





Lehrstuhl für  
Montagesystemtechnik und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

## **Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie**

**Thomas Fusch**

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.-Ing. M. Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

Die Dissertation wurde am 18.10.2004 bei der Technischen Universität München ein-  
gereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 15.12.2004 angenommen.



***Forschungsberichte***

---

***iwb***

***Band 188***

***Thomas Fusch***

***Betriebsbegleitende  
Prozessplanung in der Montage  
mit Hilfe der Virtuellen  
Produktion am Beispiel  
der Automobilindustrie***

---

***herausgegeben von***

***Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh***

***Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart***

---

***Herbert Utz Verlag***

**UTZ**

## **Forschungsberichte iwb**

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

herausgegeben von

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

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte  
bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2004

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 2005

ISBN 3-8316-0467-3

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
Tel.: 089/277791-00 – [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

## Geleitwort der Herausgeber

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 sowie von 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 Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in 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.





## **Vorwort**

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann, dem Inhaber des Lehrstuhls für Produktentwicklung der Technischen Universität München, möchte ich mich für die Übernahme des Koreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts. Besonders hervorheben möchte ich dabei Herrn Dr.-Ing. Bernhard Lenz, Herrn Dr. Marco Carnevale sowie Herrn Patrick Neise deren fachlichen Hinweise für mich bei der Erstellung der Arbeit sehr wertvoll waren.

Besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht haben und damit den Grundstein zu dieser Arbeit gelegt haben sowie meiner Schwester Nicola für die Hilfe bei der Fertigstellung des Manuskripts.

Meine Frau Nella hat mir durch ihre liebevolle und ausdauernde Unterstützung immer wieder die notwendige Motivation zum Abschluss der Dissertation gegeben, ihr und meinem Sohn Constantin widme ich diese Arbeit.

*Thomas Fusch*



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung .....	2
1.3 Vorgehensweise .....	3
<b>2 Begriffsdefinition und Handlungsbedarf .....</b>	<b>7</b>
2.1 Modelle, Methoden und Hilfsmittel .....	7
2.2 Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage .....	8
2.3 Virtuelle Produktion und Digitale Fabrik .....	9
2.4 Definition von Handlungsfeldern.....	10
<b>3 Stand der Forschung und Technik .....</b>	<b>13</b>
3.1 Prozessplanung in der Montage .....	13
3.1.1 Vorgehensmodelle für die Fabrikplanung.....	14
3.1.2 Der Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie.....	16
3.1.3 Montageplanung.....	19
3.2 Virtuelle Produktion.....	21
3.2.1 Methoden und Werkzeuge.....	22
3.2.2 Abstraktionsebenen .....	29
3.2.3 Anwendungsgebiete .....	30
3.2.4 Systemunterstützung für die Prozessplanung.....	32
3.3 Prozessmanagement .....	35
3.3.1 Prozessorientierung .....	35
3.3.2 Geschäftsprozessmodelle .....	38
3.3.3 Referenzmodelle.....	39
3.3.4 Flexibilität von Prozessmodellen .....	42
3.4 Computergestützte Zusammenarbeit.....	43
3.4.1 Grundlagen .....	43
3.4.2 Einführung von Workflow-Management-Systemen .....	46
3.4.3 Kombination Geschäftsprozessmodellierung und Workflow- Management.....	50
3.5 Zusammenfassung und Fazit.....	52
<b>4 Anforderungen an die Methodikentwicklung.....</b>	<b>57</b>

**5 Methodik für eine betriebsbegleitende Prozessplanung.....59**

- 5.1 Vorgehen zur Prozessmodellierung..... 60
  - 5.1.1 Anforderungen an die Prozessmodellierung..... 60
  - 5.1.2 Auswahl eines Geschäftsprozessmodells ..... 63
  - 5.1.3 Eingrenzung des Metamodells..... 68
- 5.2 Entwicklung des Referenzmodells ..... 73
  - 5.2.1 Systemunterstützung für die Prozessplanung ..... 74
  - 5.2.2 Aufbau des Referenzmodells ..... 78
  - 5.2.3 Projektvorbereitung planen..... 79
  - 5.2.4 Montageprozess planen..... 81
  - 5.2.5 Logistikprozess planen ..... 87
  - 5.2.6 Integration Struktur planen ..... 88
  - 5.2.7 Umsetzung planen..... 90
- 5.3 Systementwurf ..... 91
  - 5.3.1 Organisation der Prozessplanung ..... 93
  - 5.3.2 Groupware-basierter Systementwurf..... 94
  - 5.3.3 Workflow-basierter Systementwurf..... 98
- 5.4 Einführungsstrategie ..... 101
  - 5.4.1 Einführung ..... 103
  - 5.4.2 Implementierung ..... 105
  - 5.4.3 Ausbau des Prozessmodells..... 107
  - 5.4.4 Prinzipien und Erfolgsfaktoren..... 108
- 5.5 Technisch-wirtschaftliche Bewertung ..... 110
  - 5.5.1 Projektkosten ..... 111
  - 5.5.2 Projekterträge..... 114

**6 Umsetzung und Bewertung der Methodik..... 119**

- 6.1 Fallstudie..... 119
- 6.2 Implementierung der Prototypen zur Systemunterstützung ..... 121
  - 6.2.1 Groupware-basierter Systementwurf..... 122
  - 6.2.2 Workflow-basierter Systementwurf..... 123
- 6.3 Technische Bewertung..... 128
- 6.4 Wirtschaftliche Bewertung ..... 129
- 6.5 Fazit ..... 134

**7 Zusammenfassung und Ausblick..... 136**

**Literatur ..... 139**

<b>Anhang.....</b>	<b>157</b>
1.     Abbildungsverzeichnis .....	157
2.     Tabellenverzeichnis.....	162
3.     Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme.....	163
4.     Referenzmodell .....	165



# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

„Das Ziel durch eine größtmögliche Anpassung an die Anforderungen des Marktes die Existenz eines Unternehmens langfristig zu sichern, kann nur durch eine gleichzeitig hohe Flexibilität und Leistungsfähigkeit des Produktionsbetriebes erreicht werden“ [REFA 1990, S. 19]. Oberstes Ziel für den Betrieb einer Montageanlage ist die maximale Rentabilität der sehr hohen Investitionskosten. Um die dazu erforderliche maximale Auslastung der Anlage zu erreichen, wird von den Betreibern angestrebt, diese möglichst über einen Modelllebenszyklus hinaus betreiben zu können. Im Gegensatz zu früheren Anlagen werden die Montagelinien in der Automobilindustrie heute dazu für die flexible Fertigung verschiedener Fahrzeugtypen und –modelle ausgelegt und der Lebenszyklus der Montagelinie bzw. Produktionsanlage von dem Modelllebenszyklus einzelner Fahrzeuge entkoppelt [MÄRZ&LANGSDORF 2001; REITHOFER 2003; BAUSE 2002; WILHELM 2003; JAKOB 2003]. Um einen möglichst günstigen Betriebspunkt zu erreichen, ist eine ständige Anpassung der Produktionsstätten über deren Lebenszyklus notwendig [WESTKÄMPER 2001, SCHANZ 2003]. Die Anlage ist damit nicht mehr von der Anlauf- und Auslaufphase eines einzelnen Modells abhängig, sondern kann im Optimalfall über ihren kompletten Anlagenlebenszyklus bei voller Auslastung gefahren werden. Neben den mit der steigenden Variantenzahl wachsenden Anforderungen an die Produktionstechnik, wird der Komplexitätsgrad der Produktionssysteme dadurch weiter erhöht. „Marktbedürfnisse müssen heute schneller erkannt und befriedigt, Veränderungsprozesse schneller umgesetzt werden“ [WEBER 2003, S. 25]. Die Unternehmen sind gezwungen immer schneller und immer genauer zu planen, um kurzfristig sich ändernde Marktanforderungen bedienen zu können [REINHART U.A. 2003; LINDEMANN 2004]. WESTKÄMPER U.A. (2001A) belegen die Bedeutung der Umplanung bestehender Anlagen im Verhältnis zu Neuinvestitionen, in dem sie das gebundene Kapital an bestehenden Anlagen eines Automobilherstellers den getätigten Neuinvestitionen gegenüber stellen.

Um die beschriebene Komplexität beherrschen zu können, sollen digitale Werkzeuge einen wesentlichen Beitrag leisten. Dieser wird als ein wesentliches Nutzenpotenzial bei einer Realisierung und dem Einsatz der Virtuellen Produktion gesehen [REINHART U.A. 2003, GAUSEMEIER U.A. 2000]. Der zielgerichtete Einsatz der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion zur Unterstützung produktionstechnischer Planungsprozesse verspricht neben einer deutlichen Verkürzung

der benötigten Planungszeit vor allem eine Erhöhung der Planungsqualität und damit Sicherheit. SCHILLER (2002) beschreibt als eine Zielsetzung für die Digitale Fabrik „eine 80-Prozent-Lösung“ der zu planenden Umfänge automatisch per Knopfdruck erstellen zu können“ [SCHILLER 2002, S.7]. Mit Hilfe der Virtuellen Produktion sollen Flexibilitätpotenziale in bestehenden Montagestrukturen identifiziert und verifiziert werden können, ohne in laufende Produktionsprozesse eingreifen zu müssen. Die Machbarkeit und der Aufwand zur Reaktion auf sich ändernde Marktanforderungen und Randbedingungen an bestehenden Montagestrukturen könnten so kurzfristig und zuverlässig kalkuliert und bewertet werden.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik für eine betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion. Aufgabe der Methodik soll es sein, das Wissen, die Daten und die Werkzeuge für einen zielgerichteten Einsatz der Virtuellen Produktion in einem durchgängigen Vorgehensmodell zu integrieren.

Durch den Einsatz der Methodik sollen Flexibilitätpotenziale in bestehenden Montagestrukturen kurzfristig identifiziert, verifiziert und gegebenenfalls deren Ausweitung geplant und bewertet werden können. Dazu müssen alle für den Planungsprozess benötigten und erzeugten Informationen durchgängig verfügbar gemacht und in das Prozessmodell integriert werden. Der zielgerichtete Einsatz neuer und vorhandener Methoden der Virtuellen Produktion wird durch ein generisches Prozessmodell beschrieben, dass sich für Anwendung in unterschiedlichen Unternehmen spezifizieren lässt.

Die Einhaltung der in Form des Prozessmodells beschriebenen Vorgehensweise soll durch dessen Übertragung in ein prozessorientiertes Anwendungssystem gewährleistet werden. Die dafür geplante Integration der Prozessbeschreibung mit der Prozessausführung gewährleistet, dass sämtliche Modelle und Planungsdaten nur innerhalb des definierten Vorgehensmodells erstellt und gespeichert werden können.

Durch die Konzeption eines geeigneten Systementwurfs soll eine skalierbare Automatisierung des Planungsprozesses ermöglicht werden. Die Ziele der Automatisierung sind unter anderem eine verbesserte Prozessübersicht, eine konsistente und vollständige Bearbeitung der Planungsaufgaben, eine verbesserte



Integration der Infrastruktur innerhalb des Planungsprozesses sowie die Dokumentation und damit die Schaffung einer Nachweisbarkeit der Planungsergebnisse. Neben der Entwicklung des Prozessmodells und der Konzeption des Systementwurfs ist eine weitere Zielsetzung der Arbeit die Entwicklung einer Einführungsstrategie für eine unternehmensspezifische Implementierung.

Ausgehend von dem konkreten Anwendungsbeispiel der Prozessplanung in der Montage soll die Methodik so aufgebaut sein, dass sie sich zur Beschreibung weiterer Anwendungsfelder für die Virtuelle Produktion ausbauen lässt und damit zu einem unternehmensspezifischen Wissens- und Methodenspeicher für die Beschreibung und Ausführung produktionstechnischer Planungsprozesse weiterentwickelt werden kann.

### 1.3 Vorgehensweise

Um die beschriebene Zielsetzung zu verwirklichen, wird die im Folgenden beschriebene Vorgehensweise gewählt (Abbildung 1-1).

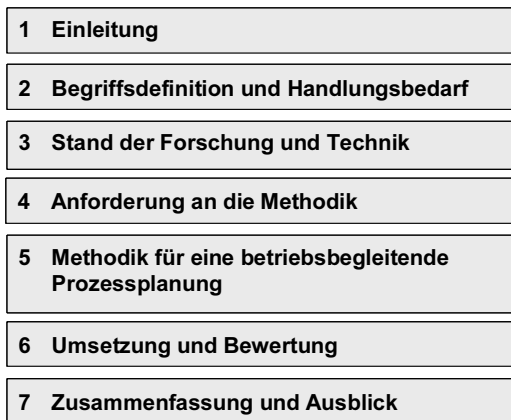


Abbildung 1-1: Vorgehensweise zur Entwicklung der Methodik

In Kapitel 1 werden die für die Entwicklung der Methodik benötigten Begriffe sowie der genaue Betrachtungsgegenstand der Arbeit definiert. Kapitel 2 widmet sich der Begriffsdefinition und der Herleitung des Handlungsbedarfes. Bei der Begriffsdefinition werden insbesondere die unterschiedlichen existierenden Definitionen und Auffassungen über Inhalt und Aufgabe der Digitalen Fabrik diskutiert und in Kontext mit dem Begriff der Virtuellen Produktion gebracht. Ergebnis dieser beiden

Unterkapitel ist ein deutliches Defizit nicht nur in Bezug auf die technologische Unterstützung des Planungsprozesses, sondern auch in Bezug auf die methodische Unterstützung.

