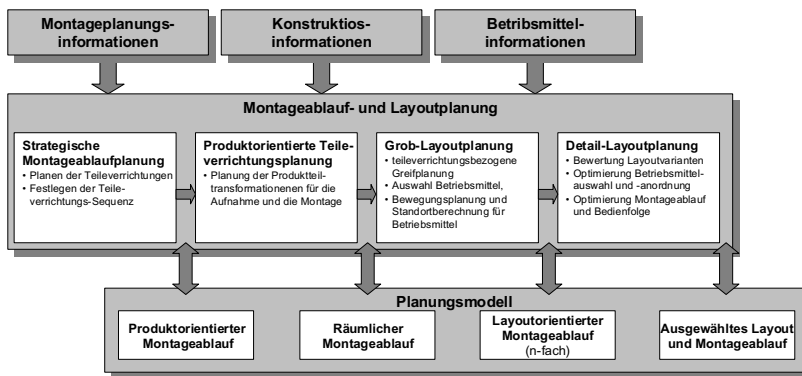


Bild 2-12: Planungsablauf nach Huck [1990] (vereinfacht)

In der "produktorientierten Teilverrichtungsplanung" werden mit Hilfe des 3D-Simulationssystems die räumlichen Montageabläufe erstellt. Dabei werden durch das Planungssystem die einzelnen Bauteilpositionen für die Aufnahme und Montage in Form von "Transformationen" erzeugt und in sog. "Arbeits-Frames" beschrieben. Der Montageablauf (räumlicher Montageablauf) wird somit fast vollständig generiert, ohne daß ein Bezug zu einem Layout besteht.

Der Entwurf der Montagezelle erfolgt in der dritten Planungsphase (Grob-Layoutplanung). Hier werden die Betriebsmittel aus Bibliotheken ausgewählt und in Verbindung zu den Transformationen der Bauteile gebracht. Nach einer betriebsmittelspezifischen Detailplanung dieser Transformationen berechnet das

Planungssystem automatisch die optimale Anordnung der Betriebsmittel im Layout. Durch Auswahl unterschiedlicher Betriebsmittel können somit sehr schnell verschiedene Alternativen layoutorientierter Montageabläufe (bei Einhaltung des zuvor geplanten Montageablaufes) erstellt werden.

In der letzten Planungsphase erfolgt die Auswahl und Detaillierung des Montage-layouts. Auch dieser Planungsschritt wird von dem System weitgehend automatisch durchgeführt. Hierzu müssen jedoch die Vorschriften und Regeln für die Auswahl und Optimierung spezifisch aufgestellt werden.

Der Planer erhält durch das hier vorgestellte System eine effiziente Unterstützung für die Layouterstellung und -detaillierung automatischer Montagezellen. Das Planungssystem ermöglicht dabei den Aufbau einer Datenbank für Montagewissen und zeigt somit den Ansatz eines Expertensystems. Die Anwendung des Systems ist jedoch aufgrund vieler abstrakter Planungselemente (z. B. Frame-Struktur, Optimierungsregeln und -vorschriften) nur für geübte Anwender zu bedienen.

Ebenso ist das System nur für die Gestaltung automatisierter Roboter-montagezellen ausgelegt. Die Planung von hybriden Montageanlagen oder Anlagen mit Montagemaschinen wird nicht unterstützt.

Die Verwendung eines 3D-Simulationssystems als Basiswerkzeug schränkt aufgrund der großen Datenvolumina und des hohen Bedarfs an Rechenleistung den Planungsumfang auf wenige Montagestationen ein. Eine Lösung für die Planung umfangreicher Montageanlagen sowie deren Verkettung wird nicht angegeben.

2.3.2.3 Planungssystem CosMonAut

Das Planungssystem CosMonAut (Computersystem zur **Montage- Automatisierung**) wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 336 (Montage-automatisierung durch Integration von Konstruktion und Montageplanung) am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der TU-München entwickelt [Milberg u. a. 1994].

Das System basiert auf einer Planungsvorgehensweise nach dem 5-Schichten-Modell (Bild 2-13). Die Einteilung der Schichten beziehen sich auf unterschiedlichen Entwicklungsstände der Konstruktionsergebnisse [Feldmann 1997]. Die Arbeitsinhalte der Montageplanung werden, entsprechend den zur Verfügung stehenden Informationen, über die fünf Schichten gestaffelt.

In der ersten Planungsschicht liegen noch keine Konstruktionsinformationen vor. Es erfolgt eine Planung unabhängig von der Konstruktion mit dem Erfassen der Ausgangssituation und der Ermittlung der Planungsziele.

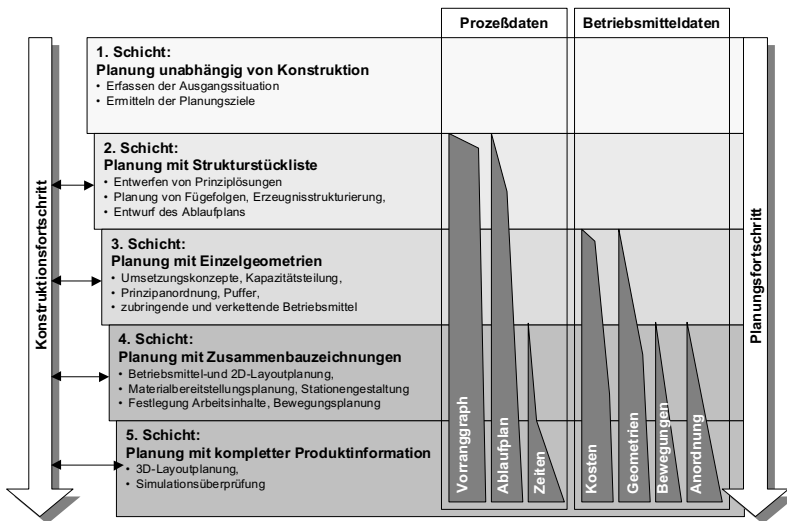


Bild 2-13: Planungsschichten nach Feldmann [1997] (vereinfacht)

Die Strukturstückliste der Konstruktion stellt die Basis für die zweite Planungsschicht dar. Nach der manuellen Ableitung eines Vorranggraphen ermöglicht das System CosMonAut, unter Verwendung einer Montagewissensbasis, die automatische Erstellung des Montageablaufplanes. Der Montageablaufplan enthält die Montagevorgänge, Bestandteile des Produktes und der Betriebsmittel [Cuiper & Feldmann 1995].

Ab der dritten Planungsschicht stehen Produktgeometrien zur Verfügung. Die in dem Datenmodell integrierten Produktdaten werden mit einer Schnittstelle in ein

3D-Simulationssystem übertragen. Das Simulationssystem unterstützt den Planer bei der Fügeplanung und der anschließenden Gestaltung und Anordnung der Betriebsmittel. Ebenso werden mit Unterstützung des Simulationssystems die detaillierten Montagebewegungen und -zeiten geplant [Cuiper & Roßgoderer 1997].

Mit der Verfügbarkeit sämtlicher Konstruktionsergebnisse werden in der fünften Planungsschicht die Montageplanungsinhalte vervollständigt und ein dreidimensionales Layout erstellt.

Feldmann [1997] zeigt mit dem 5-Schichten-Modell eine Vorgehensweise für eine Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung auf. Der "anwachsende" Planungsumfang entsprechend den vorliegenden Eingangsinformationen ermöglicht den Start der Montageplanung zu einem frühen Zeitpunkt der Konstruktion.

Durch die direkte Übernahme der Planungsinhalte in die nachfolgenden Planungsphasen (Schichten) kann eine wiederholte Grunddatengenerierung weitgehend vermieden werden. So kann z. B. aus dem Montageablauf automatisch ein Ablaufsimulationsmodell erstellt werden.

Der Montageablauf wird durch das Planungssystem zwar automatisch in Form eines Petri-Netzes modelliert, es muß jedoch eine manuelle Nachbearbeitung und Ergänzung erfolgen. Die Modellierung von Petri-Netzen und damit die Anwenderoberfläche des Planungssystems ist besonders bei komplexen Fertigungssystemen sehr unübersichtlich und nur für geübte Anwender geeignet [Abels 1993, Park 1992].

Die Erstellung des Layouts in dem 3D-Simulationssystem ermöglicht die Gestaltung einer räumlichen Betriebsmittelanordnung und die direkte Simulationsüberprüfung, ohne das Simulationsmodell neu aufbauen zu müssen. Die dreidimensionale Gestaltung und Anordnung sämtlicher Betriebsmittelgeometrien ist jedoch sehr aufwendig. Weiterhin wird infolge der großen Datenmengen dreidimensionaler Geometriebeschreibung der Layoutumfang stark eingeschränkt (nur wenige Montagestationen). Eine Lösung für die Weiterverwendung der einzelnen Montagelayouts zu einem kompletten Fabriklayout wird bei *Feldmann [1997]* nicht angegeben.

2.3.2.4 Planungssystem ERGOMAS

Das Planungssystem Ergomas (**E**rgonomische **G**estaltung und **O**ptimierung **M**anueller **A**rbeits**S**ysteme) ist ein aus verschiedenen Modulen zusammengesetztes System (Bild 2-14). Es wird kein fest vorgegebener Planungsablauf angegeben. Der Einsatz der Module richtet sich nach den Erfordernissen der jeweiligen Aufgabe [Delta 1998].

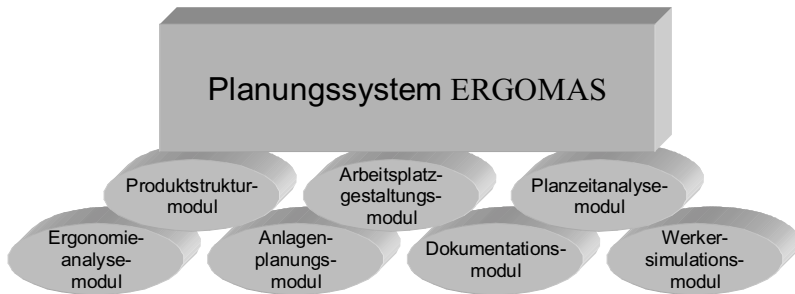


Bild 2-14: Modularer Aufbau des Montageplanungssystems Ergomas

Die Anbindung an die Konstruktion erfolgt über verschiedene Schnittstellen zu CAD-Systemen. Mit Hilfe des "Produktstrukturmoduls" wird aus den Konstruktionsinformationen der Teilevorranggraph und der Montageablauf erstellt.

In dem "Anlagenplanungsmodul" wird eine Gliederung des Montageablaufes in einzelne Stationen vorgenommen und die Produkte bzw. Vorgänge den Stationen zugewiesen.

Die einzelnen Stationen können mit dem "Arbeitsplatzgestaltungsmodul" ausgeplant werden. Das Modul entspricht einem einfachen CAD-System, in dem die Betriebsmittel vom Planer eigenständig erzeugt oder aus einer Betriebsmittelbibliothek entnommen werden. Die Anordnung der Betriebsmittel zu einem Stationslayout erfolgt ebenfalls in dem Modul. Die einzelnen Layouts der Arbeitsplätze werden anschließend mit Verkettungselementen in dem "Anlagenplanungsmodul" zu einem Gesamtlayout zusammengeführt.

Mit Hilfe des "Werkersimulationsmoduls" können die manuellen Montagevorgänge simuliert werden. Die Entfernungen der einzelnen Montagekomponenten werden dabei von dem Planungssystem automatisch aus dem Arbeitsplatzlayout bestimmt. Auf dieser Grundlage werden mit dem "Planzeitanalysemodul" die Ausführzeiten der manuellen Montagevorgänge nach dem MTM-Verfahren (Measure Time Method) ermittelt. Ebenso kann mit dem "Ergonomieanalysemodul" eine Bewertung der Montagevorgänge durchgeführt werden.

Die datentechnische Integration der einzelnen Module ermöglicht eine Weiterverarbeitung einmal erstellter Planungsergebnisse über nahezu alle Module hinweg. Eine Anbindung an andere Bereiche (z. B. Fabrikplanung) ist jedoch nur bedingt über Schnittstellen möglich.

Der Fokus des Systems ERGOMAS liegt bei Planung manueller Montageanlagen. Für die Planung automatischer Montageanlagen fehlen spezifische Module (z. B. Roboterprogrammierungsmodul). Ebenso ist das "Arbeitsplatzgestaltungsmodul" für die Gestaltung eines detaillierten Layouts automatischer Anlagen nicht ausreichend.

2.3.2.5 Weitere rechnergestützte Methoden und Systeme

Steinwasser [1997] beschreibt ein datenbankgestütztes Informationssystem für die integrierte Produkt- und Prozeßplanung. Die Konstruktions- und Planungsinformationen werden in dem aufgezeigten Datenmodell auf die Module "Produkt", "Ressource" und "Prozeß" aufgegliedert. Das Modul "Prozeß" bildet hierbei das Bindeglied zwischen "Produkt" und "Ressource".

Die Parallelisierung von Konstruktion und Prozeßplanung wird durch den Planungsstart mit "unscharfen" Bauteilinformationen unterstützt. Infolge der Verknüpfung von Produkt und Ressource über Operationen soll nach *Steinwasser [1997]* eine Bauteiländerung nur benachbarte Bereiche, d. h. Operationen, und keine Ressourcen betreffen.

Das Informationssystem von *Steinwasser [1997]* ermöglicht eine Planung auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen. Die Planungskonsistenz bleibt dabei über mehrere Ebenen hinweg gewährleistet. Eine Planungskonsistenz bei der

Änderung von Bauteilen erscheint hingegen fraglich. Ein Konzept für die Einbindung der Layoutplanung von Montageanlagen wird nicht aufgezeigt. Ebenso erscheint die Dokumentation der Planungsinhalte, aufgrund der komplex verknüpften Module, nur für geübte Anwender durchführbar.

Das datenbankgestützte System CAPAS (Computer Aided Planning for Assembly Systems) ist für die Planung einer variantenreichen Serienmontage ausgelegt [Simon 1994]. Die Planungsaufgaben werden fast vollständig in einem integrierten CAD-System ausgeführt (z. B. Erstellung des Montagevorranggraphen). Damit wird eine einheitliche und anwenderfreundliche Bedienungsoberfläche gewährleistet. Die Anbindung des Planungssystems an die Bauteil-, bzw. Fertigungsmittelkonstruktion oder an die Fabrikplanung wird jedoch bei Simon [1994] nicht beschrieben.

Die Autoren Kleineidam [1990] und Eisele [1990] zeigen das Montageplanungssystem CARo (Computer Aided Robotic System) auf. Das System ermöglicht eine durchgehende Verfahrenskette von der Bauteilkonstruktion über die Layoutplanung und Simulation bis zur Roboterprogrammierung. Die Daten von Konstruktion und Montageplanung sind hierzu in einer übergreifenden Datenbasis integriert. Die Informationsdurchgängigkeit von Layoutplanung und Simulationsuntersuchung bzw. -optimierung ermöglicht den effektiven Einsatz von Planungsregelkreisen. Das Planungssystem ist jedoch nur für die Gestaltung einzelnen Montagezellen geeignet.

Für eine Beschreibung und Bewertung weiterer Systeme wird auf die Autoren Deutschländer [1989], Drexl [1998], Feldmann [1997], Kleineidam [1990] und Simon [1994] verwiesen.

2.3.2.6 Bewertung der rechnergestützten Planungsmethoden

Die Beurteilung erfolgt entsprechend den Bewertungskriterien der konventionellen Methoden ("unterstützte Planungsschritte", "Datendurchgängigkeit", "Durchgängigkeit der Planungslogik" und "Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung"). Zusätzlich werden für die Bewertung der rechner-

gestützten Methoden die Kriterien "Integration in die bestehende Systemwelt" und "Anwenderfreundlichkeit" aufgenommen.

Die hier vorgestellten rechnergestützten Planungsmethoden und Systeme haben unterschiedliche Ausrichtungen. Jede Methode bzw. System erreicht, bezogen auf den jeweiligen Schwerpunkt, eine effektive Planungsunterstützung (Bild 2-15).

Methode/ System	nach Scholz [1989]	nach Huck [1990]	CosMonAut	ERGOMAS
Bewertungskriterium				
Unterstützte Planungsschritte				
Produktmitgestaltung	–	–	0	–
Informationsanalyse	+	0	+	0
Arbeitsvorgangsfolge	+	+	+	+
Betriebsmittelauswahl	+	+	+	+
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	+	0	+	0
Layoutplanung	+	+	+	+
Planungsabsicherung	+	+	+	0
Montageprogrammerst.	+	+	0	–/+
Anlauf- und Betriebsbetr.	–	–	0	–
Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung	0	–	+	–
Durchgängigkeit der Planungslogik	–	0	–	0
Datendurchgängigkeit über alle Planungsschritte	0	0	+	0/+
Integration in bestehende Systemwelt	–	–	–	0
Anwenderfreundlichkeit	0	–	–	0

Bewertungskriterium gut erfüllt: +
 Bewertungskriterium teilweise erfüllt: 0
 Bewertungskriterium ungenügend erfüllt: –

Bild 2-15: Bewertung der rechnergestützten Planungsmethoden und Systeme

Die wesentlichen Aufgaben der Montageplanung (z. B. Ablaufstrukturierung, Layoutplanung) werden von allen rechnergestützten Methoden bzw. Systemen unterstützt. Eine geringe Systemunterstützung wird dagegen bei der Produktmitgestaltung sowie bei der Anlauf- und Betriebsbetreuung erreicht (vgl. Kapitel 2.2).

Die direkte Weiterverwendung bzw. -verarbeitung einmal erstellter Planungsergebnisse in den nachfolgenden Planungsschritten ist nur bei den Systemen CosMonAut und CARo befriedigend gelöst.

Ein Ansatz einer durchgängigen Planungslogik wird bei *Huck [1990]* und Ergomas erreicht. Eine zufriedenstellende Lösung wird jedoch nicht aufgezeigt.

Eine Möglichkeit für die Parallelisierung der Konstruktions- und Montageprozesse wird nur bei *Feldmann [1997]* aufgezeigt. Ein effektives Änderungsmanagement, daß für Simultaneous Engineering unerlässlich ist, bleibt jedoch auch hier unberücksichtigt.

Ebenso wird bei keiner rechnergestützten Methode bzw. System eine Parallelisierung zu anderen Prozessen, wie z. B. zu der Fabrikplanung aufgezeigt. Die Bereitstellung von Schnittstellen ermöglicht zwar die Übertragung des Layouts, eine direkte Anbindung bzw. die Parallelisierung von Fabrik- und Montageplanung wird damit aber nicht unterstützt.

Die Integration der Montageplanungssysteme in die bestehenden Insellösungen von CAD und CAM [*Süssenguth 1991*] erscheint vor allem bei *Scholz [1989]*, *Huck [1990]* und *Feldmann [1997]* als ein äußerst schwieriges Unterfangen. Bei diesen Methoden wird die Konstruktion und die Montageplanung in ein übergreifendes Datenmodell integriert. Das hat eine Veränderung der etablierten "CAD-Welt" mit ihren speziellen Anwendungs- und PDM-Systemen zur Folge. Durchgreifende Änderungen an diesen Datenmodellen stößt jedoch auf strikten Widerstand der Konstruktionsbereiche und der CAD- bzw. PDM-Systemanbieter [*Kleineidam 1990*].

Ein weiterer Kritikpunkt zeigt sich durch eine mangelnde Anwenderfreundlichkeit der Systeme. Bei *Huck [1990]* und *Feldmann [1997]* sind die

Planungssysteme aufgrund der komplexen Frame- bzw. Petri-Netz-Modellierung nur für Spezialisten geeignet.

2.4 Fazit

Eine effektive Verkürzung der Produktentwicklungszeit kann mit herkömmlichen Planungsmethoden nicht erreicht werden. Die Anforderungen, infolge einer Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung bzw. eine zeitliche Straffung des Planungsablaufes werden von diesen Planungsmethoden unzureichend unterstützt.

Ein ganzheitliches und durchgängig rechnergestütztes Planungsvorgehen, wie von *Simon [1994]* gefordert, um den steigenden Anforderungen an die Montageplanung gerecht zu werden, findet in der Praxis nicht statt. Gründe hierfür sind die oben genannten Schwachstellen bei den rechnergestützten Methoden und Systemen.

Das bedeutet, daß eine effektive Verkürzung der Produktentwicklungszeit derzeit kaum zu erreichen ist bzw. nur mit Einbußen der Planungsqualität oder stark steigenden Planungskapazitäten einhergeht.

Für ein zukünftiges rechnergestütztes Planungsvorgehen lassen sich somit folgende Forderungen formulieren:

- Unterstützung eines parallelen Vorgehens von Konstruktion und Montageplanung [*Spur & Krause 1997*]
- Gewährleistung eines Änderungsmanagements zwischen den einzelnen Planungsbereichen
- Schaffung einer durchgängigen Rechnerunterstützung für alle Montageplanungsaufgaben [*Simon 1994*]
- Entlastung des Planers durch Vermeidung redundanter Datengenerierung [*Milberg 1990*]

-
- Unterstützung einer durchgängigen Planungslogik über alle Aufgabebereiche
 - einfache Anwendbarkeit mit möglichst grafisch unterstützter Bedienoberfläche [*Kleineidam 1990*]
 - Gewährleistung der Integrationsfähigkeit in die bestehende Systemwelt [*Ridder 1987*]

Auf Basis dieser Anforderungen wird in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit ein Planungsvorgehen und ein System zur Unterstützung dieses Vorgehens erarbeitet.

3 Konzeption einer Methode für eine durchgängige Montageplanung

In diesem Kapitel wird eine Vorgehensweise für die Planung von Montageanlagen erarbeitet, die eine stark verkürzte Produktentwicklungszeit ermöglicht und die Forderungen von Kapitel 2.4 unterstützt. Auf Basis dieser Planungsmethode werden detaillierte Anforderungen an eine Rechnerunterstützung abgeleitet.

3.1 Planung mit unvollständigen und unsicheren Informationen

Eine wesentliche Verkürzung der Produktentwicklungszeit wird durch die Parallelisierung bisher sequentiell ablaufender Arbeitsprozesse erreicht [*Salomone 1995, Spur & Krause 1997, Zülch & Waldhier 1992*]. Der ausschlaggebende Grund einer bislang unzureichenden Parallelisierung ist die Abhängigkeit des nachfolgenden Arbeitsprozesses von den Ergebnissen des vorangegangenen.

Das parallele Bearbeiten von einander abhängigen Prozessen, z. B. Konstruktion und Montageplanung, ist nur mit einer Veränderung der bisherigen Arbeitsweise möglich. Eine wesentliche Voraussetzung ist das Arbeiten mit unvollständigen und unsicheren Informationen [*Spur & Krause 1997, Steinwasser 1997*].

Unvollständige Informationen sind Ergebnisse eines Arbeitsprozesses, die in der Fortführung noch ergänzt werden. Dies kann z. B. eine fehlende Passungsangabe oder ein unberücksichtigtes Einzelteil einer Baugruppe sein. In Bild 3-1 besteht das überarbeitete Ergebnis aus einer zusätzlichen Distanzscheibe. Die Information zur Baugruppe war zuvor unvollständig.

Unsichere Informationen sind Ergebnisse eines Arbeitsprozesses, die noch einer möglichen Veränderung unterliegen. Eine Passungsangabe, die in der Detailkonstruktion verändert wird (z. B. von einer Spiel- in eine Übermaßpassung) stellt eine unsichere Information dar. In Bild 3-1 wird bei dem überarbeiteten Ergebnis der Gewindedurchmesser verändert.

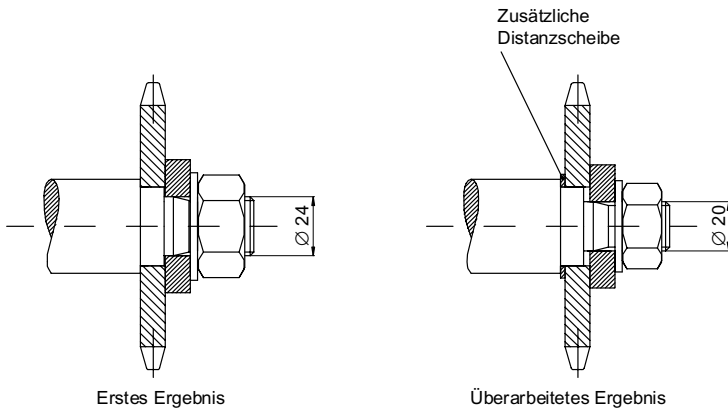


Bild 3-1: Abgrenzung von unvollständiger Information (zusätzliche Distanzscheibe) und unsicherer Information (Änderung des Gewindedurchmessers)

Eine genaue Trennung zwischen unvollständiger und unsicherer Information ist nur schwer möglich, da, je nach Sichtweise, eine unvollständige Information zu einer unsicheren Information werden kann. Die zusätzliche Distanzscheibe in dem Beispiel von Bild 3-1 stellt aus Sicht der Baugruppe eine Ergänzung dar. Aus Sicht der bauteilbedingten Fügefolge wird eine Veränderung vorgenommen.

Aufgrund dieser schwer möglichen Abgrenzung von unvollständiger und unsicherer Information, werden diese im Folgenden zu ungenauen Informationen zusammengefaßt.

Der Umgang mit ungenauen Informationen als Voraussetzung für eine effektive Parallelisierung der Arbeitsprozesse scheitert meist schon an der Bereitschaft der Beteiligten. Der Grund hierfür ist eine ergebnisbezogene Leistungsbeurteilung. Verändert der Konstrukteur nachträglich seine Zeichnungen wird automatisch gefolgert, daß er einen Fehler bei seiner Arbeit gemacht hat. Die Konsequenz ist eine möglichst späte Herausgabe der Ergebnisse, damit kein "schlechtes Licht" auf seine Arbeit fällt. Somit wird einer Parallelisierung der Prozesse sogar entgegengewirkt.

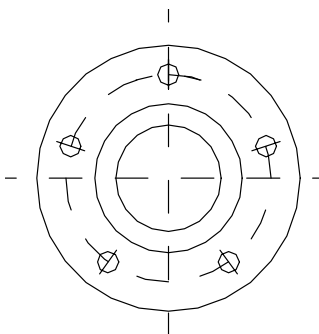
Ein weiteres Problem im Umgang mit ungenauen Informationen ist eine unzureichende Befähigung durch die derzeitigen Arbeitsprozesse und -systeme. Da der Bearbeiter des nachfolgenden Arbeitsprozesses keine Sicherheit über:

- Umfang,
- Art und
- Zeitpunkt

einer evtl. Änderung hat, besteht jederzeit die "Gefahr", daß sein Arbeitsergebnis, aufgrund einer Veränderung der Ausgangsbasis, unbrauchbar wird. Die Folge ist eine sinkende Motivation und Bereitschaft im Umgang mit ungenauen Informationen.

Aufgrund dieser Situation wird das Element "Änderungsbereich" eingeführt. Mit diesem Werkzeug wird eine Angabe zu einer möglichen Abweichung der jeweiligen Information aufgeführt, in welchem diese im weiteren Planungsprozeß noch verändert werden darf.

Für das in Bild 3-2 aufgeführte Beispiel "Flanschverbindung" gibt der Änderungsbereich die geplante Anzahl der Schraubverbindungen sowie einer Abweichung von einer zusätzlichen Schraubverbindung an.



Änderungsbereich Flanschverbindung

Teilinformation	derzeitige Angabe	mögl. Abweichung
Verbindungsart	Schraubverbindung	—
Anzahl Schrauben	5	± 1
Gewindedurchmesser	M8	M6-M10
Festigkeitsklasse	keine Angabe	keine Angabe
Anzugsmoment	keine Angabe	keine Angabe
Bohrbild	Lochkreis	—
Lochkreisdurchmesser	180 mm	keine Angabe

Bild 3-2: Flanschverbindung mit Änderungsbereich

Damit die Gesamtheit einer Konstruktion mit dem Änderungsbereich beschrieben werden kann, ist es erforderlich diese in Teilinformationen zu untergliedern (Bild 3-2).

Die Teilinformationen können verschiedenen Stufen der Informationsgenauigkeit zugeordnet werden (Bild 3-3). Hierbei können drei Hauptstufen angegeben werden:

- ungenaue Teilinformationen ohne Angabe zu einer möglichen Abweichung, d. h. der Konstrukteur gibt den derzeitigen Stand der Konstruktion weiter, kann zu diesem Zeitpunkt jedoch keine weiteren Aussagen machen (z. B. in welchen Grenzen sich die Teilinformation ändern kann). In dem Beispiel von Bild 3-2 entspricht die Angabe zum Lochkreisdurchmesser dieser ersten Stufe.
- ungenaue Teilinformationen mit Angabe einer möglichen Abweichung. Diese Stufe der Informationsgenauigkeit bildet den Übergang von der ungenauen zur genauen Teilinformation. Der Konstrukteur kann zu diesem Zeitpunkt den exakten Wert noch nicht festlegen, es ist ihm aber möglich einen Bereich anzugeben, in welchem sich die Information maximal verändern darf. Diese Stufe kann in mehrere Zwischenstufen mit zunehmend engeren Bereichen einer möglichen Abweichung untergliedert werden. Die Anzahl der Schrauben in Beispiel von Bild 3-2 wird in dieser zweiten Stufe der Informationsgenauigkeit angegeben.
- genaue Teilinformationen. Diese Teilinformationen bilden das endgültige Konstruktionsergebnis, das keiner weiteren Änderung unterliegen sollte. In dem Beispiel von Bild 3-2 wird die Verbindungsart in dieser dritten Stufe angegeben.

Die Untergliederung in Teilinformationen mit unterschiedlicher Informationsgenauigkeit ermöglicht dem Konstrukteur erste Ergebnisse zu einem sehr frühen Zeitpunkt an den Montageplaner weiterzugeben, da er noch nicht festgelegte Bereiche seiner Konstruktion als solche ausweisen kann. Teilinformationen mit Angabe einer möglichen Abweichung können vom Konstrukteur im weiteren Verlauf innerhalb der angegebenen Grenzen frei verändert werden, ohne daß ein "schlechtes Licht" auf seine Arbeit fällt.

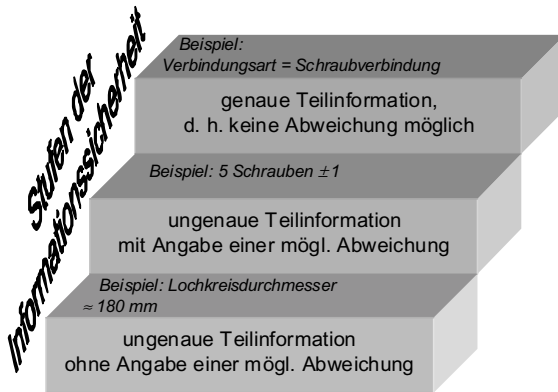


Bild 3-3: Stufen der Informationsgenauigkeit

Eine wesentliche Umstellung wird durch die mehrstufige Informationsgenauigkeit in der Arbeitsweise der Montageplanung gefordert. Die Planung des Montageablaufes und der Montageanlagen wird, soweit möglich, auf Grundlage der bereits genauen Teilinformationen aufgebaut. Für den Rest wird die Planung flexibel ausgerichtet. Das angegebene Feld einer möglichen Abweichung zeigt hierbei den geforderten Flexibilitätsbereich der Planung auf.

Im Vergleich zu der bisherigen sequentiellen Bearbeitung der Arbeitsprozesse können schwierige Entscheidungen der Konstruktion u. U. erst zu einem wesentlich späteren Zeitpunkt festgelegt werden. Die vorab in der Planung als flexibel ausgelegte Eigenschaft kann kurzfristig angepaßt werden. So wird beispielsweise das Anzugsdrehmoment der Schraubverbindung erst bei Serienanlauf, nach Erhalt der Ergebnisse eines Dauerversuchs, endgültig festgelegt. In der Montageanlage wurde das im Änderungsbereich angegebene Feld einer möglichen Abweichung für das Anzugsdrehmoment als flexibel einstellbar eingeplant.

Neben der Verkürzung der Produktentwicklungszeit kann durch die frühzeitige Einbindung der Montageplanung eine montagegerechte Produktgestaltung gewährleistet und dadurch evtl. nachträgliche Produktänderungen vermieden werden [Krottmeier 1995] (Bild 3-4).

Die hier beschriebene Vorgehensweise bedeutet einen Mehraufwand in beiden Arbeitsprozessen, da einerseits von der Konstruktion die Änderungsbereiche gepflegt und andererseits von der Montageplanung flexible Bereiche eingeplant werden müssen. Trotzdem kann durch die Parallelisierung eine Verkürzung der Produktentwicklungszeit erreicht werden (Bild 3-4).

In der Konstruktion kann der Mehraufwand bei der Erstellung der Änderungsbereiche durch zusätzliche Funktionalität des CAD-Systems oder durch betrieblich vordefinierte Änderungsbereiche für die Produktentwicklungsphasen stark eingeschränkt werden. Infolge einer frühzeitigen Einflußnahme der Montageplanung auf die Produktkonstruktion können nachträgliche Konstruktionsänderungen, die meist einen hohen Aufwand und Zeitverzug bedeuten, vermieden werden.

Der erhöhte Aufwand der Montageplanung wird durch eine effiziente Rechnerunterstützung, die in den folgenden Kapiteln dargelegt wird, aufgefangen.

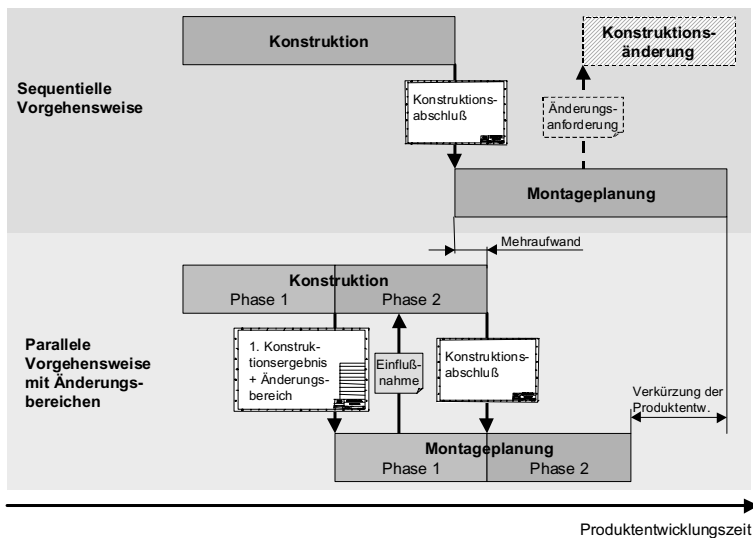


Bild 3-4: Gegenüberstellung sequentielle Vorgehensweise und parallele Vorgehensweise mit Änderungsbereichen

Mit dem Einsatz von Änderungsbereichen können neben den hier aufgezeigten Arbeitsprozessen Konstruktion und Montageplanung auch weitere abhängige Arbeitsprozesse (z. B. Montageplanung und Fertigungsmittelkonstruktion) parallelisiert werden.

Wichtig für einen effizienten Einsatz der Planungsmethodik ist ein direkter Zugriff und eine einfache Verwaltung der Änderungsbereiche. Dies wird als erste Anforderung für die Konzeption eines Planungssystems aufgenommen.

Forderung an Planungsunterstützung 1: Direkter Zugriff und einfache Verwaltung der Änderungsbereiche

3.2 Intervalle mit kurzen Planungsregelkreisen

3.2.1 Gliederung des Produktentwicklungsprozesses in Planungsintervalle

Die in Kapitel 3.1 dargestellte Parallelisierung der Arbeitsprozesse durch Einführung von Änderungsbereichen mit mehrstufiger Informationsgenauigkeit kann mit einer Unterteilung in mehrere kurze Planungsintervalle weiter optimiert werden. Bei jedem Intervall steigt der Anteil an genauen Teilinformationen an bzw. der Bereich einer möglichen Abweichung von Teilinformationen mit einer Informationsgenauigkeit der Stufe zwei wird enger. Hierdurch kann eine noch stärkere Parallelisierung beider Arbeitsprozesse erreicht werden (Bild 3-5).

Wie in Bild 3-5 aufgezeigt, ist der Start der Montageplanung ("Start 1 / Start 2") von den ersten Ergebnissen der Konstruktion abhängig. Entscheidend für den Grad der Parallelisierung der Prozesse ist die Dauer der ersten Konstruktionsphase. Bei einer kurzen ersten Konstruktionsphase kann ein früher Start ("Start 2") der Montageplanung und damit ein hoher Grad der Parallelisierung erreicht werden.

Eine von der Konstruktion unabhängige Analysephase der Montageplanung zur Erfassung der Ausgangssituation und zur Ermittlung der Planungsziele

[Feldmann 1997] ist lediglich der ersten Planungsphase vorangestellt. Diese Phase ist jedoch zur Verdeutlichung des Zusammenspiels von Konstruktion und Montageplanung in Bild 3-5 nicht angegeben.

Ausreichend Information zum Start der Montageplanung bietet die Strukturstückliste der Konstruktion. Hiermit können Fügefolgen, Prinziplösungen und der Ablaufplan entworfen werden [Feldmann 1997]. Neben der Produktstruktur legt die Konstruktion auch die Technologie der Bauteilverbindung (z. B. Schraubverbindung, Klebeverbindung) in einer frühen Konstruktionsphase fest. Die Information zur Verbindungstechnologie ermöglicht der Montageplanung die Erstellung grober Anlagenkonzepte. So können bereits in der ersten Montageplanungsphase, noch bevor Geometrieinformationen der Bauteile zur Verfügung stehen, Ablauf- und Anlagenkonzepte erarbeitet werden.

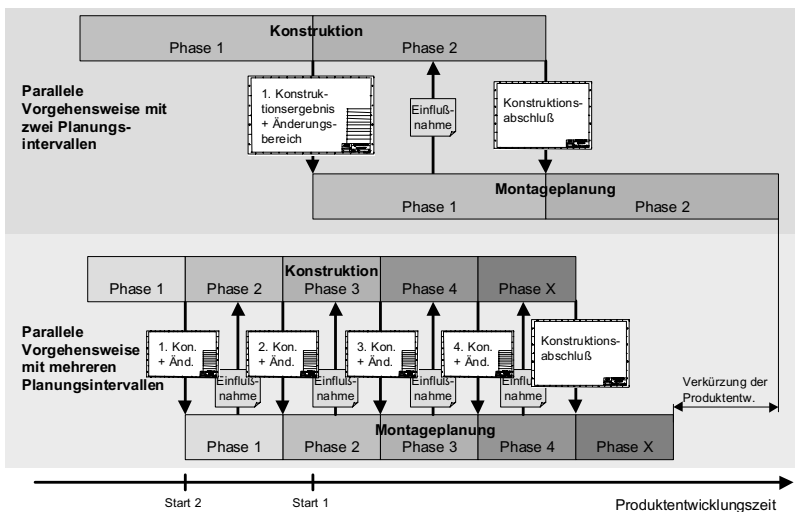


Bild 3-5: Gegenüberstellung lange und kurze Planungsintervalle

Zusätzlich ist es möglich, die frühen, teilweise sehr ungenauen Entwürfe der Einzelteile für die Montageplanung einzusetzen. Bereits in der ersten Planungsphase können somit schon viele Planungsschritte ("Informations-

analyse" bis "Planungsabsicherung" vgl. Kapitel 2.2) auf einer sehr groben Detaillierungsebene durchgeführt werden.