In Kapitel 3 wird der Stand der Forschung und Technik im Bereich der Prozessplanung in der Montage (3.1) und der Virtuellen Produktion (3.2) beschrieben. Existierende Vorgehensmodelle und Methoden im Bereich der Montageplanung werden vorgestellt und an Hand des in Kapitel 2.4 dargestellten Handlungsbedarfs analysiert. Um eine Wiederverwendbarkeit des im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnden Referenzmodells für die betriebsbegleitende Prozessplanung zu gewährleisten, werden in Kapitel 3.3 aus der Forschung und Praxis bekannte Ansätze der Prozessmodellierung vorgestellt und diskutiert. Als Grundlage für einen späteren Systementwurf wird der Stand der Technik im Bereich der computergestützten Zusammenarbeit (Kapitel 3.4) beschrieben sowie existierende Forschungsansätze zur Integration der Prozessbeschreibung und der Prozessausführung dargestellt. In Kapitel 3.5 wird der Stand der Forschung in Bezug auf die gegebene Aufgabenstellung zusammengefasst und bewertet.

Darauf aufbauend werden in Kapitel 4 die Anforderungen an die Methodik konkretisiert. Dabei wird zwischen Anforderungen an die Einführung und Anforderungen an den Einsatz differenziert.

In Kapitel 5 wird die Methodik für eine betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion entwickelt. Eine Vorgehensweise für die betriebsbegleitende Prozessplanung soll in Form eines Referenzmodells beschrieben werden. Dazu wird in Kapitel 5.1 ein geeignetes Vorgehen mit einer passenden Modellierungstechnik ausgewählt. Neben der Auswahl der Modellierungstechnik werden die besonderen Anforderungen an das Referenzmodell, die sich durch die geplante Integration von Prozessbeschreibung und Prozessausführung ergeben, erarbeitet und für die Auswahl und Eingrenzung eines geeigneten Metamodells auf Basis einer Modellierungstechnik berücksichtigt. In Kapitel 5.2 wird das vollständige Referenzmodell für die betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage entwickelt. Um der Komplexität des Planungsprozesses Rechnung zu tragen, wird der Gesamtprozess in verschiedene Abschnitte unterteilt. In Kapitel 5.3 wird ein Systementwurf für die Implementierung des Referenzmodells erstellt. Die Implementierung geschieht sowohl in Form eines Groupware-basierten (5.3.1) als auch in Form eines Workflow-basierten (5.3.3) Systementwurfs. Die Groupware-basierte Implementierung ermöglicht eine schrittweise Einführung der Methodik bei einer sehr heterogenen Systemlandschaft und einer geringen Wiederholhäufigkeit

der beschriebenen Planungsprozesse. Der Workflow-basierte Systementwurf ermöglicht eine automatisierte Ausführung des Prozessmodells und birgt damit weiteres Rationalisierungspotenzial für die Durchführung des Planungsprozesses. Als weitere Bestandteile der Methodik werden in Kapitel 5.4 eine Einführungsstrategie und in Kapitel 5.5 ein Vorgehen für die technisch-wirtschaftliche Bewertung erarbeitet.

In Kapitel 5.5 werden die Ergebnisse der Arbeit an einem Fallbeispiel umgesetzt und bewertet. Das generische Referenzmodell wird in ein unternehmensspezifisches Referenzmodell übertragen und in einem Fallbeispiel für die Beschreibung eines konkreten Planungsprozesses eines Industriepartners eingesetzt (6.1). Für die beiden verschiedenen Systementwürfe zur Implementierung der Methodik wird die technische Machbarkeit in Form von Prototypen nachgewiesen (6.2). Anschließend wird die Umsetzung der Methodik sowohl technisch (6.3) als auch wirtschaftlich bewertet (6.4).

In Kapitel 7 werden die Ergebnisse der gesamten Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick für weitere Arbeiten in diesem Gebiet gegeben.



## 2 Begriffsdefinition und Handlungsbedarf

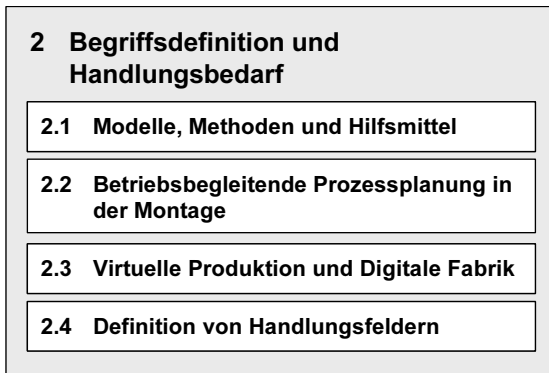


Abbildung 2-1: Aufbau Kapitel 2

In diesem Kapitel werden die für das Verständnis der Arbeit notwendigen Begriffe definiert, sowie das Betrachtungsfeld der Arbeit vorgestellt und analysiert. Begonnen wird mit der Vorstellung der Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik und deren Potenzial zur Unterstützung produktionstechnischer Planungsprozesse. Als Vision für eine durchgängige Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsanlagen und -prozessen werden die Virtuelle Produktion vorgestellt und die Begriffe Digitale Fabrik und Virtuelle Produktion gegeneinander abgegrenzt. Als Fallbeispiel für die Entwicklung der Methodik wird anschließend der Betrachtungsgegenstand der betriebsbegleitenden Prozessplanung in der Montage beschrieben, zusammen mit den derzeit gegebenen Anforderungen und Randbedingungen. Abschließend wird die derzeitige Systemunterstützung im Bereich der Prozessplanung analysiert. Aus der Komplexität und bisher mangelhaften Verbreitung der Virtuellen Produktion generell und erkannten Defiziten im Bereich der betriebsbegleitenden Prozessplanung in der Montage im Speziellen wird schließlich der Handlungsbedarf für die Entwicklung der Methodik abgeleitet.

### 2.1 Modelle, Methoden und Hilfsmittel

Zu Beginn der Begriffsdefinition soll der Begriff der Methodik definiert werden. In dieser Arbeit wird sich für dessen Verwendung an die Definition von GRÄBLER (1999) und HEYN (1998) angeschlossen. Eine Methodik beinhaltet demnach ein System von Methoden, die auf ebenfalls vorhandene Modelle angewendet werden (Abbildung 2-2).

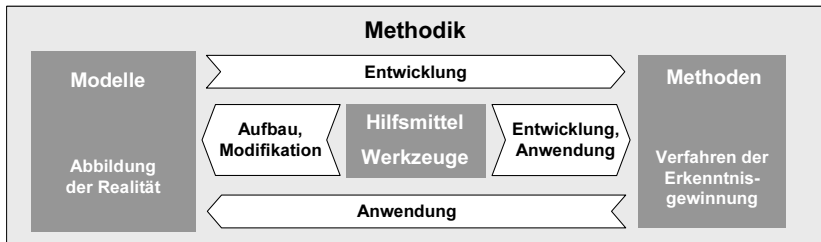


Abbildung 2-2: Methodik, Methoden und Hilfsmittel [HEYN 1998]

Der Begriff Methode bedeutet dem Wort nach „Weg zu etwas hin“ [BROCKHAUS 1998]. Im übertragenen Sinn wird unter einer Methode ein nach Gegenstand und Ziel planmäßiges, folgerichtiges, auf Regeln aufbauendes Verfahren, Vorgehen oder Handeln zur Lösung praktischer und theoretischer Aufgaben verstanden [BROCKHAUS 1998, DROWSDOWSKI 1989, WAHRING 1986].

„Ein Modell ist die Abbildung eines Systems in ein anderes begriffliches oder gegenständliches System, das aufgrund der Anwendung bekannter Gesetzmäßigkeiten, einer Identifikation oder auch getroffener Annahmen gewonnen wird und das System bezüglich ausgewählter Fragestellungen hinreichend genau abbildet“ [DIN19226 1994].

Hilfsmittel und Werkzeuge zur Anwendung der Methoden und zur Beschreibung der Modelle sind ebenfalls Bestandteil einer Methodik. Abbildung 2-2 fasst die Bestandteile einer Methodik zusammen.

## 2.2 Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage

Betrachtungsgegenstand für den Einsatz der Methodik ist die betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage. Vor einer Ist-Aufnahme der heutigen Planungsprozesse und einer Situationsanalyse werden im Folgenden die wichtigsten Begrifflichkeiten definiert. An erster Stelle steht hier die Klärung des Begriffs Prozessplanung und des Kontextes, in dem er in der vorliegenden Arbeit verwendet wird. Für diese Arbeit wird zwischen zwei unterschiedlichen Prozessen differenziert. Auf der einen Seite steht der **Montageablauf** (=Montageprozess), also die Abfolge einzelner Montageschritte zur Fertigung eines Produktes, in diesem Fall eines Automobils. Auf der anderen Seite steht der **Planungsablauf** (=Planungsprozess), bei dem der Ablauf und mögliche Änderungen bzgl. des Montageprozesses geplant werden. Dieser **Planungsablauf** ist Betrachtungsgegenstand

der vorliegenden Arbeit. Die Tätigkeit des Planers zur Bewertung verschiedener Produktionsszenarien wird im Folgenden als **Prozessplanung** bezeichnet. Die **betriebsbegleitende Prozessplanung** beschäftigt sich dabei nicht mit der Entwicklung eines neuen Montageprozesses, sondern mit der Bewertung der Auswirkungen alternativer Produktionsszenarien (z.B. Stückzahlenschwankungen, Integration neuer Modelle) auf bestehende Montageprozesse.

### 2.3 Virtuelle Produktion und Digitale Fabrik

Die Digitale Fabrik ist als das Universalwerkzeug zur Revolutionierung produktionstechnischer Planungsprozesse derzeit Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher und industrieller Veröffentlichungen und Veranstaltungen [SPUR 2000, WIENDAHL 2002, KLEINER 2001, GERHARD 2001]. Während manche die Digitale Fabrik als ein bereits in der Umsetzung begriffenes Projekt sehen [HALLER&SCHILLER 2002], ist sie für andere noch eine ferne Zukunftsvision, die weit über derzeit diskutierte Konzepte hinausgeht [ZÄH 2003A]. So vielfältig wie die unterschiedlichen Nutzenpotenziale, die der Digitalen Fabrik zugeordnet werden, sind auch die Vorstellungen über den Begriff der Digitalen Fabrik und die Strategien zu ihrer Umsetzung. ZÄH U.A. (2003) beschreiben unterschiedliche Sichten verschiedener Autoren und sehen den Unterschied zwischen den verschiedenen existierenden Definitionen im Wesentlichen in zwei Ansätzen. Während für die einen die Digitale Fabrik das fertige Modell mehr oder weniger großer Umfänge und Aspekte einer realen Fabrik ist, verstehen sie die anderen eher als Werkzeug, um eben dieses Modell zu erzeugen. Auch hierbei existieren wieder unterschiedliche Auffassungen davon, was unter dem „Werkzeug“ Digitale Fabrik verstanden wird. KÖTH (2003, S. 39) beschreibt als vorläufige Definition des gleichnamigen VDI-Arbeitskreises die Digitale Fabrik als „Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen und Methoden, unter anderem Simulation und 3D Visualisierung. Ihr Zweck ist die ganzheitliche Planung, Realisierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Produktionsprozesse und –ressourcen in Verbindung mit dem Produkt.“

Zur Beseitigung der bestehenden Unschärfe verwenden ZÄH U.A. (2003) einen weiteren Begriff, der häufig alternativ zur Digitalen Fabrik verwendet wird, die Virtuelle Produktion. REINHART (1999) definiert die Virtuelle Produktion als die durchgängige, experimentierfähige Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsprozessen und –anlagen mit Hilfe digitaler Modelle. Die Summe dieser digitalen Modelle zusammen mit den eingesetzten Methoden, Werkzeugen und den beteiligten Mitarbeitern bilden die Digitale Fabrik. Die Virtuelle Produktion entspricht also der Vision eines umfassenden virtuellen Abbilds einer realen

Produktion, das mit Hilfe der Digitalen Fabrik erzeugt werden kann [ZÄH 2003]. Die Digitale Fabrik entspricht nach REINHART U.A. (2003) der Summe der Rechnerwerkzeuge, der Mitarbeiter und der Methoden zur Realisierung der virtuellen und der realen Produktion.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion als Synonym für die Digitale Fabrik verwendet, wodurch auf die parallele Verwendung beider Begriffe verzichtet werden kann.

### 2.4 Definition von Handlungsfeldern

Im Folgenden werden die Handlungsfelder für die Entwicklung der Methodik definiert. Ausgehend von den Handlungsfeldern wird in Kapitel 3 der Stand der Forschung und Technik analysiert, sowie im Anschluss die Methodik für eine betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion entwickelt.

Auch wenn in der Praxis zahlreiche Projekte und Anwendungsbeispiele unter Stichworten wie Digitale Fabrik oder Virtuelle Produktion durchgeführt worden sind, werden diese Fallbeispiele dem Anspruch einer durchgängigen Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsanlagen und -prozessen nicht gerecht. Es handelt sich nach wie vor um in unterschiedlich starkem Maße abgegrenzte Insellösungen, die zur Unterstützung einzelner Planungs- und Entwicklungsaufgaben eingesetzt werden. Was fehlt ist die sowohl technische als auch methodische Integration dieser Insellösungen in einem durchgängigen Gesamtkonzept. Die Komplexität und Vielschichtigkeit produktionstechnischer Planungsprozesse, zusammen mit der Heterogenität der gewachsenen Systemlandschaft aus zumeist individuell entwickelten Planungswerkzeugen, machen eine strukturierte Vorgehensweise zur Realisierung einer virtuellen Produktion in einem Unternehmen erforderlich.

- Vorgehensmodell für eine betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage

Das erste Handlungsfeld bezieht sich daher auf die Entwicklung eines Vorgehensmodells für die Planung und Bewertung alternativer Produktionsszenarien für eine existierende Montagelinie am Beispiel der Automobilindustrie. Der durch das Vorgehensmodell zu unterstützende Planungs- und Bewertungsprozess wird im Rahmen dieser Arbeit mit dem Begriff der betriebsbegleitenden Prozessplanung zusammengefasst, um deutlich zu machen, dass es sich nicht um die Neuplanung, sondern um die Bewertung einer bestehenden, in Betrieb be-



findlichen Montagelinie handelt. Betriebsbegleitend bezieht sich dabei auf die Phase des Produktentstehungsprozesses. Innerhalb dieser Phase kann die Prozessplanung dann allerdings unabhängig vom laufenden Betrieb der Anlagen durchgeführt werden. Für diese betriebsbegleitende Prozessplanung in der Automobilindustrie kann im Wesentlichen zwischen zwei Produktionsszenarien unterschieden werden. Das sind zum einen die Änderung (Steigerung) der Kapazität einer existierenden Montagelinie und zum anderen die Integration eines neuen Modells in eine existierende Montagelinie.

- Unterstützung der Prozessplanung durch Virtuelle Produktion

Um die Potenziale und Möglichkeiten der Virtuellen Produktion für die Prozessplanung in der Betriebsphase nutzen zu können, muss eine Zuordnung der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion zu den einzelnen Schritten des Vorgehensmodells erfolgen. Dazu müssen nicht nur geeignete Modellierungs- und Simulationswerkzeuge ermittelt werden, sondern auch untersucht werden, in welchen Phasen des Produktentstehungsprozesses und in welchen Bereichen eines Unternehmens die benötigten Informationen zur Durchführung der Planungsschritte erzeugt und gespeichert werden. Ausgehend von existierenden Methoden und Vorgehensmodellen für die Fabrik- bzw. die Montageplanung sowie den Ergebnissen einer Expertenbefragung muss ein Vorgehensmodell entwickelt werden, welches jeden erforderlichen Schritt und zu berücksichtigenden Aspekt zur Bewertung der verschiedenen Produktionsszenarien für eine existierende Montagelinie vorgibt. Ausgehend von diesem Wissen müssen die Informationen anschließend innerhalb des Planungsmodells zur Verfügung gestellt werden, damit der Planer zum richtigen Zeitpunkt die richtigen und aktuellen Informationen zusammen mit einem geeigneten Planungswerkzeug der Virtuellen Produktion zur Verfügung gestellt bekommt. Die Methodik muss außerdem die erforderlichen Kommunikationsprozesse zwischen den beteiligten Fachabteilungen und Verantwortlichen für die verschiedenen Planungsschritte regeln. Neben den benötigten Informationen und Werkzeugen müssen den erforderlichen Planungsschritten also auch die entsprechenden Mitarbeiter zugeordnet werden.

- Automatisierung des Planungsprozesses

Eine statische Beschreibung des zu entwickelnden Planungsmodells kann zwar die Einführung der Virtuellen Produktion für den jeweiligen Bereich erleichtern, für eine prozessorientierte Unterstützung des Planungsablaufs ist sie jedoch nicht ausreichend. Die bloße Beschreibung eines Prozesses ist keine Gewährleis-

tung, dass dieser auch so umgesetzt wird. Damit die im Rahmen des Planungsprozesses erzeugten Daten weitergenutzt bzw. wieder verwendet werden können, müssen sie definiert nach bestimmten Regeln gespeichert werden, damit jeder mögliche Anwender die Informationen wieder finden kann. Außerdem muss gewährleistet sein, dass die Daten bei Änderungen am Montagesystem mitgepflegt werden und sie damit aktuell bleiben. Um sicherzustellen, dass die im Vorgehensmodell implizit enthaltenen Regeln eingehalten werden und keine Daten außerhalb des vorgegebenen Ablaufs erzeugt und verwaltet werden, muss eine Verbindung zwischen der Prozessbeschreibung und der Prozessausführung geschaffen werden. Die Verwaltung der Planungsdaten muss also automatisch auf Basis der im Planungsmodell enthaltenen Regeln stattfinden, um mögliche Fehler durch den Anwender und eine redundante Datenhaltung zu vermeiden.

### 3 Stand der Forschung und Technik



Abbildung 3-1: Aufbau Kapitel 3

Gemäß der definierten Zielsetzung und den ermittelten Anforderungen sollen in diesem Kapitel die wesentlichen Grundlagen aus Forschung und Technik zur Realisierung der Methodik vorgestellt werden. Dafür wird der Stand der Forschung in fünf verschiedenen Feldern analysiert. Um ein Modell des Planungsprozesses entwickeln zu können, müssen die Erkenntnisse und existierenden Vorgehensweisen für die Prozessplanung in der Montage ermittelt werden (3.1). Anschließend werden die Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion vorgestellt und deren zielgerichteter Einsatz im Rahmen der betriebsbegleitenden Prozessplanung zur Unterstützung des Planungsprozesses untersucht (3.2). Für eine flexible und rekonfigurierbare Modellierung des Referenzmodells wird der Stand der Forschung im Bereich des Prozessmanagements (3.3) und der computergestützten Zusammenarbeit (3.4) vorgestellt. In Kapitel 3.5 werden die Erkenntnisse aus dem Stand der Forschung zusammengefasst und Defizite abgeleitet.

#### 3.1 Prozessplanung in der Montage

Im Folgenden wird der Stand der Forschung im Bereich der Prozessplanung in der Montage beschrieben. Begonnen wird mit einer Beschreibung der existierenden Vorgehensmodelle für die Fabrikplanung (3.1.1), die anschließend über den Produktentwicklungsprozess in der Automobilindustrie (3.1.2) bis zur Beschreibung der existierenden Vorgehensmodelle für die Montageplanung (3.1.3) weiter detailliert werden.

### 3.1.1 Vorgehensmodelle für die Fabrikplanung

Der Fokus existierender Vorgehensmodelle für die Fabrikplanung liegt ausschließlich auf der Fabrikneuplanung. Die im Folgenden vorgestellten Ansätze teilen den Fabrikplanungsprozess in verschiedene, zeitlich aufeinander folgende Phasen auf. Abbildung 3-2 zeigt die allgemeinen Phasen des Fabrikplanungsprozesses nach KETTNER (1984).

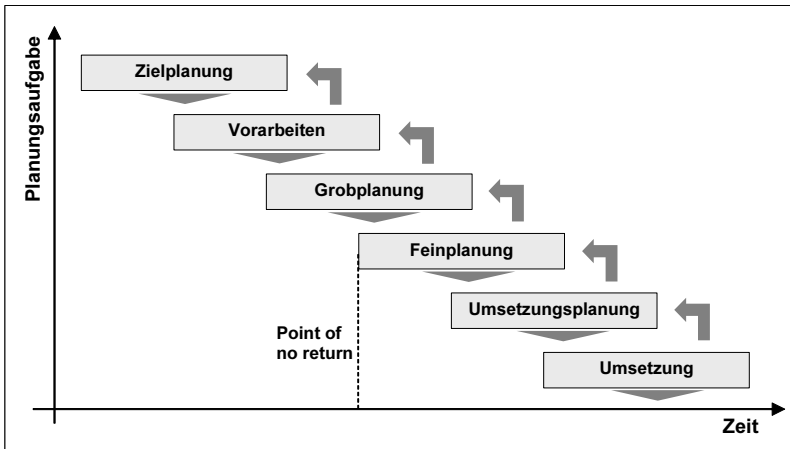


Abbildung 3-2: Fabrikplanungsphasen nach Kettner (1984)

Die erste Phase bildet die **Zielplanung**, welche die Analyse der Ausgangssituation eines produzierenden Unternehmens (Produkte, Umsatz, Marktanteil etc.), die Bestimmung der Gesamtzielsetzung des Fabrikplanungsprojektes (z.B. Expansion, Produktivitätssteigerung) sowie die Diskussion und Selektion von Handlungsalternativen (Kosten-Nutzen-Analyse, Risikoabschätzung) und schließlich die genaue Spezifikation der Aufgabenstellung (Zielsetzung, Projektleiter, Projektmitglieder, Termine, Kosten) beinhaltet. Die **Vorarbeiten** der Fabrikplanung gliedern sich in die Aufnahme des Ist-Zustands der Fabrik (Produktionsprogramm, Verfahren und Technologie, Anlagen), eine Marktanalyse (Produktchancen, Innovationen), die Festlegung des Soll-Produktionsprogramms, die Bestimmung zukünftiger Produktionsverfahren und Abläufe sowie die Bedarfsplanung (Personal, Material, Flächen, Energie, Kapital). Nachfolgend erfolgt eine **Grobplanung**, in der ein Produktionsablaufschema (Verfahrensbeschreibung, Fertigungsfolge) erstellt wird. Hieraus wird in Abhängigkeit des Produktionsprogramms eine geeignete Form der Aufbauorganisation (d.h. Fließprinzip, Werkstatt etc.) abgeleitet. In der Phase der **Feinplanung** werden im ersten Schritt auf Basis des festgelegten Produkt- bzw. Teilespektrums

Bearbeitungsanforderungen und somit die Leistungsdaten der zu beschaffenden Betriebsmittel spezifiziert. Menge und Art des benötigten Fertigungsmaterials, der notwendigen Vorrichtungen und Werkzeuge werden unter Berücksichtigung von Transport- und Verpackungseinheiten im Rahmen der Materialflussanalyse zu einer Transportmatrix aggregiert. Anschließend werden Arbeitsplätze angeordnet und detailliert (Ablauf, Zeiten, EDV-Hilfsmittel, Beleuchtung, Klima, Lärm, Ergonomie, Arbeitssicherheit etc.) ausgeplant, woraus die genaue Idealanordnung der Maschinen und Anlagen abgeleitet werden kann. Eine detaillierte Berechnung der notwendigen Flächen (Fertigungs-, Lager-, Transport- und Zusatzflächen) führt unter Beachtung baulicher Randbedingungen unter Miteinbeziehung der Ver- und Entsorgungstechnik (Heizung, Druckluft, Strom, Gas, Wasser, Späne, Abfall etc.) zu einem Feinlayout. In den Phasen der **Umsetzungsplanung** und der **Umsetzung** werden die geplanten Inhalte zeitlich eingeplant und entsprechend umgesetzt.

Weitere in der Literatur existierende Vorgehensweisen für die Fabrikplanung korrelieren weitestgehend mit dem beschriebenen Ablauf nach KETTNER (1984). Abbildung 3-3 zeigt zum Vergleich die Ansätze von AGGTELEKY (1987) und VOLLMER (2002).

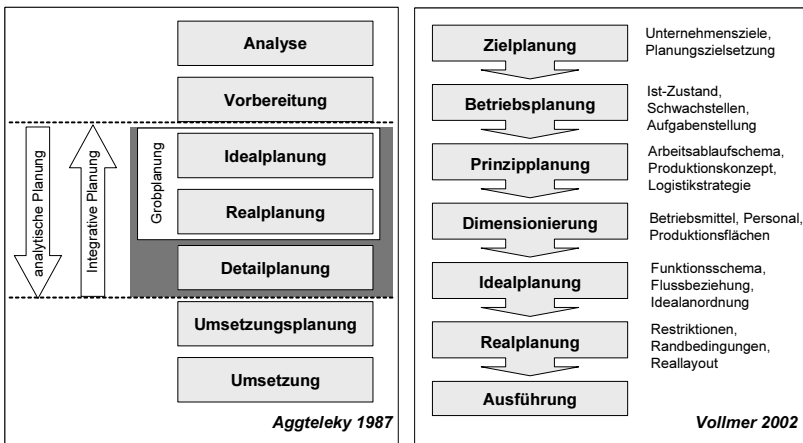


Abbildung 3-3: Fabrikplanungsvorgehen nach Aggteleky (1987) und Vollmer (2002)

Die beschriebenen Planungsmodelle enthalten in der Summe alle Planungstätigkeiten, die auch für die Bewertung verschiedener Produktionsszenarien in der Betriebsphase benötigt werden. Der Abstraktionsgrad erlaubt jedoch keine Ableitung direkter Handlungsanweisungen für den Planer. Einzelne Planungsphasen

lassen sich auf das zu entwickelnde Vorgehensmodell übertragen und können damit als Strukturierungshilfe verwendet werden.

#### 3.1.2 Der Produktentstehungsprozess in der Automobilindustrie

In Anlehnung an die im vorigen Abschnitt vorgestellten Vorgehensmodelle für die Fabrikplanung existieren im Bereich der Automobilindustrie Vorgehensmodelle zur Beschreibung des Produktentstehungsprozesses. Wie der Name erkennen lässt, liegt der Fokus des Produktentstehungsprozesses in der Produktentwicklung und den frühen Phasen der Produktionsplanung. Nach Walter [WALTER 2002] können die folgenden unterschiedlichen Phasen innerhalb des Produktentstehungsprozesses unterschieden werden.

Die **Strategiephase** dient der Erstellung von Marktanalysen als Grundlage der Modellpolitik des Unternehmens. Hier findet die Ausrichtung des Unternehmens statt.