In den weiteren Planungsphasen werden diese Aufgaben in einer jeweils detaillierteren Stufe durchlaufen. Zusätzlich werden die Änderungen der Konstruktion eingearbeitet und der gestiegene Anteil der genauen Informationen als fester und nicht länger flexibler Bestandteil der Planung übernommen.

Die Arbeitsweise mit kurzen Planungsintervallen und schrittweise ansteigendem Anteil genauer Informationen fordert ein Umstellen der bisherigen Arbeitsweise. Die Planung sollte in der ersten Phase auf einem hohen Abstraktionslevel gehalten werden und erst in den nachfolgenden Intervallen detailliert werden. Hieraus läßt sich an ein Planungstool folgende Forderung ableiten:

Forderung an Planungsunterstützung 2: Planungsmöglichkeit auf unterschiedlichem Detaillierungsniveau

Ein wichtiger Faktor bei der Gliederung in Planungsintervalle ist das gemeinsame Verständnis aller beteiligten Bereiche über das jeweilige Ergebnis zum Abschluß eines Intervalls. Ebenso ist eine strikte Einhaltung der Termine wichtig, da davon meist eine Kette von Planungsbereichen betroffen ist. In dem Beispiel von Bild 3-6 startet die Planungsphase 2 der Montageplanung aufgrund eines Terminverzuges der Konstruktion verspätet. Da sich die zuvor festgelegte Dauer des Intervalls kaum verkürzen läßt, ist auch die davon abhängige Fertigungsmittelkonstruktion betroffen.

In jeder Planungsphase müssen die neuen Ergebnisse (z. B. der Konstruktion) eingearbeitet werden, so daß die Planung dem aktuellen Stand der Eingangsinformationen entspricht. Durch eine stärkere Untergliederung der Planungsintervalle mit kürzeren Planungsphasen, kann zwar eine bessere Parallelisierung erreicht werden, der zusätzliche Arbeitsaufwand steigt jedoch an [Bochtler & Eversheim 1995, Krause 1993]. Eine genaue Anzahl der wirtschaftlich einzusetzenden Planungsintervalle kann hier nicht angegeben werden, da diese für den jeweiligen Anwendungsfall spezifisch geplant werden muß. Wesentliche Einflußfaktoren sind hierbei:

- Einsparpotential durch eine verkürzte Produktentwicklung
- Einsparpotential durch verbesserte Produktmitgestaltung
- Einsparpotential durch geringeren Änderungsaufwand in der Montageplanung (keine nachträglichen Konstruktionsänderungen)
- Erhöhter Aufwand durch Erstellen der Änderungsbereiche und Einarbeiten der Änderungen

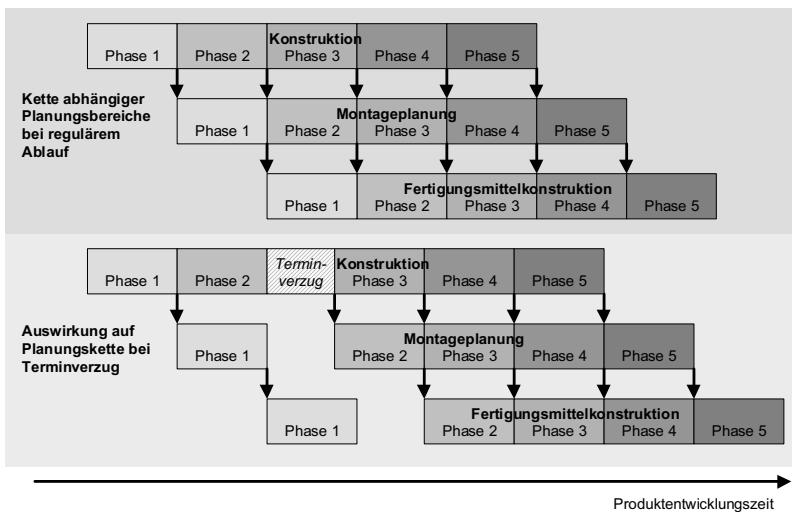


Bild 3-6: Auswirkung von Terminverzug auf Planungskette

Damit der oben beschriebene erhöhte Aufwand möglichst gering bleibt, sollten die Änderungen der Informationen verschiedener Konstruktionsphasen einfach zu erkennen sein. Weiterhin wird eine Systemunterstützung für eine möglichst einfache Einarbeitung der neuen (geänderten) Informationen in den Planungsstand der Montageplanung benötigt. Hierzu werden folgende Forderungen aufgestellt:

Forderung an Planungsunterstützung 3: Visualisierung der Änderungen zum vorangegangenen Planungsstand

Forderung an Planungsunterstützung 4: Einfaches Einarbeiten der Änderungen in den Planungsstand

3.2.2 Aufbau kurzer Planungsregelkreise

Bei Planungsregelkreisen beeinflusst das Ergebnis eines Arbeitsprozesses die anderen am Regelkreis beteiligten Arbeitsprozesse. Eine direkte Übernahme und Weiterverarbeitung der jeweiligen Ergebnisse erleichtert die Durchführung von systemübergreifenden Planungsregelkreisen [Lehmann 1997].

In dem Beispiel von Bild 3-7 erarbeitet die Montageplanung den Ablauf und die technischen Daten der Betriebsmittel. Auf Basis dieser Informationen erstellt die Ablaufsimulation das Simulationsmodell. In den Simulationsläufen werden Engpässe erkannt und daraus Optimierungen abgeleitet, die wiederum von der Montageplanung in den aktuellen Planungsstand eingearbeitet werden.

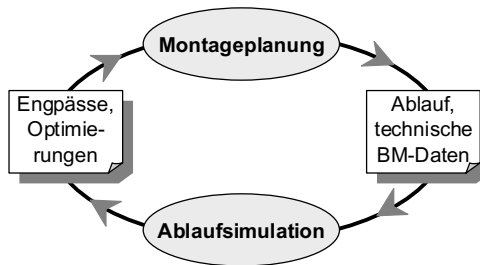


Bild 3-7: Beispiel eines Planungsregelkreises

Eine Gliederung des Produktentwicklungsprozesses in kurze Planungsintervalle verstärkt die Forderung einer direkten Ergebnisweiterverarbeitung. Der frühe Start der Montageplanung mit einer Planung auf hohem Abstraktionslevel (vgl. Kapitel 3.2.1) stellt bereits zu einem frühen Zeitpunkt erste Planungsergebnisse zur Verfügung. Diese Ergebnisse können mittels Simulationsuntersuchungen optimiert und bewertet werden. Dadurch wird eine frühzeitige Erkennung von Fehlern und Problemen gewährleistet [Jonas 1996a]. Eine Einarbeitung der Ergebnisse in die Planung wie auch eine Einflußnahme auf die Konstruktion ist

einfach möglich, da die Planung wie auch die Konstruktion noch nicht weit fortgeschritten sind.

Im Gegensatz dazu liegen bei vielen Planungsmethoden die Simulationsergebnisse erst zu einem fortgeschrittenen Planungsstand vor (vgl. Kapitel 2.3). Eine Einarbeitung der Ergebnisse erfordert damit meist einen hohen Änderungsaufwand und hat vielfach einen Terminverzug zur Folge [Jonas 1996a].

Für die Gewährleistung kurzer Planungsregelkreise muß die von Lehmann [1997] aufgestellte Forderung nach einer direkten Übernahme und Weiterverarbeitung der Ergebnisse realisiert werden.

Forderung an Planungsunterstützung 5: Ergebnisse sollten in den Arbeitsprozessen der Planungsregelkreise direkt weiterverarbeitet werden

3.3 Durchgängige Planung

Eine durchgängige Planung bedeutet die möglichst unterbrechungslose Fortführung der Planungslogik mit einer Weiterverarbeitung einmal erstellter Daten. Dies wird bei den bestehenden Verfahren und Hilfsmitteln nur bedingt erreicht (vgl. Kapitel 2.3.2). Eine Konsequenz hieraus ist, daß:

- Daten in den einzelnen Planungsphasen (Aufgaben) und Bereichen wiederholt generiert werden müssen und damit ein erheblicher Zusatzaufwand und ein Fehlerpotential entsteht
- Änderungen schwierig einzuarbeiten sind
- Informationsrückflüsse nur bedingt stattfinden
- Einzeloptima erarbeitet werden, ein Gesamtoptimum jedoch kaum erreicht wird

Die Durchgängigkeit der Planung kann aus Sicht des zeitlichen Ablaufs der Montageplanung (horizontal) sowie aus hierarchischer Sicht der digitalen Fabrik (vertikal) betrachtet werden. Diese werden nachfolgend beschrieben.

3.3.1 Durchgängige Planung aus Sicht des zeitlichen Ablaufs

Die Sicht des zeitlichen Ablaufs gliedert sich in zwei Betrachtungsweisen:

Durchgängigkeit innerhalb eines Planungsintervalls, d. h. die Weiterverarbeitung der Ergebnisse in den darauffolgenden Planungsschritten einer Phase. Ein Beispiel hierfür ist die Gestaltung der Montagevorgangsfolge aus der Produktstruktur und die Ableitung des Betriebsmittelbedarfs aus der Ablaufstruktur [*Bullinger u. a. 1986*] (Bild 3-8).

Die Forderung an eine Rechnerunterstützung ist somit folgende:

Forderung an Planungsunterstützung 6: Datendurchgängigkeit über alle Planungsschritte

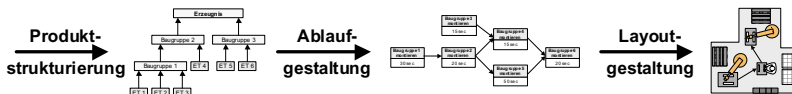


Bild 3-8: Datendurchgängigkeit über einzelne Planungsschritte

Durchgängigkeit über Planungsintervalle hinweg, d. h. Weiterverarbeitung der Ergebnisse in den darauffolgenden Planungsphasen. Da, wie bereits beschrieben wurde, in jeder Planungsphase nahezu alle Planungsschritte abgearbeitet werden (mit jeweils steigendem Detaillierungsniveau), bezieht sich diese Datendurchgängigkeit auf die verschiedenen Detaillierungsebenen.

Für eine durchgängige Planung sollte die weitere Detaillierung direkt auf die Daten der vorangegangenen Planungsphase aufsetzen (Bild 3-9). Neben der Weiterverwendung einmal erstellter Daten ist auch der entgegengesetzte Weg, die Rückwirkung, für die Planung von großer Bedeutung. Eine Detaillierung der Planung ergibt infolge der genaueren Betrachtung häufig neue Erkenntnisse, die zu Änderungen führen. Es muß eine Rückwirkung auf gröbere Detaillierungsniveau der Planung erfolgen, so daß die Planungsergebnisse konsistent bleiben.

Forderung an Planungsunterstützung 7: Datendurchgängigkeit über alle Detaillierungslevel der Planung

In dem Beispiel von Bild 3-9 wird die Vorgangsfolge in eine weitere Detaillierungsebene untergliedert. Infolge der Betrachtung der Einzelvorgänge und deren Planzeiten ergibt sich eine Änderung für die Planzeit des Gesamtvorgangs auf der größeren Detaillierungsebene.

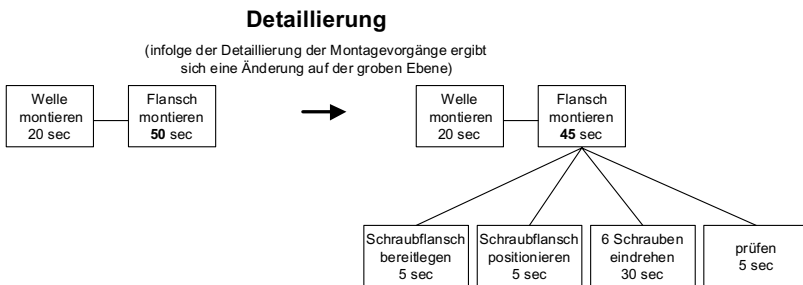


Bild 3-9: Datendurchgängigkeit über die Detaillierungsebenen

Die rückwirkende Datendurchgängigkeit sollte auch bei verschiedenen Planungsschritten gewährleistet sein. Somit werden auch bei einer Änderung des Montageablaufes die Auswirkungen auf die Produktstruktur nachgezogen.

Forderung an Planungsunterstützung 8: Konsistente Planung durch rückwirkende Datendurchgängigkeit über alle Detaillierungslevel und Planungsschritte.

Die Tätigkeit für den Planer sollte hierbei über den gesamten zeitlichen Ablauf nach einer möglichst ähnlichen Struktur erfolgen, d. h. der gleichen Logik erfolgen, damit kein "Umdenken" und folglich ein "Bruch" im Planungsablauf entsteht. Eine wechselnde Planungslogik würde einen fließenden und damit zügigen, d. h. zeitlich gestrafften, Planungsablauf behindern. Ebenso sind bei einer durchgängigen Planung das Änderungsmanagement und die Rückflüsse einfacher zu gewährleisten.

In den Detaillierungsschleifen der Planungsphasen ist eine Fortführung der Planungslogik einfach zu realisieren und in den bestehenden Planungsmethoden bereits vielfach berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.3).

Eine Schwierigkeit zeigt sich in einer Fortführung der Planungslogik bei der Planung verschiedenartiger Inhalte. Einen Ansatz hierzu gibt der "natürliche" Planungsablauf: Der Planer bildet die Brücke zwischen abstrakten Informationen und der realen Welt der Montageanlagen. Seine Aufgabe ist es, diese abstrakten Informationen zu einer realen Montageanlage bzw. einem realen Ablauf weiterzuverarbeiten. Der Montageplaner hat jedoch bereits zu Beginn der Planung die reale Anlage mental "vor Augen". In einem "natürlichen" Planungsablauf gibt es demnach keine grundsätzlich unterschiedlichen Planungsinhalte, da bereits zu Beginn der Planung ein grober Entwurf des Montageablaufes und der -anlage entsteht.

Das wird auch durch das Ergebnis einer, im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten, Befragung von Montageplanern bestätigt. Der überwiegende Teil der Montageplaner hat zu Beginn der Planungstätigkeit, d. h. bei der Produktstrukturierung, mental den Ablauf und die Anlagen bereits grob gegliedert. Hierbei wird versucht, die Bauteile so zu Baugruppen zu strukturieren, daß eine Baugruppe in jeweils einer Montagestation entsteht und daß die Arbeitsinhalte in dieser Station durchgeführt werden können. Da für diese Tätigkeit keine geeignete Systemunterstützung zur Verfügung steht, wird die grobe Anlagenstruktur vielfach auf Papier skizziert.

Der Montageplaner hat eine ganze Reihe weiterer Planungsprämissen zu berücksichtigen, die fast ausschließlich zu einem mentalen Abbild der zukünftigen Montageanlage führen. Beispiele hierfür sind:

- **Flächenvorgaben**
Der Planer erstellt bereits bei der Produktstrukturierung mental einen Entwurf des Layouts, um die Anordnung der Montagestationen auf der Fläche und damit die Gliederung in Baugruppen sicherzustellen.

- **Stückzahlvorgaben**
Die Zusammenstellung von Baugruppen stellt indirekt die Arbeitsinhalte

einer Montagestation und durch Abschätzung der Ausführzeiten die Gesamt-taktzeit und damit die voraussichtliche Stückzahl dar.

Die Beispiele zeigen, daß in einem "natürlichen" Planungsablauf eine Durchgängigkeit der Planungslogik besteht. Es entsteht von Beginn an ein mentales Abbild des zukünftigen Montageablaufes und der Montageanlagen. In den derzeitigen Planungsmethoden wird diese Logik jedoch durch die unterschiedlichen Dokumentationsinhalte und -formen unterbrochen. Wie in Bild 3-10 dargestellt, entsteht bei dem Planer bereits mental die komplette Anlage. Das Planungssystem läßt jedoch zu diesem Zeitpunkt nur die Dokumentation der Produktstruktur zu.

Für eine durchgängige Planung aus Sicht des zeitlichen Ablaufs sollte ein Planungstool demnach den "natürlichen" Planungsablauf unterstützen [Kleineidam 1990, Mello 1991] und mit einem graphischen Planungsablauf eine Verbindung zwischen dem Produkt, dem Montageablauf und den Montageanlagen aufbauen.

Forderung an Planungsunterstützung 9: Aufbau einer Verbindung zwischen dem Produkt, dem Montageablauf und den Montageanlagen.

Forderung an Planungsunterstützung 10: Graphisch und layoutbasierter Planungsablauf über alle Planungsphasen und -inhalte.

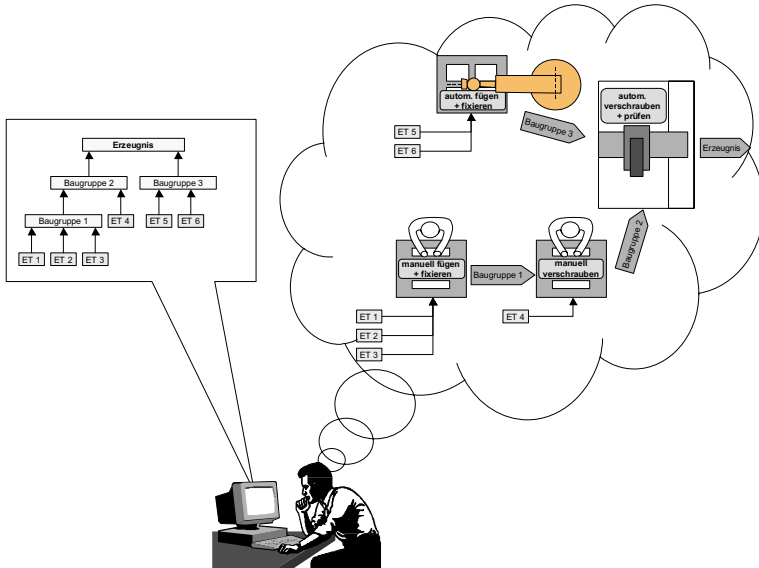


Bild 3-10: Unterbrechung der natürlichen Planungslogik

3.3.2 Durchgängige Planung aus hierarchischer Sicht der digitalen Fabrik

An einer Produktentwicklung beteiligen sich neben der Montageplanung eine Reihe weiterer planender Bereiche. Das sind z. B. die Fertigungsplanung, die Logistikplanung und die Fabrikplanung. Aus Sicht der digitalen Fabrik können die Planungsinhalte dieser Bereiche hierarchisch gegliedert werden (Bild 3-11).

Die Planungsinhalte von Montage- und Fertigungsplanung befinden sich auf gleichen hierarchischen Ebenen. Eine Überschneidung findet nur bedingt statt. Gegenseitige Abhängigkeiten bestehen über das Produkt (z. B. Qualitätsanforderungen), die Logistik (z. B. Behältergrößen) und die Flächenzuordnung (z. B. Überschneidung von Fertigungs- und Montageflächen).

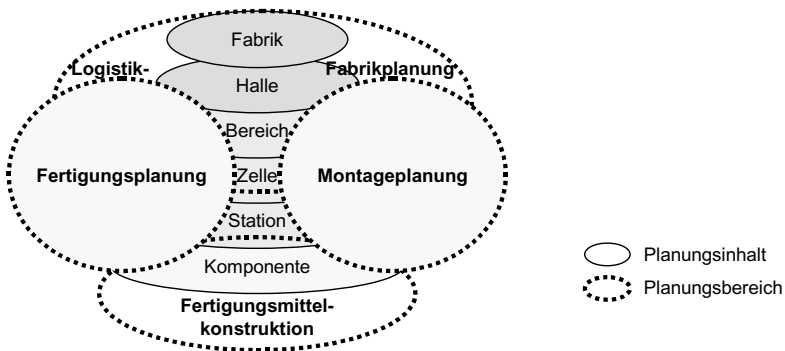


Bild 3-11: hierarchische Sicht auf die digitale Fabrik

Die Planungsbereiche von Fabrik-, Logistik- und Montageplanung sowie von Montageplanung und Fertigungsmittelkonstruktion haben eine stärkere Überschneidung:

- Die Aufgabe der Fabrikplanung ist die Gestaltung der Fabrik- und Hallenstruktur unter Berücksichtigung der logistischen Zusammenhänge [Kettner 1984]. In einer hierarchischen Sicht befinden sich die Ebenen von Fabrik und Halle über den Aufgabeninhalten der Montageplanung (Zelle, Station). Die Anordnung der Montagestationen und -zellen wirken sich jedoch auf den Montagebereich und damit auf das Hallenlayout aus. Ebenso beeinflussen die Planungsinhalte der Fabrikplanung (z. B. ein Umbau der Halle) die Anordnung der Montagestationen und -zellen.
- Die Planung der Montagevorgangsfolge und die Konzepte der Montageanlagen geben bereits eine grobe Festlegung der Fertigungsmittelkomponenten vor. Jedoch erst in der Ausplanung der einzelnen Komponenten durch die Fertigungsmittelkonstruktion lassen sich die montageplanungsrelevanten Inhalte exakt erfassen (z. B. Ausführzeiten, Verfügbarkeiten und Kosten der Anlage).

Für eine durchgängige Planung aus hierarchischer Sicht ist eine Weiterverwendung einmal erstellter Daten erforderlich. Eine Konsistenz der Planungs-

ergebnisse über alle Ebenen fordert diese Datendurchgängigkeit unabhängig von der Planungsrichtung ("Top Down" oder "Button up").

Forderung an Planungsunterstützung 11: Datendurchgängigkeit über alle Hierarchieebenen der digitalen Fabrik.

Die Datendurchgängigkeit ist eine wesentliche Voraussetzung für einen durchgängigen Planungsablauf aus hierarchischer Sicht. Die Überschneidungen bei den einzelnen Planungsinhalten bedingen eine exakte Verteilung der Aufgaben- und Verantwortungsbereiche. Die Gestaltung dieses Workflows ist stark von der Struktur des Unternehmens und der gestellten Aufgabe abhängig und kann aus diesem Grund im Rahmen dieser Arbeit nicht dargelegt werden.

Bisher wurden die Elemente "Änderungsbereich", "kurze Planungsintervalle" und "Datendurchgängigkeit" behandelt, die einen wesentlichen Anteil zu dem Konzept einer durchgängigen Montageplanung beitragen. Im folgenden wird die Bearbeitung von Alternativen, Varianten und Versionen betrachtet. Da diese einen hohen Stellenwert in der Montageplanung einnehmen, ist ein einfacher Umgang mit diesen Elementen für eine durchgängige Planung unerlässlich.

3.4 Einfache Bearbeitung von Alternativen, Varianten und Versionen

Optimale Lösungen für eine Montageaufgabe können nur durch Betrachtung und Beurteilung verschiedenartiger Lösungsansätze gefunden werden [Bullinger u. a. 1986]. Dieser Anspruch wird durch die steigenden Anforderungen an Fertigungsqualität und -kosten sowie eine hohe Produktvarianz, die einen Zielkonflikt bei der Montageplanung verursachen, bekräftigt. Aus diesem Grund wird dieses Thema hier gesondert behandelt.

Die Montageplanung wird einerseits mit Produktalternativen, -varianten und -versionen in Form der Eingangsinformationen konfrontiert. Andererseits ist es die Aufgabe der Montageplanung verschiedene Planungsalternativen, -varianten und -versionen zu erarbeiten [Hechl 1994]. Ein Planungssystem sollte somit eine vollständige Unterstützung anbieten.

Für ein besseres Verständnis werden zunächst die verschiedenen Begriffe erläutert. In dem darauffolgenden Kapitel werden die Anforderungen an eine Systemunterstützung für die Bearbeitung der produktspezifischen und abschließend der planungsspezifischen Alternativen, Varianten und Versionen erläutert.

3.4.1 Definition von Alternativen, Varianten und Versionen

In diesem Kapitel werden die Begriffe Alternative, Variante und Version voneinander abgegrenzt und erläutert:

- **Alternativen** entstehen im Verlauf der Lösungsfindung und dienen dazu, durch die Gegenüberstellung möglichst vieler Lösungsmöglichkeiten für eine gegebene Aufgabenstellung, eine möglichst optimale Lösung aufzufinden [Scholz 1989]. Alternativen bestehen nur temporär, d. h. nach der Auswahl der optimalen Lösung werden die anderen Lösungsmöglichkeiten verworfen.
- **Varianten** entstehen durch Diversifikation, d. h. durch die Anpassung einer Lösung an verschiedene Anforderungen. Sie bestehen wie die Alternativen zeitlich nebeneinander, haben aber keinen zeitlichen Endpunkt zum Lösungseinsatz, sondern existieren auch während des Lösungseinsatzes nebeneinander [Spur & Krause 1997].
- **Versionen** entstehen durch die Änderung einer Lösung (Alternative oder Variante). Sie dokumentieren die Entwicklungsstufen der Lösung und folgen chronologisch aufeinander.

3.4.2 Produktalternativen, -varianten und -versionen

Produktalternativen werden während der Konstruktionsphasen erarbeitet. Sie zeigen verschiedene Lösungsmöglichkeiten aus Sicht der Konstruktion auf. Für das Beispiel der Flansches (Bild 3-2) ist eine Schweißverbindung eine alternative Lösung zur Schraubverbindung.

Die Auswahl der optimalen Lösung erfolgt auf Grundlage einer Bewertung nach verschiedenen Kriterien. Damit die Auswahl das Gesamtoptimum widerspiegelt,

fließen Bewertungen aus allen Bereichen (z. B. Montageplanung) ein. Für eine Beurteilung aus Sicht der Montage sollte für jede Produktalternative mindestens eine Lösung der Montageplanung erarbeitet werden (Bild 3-13).

In der ersten Konstruktionsphase werden verschiedene Produktalternativen entworfen. Auf Basis dieser Entwürfe werden in einer ersten Planungsphase mögliche Montagelösungen für die Produktalternativen erarbeitet. Diese Konzepte dienen einer Beurteilung der Produktalternativen aus Sicht der Montage. Gleichzeitig wird in der Konstruktion eine Ausarbeitung der Produktalternativen vorgenommen, um eine exaktere Beurteilung der Produktalternativen durchführen zu können. Auf Basis dieser Bewertungen kann die optimale Produktalternative aus Gesamtsicht ausgewählt werden. Je nach Anwendungsfall müssen für die Auswahl noch weitere Planungsintervalle durchgeführt werden, um die Produktalternativen wie die zugehörigen Montagelösungen weiter zu detaillieren und damit eine genauere Aussage zu treffen.

Die Auswahl der Produktalternative sollte möglichst früh erfolgen, da eine parallele Montageplanung für jede Produktalternative einen hohen Aufwand erfordert. Somit ist für die Planer neben einer Unterstützung für eine einfache Erstellung und Bearbeitung auch eine Hilfe für die Bewertung von Montageplanungs-lösungen erforderlich.

Forderung an Planungsunterstützung 12: Einfache Erstellung und Bewertung von Montageplanungs-lösungen.

Das Erarbeiten von alternativen Lösungen aus Produktsicht ist ein stetig wiederkehrender Prozeß. So wird die Konstruktion nach der Auswahl einer optimalen Lösung weitere Detailalternativen erzeugen, die erneut einer Auswahl bedürfen (Bild 3-12).

Produktvarianten sind spezifische Lösungen der Konstruktion auf Marktanforderungen. Ein Beispiel hierfür ist eine Haushaltswaschmaschine, die mit unterschiedlichen maximalen Schleuderdrehzahlen angeboten wird. Der Unterschied aus konstruktiver Sicht ist eine verstärkte Aufhängung der Wäsche-

trommel bei der Waschmaschine mit höherer Schleuderdrehzahl. Diese, in einer einfachen sowie in einer verstärkten Ausführung, bildet die Produktvariante.

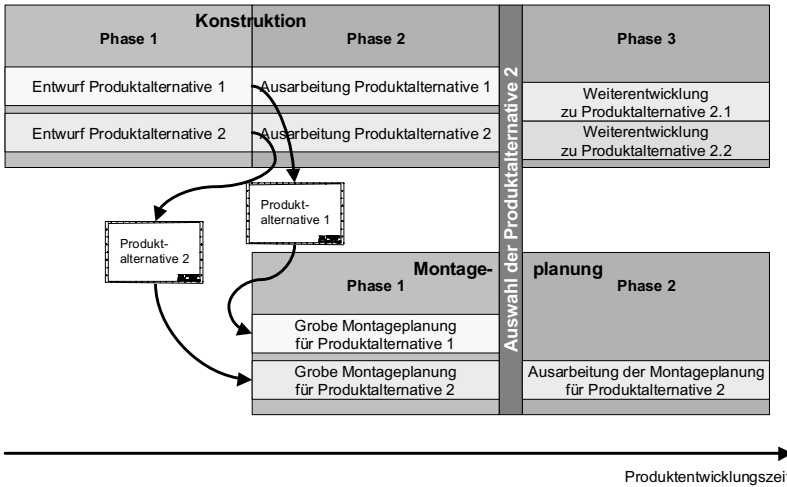


Bild 3-12: Vorgehensweise für eine Mitwirkung der Montageplanung bei der Auswahl einer Produktalternative

Die Montageplanung muß für alle Produktvarianten eine Lösung erarbeiten, um das gesamte Produktspektrum fertigen zu können. Meist wird das Ziel einer hohen Flexibilität verfolgt, so daß möglichst alle Produktvarianten auf einer Montageanlage montiert werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es wichtig, die Unterschiede und die Gemeinsamkeiten der Produktvarianten mit den Montageplanungsdetaillösungen in Verbindung zu bringen. Hierzu sollte eine Systemunterstützung für den Vergleich verschiedenartiger Konstruktionslösungen (vgl. Forderung an Planungsunterstützung 3) und für eine einfache Handhabung der Produktvarianten zur Verfügung gestellt werden.

Forderung an Planungsunterstützung 13: Einfaches Navigieren und Selektieren der Produktvarianten

Die Produktversionen zeigen die Entwicklungsstufen des Produktes während der Konstruktion auf. Entsprechend dem Konzept mit kurzen Planungsintervallen

(vgl. Kapitel 3.2) wird nach Abschluß jeder Phase der aktuelle Stand (Version) der Konstruktion an die Montageplanung weitergegeben.

3.4.3 Planungsalternativen, -varianten und -versionen

Planungsalternativen sind verschiedene Lösungsmöglichkeiten für eine Montageaufgabe. Ein Beispiel hierfür ist ein automatischer Schraubautomat und als alternative Lösung eine manuelle Schraubstation für die Montageanforderung "Verschrauben eines Flansches".

Für jede Produktalternative wird mindestens eine Lösung der Montageplanung benötigt. Um eine optimale Lösung für die gestellte Montageaufgabe zu erhalten, sollten jeweils mehrere Planungsalternativen erarbeitet werden. Die Anzahl der zu erstellenden Planungslösungen steigt somit sehr schnell an (Bild 3-13).

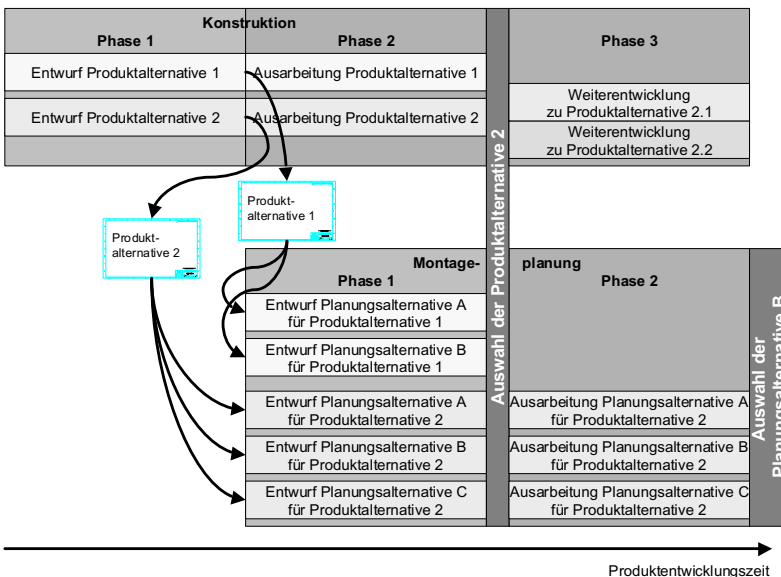


Bild 3-13: Zusammenhang zwischen Produkt- und Planungsalternativen

Ein weiterer Grund für eine hohe Anzahl von Planungsalternativen ist das Arbeiten mit ungenauen Informationen. Da in den frühen Planungsphasen der Anteil bereits festgelegter, sicherer Informationen im Vergleich zu dem Anteil an ungenauen Informationen mit Angabe einer möglichen Abweichung noch gering ist (vgl. Kapitel 3.1), muß die Montageplanung auf den angegebenen Bereich einer möglichen Abweichung der unsicheren Informationen ausgerichtet sein. Je nach Ausprägung des Bereiches können unterschiedliche Planungslösungen bevorzugt werden.

Die verschiedenen Lösungen der Montageplanung werden, entsprechend der Vorgehensweise mit Produktalternativen, auf Basis der Planungsprämissen bewertet und ausgewählt. Einfluß auf die Beurteilung der Planungsalternativen haben die betroffenen Planungsbereiche (z. B. Logistikplanung).

Aufgrund der hohen Anzahl der Montageplanungslösungen, muß die in Kapitel 3.4.2 aufgestellte Forderung nach einer einfachen Erstellung und Bewertung nochmals bekräftigt werden.

Alternative Lösungsmöglichkeiten der Montageplanung betreffen vielfach nur einen kleinen Teilbereich des gesamten Montagesystems. Aus diesem Grund wird eine Verwaltungs- sowie eine Kombinationsmöglichkeit der Planungsalternativen benötigt.

Forderung an Planungsunterstützung 14: Verwaltungs- und Kombinationsmöglichkeit der Planungsalternativen

Planungsvarianten sind Lösungsmöglichkeiten für Montageanlagen, die parallel realisiert und betrieben werden. Beispiel hierfür ist die Fertigung eines Produktspektrums an zwei verschiedenen Standorten oder zwei parallele Montageanlagen mit unterschiedlichen Layoutvoraussetzungen. Aus Sicht der Systemunterstützung sind hierfür die Anforderungen, die bereits für Planungsalternativen aufgestellt wurden ausreichend.

Planungsversionen entsprechen den Planungsergebnissen am Abschluß jeder Planungsphase. Da diese Ergebnisse als Planungsgrundlage für andere Bereiche verwendet werden, muß sichergestellt werden, daß dieser Stand unverändert bleibt. Änderungen bzw. Ergänzungen der Montageplanung werden in einer

neuen Version der Planung eingearbeitet. Die Planungsversionen stellen somit die Entwicklungshistorie der Montageplanung dar.

Forderung an Planungsunterstützung 15: Unterstützung beim Verwalten von Planungsvarianten und -versionen

3.5 Reduzierung des Planungsaufwandes

Der Einsatz von Änderungsbereichen und die Unterteilung in kurze Planungsintervalle ermöglicht eine Parallelisierung und Straffung der einzelnen Arbeitsprozesse, hat aber eine Erhöhung des Planungsaufwandes zur Folge (vgl. Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2). Damit die hier vorgestellte Planungsmethode wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann, muß der Planungsaufwand möglichst reduziert werden.

3.5.1 Vermeidung redundanter Datengenerierung

Die in Kapitel 3.3 aufgestellten Forderungen einer Datendurchgängigkeit stellt die Basis für eine Vermeidung einer redundanten Datengenerierung dar und wird hier lediglich aus Gründen der Vollständigkeit nochmals aufgeführt. Infolge einer direkten Weiterverarbeitung einmal erstellter Daten wird der Anteil der nicht wertschöpfenden Tätigkeiten weitgehend minimiert. Hierzu trägt auch die in Kapitel 3.2.2 aufgestellte Forderung nach einer direkten Übertragung der Planungsergebnisse an die am Planungsregelkreis beteiligten Arbeitsprozesse bei.

Eine Datendurchgängigkeit aus hierarchischer Sicht der digitalen Fabrik ermöglicht sogar die Aufwandsreduzierung anderer Planungsbereiche (z. B. Fabrikplanung).

3.5.2 Integration stark vereinfachter Anwendungssysteme in die Planungsumgebung

Über die gesamte Produktentwicklungszeit hinweg werden Planungsalternativen bearbeitet und bewertet. In den frühen Phasen ist sogar eine sehr hohe Anzahl zu bewältigen (vgl. Kapitel 3.4.3).

Die Auswahl einer Lösungsmöglichkeit erfolgt durch eine Gegenüberstellung und Bewertung der verschiedenen Alternativen. Die Kriterien und deren Gewichtung werden in den Planungsprämissen vorgegeben. Beispiele für Bewertungskriterien sind Flächenbedarfe, Investitionskosten, Betriebskosten, Stückzahlen, Flexibilität der Anlagen, Sicherheit des Montageprozesses, etc.

Für eine objektive Bewertung ist ein Einsatz spezieller Anwendungssysteme sinnvoll. So sollte eine Beurteilung der Flächenbedarfe mit einem Layoutsystem und die Abschätzung der Stückzahlen mit einer dynamischen Simulationsuntersuchung unterstützt werden. Ebenso ist für die Absicherung der Fügefolge eine graphische Simulationsuntersuchung unerlässlich.

Die Forderung nach einer layoutbasierten Planungsumgebung in Kapitel 3.3.1 beinhaltet bereits die Integration eines Anwendungssystems. Der Einsatz von Simulationsuntersuchungen wurde bisher im Zusammenspiel mit Planungsregelkreisen gesehen. Hier wird mit der Forderung nach einer direkten Übertragung der Ergebnisse eine Aufwandsreduzierung erreicht. Die Vielzahl der zu untersuchenden Planungsalternativen in einer frühen Planungsphase würde bei dieser Lösung zu einer starken Kapazitätserhöhung führen.

Aus diesem Grund wird eine Integration dieser Systeme in einer stark vereinfachten Form in die Planungsumgebung gefordert. Hierbei muß gewährleistet sein, daß für die Anwendung der Systeme keine Spezialkenntnisse benötigt werden und der zusätzliche Aufwand unerheblich bleibt [Abels 1993].