Die **Technologiephase** dient der Absicherung von Fertigungskonzepten und -verfahren im Hinblick auf die Serientauglichkeit. In dieser Phase werden Werkstoffe für die Karosserie oder Fertigungskonzepte einzelner Bereiche, beispielsweise die Modulfertigung der Fahrzeugfront, analysiert, bewertet und festgelegt.

In der **Fahrzeugphase** findet die Entwicklung des Fahrzeugs und die Planung der Produktion statt. Die Tätigkeitsumfänge reichen von der Konstruktion, Berechnung und Simulation bis zur Produktionsplanung inklusive Absicherung. Die Absicherung erfolgt teils digital und teils physisch mittels Prototypen und Produktionstests.

In der **Anlaufphase** werden die Produktionsanlagen im Produktionswerk errichtet und in Betrieb genommen. Hier finden Produktionstests auf den Anlagen unter realitätsnahen Bedingungen statt, d.h. die Taktzeit der Tests entspricht den Produktionsbedingungen.

Im Anschluss an die Anlaufphase findet schließlich die **Serienphase** statt, in der das Produkt produziert wird [WALTER 2002].

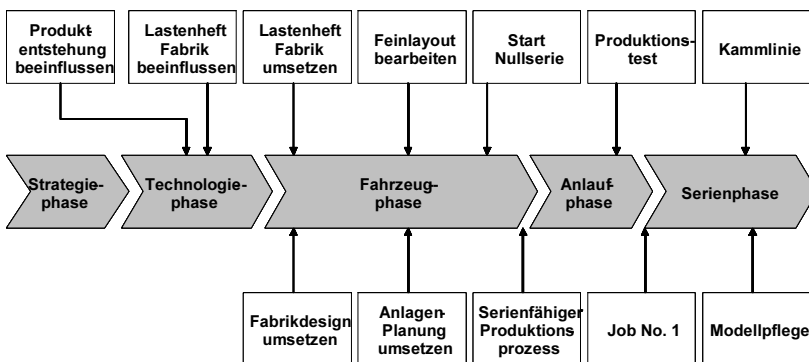


Abbildung 3-4: Prozessmodell für die Montageplanung [vgl. Walter 2002]

Abbildung 3-4 zeigt ein Prozessmodell für die Montageplanung der Daimler Chrysler AG. Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Serienphase. Der Fokus auf den Serienbetrieb begründet sich zum einen dadurch, dass ein Großteil der Arbeitszeit eines Prozessplaners im Werk nicht für die Neuplanung einer Montagelinie für einen Produktwechsel verwendet wird, sondern für die Umplanung bestehender Montagelinien auf Grund sich verändernder Randbedingungen und Anforderungen. Zum anderen sind die Lebenszyklen der Montagelinien und der Fahrzeugmodelle heute zunehmend entkoppelt, da unterschiedliche Modelle auf einer gemeinsamen Linie gefertigt werden können [REITHOFER 2003; HALLER 2002]. Das Verhältnis zwischen der Umplanung bestehender Montagelinien im Gegensatz zu deren Neuplanung wird dadurch noch weiter zu Gunsten der Umplanung verschoben.

Zu den Aufgaben der Prozessplanung zählen bei der Umplanung die Bewertung der Kosten- und Zeitaufwände zur Durchführung möglicher Änderungen am Montagesystem. Ursache für die zu evaluierenden Produktionsszenarien sind entweder Modellpflagemassnahmen, also Anpassungen am Produkt, welche Auswirkungen auf die Montage haben können, die Integration neuer, zusätzlicher Modelle auf einer bestehenden Montagelinie und schließlich die Änderung der Taktzeit einer Montagelinie auf Grund von Nachfrageschwankungen. Zur Bewertung dieser Produktionsszenarien ist eine Vielzahl von Informationen aus unterschiedlichen Bereichen und Informationssystemen erforderlich, um zu ermitteln, welche Änderungen sich auf welche Aspekte des Montageprozesses wie auswirken.

FELDMANN (1997) stellt in Anlehnung an BULLINGER U.A. (1986) und DEUTSCHLÄNDER (1989) die Kommunikationspartner der Montageplanung vor, die

entsprechend auch für die Prozessplanung in der Montage gelten (Abbildung 3-5). Die Abbildung verdeutlicht die Menge und Komplexität der für die Montageplanung benötigten Informationen und Ansprechpartner.

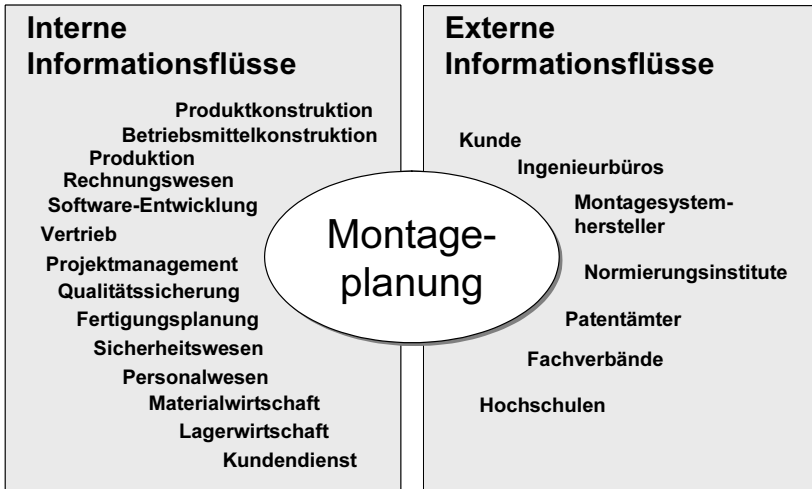


Abbildung 3-5: Kommunikationspartner der Montageplanung [Feldmann 1997]

Nach WESTKÄMPER (2003, S. 133) sind an der Planung struktureller Veränderungsprozesse eine „Vielzahl von Personen und Organisationseinheiten beteiligt“, welche die Planungsprozesse in „immer kürzeren Zeiten“ durchführen. Das Vorgehen zur Bewertung verschiedener Produktionsszenarien beruht heute auf der Erfahrung des verantwortlichen Planers. Dieser weiß, welche Anlagen und Takte in der Montagelinie betroffen sind, wo mögliche Engpässe liegen und welche Handlungsmöglichkeiten bestehen. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist in der Regel keine berechnete, sondern eine geschätzte, interpolierte Größe, deren Aussagekraft von der zur Verfügung gestandenen Planungszeit und den verfügbaren Informationen abhängig ist. Es existieren für diesen in der Betriebsphase stattfindenden Planungsprozess keine standardisierten Vorgehensweisen, die als Checkliste zur Prüfung der Vollständigkeit aller relevanten Aspekte zur Bewertung eines Szenarios dienen können.



### 3.1.3 Montageplanung

Neben den in Kapitel 3.1.1 vorgestellten Fabrikplanungsprozessen existieren in Forschung und Technik auch Vorgehensweisen für die Montageplanung. In einem geringeren Abstraktionsgrad als die Fabrikplanungsprozesse hat die Montageplanung die Aufgabe, ausgehend von einem Montageproblem ein System zu entwickeln, mit dem es unter den gegebenen Bedingungen möglich ist, Einzelteile oder Baugruppen zusammen zu führen [GRUNWALD 2002, S.32; SCHÄFER 1992, S.10; KONOLD&REGER 1997, S.1].

BULLINGER U.A. (1986) liefern eine umfassende Beschreibung der systematischen Montageplanung. Neben einem Vorgehensmodell für die einzelnen Schritte der Montageplanung gehen sie dabei auch auf die Projektorganisation und geeignete Hilfsmittel ein. Neben den im vorigen beschriebenen Vorgehensmodellen für die Fabrikplanung bildet die Systematische Montageplanung von BULLINGER U.A. (1986) eine wichtige Grundlage für die im Folgenden beschriebenen Arbeiten.

FELDMANN (1997) beschreibt die Vorgehensschritte bei der Planung von Montageanlagen, welche teilweise mit den von Kettner (vgl. 3.1.1) definierten Planungsschritten übereinstimmen. Es werden vier verschiedene Kategorien bei der Montageplanung unterschieden. Die Kriterien sind die Art der zu bearbeitenden Daten (Produkt oder Montageablage) und die Art der Bearbeitung (Synthese oder Analyse). Daraus ergeben sich die vier Kategorien für die Aufgaben der Montageplanung [FELDMANN 1997]:

- Synthese des Produktes
- Synthese der Montageanlage
- Analyse des Produktes
- Analyse der Montageanlage.

Für die betriebsbegleitende Prozessplanung sind in erster Linie die Daten bzw. das Modell der Montageanlage von Interesse. Das Produktmodell ist zwar als Eingangsinformation für verschiedene Planungsschritte relevant, es findet allerdings keine Beeinflussung der Produktkonstruktion mehr statt. Den Syntheseaufgaben ordnet FELDMANN (1997) verschiedene Analysemethoden mit dem jeweiligen Analyseziel zu. Die entwickelte Methode wird in einem Rechnerwerkzeug umgesetzt, mit dessen Hilfe gemäß der Zielsetzung lediglich der Montageprozess beschrieben werden kann. Möglichkeiten zur Abbildung und Ausführung des Vorgehensmodells zur

Prozessplanung sind in dem entstandenen System CosMonAut (Computersystem zur Montage Automatisierung) nicht enthalten. CUIPER (2000) erweitert das System um Schnittstellen zu Steuerungskomponenten und PPS-Systemen sowie um Planungs- und Analyse Editoren zur Erstellung des Steuerungsablaufes.

GRUNWALD (2002) beschreibt existierende methodische Montageplanungsvorgehensweisen und entwickelt daraus eine Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung.

WALTER (2002) beschreibt im Rahmen des Einsatzes von Methoden und Werkzeugen der Virtuellen Produktion bei der Planung von Produktionssystemen für die Automobilindustrie auch einzelne Schritte der Montageplanung (vgl. Kapitel 3.1.2). Der Detaillierungsgrad der beschriebenen Planungstätigkeiten ist sehr gering. Eine Detaillierung der einzelnen Planungsschritte erfolgt ausgehend von der vorhandenen IT-Infrastruktur, die mit einander verbunden wird und nicht ausgehend von allen Planungstätigkeiten, die erfüllt werden müssen. Die in dem betrachteten Bereich vorhandenen Planungswerkzeuge sind also der Treiber für die Integration, nicht der Planungsablauf. WALTER (2002) betrachtet im Rahmen seiner Methode nicht die Prozessplanung in der Betriebsphase, sondern entsprechend dem Fokus der vorhandenen Planungswerkzeuge die Neuplanung von Montagestrukturen.

Um der in Kapitel 1.1 genannten Anforderung in Bezug auf flexible Fertigungs- und Montagesysteme gerecht zu werden, stellen REINHART U.A. (2003A) ein Planungsvorgehen für Stückzahl- und Variantenflexible Montagesysteme vor. Dabei wird auf Basis eines in der Planungsphase prognostizierten Absatzverlaufs eine entsprechend angepasste Kapazitätsflexibilität des geplanten Montagesystems vorgesehen. Existierende Vorgehensweisen für die Montageplanung werden dazu um die Phase der Flexibilitätsplanung erweitert. KRÜGER (2004) entwickelt daraus ein Vorgehen für die Planung und Kapazitätsanpassung stückzahlflexibler Montagesysteme. Die Anwendung der darin beschriebenen Vorgehensweise zur Kapazitätsanpassung einer Montagelinie auch während des Betriebs, setzt jedoch voraus, dass die Anlage bereits auf Basis der von KRÜGER (2004) vorgestellten Methodik geplant wurde.

#### **Fazit**

Die existierenden Vorgehensweisen für die Montageplanung beziehen sich auf die Neuplanung von Montageanlagen unter verschiedenen Anforderungen. Der Detaillierungsgrad der beschriebenen Tätigkeiten ist für die Ableitung von konkreten Handlungsanweisungen zu abstrakt. Für die betriebsbegleitende Prozessplanung für bestehende Montageanlagen sind keine detaillierten Vorgehensmodelle verfügbar.

### 3.2 Virtuelle Produktion

Die Produktion im Rechner findet heute an vielen Stellen in der produzierenden Industrie statt. Von der Produktionsplanung und Steuerung durch PPS-Systeme über die Entwicklung der Produktionsanlagen mittels 3D-CAD-Systemen bis zum Einsatz der Ablaufsimulation zur Absicherung und Optimierung von Logistikprozessen ist die Unterstützung durch Rechnerwerkzeuge bereits fester Bestandteil der Unternehmensabläufe [DOWIDAT 2002]. Gemäß der Zielsetzung einer durchgängigen Planung, Evaluierung und Steuerung der Produktion über deren gesamten Lebenszyklus wird durch die Virtuelle Produktion ein sehr breites Feld an Methoden und Werkzeugen aufgespannt, das für die vielfältig auftretenden Fragestellungen zielgerichtet eingesetzt werden muss. Um der Komplexität gerecht zu werden, wird die Virtuelle Produktion in Anlehnung an ZÄH U.A. (2003a) in Form einer dreidimensionalen Matrix mit den Dimensionen **Abstraktionsebene**, **Methode / Werkzeug** und **Anwendungsphase** dargestellt (Abbildung 3-6).

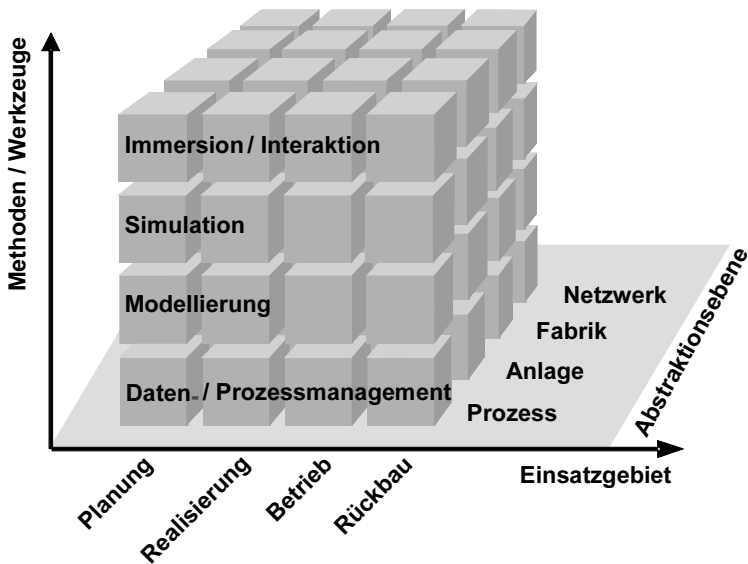


Abbildung 3-6: Handlungsfelder der Virtuellen Produktion [vgl. Zäh u.a. 2003a]

Jede der drei Dimensionen ist wiederum in vier Ebenen untergliedert, die in Kapitel 3.2 näher beschrieben werden. Die Realisierung einer Virtuellen Produktion erfordert eine integrierte Betrachtung des durch die verschiedenen Ebenen und

Disziplinen aufgespannten Würfels, durch die Planungsprozesse durchgängig über die Systemgrenzen der Subwürfel hinweg geplant werden können.

Der in Abbildung 3-6 dargestellte Würfel dient der Strukturierung der Virtuellen Produktion. Das Ziel ist die Schaffung einer Systematik zur Beschreibung und Strukturierung der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion für beliebige Anwendungen. Auf einer hohen Abstraktionsebene ist damit eine erste Klassifizierung der verschiedenen Anwendungsgebiete der Virtuellen Produktion möglich, mit deren Hilfe vorhandenes Wissen bezüglich des Einsatzes der Virtuellen Produktion verwaltet und verfügbar gemacht werden kann. Die Vision nach ZÄH U.A. (2003) sieht vor, einzelne Anwendungsfälle als Referenzmodelle zu beschreiben, deren Summe zukünftig die Gesamtheit der Virtuellen Produktion darstellen. Im Folgenden wird der Stand der Technik unterteilt nach den Methoden und Werkzeugen, den Abstraktionsebenen und den Einsatzgebieten im Lebenszyklus der Produktion untersucht (Abschnitte 3.2.1-3.2.3) und insbesondere die verfügbare Systemunterstützung für die Prozessplanung in der Montage der Automobilindustrie analysiert (3.2.4).

#### **3.2.1 Methoden und Werkzeuge**

Die Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion werden im Folgenden aufgeteilt in die Bereiche Daten- / Prozessmanagement, Modellbildung, Simulation und Immersion / Interaktion vorgestellt und der Stand der Technik beleuchtet.

##### **Daten- und Prozessmanagement**

Eine der größten Herausforderungen im Bereich der Virtuellen Produktion liegt im Bereich der Datenverwaltung und des Datenmanagements. Die Modellbildung der Virtuellen Produktion in den verschiedenen Abstraktionsebenen für die unterschiedlichen Anwendungsgebiete findet heute auf Basis von isolierten Softwarewerkzeugen statt, die als Insellösung für die Bearbeitung einzelner Fragestellungen existieren. Daten werden oft redundant erzeugt und stehen einem durchgängigen Planungsprozess nicht zur Verfügung. Ein wesentliches Problem bei der Definition von Schnittstellen zwischen diesen Systemen ist die Vielzahl unterschiedlicher Datenformate, in denen die Modelle erstellt wurden. Um den Rechenaufwand bei der Visualisierung oder Berechnung komplexer Geometriemodelle möglichst gering zu halten, werden Simulationsrechnungen auf Basis speziell für die Fragestellung entwickelter Datenformate durchgeführt. Der Transfer der Modelle zwischen den unterschiedlichen Formaten ist auf Grund der Vielzahl unter-

schiedlicher Simulationsanwendungen sehr komplex und für den Einzelnen damit schwer nachvollziehbar.

Neben der Implementierung von Schnittstellen zwischen einzelnen Softwarewerkzeugen fehlen geeignete Planungsprozesse und Methoden für einen zielgerichteten Einsatz der Werkzeuge und Methoden der Virtuellen Produktion, die die Möglichkeiten und Anforderungen an deren Einsatz berücksichtigen. Es wird neben dem reinen Daten- also auch ein Prozessmanagement benötigt (ZÄH U.A. 2003; REINHART 2003; HALLER 2002).

Abbildung 3-7 positioniert die im Rahmen des Daten- und Prozessmanagements am weitesten verbreiteten Werkzeuge und Methoden [nach BRANDNER 2000].

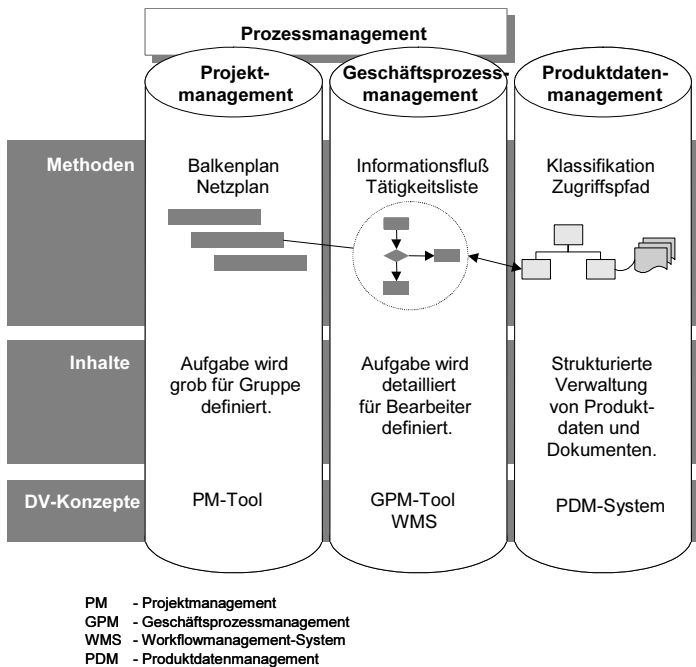


Abbildung 3-7: Abgrenzung Daten- und Prozessmanagement [Brandner 2000]

Für das Prozessmanagement wird dabei zwischen Projekt- und Geschäftsprozessmanagement unterschieden. Die dabei eingesetzten Methoden und Werkzeuge werden in Kapitel 3.3 detailliert beschrieben und analysiert, weshalb hier der Fokus zunächst auf das Produktdatenmanagement gelegt werden soll.

Über den Funktionsumfang und Inhalt von Produktdatenmanagement-Systemen existieren in der Literatur unterschiedliche Auffassungen. EIGNER (1996) fasst das Produktdatenmanagement mit einem Dokumentenmanagement zusammen und definiert beides wie folgt:

„Unter Produktdaten- und Dokumentenmanagement wird schwerpunktmäßig die Zuordnung von beliebigen Dokumenten (z.B. CAD-Zeichnungen, 3D-Modelle, Text-Dokumente) zu Produktstamm- und -strukturdaten verstanden. Die Verwaltung der Freigabe- und Änderungszustände sowie das Konfigurationsmanagement gehören ebenso zu den Standardfunktionen.“

Neben dem von EIGNER (1996) genannten reinen Produktdaten- und Dokumentenmanagement werden in der Literatur als weitere Funktionsbereiche eines PDM-Systems auch das Prozessmanagement, spezielle Dienstprogramme sowie Schnittstellen zu Applikationen gesehen [BRANDNER 2000, SCHÖTTNER 2000]. Systeme zum Produktdatenmanagement werden seit ca. 15 Jahren angeboten und werden für die Verwaltung von CAD-Daten in der Praxis flächendeckend eingesetzt. Einzelne Systeme verfügen auch bereits über bestimmte Funktionalitäten des Prozessmanagements, die jedoch ausschließlich im Rahmen eines fest vordefinierten Änderungsmanagements in frühen Phasen der Produktentwicklung eingesetzt werden. Zur Unterstützung produktionstechnischer Planungsprozesse werden sie bisher nicht verwendet, was unter anderem in dem Fehlen entsprechend detaillierter Ablaufbeschreibungen begründet ist. Aus diesem Grund erfordert die Suche und Aufbereitung von Informationen trotz oder gerade auf Grund der existierenden umfangreichen DV-Anwendungen immer noch den meisten Zeitaufwand in heutigen Planungsprozessen (WENDEROTH 2002). Ziel von Forschungsarbeiten im Bereich des Daten- und Prozessmanagements muss daher eine weitestgehende Automatisierung des Planungsprozesses sein, die den Anwender von den Routinetätigkeiten der Informationsbeschaffung und -aufbereitung befreit und es ihm ermöglicht, sich mit seiner Expertise auf die kreativen Tätigkeiten zu konzentrieren [ZÄH U.A. 2003A]. Um eine Verbindung des Daten- und Prozessmanagements über das bereits existierende, fest vordefinierte Änderungsmanagement hinaus zu ermöglichen, besteht Forschungsbedarf in erster Linie auf Seiten des Prozessmanagements. In Form einer Vielzahl von neutralen Datenformaten (z.B. STEP, IGES, STL) und Konventionen (z.B. XML) sind zusammen mit den existierenden Datenbanken und PDM-Systemen die technologischen Voraussetzungen für integrierte Planungsprozesse geschaffen.

Ausgehend von den Entwicklungen im Bereich des Produktdaten- und Prozessmanagements ist ein in der Industrie aktuell viel diskutierter Begriff das Product Lifecycle Management (PLM). Ziel von PLM ist es Produkt und Prozessdaten für alle Unternehmensbereiche über den gesamten Lebenszyklus des Produktes verfügbar zu machen [PREHL 2004]. Die Vorstellung über Inhalt, Ziel und Umfang von PLM divergieren nicht zuletzt auf Grund des Fehlens einer allgemein akzeptierten Definition derzeit noch sehr in den unterschiedlichen Veröffentlichungen. Die wesentliche Neuerung zu den bestehenden Ansätzen im Bereich des PDM ist zum einen die Betonung des gesamten Produktlebenszyklus und zum anderen die Verbindung der Produktdaten mit Entwicklungs- und Planungsprozessen [EISERT U.A. 2000]. So handelt es sich bei den am Markt verfügbaren PLM-Systemen auch häufig um die früheren PDM-Systeme der Hersteller, kombiniert mit einer Komponente zur Beschreibung und Automatisierung von Workflows. Da diese jedoch auch schon früher häufig zum Funktionsumfang eines PDM-Systems gehörten, wurden die vorhandenen Systeme teilweise einfach von PDM in PLM Systeme umgetauft. Einige Beispiele heute verfügbarer kommerziellen PLM-Systeme sind Teamcenter (EDS), Enovia (IBM-Dassault) und Windchill (PTC) [STACKPOLE 2003]. Neben der durch die Softwareanbieter vertretenen Sichtweise auf PLM, die schwerpunktmäßig auf die datentechnische Integration über alle Phasen des Lebenszyklus abzielt, existieren im Bereich der Forschung auch Ansätze, die unter PLM eher die Integration verschiedener auf den Produktlebenszyklus abzielender Methoden sehen. Abbildung 3-8 gibt einen Überblick der vom Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) unter dem Begriff des Product Lifecycle Managements zusammengefassten Methoden und Strategien [HIEBER 2003].

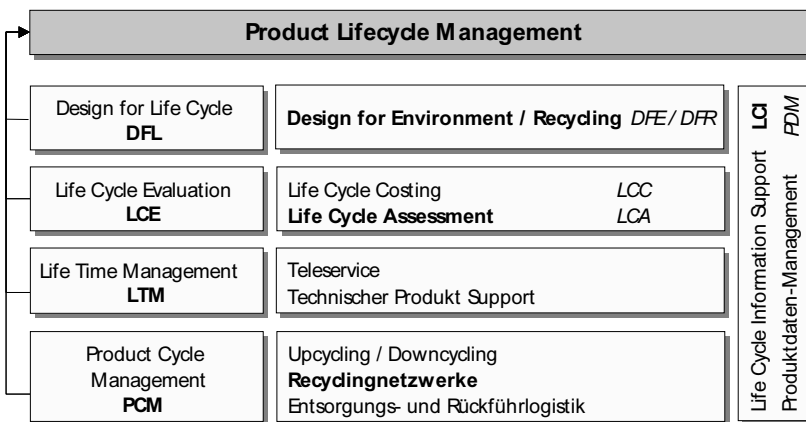


Abbildung 3-8: PLM im Überblick [Hieber 2003]

Der Frage der Datenintegration wird dabei als Querschnittsthema zwar Beachtung geschenkt, der Fokus liegt jedoch auf Methoden und Strategien für die Produktentwicklung, welche die unterschiedlichen über den Lebenszyklus des Produktes auftretenden Anforderungen integrieren, sowie Konzepte für Dienstleistungen über den Verkauf eines Produktes bis zu dessen Recycling.