Forderung an Planungsunterstützung 16: Integration stark vereinfachter Anwendungssysteme in die Planungsumgebung

Die Planungsalternativen in den frühen Planungsphasen sind noch auf einem sehr hohen Abstraktionslevel. In vielen Fällen ist eine vergleichende, qualitative Bewertung der Alternativen ausreichend. Diese kann der Planer, mit Hilfe der integrierten Systeme, sehr einfach und schnell selbst durchführen.

Die Simulationsuntersuchungen für detaillierte Planungsalternativen, d. h. in späteren Planungsphasen, müssen weiterhin von Experten in spezialisierten Systemen durchgeführt werden.

3.5.3 Übernahme bereits existierender Planungsinhalte

Bei einer Produktentwicklung kommen vielfach Elemente aus dem Vorgängerprodukt oder aus einer ähnlichen Produktreihe in gleicher oder überarbeiteter Version erneut zum Einsatz. In der Konstruktion sind diese Arbeitsmethodiken z. B. Baureihen- bzw. Baukastenkonstruktion [*Ehrlenspiel 1992*], bereits weit verbreitet. In der Montageplanung wird diese Arbeitsweise trotz einer erreichbaren hohen Aufwandsreduzierung dagegen nur selten eingesetzt. Gründe hierfür sind:

- Planungsdocumentation der Montageanlagen stimmt nicht mit den Serienanlagen überein
- Übernahme der Planungsdaten ist nicht oder nur mit hohem Aufwand möglich
- kaum Informationen aus der Konstruktion von übernommenen bzw. überarbeiteten Elementen vorhanden

Die Verwendung bereits existierender Planungsinhalte ist für das hier dargestellte Konzept einer durchgängigen Planungsmethode nicht nur ein wichtiger Bestandteil für die Reduzierung des Planungsaufwandes, sondern auch der erste Schritt zu einer Montagewissensbasis. Während des Betriebs werden Fehler und Optimierungspotentiale der Montageanlagen erkannt und vielfach Veränderungen an den Anlagen vorgenommen (vgl. Kapitel 2.2 "Anlauf- und Betriebsbetreuung"). Durch eine Dokumentation aller Veränderungen in den Planungsunterlagen wird die Aktualität der existierenden Planungsinhalte

gewährleistet. Eine Beurteilung der Anlagen aus dem laufenden Betrieb unterstützt das Lernen aus vorangegangenen Fehlern und hilft, ein stetig verbessertes Planungsniveau zu erreichen.

Forderung an Planungsunterstützung 17: Möglichkeit für die Dokumentation von Anlagenbeurteilungen

Eine wesentliche Voraussetzung für die Übernahme existierender Planungsinhalte ist die Verknüpfung des Bauteils mit dem Montagevorgang und der Montageanlage. Mit der Information aus der Konstruktion, welches Bauteil bzw. welche Baugruppe aus welchem Produkt, in das neue Produkt eingeflossen ist, kann der Montageplaner die zugehörigen existierenden Planungsinhalte ermitteln und übernehmen ("*Forderung an Planungsunterstützung 9*").

Die Übernahme bzw. Überarbeitung von Elementen bei einer Produktneuentwicklung betrifft meist nur einzelne Bauteile oder Baugruppen. Diesbezüglich können in der Montageplanung ebenfalls nur Unter- bzw. Teilsysteme übernommen werden. Die Planung des Gesamtsystems muß deshalb hierarchisch bis zu den einzelnen Komponenten gegliedert sein (vgl. "*Forderung an Planungsunterstützung 3*"), damit eine flexible Verwendung bestehender Planungsinhalte gewährleistet ist.

Forderung an Planungsunterstützung 18: Übernahme der Planungsinhalte auf allen hierarchischen Ebenen der Planung

3.5.4 Standardisierung

Eine Standardisierung der Montageplanungsergebnisse, d. h. eine einheitliche Verwendung der Hierarchieebenen und Bezeichnungen, ist für die Wiederverwendbarkeit und die Vergleichbarkeit der Planungsinhalte eine unerläßliche Voraussetzung.

Die Bereitstellung von Standardelementen in der Planung ermöglicht aber auch eine Reduzierung des Planungsaufwandes. Beispiele hierfür sind Bibliotheken mit Greifersystemen oder Planzeittabellen mit Ausführzeiten standardisierter

Montagevorgänge. Für eine einfache Verwendung dieser Standards sollte deren Integration in die Planungsumgebung gewährleistet werden.

Forderung an Planungsunterstützung 19: Bibliotheken für die einfache Verwendung von Standards

3.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die wesentlichen Elemente für eine durchgängige Planung von Montageanlagen bei einer verkürzten Produktentwicklungszeit vorgestellt. Ebenso wurden detaillierte Forderung an eine Planungsunterstützung abgeleitet, auf dessen Basis in den nachfolgenden Kapiteln ein Planungssystem entworfen wird. Nachfolgend sind alle detaillierten Anforderungen an die Systemunterstützung zusammengefaßt (Bild 3-14):

Bevor in Kapitel 5 und 6 der Entwurf des Planungssystems aufgezeigt wird, stellt Kapitel 4 eine Modellierungssprache vor, auf dessen Semantik die Gestaltung des in Kapitel 5 dargelegten Datenmodells für das Planungssystem beruht.

Nr.	Forderung an Planungsunterstützung
1	Direkter Zugriff und einfache Verwaltung der Änderungsbereiche
2	Planungsmöglichkeit auf unterschiedlichem Detaillierungsniveau
3	Visualisierung der Änderungen zum vorangegangenen Planungsstand
4	Einfaches Einarbeiten der Änderungen in den Planungsstand
5	Ergebnisse sollten in den Arbeitsprozessen der Planungsregelkreise direkt weiterverarbeitet werden
6	Datendurchgängigkeit über alle Planungsschritte
7	Datendurchgängigkeit über alle Detaillierungslevel der Planung
8	Konsistente Planung durch rückwirkende Datendurchgängigkeit über alle Detaillierungslevel und Planungsschritte
9	Aufbau einer Verbindung zwischen dem Produkt, dem Montageablauf und den Montageanlagen
10	Graphisch- und layoutbasierter Planungsablauf über alle Planungsphasen und -inhalte.
11	Datendurchgängigkeit über alle Hierarchieebenen der digitalen Fabrik
12	Einfache Erstellung und Bewertung von Montageplanungslösungen
13	Einfaches Navigieren und Selektieren der Produktvarianten
14	Verwaltungs- und Kombinationsmöglichkeit der Planungsalternativen
15	Unterstützung beim Verwalten von Planungsvarianten und -versionen
16	Integration stark vereinfachter Anwendungssysteme in die Planungsumgebung
17	Möglichkeit für die Dokumentation von Anlagenbeurteilungen
18	Übernahme der Planungsinhalte auf allen hierarchischen Ebenen der Planung
19	Bibliotheken für die einfache Verwendung von Standards

Bild 3-14: Zusammenfassung der Anforderungen an Planungsunterstützung

4 Die Datenmodellierungssprache "Unified Modeling Language" UML

Die Planung und Einführung von Informationssystemen erfordert eine anwenderspezifische sowie erweiterungsfähige Abbildung der relevanten Prozesse durch eine geeignete Darstellungsweise [Fowler 1997]. Die generellen Anforderungen an eine solche Methode liegen [Mertins u. a. 1994, Wunderli 1996]:

- in der vollständigen Repräsentation aller entscheidungsrelevanten Planungsinformationen,
- in der Integration der unterschiedlichen Sichtweisen,
- in der Verfügbarkeit einer durchgängigen Modellierungslogik.

Moderne objektorientierte Methoden unterstützen diese Anforderungen mit generischen Modellierungskonstrukten und Objektbeschreibungsschemata [Mertins u. a. 1994]. In der Literatur wird hierbei besonders die Datenmodellierungssprache UML hervorgehoben, da diese die Vorzüge bekannter objektorientierter Methoden vereint [Burkhardt 1997, Fowler 1997]. Aufgrund dessen wurde in dieser Arbeit zur Beschreibung des Datenmodells die Sprache UML eingesetzt, deren Grundelemente in diesem Kapitel näher erläutert werden.

4.1 Vorstellung der UML

Die "Unified Modeling Language" (UML) ist eine grafische Modellierungssprache zur Unterstützung des Softwareentwicklungsprozesses. Sie faßt die Methoden aus Datenmodellierung (ER-Diagramme), Geschäftsprozeßmodellierung (Petri Netze), Objektmodellierung und Komponentenmodellierung zusammen [Fowler 1997].

Die UML ist eine Weiterentwicklung verschiedener Vorgängermethoden. Sie vereint die objektorientierten Methoden OOSE (Object-Oriented Software Engineering) [Jacobson 1997], OMT (Objekt Modeling Technique) [Rumbaugh 1991] und Booch [Booch 1994]. Dementsprechend ist die UML eine sehr junge

Modellierungssprache. Eine erste Veröffentlichung erfolgte 1997 nach einer Standardisierung durch die Objekt Management Group (OMG). Trotz dieser relativ kurzen Marktpräsenz wird die UML bereits von vielen Entwicklungsapplikationen unterstützt (z. B. CORBA, ActiveX/COM, Components).

Der Grundgedanke der UML besteht darin, eine einheitliche Notation für viele Einsatzgebiete zu haben. Ein wichtiges Ergebnis bei der Modellierung ist die Ausarbeitung einer grundlegenden Architektur für das zu gestaltende System. Hierzu besteht die UML aus acht verschiedenen Diagrammformen (Bild 4-1), die wiederum verschiedene graphische Elemente mit exakt festgelegter Semantik besitzen. Über die verschiedenen Diagramme hinweg gibt es teilweise mehrere Darstellungsarten für einen Sachverhalt.

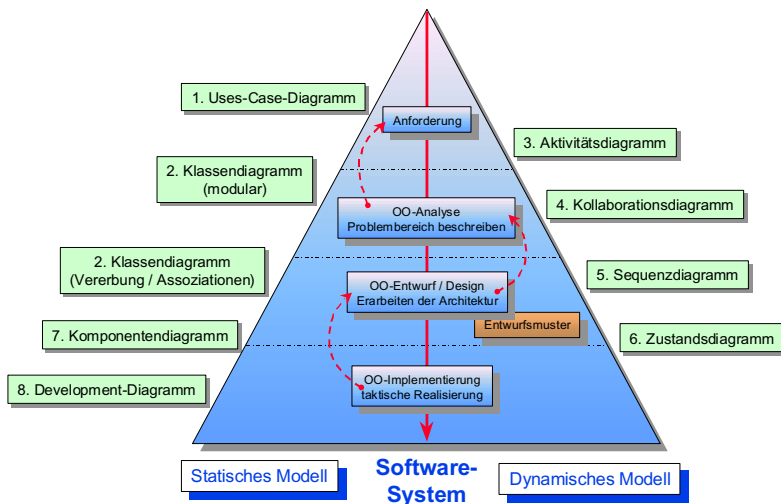


Bild 4-1: Diagrammformen der UML im Softwareentwicklungsprozeß [Booch u. a. 1998]

Die acht Diagrammformen lassen sich für die Beschreibung von statischen bzw. dynamischen Modellen einteilen (Bild 4-1). Die Diagrammnummer gibt dabei den Einsatzzeitpunkt des Diagrammes im Softwareentwicklungsprozeß wieder [Booch u. a. 1998].

Nach Bild 4-1 beginnt die Gestaltung eines Software-Systems mit der Definition der Anforderungen. Darauf aufbauend werden diese nach objektorientierten Gesichtspunkten analysiert, um zu einer Beschreibung der Problembereiche zu gelangen. Anschließend erfolgt der Entwurf und die Implementierung des Systems.

Im Folgenden werden die einzelnen Diagrammformen kurz beschrieben [*Booch u. a. 1998, Fowler 1997*]:

- Use-Case-Diagramm (1)
Dieses Diagramm wird zur Festlegung der Anforderungen für eine abstrakte Spezifikation allgemeiner Anwendungsfälle eingesetzt.
- Klassendiagramm (2)
Mit dem Klassendiagramm wird der Aufbau der statischen Klassen beschrieben (vgl. Kapitel 4.2). Der Einsatz erfolgt in der Phase der Eigenschaftsfestlegung des Systems und in der Phase der Softwareerstellung.
- Aktivitätsdiagramm (3)
Aktivitätsdiagramme werden zur Beschreibung paralleler Prozesse eingesetzt. Sie stellen eine Zusammenlegung der Darstellungstechniken von Zustandsdiagrammen, Flußdiagrammen und Petri-Netzen dar. Der Einsatz erfolgt in der Phase der Eigenschaftsfestlegung und in der Phase der Softwareerstellung.
- Kollaborationsdiagramm (4) / Sequenzdiagramm (5)
Diese Diagrammformen beinhalten die gleiche Information und unterscheiden sich lediglich in der Darstellungsform. Sie zeigen den Nachrichtenfluß und damit die Zusammenarbeit der Objekte im zeitlichen Ablauf. Eine Analyse dieser Diagramme führt zu den Klassendefinitionen. Der Einsatz kann in allen Softwareentwicklungsphasen erfolgen.
- Zustandsdiagramm (6)
Dieser Diagrammtyp kann aus den Kollaborations- und Sequenzdiagrammen abgeleitet werden. Das Zustandsdiagramm beschreibt den Lebenszyklus, d. h.

das dynamische Verhalten, eines Objektes. Der Einsatz erfolgt über alle Entwicklungsphasen.

- Komponentendiagramm (7)

In Komponentendiagrammen wird die logische Systemstruktur der Software, d. h. die Abhängigkeiten der ausführbaren Programmkomponenten, dargestellt. Diese Diagramme werden während und zum Abschluß der Softwareerstellungphase eingesetzt.

- Development-Diagramm (8)

Dieser Diagrammtyp beschreibt die physikalischen Systemkomponenten (Hardware). Development-Diagramme werden ebenso wie die Komponentendiagramme während und zum Abschluß der Softwareerstellungphase eingesetzt.

4.2 Das Klassenmodell der UML

Das Klassendiagramm ist der zentrale Bestandteil der UML. Es zeigt die Existenz von Klassen und ihre Beziehungen aus der logischen Sicht eines Systems. Unter allen acht Diagrammen bildet das Klassendiagramm somit die Grundlage für die Gestaltung eines datenbankbasierten Systems [Fowler 1997].

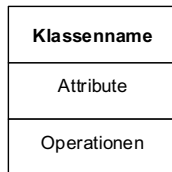
Das Modellierungselement "Klasse" bildet die zentrale Einheit des Diagramms. Die Klasse stellt eine Sammlung von Objekten mit gemeinsamer Struktur, gemeinsamen Verhalten, gemeinsamen Beziehungen und gemeinsamer Semantik dar. Objekte sind die Daten einer Klasse, die sich entsprechend dem Protokoll ihrer Klasse verhalten [Booch u. a. 1998].

Eine Klasse wird nach der Notation von UML als Rechteck mit bis zu drei Unterteilungen dargestellt (Bild 4-2). In dem oberen Bereich des Rechtecks wird der Klassenname eingetragen. In der zweiten Unterteilung werden die Attribute der Klasse angegeben. Die Attribute stellen die Eigenschaften der Objekte einer Klasse dar und bilden den Datenbestand der Klasse. In dem dritten Bereich können bei Bedarf die Methoden bzw. Operationen einer Klasse angegeben

werden. Diese legen das Verhalten einer Klasse fest. Auf die Operationen wird jedoch in dieser Arbeit nicht näher eingegangen, da dies den gegebenen Rahmen sprengen würde.

Die strenge visuelle Unterscheidung zwischen Objekten und Klassen entfällt in der UML. Die Symboldarstellung von Objekten und Klassen wird lediglich dadurch unterschieden, daß ihre Bezeichnung unterstrichen ist. In der zweiten Unterteilung der Objektdarstellung werden die Attributwerte angegeben (Bild 4-2). Objekte und Klassen können auch zusammen in Klassendiagrammen auftreten [Burkhardt 1997].

Klasse:



Objekt:

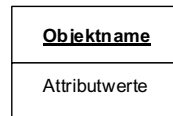


Bild 4-2: Darstellungsform von Klassen und Objekten

Zwischen den einzelnen Klassen des Diagramms können Beziehungen definiert werden. Die Beziehungen geben einen Kommunikationsweg zwischen Objekten der Klassen an.

In der UML gibt es drei Typen von Beziehungen [Rumbaugh u. a. 1998]:

- Assoziationen
Eine Assoziation stellt eine allgemeine Beziehung, in Form einer ungerichteten Verbindung, zwischen zwei Klassen dar. Sie wird in dem Diagramm als Verbindungslinie zwischen den Klassen angegeben (Bild 4-3).
- Aggregationen
Die Aggregation ist eine strengere Form einer Assoziation. Sie gibt an, daß eine Klasse in der verbundenen Klasse enthalten ist (ist-Teil-von-Beziehung). Eine Aggregation wird mit einer Raute an der Linie dargestellt (Bild 4-3).

- Komposition

Die Komposition ist eine stärkere Form der Aggregation. Eine Kompositionsbeziehung bedeutet, daß die Klasse physikalisch in der anderen Klasse enthalten ist. Sie wird durch eine ausgefüllte Raute dargestellt (Bild 4-3).

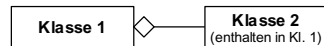
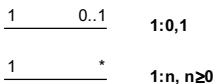
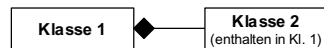
Assoziation:**Aggregation:****Assoziation mit Multiplizität:****Komposition:**

Bild 4-3: Darstellung von Beziehungen

An einer Assoziation können Multiplizitäten, d. h. Zahlen oder Zahlenbereiche, angegeben werden. Diese definieren die Anzahl der Objekte, die miteinander in Beziehung stehen. Die Multiplizitäten (oder auch Kardinalität) werden an beiden Enden der Assoziation angegeben (Bild 4-3). Der Zahlenwert sagt hierbei aus, wie viele Objekte der Klasse mit **einem** Objekt der anderen Klasse in Beziehung stehen [Booch u. a. 1998, Fowler 1997].

Ein besonderes Merkmal der objektorientierten Denkweise ist die Möglichkeit, Eigenschaften zu vererben. Der Vererbungsmechanismus stellt, je nach Richtung, eine Generalisierung bzw. Spezialisierung dar. Gemeinsame Eigenschaften (Attribute, Operationen und/oder Beziehungen) werden in der höchsten gemeinsamen Klassenhierarchie angegeben. Von der Oberklasse erben die Unterklassen die gemeinsamen Eigenschaften. Unterschiedliche Eigenschaften verbleiben hingegen in den Unterklassen. Die Beziehung zwischen Ober- und Unterklasse wird in Form eines Pfeiles (zur Oberklasse gerichtet) angegeben (Bild 4-4).

Vererbung:

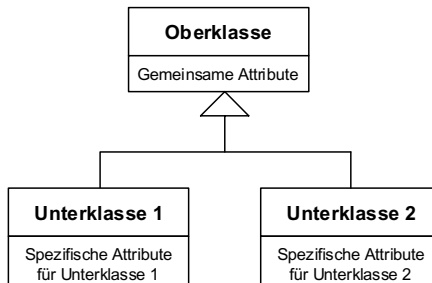


Bild 4-4: Darstellung von Vererbungsbeziehungen

Die hier dargelegte Semantik des Klassendiagramms wird in dem folgendem Kapitel zur Abbildung des Datenmodells, das die Basis des Planungssystems darstellt, verwendet.

5 Datenmodell für eine durchgängige Montageplanung

In diesem Kapitel wird ein Datenmodell vorgestellt, daß die Basis für ein Planungssystem bildet. Mit diesem System soll die in Kapitel 3 aufgezeigte Methode einer durchgängigen Montageplanung unterstützt werden. Ziel ist es, alle Informationen der Montageplanung in dem Datenmodell abzubilden. Hierzu werden die benötigten Klassen, deren Beziehungen sowie deren wesentliche Attribute abgeleitet. Weiterhin wird dessen Einsatz für eine durchgängige, rechnergestützte Montageplanung erläutert.

Eine Unterteilung in die Hauptklassen "Produkt", "Prozeß" und "Ressource" wird bereits bei *Feldmann [1997]* und *Steinwasser [1997]* vorgenommen. Diese klare Strukturierung findet sich auch in dem folgenden Datenmodell wieder. Produktspezifische Informationen, wie z. B. Geometriebeschreibungen und Materialangaben, werden in der Klasse "Produkt" abgelegt. Alle Informationen, die den Montagevorgang betreffen, z. B. Vorgangsbeschreibung und Ausführzeit, werden mit der Klasse "Prozeß" verwaltet. Maschinen, Werkzeuge und alle weiteren ressourcenbezogenen Daten werden in der Klasse "Ressource" gespeichert.

Mit einer zusätzlichen Hauptklasse, den Verbindungsinformationen, können die für die Montageplanung wichtigen Prozeßinformationen (z. B. Schraubfälle, Schweißpunkte, Klebenähte) in die Planung einfließen.

5.1 Produkt

Die Klasse Produkt beinhaltet die gestaltbeschreibende Form und Dimensionierung der Einzelteile. Informationen wie Material und "administrative Daten" wie Bearbeiter werden zu jedem Objekt gehalten. Eine exakte räumliche Lage der Einzelteile zueinander und eine Hierarchisierung zu Baugruppen (Produktstruktur) ermöglicht die Verwaltung des kompletten Erzeugnisses.

5.1.1 Anbindung an die Bauteilkonstruktion

Die Produktinformationen bilden die Schnittstelle zwischen der Konstruktion und der Montageplanung. Die Montageplanung ergänzt die Ergebnisse der Konstruktion um Prozeß- und Ressourceninformationen. Damit Schnittstellenverluste möglichst vermieden werden, wird vielfach eine enge Kopplung zwischen den beiden Prozessen gefordert [*Gustav 1993, Lamei-Moustafa 1988*].

Ein gemeinsames Datenmodell von Konstruktion und Montageplanung mit gemeinsam verwendeten Objekten [*Steinwasser 1997*] wäre die konsequente Folgerung auf diese Anforderung. Dieser theoretische Ansatz findet in der Industrie bisher jedoch kaum Anwendung, da sich die "CAD-Welt" bereits mit speziellen Anwendungs- und PDM-Systemen fest etabliert hat. Durchgreifende Änderungen an diesen Datenmodellen stießen in der Vergangenheit teilweise auf Widerstand der Konstruktionsbereiche und der CAD- bzw. PDM-Systemanbieter [*Kleineidam 1990*].

Derzeitige Entwicklungen unterstützen zwar die Forderung nach einem gemeinsamen Datenmodell [*Bindbeutel 1998, IBM 1998*], eine vollständige Realisierung wird jedoch auch zukünftig schwer möglich sein, da die Montageplanung vielfach aus unterschiedlichen Bereichen Informationen bezieht (Bild 5-1). Die Produktkonstruktion kann sich z. B. aus der firmeninternen Konstruktionsabteilung, unterstützenden Ingenieurbüros (SE-Partnern) und Lieferanten zusammensetzen. Zusätzlich werden viele Produktvarianten (z. B. Ausstattungen, Farben) von anderen Unternehmensbereichen, wie z. B. dem Vertrieb oder dem Einkauf, festgelegt.

Da die einzelnen Entwicklungsbereiche vielfach unterschiedliche Systeme einsetzen, erhält die Montageplanung die Informationen nicht nur aus verschiedenen Bereichen, sondern teilweise auch in einem nicht kompatiblen Dateiformat.

Aus diesen Gründen werden die Produktinformationen bei dem hier aufgezeigten Datenmodell redundant gehalten (bei Konstruktion und bei Montageplanung). Im Gegensatz zu einem gemeinsamen Datenmodell, das von den meisten bestehenden Methoden bevorzugt wird (vgl. Kapitel 2.3) ist hiermit die verteilte Erstellung der Informationen einfacher zu gewährleisten.

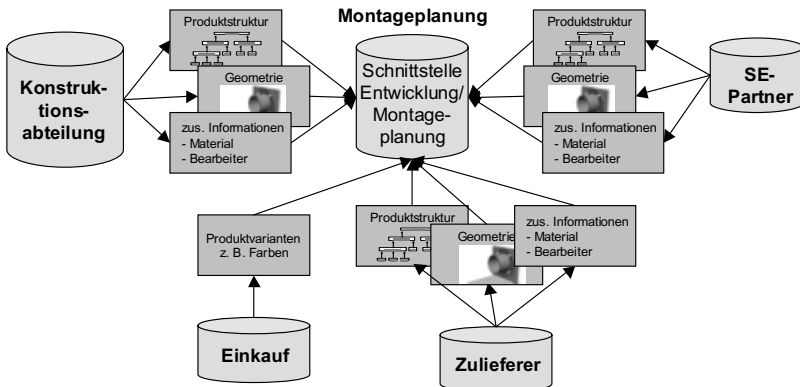


Bild 5-1: Schnittstelle zwischen Entwicklung und Montageplanung

Die Produktstruktur aus konstruktiver Sicht und die Informationen zu den Einzelteilen werden als Eingangsinformationen in das Datenmodell der Montageplanung übertragen. Für diese Kopplung in Form einer standardisierten Schnittstelle kommt derzeit nur der "Standard for the Exchange of Product Model Data" (STEP) in Betracht [Anderl 1992, ISO 10303-1 1993, Spur & Krause 1997]. Andere Schnittstellenformate können meist nicht alle benötigten Informationen, wie z. B. Produktstruktur, übertragen [Grabowski u. a. 1989]. In diesen Fällen müssen spezielle, auf das jeweilige System zugeschnittene Schnittstellen, entwickelt werden.

Ein wesentlicher Vorteil dieser indirekten Kopplung ist die Schaffung eines eigenständigen Bereiches für die Produktinformationen in dem Datenmodell der Montageplanung. In diesem Bereich können produktrelevante Informationen von verschiedenen Erstellern und Systemen übertragen und dem Planer gesammelt zur Verfügung gestellt werden (Bild 5-1).

Der Aufwand für die Datenübertragung ist gering, da diese mit Hilfe der Schnittstelle automatisch durchgeführt werden kann. Ebenso wird bei der Arbeitsweise mit kurzen Planungsintervallen lediglich zu Beginn eines Intervalls eine Aktualisierung der Informationen benötigt (vgl. Kapitel 3.2).

Die zusätzliche Datenmenge aufgrund der redundanten Datenhaltung liegt auf geringem Niveau, da nicht alle Daten davon betroffen sind. Informationen zur Produktstruktur und die zusätzlichen Informationen zu den Einzelteilen (z. B. Material und Bearbeiter) benötigen im Vergleich zu den Geometrieinformationen nur geringe Speicherkapazitäten. Aus diesem Grund ist es u. U. sinnvoll, die speicherintensiven Geometrieinformationen nicht redundant zu halten, sondern bei Bedarf direkt darauf zuzugreifen. Voraussetzung hierzu ist, daß von dem PDM-System der Konstruktion ein direkter Zugriff auf die Daten ermöglicht wird und daß die originalen CAD-Daten visualisiert werden können (vgl. Kapitel 6.3). Ebenso müssen die Geometrieinformationen bei Abschluß jeder Konstruktionsphase zu einer neuen Version abgespeichert werden.

Bei der in Bild 5-1 dargestellten Situation sind diese Voraussetzungen nur schwer zu erfüllen, da die Geometrieinformationen an unterschiedlichen Orten gespeichert werden (Konstruktionsabteilung, Lieferant, SE-Partner) und die gleichzeitige Visualisierung der Original-Daten unterschiedlicher CAD-Systeme kaum möglich ist. In diesem Fall wird die Reduzierung des Speicherbedarfs durch den Einsatz von, speziell für Visualisierungstechniken entwickelte Geometriebeschreibungsformaten (z. B. VRML, Voxel-Technik) gewährleistet [Niessner 1997, Tecoplan 1998, Risse 1997]. Bei der Übertragung der Daten werden die Geometrieinformationen gleichzeitig in das neue Format übersetzt. Somit werden auch bei dieser Lösung die Geometrieinformationen nicht redundant gespeichert sondern in einem für die Visualisierungsanforderungen der Montageplanung angepaßten Format gehalten.

Der eigenständige Bereich für Produktinformationen in dem Datenmodell der Montageplanung zeigt das Produkt aus Sicht der Konstruktion. Diese Informationen werden deshalb in dem Datenmodell durch die Klasse "Konstruktionsprodukt" repräsentiert (Bild 5-2).

Von der Klasse "Produkt" erbt die Klasse "Konstruktionsprodukt" die Attribute Bauteilidentifikationsnummer, die Bauteilversion und die räumliche Anordnung. Die Identifikationsnummer besteht aus der Bauteilnummer des PDM-Systems, einer Angabe zur (Produkt-)Variante und zur (Produkt-)Alternative. Anhand dieser zusammengesetzten Identifikationsnummer kann das Produkt bei der Übertragung der Daten aus der Konstruktion eindeutig bestimmt werden.

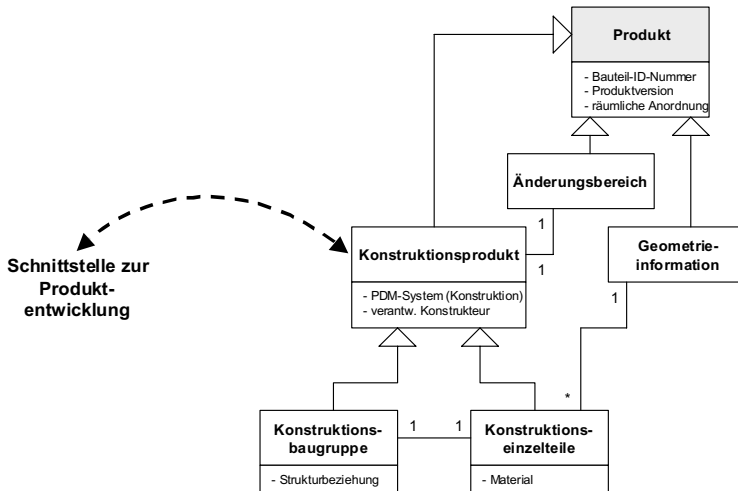


Bild 5-2: Klasse "Konstruktionsprodukt"

Objekte der Klasse "Konstruktionsprodukt" führen Informationen zu dem verantwortlichen Konstrukteur und dem PDM-System der Konstruktion mit. Diese Informationen werden benötigt, um Informationsrückflüsse von der Montageplanung zur Konstruktion zu ermöglichen.

Ebenso besteht von jedem Objekt der Klasse "Konstruktionsprodukt" eine Assoziation zu einem Objekt der Klasse "Änderungsbereich". Eine eigenständige Klasse für die Änderungsbereiche ermöglicht deren Erstellung und Verwaltung in unabhängigen Formaten. Die Vererbung der Bauteilidentifikationsnummer von der Klasse "Produkt" gibt eine eindeutige Referenz des Bauteils auf den zugehörigen Änderungsbereich. Die Änderungsbereiche sind somit für den Planer einfach über das Bauteil zugänglich. Das unabhängige Format der Änderungsbereiche ermöglicht das einfache Bearbeiten (z. B. in einem Texteditor). Dadurch wird die Kommunikation mit dem Konstrukteur und die montagegerechte Produktgestaltung unterstützt. Die "Forderung an Planungsunterstützung 1", ein direkter Zugriff und eine einfache Verwaltung der Änderungsbereiche, wird somit erfüllt.

In einer weiteren Untergliederung wird die Klasse "Konstruktionsprodukt" in die Klassen "Einzelteile" und "Baugruppen" aufgeteilt. Mit Hilfe einer Assoziation zwischen diesen Klassen lassen sich die einzelnen Bauteile zu Baugruppen strukturieren. Die zusätzliche "Strukturbeziehung" der Klasse "Konstruktionsbaugruppe" ermöglicht die Bildung einer hierarchischen Baugruppenstruktur.

Die räumliche Anordnung (vererbt von der Klasse "Produkt") beschreibt die genaue Position und Orientierung des jeweiligen Objektkoordinatensystems (in welchem das Bauteil konstruiert wurde) zu dem des Vaterobjektes. Das Vaterobjekt eines Einzelteils ist die Baugruppe. Die "räumliche Anordnung" beschreibt somit die Lage des Einzelteils in der Baugruppe. Bei einer hierarchischen Baugruppenstruktur beschreibt dieses Attribut die Lage der Baugruppe zu der Hauptbaugruppe, usw.. Über die einzelnen Hierarchiestufen ergibt sich somit ein komplettes Erzeugnis.

Für eine durchgängige Abbildung dieser Logik werden Gleichteile (Einzelteile sowie Baugruppen) als eigenständige Objekte mit einer spezifischen räumlichen Anordnung repräsentiert. Sie besitzen jedoch eine übereinstimmende Bauteilidentifikationsnummer.

Die Einzelteile haben eine Assoziation zu Objekten der Klasse "Geometrieinformation". Damit wird deren geometrische Beschreibung repräsentiert. Es besteht eine 1:n Beziehung, da in der Klasse "Einzelteile" auch Gleichteile durch eigenständige Objekte abgebildet werden. Somit können mehrere Einzelteile auf eine Geometrieinformation referenzieren.

Die geometrische Beschreibung des kompletten Erzeugnisses ergibt sich aus den Geometrieinformationen der Einzelteile sowie der räumlichen Anordnung in der hierarchischen Struktur (vgl. oben).

Die hier dargestellte Klasse "Konstruktionsprodukt" repräsentiert den zuvor beschriebenen eigenständigen Bereich für Produktionsinformationen in dem Datenmodell der Montageplanung. Die Objekte dieser Klasse sind die Ergebnisse der Konstruktion, die von dem Planer in eine Montagereihenfolge strukturiert werden. Damit die Eingangsinformationen stets verfügbar sind und die neuen Informationen der Konstruktion zu jeder Zeit eingespielt werden können, wird eine Trennung zwischen Eingangsinformationen und Planungsinformationen

vorgenommen. Diese "zweite" Produktstruktur wird in dem folgendem Kapitel dargelegt.

5.1.2 Produktstruktur in Montager Reihenfolge

Die Produktstruktur aus Montagesicht wird von der Klasse "Planungsprodukt", die ebenfalls von der Klasse "Produkt" abgeleitet wurde, repräsentiert (Bild 5-3).

Die Objekte der Klasse "Planungsprodukt" führen Informationen zu der Planungsalternative, der Planungsvariante und dem verantwortlichen Planer mit. Entsprechend der Klasse "Konstruktionsprodukt" gliedert sich die Klasse "Planungsprodukt" in die Unterklassen "Planungseinzelteile" und "Planungsbaugruppen" (Bild 5-3).

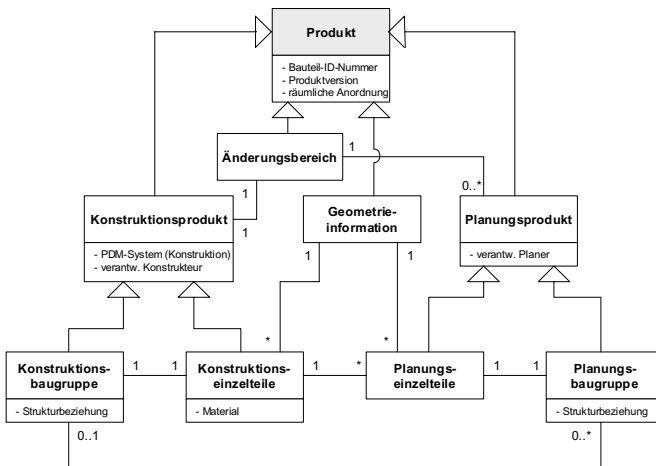


Bild 5-3: Die gesamte Klasse "Produkt"

Zwischen den Klassen "Konstruktionsprodukt" und "Planungsprodukt" besteht eine Assoziation. Die Beziehung zwischen den Einzelteilen von Konstruktions- und Planungsprodukt stellt eine 1:n-Multiplizität dar, da die Einzelteile des Planungsprodukts mehrfach in Planungsalternativen und Varianten auftreten

können. Die Assoziation zwischen den Baugruppen besteht dagegen nur, wenn die Planungs- und die Konstruktionsseite die gleiche Struktur aufweisen.

5.1.3 Der Arbeitsvorrat zur Gewährleistung eines Änderungsmanagements

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Klasse "Produkt" mit den Unterklassen "Konstruktionsprodukt" und "Planungsprodukt" erläutert. Die unterschiedliche Sichtweise auf das Produkt (aus Planungs- und aus Konstruktionsseite) ist kein ausreichender Grund für eine redundante Haltung der Einzelteile. Der ausschlaggebende Grund hierfür ist die Gewährleistung eines Änderungsmanagements für die Planung.

Das Einlesen aktueller Produktinformationen aus der Konstruktion (d. h. des Konstruktionsproduktes) darf die in sich stimmige Montageplanung nicht beeinflussen, da sonst unerkannte Planungsfehler auftreten könnten. Erst nach der Überprüfung aller Auswirkungen durch den Planer werden die Produktänderungen einzeln in die Planung eingearbeitet. Es entsteht eine neue Planungsversion.

Um der *"Forderung nach Planungsunterstützung 3"* (Visualisierung der Änderungen) zu entsprechen, wird ein Abgleich zwischen "Konstruktions-" und "Planungsprodukt" benötigt, um die Änderungen festzustellen. Ebenso wird entsprechend *"Forderung nach Planungsunterstützung 4"* ein einfaches Einarbeiten der Änderungen benötigt.

Bei der Übertragung einer neuen Version der Produktinformationen in die Klasse "Konstruktionsprodukt" werden die bereits bestehenden Objekte anhand der Bauteilidentifikationsnummer identifiziert. Für diese Bauteile werden keine neuen Objekte angelegt sondern lediglich deren Attributwerte aktualisiert. Neue Objekte werden nur generiert, wenn die neue Produktversion zusätzliche Bauteile beinhaltet.

Eine andere Vorgehensweise wird bei der Klasse "Geometrieinformation" verfolgt, da diese nur einmal und nicht eigenständig für "Konstruktions-" und "Planungsprodukt" vorhanden ist (vgl. Kapitel 5.1.1). Bei Veränderung der

geometrischen Ausprägung einer neuen Bauteilversion wird ein neues Objekt dieser Klasse erzeugt.

Mit Hilfe der Assoziation zwischen "Konstruktionsprodukt" und "Planungsprodukt" kann ein Abgleich über die jeweilige Produktversion erstellt werden. Die Unterschiede, d. h. Versionsänderungen, zusätzliche sowie entfallende Teile, können an der Klasse "Planungsprodukt" angezeigt werden (Bild 5-4).

An der Klasse "Planungsprodukt" erfolgt lediglich die Anzeige der Abweichungen zwischen "Konstruktionsprodukt" und "Planungsprodukt". Die Objekte der Klasse "Planungsprodukt" enthalten weiterhin die Informationen der ursprünglichen Bauteile.

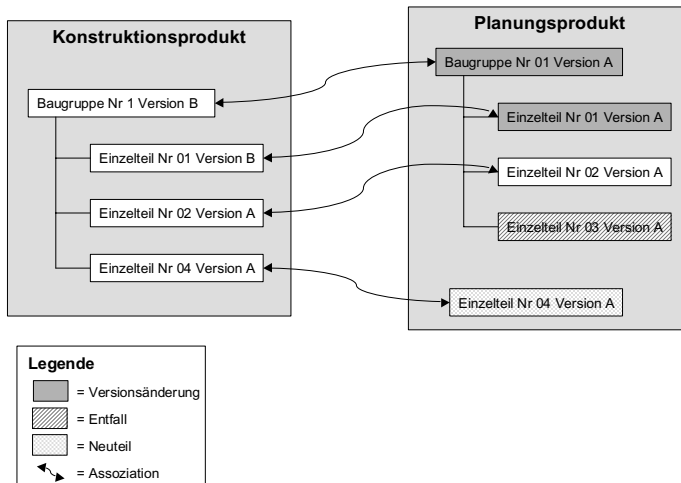


Bild 5-4: Abgleich zwischen "Konstruktionsprodukt" und "Planungsprodukt"

In der anstehenden Planungsphase werden die Änderungen sukzessive in die Planung eingearbeitet. Erst bei diesem Vorgang werden die neuen Bauteilinformationen von den Objekten der Klasse "Planungsprodukt" übernommen. Die neue Produktversion in der Klasse "Konstruktionsprodukt" und die angezeigten Abweichungen zur Klasse "Planungsprodukt" stellen somit einen Änderungsvorrat für die Montageplanung dar.

Bei jeder Änderung sollten die Auswirkungen auf die Montagevorgänge und die Montageanlagen überprüft werden. Nach Bestätigung durch den Planer wird die neue Bauteilversion automatisch in die Klasse "Planungsprodukt" übernommen. Damit wird der "*Forderung nach Planungsunterstützung 4*", ein einfaches Einarbeiten der Änderungen, entsprochen.

Auch die Forderung nach Visualisierung der Änderungen ("*Forderung an Planungsunterstützung 3*") wird hiermit erfüllt. Über die angezeigten Abweichungen am "Planungsprodukt" und die Assoziation zum "Konstruktionsprodukt" können:

- die ursprüngliche und die neue Bauteilgeometrie,
- der alte und der neue Änderungsbereich und
- sonstige Bauteilinformationen beider Versionen

angezeigt werden. Ein gleichzeitiges Visualisieren der Geometrieinformationen beider Bauteilversionen läßt die Änderungen erkennen.

5.1.4 Handhabung von Produktalternativen und -varianten

Wie bereits dargelegt, stellen die Produktalternativen und -varianten eine hohe Anforderung an die Montageplanung (vgl. Kapitel 3.4). Um den Planungsablauf zu erleichtern, sollten entsprechend der "*Forderung an Planungsunterstützung 13*" die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede der Produktvarianten angezeigt werden. Ebenso sollte die Handhabung einzelner sowie mehrerer Produktvarianten gemeinsam ermöglicht werden, um sie in Beziehung zu den Montagevorgängen und -anlagen zu bringen.

Um dieser Forderung zu entsprechen wird in der Produktstruktur die Möglichkeit für die Darstellung der bestehenden Produktvarianten geschaffen (Bild 5-5). Die Identifikationsnummer der Objekte aus der Klasse "Planungsprodukt" besteht aus der Bauteilnummer sowie einer Angabe zur (Produkt-)Variante und zur (Produkt-)Alternative. Da die Bauteilnummer bei verschiedenen Varianten bzw. Alternativen eines Bauteils identisch ist, kann die Zusammengehörigkeit der Objekte einfach angegeben werden.

Der strukturelle Aufbau der Produktvarianten bzw. -alternativen wird mit Hilfe der Assoziationen zwischen den Einzelteilen und den Baugruppen erreicht. Somit kann eindeutig dokumentiert werden, aus welchen Produktvarianten eine Baugruppenvariante besteht.

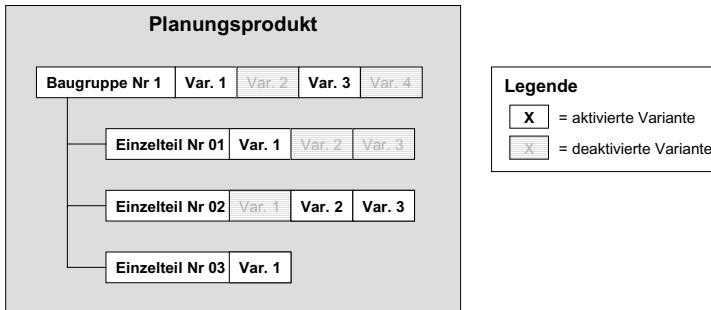


Bild 5-5: Handhabung von Produktvarianten

In der Darstellung der Produktstruktur können gleichzeitig mehrere Varianten eines Bauteils aktiviert und somit auch visualisiert werden (Bild 5-5). Damit kann der gemeinsame Bezug zu Montagevorgängen einfach erstellt werden. In dem Datenmodell verbleiben jedoch alle Produktvarianten und -alternativen eigenständige Objekte. Es werden lediglich gleichzeitig an mehreren Objekten Aktionen ausgeführt.

Mit der in den vorangegangenen Kapiteln dargelegten Klasse "Produkt" und deren Unterklassen können alle Produktinformationen abgelegt werden.

5.2 Vorgang

In der Klasse "Vorgang" werden die Montagevorgänge verwaltet. Als Vorgänge werden alle Verrichtungen eines Werkers oder einer Maschine betrachtet, die direkt (z. B. verschrauben) oder indirekt (z. B. Werkzeug wechseln) zum Montagefortschritt beitragen.

5.2.1 Hierarchische Struktur

Die Objekte der Klasse "Vorgang" bilden Montagevorgänge auf allen Detaillierungsebenen ab. Mit Hilfe des Attributs "Strukturbeziehung" (Angabe der Vater-Sohn-Beziehung) kann eine Hierarchisierung der Montagevorgänge durchgeführt werden (Bild 5-6 / 5-7).

Entsprechend der Produktstruktur wird die hierarchische Struktur der Montagevorgänge aufgebaut. Für jede Baugruppe bzw. für jedes Einzelteil wird ein entsprechender Montagevorgang erstellt, der die komplette Montage dieses Elements umfaßt. Es entsteht eine 1:1-Beziehung zwischen den Objekten der Klasse "Planungsprodukt" und den Objekten der Klasse "Vorgang". In Bild 5-6 ist diese in Form der Objektbeschreibung, z. B. "ET 1" und "ET 1 montieren", zu erkennen.

Die hierarchische Struktur der Montagevorgänge ermöglicht die Planung auf unterschiedlichen Detaillierungsebenen. Die höchste Detaillierung der Produktstruktur, die Einzelteilebene, entspricht den Montagevorgängen "Einzelteil montieren". Bis zu dieser Ebene kann eine 1:1-Kardinalität zwischen Produktstruktur und Vorgangsstruktur erstellt werden.

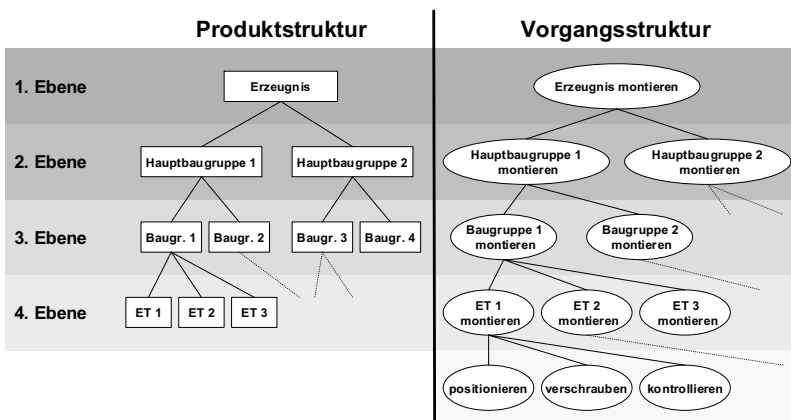


Bild 5-6: Hierarchische Vorgangsstruktur

Für eine exakte Planung müssen die Montagevorgänge weiter detailliert werden (z. B. Einzelteil bereitlegen, Einzelteil positionieren). Da diese detaillierten Vorgänge wiederum in Assoziation zu der Klasse Planungsprodukt stehen, wird die 1:1-Beziehung aufgebrochen.

In dem Datenmodell wird die Assoziation zwischen der Klasse "Vorgang" und der Klasse "Planungsprodukt" über die Klasse "Montageposition" erstellt (Bild 5-7). Diese ermöglicht eine individuelle Position des verknüpften Produktes zu dem Montagevorgang. Beispiele hierfür sind:

- Bauteil befindet sich im Behälter (entspricht einer Assoziation des Bauteils über die Montageposition zum Vorgang "speichern")
- Bauteil befindet sich in Spannvorrichtung (entspricht einer Assoziation des Bauteils über die Montageposition zum Vorgang "in Vorrichtung spannen")

Die Objekte der Klasse "Montageposition" geben die relative Position des Produktkoordinatensystems zu dem Koordinatensystem der verknüpften Ressource an (vgl. Kapitel 5.4).

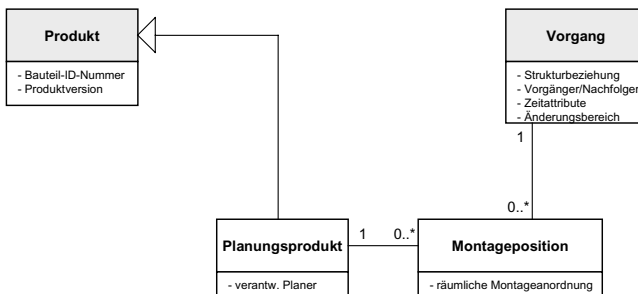


Bild 5-7: Klasse "Vorgang" mit Verknüpfung über Klasse "Montageposition" zur Klasse "Produkt"

5.2.2 Montageablauf

Die hierarchische Struktur der Montagevorgänge ermöglicht eine Gliederung in unterschiedliche Detaillierungsebenen. Der Montageablauf, d. h. das zeitliche

exakter zu klassifizieren (z. B. Start bei Abschluß, gleichzeitiger Abschluß) (Bild 5-9).

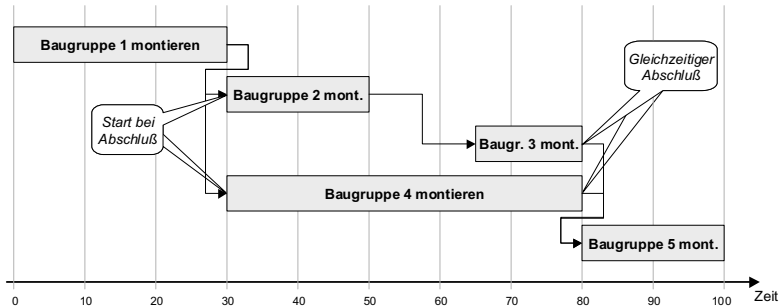


Bild 5-9: Montageablaufdarstellung mit Balkendiagramm

Der Montageablauf wird in dem Datenmodell über die "Vorgänger/Nachfolger"-Beziehungen der Klasse "Vorgang" dokumentiert. Ein Objekt kann hierbei auf mehrere Vorgänger und mehrere Nachfolger verweisen.

5.3 Verbindungsinformationen

In der Produktentwicklung wird neben der geometrischen Form der Bauteile und der Produktstruktur auch die Verbindung der Bauteile erarbeitet. Eine von der Konstruktion festgelegte Verbindung besteht aus:

- Informationen zur Technologie (z. B. Schraubverbindung, Klebeverbindung, Schweißverbindung).
- Geometrieinformationen (z. B. Lage der Kleberaube, Position der Schweißpunkte).
- Prozeßinformationen (z. B. Drehmoment der Schraubverbindung, Anpreßdruck der Klebeverbindung).

Diese Verbindungsinformationen stellen einen wesentlichen Input für die Montageplanung dar. Bereits in einer sehr frühen Phase der Produktentwicklung

werden, parallel zur Erstellung der Produktstruktur, die Informationen zu deren Technologie festgelegt (vgl. Kapitel 3.2.1). Deren Geometrie- und die Prozeßinformationen werden nachfolgend im weiteren Konstruktionsverlauf festgelegt.

Die Verbindungsinformationen stellen eine Besonderheit in der Zusammenarbeit zwischen Konstruktion und Montageplanung dar. Die eigentliche Aufgabe der Montageplanung, d. h. die Gestaltung der Abläufe (Prozesse), wird hier z. T. von der Konstruktion übernommen.

Aus diesem Grund werden diese Informationen in dem Datenmodell als eigenständige Hauptklasse aufgenommen. Da die Klasse "Verbindungsinformationen" sowohl produkt- wie auch prozeßrelevante Informationen repräsentiert, ist sie zwischen der Klasse "Produkt" und der Klasse "Vorgang" angeordnet (Bild 5-10).

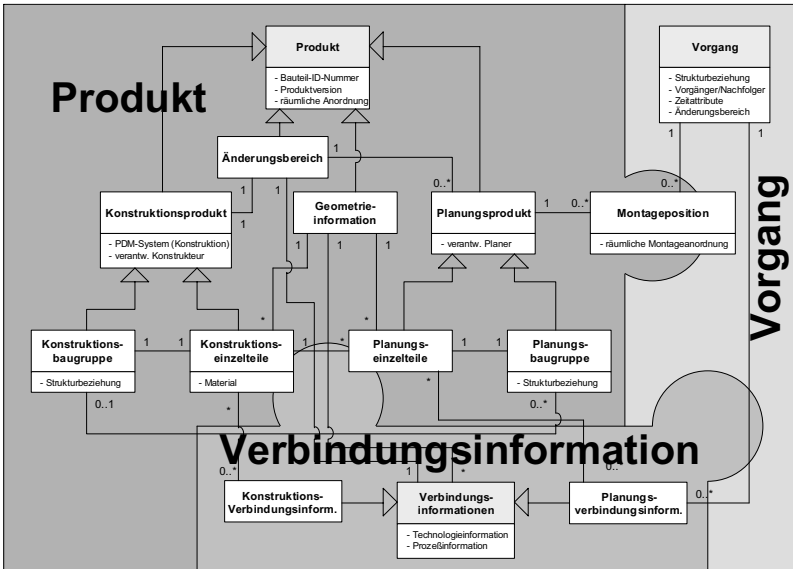


Bild 5-10: Die Klasse "Verbindungsinformationen" zwischen der Klasse "Produkt" und "Vorgang"

Um das Änderungsmanagement zwischen Konstruktion und Montageplanung zu unterstützen, wird eine Unterscheidung zwischen Konstruktionsstand und

Planungsstand der Klasse "Verbindungsinformationen" vorgenommen. Zwischen den Verbindungsinformationen und den Änderungsbereichen sowie zu den Geometrieinformationen besteht eine Assoziation. Somit ist eine äquivalente Ausgangssituation zu der Klasse "Produkt" geschaffen. Der in Kapitel 5.1.3 vorgestellte Arbeitsvorrat zur Gewährleistung eines Änderungsmanagements wird auch durch die Klasse "Verbindungsinformationen" unterstützt.

Die Objekte der Klasse "Konstruktions-Verbindungsinformation" referenzieren auf die Einzelteile der Klasse "Konstruktionsprodukt". Ein Einzelteil kann hierbei mehrere Verbindungsinformationen aufweisen. Andererseits besteht eine Referenz auf mindestens zwei Einzelteile, die mit dieser Verbindung gefügt werden. Auch bei der Montage von Baugruppen werden die Informationen auf die Einzelteile bezogen. Damit bleibt bei einer Veränderung der Produktstruktur durch die Montageplanung die Referenz zu den Verbindungen bestehen.

In der Klasse "Planungs-Verbindungsinformation" besteht diese Produktreferenz zu den Einzelteilen der Klasse "Planungsprodukt" (Bild 5-10). Zusätzlich besteht eine Beziehung zu der Klasse "Vorgang", d. h. jede Verbindung muß durch einen Montagevorgang durchgeführt werden.

Die Klasse "Vorgang" kann somit über die "Montageposition" oder über die "Verbindungsinformation" mit der Klasse Produkt verknüpft werden (Bild 5-11).

Bevor eine Verbindung zwischen zwei Bauteilen erstellt werden kann, werden diese zueinander ausgerichtet. Das wird in der Klasse "Vorgang" durch Handhabungsvorgänge (z. B. bereitlegen, positionieren) abgebildet. Mit der Assoziation über die Klasse "Montageposition" zur Klasse "Produkt" kann die jeweilige Endposition der Bauteile angegeben werden (vgl. Kapitel 5.2.1).

Durch das Erstellen einer Verbindung zwischen zwei Bauteilen wird die Position der Bauteile zueinander nicht verändert. Aus diesem Grund werden Vorgänge, die eine Verbindung erstellen (z. B. verschrauben), über die Klasse "Verbindungsinformation" mit der Klasse "Produkt" assoziiert.

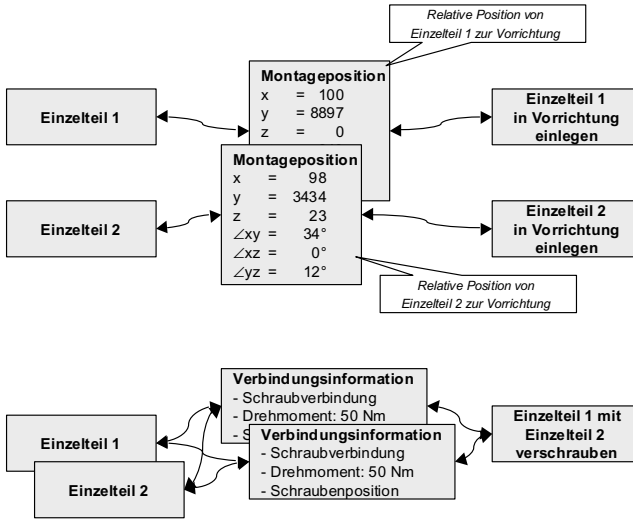


Bild 5-11: Verknüpfungsmöglichkeiten von Produkt mit Vorgang

5.4 Ressource

Die Klasse "Ressource" verwaltet die Montageanlagen und deren Komponenten. Als Ressource werden strukturelle Einheiten (z. B. Halle), organisatorische Einheiten (z. B. Meisterbereich), Fertigungsmittel (z. B. Roboter) und Personal betrachtet.

5.4.1 Hierarchische Struktur

Die Klasse "Ressource" ist im Aufbau mit der Klasse "Produkt" vergleichbar. Für eine eindeutige Identifikation der Ressourcen wird eine Identifikationsnummer eingesetzt. Diese besteht aus der Nummer des Fertigungsmittels bzw. der organisatorischen Einheit sowie einer Angabe zur (Ressourcen-)Variante und zur (Ressourcen-)Alternative. Die Nummer des Fertigungsmittels sollte mit allen beteiligten Bereichen (z. B. Fertigungsmittelkonstruktion, Einkauf, Instandhaltung) übereinstimmen.

Weiterhin werden zu jedem Objekt der Klasse "Ressource" Angaben zur Ressourcenversion, technische- und betriebswirtschaftliche Angaben und ein Änderungsbereich mitgeführt (Bild 5-12).

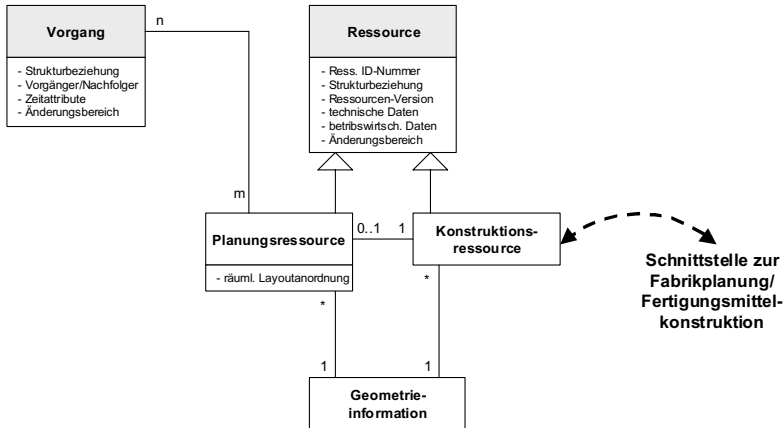


Bild 5-12: Die Klasse "Ressource" in Assoziation mit der Klasse "Vorgang"

Eine Gliederung der Ressourcen in verschiedene Detaillierungsebenen wird mit Hilfe des Attributs "Strukturbeziehung" durchgeführt. Über diese "Vater-Sohn-Beziehung" kann eine hierarchische Struktur aufgebaut werden. Jede Hierarchiestufe entspricht hierbei einem spezifischen Detaillierungsniveau (Bild 5-13).

Diese hierarchische Struktur ermöglicht eine Kombination von strukturellen und organisatorischen Einheiten sowie Fertigungsmitteln. Die groben Detaillierungsstufen werden durch strukturelle bzw. organisatorische Einheiten abgebildet (z. B. Meisterbereich, Fertigungsbereich). Erst in den weiteren Detaillierungsstufen erscheinen die Fertigungsmittel (in Bild 5-13 ab Ebene 3). Die Detaillierungsstufen können beliebig erweitert werden, so daß die Fertigungsmittel auch in Komponenten gegliedert werden können.

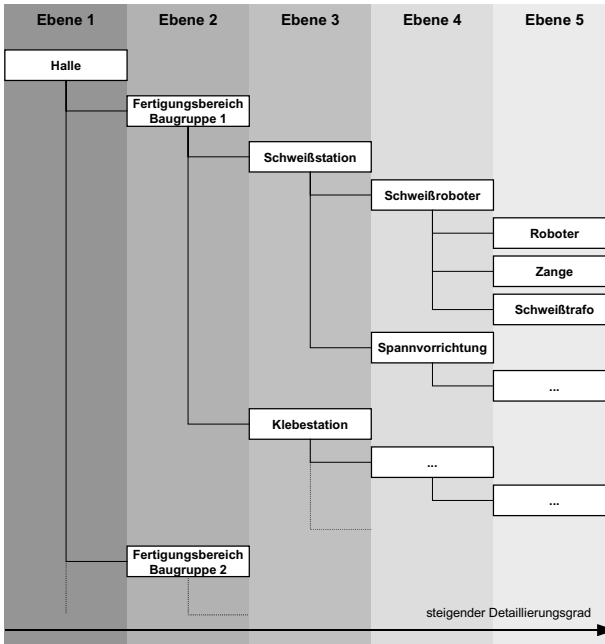


Bild 5-13: Hierarchische Struktur der Klasse "Ressource"

5.4.2 Layout

Ein wesentliches Ergebnis der Montageplanung ist das Layout, d. h. die Anordnung der Ressourcen auf der zur Verfügung stehenden Fläche. Diese Informationen werden ebenso in der Klasse "Ressource" verwaltet.

Die geometrische Ausprägung der Ressourcen wird durch Objekte der Klasse "Geometrieinformation" repräsentiert. Wie bereits bei der Klasse "Produkt" sollte auch bei der Klasse "Ressource" eine redundante Datenhaltung der speicherintensiven Geometrieinformationen vermieden werden. Aus diesem Grund kann die Assoziation der Klasse "Planungsressource" direkt auf die Geometrieinformation im PDM-System der Fertigungsmittelkonstruktion verweisen (Bild 5-12). Voraussetzung ist, daß die Fertigungsmittelkonstruktion und die Layoutplanung das

selbe Geometriebeschreibungsformat verwenden und der direkte Zugriff auf das PDM-System ermöglicht wird (vgl. Kapitel 5.1.1).

Das Attribut "räumliche Layoutanordnung" der Klasse "Planungsressource" gibt die relative Position und Orientierung des Objektes zum Vaterobjekt an (Bild 5-12). Über die in Bild 5-13 dargestellten Hierarchiestufen wird somit ein komplettes Layout aufgebaut.

Im Gegensatz zur Klasse "Produkt" wird bei der Klasse "Ressource" keine Untergliederung in Einzelteile und Baugruppen vorgenommen (diese Aufgabe unterliegt nicht der Montageplanung). Aus diesem Grund können alle Ressourcenobjekte eine Assoziation zur Klasse "Geometrieinformation" und damit eine eigenständige geometrische Repräsentation haben. Die Geometrieinformation der ersten Ressourcenebene stellt das Grundlayout der Halle (Wände, Säulen, Tore) dar. In der darauffolgenden Ebene (Fertigungsbereiche) repräsentieren die Geometrieinformationen die Flächen der Fertigungsbereiche. Die "räumliche Layoutanordnung" dieser Objekte gibt die Position der Flächen in der Halle an.

In der Ebene 3 (Montagestationen) wird der erste Bezug zu den Fertigungsmitteln hergestellt. Solange diese Ebene nicht weiter untergliedert ist, beschreiben die Geometrieinformationen dieser Objekte die Gestalt der Montagestationen. Da diese Planungsebene noch einer relativ groben Detaillierungsebene entspricht, ist für die geometrische Ausprägung die Geometrieinformation einer vergleichbaren Montagestation (z. B. aus einer anderen Planung) oder lediglich der geschätzte Flächenbedarf ausreichend. Das Attribut "räumliche Layoutanordnung" gibt die Lage der Montagestationen innerhalb der Fertigungsbereichsfläche an.

Bei einer weiteren Untergliederung in Ebene 4 (Roboter, Vorrichtung) wird die geometrische Ausprägung der Montagestation durch die Objekte dieser Ebene repräsentiert. Die Geometrieinformationen der Ebene 3 (Montagestation) gibt lediglich die Flächenausprägung der Montagestation an.

Entsprechend diesem Verfahren wird auch bei einer weiteren Detaillierung die eigentliche geometrische Ausprägung immer in der detailliertesten Ebene angegeben. Die Vaterobjekte geben somit nur noch ein Bezugskoordinatensystem

an. Damit kann eine Planung mit beliebigen Detaillierungsstufen durchgeführt werden. Über die Bezugskoordinatensysteme der jeweiligen Vaterobjekte ergibt sich in der "Ebene 1" immer das Gesamlayout.

Durch diesen strukturellen Aufbau wird eine Rückwirkung der detaillierten Planungsebene auf höheren Planungsebenen erreicht. Änderungen an einer Komponente werden automatisch bis zum Gesamlayout durchgereicht. Damit wird die Forderung der rückwirkende Datendurchgängigkeit "*Forderung an Planungsunterstützung 8*" für die Ressourcen erfüllt.

5.4.3 Der Arbeitsvorrat zur Gewährleistung eines Änderungsmanagements

Entsprechend der Klasse "Produkt" ist auch die Klasse "Ressource" in Unterklassen für die Planung und die Konstruktion gegliedert (Bild 5-12). Die Klasse "Planungsressource" repräsentiert den Planungsstand. Es besteht eine Assoziation zu der Klasse "Vorgang", d. h. jeder Vorgang wird durch eine Ressource durchgeführt.

Ebenso kann eine Ressource mehrere Vorgänge durchführen (z. B. Werker legt Einzelteile in Vorrichtung ein und entnimmt die Baugruppe). Ebenso kann ein Vorgang mit verschiedenen Ressourcen in Assoziation stehen (z. B. für den Vorgang "Klebstoff auftragen" wird ein Roboter sowie eine Dosiereinheit benötigt).

Die Klasse "Konstruktionsressource" bildet einen eigenständigen Bereich für Ressourceninformationen in dem Datenmodell der Montageplanung. Mit einer Schnittstelle werden die Informationen von den an der Ressourcenplanung beteiligten Bereichen (z. B. Fertigungsmittelkonstruktion, Einkauf, Instandhaltung) zur Klasse "Konstruktionsressource" übertragen. Der Aufbau des Datenmodells für die Klasse "Ressource" ist hierbei äquivalent zur Klasse "Produkt" (vgl. Kapitel 5.1).

Die Informationsübertragung zwischen der Klasse "Konstruktionsressource" und z. B. der Fertigungsmittelkonstruktion wird ebenso wie bei der Klasse "Produkt" mit Hilfe von Schnittstellen durchgeführt. Auch der Abgleich zwischen der

Klasse "Konstruktionsressource" und "Planungsressource" mit der Darstellung der Änderungen entspricht der in Kapitel 5.1.3 dargestellten Vorgehensweise. Damit wird aus Sicht des Planungsablaufes ein durchgängiges Änderungsmanagement mit der gleichen Vorgehensweise bei der Einarbeitung von Änderungen in die Planung erreicht.

In der Klasse "Planungsressource" werden alle Ressourcen verwaltet, von den organisatorischen Bereichen über die Fertigungsmittel bis hin zum Personal. Die Klasse "Konstruktionsressource" beinhaltet nur Objekte, die andere Bereiche beeinflussen bzw. von anderen Bereichen beeinflusst werden. Somit werden im Gegensatz zur Klasse "Produkt" nur ein Teilbereich der Objekte redundant gehalten.

Die Anbindung der an der Ressourcenplanung beteiligten Bereiche über die Klasse "Konstruktionsressource" zeigt eine Möglichkeit auf, ein durchgängiges Änderungsmanagement zu gewährleisten (vgl. oben). Der Idealzustand wird hiermit jedoch nicht erreicht, da in der Klasse "Konstruktionsressource" der Bezug zum Vorgang und vor allem zum Produkt fehlt.

Damit die Fertigungsmittelkonstruktion die exakte Lage des Produktes zum Fertigungsmittel an die Montageplanung übertragen kann, muß sie Einfluß auf fast das komplette Datenmodell nehmen (Bild 5-14). Damit müßte dieses Datenmodell auch auf die Fertigungsmittelkonstruktion übertragen werden. Die Aufteilung auf verschiedene SE-Partner und Lieferanten sowie "gewachsene" Strukturen in diesen Bereichen, gestalten eine grundlegende Umstrukturierung der Datenmodelle zu einem aussichtslosen Unterfangen. Aus diesem Grund wird die Anbindung der Fertigungsmittelkonstruktion ausschließlich über die Klasse "Konstruktionsressource" empfohlen.

In Kapitel 2.3 wird aufgezeigt, daß in der Literatur vielfach ein idealisierter Zustand beschrieben wird, der jedoch bei Betrachtung der äußeren Rahmenbedingungen nicht wirtschaftlich einsetzbar ist. Diese Situation würde auch bei dem in Bild 5-14 dargestellten Einflußbereich der Fertigungsmittelkonstruktion auf das Datenmodell der Montageplanung zutreffen.

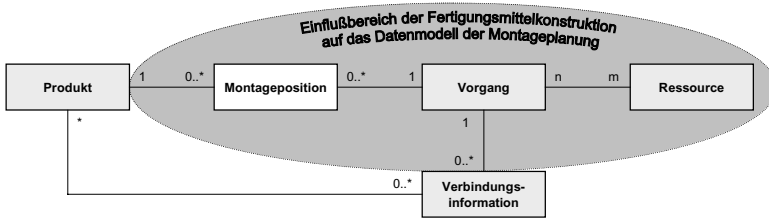


Bild 5-14: Einflüßbereich der Fertigungsmittelkonstruktion auf das Datenmodell

5.5 Das Gesamtmodell

In diesem Kapitel wird zusammenfassend das gesamte Datenmodell aller Klassen dargestellt. Anschließend wird die Abbildung der Planungsinhalte zur Erreichung der geforderten Datendurchgängigkeit diskutiert.

5.5.1 Zusammenfassung der einzelnen Klassen zum Gesamtmodell

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Klassen "Produkt", "Vorgang", "Verbindungsinformation" und "Ressource" mit ihren Unterklassen und wesentlichen Attributen erarbeitet. Diese Klassen bieten die Möglichkeit, die Planungsinhalte der Montageplanung vollständig abzubilden.

Ebenso wurden die Assoziationen zwischen den Klassen abgeleitet. Diese ermöglichen die in "Forderung Planungsunterstützung 9" benötigte "Querverbindung" zwischen den einzelnen Planungsinhalten, dem Produkt, dem Montageablauf und den Montageanlagen. Es kann eine durchgängige Struktur aufgebaut werden.

In Bild 5-15 wird das gesamte Datenmodell aufgezeigt. Die Hauptklassen werden in Form von Puzzlesteinen dargestellt. Das Ineinandergreifen der Puzzlesteine spiegelt die Beziehungen der Klassen zueinander wider.

5.5.2 Durchgängige Planung über alle Ebenen des Datenmodells

Zur Gewährleistung einer Gliederungsmöglichkeit der Planungsinhalte in unterschiedliche Detaillierungsebenen (*"Forderung an Planungsunterstützung 2"*) besitzen die Klassen "Produkt", "Vorgang" und "Ressource" das Attribut "Strukturbeziehung". Wie bereits beschrieben, kann mit dieser Vater-Sohn-Beziehung eine hierarchische Struktur der Objekte aufgebaut werden. Die Abbildung verschiedener Detaillierungsebenen ist damit möglich.

Bei der Abbildung der Planungsinhalte sollte auf ein einheitliches Detaillierungsniveau in jeder Ebene geachtet werden. Das betrifft alle Strukturen, so daß die Ebenen über alle Strukturen hinweg dem gleiche Niveau entsprechen sollten.

Auf einer groben Planungsebene wird das Erzeugnis in Hauptbaugruppen untergliedert. Die Einzelteile werden diesen zugeordnet. Es entsteht eine Gliederung bis zur zweiten Detaillierungsebene (Bild 5-16).

Entscheidend ist hierbei, daß die Produktstrukturierung im Hinblick auf die zukünftige Anlagenstruktur (Ressourcenstruktur) erfolgt. Wie bereits in Kapitel 3.3.1 beschrieben, erfolgt zu Beginn der Montageplanung die Strukturierung des Erzeugnisses aus Montagesicht. Diese spiegelt die Ressourcenstruktur wider.

Die Vorgänge bilden das Bindeglied zwischen der Produktstruktur und der Ressourcenstruktur. Ein Vorgang bildet alle Arbeitsinhalte ab, die in der zugeordneten Ressource durchgeführt werden, um das zugeordnete Produkt zu erstellen (Bild 5-16).

Infolge dieser Strukturierung der Planungsinhalte wird eine Informationsdurchgängigkeit erreicht. Aus jeder Struktur heraus sind über die Assoziationen die Informationen, "welches Produkt" mit "welchen Montageumfängen" in "welchen Anlagen" montiert wird, zugänglich.

In der groben Planungsebene repräsentieren die Objekte der Ressourcenstruktur strukturelle bzw. organisatorische Einheiten (z. B. Halle, Fertigungsbereich, Meisterbereich). Die Anordnung dieser Ressourcenelemente im Layout wird zur Erstellung eines Blocklayouts verwendet.

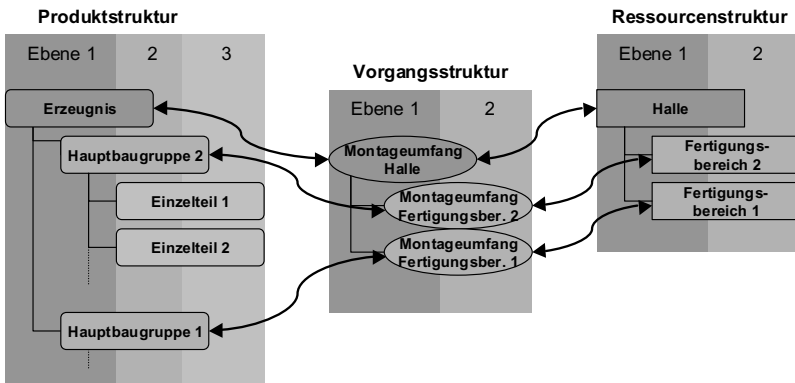


Bild 5-16: Durchgängigkeit der Planungsinhalte auf grober Planungsebene

Die Produktstruktur weist im Vergleich zu der Vorgangs- und der Ressourcenstruktur eine zusätzliche Ebene auf. In dieser zusätzlichen Ebene werden die Einzelteile, soweit in der frühen Planungsphase vorhanden, zugeordnet. Ein direkter Bezug der Vorgänge und Ressourcen auf die Einzelteile erfolgt erst in einer späteren Phase. Bis zu diesem Zeitpunkt existiert bei der Produktstruktur im Vergleich zu Vorgangs- und Ressourcenstruktur eine zusätzliche Ebene.

In einer weiteren Planungsphase wird eine erste Detaillierung der Planungsinhalte durchgeführt. Hierbei wird eine weitere Ebene in jeder Struktur hinzugefügt. In der Produktstruktur entsteht zwischen der Hauptbaugruppe und den Einzelteilen eine weitere Ebene für die Baugruppen. Wesentlich ist bei der Strukturierung in Baugruppen wiederum die Sicht auf die Anlagenstruktur. Eine Baugruppe beschreibt das Produkt, das in einer Station gefertigt bzw. montiert wird. Zur Gewährleistung der Informationsdurchgängigkeit werden in der Ressourcenstruktur entsprechend die Stationen und in der Vorgangsstruktur die Summe der Montagevorgänge der jeweiligen Station abgebildet (Bild 5-17).

In dieser Planungsphase wird aus Sicht der Ressourcenstruktur der Übergang von organisatorischen Einheiten in Anlagenelemente durchgeführt. Die Stationen werden im Layout grob auf den Flächen der Fertigungsbereiche positioniert.

struktur einzelne Vorgänge erstellt, die von den Ressourcen durchgeführt werden (z. B. Einzelteil einlegen). Zwischen der Produkt- und der Vorgangsstruktur sowie zwischen der Vorgangs- und der Ressourcenstruktur werden Verknüpfungen aufgebaut, so daß wiederum eine Informationsdurchgängigkeit besteht.

In dem Beispiel der Abbildung 5-18 steht der Vorgang "Einlegen Einzelteil 2" mit dem "Einzelteil 2" in Beziehung. Weiterhin besteht eine Verknüpfung dieses Vorgangs zu der Ressource "Werker", d. h. das "Einzelteil 2" wird durch den Werker eingelegt. Zur vollständigen Abbildung der Information muß dieser Vorgang zusätzlich mit dem Behälter und der Vorrichtung verknüpft werden (d. h. Werker entnimmt das Bauteil aus der Gitterbox und legt es in die Vorrichtung ein). Somit kann zwischen den Einzelteilen und den Einzel-Vorgängen sowie zu den Einzel-Ressourcen eine Mehrfachverknüpfung bestehen.