#### **Modellbildung**

Den ersten Schritt zur Realisierung der Virtuellen Produktion bildet die Modellbildung. Ein Modell ist nach DIN 19226 (1994) „die Abbildung eines Systems oder Prozesses in ein anderes begriffliches oder gegenständliches System, das aufgrund der Anwendung bekannter Gesetzmäßigkeiten, einer Identifikation oder auch getroffener Annahmen gewonnen wird und das System oder den Prozess bezüglich ausgewählter Fragestellungen hinreichend genau abbildet.“ Das Vorgehen zur Beschreibung dieser Systeme oder Prozesse wird als Modellbildung bezeichnet. Zum Bereich der Modellbildung werden im Folgenden alle Aktivitäten gezählt, die der Beschreibung der realen Produktion durch ein virtuelles Modell dienen. Dazu zählt sowohl die Modellierung des physikalischen Verhaltens eines Fertigungsprozesses durch analytische Gleichungen, als auch die textuelle Beschreibung der Kapazität einer Montageanlage in einer Datenbank. Im Folgenden werden die im Bereich der Modellbildung eingesetzten Werkzeuge vorgestellt und beschrieben.

Den Funktionsbereichen Fertigung und Montage sind nach SCHÖTTNER (2000) ERP- (Enterprise Resource Planning), CAM- (Computer Aided Manufacturing), CAQ- (Computer Aided Quality Assurance) und BDE-Systeme (Betriebsdatenerfassung) zugeordnet. ERP entspricht der Produktionsplanung und -steuerung in industriellen Fertigungsunternehmen (PPS). Abgesehen von der Entwicklung und Konstruktion finden ERP Systeme in allen Funktionsbereichen eines Produktionssystems Verwendung. Die in dem System vorhandenen Daten werden damit zu einer wichtigen Eingangsgröße zur Modellierung einer Virtuellen Produktion. CAM umfasst die Rechnerunterstützung zur technischen Planung, Steuerung und Überwachung von Teilefertigung und Montage einschließlich der Handhabungs-, Transport- und Lagerungsvorgänge in einem Produktionsunternehmen. Für die Steuerung und Qualitätssicherung laufender Fertigungs- und Montageprozesse werden Betriebsdatenerfassungs-Systeme (BDE) eingesetzt. Diese können als Datenquellen für die Erstellung von Simulationsmodellen [vgl. SELKE 1999] oder zur Darstellung in einem Leitstandsystem dienen.

Als weitere Funktionsbereiche übergreifende Anwendung nennt SCHÖTTNER (2000) Computer Aided Office (CAO). CAO steht für den Rechneinsatz im kommerziell-



len Bereich mit der Zielsetzung einen hohen Grad an systemunterstützter Automation und Kommunikation im modernen Büro zu verwirklichen. Bei den CAO-Anwendungen geht es überwiegend um die Standardanwendungen Textverarbeitung, Graphikerstellung und Tabellenkalkulation, wobei der Tabellenkalkulation insbesondere im Bereich der produktionstechnischen Planungsprozesse die größte Bedeutung zukommt. Die mittels der CAO-Systeme erzeugten Informationen werden entweder über Server-basierte File-Systeme verwaltet oder, wenn es sich um speziell als persönliche Arbeitshilfen erstellte Dokumente handelt, auch auf den lokalen Speichern der unterschiedlichen Planer. Hierin liegt ein wesentliches Defizit der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Planungsprozesse, die durch eine Vielzahl redundant erzeugter und verwalteter Planungsdaten in Form von individuell erstellten Tabellen einzelner Planer geprägt sind.

### **Simulation**

Simulation ist nach VDI 3633 „das Nachbilden eines dynamischen Prozesses in einem Modell zum Sammeln von Erkenntnissen, die dann in die Realität umgesetzt werden können“ [VDI 3633 1993]. Simulationstechnologie ist ein wesentlicher Bestandteil der Virtuellen Produktion und soll durchgängig auf allen Betrachtungsebenen der Produktion eingesetzt werden. Aufbauend auf den modellierten (Teil-)Modellen der realen und Virtuellen Produktion, können alternative Produktionsszenarien durch Simulationsexperimente am digitalen Modell miteinander verglichen und abgesichert werden. Besonderes Augenmerk liegt auf der Integration der Simulationswerkzeuge. Durch die Integration über die Betrachtungsebenen (Unternehmens-) Netzwerk, Fabrik, Anlage und Prozess hinweg können Simulationsergebnisse einer Betrachtungsebene konsistent in einer anderen verwendet werden. Die Simulation eines Bearbeitungsprozesses bildet so z.B. die Eingangsinformation für eine verbesserte Materialflusssimulation. Die Simulation kompletter Prozessketten ist ein weiteres Handlungsfeld auf dem Weg zur Virtuellen Produktion. Durch die Kombination verschiedener Simulationsverfahren können zukünftig auch komplexe Fertigungsprozesse abgesichert werden [REINHART U.A. 2002, REINHART U.A. 2003]. AMANN (1994) unterscheidet für den Bereich der Produktionstechnik grundsätzlich zwischen 3 unterschiedlichen Simulationsarten: Ablaufsimulation, 3D-Bewegungssimulation und Finite Elemente Methode.

- Ablaufsimulation

Die Ablaufsimulation wird auf einem relativ hohen Abstraktionsniveau für die Untersuchung der diskreten Zusammenhänge in Produktionssystemen eingesetzt [AMANN 1994]. Im Gegensatz zu den anderen Methoden und Werkzeugen der

Virtuellen Produktion wird die Ablaufsimulation auch bereits zur Bewertung von Montagelinien in der Serienphase eingesetzt. ZÄH U.A (2003B) entwickeln ein QM-System zur Integration der Ablaufsimulation in die Fabrikplanung, wobei die Serienphase in die Betrachtung mit einbezogen wird. SELKE (1999) stellt einen Ansatz für eine vereinfachte Modellgenerierung von Simulationsmodellen dar, bei dem die Modelle für die Ablaufsimulation auf Basis von Betriebsdaten laufender Produktionsprozesse erzeugt werden. Darüber hinaus existieren im Bereich der Ablaufsimulation Ansätze für die Wiederverwendung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik, die ebenfalls für einen betriebsbegleitenden Einsatz in der Serienphase geeignet sind [WUTTKE 2002; COCHRAN&HORNG 1998]. Unter dem Begriff der betriebsbegleitenden Simulation wird die Ablaufsimulation auch als Prognoseverfahren für das Monitoring laufender Fertigungsprozesse eingesetzt [ZETLMAYER 1994, MARTIN 1998, HEITMANN 1999].

- 3D-Bewegungssimulation

Der Schwerpunkt der 3D-Bewegungssimulation liegt auf der Erstellung von dreidimensionalen, volumenorientierten Modellen von Körpern, um kinematische Zusammenhänge und Wechselwirkungen in der betreffenden Produktionsanlage oder -zelle zu überprüfen [GEYER 1997, KUGELMANN 1999, ROBGODERER 2002, FRANKE 2003]. Innerhalb der Prozessplanung können für manuelle und automatisierte Montagevorgänge Kollisions- sowie Ergonomieuntersuchungen durchgeführt werden. Aus den Simulationsmodellen können dabei anschließend im Sinne einer Offline-Programmierung Programme für eine Robotersteuerung erzeugt werden [WOENCKHAUS 1994, KOCH 2001]. Neben der beschriebenen, auf die Geometrie der Produktionsanlage beschränkten Betrachtungsweise beschäftigen sich aktuelle Forschungsarbeiten mit der Integration des physikalischen Anlagenverhaltens und dessen Visualisierung in einer 3D-Bewegungssimulation. Gekoppelt an eine reale Steuerung spricht man in diesem Zusammenhang auch von einer Hardware in the Loop (HIL) Simulation [ZÄH U.A. 2004].

- Finite Elemente Methode (FEM)

Die FEM ist ein numerisches Näherungsverfahren zur Lösung mathematischer Gleichungen, die die Reaktion eines physikalischen Systems auf externe Lasten vorhersagen [nach BURNET 1987, S.3]. Das Anwendungsgebiet der FEM liegt überwiegend im Bereich der Fertigungsplanung [LENZ 2001, GEIGER U.A. 2001]. V. PRAUN (2002) stellt ein Verfahren für die Toleranzanalyse nachgiebiger Bau-

teile auf Basis der FEM und geeigneter stochastischer Verfahren vor. Die von v.PRAUN (2002) gezeigten Ansätze am Beispiel des Punktschweißens sind zukünftig jedoch auch auf weitere Montagevorgänge anwendbar. Der Einsatz der FEM für eine betriebsbegleitende Prozessplanung ist jedoch auf Grund des hohen Modellierungsaufwandes und der immer noch hohen Rechenzeiten auf mittlere Sicht unrealistisch.

### **Immersion und Interaktion**

Auch bei der Virtuellen Produktion steht der Mensch im Mittelpunkt der Betrachtung. Um auf einfache intuitive Art und Weise möglichst viel Informationen aus der Virtuellen über die reale Produktion gewinnen zu können, müssen intuitive Benutzerschnittstellen entwickelt bzw. weiterentwickelt werden. Unter Immersion versteht man das Eintauchen des Menschen in die virtuelle Welt, von der er einen möglichst realistischen Eindruck gewinnt [REINHART 2000]. Die Virtuelle Realität beschäftigt sich mit der Entwicklung immersiver Benutzerschnittstellen. Zum Einsatz kommen stereoskopische Visualisierungstechniken, die dem Anwender die räumliche Wahrnehmung der virtuellen Umgebung ermöglichen [GAUSEMEIER&GRAFE 2000, REINHART U.A. 2001B, BLEY 2003]. Für die Interaktion mit der Virtuellen Umgebung werden haptische Eingabegeräte entwickelt, die dem Anwender Kollisionen und Kontakte in der Virtuellen Realität als Kräfte zurückspielen.

### **3.2.2 Abstraktionsebenen**

Innerhalb der Virtuellen Produktion unterscheiden ZÄH U.A. (2003A) zwischen vier verschiedenen Abstraktionsebenen. Auf unterster Ebene werden die technologischen Fertigungs**prozesse** betrachtet und in ihrem Verhalten zum Beispiel durch die Finite Elemente Methode oder die Mehrkörpersimulation abgebildet [ZÄH&AUER 2002, REINHART U.A. 2001A]. Auf der **Anlagenebene** können zum Beispiel mit Hilfe einer Kinematiksimulation Kollisionsuntersuchungen für eine Montagestation durchgeführt werden [BLEY 2003, WRBA 1990]. Auf der **Fabrikenebene** werden mit Hilfe der Ablaufsimulation Logistikprozesse untersucht [CHRISTOPH U.A. 2002, WUTTKE 2000, S. 12-18]. Die Entwicklung und Planung von Produktionssystemen findet zu einem großen Teil bei den verschiedenen Zulieferern der einzelnen Anlagelieferanten statt, die mehr und mehr zu Systemlieferanten werden. Aus diesem Grund beschäftigt sich die oberste Abstraktionsebene der Virtuellen Produktion mit dem Unternehmens**netzwerk**. Ein Ziel für die Virtuelle Produktion ist die Integration der verschiedenen Abstraktionsebenen für eine durchgängige Planung von der

Auslegung einzelner Fertigungsprozesse bis zur Abstimmung der Schnittstellen der Produktionssysteme über Unternehmensgrenzen hinweg [REINHART U.A. 1999].

### 3.2.3 Anwendungsgebiete

Das Ziel einer durchgängigen Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsanlagen und -prozessen auf Basis digitaler Modelle umfasst nicht nur die verschiedenen Abstraktionsebenen der Produktion, sondern auch die einzelnen Phasen des Produktionslebenszyklus.

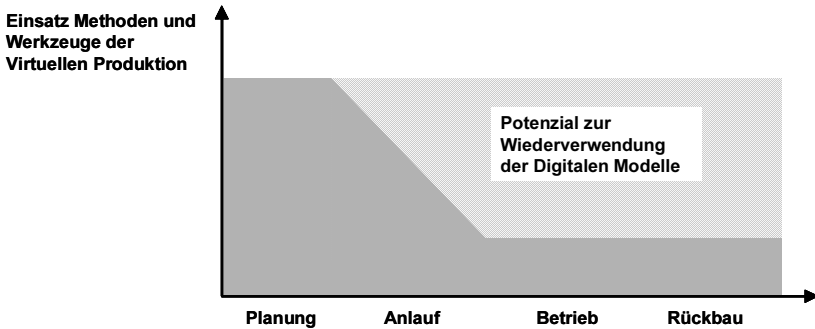


Abbildung 3-9: Einsatz der Virtuellen Produktion im Produktionslebenszyklus

Abbildung 3-9 zeigt den Einsatz der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion im Lebenszyklus der Produktion. Dieser findet bisher überwiegend in den frühen Phasen der Produktionsplanung statt und nimmt mit Inbetriebnahme der Produktionsanlagen ab. Eine Ursache hierfür ist die Tatsache, dass die Modellbildung und Simulation für die einzelnen Produktionsanlagen und -prozesse bei den verschiedenen Lieferanten stattfindet und die Modelle von diesen nur bis zur Abnahme durch den Kunden weitergepflegt werden. Veränderungen, die in der Betriebsphase an den Produktionssystemen durchgeführt worden sind, werden in der Regel nicht in die Modelle eingepflegt und auch nicht durch entsprechende Simulationen abgesichert.