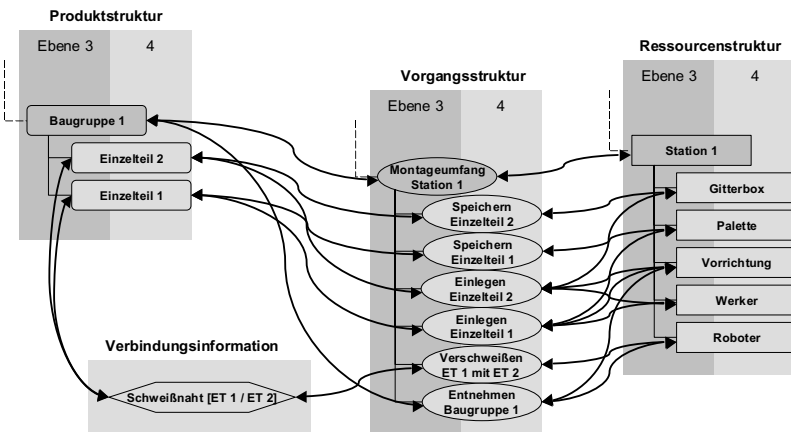


Bild 5-18: Durchgängigkeit der Planungsinhalte in einer detaillierten Planungsebene

In dieser Detaillierungsebene wird zum ersten Mal eine Verknüpfung mit den Verbindungsinformationen aufgebaut. In dem Beispiel der Abbildung 5-18 steht der Vorgang "Verschweißen ET1 mit ET2" nicht direkt mit den Einzelteilen,

sondern über die Verbindungsinformation "Schweißnaht [ET1/ET2]" mit den Einzelteilen in Beziehung.

Damit wird auf allen aufgezeigten Detaillierungsebenen eine Informationsdurchgängigkeit über die Planungsinhalte erreicht. Dies stellt die Basis für eine durchgängige Planung dar und erfüllt somit die "*Forderungen an Planungsunterstützung 6 und 7*".

Die dargestellten Detaillierungsebenen können je nach Anwendungsfall beliebig erweitert bzw. verändert werden. Es können hierbei sowohl weitere organisatorische Ebenen wie auch detailliertere Strukturen in der Vorgangs- und Ressourcenstruktur erstellt werden.

5.5.3 Abbildung von Planungsalternativen, -varianten und -versionen

Planungsalternativen sind verschiedene Lösungsmöglichkeiten für eine Montageaufgabe (vgl. Kapitel 3.4.3). Diese werden meist aus Sicht der Ressourcenstruktur entwickelt infolge von Veränderungen an den Montageanlagen oder einer anderen Anordnung der Anlagen im Layout. Vielfach sind davon nur Teilbereiche der Gesamtplanung betroffen. In dem Beispiel der Abbildung 5-19 wird eine Planungsalternative für eine Station aufgezeigt (automatische Montagesstation alternativ zu halbautomatischer Montagesstation).

Bei der Erstellung einer Planungsalternative für einen Teilbereich muß beachtet werden, daß die Schnittstelle zu den anderen Bereichen (d. h. der In- und Output der Station) exakt übereinstimmt. Falls diese verändert wird (z. B. die Baugruppe der halbautomatischen Station entspricht nicht der Baugruppe der automatischen Station), sollte die Planungsalternative auf der nächst höheren Hierarchieebene angeordnet werden. In dem Beispiel der Abbildung 5-19 stellt der "Fertigungsbereich 2" die nächst höhere Ebene dar.

Bei der Erstellung einer neuen Lösungsmöglichkeit für ein Objekt der Ressourcenstruktur sind alle "Söhne" dieses Objekts davon betroffen. Jede Planungsalternative besitzt somit, ausgehend von dem Objekt für das sie erstellt wird, eigenständige Objekte der darunterliegenden Detaillierungsebenen (Bild 5-

19). Eine Veränderung innerhalb einer Planungsalternative betrifft damit nur diese. Alle weiteren bleiben von der Änderung unberührt.

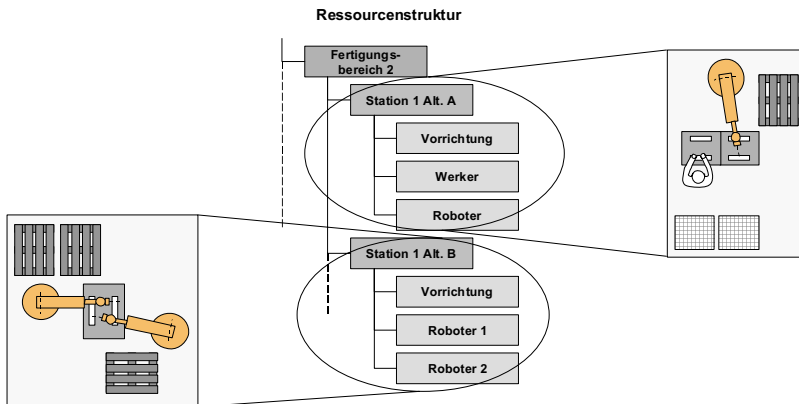


Bild 5-19: Planungsalternative für "Station 1"

Veränderungen an den Montageanlagen haben aber auch Auswirkungen auf die Vorgänge. Folglich ist von einer Lösungsmöglichkeit auch die Vorgangsstruktur betroffen. Da diese weitgehend der Ressourcenstruktur entspricht, werden für eine Planungsalternative der direkt zugeordnete Vorgang sowie alle Detailvorgänge zu diesem Vorgang bereitgestellt (Bild 5-20).

Eine Planungsalternative bedingt vielfach auch eine veränderte Fügefolge der Bauteile. Aus diesem Grund werden ebenso die von der Alternative betroffenen Planungsprodukte für jede Lösungsmöglichkeit eigenständig bereitgestellt. Hierbei handelt es sich um die Baugruppe, die als Montageergebnis in der Alternative entsteht (Output) und die Einzelteile, die direkt dieser Baugruppe zugeordnet sind. Andere Baugruppen, die in diese Baugruppe einfließen, stellen für die Planungsalternative den Input dar und werden gemeinsam von allen Alternativen verwendet.

Die Verbindungsinformationen werden in alternativen Lösungsmöglichkeiten mit unterschiedlichen Vorgängen bearbeitet. Es muß darauf geachtet werden, daß der Output der Planungsalternativen übereinstimmt, d. h. an der erzeugten Baugruppe die gleichen Verbindungen erstellt werden. Wird diese Prämisse nicht

erreicht, muß die Planungsalternative jeweils auf die nächst höhere Ebene erweitert werden, bis ein übereinstimmender Output erreicht wird.

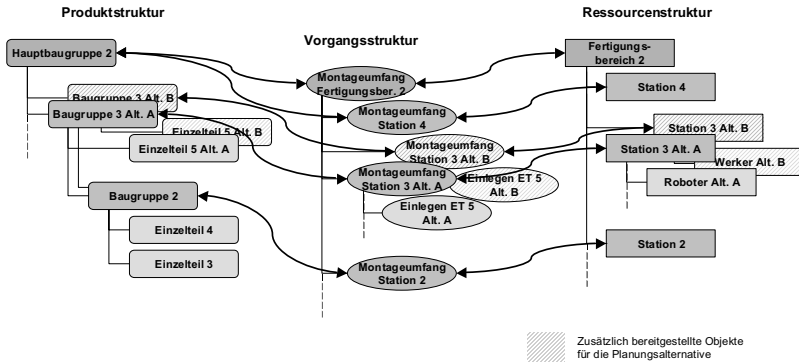


Bild 5-20: Abbildung einer Planungsalternative im Datenmodell

Trotz der Forderung nach übereinstimmenden Verbindungsinformationen sind diese im Datenmodell für jede Lösungsmöglichkeit eigenständig vorhanden. Eine Planungsalternative erhält somit eigene Objekte über alle Hauptklassen des Datenmodells. Diese sind damit voneinander unabhängig und es kann ein strukturierter Ablauf eines Änderungsmanagements gewährleistet werden. Änderungen werden jeweils nur an der betrachteten Alternative eingearbeitet. Alle weiteren bleiben zunächst von diesen Änderungen unberührt und haben damit weiterhin einen in sich stimmigen Planungsstand.

Die aufgestellte Forderung nach übereinstimmendem In- und Output der Planungsalternativen, ermöglicht dessen Zuordnung zu einem Element der Ressourcenstruktur (z. B. Alternative zu "Station 1"). Deren Verwaltung über alle Planungsinhalte, d. h. Ressourcen-, Vorgangs- und Produktstruktur sowie Verbindungsinformationen, kann somit über die Ressourcenstruktur erfolgen. Die verfügbaren Lösungsmöglichkeiten können zu jedem Objekt der Ressourcenstruktur angezeigt werden. In der Planungsumgebung kann aber nur jeweils eine Alternative aktiv sein (Bild 5-21).

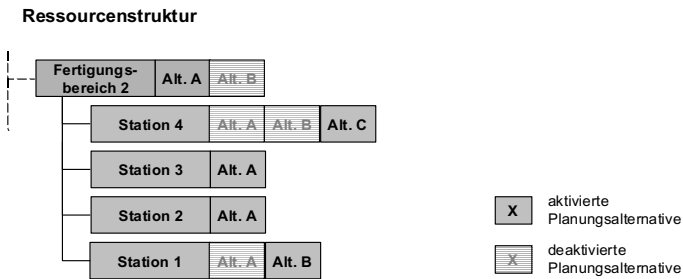


Bild 5-21: Verwaltung und Kombination von Planungsalternativen

In dem Datenmodell wird die Zuordnung der Planungsalternative zu einem Element der Ressourcenstruktur mit Hilfe der Identifikationsnummer erreicht. Die Identifikationsnummern der Planungsalternativen stimmen bei allen Objekten bis auf die Kennung der Alternative vollständig überein.

In dem Beispiel von Bild 5-21 existieren für die "Station 4" drei verschiedene Alternativen, wobei die Alternative "C" aktiviert ist. Bei "Station 1" ist die Alternative "B" aktiviert. Für die Stationen zwei und drei existieren keine Alternativen.

In der "*Forderung an Planungsunterstützung 14*" wird neben der Verwaltung von Planungsalternativen auch eine Kombinationsmöglichkeit gefordert. Da auf jeder Planungsebene Lösungsmöglichkeiten erstellt werden können, entsteht eine Vielzahl von möglichen Kombinationen.

Die Kombination erfolgt durch die Aktivierung der einzelnen Alternativen, d. h. die Alternative auf einer oberen Ebene besteht jeweils aus den aktiven "Unteralternativen" (Bild 5-21). Die Dokumentation dieser Kombination wird in dem Datenmodell über die Strukturbeziehung der Ressourcenobjekte durchgeführt.

Planungsvarianten stellen aus datentechnischer Sicht die gleichen Anforderungen wie Planungsalternativen. Der Unterschied hierzu, der zeitliche Bestand, hat keine Auswirkung auf das Datenmodell. Somit erfolgt die Verwaltung entsprechend dem oben aufgezeigten Vorgehen mit Alternativen. Der einzige

Unterschied besteht bei der Identifikationsnummer. Bei einer Planungsvariante wird an Stelle der Alternativenkennzeichnung die Kennung der Variante verwendet.

Planungsversionen entsprechen nach der Definition von Kapitel 3.4.3 den Ergebnissen am Abschluß jeder Planungsphase. Diese betreffen jeweils die kompletten Planungsinhalte. Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, die Version eines einzelnen Objektes oder einer einzelnen "Unteralternative" zu verwalten. Versionen werden deshalb für die Alternativen bzw. für die Varianten auf der obersten Planungsebene erstellt. Diese ist somit durchgängig über alle Strukturen und über alle Planungsebenen.

Die hier aufgezeigten Verwaltungsmöglichkeiten erfüllen die "*Forderungen nach Planungsunterstützung 15*".

Wie bereits in Kapitel 2 aufgeführt wurde, steht die Montageplanung in enger Beziehung zu einer Vielzahl verschiedener Bereiche. Da diese von den Ergebnissen der Montageplanung abhängig sind, bzw. deren Ergebnisse an die Montageplanung weitergeben, ist eine möglichst direkter Datenaustausch zwischen den Partnern notwendig. Beispielhaft wird hierzu in dem folgendem Kapitel die Anbindung der Fabrikplanung an das Datenmodell der Montageplanung erläutert.

5.6 Anbindung der Fabrikplanung

Aufgabe der Fabrikplanung ist die Planung der Hallenstruktur mit der Medienversorgung und der Berücksichtigung von logistischen Vorgängen [Kettner 1984].

Die Montageplanung stellt sich mit den Planungsinhalten der Ressourcenstruktur und der Anordnung der Fertigungseinrichtungen als Partner der Fabrikplanung dar. Es besteht ein Kunden- wie auch ein Lieferantenverhältnis zwischen Fabrikplanung und Montageplanung. Einerseits benötigt die Montageplanung das Layout der Halle mit den Hallensäulen, Hallentoren, Versorgungsleitungen etc.. Andererseits erstellt die Montageplanung das Layout der Montageanlagen, das

ein wesentlicher Bestandteil des Gesamtlayouts ist und z. B. für die Planung der Medienversorgung benötigt wird.

Die Anbindung der Fabrikplanung an die Montageplanung erfolgt über die Ressourcenstruktur des Datenmodells. Wie bereits in Kapitel 5.4.2 dargelegt wurde, wird die geometrische Ausprägung der Ressourcen über eine Assoziation zu Objekten der Klasse "Geometrieinformation" verwaltet.

Die Geometrieinformationen der strukturellen Ressourcen (z. B. Halle) repräsentieren das Grundlayout (Wände, Säulen, Tore). Dieses Grundlayout benötigt die Montageplanung von der Fabrikplanung um die Anordnung der einzelnen Ressourcen vornehmen zu können.

Es sollte angestrebt werden, daß die Fabrikplanung und die Montageplanung das gleiche System für die Layoutplanung einsetzen. Im Gegensatz zu der schwierig realisierbaren Forderung eines einheitlichen CAD-Systems zwischen Montageplanung und Bauteilkonstruktion bzw. Fertigungsmittelkonstruktion, ist ein einheitliches Layoutplanungssystem zwischen Fabrikplanung und Montageplanung einfacher zu erreichen. Die Anforderungen an das Layoutplanungssystem sind sehr ähnlich, so daß bereits vielfach das gleiche System zum Einsatz kommt.

Mit der Voraussetzung des gleichen Datenformats der Layoutsysteme kann eine direkte Kopplung erfolgen. Fabrikplanung und Montageplanung greifen auf die selben Objekte der Ressourcenstruktur zu.

Das Grundlayout mit dessen Inhalten steht unter der Planungshoheit der Fabrikplanung. Die Montageplanung referenziert lediglich auf dieses Layout mit lesendem Zugriff. Die Anordnung der einzelnen Ressourcen im Layout erfolgt über das Attribut "räumliche Layoutanordnung" der Klasse "Planungsressource". Die Montageplanung benötigt somit keinen schreibenden Zugriff auf das Layout.

Über die Assoziation der Geometrieinformation zu den Ressourcenobjekten kann die Fabrikplanung zum entsprechenden Objekt "Halle" gelangen. Die Hierarchiebeziehungen ermöglichen der Fabrikplanung den Zugriff auf das komplette Layout. Da die einzelnen Objekte nicht in der Planungshoheit der Fabrikplanung liegen, ist ein lesender Zugriff ausreichend.

5.7 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde anhand der Anforderungen aus Kapitel 3 ein Datenmodell entwickelt, das die Basis einer Rechnerunterstützung für die aufgestellte Methode einer durchgängigen Montageplanung darstellt. Die Hauptklassen "Produkt", "Prozeß", "Ressource" und "Verbindungsinformation" mit deren Unterklassen ermöglichen die Abbildung aller Planungsinhalte der Montageplanung.

Vor allem die Assoziationen zwischen den einzelnen Klassen gewährleisten die geforderte Datendurchgängigkeit. Eine weitere Voraussetzung hierzu ist das einheitliche Detaillierungsniveau der Planungsinhalte über alle Strukturen hinweg entsprechend der jeweiligen Detaillierungsebene. Da die korrekte Abbildung der Inhalte eine wesentliche Grundlage für eine effektive Unterstützung einer durchgängigen Montageplanung darstellt, wurde diese in Kapitel 5.5 ausführlich erläutert. Ebenso wurde der Umgang mit Alternativen, Varianten und Versionen in dem Datenmodell erläutert.

Das von anderen Bereichen der Produktentwicklung eigenständige Datenmodell ermöglicht die geforderte einfache Integrationsfähigkeit. Die Übertragung der Daten wird mittels Schnittstellen gewährleistet. Durch die Gestaltung eines eigenständigen Bereiches für Produkt- und Ressourceninformationen in dem Datenmodell der Montageplanung wird die Übertragung von unterschiedlichen Informationserstellern, z. B. verschiedenen Konstruktionsbereichen, vereinfacht. Das entwickelte Änderungsmanagement beläßt hierbei die Planungshoheit bei der Montageplanung und ermöglicht gleichzeitig ein einfaches Einarbeiten der Änderungen.

Weiterhin wurde die Anbindung weiterer Bereiche am Beispiel der Fabrikplanung dargelegt.

6 Funktionen zur Entlastung des Planers

In Kapitel 5 wurde das Datenmodell und damit die Basis für eine Rechnerunterstützung der in Kapitel 3 entwickelten Methode aufgebaut. Die Abbildung der Planungsinhalte in dem Datenmodell erfordert, aufgrund der vielfältigen Klassen und Verknüpfungen, jedoch einen hohen Zeitaufwand. In diesem Kapitel werden deshalb Funktionen diskutiert, die einen "natürlichen" Planungsablauf bei einer guten Anwenderfreundlichkeit unterstützen und damit den Planer entlasten. Diese Funktionen basieren auf der automatischen Erstellung (Kapitel 6.1) bzw. der Übernahme bestehender Planungsinhalte (Kapitel 6.2), graphischen Oberflächen zur einfachen Systembedienung (Kapitel 6.3 bis 6.5), der Integration bzw. Anbindung eigenständiger Systeme, wie z. B. Simulationssysteme, (Kapitel 6.6) sowie Funktionen zur Dokumentation (Kapitel 6.7).

6.1 Automatismen für die Erstellung und Überprüfung der Planungsdaten

Für eine annähernd automatische Durchführung der Planung wäre der Einsatz von Expertensystemen denkbar. Da Expertensysteme lediglich Teilumfänge der Gesamtplanung abdecken und nur für spezielle Anwendungsfälle einsetzbar sind, wird deren Anwendung in dem Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Montageplanung nicht weiter verfolgt (vgl. Kapitel 2.3).

Das Ziel der hier betrachteten Funktionen ist keine vollautomatische Durchführung der Planung sondern die Entlastung des Planers von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten. Der Planer kann sich somit auf die wesentlichen Aufgaben konzentrieren.

Im Folgenden werden Funktionen erarbeitet, die eine halbautomatische Abbildung der Planungsinhalte ermöglichen sowie Funktionen die den Planer durch eine automatische Überprüfung der Planungsinhalte entlasten.

6.1.1 Automatische Erstellung von Planungsinhalten

Die Funktionen für eine automatische Erstellung der Planungsinhalte beruhen auf einer einheitlichen Strukturierung dieser Inhalte. Für die Strukturierung sollten folgende Prämissen gewährleistet werden (vgl. hierzu auch Kapitel 5.5.2):

- Jede Hauptbaugruppe bzw. Baugruppe wird in einem eigenständigen Fertigungsbereich bzw. in einer eigenständigen Montagestation erstellt.
- Für jeden Fertigungsbereich bzw. jede Station existiert ein Vorgang, der sämtliche Arbeitsinhalte dieses Fertigungsbereichs bzw. dieser Station abbildet.

Bei der Erstellung der Produktstruktur kann somit automatisch mit jeder erzeugten Baugruppe eine entsprechende Station und der zugehörige Vorgang sowie deren Verknüpfungen erstellt werden (Bild 6-1).

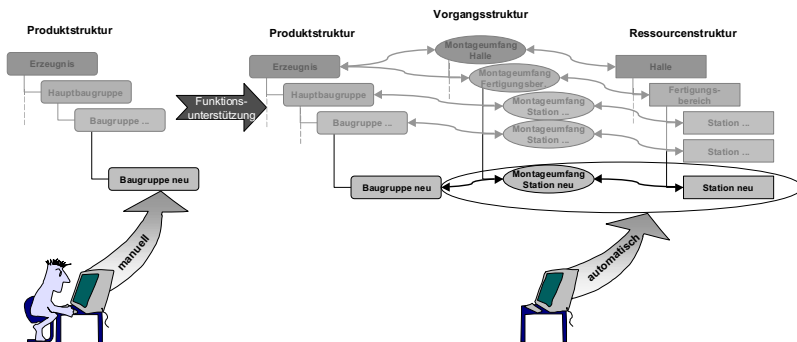


Bild 6-1: Automatische Erstellung von Vorgangs- und Ressourcenstruktur

Die Zuordnung der Baugruppe zur Hauptbaugruppe und die Verknüpfung der Hauptbaugruppe zur Vorgangs- und Ressourcenstruktur enthält bereits die Informationen, um den neuen Vorgang und die neue Station dem richtigen Objekt in der Hierarchie zuzuordnen.

Dieser Automatismus kann für alle Vorgänge und Ressourcen auf den groben Planungsebenen abgebildet werden. Eine Unterstützung der detaillierten Ebene

ist mit weiteren Funktionen ebenso möglich. Dessen Ausprägung ist jedoch stark von dem jeweiligen Anwendungsfall abhängig.

Grundsätzlich bestehen aber unabhängig von dem Anwendungsfall folgende Gegebenheiten:

- Die Einzelteile einer Baugruppe müssen zur Station transportiert werden.
- Zwischen den Stationen muß ein Transport der Baugruppen erfolgen.
- Die Verbindungsinformationen zwischen den Einzelteilen einer Baugruppe müssen in der Station bearbeitet werden.

Diese Gegebenheiten können in einer Funktion abgebildet werden. Somit werden zusätzlich zu den in Bild 6-1 erstellten Objekten detaillierte Vorgänge für den Transport einzelner Bauteile bzw. Baugruppen und die Durchführung der Verbindungsinformationen erstellt (Bild 6-2). Die Technologieangabe (z. B. Schraubverbindung) der Verbindungsinformationen ermöglicht es, einen spezifischen Vorgang (z. B. Schrauben) automatisch zu erstellen.

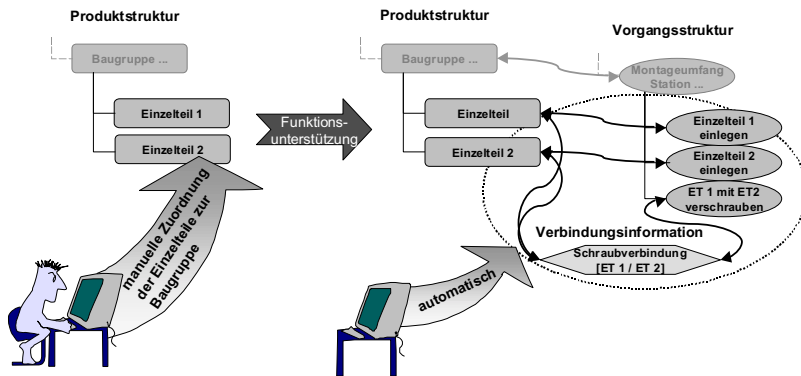


Bild 6-2: Automatische Erstellung von detaillierten Montagevorgängen

Weiterführende Funktionen sind von dem jeweiligen Anwendungsfall abhängig. Ein Beispiel hierfür wäre die automatische Generierung einer kompletten Schweißzelle (mit Aufspanvorrichtung, Schweißanlage, etc.) aufgrund der Verbindungsinformation "Schweißnaht".

6.1.2 Überprüfung der Planungsinhalte

Die oben angegebene Logik bei der Strukturierung der Planungsinhalte kann auf Stimmigkeit überprüft werden. Somit können Fehler bei einer manuellen Erstellung oder Nachbearbeitung der Planungsinhalte ausgeschlossen werden.

Ein Beispiel hierfür ist die Überprüfung der Verknüpfungslogik. So darf ein Bauteil nicht mit Vorgängen einer anderen Station verknüpft werden (Bild 6-3). Ebenso kann eine Verbindungsinformation nicht mit einem Transportvorgang verknüpft werden.

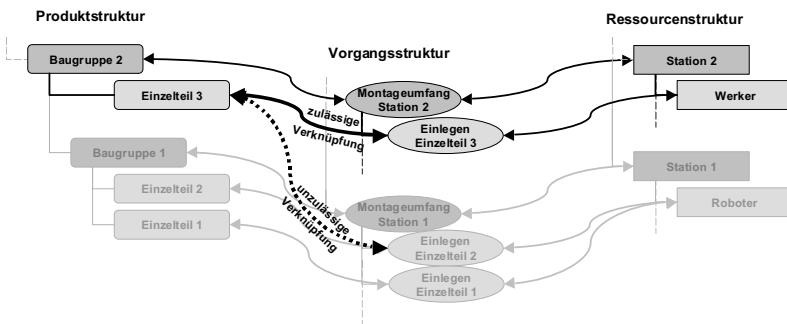


Bild 6-3: Überprüfung unzulässiger Verknüpfungen

6.2 Übernahme bestehender Planungsinhalte

Die Übernahme bestehender Planungsinhalte bedeutet aus Sicht des Datenmodells das Kopieren und Einfügen von einzelnen Objekten oder kompletten Strukturen. Die Anwendung dieser Funktionalität kann hierbei unterschiedliche Ausprägungen haben, die in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt sind.

6.2.1 Verwendung von Bibliotheken

In Bibliotheken werden Standardelemente oder Beispiele für die Planung zur Verfügung gestellt. Grundsätzlich können alle Klassen des Datenmodells eine

Ausprägung als Bibliothek haben. Die Bibliotheksobjekte sind normale Objekte der jeweiligen Klasse. Der einzige Unterschied besteht lediglich in der Strukturbeziehung zu dem Vaterobjekt "Bibliothek". Die Bibliotheksobjekte können durch einfaches Kopieren und Einfügen bzw. "drag and drop" in die jeweilige Struktur der Planung übernommen werden (Bild 6-4).

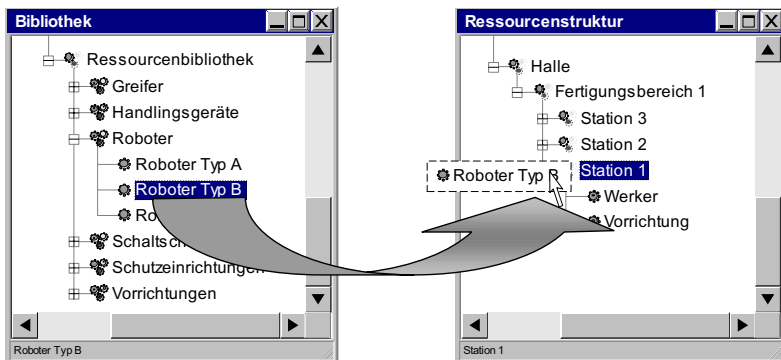


Bild 6-4: Übernahme eines Bibliotheksobjektes in die Ressourcenstruktur

Da die Produktinformationen direkt von der Konstruktion übertragen werden, finden Bauteilbibliotheken voraussichtlich kaum Anwendung. Vornehmlich ist der Einsatz von Vorgangs- und Ressourcenbibliotheken sinnvoll. In dem Beispiel von Abbildung 6-4 wird die Übernahme eines speziellen Roboters (Typ B) aus der Ressourcenbibliothek aufgezeigt. Das kopierte Objekt hat hierbei auch die speziellen Attributwerte des Robotertyps (z. B. maximale Tragkraft) automatisch übernommen.

Bibliotheken sind auch über mehrere, in sich strukturierte Objekte möglich. So kann beispielsweise eine Ressourcenbibliothek komplette Montagestationen mit allen Einzelobjekten enthalten. In einem Arbeitsgang können somit sehr schnell umfangreiche Planungsinhalte erstellt werden.

Neben der einfachen Erstellung von Planungsinhalten bieten die Bibliotheken den zusätzlichen Vorteil einer Standardisierung. Die Bibliotheksobjekte können zentral als Standard für die Planung vorgegeben werden. Da alle Planer auf die gleichen Bibliotheken zugreifen, werden die Bibliotheksobjekte zu Planungs-

standards. Damit wird die "*Forderung an Planungsunterstützung 19*", die einfache Verwendung von Standards erfüllt.

6.2.2 Übernahme kompletter Planungsinhalte

Die Übernahme von Planungsinhalten muß nicht zwangsläufig aus Bibliotheken erfolgen. Es ist ebenso möglich bestehende Planungsinhalte aus vorangegangenen Planungen direkt in die aktuelle Planung einfließen zu lassen. Voraussetzung hierzu ist allerdings, daß diese Planungsinhalte ebenfalls in der erforderlichen Struktur des Datenmodells abgebildet wurden (vgl. Kapitel 5).

Vorangegangene Planungen können abgeschlossene Planungen für das Vorgängerprodukt oder für vergleichbare Produktlinien sein. Der Unterschied zu Bibliotheken besteht in der gleichzeitigen Übernahme von Objekten verschiedener Klassen mit deren Verknüpfungen.

Für den Fall, daß in der aktuellen Planung eine gleiche oder sehr ähnliche Baugruppe vorkommt, wie in der abgeschlossenen Planung einer anderen Produktlinie, kann die komplette Planung für diese Baugruppe übernommen werden. In dem kompletten Umfang sind die Baugruppe mit den Einzelteilen, die verknüpften Vorgänge und Verbindungsinformationen sowie die damit verknüpften Ressourcen enthalten.

Sowohl die Auswahl der Umfänge in der abgeschlossenen Planung wie auch das Einfügen in der aktuellen Planung erfolgt über die Produktstruktur. Diese bietet alle Informationen, um auch die Objekte der anderen Klassen in die richtige Position der jeweiligen Struktur einzufügen (vgl. "*Forderung an Planungsunterstützung 18*").

6.3 Graphische Visualisierung der Konstruktionsinformationen

Eine wesentliche Eingangsinformation der Montageplanung sind die Konstruktionsinformationen. Infolge verkürzter Produktentwicklungszeiten und einer Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung stehen Prototypen selten

oder erst zu einem späten Zeitpunkt zur Verfügung. Aus diesem Grund ist eine Planung anhand des "realen Produktes" kaum möglich. Um die Forderung nach einem "natürlichen" Planungsablauf trotzdem weitgehend zu unterstützen wird eine graphische Visualisierung der Konstruktionsinformationen benötigt.

In den folgenden Kapiteln werden Funktionen zur Visualisierung von Bauteilen, Verbindungsinformationen und Fertigungsmitteln dargelegt. In Kapitel 6.3.4 wird der Planungsablauf und die Unterstützung des Planers mit diesen Visualisierungsfunktionen diskutiert.

6.3.1 Visualisierung von Bauteilgeometrien

Die Informationen der geometrischen Ausprägung der Bauteile werden durch Objekte der Klasse "Geometrieinformation" verwaltet. Die Objekte der Klasse "Einzelteile" von "Konstruktions-" und "Planungsprodukt" stehen in Assoziation zu den Objekten der Klasse "Geometrieinformation" (vgl. Kapitel 5.1). Damit kann von den Objekten der Klasse "Einzelteile" der direkte Zugriff auf die jeweiligen Visualisierungsdaten ermöglicht werden.

Die Produktstruktur wird über Assoziationen zwischen Objekten der Klasse "Einzelteile" und Objekten der Klasse "Konstruktionsbaugruppe" bzw. "Planungsbaugruppe" gebildet. Über diese Verknüpfungen steht somit die Geometrie von der einzelnen Baugruppe bis hin zum gesamten Erzeugnis in Form von Geometrieinformationen der Einzelteile zur Verfügung. Die räumliche Anordnung der Bauteile zueinander wird über die Objekte der Klasse "Einzelteile" verwaltet. In Bild 5-6 sind diese Klassen des Datenmodells aufgeführt sowie die Informationen, die jeweils an die Visualisierung weitergegeben werden.

Wie bereits in Kapitel 5.1.1 aufgezeigt wurde, können die Objekte der Klasse "Einzelteile" direkt auf die CAD-Daten der Konstruktion verweisen. Voraussetzung hierzu ist jedoch ein direkter Zugriff auf die CAD-Daten im PDM-System der Konstruktion. Ebenso muß für die Visualisierung das original CAD-Geometriebeschreibungsformat verwendet werden.

Eine andere Möglichkeit besteht in der Verwendung eines speziell für die Visualisierung geeigneten Datenformates [Tecoplan 1998, Risse 1997]. Damit

kann eine bessere Performance für die Visualisierung vor allem bei großen Datenmengen erreicht werden [Gallagher 1995, Meißner 1990]. Die Geometrieinformationen müssen jedoch redundant gespeichert werden.

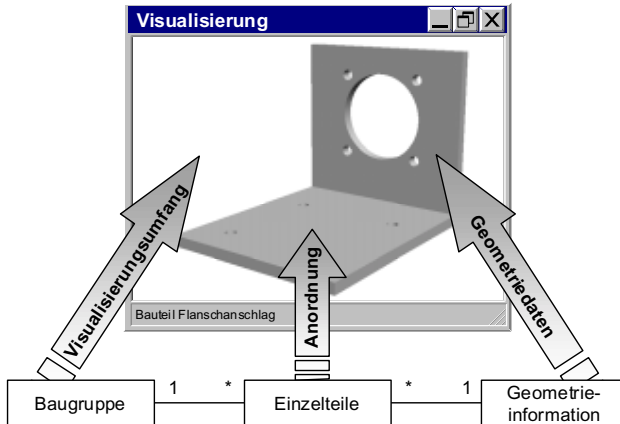


Bild 6-5: Zugriff auf das Datenmodell für die Visualisierung einer Baugruppe

Welche der beiden Möglichkeiten (original CAD-Daten oder spezielles Visualisierungsdatenformat) zum Einsatz kommt, ist von der jeweiligen Situation im Unternehmen abhängig. Für eine Entscheidung spielen eine Reihe von Faktoren eine wesentliche Rolle:

- Verwenden alle Konstruktionsbereiche das gleiche CAD-System?
- Ist der direkte Zugriff auf die CAD-Daten möglich?
- Existieren Visualisierungsprogramme für die CAD-Daten bzw. kann das CAD-System als Visualisierungsprogramm eingesetzt werden?
- Kann das Visualisierungsprogramm in die Planungsumgebung integriert werden?
- Wie umfangreich ist die zu visualisierende Datenmenge?
- etc.

Das Visualisierungsprogramm sollte möglichst in die Planungsumgebung integriert werden, damit eine einfache Bedienung und eine bidirektionale Kommunikation zwischen Visualisierungsprogramm und Montageplanungssystem erreicht wird. Damit kann der Start der Visualisierung über die Produktstruktur erfolgen (Bild 6-5).

Die Anforderungen an die Funktionalitäten der Visualisierung sind auf sehr unterschiedlichem Niveau. Die grundlegende Forderung ist die Darstellung der Bauteile, um dem Montageplaner den Bezug zur Gestalt des realen Produktes zu ermöglichen. Hierzu werden die Funktionen "zoomen" und "Ansicht drehen" benötigt. Diese Funktionalitäten werden in Bild 6-6 unter dem Überbegriff "Navigations-Funktionen" eingeordnet.

Zusätzlich sind eine Reihe weiterer Funktionalitäten des Visualisierungsprogrammes für die Montageplanung hilfreich, die jedoch über eine reine Visualisierung hinausgehen [Zachmann 1998]. Ein Beispiel hierfür ist die Möglichkeit Geometrien zu erzeugen bzw. zu verändern. Mit Hilfe dieser Funktionalität kann die Informationsdurchgängigkeit zwischen der Montageplanung und der Konstruktion verbessert werden. Änderungen an der Bauteilgeometrie für eine verbesserte Montagefähigkeit können direkt übertragen werden.

Eine Übersicht der Funktionalitätsanforderungen wird in Bild 6-6 dargestellt [Gallagher 1995, Meißner 1990]:

Hauptkriterium	Ausprägung
Navigations-Funktionen	Ansicht drehen
	Zoomen
	interaktives "fly through"
	Ansichten definieren
	Animation erzeugen
	Focus-Funktion
Geometrie-Funktionen	Geometrie erzeugen
	Geometrie verändern
	Element verschieben
	Element rotieren um beliebige Achsen
	Element spiegeln
	Skalieren
Analyse-Funktionen	Schnitte erstellen
	Abstände messen
	Winkel messen
	Nachbarschaftsbestimmung
Funktionen für Kollisions- untersuchungen	Berechnung der Minimalabstände
	Kollisionen feststellen
	Kollisionsort anzeigen
sonstige Funktionen	Kollisionstiefe anzeigen
	Lichtquellen
	Rendering
	Shading
	Level of Detail
	Culling
	Transparenzen
	Texturen
	Farben
	Schatten
Radiosity	
Explosionsdarstellung	

Bild 6-6: Erweiterte Funktionalitätsanforderungen für ein Visualisierungstool der Montageplanung

6.3.2 Visualisierung von Verbindungsinformationen

Die Bauteilkonstruktion legt neben der Gestalt der Bauteile auch Informationen zur Lage der Verbindungsinformationen am Bauteil fest. Diese Informationen werden in der Klasse "Geometrieinformationen" abgelegt. Die Assoziationen des Datenmodells schaffen die Voraussetzung für eine gemeinsame Visualisierung von Bauteilen und Verbindungsinformationen (Bild 6-7). Dadurch wird eine verbesserte Übersicht der durchzuführenden Arbeitsinhalte erreicht (z. B. Lage und Zugänglichkeit von Schweißnähten).

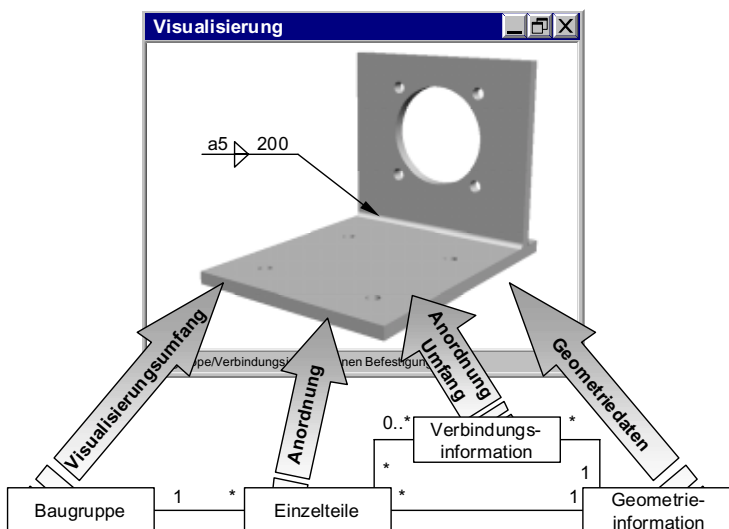


Bild 6-7: Zugriff auf das Datenmodell für die Visualisierung einer Baugruppe mit Verbindungsinformationen

6.3.3 Visualisierung von Fertigungsmittelgeometrien

Die Visualisierung der Bauteile ermöglicht dem Planer einen Eindruck über die Bauräume und die Zugänglichkeit für die einzelnen Montagevorgänge. Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist die gleichzeitige Betrachtung von Fertigungsmitteln und Bauteilen. Einerseits kann der zur Verfügung stehende Bauraum

durch zusätzliche Fertigungsmittelgeometrien weiter eingeschränkt werden (z. B. Spannvorrichtungen). Andererseits kann mit der Geometrie des Werkzeuges die Zugänglichkeit besser überprüft werden (Bild 6-8).

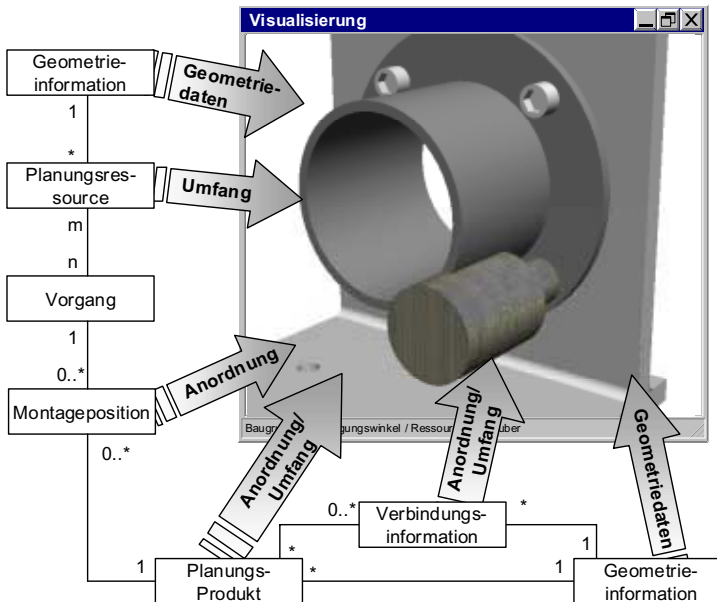


Bild 6-8: Visualisierung einer Baugruppe mit Ressourcen

Die Anordnung der Bauteile in Relation zu den Fertigungsmitteln ist in dem Datenmodell durch die Assoziationen der Fertigungsmittel über die Vorgänge und die Montagepositionen bzw. Verbindungsinformationen zu den Einzelteilen der Klasse "Planungsprodukt" abgebildet.

Die Informationen der geometrischen Ausprägung der Ressourcen werden durch Objekte der Klasse "Geometrieinformation" verwaltet. Für diese Klasse stellt sich die gleiche Situation wie für die Geometrieinformationen der Produkte dar (vgl. Kapitel 6.1.1). Eine gemeinsame Visualisierung von Bauteilen und Fertigungsmitteln setzt hierbei ein einheitliches Geometriebeschreibungsformat voraus.

6.3.4 Planungsunterstützung mit Visualisierung

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die Visualisierung als reine Darstellung von Bauteilen, Verbindungsinformationen und Ressourcen betrachtet. Damit wird dem Planer der Bezug zur Gestalt des realen Produktes bzw. Fertigungsmittels gegeben.

Eine Informationsdurchgängigkeit zwischen dem Visualisierungsprogramm und den Klassen des Datenmodells ermöglicht die Verwendung der Visualisierung als Planungsmedium. Ziel hierbei ist die Realisierung eines "natürlichen" Planungsablaufes, d. h. die Bearbeitung und Dokumentation der Planungsinhalte mit einem direkten Produktbezug.

Die Funktion zur Visualisierung der Bauteile und Baugruppen wird aus der Produktstruktur heraus gestartet. Ebenso sollte bei der Auswahl einzelner Bauteile im Visualisierungsprogramm die Markierung dieser Bauteile in der Produktstruktur erfolgen (Bild 6-9). Mit dieser bidirektionalen Informationsdurchgängigkeit bleibt besonders bei sehr umfangreichen Produktstrukturen die Übersichtlichkeit gewahrt.

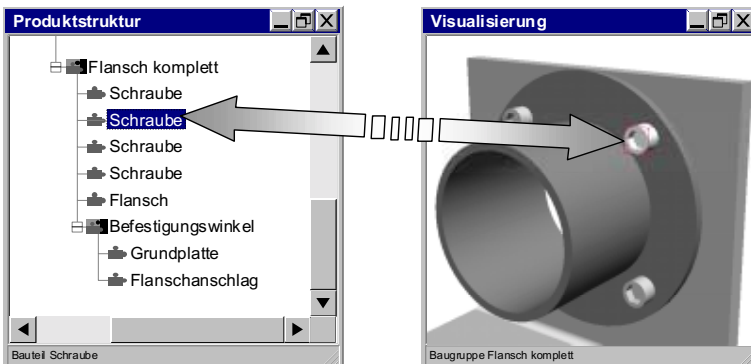


Bild 6-9: Informationsdurchgängigkeit zwischen Visualisierung und Produktstruktur

Durch Auswahl und Gruppierung mehrerer Bauteile sowie Bildung von hierarchischen Gruppen kann in der Visualisierungsoberfläche die Produktstruktur

gebildet werden. Die Bearbeitung der abstrakten Baumstruktur ist somit nicht erforderlich.

Die Eigenständigkeit der Bauteil- und Verbindungsinformationsobjekte in dem Datenmodell ermöglicht die Identifikation der einzelnen Elemente in der Visualisierungsoberfläche. Damit können die Beziehungen zwischen den Verbindungsinformationen bzw. Bauteilen und den Vorgängen aus der grafischen Darstellung heraus aufgebaut werden (Bild 6-10).

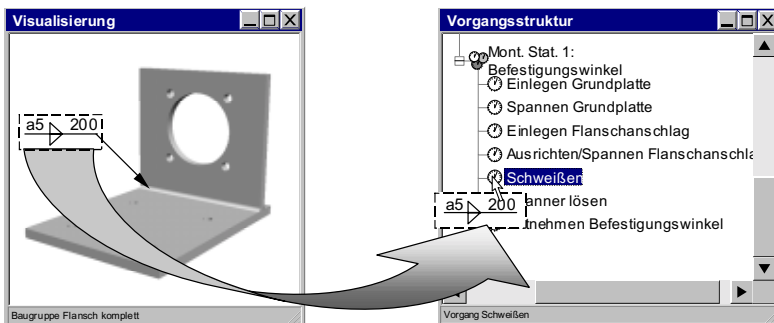


Bild 6-10: Aufbau der Datenmodellverknüpfungen aus der Visualisierung

Zusätzlich zum Erstellen der Verknüpfungen ermöglicht die Informationsdurchgängigkeit auch die Navigation durch die Planungsinhalte. So werden beispielsweise bei Auswahl eines Vorganges die verknüpften Verbindungsinformationen in der Visualisierung hervorgehoben.

Die Planungsunterstützung auf Basis der Visualisierung ist auch für die Klasse "Ressourcen" möglich. Entsprechend der beschriebenen Vorgehensweise für Bauteile und Verbindungsinformationen wird auch bei der Ressourcenstruktur, der Visualisierung der Ressourcen und der Verknüpfungen der Ressourcen zu den Vorgängen verfahren.

Diese grafische Planungsoberfläche unterstützt durch den direkten Produktbezug einen "natürlichen" Planungsablauf. Dadurch werden Planungsfehler vermieden und ein optimiertes Planungsergebnis erreicht. Der Einsatz des grafisch basierten

Planungsablaufs ist von Beginn der Montageplanung (Produktstrukturierung) bis hin zur Feinplanung möglich. Die "*Forderung an Planungsunterstützung 10*" wird damit erfüllt.

6.4 Layoutbasierte Montageplanung

Die layoutbasierte Montageplanung ist die logische Fortführung der vorgestellten "Planungsunterstützung mit Visualisierung". In diesem Kapitel wird die Erweiterung der visualisierungsbasierten Planungsoberfläche um eine layoutorientierte Planungsoberfläche aufgezeigt, um eine vollständige Unterstützung des "natürlichen Planungsablaufes" zu gewährleisten.

6.4.1 Planungsunterstützung mit layoutbasierter Planungsoberfläche

Mit Hilfe der visualisierungsgestützten Bauteilstrukturierung und den in Kapitel 6.1 beschriebenen Funktionen werden alle organisatorischen Ressourcen und deren Vorgänge automatisch generiert und miteinander verknüpft. Diese Ressourcen besitzen aber noch keine geometrische Repräsentation und keinen Bezug zu einem Layout.

Nach der Verknüpfung des Vaterobjektes (z. B. Halle) mit dem Grundlayout, kann die Anordnung der Ressourcen beginnen. Die organisatorischen Ressourcen der Ressourcenstruktur erscheinen im Layout in Form eines Schriftzuges. Diese Darstellung ermöglicht die Identifikation und die Bearbeitung der hierarchischen Ressourcenstruktur in der Layoutoberfläche (Bild 6-11). Die Informationsdurchgängigkeit zwischen den organisatorischen Ressourcen, den entsprechenden Vorgängen und Baugruppen ermöglicht somit auch den Aufruf der Bauteilvisualisierung aus dem Layout.

Die Planungsebene der Fertigungsbereiche wird in dem Layout mit Flächenelementen verknüpft. Hierzu wird das "Flächenelement" aus einer grafischen Ressourcenbibliothek in bezug zu dem Objekt (Schriftzug) "Fertigungsbereich" gebracht. Anschließend wird das "Flächenelement" in dem Hallenlayout posi-

tioniert und in der Größe angepaßt (Bild 6-11). Damit hat die organisatorische Ressource Fertigungsbereich die zur Verfügung stehende Fläche in der Halle erhalten.

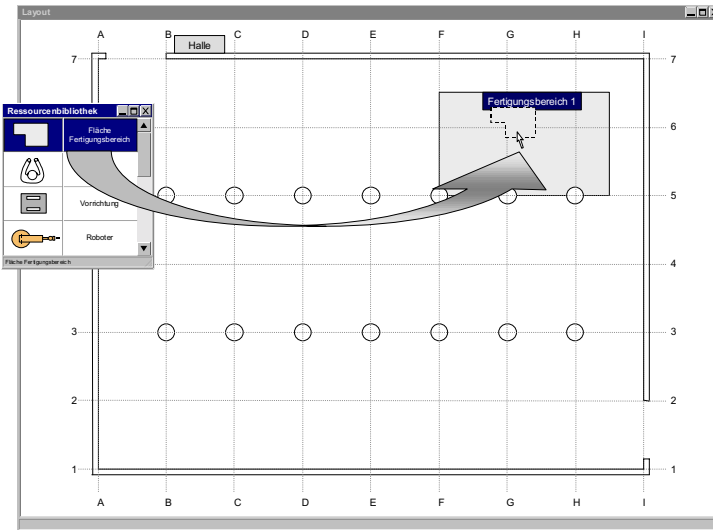


Bild 6-11: Flächenbedarfsplanung für Fertigungsbereiche im Layout

Im nächsten Planungsschritt erfolgt die grobe Anordnung der Stationen auf der Fläche des Fertigungsbereiches. Die Stationen werden, wie alle organisatorischen Ressourcen, automatisch als "Schriftzugobjekt" im Layout dargestellt. Die Positionierung der Stationen erfolgt in dieser Detaillierungsebene auf sehr abstraktem Niveau, d. h. ohne eine weitere Betrachtung der einzelnen Stationsressourcen (Bild 6-12).

Die Materialflußbeziehung zwischen den Stationen wird automatisch aus der Produktstruktur ausgelesen und in Form von Pfeilverbindungen zwischen den Stationsobjekten dargestellt (Bild 6-12).

Ziel dieses Planungsschrittes ist es, erste Erkenntnisse über eine mögliche Stationsanordnung und den dazugehörigen Flächenbedarf zu erhalten [Kohler 1995]. Aufgrund der einfachen Anordnungsmöglichkeit der Stationen im Layout

und der unkomplizierten Produktstrukturierung in der Visualisierung, können mit geringem Aufwand verschiedene Planungsalternativen erstellt werden.

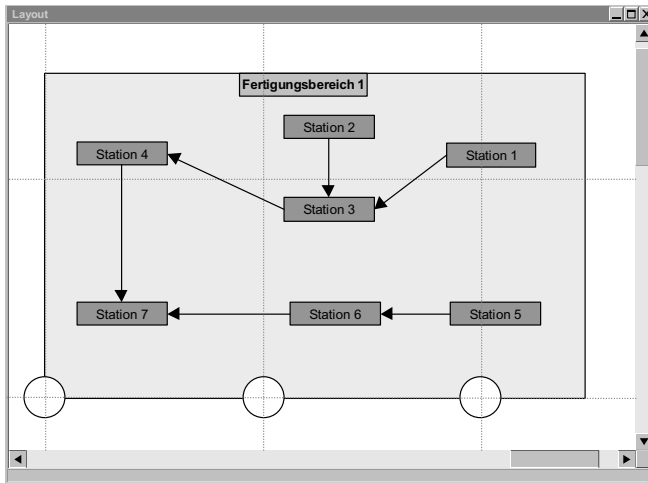


Bild 6-12: Grobe Positionierung der Stationen auf der Fertigungsbereichsfläche

Ebenso wie bei den Fertigungsbereichen kann auch der Ressource "Station" ein Flächenelement zugeordnet werden. Das Flächenelement gibt die groben Maße der kompletten Station an und ermöglicht somit eine exaktere Flächenaussage.

Die Informationsdurchgängigkeit zwischen Produkt, Vorgang und Ressource ermöglicht auch eine Produktstrukturierung direkt in der Layoutoberfläche. So kann beispielsweise mit Hilfe der grafischen Ressourcenbibliothek eine zusätzliche Station erzeugt und im Layout positioniert werden. Hierbei wird der zugehörige Vorgang und die entsprechende Baugruppe automatisch generiert. Die Angabe der Materialflußbeziehungen zu der neuen Station ergibt die Einordnung der Baugruppe in die Produktstruktur. Die Einzelteile der neuen Baugruppe werden mittels "drag and drop" aus der Visualisierung auf die Station "gezogen". Dadurch entsteht die Zuordnung der Einzelteile zu der Baugruppe.

Durch dieses Zusammenspiel von Bauteilvisualisierung und Layoutplanung wird eine vollständige Unterstützung des "natürlichen" Planungsablaufes erreicht. Der

Planer kann durch den direkten Produkt- und Ressourcenbezug sämtliche Planungsaufgaben der groben Planungsphase erledigen.

In der nächsten Detaillierungsstufe erfolgt die Planung der einzelnen Ressourcen innerhalb der Stationen. Auch dieser Planungsschritt mit Erweiterung der Ressourcenstruktur erfolgt komplett in der Layoutoberfläche.

Die einzelnen Ressourcen werden aus der grafische Ressourcenbibliothek in bezug zu dem Objekt (Schriftzug) "Station" gebracht und im Layout positioniert (Bild 6-13). Durch diesen Arbeitsschritt entsteht nicht nur die grafische Repräsentation dieser Ressource und deren Anordnung im Layout sondern auch das entsprechende Objekt der Klasse "Planungsressource" mit der hierarchischen Einordnung in der Ressourcenstruktur. Damit wird auch die "*Forderung nach Planungsunterstützung 10*" (layoutbasierter Planungsablauf über alle Phasen) erfüllt.

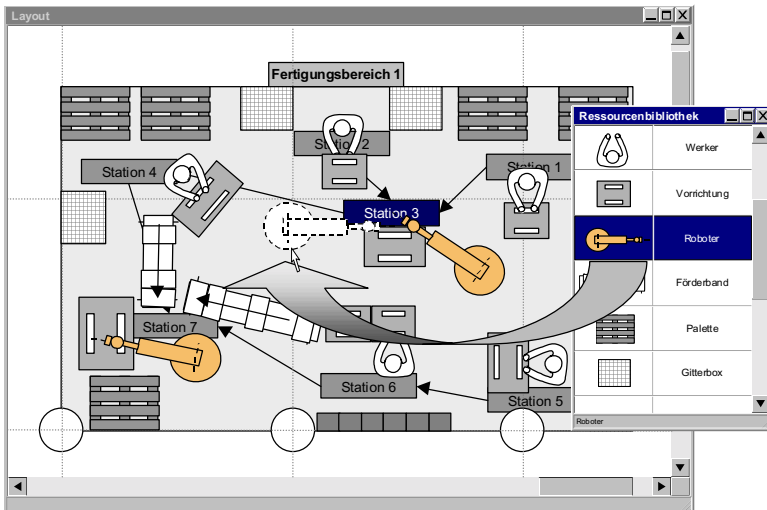


Bild 6-13: Gleichzeitige Erstellung von Layout und Ressourcenstruktur

Über die Ressourcen im Layout können auch die Attribute der Objekte aus der Klasse "Planungsressource" abgerufen bzw. editiert werden.

Die Planung und die Verknüpfung der zugehörigen Montagevorgänge wird in Kapitel 6.5 aufgezeigt.

6.4.2 Voraussetzungen für eine layoutbasierte Montageplanung

Für die hier vorgestellte layoutbasierte Montageplanung ist die vollständige Integration des Layoutprogrammes in die Planungsumgebung eine wichtige Voraussetzung. Es muß eine direkte Kommunikation zwischen dem Datenmodell und dem Layoutprogramm erstellt werden, damit im Layout eine Erzeugung und Bearbeitung der einzelnen Datenmodellobjekte ermöglicht wird.

Derzeit sind nur wenige auf dem Markt erhältliche Layoutplanungsprogramme datenbankbasiert. Beispiele hierfür sind Microstation und CCPlant [Bentley 1998, IBM 1998]. Die Entwicklungstendenzen vieler Hersteller gehen jedoch in Richtung einer Datenbankanbindung, so daß zukünftig eine größere Auswahl zur Verfügung stehen wird.

Sowohl für die Layoutplanung wie auch für die Visualisierung werden CAD-Funktionalitäten benötigt (z. B. Plazier- und Meßfunktionalitäten). Im Idealfall kann ein Programm sämtliche Anforderungen, für Layoutplanung und Bauteil- bzw. Fertigungsmittelvisualisierung, erfüllen. Damit wäre auch die "*Forderung nach Planungsunterstützung 11*", eine Datendurchgängigkeit über alle Hierarchieebenen der digitalen Fabrik, erfüllt.

In diesem Fall könnte die Visualisierung der Bauteile in Form eines stark vergrößerten Layoutausschnitts der Station erfolgen. Die Position und Ausrichtung einer Baugruppe (bzw. deren Einzelteile) zu ihrer Station wird über die Verknüpfung mit der Klasse "Montageposition" angegeben. Alle weiteren Baugruppen bzw. Bauteile, die sich in der Produktstruktur unterhalb dieser Baugruppe befinden, werden über das Attribut "räumliche Anordnung" in der korrekten Position angezeigt. Somit wird erreicht, daß in jeder Station das bis dahin zusammengesetzte Produkt vollständig in der jeweiligen Montageposition dargestellt wird.

Die Voraussetzung für die Layoutplanung und Visualisierung in einem Programm ist ein einheitliches Geometriebeschreibungsformat von Bauteilen,

Ressourcen und Layoutkomponenten. Weiterhin muß diese Programm sehr Leistungsfähig sein, da je nach Anwendungsfall sehr große Layoutumfänge bearbeitet werden.

Derzeit sind am Markt keine Layoutplanungsprogramme erhältlich, die alle Anforderungen in einem ausreichendem Maße erfüllen. Besonders für Anwendungsfälle mit umfangreichen Planungsumfängen ist somit eine Trennung von visualisierungs- und layoutbasierter Planungsoberfläche empfehlenswert.

Eine Trennung von Visualisierung und Layoutplanung hat jedoch auch eine Aufteilung der Fertigungsmittelgeometrien für beide Anwendungen zur Folge. Die Durchgängigkeit der Geometrieinformationen von der einzelnen Komponente bis zum Gesamtlayout wird damit unterbrochen.

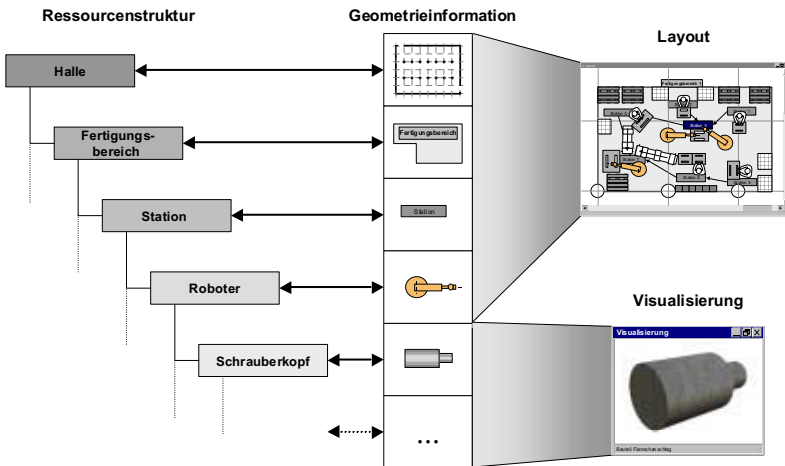


Bild 6-14: Aufteilung der Geometrieinformationen für Visualisierung und Layout

Eine sinnvolle Trennebene zwischen layoutrelevanter und visualisierungsrelevanter Geometrieinformation liegt in der ersten Ebene der Stationsressourcen, d. h. den einzelnen Ressourcen innerhalb der Station. Bis zu dieser Trennebene (von der Halle bis zum Roboter) werden alle Ressourcen in einem Layout angeordnet. Vielfach reicht hierbei eine zweidimensionale Darstellung aus. Alle

weiteren Detaillierungsebenen (Komponenten der Fertigungsmittel) stehen für die Visualisierung zusammen mit den Bauteilen zur Verfügung (Bild 6-14).

6.5 Grafisch unterstützte Planung der Montagevorgänge

Die in den vorangegangenen Kapiteln aufgezeigten Funktionen und Planungsunterstützungen ermöglichen eine einfache Erstellung von Produkt-, Vorgangs- und Ressourcenstruktur sowie deren Verknüpfungen. Eine vollständige Informationsdurchgängigkeit wurde bisher nur für die Ebene der organisatorischen Ressourcen aufgezeigt.

Die layout- und visualisierungsbasierte Planungsoberfläche unterstützt auch die Gestaltung der Produkt- und Ressourcenstruktur auf den detaillierten Planungsebenen. Ebenso können mit den in Kapitel 6.1 aufgezeigten Funktionen einige Vorgänge (z. B. Transportvorgänge) mit dem Bezug zur Produktstruktur automatisch erstellt werden. Eine vollständige Abbildung der detaillierten Vorgänge und der Bezug zur Ressourcenstruktur wird jedoch nicht erreicht.

Diese Aufgabe kann mit Hilfe einer weiteren grafischen Oberfläche durchgeführt werden. Für die Darstellung der Vorgänge wird ein Balkendiagramm eingesetzt. Jeder Vorgang wird durch einen Balken repräsentiert. Die Zeitachse des Diagramms ermöglicht die Reihenfolgegestaltung der Vorgänge. Die Balkenlänge gibt hierbei die Vorgangsdauer an [Bullinger1994].

Die Planung der detaillierten Vorgänge erfolgt parallel zur Gestaltung der einzelnen Ressourcen einer Montagestation. Aus diesem Grund wird das Balkendiagramm möglichst in die Layoutoberfläche integriert. Das jeweilige Balkendiagramm wird direkt von den einzelnen Ressourcen aus dem Layout gestartet (Bild 6-15).

Alle mit der Ressource verknüpften Vorgänge werden in dem Balkendiagramm angezeigt. Weitere Vorgänge werden über eine Vorgangsbibliothek direkt in das Diagramm entnommen und somit automatisch der Ressource zugeordnet (Bild 6-15). Die Einordnung in die Vorgangsstruktur erfolgt über die Struktur-

beziehung der Ressource zu der übergeordneten organisatorischen Ressource "Station" und deren Verknüpfung zur Vorgangsstruktur.

Die Dauer der Vorgänge wird über eine Veränderung der Balkenlänge eingegeben. Die Position des Vorganges im Balkendiagramm und damit die Reihenfolge der Vorgänge wird durch gegenseitiges Verschieben der Balken angegeben. Im Datenmodell wird diese Reihenfolge in Form einer Vorgänger-Nachfolger-Beziehung abgelegt.

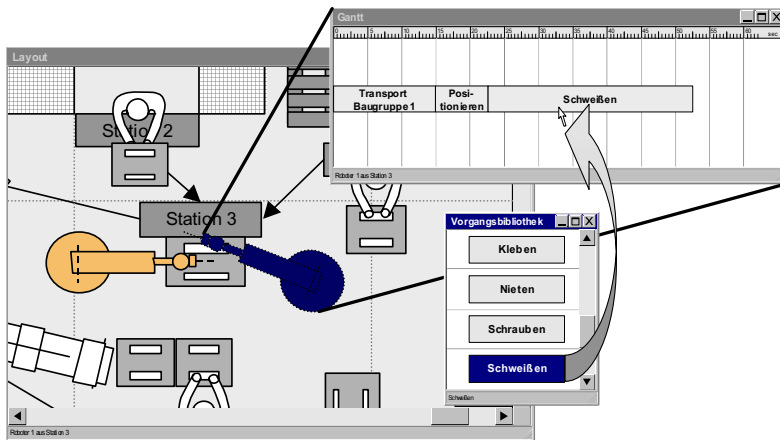


Bild 6-15: Planung der einzelnen Vorgänge einer Ressource in grafischer Planungsumgebung

Die Verknüpfung der Bauteile zu den einzelnen Vorgängen kann durch ziehen (drag and drop) eines Bauteils, von der Visualisierungsoberfläche auf den Vorgang im Balkendiagramm, erstellt werden (vgl. Kapitel 6.3).

Nach der Gestaltung der einzelnen Vorgänge zu jeder Ressource muß der Gesamttablauf aller Vorgänge einer organisatorischen Ressource geplant werden. Hierbei wird das zeitliche und logische Zusammenspiel der Vorgänge einer Station bzw. eines Fertigungsbereiches betrachtet.

Der Aufruf des Balkendiagramms erfolgt wiederum aus der Ressourcendarstellung im Layout (Bild 6-16). In dem Balkendiagramm werden alle Vorgänge

der organisatorischen Ressource, geordnet nach den "aktiven" Ressourcen, dargestellt. Eine aktive Ressource wird hierbei durch die Fähigkeit, selbständig Arbeiten auszuführen, klassifiziert (z. B. Werker, Roboter).

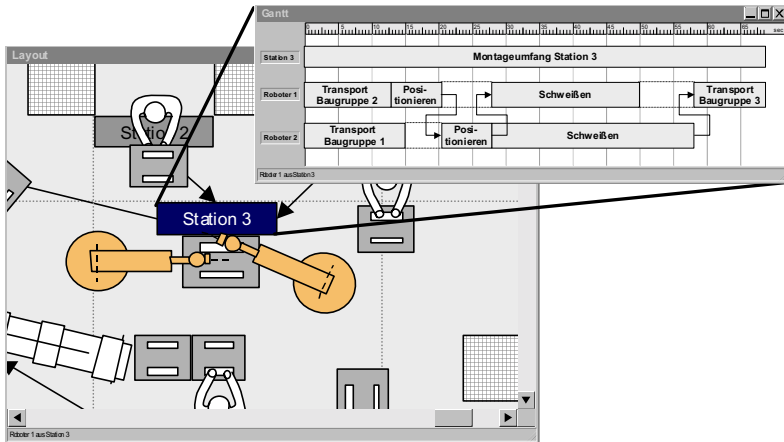


Bild 6-16: Planung des Gesamtablaufes aller Vorgänge einer organisatorischen Ressource

Die Ordnung nach aktiven Ressourcen ermöglicht die Planung gegenseitiger Abhängigkeiten. Diese können in Form von "Verriegelungen" zwischen den Vorgängen eingegeben werden (z. B. Start nach Ende, gleichzeitiger Start, gleichzeitiges Ende). In dem Beispiel von Abbildung 6-16 kann das Positionieren der "Baugruppe 1" erst erfolgen, nachdem "Roboter 1" die "Baugruppe 2" in die Vorrichtung eingelegt hat. Die Schweißvorgänge können erst nach Abschluß aller Einlegevorgänge starten.

Die Integration der grafischen Planungsoberfläche für Vorgänge und der layoutbasierten Planungsoberfläche ermöglicht eine simultane Planung von Ressourcen und deren Vorgänge. Ferner kann der direkte Layoutbezug die Planung der Vorgänge effektiv unterstützen.

Ein Beispiel hierfür ist die Ermittlung der Ausführzeit für einen Transportvorgang "vom Behälter zur Vorrichtung gehen". Über den Layoutbezug kann die

Position von Behälter und Vorrichtung und damit der zurückzulegende Weg angegeben werden [Woenckhaus 1994]. Mit Hilfe der Transportgeschwindigkeit (z. B. nach MTM) kann die Vorgangsdauer automatisch berechnet werden. Bei einer Veränderung des Layouts ist es möglich, die Vorgangsdauer automatisch anzupassen [Huck 1990].

6.6 Integration bzw. Anbindung von Berechnungs- und Simulationssystemen

Die in Kapitel 3 vorgestellte Methode einer durchgängigen Montageplanung stützt sich auf einen verstärkten Einsatz von Berechnungs- und Simulationssystemen. Zur Gewährleistung kurzer Planungsregelkreise wird eine Informationsübertragung zwischen den am Regelkreis beteiligten Systemen benötigt, um eine redundante Datengenerierung zu vermeiden [Lehmann 1997]. In diesem Fall wird von einer Anbindung eigenständiger Systeme über Schnittstellen gesprochen (vgl. Kapitel 6.6.2).

Eine weitere Möglichkeit für einen Einsatz von Berechnungs- und Simulationssystemen ist die direkte Integration in die Arbeitsumgebung des Planers. In diesem Fall wendet der Planer die Systeme selbständig an. Da es dem Planer kaum möglich ist Spezialkenntnisse verschiedenster Systeme zu erlernen, muß deren Anwendung stark vereinfacht werden.

In den folgenden Kapiteln werden diese beiden Möglichkeiten näher ausgeführt.

6.6.1 Integration stark vereinfachter Systeme in die Arbeitsumgebung des Planers

Voraussetzung für eine Systemintegration mit einer einfachen Anwendbarkeit ist die Verfügbarkeit von nahezu allen benötigten Informationen. Das heißt ein annähernd automatischer Systemablauf kann nur gewährleistet werden, wenn die dazu benötigten Eingangsinformationen in dem Datenmodell der Montageplanung bereits vorhanden sind.

Ferner ist eine Integration nur von den Systemen sinnvoll, deren Ergebnisse direkt in die weiterführende Montageplanung einfließen.

Diese Voraussetzungen sind für eine Vielzahl verschiedener Systeme erfüllt, z. B.:

- Systeme zur Berechnung der Montageprozeßparameter (z. B. Stromstärke für Schweißnaht, Anpreßdruck für Klebeverbindung),
- Systeme zur Herstellkostenberechnung,
- Geometriesimulationssysteme,
- Ablaufsimulationssysteme.

Für die Systeme zur Berechnung der Montageprozeßparameter sind in dem Datenmodell der Montageplanung nahezu alle Informationen vorhanden (Verbindungsinformationen, Materialangaben, Bauteilgeometrie). Die Voraussetzungen für eine Integration sind damit erfüllt. Da diese Systeme stark von dem jeweiligen Anwendungsfall abhängen, wird hier nicht näher auf die Realisierungsmöglichkeiten eingegangen.

Die benötigten Informationen für die Berechnung der Herstellkosten stehen in dem Datenmodell der Montageplanung nicht vollständig zur Verfügung. Die grundlegenden Informationen, wie z. B. Maschinenbelegungsdauer, Flächen- und Personalbedarf, sind zwar vorhanden, die strategischen Informationen, wie z. B. Risiko, Know-How und Qualität, müssen jedoch spezifisch beurteilt werden [Warnecke u. a. 1995, Wildemann 1996]. Eine Integration dieser Systeme sollte demnach für den jeweiligen Anwendungsfall entschieden werden.

Der Einsatz der Geometriesimulation in einer einfachen Form ist zur Überprüfung der Fügefolge und der Zugänglichkeit für Montageaufgaben geeignet [Gampp & Georgi 1995]. Die dazu benötigten Informationen setzen sich aus der geplanten Fügefolge, den Bauteil- und Fertigungsmittelgeometrien sowie den Fügebewegungen zusammen [Kleineidam 1990]. Bis auf die Fügebewegungen sind diese Informationen in dem Datenmodell Montageplanung vorhanden.

Da die Endpositionen der Bauteile, d. h. deren Anordnung im kompletten Erzeugnis, bereits von der Konstruktion festgelegt wurden, müssen lediglich die

wesentlich einfacheren Demontagebewegungen eingegeben werden [AnySim 1997]. Die Demontagebewegungen können mit den Grundfunktionalitäten der Visualisierung ("Element schieben", "Element drehen") erzeugt werden. Während der Planung der Fügebewegungen wird vom System automatisch eine Kollisionsüberprüfung durchgeführt und die Kollisionsstelle angezeigt [AnySim 1997, Tecnomatix 1998]. Für die Überprüfung der Zugänglichkeit wird eine Funktion zur Erstellung einfacher Volumenkörper benötigt.

Mit einer Erweiterung der Visualisierungsoberfläche um Eigenschaften zur Bewegungserstellung (kinematische Funktionen) sowie zur Auswertung der Bewegungen (Berechnungsfunktionen) (Bild 6-17) können somit einfache Geometriesimulationsuntersuchungen vom Planer selbst durchgeführt werden. Da die Visualisierungsoberfläche die "gewohnte" Planungsumgebung ist, stellt die Eingabe von Fügebewegungen nur eine geringe zusätzliche Anforderung an den Montageplaner. Die Geometriesimulation in der Visualisierungsoberfläche stellt damit ein Beispiel für die geforderte Integration stark vereinfachter Anwendungssysteme ("*Forderung an Planungsunterstützung 16*") dar.

Hauptkriterium	Ausprägung
Kinematische Funktionen	Kinematik definieren und ausführen
	Bewegungspfade definieren und ausführen
Berechnungsfunktionen	Dynamische Kollisionsberechnung
	Hüllgeometrie von Bauteilbewegung ermitteln und anzeigen

Bild 6-17: Funktionalitätsanforderungen an die Visualisierung für die Durchführung einfacher Simulationsuntersuchungen

Der Einsatz einer dynamischen Ablaufsimulationsuntersuchung durch den Planer ist besonders in den frühen Planungsphasen sinnvoll. Einerseits müssen zu diesem Zeitpunkt eine hohe Anzahl verschiedener Planungsalternativen bewertet werden. Eine einfache und schnelle Bewertung durch eine Simulationsuntersuchung fördert den Planungsfortschritt und die Akzeptanz für die Generierung unterschiedlicher Planungsalternativen. Andererseits wird beim Planer, infolge der selbständigen Durchführung der Simulationsuntersuchungen, das

Verständnis für das dynamische Anlagenverhalten gefördert. Damit kann eine frühzeitige und verbesserte Planungsoptimierung erreicht werden [Jonas 1996b].

In den frühen Planungsphasen sind die Planungsinhalte auf noch sehr groben Niveau. Aus diesem Grund ist es ausreichend, die Detaillierungstiefe der Simulationsmodellierung auf einem abstraktem Niveau zu halten. Sie kann auf die Ebene der organisatorischen Ressourcen (Fertigungsbereiche, Stationen) beschränkt werden.

Hierbei ist es möglich, alle organisatorischen Ressourcen durch den gleichen Typ eines Simulationselementes (Maschine) abzubilden. Die spezifischen und simulationsrelevanten Eigenschaften werden mit Hilfe von Attributen im jeweiligen Simulationselement hinterlegt. Da nicht alle benötigten Informationen direkt von der Montageplanung ermittelt werden, können diese in Form von Erfahrungswerten aus den Bibliotheken übernommen werden (Bild 6-18). Dies betrifft z. B. die Werte für die durchschnittliche Zeitdauer zwischen Ausfällen (MTBF = Meantime between Failure) und die durchschnittliche Zeitdauer für Reparaturen (MTTR = Meantime to Repair).

Die Materialflußbeziehungen zwischen den Stationen sind ebenso in dem Datenmodell der Montageplanung hinterlegt und stehen somit für den Aufbau des Simulationsmodells zur Verfügung. Bei der Planung von Puffern zwischen den Stationen kann die Anzahl der Pufferplätze in Form eines Attributwertes an der Nachfolgestation, d. h. der empfangenden Station, eingegeben werden. Bei einer weiteren Detaillierung der Planung ist dieser Wert direkt in dem entsprechenden Objekt (z. B. Stauförderer) der Ressourcenstruktur hinterlegt. Über die Zuordnung der Baugruppe zu dem Ressourcenobjekt kann der Wert eindeutig für den Simulationsaufbau eingesetzt werden.

Eine Vereinfachung der Modellerstellung wird bei der Hinterlegung der Materialverfügbarkeit vorgenommen, da diese nur bedingt vorhanden und eine korrekte Modellierung schwierig ist. Aus diesem Grund wird die Verfügbarkeit der Einzelteile als uneingeschränkt, d. h. zu 100 Prozent verfügbar, betrachtet. Das gilt auch für die Quellen- bzw. Senkenbeziehungen an den Simulationsgrenzen.

Attributbeschreibung von Simulationselementen	Herkunft des Attributwertes
Ausführdauer (Bearbeitungszeit)	Montageplanung
Rüstzeiten	Montageplanung
Losgröße	Montageplanung
MTBF	zusätzliche Eingabe bzw. Übernahme aus Bibliothek
MTTR	zusätzliche Eingabe bzw. Übernahme aus Bibliothek
Eingangspuffer für jeden Baugruppentyp	zusätzliche Eingabe

Bild 6-18: Attribute und die Herkunft der Attributwerte für die Gestaltung der dynamischen Eigenschaften einer Station

Der Simulationsumfang und damit auch die Simulationsgrenzen werden durch eine Markierung der Objekte in der Ressourcenstruktur bzw. im Layout angegeben. Ein Auftragspektrum muß nur bei Bearbeitung von Produktvarianten bestimmt werden und kann z. B. in Form einer Mengenverteilung der Varianten angegeben werden.

Auf Basis dieser Informationen und Annahmen kann automatisch ein lauffähiges Simulationsmodell erstellt werden [Abels 1993, Lehmann 1997]. Das Simulationsmodell, wie auch der Simulationslauf, bleiben für den Anwender vollständig im Hintergrund. Aufgrund der sehr einfachen Modellierung ist sowohl der Modellaufbau wie auch die Durchführung einer Simulationsstudie in sehr kurzer Zeit abgeschlossen (vgl. "Forderung an Planungsunterstützung 12"). Für den Anwender werden lediglich die Simulationsergebnisse in einer standardisiert aufbereiteten Form im Layout angezeigt (Bild 6-19).