Genauso wie das generelle Vorgehen werden auch die laufenden Planungsprozesse nicht dokumentiert. Informationen aus früheren Phasen des Produktionslebenszyklus stehen in der Serienphase in der Regel nicht mehr zur Verfügung. Die Existenz bereits durchgeführter Simulationsstudien aus der Entwicklungsphase, die zur Bewertung eines Produktionsszenarios wieder verwendet werden könnten, ist den Prozessplanern dadurch nicht bekannt. Die Modelle werden über die Inbetriebnah-

me hinaus nicht mitgepflegt und sind daher nicht mehr aktuell. Eine Ursache hierfür liegt in der Organisationsstruktur. Die frühen Planungsphasen finden größtenteils bei der zentralen Planungsabteilungen der Unternehmen statt, weshalb auch dort die verschiedenen Modelle der Planungsstände aus unterschiedlichen Fachabteilungen zusammengefahren werden. Eine Übertragung dieser Modelle kann daran scheitern, dass in den Abteilungen der Werksplanung die notwendigen Systeme zur Visualisierung und Bearbeitung dieser Modelle nicht vorhanden sind. Die Simulationsmodelle werden in der Regel von Simulationsexperten für Simulationsexperten erstellt und können in den Fachabteilungen nicht verwendet werden. Die dritte Schwierigkeit für die Weiternutzung der Modelle ist ein Konvertierungsproblem. Der Betrieb der Anlagen und Produktionssysteme erfordert andere Funktionalitäten und somit andere Softwarewerkzeuge als die Planung. Die Modelle der Virtuellen Produktion müssten also in die Systemlandschaft der Serienphase übertragen werden, bevor sie gepflegt und weiter verwendet werden könnten. Dies gilt insbesondere für die Geometriemodelle der Produktionsmittel und Produkte, die für spätere Planungsphasen in der Regel nicht zur Verfügung stehen.

Eine Ausnahme bildet in diesem Zusammenhang der Einsatz einer betriebsbegleitenden Ablaufsimulation zur Prognose des zukünftigen Verhaltens von Produktionssystemen (vgl. 3.2.1). Der Fokus der betriebsbegleitenden Simulation (1) ist von dem der in dieser Arbeit betrachteten betriebsbegleitenden Prozessplanung (2) zu unterscheiden. Im ersten Fall geht es darum, einen laufenden Fertigungsprozess durch ein mitlaufendes Simulationsmodell zu überwachen, um damit mögliche Engpässe und weitere Störungen vorauszusagen. Betriebsbegleitend meint in diesem Fall (1) die laufende Produktion im Gegensatz zu einer stehenden. Im Fall der betriebsbegleitenden Prozessplanung (2) ist mit Betrieb die entsprechende Phase des Produktentstehungsprozesses gemeint, um zu verdeutlichen, dass die Prozessplanung in diesem Fall nicht während der Planung des Produktionssystems sondern erst in dessen Betriebsphase stattfindet. Dies wirkt sich unter anderem dadurch auf das Planungsvorgehen aus, dass wesentliche Umfänge des Montagesystems bereits festgelegt sind und deswegen nicht mehr in Frage gestellt werden.

Neben den reinen Geometriemodellen werden über den gesamten Lebenszyklus des Produktionssystems laufend Informationen generiert, die nur lokal für einzelne Fragestellungen genutzt werden können. Wenn von einem digitalen Modell die Rede ist, muss dieses also nicht zwangsläufig Geometrien enthalten, sondern besteht zum größten Teil aus Informationen über das Montagesystem und den Montageprozess, die ein möglichst realitätsnahes Abbild desselben schaffen.

#### **Fazit**

Die bisherige Anwendung der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion konzentriert sich innerhalb des Produktionslebenszyklus schwerpunktmäßig auf die Planung und Inbetriebnahme der Produktionssysteme. Was bisher fehlt, ist eine konsequente Weiternutzung der in der Planungsphase erstellten Simulationsmodelle für Betrieb, Wartung und Instandhaltung. Durch diese Tatsache wird ein wesentlicher Vorteil der digitalen Modelle verspielt, der darin liegt, dass sie mit geringem Aufwand immer wieder für Simulationsexperimente herangezogen werden können, ohne neue Investitionskosten zu erzeugen.

#### **3.2.4 Systemunterstützung für die Prozessplanung**

Für die Prozessplanung in der Montage existieren integrierte Planungswerkzeuge, welche auch über einzelne Schnittstellen zu Simulationswerkzeugen verfügen [WIESMÜLLER 2001]. Der Fokus dieser Werkzeuge liegt in den frühen Planungsphasen neuer Fabrikstrukturen. Die Systemlandschaft für die Prozessplanung im Werk ist durch eine Vielzahl unterschiedlicher proprietärer Einzellösungen geprägt. Diese werden isoliert für die Durchführung einzelner Funktionen eingesetzt. Die in den unterschiedlichen Systemen vorhandenen Informationen stehen für die Unterstützung weiterer Funktionen nicht zur Verfügung oder werden für diese redundant erzeugt. Dadurch wird der Großteil der Planungszeit für die Suche und Aufbereitung von Informationen verwendet, während für die bewertenden kreativen Tätigkeiten nur wenig Zeit übrig bleibt.

In der Literatur existieren in erster Linie Darstellungen der Automobilindustrie bezüglich der Systeme, die im Rahmen der Virtuellen Produktion im Einsatz sind. Abbildung 3-10 zeigt die Strategie zur Realisierung von Digital Manufacturing der BMW Group [WIESMÜLLER 2000].

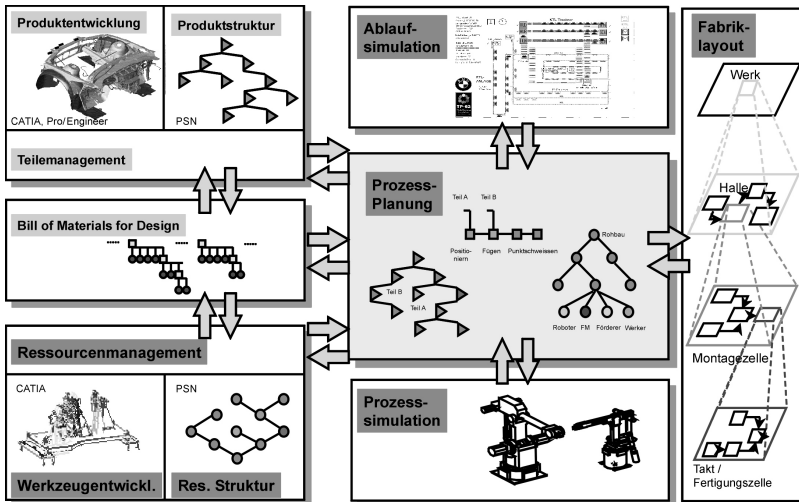


Abbildung 3-10: Systemlandschaft Digital Manufacturing [Wiesmüller 2000]

Zentraler Bestandteil des Konzeptes ist ein integriertes Prozessplanungswerkzeug, an das alle anderen benötigten Systeme über Schnittstellen angeschlossen werden. Dies sind die PDM- und CAD-Systeme der Bauteil- und der Fertigungsmittelkonstruktion, Stücklistensysteme für unterschiedliche Sichten (z.B. Vertrieb, Konstruktion und Einkauf), verschiedene Arten von Simulationssystemen für die Ablauf- und die Prozesssimulation sowie Fabrikplanungswerkzeuge. Unter Prozesssimulation wird in diesem Zusammenhang häufig schon die 3D Visualisierung von Anlagenlayouts, inklusive der Darstellung der enthaltenen Kinematiken verstanden. Ein weiteres Beispiel für die Prozesssimulation kann in diesem Zusammenhang auch eine NC-Simulation sein. Dem von WIESMÜLLER (2000) vorgestellten Digital Manufacturing vergleichbare Strategien finden sich auch bei anderen Automobilherstellern, wobei unterschiedliche Softwaresysteme für deren Umsetzung eingesetzt werden [WALTER 2002, SCHILLER 2001, WEINER U.A. 2001]. Der Fokus dieser Aktivitäten liegt auf der Neuplanung von Produktionssystemen in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses bis zur Anlaufphase eines neuen Produktes. Ein Einsatz dieser Werkzeuge für die Bewertung laufender Produktionsprozesse findet nicht statt.

WESTKÄMPER U.A. (2003) berücksichtigt in ihrer „Architektur der Digitalen Fabrik für kleine und mittlere Unternehmen“ auch die Betriebsphase. Der Fokus der Digitalen Fabrik liegt nach WESTKÄMPER U.A. (2003) in der Aufgabe, die Lücke zwischen der Produktentstehung (CAD&PDM-Systeme) und dem Betrieb (ERP-

Systeme) zu schließen, indem die bisher nur durch Insellösungen unterstützte Produktionsentstehung durch die Virtuelle Produktion als integriertes Werkzeug unterstützt wird. Eine ähnliche Darstellung ist auch bei anderen Autoren bezüglich der Zielsetzung der Virtuellen Produktion zu finden (Abbildung 3-11) [WIESMÜLLER 2000A, ZÄH&WAGNER 2002].

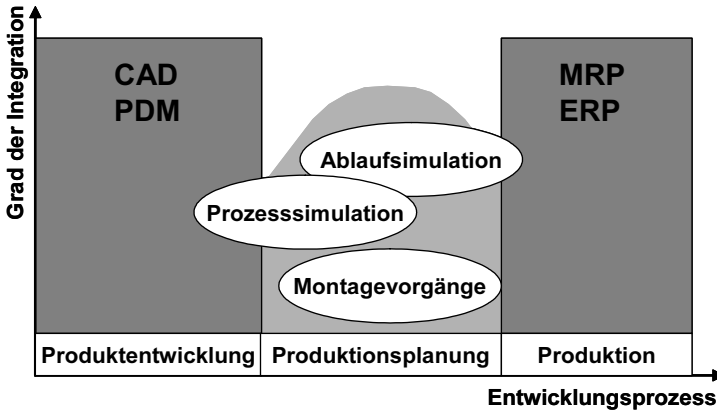


Abbildung 3-11: Vorhandene Lücken in der virtuellen Planung

In diesem Zusammenhang wird die Herausforderung betont „die Kommunikation und Integration der Datenwelten angefangen mit der Produktentwicklung über die Virtuelle Produktion zur Produktionsplanung und damit in den laufenden Betrieb zu realisieren“ [WESTKÄMPER U.A. 2003]. Speziell für die Anwendung im Bereich kleiner und mittlerer Unternehmen (kmU) wird eine Architektur für die Virtuelle Produktion vorgestellt, die aus einem PDM-System, einer Integrationsplattform und einer Komponente, die den Planungsablauf beinhaltet, besteht. Das entwickelte Konzept dient als Alternative für bereits verfügbare integrierte Prozessplanungs-werkzeuge, die durch ihre Komplexität und hohen Kosten für Einführung und Betrieb bei kmU weniger geeignet sind. Innerhalb des Produktionslebenszyklus sind ebenfalls die frühen Phasen der Produktionsplanung im Fokus. Eine Weiterführung des Konzeptes für den Einsatz in der Betriebsphase wird nicht beschrieben.

Die mit Abbildung 3-11 dargestellte Motivation zur Schließung der Lücken in der Virtuellen Planung entspricht dabei noch einer anderen Zielsetzung, als sie im Rahmen dieser Arbeit verfolgt wird. Die bisherigen Konzepte zielten in erster Linie darauf ab, den Einsatz digitaler Werkzeuge für die Produktionsplanung zu verstärken. Die vorhandene Lücke sollte also durch neue Werkzeuge aufgefüllt werden. Dabei ist zwar ein Integration mit dem Bereich der Produktentwicklung zur einen



Seite geplant. Für die Seite der Produktion, also des laufenden Betriebs wird in der mit Abbildung 3-11 beschriebenen Zielsetzung kein Handlungsbedarf gesehen. Die verschiedenen vorgestellten Konzepte unterstützen die Prozessplanung daher nur bis zur Inbetriebnahme der Produktionssysteme. Mit dem Serienanlauf werden die Daten aus den integrierten Prozessplanungslösungen des Produktentstehungsprozesses in individuelle, proprietäre Lösungen der jeweiligen Werke übertragen. Bei diesen Systemen handelt es sich meist um datenbankbasierte Eigenentwicklungen, die für die Unterstützung einzelner Funktionen entwickelt wurden. Auch wenn Struktur und Funktionalität dieser Systeme bei den verschiedenen Automobilherstellern sicherlich Ähnlichkeiten aufweisen, so sind es doch eigenständige, gewachsene Lösungen über deren Inhalt und Aufgabe es im Stand der Forschung und Technik bisher keine Dokumentation und auch keine Standardisierung gibt. Neben diesen proprietären Datenbanksystemen wird in der Prozessplanung zu einem großen Teil noch mit von den Planern individuell angelegten Excellisten oder Acces-Datenbanken gearbeitet, deren Inhalte dem Gesamtprozess nicht zur Verfügung stehen.

### **3.3 Prozessmanagement**

Gemäß der Zielsetzung einer prozessorientierten Implementierung der Virtuellen Produktion soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Referenzmodell für die Planung und Bewertung von Anpassungen an bestehenden Montagestrukturen entwickelt werden (vgl. Kapitel 1.2). Durch die Konzeption einer geeigneten Systemunterstützung soll in einem zweiten Schritt eine Verbindung zwischen der Prozessbeschreibung und der Ausführung der Prozesse geschaffen werden. Für eine zielorientierte Beschreibung des Sollprozesses, die sowohl die Anwendung für verschiedene Unternehmen, als auch eine systemunterstützte Ausführung des Prozessmodells ermöglicht, ist es wichtig eine sinnvolle Modellierungstechnik auszuwählen. Aus diesem Grund widmet sich das folgende Kapitel den Grundlagen und Möglichkeiten des Prozessmanagements.