Das Ergebnis besteht im wesentlichen aus dem Durchsatz der Anlage in einer vorgegebenen Zeitdauer. Die Durchlaufzeit kann aufgrund verschiedener Annahmen und Vereinfachungen bei der Modellerstellung nicht korrekt ausgewertet werden.

Für eine einfache Interpretation des Simulationsergebnisses werden zu jeder Station die Zustandsdiagramme über die Simulationszeit angegeben (Bild 6-19).

Der Planer kann somit erkennen, an welcher Anlagenposition ein evtl. Optimierungspotential vorhanden ist.

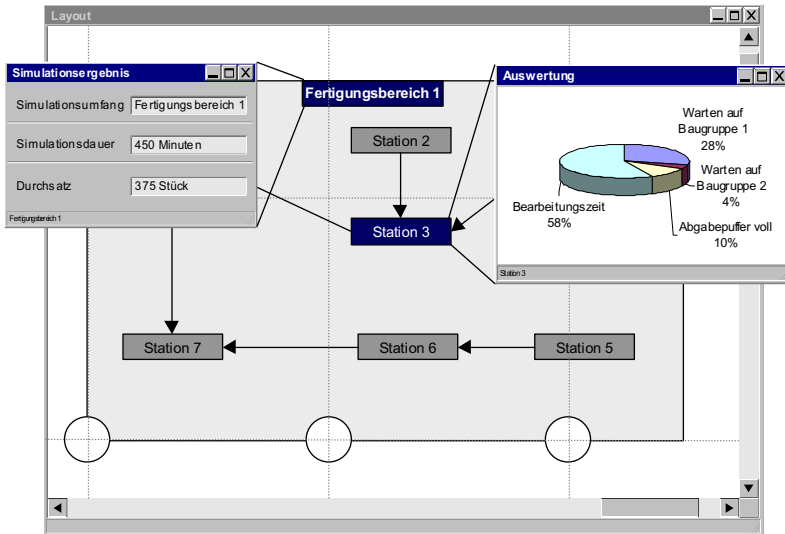


Bild 6-19: Darstellung der Simulationsergebnisse und -auswertungen

Dieser nahezu komplett automatische Aufbau und Ablauf einer Simulationsuntersuchung sollte nur auf einer relativ abstrakten Planungsebene durchgeführt werden. Die Vereinfachungen und Annahmen haben zur Folge, daß die Ergebnisse nicht in der Form und Detaillierung vorliegen, wie bei einer Verrichtung von Simulationsspezialisten. Die Ergebnisse sollten somit lediglich zum relativen Vergleich verschiedener Planungsalternativen herangezogen werden.

Eine umfassende Systemunterstützung bietet jedoch den Vorteil von zuverlässig vergleichbaren Ergebnissen, da Übertragungs- und Interpretationsfehler ausgeschlossen werden [Abels 1993].

6.6.2 Anbindung eigenständiger Systeme über Schnittstellen

Wie bereits in Kapitel 2.3 aufgezeigt wurde, ist ein erfolgreicher Einsatz der rechnergestützten, durchgängigen Montageplanung von der Berücksichtigung bereits bestehender Systeme abhängig. Aus diesem Grund werden viele spezialisierte Systeme (z. B. Einkaufs-, Simulationssysteme) nicht in das Datenmodell der Montageplanung integriert, sondern über Schnittstellen angebonden.

Der Einsatz von Schnittstellen ermöglicht eine schnelle Informationsübertragung und damit kurze Regelkreise ohne die Architektur der Systeme zu verändern. Bei der Gestaltung von Schnittstellen gibt es grundsätzlich folgende Alternativen:

- systemneutrale bzw. systemspezifische Schnittstellen
- direkte Kommunikation der beiden Systeme bzw. Datenübertragung mittels Datei

Die Betrachtung von nur einem System bzw. Systemhersteller eröffnet die Möglichkeit, die speziellen Systemeigenheiten zu berücksichtigen. Damit kann im Vergleich zu einer systemneutralen Schnittstelle eine meist verbesserte Informationsübertragung erreicht werden.

Da jedoch bei Zulieferern, SE-Partnern und vielfach sogar innerhalb einer Firma unterschiedliche Systeme zum Einsatz kommen, stellen systemspezifische Schnittstellen lediglich punktuelle Optima dar. Der Aufwand für die Gestaltung und Wartung einer hohen Anzahl von Schnittstellen würde den positiven Effekt der Schnittstellen aufwiegen. Aus diesem Grund wird eine systemneutrale Schnittstelle für alle anzubindenden Systeme bereitgestellt.

Die Übertragung der Daten mit Hilfe einer Datei bietet die Möglichkeit für den Einsatz von Konvertern. Damit kann das Datenformat der systemneutralen Schnittstelle in ein systemspezifisches Datenformat umgewandelt werden. Somit müssen weniger bzw. keine Änderungen an den jeweiligen Systemen vorgenommen werden.

Bei einer dateigebundenen Informationsübertragung kann die Datei gleichzeitig als Bestandteil der Auftragsdokumentation (z. B. Auftrag einer Simulations-

studie) verwendet werden. Ferner erleichtert eine Datei die Übertragung der Daten an Zulieferer und SE-Partner.

Aufgrund dieser Gegebenheiten wird die Anbindung eigenständiger Systeme an die Montageplanung über ein systemneutrales Dateiformat durchgeführt. Damit beliebige Systeme angebunden werden können, müssen sämtliche Informationen der Montageplanung an die Schnittstellendatei übergeben werden. Diese Informationen sind in dem Datenmodell der Montageplanung auf die Klassen von "Planungsprodukt", "Planungsverbindungsinformation", "Montageposition", "Vorgang" und "Planungsressource" sowie deren Unterklassen verteilt (vgl. Kapitel 5).

Ein standardisiertes Datenformat für Prozeßdaten, entsprechend dem "Standard für den Austausch von Produktmodellen (STEP)", ist derzeit noch nicht verfügbar [OMG 1996, Steinwasser 1997]. Eine Erweiterung des Produktmodells von STEP um prozeßrelevante Informationen wird jedoch vorangetrieben [ISO 15531-1 1996].

Da derzeit noch keine Version eines standardisierten Produkt- und Prozeßdatenmodells verfügbar ist, wird im folgenden ein eigenständiges Format angegeben, um sämtliche Informationen aus dem Datenmodell der Montageplanung auszugeben.

In diesem Format wird jede Klasse durch eine eigenständige Tabelle angegeben. Ein Objekt einer Klasse wird durch jeweils eine Tabellenzeile repräsentiert. Mit Hilfe der Identifikationsnummer ist jedes Objekt eindeutig identifizierbar. Assoziationen zu Objekten anderer Klassen werden in Form von Verweisen auf die Identifikationsnummern der Objekte in den anderen Tabellen dokumentiert. In dem Beispiel von Bild 6-20 ist ein Ausschnitt der Ressourcentabelle abgebildet. Neben den einzelnen Attributen sind die Strukturbeziehungen (Vater-Sohn-Beziehungen) sowie die Verknüpfungen zu Vorgängen zu erkennen. Für eine einfache Weiterverarbeitung der Daten werden die Tabellen in dem Excel-basierten CSV-Format [Reinke 1997, Staas 1997] gespeichert.

Ressource

ID	Alternative	Variante	Bez.	Vater	Sohn	Verkn. Vorgang	X-Koord.	Y-Koord.
PLRESS_101208	A	A	"Station 4"	PLRESS_101189	PLRESS_101209, PLRESS_101210, PLRESS_101211, PLRESS_101214	VG_103543	7824	4
PLRESS_101209	A	A	"Roboter"	PLRESS_101208	PLRESS_101213	VG_103661, VG_104022	882	20
PLRESS_101210	A	A	"Werker"	PLRESS_101208	PLRESS_101212	VG_103565,	-276	
PLRESS_101211	A	A	"Vorrichtung"	PLRESS_101208		VG_103347	1292	6
PLRESS_101212	A	A	"Schweißzange"	PLRESS_101210			241	
PLRESS_101213	A	A	"Greifer"	PLRESS_101209				

Bild 6-20: Montageplanungsdaten in systemneutralem Schnittstellenformat

In Zusammenspiel mit Ablauf- und Geometriesimulationsuntersuchungen kann dieses Schnittstellenformat zum systemunterstützten Aufbau der Simulationsmodelle eingesetzt werden [Jonas 1996b, Lehmann 1997]. Da die einfachen Simulationsstudien mit Hilfe integrierter Simulationssysteme vom Planer selbständig durchgeführt werden (vgl. oben), wird die Anbindung der Systeme über Schnittstellen nur für komplexe Untersuchungsumfänge eingesetzt.

Der systemunterstützte Aufbau der Simulationsmodelle beschränkt sich, aufgrund des Informationsinhaltes des Schnittstellenformats, auf die Erzeugung und Anordnung der Simulationsobjekte und der Generierung des groben Ablaufes. Die detaillierten Abläufe und Steuerungsstrategien müssen von dem Simulationsexperten erstellt werden.

Damit bei kurzen Planungsintervallen der Anpassungsaufwand der Simulationsmodelle an den aktuellen Planungsstand gering bleibt, wird ein Referenzierungsmechanismus zwischen den Simulations- und den Montageplanungsobjekten aufgebaut. Die Referenzierung findet auf Basis der Identifikationsnummer der Montageplanungsobjekte statt. Bei dem Einlesen einer neuen Planungsversion werden über die Referenzierung lediglich die Attribute der bestehenden Objekte aktualisiert. Die Steuerungsstrategien und detaillierten Abläufe bleiben unverändert.

6.7 Erstellung von Arbeits- und Prüfanweisungen

Die Erstellung von Arbeitsanweisungen für die manuelle Montage gehört nach Kapitel 2.2 in das Aufgabenpaket "Erstellung der Montageprogramme". Neben der Arbeitsanweisung für die manuelle Montage wird in diesem Arbeitspaket vor allem die Roboter- und Maschinenprogrammierung durchgeführt. Die exakten Roboterbewegungen werden nach dem hier vorgestellten Konzept einer durchgängigen Montageplanung jedoch nicht von dem Planer sondern von dem Simulationsexperten erstellt. Die Programmerstellung wird folglich über eine Anbindung an das Simulationssystem bzw. in dem Simulationssystem durchgeführt. Realisierungsmöglichkeiten für eine Roboterprogrammierung mit Hilfe eines 3D-Simulationssystems werden bei [*AnySim 1997, Huck 1990, Park 1992, Schuster 1992, Tecnomatix 1998*] aufgezeigt.

Für die Arbeitsanweisung manueller Montagevorgänge ist die Informationstiefe des Datenmodells der Montageplanung ausreichend. Die eindeutige Zuordnung der Montagevorgänge zu einer aktiven Ressource (vgl. Kapitel 6.5), ermöglicht die Auswahl aller Arbeitsinhalte eines Monteurs in der Ressourcenstruktur bzw. im Layout. Die Informationen für eine Arbeitsanweisung sind bei einer detaillierten Planung vollständig vorhanden und können automatisch ausgegeben werden.

Beim Erstellen der Arbeitsanweisung werden vom System alle Vorgänge der ausgewählten aktiven Ressource angegeben. Die Reihenfolge der Vorgänge wird anhand der "Vorgänger-Nachfolger-Beziehung" ausgelesen. Zu jedem Vorgang werden alle verknüpften Ressourcen und Produkte ausgegeben (Bild 6-21). Die detaillierte Beschreibung der Montagevorgänge wird in der letzten Detaillierungsstufe der Montageplanung in einem Textfeld der Vorgangsobjekte eingegeben. Eine Unterstützung durch den Planer wird lediglich beim Einfügen von Bildern aus der Visualisierungsoberfläche benötigt.

Arbeitsanweisung

Arbeitsumfang: *Station 2*
 Datum: *06.02.1999*
 Verantwortlicher Planer: *Huber*

Vorangegangener Vorgang: *Befestigungswinkel einlegen*
 durch: *Roboter*

Durchzuführende Vorgänge:

1. *Flansch holen/positionieren*
 Bauteile: *Flansch*
 Ressourcen: *Gitterbox, Vorrichtung*
 Dauer: *0.13 min*
 Beschreibung: */*



2. *Schraube eindrehen*
 Bauteile: *Sechskantschraube M12*
 Ressourcen: *Kleinteilebehälter, Elektroschrauber*
 Dauer: *0.06 min*
 Drehmoment: *80 Nm*
 Beschreibung: *Erst nach dem Eindrehen aller Schrauben festziehen*

Blatt 1 von 5

Bild 6-21: Automatisch ausgegebene Arbeitsanweisung für manuelle Montagevorgänge

6.8 Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel aufgezeigten Funktionen ermöglichen eine durchgängige Montageplanung über alle Planungsinhalte und -ebenen. Mit Hilfe der grafischen Planungsoberflächen (Visualisierung, Layout und Balkendiagramm) wird ein natürlicher Planungsablauf erreicht. Die einzelnen Planungsaufgaben werden dabei nicht mehr sequentiell abgearbeitet, sondern es wird von Beginn an ein realitätsnahes Modell der Montageanlage mit den Montageprodukten virtuell aufgebaut, das schrittweise bis zur Realisierung detailliert wird. Die Grenzen der einzelnen Planungsaufgaben verschwimmen hierbei fast vollständig. Die Forderung nach einer Datendurchgängigkeit wird somit umfassend erfüllt.

Die vollständige Datendurchgängigkeit über alle Planungsinhalte und -ebenen ermöglicht auch das einfache Einarbeiten von Änderungen. Ein Einsatz des Planungssystems über die Anlaufphase hinaus, d. h. während des gesamten Betriebszeitraumes der Montageanlagen, kann somit einfach gewährleistet werden.

Die Integration einfacher Anwendungssysteme bzw. die Schnittstellenanbindung komplettieren die Datendurchgängigkeit auf die an Regelkreisen beteiligten Arbeitsprozesse. Dadurch wird eine redundante Datengenerierung weitgehend vermieden (vgl. "*Forderung an Planungsunterstützung 5*"). Eine zusätzliche Entlastung des Planers wird durch die Funktionen zur automatischen Erstellung der Planungsinhalte erreicht.

7 Anwendung des Planungsvorgehens in einem Beispielunternehmen

Nachfolgend wird die Anwendung des rechnergestützten Planungsvorgehens, speziell unter Betracht der einzelnen Planungsintervalle, anhand eines Praxisbeispiels vorgestellt. Die Parallelisierung der Prozesse von Bauteilkonstruktion, Montage- und Fabrikplanung sowie Fertigungsmittelkonstruktion wird durch die Eingangsinformationen bzw. Ergebnisse der Montageplanungsintervalle aufgezeigt.

Als Rechnerunterstützung wurde das Planungssystem "*ProcessPlanner*" der Firma Tecnomatix eingesetzt, das in Zusammenhang mit dieser Arbeit entwickelt wurde und das hier konzipierte Planungsvorgehen weitgehend unterstützt.

7.1 Aufgabenstellung des Beispiels

Das Beispielunternehmen ist ein mittelständischer Zulieferer der Automobilindustrie. Es hat sich als Systemlieferant auf vormontierte Komponenten von Schließsystemen und Türmodulen spezialisiert.

Das betrachtete Beispiel bezieht sich auf eine Produktneuentwicklung eines Schließsystems. Unter einem Schließsystem werden alle Elemente einer Autotüre zusammengefaßt, die zum Verschließen, Ver-/Entriegeln und zum Öffnen der Türe benötigt werden. Das Schließsystem in dem betrachtetem Beispiel setzte sich aus folgenden Einzelteilen bzw. Baugruppen zusammen (Bild 7-1):

- Türschloß (zentrales Modul, das an dem Bolzen der Karosserie einhakt und die eigentliche Schloßmechanik sowie Funktionen, wie z. B. für Zentralverriegelung, beinhaltet)
- Griffplatte (Griff an der Türaußenseite zum Öffnen der Türe, z. T. mit Schließzylinder zum Ver- und Entriegeln der Türe)
- Türinnengriff (Griffmulde an der Türinnenseite zum Öffnen sowie zum Ver- und Entriegeln der Türe)

- Bowdenzug (flexible Verbindung des Türschlosses mit der Griffmulde)
- Gestänge (Verbindung des Türschlosses mit dem Türgriff; eine Stange zum Öffnen und eine Stange zum Ver- bzw. Entriegeln der Türe)
- Security Shield (Einbruchsicherung in Form einer Abdeckschiene für die Gestänge)

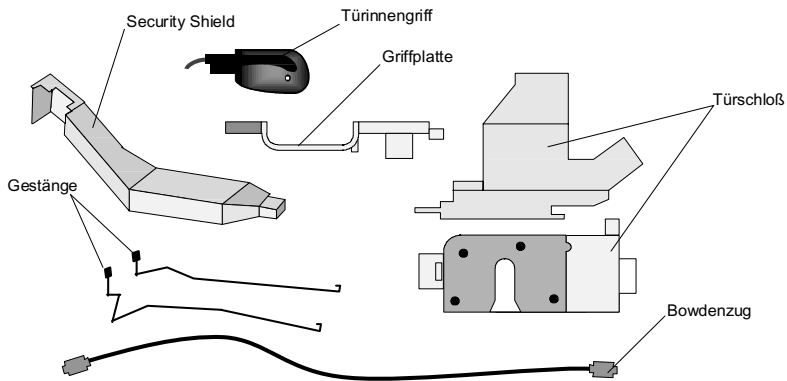


Bild 7-1: Elemente eines Schließsystems

Die Entwicklung der Einzelteile für das Schließsystem war auf verschiedene Bereiche verteilt:

Das "Innenleben" des Türschlosses mit der Schließmechanik wurde von einem Unterlieferanten eigenständig entwickelt. Dort erfolgte auch die Fertigung und Montage des Türschlosses. Für die Montage des Schließsystems wurde das Türschloß als vormontierte Baugruppe angeliefert.

Die Griffplatte, der Türinnengriff, das Gestänge sowie das Security Shield entwickelte die Konstruktionsabteilung des Automobilherstellers.

Die Bowdenzüge wurden von einem weiteren Lieferanten bezogen. Die Anpassungskonstruktion auf die speziellen Anforderungen (z. B. Länge, Anschlußgeometrien) führte der Lieferant in Zusammenarbeit mit dem Automobilhersteller durch.

Die Produktgestaltung für die Schließsysteme war somit auf drei verschiedene Konstruktionsabteilungen verteilt. Zusätzlich wurden weitere Produktvarianten (z. B. mit/ohne Zentralverriegelung) von dem Einkauf des Automobilherstellers festgelegt.

Da das Automobilunternehmen ein neuer Auftraggeber war, existierten keine bestehenden Montageanlagen eines Vorgängermodells. Somit mußte auch für die Montageanlagen eine komplette Neuplanung durchgeführt werden. Der grundsätzliche Aufbau des Schließsystems war jedoch sehr ähnlich zu Produkten anderer Auftraggeber. So konnte in dem Unternehmen auf ein sehr umfangreiches Spezial-Know-how zurückgegriffen werden.

7.2 Durchführung der Planung

Die Montageplanung wurde in drei Planungsphasen mit einer zusätzlichen Phase für die Anlauf- und Betriebsbetreuung gegliedert.

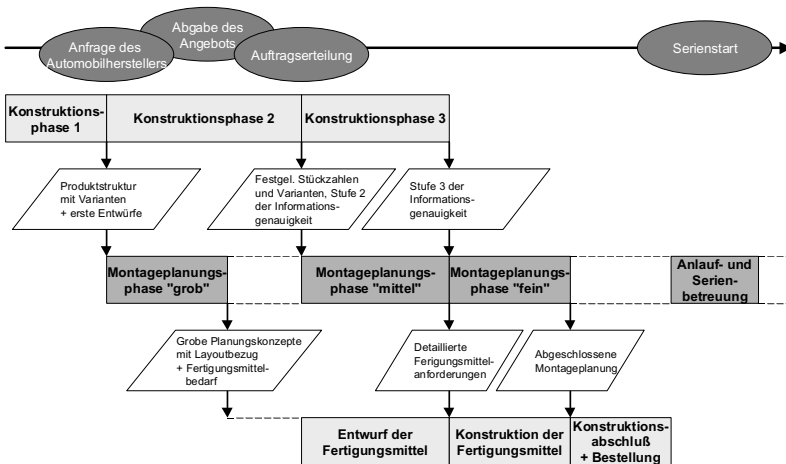


Bild 7-2: Gliederung des Montageplanungsprozesses

In der ersten Planungsphase wurden grobe Konzepte für die Montageanlagen erarbeitet, um eine konkrete Angebotserstellung zu ermöglichen. Die zweite und dritte Phase erfolgten nach der Auftragserteilung. In diesen beiden Planungsphasen wurden die Planungsinhalte detailliert und ausgearbeitet (Bild 7-2).

7.2.1 Planungsphase "grob"

Diese Planungsphase wurde aufgrund einer Anfrage des Automobilherstellers ausgelöst. Ziel war es, die Planung in sehr kurzer Zeit so weit voranzutreiben, daß auf Basis der Planungsergebnisse ein detailliertes Angebot erstellt werden konnte.

Als Eingangsinformationen standen der Montageplanung die Produktstruktur sowie einige Entwürfe der Bauteile zur Verfügung (Bild 7-3). Die Produktstruktur setzte sich im wesentlichen aus den in Bild 7-1 dargestellten Elementen zusammen. Hinzu kamen die Einzelteile von Türinnengriff und Griffschale sowie weitere Verbindungselemente, wie z. B. Schrauben zur Befestigung des Security Shields. Erste Entwürfe existierten bereits von dem Security Shield, dem Türinnengriff, der Griffplatte sowie der Grundplatte des Türschlosses. Von dem Türschloß und den Bowdenzügen waren hingegen noch keine Entwürfe verfügbar.

Eingangs- information	Planungsinhalt	Ergebnis
<p>aus Konstruktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produktstruktur • erste Entwürfe <p>aus Einkauf</p> <ul style="list-style-type: none"> • Varianten • Stückzahlen <p>aus Fabrikplanung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hallenstruktur • Fläche <p>aus Montagepl.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Montageanl. ähnlicher Produkte 	<ul style="list-style-type: none"> • Analysieren der Planungsinhalte <ul style="list-style-type: none"> - Visualisierung der Bauteile (soweit vorh.) - Analysieren der Änderungsbereiche - Erfassen der Varianten und Stückzahlen • Produktstrukturierung aus Montagesicht (grob) • Grobe Layoutplanung mit automatisch abgeleiteter Ressourcenstruktur (Referenzierung auf ähnliche Montagestationen abgeschlossener Planungen) • Bewertung der Planungsalternativen hinsichtlich: <ul style="list-style-type: none"> - Kosten (Investitions- + Betriebskosten) - Flächenbedarf - dynamischer Zusammenhänge 	<p>an Projektleitung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Machbarkeitsaussage • bewertete Konzepte in Abhängigkeit von Stückzahlen und Var. <p>an Konstruktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserungsvorschläge <p>an Fabrikplanung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • grobes Layout <p>an Fertigungsmittelkonstruktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bedarf + Anford. an Fertigungsm.

Bild 7-3: Ein- und Ausgangsinformationen sowie Planungsinhalte der Montageplanungsphase "grob"

Mit der Produktstruktur wurden ebenfalls die Bauteilvarianten angegeben. Sie gliederten sich in:

- rechte bzw. linke Türe (spiegelverkehrte Bauteile),
- Zwei- oder Viertürer (veränderte Bowdenzuglänge),
- vordere bzw. hintere Türe (verändertes Türschloß und Bowdenzuglänge).

Weitere Varianten, wie z. B. mit/ohne Kindersicherung, mit Fernbedienung (Entfall des Schließzylinders auf der Beifahrerseite), mit/ohne Zentralverriegelung, wurden in der Produktstruktur bereits angegeben, konnten jedoch laut Änderungsbereich noch erweitert bzw. verringert werden.

Die Änderungsbereiche der Bauteile gaben zu Beginn der ersten Planungsphase nur zum Teil eine Informationsgenauigkeit der zweiten Stufe, d. h. mit Angabe einer möglichen Abweichung, an (vgl. Kapitel 3.1). Am Beispiel des Security Shields legte der Änderungsbereich die Verbindungstechnologie und die Ausführung bereits fest. Die Verbindungsanzahl, der Gewindedurchmesser und die Position waren mit möglichen Abweichungen angegeben (Bild 7-4).

Änderungsbereich Security Shield		
Teilinformation	vorläufige Angabe	mögl. Abweichung
Verbindungstechnologie	Schraubverbindung	—
Verbindungsanzahl	2	-1 (Pos. 7 wird evtl. durch selbstsichernden Haken ersetzt)
Ausführung	DIN 7981 (selbstschneidend)	—
Gewindedurchmesser	5	+1 -2
Position	lt. Zeichnung	Umkreis R = 7mm

Bild 7-4: Änderungsbereich "Security Shield" zur Planungsphase "grob"

Diese Informationen wurden in das Planungssystem unter der Klasse "Konstruktionsprodukt" eingelesen. Um von Beginn an eine grafische Planung zu ermöglichen, wurden für die Einzelteile, für die noch keine Entwürfe zur

Verfügung standen, Geometrieinformationen ähnlicher Teile aus vorangegangenen Projekten übertragen. Die Analyse der Ausgangssituation und die Produktstrukturierung konnte somit von Beginn an in der Visualisierungsoberfläche vorgenommen werden.

Gleichzeitig zur Produktstrukturierung wurden die Vorgangs- und die Ressourcenstruktur von dem Planungssystem automatisch erzeugt. Mit dem Vaterobjekt der Ressourcenstruktur wurde das aktuelle Hallenlayout verknüpft. Die Eingangsinformation der Fabrikplanung mit der Hallenstruktur und der zur Verfügung stehenden Fläche konnte dadurch dem Planer zugänglich gemacht werden (Bild 7-3).

Die einzelnen Stationen der Ressourcenstruktur wurden mit Planungsinhalten ähnlicher Stationen aus abgeschlossenen Planungen ergänzt. Auf Basis dieser übernommenen Planungsinhalte konnten in sehr kurzer Zeit eine relative genaue Angabe zum Flächenbedarf und zum Investitionsvolumen der Anlagenkonzepte gemacht werden.

Für die Montage des Schließsystems wurden verschiedene Planungsalternativen erstellt, die sich im Automatisierungsgrad und in der Differenzierung der Produktvarianten unterscheiden:

- komplett manuelle Montage,
- Einsatz einer automatischen Prüfstation (zur Prüfung der Funktionalitäten des Schließsystems),
- halbautomatische Montage mit automatisierter Verschraubung des Security Shields,
- Untergliederung in zwei Montagelinien für Schließsysteme der rechten bzw. linken Türen,
- Integration bzw. Eigenständigkeit der Vormontagebereiche "Türinnengriff" und "Griffplatte"

Die verschiedenen Planungsalternativen wurden mit Hilfe der integrierten Ablaufsimulation untersucht und gegenübergestellt. Hierbei konnten, mit geringem Aufwand, die Auswirkungen unterschiedlicher Variantenstückzahlen auf die

Planungsalternativen getestet und als Entscheidungsgrundlage aufbereitet werden.

Das gleichzeitige Visualisieren der Grundplatten aller Türschloßvarianten sowie die Erzeugung einfacher Funktionselemente des Werkstückträgers ermöglichte die Machbarkeitsaussage zur Montage aller Varianten auf einer Anlage.

Auf Basis dieser Informationen wurde die Planungsalternative mit halbautomatischer Montage (automatisierte Verschraubung des Security Shields und automatische Prüfstation), auf der alle Produktvarianten gefertigt werden können, ausgewählt.

Im Anschluß daran erfolgte die Erstellung des Angebotes. Infolge der visualisierungsgestützten Planung konnten bereits zur Angebotserstellung Vorschläge zu einer montagegerechten Produktgestaltung gemacht werden, die mit einer starken Verringerung der Montagekosten einhergehen. Ein Beispiel hierfür ist die Anpassung der Anschlagflächen der Türschloßgrundplatte, um alle Varianten auf einer Montageanlage zu fertigen.

7.2.2 Planungphase "mittel"

Nach der Auftragserteilung konnte direkt auf die Planungsinhalte der vorangegangenen Planungsphase aufgesetzt werden. Zu diesem Zeitpunkt waren bereits CAD-Modelle von nahezu allen Einzelteilen verfügbar. Ebenso wurde vereinbarungsgemäß in den Änderungsbereichen zu allen noch nicht festgelegten Informationen Angaben zu möglichen Abweichungen angegeben.

Bild 7-5 stellt die in dieser Planungsphase zur Verfügung stehenden Eingangsinformationen, die durchzuführenden Planungsinhalte sowie die zu erarbeitenden Ergebnisse dar.

Die Informationen wurden aus den verschiedenen Bereichen in das Planungssystem eingelesen. Mit Hilfe des systemunterstützten Änderungsmanagements (vgl. Kapitel 5.1) konnten die Änderungen in die bestehende Planung eingearbeitet werden. Ebenso wurden die Bauteilinformationen ähnlicher Projekte

(vgl. oben) durch die neu hinzugekommenen Informationen der Konstruktion ersetzt.

Der eigentliche Schwerpunkt der Planungsphase "mittel" lag jedoch bei der Ausarbeitung des Planungskonzeptes aus der vorangegangenen Planungsphase. Hierbei wurde die Produktstruktur in der Visualisierungsoberfläche überarbeitet, komplett bis auf die Ebene der Baugruppen detailliert und die Einzelteile den Baugruppen zugeordnet. Mit der Gestaltungsmöglichkeit von Fügebewegungen konnte in der Visualisierungsumgebung gleichzeitig die Fügefolge überprüft und festgelegt werden.

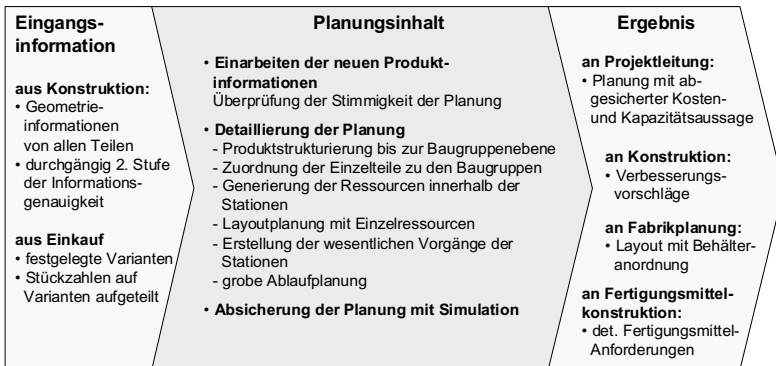


Bild 7-5: Ein- und Ausgangsinformationen sowie Planungsinhalte der Montageplanungsphase "mittel"

Gleichzeitig zur Produktstrukturierung wurden vom Planungssystem die wesentlichen Montagevorgänge der Stationen automatisch erzeugt. Auf Basis dieser Informationen konnten die Anforderungen an die Fertigungsmittel abgeleitet und die Ressourcenstruktur bis auf die Ebene der Einzelressourcen komplettiert werden. Hierbei mußten die ursprünglich übernommenen Ressourcen, aus vorangegangenen Planungen, vielfach nur geringfügig modifiziert werden.

In der Layoutoberfläche erfolgte die Anordnung der einzelnen Ressourcen. Erste Optimierungsvorschläge der Fabrikplanung hinsichtlich logistischer Aspekte (auf

Basis des Analogiekonzeptes der Planungsphase "grob") konnten bereits in der Layoutplanung berücksichtigt werden.

Zur Absicherung der dynamischen Aspekte der gesamten Montageanlage wurde die Simulationsabteilung mit einer Ablaufsimulationsstudie beauftragt. Durch die schnelle Informationsübertragung mittels Schnittstelle konnten die Ergebnisse der Simulationsstudie noch in dieser Planungsphase eingearbeitet werden.

Auf Basis dieses Planungsstandes konnte somit eine abgesicherte Aussage über die Anlagenkapazität sowie über die Kosten (Investitions- und Betriebskosten) der Anlage getroffen werden. Für die detaillierte Logistikplanung wurde das Layout mit der Anordnung aller Ressourcen freigegeben. Ebenso konnten nun die detaillierten Anforderungen an die Fertigungsmittelkonstruktion übergeben werden. Die noch nicht festgelegten Fertigungsmittelanforderungen (z. B. aufgrund Produktinformationen der 2. Informationsgenauigkeit) wurden hierbei mit Änderungsbereichen angegeben.

7.2.3 Planungsphase "fein"

Ziel dieser Phase war es, die Planungsinhalte so weit auszuarbeiten, daß die Bestellung der einzelnen Anlagen ausgelöst sowie nach Auslieferung der Anlagen eine schnelle und problemlose Inbetriebnahme gewährleistet werden konnte.

Entsprechend der Planungsphase "mittel" wurden auch in dieser Phase zunächst die aktuellen Produktinformationen in die Planung eingearbeitet. Im Vergleich zur vorangegangenen Phase waren in dieser Phase bis auf wenige Ausnahmen nur noch Produktinformationen mit Informationsgenauigkeit der dritten Stufe, d. h. ohne Abweichung, zulässig. Bei dem Einarbeiten der Produktinformationen konnten somit auch gleichzeitig die zuvor flexibel eingeplanten Bereiche eingeschränkt werden.

Von der Fertigungsmittelkonstruktion wurden die aktuellen Ressourceninformationen überspielt und in die Planung eingearbeitet (Bild 7-6). Ebenso wurden die Verbesserungsvorschläge der Logistik- bzw. Fabrikplanung, bezogen auf die Verwendung anderer Transportbehälter und einer veränderten Behälteranord-

nung, in den eigenständigen Bereich für Ressourceninformationen in dem Datenmodell der Montageplanung eingespielt. Nach Abwägung verschiedener Alternativen wurde in einer gemeinsamen Diskussion ein Gesamtoptimum gefunden, das in die Planung eingearbeitet wurde.

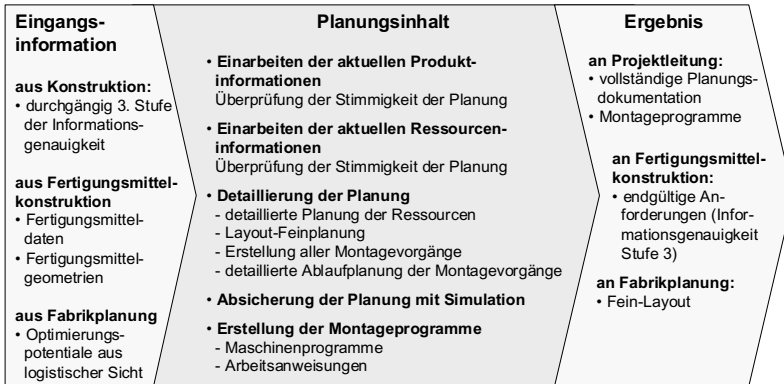


Bild 7-6: Ein- und Ausgangsinformationen sowie Planungsinhalte der Montageplanungsphase "fein"

Nach dem Einarbeiten der aktuellen Eingangsinformationen wurden alle Montagevorgänge und Ressourcen durchgängig für alle Stationen ausgeplant. Der Ablauf der einzelnen Vorgänge wurde innerhalb einer Station sowie im Zusammenspiel mit den anderen Stationen mit Hilfe des Balkendiagramms exakt abgestimmt und von Simulationsuntersuchungen verifiziert.

Die 3D-Simulationsstudie lieferte, bei der Betrachtung der Abläufe innerhalb der Stationen, Optimierungen bezüglich der Fertigungsmittel, deren Anordnung und der Ausführzeiten der Montagevorgänge. Diese Informationen konnten mit der Schnittstelle automatisch in die Planung übernommen werden. Nach der Verifizierung der Montageabläufe mit der Simulation konnte, mit den endgültigen Montageplanungsinformationen, auch der Konstruktionsabschluß und damit die Bestellung der Fertigungsmittel ausgelöst werden (Bild 7-6).

Weiterhin wurden die Simulationsmodelle in Zusammenarbeit mit der Fertigungsmittelkonstruktion für die Erstellung der Maschinenprogramme einge-

setzt. Die Arbeitsanweisungen für die manuellen Montagestationen wurden mit dem Planungssystem automatisch erstellt.

Nach der Anlieferung der Anlagen wurde von der Montageplanung der Aufbau und die Inbetriebnahme betreut. Änderungen, die sich hierbei ergaben, wurden zeitnah in die Planung übernommen.

7.3 Überprüfung auf Zielerfüllung

Die Einteilung in drei Planungsintervalle ermöglichte eine Parallelisierung von Konstruktion, Montage- und Fabrikplanung sowie der Fertigungsmittelkonstruktion. Damit konnte die gesamte Produktentwicklungszeit, vom Projektstart bis zum Anlauf der Produktion, im Vergleich zu bisherigen Planungsvorgehen, um ca. 30 Prozent reduziert werden.

Das Einarbeiten der Änderungen bzw. der neuen Informationen von Bauteil- und Fertigungsmittelkonstruktion benötigte, aufgrund des Änderungsmanagements und der Datendurchgängigkeit, lediglich geringe Kapazitäten. Aus diesem Grund könnte zukünftig eine noch stärkere Untergliederung der Planungsintervalle erfolgen und somit die Produktentwicklungszeit noch weiter reduziert werden.

Die graphische Planungsoberfläche, mit dem Bezug zu Bauteilgeometrien von Beginn der Planung an, verhalf zu einer frühen Mitwirkung der Planung bei der Produktgestaltung. Der gleichzeitige Entwurf des Layouts ermöglichte dem Planer bereits bei der ersten Planungsphase den direkten Zusammenhang zu den Montageanlagen. Planungsfehler, die zu zeit- und kostenintensiven Nachbesserungen führen, konnten somit vermieden werden. Dies zeigt auch der reibungslose Anlauf bei Produktionsstart.

Infolge der Planungsdurchgängigkeit mit der Weiterverarbeitung einmal erstellter Daten wurde die benötigte Planungskapazität deutlich gesenkt. Die einfache und schnelle Planungserstellung ermöglichte die Ausarbeitung eines detaillierten Konzeptes für die Angebotserstellung. Somit konnte eine exakte und sichere Kalkulation durchgeführt werden.

Im Vergleich zu ähnlichen Projekten mit herkömmlichen Planungsvorgehen, wurden in dem hier aufgezeigten Fall ca. 20 Prozent des gesamten Planungsaufwandes eingespart. Zu beachten ist hierbei, daß das Planungsvorgehen in der Abteilung neu eingeführt wurde und somit Vertrautheit mit dem System und Erfahrungen im Planungsvorgehen weitgehend gefehlt haben. Ein ansteigender Erfahrungs- und Übungsgrad läßt auf weitere Verbesserungen schließen.

Ein zusätzliches Einsparpotential wird zukünftig bei ähnlichen Planungsaufgaben erreicht, da die Ergebnisse der hier dargestellten Planung vielfach übernommen bzw. angepaßt und nicht neu erstellt werden müssen. Die Auswirkungen dieser Möglichkeit ist stark abhängig von der Anzahl ähnlicher Planungsaufgaben und deren Übereinstimmung. In dem Beispielunternehmen zeigt sich bei der Betrachtung der vorangegangenen Planungsaufgaben ein sehr hoher Grad der Übereinstimmung, so daß bei zukünftigen Planungsprojekten ein zusätzliches Einsparpotential von 10 Prozent veranschlagt wird.

Der Aufwand für die erstmalige Einführung des Planungssystems war gering, da auf das bestehende Rechnernetzwerk der Montageplanungsabteilung, mit Personalcomputern und dem Betriebssystem Microsoft Windows NT 4.0, ohne Veränderungen aufgesetzt werden konnte. Weiterhin wurde die Integration des neuen Programms, in die Systemwelten der anderen Planungs- und Entwicklungsabteilungen, über bereits bestehende Schnittstellen des Systems "*ProcessPlanner*" gewährleistet. Zum Einsatz kam hierbei eine Schnittstelle zu dem CAD-System CATIA der Firma Dassault, für die Ankopplung der Bauteil- und Fertigungsmittelkonstruktion. Die Fabrikplanung, die in dem Beispielunternehmen mit dem CAD-System Microstation der Firma Bentley arbeitet, wurde ebenso über eine bereits existierende Schnittstelle angebunden. Für die Einführung des Planungssystems mußten somit lediglich Anpassungen an firmeninterne Strukturen vorgenommen werden.

Aufgrund des Systemaufbaus in Form des Windows-Graphical-User-Interface (GUI) ist die Systembedienung leicht zu erlernen. Nach einer einwöchigen Schulung konnten die Planungsmitarbeiter, die zuvor lediglich Kenntnisse über Microsoft Office-Produkte hatten, bereits die produktive Arbeit aufnehmen.

Zusammenfassend kann bei dem aufgezeigten Beispiel festgehalten werden, daß bei einem relativ geringem Aufwand für die Systemeinführung ein hoher Nutzen vorliegt. Einerseits konnte die Produktentwicklungszeit stark verkürzt und durch Produktmitgestaltung und Fehlervermeidung das gesamte Planungsergebnis verbessert werden. Andererseits wurde eine beträchtliche Reduzierung des Planungsaufwandes erreicht, die bei zukünftigen Projekten, durch Lerneffekte und Übernahme bestehender Planungsinhalte, noch weiter verstärkt wird.

8 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, den Prozeß der Fertigungsplanung und damit den gesamten Produktentwicklungsprozeß hinsichtlich Zeit-, Qualitäts- und Kostengesichtspunkten zu optimieren. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die durchgängige Unterstützung bei der Planung von Montageanlagen gelegt.

Die Analyse der konventionellen Montageplanungsmethoden ergab Defizite bei einer verkürzten Produktentwicklungszeit durch eine mangelhafte Parallelisierung der beteiligten Arbeitsprozesse. Weiterhin wurde festgestellt, daß die verschiedenartigen, sequentiell bearbeiteten Planungsaufgaben einen durchgängigen Planungsablauf verhindern.

Die bestehenden rechnergestützten Montageplanungsmethoden zeigten z. T. zwar Ansätze für eine Parallelisierung von Konstruktion und Montageplanung, eine direkte Integration mit einem durchgängigen Änderungsmanagement wurde jedoch nicht erreicht. Bei vielen Methoden wird, unter Vernachlässigung einer ganzheitlichen Planungsunterstützung, der Fokus auf die automatisierte Durchführung einzelner Planungsaufgaben gelegt. Ein weiterer Mangel zeigte sich bei den rechnergestützten Planungsvorgehen durch eine sehr komplexe Bedienung, die den Anwender vielfach überfordert.

Ergebnis dieser Analyse war ein Anforderungskatalog auf dessen Basis in Kapitel 3 eine Methode für ein durchgängiges, rechnergestütztes Planungsvorgehens entwickelt wurde.

Das bislang größte Hindernis für eine Parallelisierung der Produktentwicklungsprozesse, der menschliche Faktor, blieb bei allen untersuchten Planungsvorgehen unberücksichtigt. In dieser Methode wurde dazu das Element "Änderungsbereich" eingeführt, das dem Informationsersteller die Möglichkeit gibt, unsichere Informationen zu klassifizieren. Eine Angabe zu jeder Information, in welchem Bereich sie sich verändern darf, ermöglicht das schrittweise Ansteigen der Informationsgüte. Die Weitergabe der Arbeitsergebnisse, ohne eine endgültige Festlegung der Inhalte, fördert somit die Bereitschaft zur Parallelisierung der Produktentwicklungsprozesse.

Die damit verstärkt notwendigen Änderungen werden mit einem rechnergestützten Änderungsmanagement abgefangen, das eine stets konsistente Planung gewährleistet. Ein Abgleich zwischen den neuen Eingangsinformationen und den bisherigen Planungsinformationen ermöglicht die Schaffung eines Änderungsvorrates und ein schrittweises Einarbeiten der Änderungen.

Um die Voraussetzung für eine einfache Integration des rechnergestützten Planungsvorgehens in die bestehenden Systemwelten zu schaffen, wurde in Kapitel 5 ein von den anderen Systemen unabhängiges Datenmodell entwickelt. Da die Anbindung zu den weiteren Produktentwicklungsprozessen über standardisierte Schnittstellen erfolgt, sind diese von der Integration nicht betroffen.

Die Forderung nach einer durchgängigen Planung werden zum einen durch das Datenmodell erfüllt, das eine Datendurchgängigkeit über alle Detaillierungsebenen der Planung ermöglicht. Zum anderen schaffen graphische Planungsoberflächen, für Bauteil- und Ressourcenvisualisierung sowie zur Layout- und Vorgangsplanung, einen Planungsablauf, der die Grenzen der einzelnen Planungsaufgaben verschwimmen läßt.

Mit Hilfe der graphischen Planungsoberflächen wird nicht nur eine Planungsdurchgängigkeit erreicht sondern durch den direkten Bezug zu Bauteilen und Montageanlagen wird, von Beginn der Planung an, ein "natürlicher" Planungsablauf geschaffen. Die graphischen Planungsoberflächen gewährleisten hierbei eine stets einfache Anwendbarkeit.

Weiterhin wurden Funktionen der Rechnerunterstützung aufgezeigt, die eine einfache Erstellung, Absicherung und Dokumentation der Planungsinhalte ermöglichen. Damit konnte eine wesentliche Entlastung der Planer von redundanten Tätigkeiten erreicht werden.

Der Einsatz der Planungsmethode wurde abschließend anhand eines Praxisbeispiels aufgezeigt. Bei einem geringen Einführungsaufwand zeigte sich infolge des neuen Planungsvorgehens eine starke Verkürzung der Produktentwicklungszeit bei gleichzeitig verringertem Planungsaufwand und verbesserter Planungsqualität. Die Ziele der Arbeit konnten somit erreicht werden.

9 Literatur

Abels 1993

Abels, S.: Modellierung und Optimierung von Montageanlagen in einem integrierten Simulationssystem. München: Hanser, 1993.

Aggteleky 1982

Aggteleky, B.: Fabrikplanung. Werkentwicklung und Betriebsrationalisierung. Band 2: Betriebsanalyse und Feasibility-Studie. München: Carl Hanser, 1982.

Ammer 1985

Ammer, E.-D.: Rechnerunterstützte Planung von Montageablaufstrukturen für Erzeugnisse der Serienfertigung. Berlin: Springer, 1985.

Anderl 1992

Anderl, R.: STEP - Schritte zum Produktmodell. CAD-CAM Report 11 (1992) 8.

Andreasen 1988

Andreasen, M.; Kähler, S.; Lund, T.: Design for Assembly. Berlin: Springer, 1988.

AnySIM 1997

AnySIM: AnySIM - Handbuch. AnySIM Simulationssysteme, 1997.

Barthelmeß 1987

Barthelmeß, P.: Montagegerechtes Konstruieren durch Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung. Berlin: Springer, 1987.

Beckendorff 1988

Beckendorff, U.: Zukunftsorientierte Arbeitsplanung. In: Neue Aufgaben der Fertigungsvorbereitung: MIC-Tagung mit Systemvorführung. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1988.

Bentley 1998

Bentley Systems Germany GmbH: PlantSpace Integration Series. Firmenschrift 1998.

Bindbeutel 1998

Bindbeutel, K.: Engineering Rahmensystem für den integrierten Produktentwicklungsprozeß. München: Utz, 1998.

Bochtler & Eversheim 1995

Bochtler, W., Eversheim, W.: Simultaneous Engineering. Berlin: Springer, 1995.

Booch 1994

Booch, G.: Object-Oriented Design with Applikations. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994.

Booch u. a. 1998

Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I.: UML: The Unified Language user guide. Reading, USA: Addison-Wesley, 1998.

Boothroyd & Dewhurst 1983

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.: Design for Assembly Handbook. University of Massachusetts, USA, 1983.

Brandimarte 1999

Brandimarte, P.: Modeling manufacturing systems. Berlin: Springer, 1999.

Bullinger u. a. 1986

Bullinger, H.-J.; Ammer, D.; Dungs, K.; Seidel, U.; Weller, B.: Systematische Montageplanung. München: Hanser, 1986.

Bullinger u. a. 1993

Bullinger, H.-J.; Rieth, D.; Euler, H.P.: Planung entkoppelter Montagesysteme. Stuttgart: Teubner, 1993.

Bullinger 1994

Bullinger, H.-J.: Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Stuttgart: Teubner, 1994.

Bullinger & Lung 1994

Bullinger, H.-J.; Lung, M.: Planung der Materialbereitstellung. Stuttgart: Teubner, 1994.

Bullinger & Warschat 1995

Bullinger, H.-J.; Warschat, J.: Concurrent simultaneous engineering systems: the way to successful product development. Berlin: Springer, 1995.

Burghardt 1988

Burghardt, M.: Projektmanagement. Siemens-Aktiengesellschaft, Verlagsabteilung, 1988.

Burkhardt 1997

Burkhardt, R.: UML - unified modeling language. Bonn: Addison-Wesley, 1997.

Bürgel 1993

Bürgel, W.: Materialfluß und Produktionslogistik. TU München: Vorlesungsskript, 1993.

Cenit 1999

Cenit AG Systemhaus; Digital Manufacturing – Vom Konzept bis zum erfolgreichen Einsatz. Stuttgart: Firmenschrift 1999.

Classe & Scholz 1987

Classe, D.; Scholz, W.: Verfahrensbeschreibende Parameter - Schlüssel zur systematischen Montageautomatisierung. Berlin: Springer, 1987.

Cuiper & Feldmann 1995

Cuiper, R.; Feldmann, Ch.: Simultaneous Engineering bei der Montageplanung. In: Seminarberichte iwv 13 -Planung von Montageanlagen. München: TU-München Eigenverlag 1995, S. 1-18.

Cuiper & Roßgoderer. 1997

Cuiper, R.; Roßgoderer, U.: System zur durchgängigen Planung und Steuerung von Montageanlagen. Industrie Management 13 (1997), S. 60-63.

Crama u. a. 1994

Crama, Y.; Oerlemans, A.; Spijksma, F.-C.: Production planning in automated manufacturing. Berlin: Springer, 1994.

Danglmaier & Anderl 1992

Danglmaier, W.; Anderl, R.: Visionen einer datengetriebenen Fabrik. Berlin: Springer, 1992.

Dankwort u. a. 1995

Dankwort, W.; Kellner, P.; Leu, D.; Petersen, J.; Renz, W.: Entwurf einer möglichen Cax-Architektur für Anwendungen in der Automobilindustrie. In: Jahrbuch Fahrzeug- und Verkehrstechnik. Düsseldorf: VDI, 1995.

Debuschewitz 1999

Debuschewitz, M.: Integrierte Methodik und Werkzeuge zur Herstellkostenorientierten Produktentwicklung. Berlin: Springer, 1999.

Delchambre 1992

Delchambre, A.: Computer-aided assembly planning. London: Chapman & Hall, 1992.

Delchambre 1996

Delchambre, A.: CAD method for industrial assembly. Chichester: Wiley, 1996.

Delta 1998

Delta Industrie Informatik GmbH; Ergoplan - Integriertes Produkt- und Prozeß-Engineering. Fellbach: Firmenschrift 1998.

Deutschländer 1989

Deutschländer, A.: Integrierte rechnerunterstützte Montageplanung. München: Hanser, 1989.

Dimitrov 1992

Dimitrov, K.: Integrierte Produkt-, Prozeß- und Fabrikgestaltung auf der Grundlage simultaner Planungsansätze. Chemnitz: TU-Chemnitz Eigenverlag, 1992.

Drexl 1998

Drexl, A.: Beyond manufacturing resource planning – advanced models and methods for production planning. Berlin: Springer, 1998.

Eidenmüller 1999

Eidenmüller, B.: Ohne Produktion hat Arbeit keine Zukunft. In: Süddeutsche Zeitung 84 (1999), S 26.

Eisele 1990

Eisele, R.: Konzeption und Wirtschaftlichkeit rechnerintegrierter Planungssysteme. München: Hanser, 1990.

Ehrlenspiel 1987

Ehrlenspiel, K.: Konstruktionslehre Grundlagen und Methodenbaukasten zum funktionsgerechten Konstruieren. TU München: Vorlesungsskript, 1987.

Ehrlenspiel 1992

Ehrlenspiel, K.: Konstruktionslehre I. TU München: Vorlesungsskript, 1992.

Ehrlenspiel u. a. 1993

Ehrlenspiel, K.; Milberg, J.; Schuster, G.; Walch, J.: Rechnerintegrierte Produktkonstruktion und Montageplanung. In: CIM Management 9 (1993) 2, S. 23-28.

Ehrlenspiel 1995

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung – Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion. München: Carl Hanser, 1995.

Eversheim 1996

Eversheim, W.: Prozeßorientierte Unternehmensorganisation – Konzepte und Methoden zur Gestaltung "schlanker" Organisationen. Berlin: Springer: 1996.

Eversheim 1997

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik , Band 3. Düsseldorf: VDI 1997.

Feldmann 1992

Feldmann, K.: Montageplanung in CIM. Berlin: Springer, 1992.

Feldmann 1997

Feldmann, Ch.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung. Berlin: Springer, 1997.

Fowler 1997

Fowler, M.: UML Distilled, Applying the Standard Object Modeling Language. Reading, USA: Addison-Wesley, 1997.

Gallagher 1995

Gallagher, R. S.: Computer visualization – graphics techniques for scientific and engineering analysis. Boca Raton: CRC, 1995.

Gampp & Georgi 1995

Gampp, W.; Georgi, W.: Layoutplanung für Roboterzellen. Graphische Simulation mit dem PC. In: Roboter (1995) 8.

Gausemeier & Fink 1996

Gausemeier, J.; Fink, A.: Neue Wege zur Produktentwicklung - Erfolgspotentiale der Zukunft – Eine Leitlinie zur Stärkung der Innovationskraft in Deutschland. Paderborn: Nixdorf, 1996.

Geyer 1997

Geyer, M.: Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung. Berlin: Springer, 1997.

Gottschalk 1998

Gottschalk, B.: Deutsche Auto-Käufer fahren rasant auf neue Modelle ab. In: Süddeutsche Zeitung 301 (1998), S. 30.

Götz 1991

Götz, R.: Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile. Berlin: Springer, 1991.

Grabowski u. a. 1989

Grabowski, H.; Anderl, R.; Schilli, M.: STEP - Entwicklung einer Schnittstelle zum Produktdatenaustausch. VDI-Z (1989) 9, S. 68-76.

Grabowski u. a. 1993

Grabowski, H.; Anderl, A.; Polly, A.; Warnecke, H.-J.(Hrsg): Integriertes Produktmodell. Berlin: Beuth, 1993.

Grabowski u. a. 1997

Grabowski, H.; Geiger, K.; Beitz, W.: Neue Wege zur Produktentwicklung. Raabe, 1997.

Graves 1998

Graves, R.-J.: Design and planning integration in cellular manufacturing systems. Bussum: Baltzer, 1998.

Grob & Haffner 1982

Grob, R.; Haffner, H.: Planungsleitlinien Arbeitsstrukturierung. Berlin: Siemens AG 1982.

Gustav 1993

Gustav, C.: Informationstechnische Kopplung von CAD und CAP durch eine flexible Konstruktionsdatenaufbereitung. Dissertation Universität Kaiserslautern, 1993.

Hagen 1988

Hagen, G.: Der Fertigungsvorbereiter zwischen Konstruktion und Fertigung. In: Neue Aufgaben der Fertigungsvorbereitung: MIC-Tagung mit Systemvorführung. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1988.

Helberg 1987

Helberg, P.: PPS als CIM-Baustein: Gestaltung der Produktionsplanung und -steuerung für die computerintegrierte Produktion. Berlin: Schmidt, 1987.

Hechl 1994

Hechl, C.: Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte. Berlin: Springer, 1995.

Hering & Draeger 1999

Hering, E.; Draeger, W.: Handbuch Betriebswirtschaft für Ingenieure. Berlin: Springer, 1999.

Hesse 1993

Hesse, S.: Montagemaschinen: Grundlagen und Prinzipien in Aufbau, Funktion, Antrieb und Steuerung montierender Maschinen. Würzburg: Vogel, 1993.

Huck 1990

Huck, M.: Produktorientierte Montageablauf- und Layoutplanung für die Roboter Montage. Düsseldorf: VDI, 1990.

IBM 1998

IBM Deutschland Informationssysteme GmbH; CATIA*/CADAM** AEC Plant Solutions – CCPlant. Stuttgart: Firmenschrift 1998.

ISO 10303-1 1993

ISO 10303-1; Product Data Representation and Exchange-Part: Overview and Fundamental Principles. Bern, Schweiz: ISO/IEC, 1993.

ISO 15531-1 1996

ISO 15531-1; Manufacturing management data exchange: Overview and fundamental principles. Washington DC, USA: ISO TC 184/SC4: 1996.

Jacobson 1997

Jacobson, I.: Object-Oriented Software Engineering, A Use Case driven Approach. Reading, USA: Addison-Wesley, 1992.

Jonas 1996a

Jonas, Ch.: Einsatz von Simulationsprogrammen in der Fertigungstechnik. VDI-Vortrag 1996.

Jonas 1996b

Jonas, Ch.: Vom Bildschirm in die reale Fabrik. In: Zeitschrift für Produktion (1996) 31, S 3.

Kettner 1984

Kettner, H.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München: Carl Hanser, 1984.

Kettner 1987

Kettner, P.: Konzeption eines Informationssystems für die Planung automatisierter Montagesysteme. Dissertation Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1987.

Kie 1997

Kie, C.: The effects of flexible manufacturing contexts. New York: Garland, 1997.

Kief 1998

Kief, H.-B.: FFS-Handbuch – Einführung in flexible Fertigungssysteme und deren Komponenten. München: Hanser, 1998.

Kleineidam 1990

Kleineidam, G.: Rechnergestützte Montagefeinplanung. München: Hanser, 1990.

Kohler 1995

Kohler, U.: Planung von Montageanlagen. Seminarbericht: iwb Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften TU München. München: Utz, 1995 (iwb Seminarbericht 13).

Krause 1993

Krause, F.-L.: Technology and Management for Simultaneous Engineering. Unpublished Paper, 1993.

Krause u. a. 1994

Krause, F.-L.; Kiesewetter, T.; Kramer, S.: Distributed Product Design. Berlin: Product Technologie Center, 1994.

Krottmeier 1995

Krottmeier, J.: Leitfaden Simultaneous Engineering – Kurze Entwicklungszeiten, niedrige Kosten, hohe Qualität. Berlin: Springer, 1995.

Kuark 1996

Kuark, J.-K.: Factors in the organizational and technical development of CIM strategies and CIM systems. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule, 1996.

Kuhn 1993

Kuhn, A.: Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik. Braunschweig: Vieweg, 1993.

Kummetsteiner 1994

Kummetsteiner, G.: 3-D-Bewegungssimulation als interaktives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme. Berlin: Springer, 1994.

Kunder 1993

Kunder, R.: Fabrikplanung aus Sicht der innerbetrieblichen Logistik. In: *Fördertechnik* 62 (1993) 4, S. 15-18.

Laidig 1997

Laidig, K.-D.: Business Reengineering zur Zukunftssicherung. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Tagungsband zum Münchner Kolloquium 97. Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1997, S. 243-254

Lamei-Moustafa 1988

Lamei-Moustafa, H.: Weiterverarbeitung von Konstruktions- zu Fertigungsdaten. Heidelberg: Hüthig, 1988.

Lange 1993

Lange, V.: Entwerfen von Fertigungsanlagen mit Modell- und Erfahrungsunterstützung. Düsseldorf: VDI, 1993.

Lehmann 1997

Lehmann, H.: Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystemen. Berlin: Springer, 1997.

Leondes & Bai 1994

Leondes, C.-T.; Bai, S.: Computer-aided manufacturing/computer-integrated manufacturing (CAM/CIM). London: Academic Press, 1994.

Lincke 1995

Lincke, W.: Simultaneous Engineering: Neue Wege zu überlegenen Produkten. München Carl Hanser, 1995.

Lindemann 1997

Lindemann, U.: Erfolgreiche Produkte durch integrierte Produktentwicklung. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Tagungsband zum Münchner Kolloquium 97. Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1997, S. 115-136.

Linner 1992

Linner, S.: Entwicklungszeiten verkürzen durch graphische Simulation. In: Datenverarbeitung in der Konstruktion. CAD im Maschinenbau. Düsseldorf: VDI, 1992.

Linner 1995

Linner, S.: Konzept einer integrierten Produktentwicklung. Berlin: Springer, 1995.

Loferer & Kress 1997

Loferer, M.; Kress, M.: Miteinander statt nebeneinander. In: Die neue Fabrik 1997, Landsberg: Moderne Industrie, 1997, S. 44-46.

Löhr 1976

Löhr, H.: Eine Planungsmethode für automatische Montagesysteme. Stuttgart: Krausskopf, 1976.

Lotter 1991

Lotter, B.: Flexible Montage. Düsseldorf: VDI, 1991.

Lotter 1998

Lotter, B., Hartel, M., Menges, R.: Manuelle Montage – wirtschaftlich gestalten. Renningen-Malmsheim: Expert, 1998.

Meininger 1994

Meininger, K. U.: Abstraktionsbasierte Bereitstellung bereichsübergreifender Planungsdaten für die Produktionsplanung bei Serienfertigung variantenreicher Erzeugnisse. Idstein: Schulz-Kirchner, 1994.

Meißner 1990

Meißner, G.-A.: Der Einsatz schneller Visualisierungsmethoden für den grafisch-interaktiven Entwurfsprozeß. Berlin: TU-Berlin Eigenverlag, 1990.

Mello 1991

Mello, L.: Computer-aided mechanical assembly planning. Boston: Kluwer, 1991.

Mertins u. a. 1994

Mertins, K.; Süssenguth, W.; Jochem, R.: Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse. München: Hanser, 1994.

Merz 1987

Merz, K.-P.: Entwicklung einer Methode zur Planung der Struktur automatisierter Montagesysteme. Dissertation Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 1987.

Milberg 1990

Milberg, J.: Technische Betriebsführung I und II. TU-München: Vorlesungsskript, 1990.

Milberg u. a. 1994

Milberg, J.; Reinhart, G.; Feldmann, C.: Integrierter Planungsarbeitsplatz. In: Sonderpublikation: Sonderforschungsbereich 336 – Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Montageautomatisierung (Berichtsstand 1992-1994). München: TU-München Eigenverlag 1994, S. 39-66.

Milberg u. a. 1995

Milberg, J.; Reinhart, G.; Feldmann, C.; Barthelmeß, P.; Rapp, M.; Finke, B.; Kohler, U.; Eich, B.; Schneider, B.; Strugalla, R.: Planung von Montageanlagen. München: Utz 1995, S.1-18.

Milberg u. a. 1996

Milberg, J.; Reinhart, G.; Heitmann, K.; Bauer, R.; Kaiser, J.; John, G. Schwarz, H.; Hagemann, F.-M.: Time to Market : von der Idee zum Produktionsstart. München: Utz, 1996.

Milberg 1997

Milberg, J.: Produktion - Eine treibende Kraft für unsere Volkswirtschaft. In: Reinhart G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung, Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1997, (Münchner Kolloquium 97).

Neipp & Stracke 1991

Neipp, G.; Stracke, H.-J.: Einführung in die CIM-Praxis: Rechnerintegrierte Produktion. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991.

Neugebauer 1999

Neugebauer, J.: Montage und Handhabungstechnik - Trends und Zukunftspotentiale. In: Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Forschung und Entwicklung für die Produktion. Werkstattstechnik 89 (1999) 4, S. 155-158.

Niessner 1997

Niessner, A.: VRML-Praxis: VRML 2.0 - virtuelle Welten dreidimensional modellieren. München: Pflaum, 1997.

Noche 1993

Noche, B.: Nutzung der Simulationstechnik in der Produktion und Logistik. In: Zeitschrift für Logistik (1993) 2, S. 28-33.

Nolting 1988

Nolting, F.-W.: Projektierung von Montagesystemen. München: Hanser, 1988.

Obermann 1999

Obermann, K.: Konstruktion wird zur Bühne für das Digital Prototyping. In: VDI-Nachrichten 10 (1999) S. 18.

Ochs 1992

Ochs, B.: Methoden zur Verkürzung der Produktentwicklungszeit. München: Carl Hanser, 1992.

OMG 1996

Objekt Management Group: Manufacturing Enterprise Systems, Version 1.0. Framingham, MA: Objekt Management Group, 1996.

Park 1992

Park, H.-S.: Rechnerbasierte Montageplanung in der Mittelserienfertigung. Düsseldorf: VDI, 1992.

Prack 1988

Prack, K.: Rechnergestützte Arbeitsplanung in der Einzel- und Kleinserienfertigung. In: Neue Aufgaben der Fertigungsvorbereitung: MIC-Tagung mit Systemvorführung. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1988.

Rautenstrauch 1993

Rautenstrauch, C.: Integration engineering. Bonn: Addison-Wesley, 1993.

Ranky 1994

Ranky, P. G.: Concurrent/simultaneous engineering: methods, tools & case studies. Guilford: CIMware, 1994.

REFA 1987

REFA - Verband für Arbeitsstudien (Hrsg.): Planen und Gestalten komplexer Produktionssysteme. München: Carl Hanser, 1987.

Reichwald 1996

Reichwald, R.: Engineering Change Data Management. In: ZWF (1996) 91, S. 398-401.

Reichwald u. a. 1998

Reichwald, R.; Papke, M.; Riedel, D.; Aßmann, G.: Änderungsmanagement: Einführung in der Praxis - Transferprojekt U3. In: Bender, K.; Heinzl, J.; Lindemann, U.; Milberg, J.; Pfeiffer, F.; Reichwald, R.; Reinhart, G. (Hrsg.): Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung. München: TU-München Eigenverlag 1998, S. 50-65.

Reinhart u. a. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement: Ein Kurs für Studium und Praxis. Berlin: Springer, 1996.

Reinhart u. a. 1998

Reinhart, G.; Lichtinger, A.; Bernhard, R. Krüger, A.; Reiter, R.: Integrierte Gestaltung von Produkt und Montageanlage – Transferprojekt U4. In: Bender, K.; Heinzl, J.; Lindemann, U.; Milberg, J.; Pfeiffer, F.; Reichwald, R.; Reinhart, G. (Hrsg.): Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung. München: TU-München Eigenverlag 1998, S. 9-23.

Reinke 1997

Reinke-Solutions-Team: Excel 97 – Das Handbuch. Unterschleißheim: Microsoft, 1997.

Ridder 1987

Ridder, J.: Zur Wahl des Systems der Fertigungsplanung. Münster: Lit, 1987.

Risse 1997

Risse, T.: Entwurf und Implementierung einer VRML-Bibliothek für ein objektrelationales Datenbanksystem auf Basis des VRML 2.0 Standards. Sankt Augustin: GMD-Forschungszentrum Informationstechnik, 1997.

Rockland 1995

Rockland, M.: Flexibilisierung der automatischen Teilebereitstellung in Montageanlagen. Berlin: Springer 1995.

Rose 1997

Rose, B.: Prototypen gibt es nur noch im Rechner. In: VDI-Nachrichten 28 (1997) S. 9.

Rose 1999

Rose, B.: Schneller virtueller Prototypenbau. In: VDI-Nachrichten 16 (1999) S. 22.

Rötzel 1991

Rötzel, A.: Rechnergestützte Fertigungsplanung und -steuerung. Heidelberg: Hüthig, 1991.

Ruess 1999

Ruess, A.: Die Beste Fabrik - Profit mit neuen Produkten. In: Wirtschaftswoche 16 (1999), S. 168-172.

Rumbaugh 1991

Rumbaugh, J.: Objektorientiertes Modellieren und Entwerfen. München: Hanser, 1991.

Rumbaugh u. a. 1998

Rumbaugh, J.; Jacobson, I.; Booch, G.: The unified modeling language reference manual. Reading: Addison Wesley, 1998.

Salomone 1995

Salomone, T. A.: What Every Engineer Should Know About: Concurrent Engineering. New York: Dekker, 1995.

Sawlik 1999

Sawik, T.: Production planning and scheduling in flexible assembly systems. Berlin: Springer, 1999.

Scharf 1998

Scharf, A.: 3D-CAD braucht den lückenlosen Strom der Daten. In: VDI-Nachrichten 36 (1998) S. 25.

Scharf 1999

Scharf, A.: Trend zur digitalen Fabrik. In: VDI-Nachrichten 15 (1999) S 13.

Schäfer 1991

Schäfer, G.: Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung. München: Hanser, 1991.

Schlaich & Kaufmann 1990

Schlaich, G.; Kaufmann, H.: Roboter für die Montage. Landsberg: moderne Industrie, 1990.

Schliffenbacher 1997

Schliffenbacher, K.: Virtuelle Unternehmen – Neue Chancen in der Produktion. In: VDI-Verlag (Hrsg.): Technik in Bayern. München: VDI, 1997 (3), S. 6-7.

Schlingensiepen 1988

Schlingensiepen, J.: Voraussetzungen für den problemlosen Einsatz von CA-Techniken. In: Neue Aufgaben der Fertigungsvorbereitung: MIC-Tagung mit Systemvorführung. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1988.

Schnepf 1995

Schnepf, P.: Zielkostenorientierte Montageplanung. München: Hanser, 1995.

Scholz 1989

Scholz, W.: Modell zur datenbankgestützten Planung automatisierter Montageanlagen. München: Hanser, 1989.

Schuster 1992

Schuster, G.: Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage. Berlin: Springer, 1992.

SDRC 1995

SDRC - Structural Dynamics Research Corporation: Metaphase Technology - Metaphase Series 2. Milford: Firmenschrift 1995.

Seidel 1998

Seidel, U. A.: Verfahren zur Generierung und Gestaltung von Montageablaufstrukturen komplexer Serienerzeugnisse. Berlin: Springer, 1998.

Seliger 1983

Seliger, G.: Wirtschaftliche Planung automatisierter Fertigungssysteme. München: Hanser, 1983.

Simon 1984

Simon, M.: Rechnergestützte Planung von Anlagen für die variantenreiche Serienmontage. Düsseldorf: VDI, 1994.

Shimokawa 1997

Shimokawa, K.: Transforming automobile assembly – Experience in automation and work organization. Berlin: Springer 1997.

Spur u. a. 1988

Spur, G.; Kirchhoff, U.; Bernhardt, R.; Held, J.: Computer Aided Application Program Synthesis for Industrial Robots. Berlin: Springer, 1988.

Spur & Krause 1997

Spur, G.; Krause F.: Das virtuelle Produkt. Management der CAD-Technik. München: Carl Hanser, 1997.

Staas 1997

Staas, D.: Excel 97 für Anwendungsprogrammierer. München: Hanser, 1997.

Steinwasser 1997

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

Strohmayr 1992

Strohmayr, R.: Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeinrichtungen flexibler Montagezellen. Berlin: Springer, 1992.

Süssenguth 1991

Süssenguth, W.: Methoden zur Planung und Einführung rechner-integrierter Produktionsprozesse. München: Hanser, 1991.

Tecnomatix 1998

Tecnomatix Technologies Ltd.; Die digitale Fabrik von Tecnomatix, Integrierte Lösungen zur Planung, Simulation und Optimierung einer kompletten Fabrik. Firmenschrift 1998.

Tecoplan 1998

Tecoplan Informatik GmbH; CatVOX – Software für virtuelles Prototyping. Ottobrunn: Firmenschrift 1998.

Tzafestas 1997

Tzafestas, S.-G.: Computer assisted management and control of manufacturing systems. Berlin: Springer, 1997.

VDI-2221 1993

VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.

VDI-2860 1990

VDI-Richtlinie 2860: Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole. Berlin: Beuth, 1990.

VDI-3633 1993

VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Grundlagen: Fördertechnik Materialfluß Logistik. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.

VDMA 1990

VDMA (Hrsg.): Steuerung von Montagezellen. Leitfaden zur praxisorientierten Gestaltung. Frankfurt: VDMA-Arbeitsgemeinschaft Prozeßperipherie, 1990.

Wang 1995

Wang, Y.: Methode für die simulationsunterstützte Optimierung am Beispiel von Montagesystemen. München: Hanser, 1995.

Warnecke 1992

Warnecke, H.-J.: Die fraktale Fabrik – Revolution der Unternehmensstruktur. Berlin: Springer, 1992.

Warnecke u. a. 1995

Warnecke, H.-J.; Bullinger, H.-J.; Hichert, F.: Kostenrechnung für Ingenieure. München: Hanser, 1995.

Warnecke 1996

Warnecke, H.-J.: Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb. Berlin: Springer, 1996.

Westkämper 1999

Westkämper, E.: Produktionsplanung - Die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. In: Warnecke, H.-J. (Hrsg.): Forschung und Entwicklung für die Produktion. Werkstattstechnik 89 (1999) 4, S. 131-140.

Wiendahl 1990

Wiendahl, H.-P.: Simulation in der Produktionsplanung und Steuerung. AWF - Fachtagung PPS 1989, Böblingen 1989. München: Carl Hanser, 1990.

Wieneke-Toutaoui 1987

Wieneke-Toutaoui, B.: Rechnergestütztes Planungssystem zur Auslegung von Fertigungsunterlagen. München: Carl Hanser, 1987.

Wildemann 1993

Wildemann, H.: Optimierung von Entwicklungszeiten: Just-In-Time in Forschung & Entwicklung und Konstruktion. München: Centrum, 1993.

Wildemann 1994

Wildemann, H.: Organisation der Produktion. TU-München: Ringvorlesung, 1994.

Wildemann 1995

Wildemann, H.: Einführung in die Betriebswirtschaft für Ingenieure. TU-München: Vorlesungsskript, 1995.

Wildemann 1996

Wildemann, H.: Kernkompetenzen - Leitfaden zur Ermittlung und Entwicklung von Kernfähigkeiten in Produktion, Entwicklung und Logistik. München: TCW-Transfer-Centrum-Verlag, 1996.

Witte 1986

Witte, K.-W.: Montagegerechte Produktgestaltung als Aufgabe von Konstruktion und Fertigungsvorbereitung. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1986, S. 97-118 (VDU-Berichte 592).

Wunderli 1996

Wunderli, M.: Database Technology for the coordination of CIM subsystems. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule, 1996.

Woenckhaus 1994

Woenckhaus, C.: Rechnergestütztes System zur automatischen 3D - Layoutoptimierung. Berlin: Springer, 1994.

Xu 1990

Xu, J.: Informationsmodellierung von Fertigungselementen zur rechnergestützten Arbeitsplanung. Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1990.

Zachmann 1998

Zachmann, G.: VR-Techniques for Industrial Applications. Berlin: Springer, 1998

Zülch & Waldhier 1992

Zülch, G.; Waldhier, T.: Integrierte Produktentwicklung und Montageplanung. In: Scheer A.-W. (Hrsg.): Simultane Produktentwicklung. St. Gallen: gfmt, 1992.

Zülch 1996

Zülch, G.: Arbeitsplatzgestaltung. In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996, S.126-137.

iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*
Schneiderodierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozessgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Grohe, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klipsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozessmodell Metallbandsägen
1989 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schumann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Wrba, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelschäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozesskommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfarr, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuczek, H.*
Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54078-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabkastens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozessuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schröder, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helml, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bomm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
**Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von
Zubringeinrichtungen**
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
**Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer
Zellenrechnersoftware**
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56890-5
- 62 *Stetter, R.*
**Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes**
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
**Simulation des Schwingungsverhaltens spanender
Werkzeugmaschinen**
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
**Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-
Layoutoptimierung**
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummetsteiner, G.*
**3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur
Planung manueller Montagesysteme**
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
**Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen
Automatisierung von Produktionssystemen**
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
**Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-
Laserverarbeitung mit integrierter Sensorik**
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
**Automatische Inbetriebnahme
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler**
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
**Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von
Produktionssystemen**
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
**Rechnergestütztes Projektinformations- und
Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld**
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
**Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge**
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
**Verfahren zur simulationsgestützten
Produktionsregelung in der Einzel- und
Kleinserienproduktion**
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
**Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer
flexiblen Fertigung**
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*
**Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in
der Arbeitsvorbereitung**
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
**Strömungstechnische Optimierung von
Produktionssystemen durch Simulation**
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zah, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzer, N.*
**Technologisches Prozeßmodell für die
Kugelschleifbearbeitung**
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanow, P.*
**Konstruktionsbegleitende Kalkulation von
Werkzeugmaschinen**
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
**Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen
Fertigungszellen**
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
**Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der
Hartbearbeitung**
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
**Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in
flexiblen Produktionszellen**
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
**Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und
logistisches Störungsmanagement**
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*
**Systematische Planung anwendungsspezifischer
Materialflußsteuerungen**
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*
**Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in
Montageanlagen**
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Linner, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
**Integrierte Planung von Informationssystemen für
rechnergestützte Produktionssysteme**
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*
**Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in
mittelständischen Unternehmen**
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Mocetzuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Kränert, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindnermaier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehrer, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Plab, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgel leitete Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, utz@utzverlag.com

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-09-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe · Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping · Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling · Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen · Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 31 **Engineering Data Management (EDM) · Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion · Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation · Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung · Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit · Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping · Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling · Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie · Flexibler und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit · ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage · Handhaben und Positionieren von Mikrobauteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken · Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion · Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1
- 47 **Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation**
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6

- 50 Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung,
Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein-
und Prototypenserien**
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 lieferbar ab ca. 01/01**
- 54 Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2

Forschungsberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen
und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, utz@utzverlag.com

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößner, Helmut E.
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0 · lieferbar ab ca. 02/01
- 144 Schneider, Christian
Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X