#### **3.3.1 Prozessorientierung**

Ausgangspunkt für die Entwicklung von Prozessmodellen innerhalb eines Unternehmens ist die Prozessorientierung. Eine Vielzahl von Autoren nennt die Prozessorientierung als einen der wesentlichen Erfolgsfaktoren für ein Unternehmen [BECKER&VOSSEN 1996, BICHLMAIER 2000, TUROWSKI 1996, ENDL & MEYER 1996, HAMMER 1997].

Nach DIN EN ISO 8402 ist ein Prozess ein „Satz von in Wechselwirkung stehenden Mitteln und Tätigkeiten, die Eingaben und Tätigkeiten umgestalten“. GAITANAIDES U. A. (1994) definieren Prozessorientierung als „ein Denken in inhaltlich abgeschlossenen Erfüllungsvorgängen, die in einem aus der Erstellung betrieblicher Leistungen hervorgehenden logischen Zusammenhang stehen.“ Sie fordern eine radikale Neuausrichtung des Unternehmens mit der Zielsetzung, reaktionsschnelle, flexible, schlanke, profitable, effiziente und innovative Prozesse zu ermöglichen. Als ein Motiv für die Prozessorientierung heben sie die Kundenorientierung hervor (VGL. GRUNDWALD 2002).

#### **Geschäftsprozess**

Ein **Geschäftsprozess** ist eine besondere Form eines Prozesses. Da eine eindeutige und akzeptierte Definition des Begriffes nicht vorliegt, geben BECKER&VOSSEN (1996) eine Reihe von Definitionen wieder, die eine gewisse Akzeptanz gefunden haben. Demnach ist ein Geschäftsprozess etwa ein Bündel von Aktivitäten, für das ein oder mehrere unterschiedliche Inputs benötigt werden und das für den Kunden ein Ergebnis von Wert erzeugt [HAMMER&CHAMPY 1994, EIFF 1993]. Für weitere Definitionen des Begriffes, die nicht im Widerspruch zu der genannten stehen, sei hier auf BECKER&VOSSEN (1996), FERSTL&SINZ (1993) sowie GAUSEMEIER &FAHRWINKEL (1994) verwiesen. In der Literatur findet sich oft keine klare Unterscheidung zwischen den Begriffen Prozess und Geschäftsprozess. BECKER&VOSSEN (1996) sehen den Geschäftsprozess als einen Unterprozess eines Prozesses, den sie als „die inhaltlich abgeschlossene zeitliche und sachlogische Abfolge der Funktionen, die zur Bearbeitung eines betriebswirtschaftlich relevanten Objektes notwendig sind“, beschreiben. Nach BECKER&VOSSEN (1996) repräsentieren „die Geschäftsprozesse einer Unternehmung ihre Geschäftsarten, ergeben sich aus den obersten Sachzielen und weisen zwingend Schnittstellen zu externen Marktpartnern auf“. RUMP (1999) liefert die Definition eines Geschäftsprozesses, der sich für die folgenden Ausführungen angeschlossen werden soll. Demnach ist ein „Geschäftsprozess eine zeitlich und sachlogisch abhängige Menge von Unternehmensaktivitäten, die ein bestimmtes, unternehmensrelevantes Ziel verfolgen und zur Bearbeitung auf Unternehmensressourcen zurückgreifen“ [RUMP 1999].

#### **Geschäftsprozessmodellierung**

Die Beschreibung existierender sowie die Definition neuer Geschäftsprozesse entspricht der Geschäftsprozessmodellierung. Die für diese Arbeit relevanten Ziele einer Geschäftsprozessmodellierung beschreibt RUMP (1999) in Anlehnung an SCHEER&JOST (1996) und JAESCHKE (1996) wie folgt:

- Dokumentation der Unternehmensabläufe

Die Geschäftsprozessmodellierung dient dazu, das Wissen der Mitarbeiter um die über ihr eigenes Arbeitsumfeld hinausgehenden Arbeitsabläufe und deren Zusammenwirken zum Erreichen der Unternehmensziele zu erweitern. Ein weiteres Ziel der Dokumentation kann auch die Schulung neuer Mitarbeiter sein, die auf diese Weise die notwendigen Arbeitsabläufe kennen lernen.

- Geschäftsprozessoptimierung

Die Modellierung der Geschäftsprozesse ist der erste Schritt für das Business Process Reengineering (BPR) (vgl. HAMMER&CHAMPY 1993, DAVENPORT 1993). Die stattfindende Optimierung wird auf Grund der propagierten gesamtheitlichen Sicht nicht mehr nur abteilungsintern, sondern organisationsübergreifend durchgeführt. Im Rahmen der Geschäftsprozessoptimierung können auch Simulationsstudien zur Bewertung der modellierten Geschäftsprozesse durchgeführt werden [GOLDSTEIN 1999, VAN DER AALST&VAN HEE 1995, GIAGLIS&PAUL 1996, JAESCHKE 1996].

- Strategische Informationssystemplanung

Mittels der Geschäftsprozessmodellierung lässt sich planen, welche Bereiche eines Unternehmens sich durch welche Art von Anwendungssystemen unterstützen lassen [SCHEER&JOST 1996]. Die entwickelten Geschäftsprozess-Schemata bilden dann die Grundlage für die Planung und Entwicklung der Informationstechnik im Unternehmen. Neben der Planung strategischer Informationssysteme, dient die Geschäftsprozessmodellierung aber auch der Auswahl und Einführung von Standardsoftware [MEINHARDT 1995, KELLER&TEUFEL 1997, KLOCKHAUS&SCHERUHN 1997], wobei Anbieter von Standardsoftwaresystemen (z.B. SAP) bereits Referenzmodelle (vgl. 3.3.3) von Geschäftsprozess-Schemata für ihre Produkte zur Verfügung stellen.

- Entwicklung von Individual-Software

Falls keine Nutzung von Standardsoftware vorgesehen ist oder die Standardsoftware einen Teil der gewünschten Funktionalität nicht bietet, können Teilprozesse durch neu zu entwickelnde Individual-Software abgedeckt werden. Bei entsprechender Werkzeugunterstützung können die Ergebnisse der Modellierung automatisch in CASE-Werkzeuge (Computer Aided Software Engineering) übernommen werden.

#### 3.3.2 Geschäftsprozessmodelle

Für die Beschreibung der Geschäftsprozesse sind in den vergangenen Jahren eine Reihe von Geschäftsprozessmodellen vorgestellt worden [FERSTL&SINZ 1993, OBERWEIS 1996, KUENG 1996, VOSSEN&BECKER 1996, SCHOLZ-REITER&STICKEL 1996]. RUMP (1999) verwendet bewusst den Begriff Modelle und nicht Methoden, da die Methoden „meist als Oberbegriff für eine definierte Sprache und eine angegebene Vorgehensweise angesehen werden“, während tatsächlich die Modellierungskonstrukte im Vordergrund stehen. Für eine ausführliche Diskussion der am meisten etablierten Geschäftsprozessmodelle sei an dieser Stelle auf ROSEMAN (1996) und RUMP (1999) verwiesen. Im Rahmen dieser Arbeit seien die am meisten verwendeten Geschäftsprozessmodelle genannt und grob umrissen.

- Aufgabenkettendiagramm (PROMET)

Nach der an der Universität St. Gallen entwickelten Methode werden Geschäftsprozesse durch Ablaufspezifikationen dargestellt. Eine Beschreibung von Geschäftsprozessen besteht aus einem Aufgabenkettendiagramm, einem Aufgabenverzeichnis und stellenbezogenen Dokumenten [HESS U.A. 1995, ÖSTERLE 1995].

- Semantisches Objektmodell (SOM)

Das semantische Objektmodell (SOM) wurde von FERSTL&SINZ (1995) zur Modellierung betrieblicher Systeme und zur Spezifikation von Anwendungssystemen entwickelt. Die in dem Objektmodell enthaltene Unternehmensarchitektur ist unterteilt in die Modellebenen Unternehmensplan, Geschäftsprozessmodelle und Anwendungssystemspezifikation. Der Unternehmensarchitektur ist das Vorgehensmodell zur Seite gestellt, das die Modellebenen der Unternehmensarchitektur durch die Bereitstellung von Modellsichten näher beschreibt [FERSTL&SINZ 1995, FERSTL&SINZ 1996].

- Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK)

Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) wurden an der Universität des Saarlandes im Rahmen von ARIS (Architektur integrierter Informationssysteme) entwickelt [SCHEER 1991, KELLER U.A. 1992]. Die Modellarchitektur von ARIS ist unterteilt in die Leistungssicht, die Datensicht, die Funktionsicht und die Organisationssicht. Verbunden werden die verschiedenen Sichten über die Prozesssicht, die als einzige einen dynamisch statischen Charakter aufweist. Die ereignisorientierten Prozessketten werden in der Prozesssicht abgebildet, wobei die Objekte der anderen Sichten jeweils der EPK zugeordnet sind. Mit dem ARIS Tool-Set steht ein umfassendes

Business-Process-Reengineering (BPR)-Werkzeug zur Verfügung, das den Anwender bei der Modellierung und Analyse von Geschäftsprozessen unterstützt.

- Petri-Netz-basierte Modelle

Petri-Netze wurden von Carl Adam Petri unter dem Titel „Kommunikation mit Automaten“ vorgeschlagen [PETRI 1962]. Auf Grund der vorhandenen Formalisierung eignen sich Petri-Netze nur bedingt zur Modellierung von Geschäftsprozessen und dienen eher einer detaillierten Ablaufbeschreibung von Automaten und Informationssystemen. Auf Basis von Petri Netzen ist eine Vielzahl von Erweiterungen vorgenommen worden sowie weiterführende Literatur verfasst, auf die hier verwiesen werden soll [VAN DER AALST&VAN HEEL 1995, OBERWEIS 1995, ZUSE 1980, v. UTHMANN 1998, KELLER&TEUFEL 1997, KUENG 1996, SABBAAH 2000].

- Kommunikations-Struktur-Analyse

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) entwickelt, hat die Kommunikations-Struktur-Analyse (KSA) die rechnergestützte Analyse und Schwachstellenermittlung einer Unternehmensorganisation zum Ziel. Die KSA unterstützt in erster Linie die Reorganisation des Ist-Zustandes und dient nicht der Neuplanung. Die wesentlichen Beschreibungselemente des KSA-Datenmodells sind die Stelle, die Aufgabe, die Information und der Informationsfluss [KRALLMANN 1990, GOLDSTEIN 1999].

- IDEF-Diagramme

Im Rahmen des „Integrated Computer Aided Manufacturing“ (I-CAM)-Programms der US Air Force wurde Ende der 70er Jahre die Integration Definition for Function Modeling (IDEF0) Methode entwickelt. Sie basiert auf der „Structural Analysis and Design Technology (SADT) [GUZIELSKI 1996, NATIONAL INSTITUTE 1993]. IDEF ist in den USA heute ein Standard im Bereich der Geschäftsprozessmodellierung, konnte sich in Europa jedoch nach GADATSCH (1999) und GUZIELSKI (1996) nicht durchsetzen.

#### **3.3.3 Referenzmodelle**

Auf Basis eines der beschriebenen Geschäftsprozessmodelle soll im Rahmen dieser Arbeit ein Referenzmodell für die betriebsbegleitende Prozessplanung mit Hilfe der Virtuellen Produktion entwickelt werden. Referenzmodelle zeichnen sich nach ROSEMAN (1996) im Vergleich zu unternehmensspezifischen Modellen durch einen höheren Anspruch nach Allgemeingültigkeit aus, „den sie durch die Abstraktion

von einzelnen unternehmensspezifischen Modellen und unter Einbezug theoriebasierter Erkenntnisse erzielen.“ SCHÜTTE (1998A) definiert Referenzmodelle als „das Ergebnis einer (gedanklichen) Konstruktion eines Modellierers, der für die Anwendungssystem- und Organisationsgestalter Informationen über allgemeingültig zu modellierende Elemente eines Systems zu einer Zeit als Empfehlung mit einer Sprache deklariert, so dass ein Bezugspunkt für ein Informationssystem geschaffen wird“ (vgl. SCHÜTTE 1998A). SCHERUHN (1998) unterscheidet zwischen Branchen- und Software-Referenzmodellen, die im Bereich der Einführung betriebswirtschaftlicher Standardsoftware (ERP) bereits in größerer Zahl existieren. Die Branchen-Referenzmodelle betonen die unterschiedlichen Abläufe und Anforderungen einer bestimmten Branche und lassen die Auswahl der Software weitestgehend offen, während die Software-Referenzmodelle zumeist von den Systemanbietern für eine leichtere Einführung ihrer Systeme entwickelt wurden. Referenzmodelle stellen eine allgemeingültige Repräsentation des Wissens dar und verfolgen den Zweck, nach der Adaption des Referenzmodells in einem individuellen Kontext eingesetzt werden zu können. Durch den Vorlagencharakter des Modells sollen erhebliche zeitliche und monetäre Einsparungen bei der Prozessmodellierung erzielt werden können [SCHNEIDER 1998]. SCHÜTTE (1998A) diskutiert die möglichen Zielsetzungen für die Erstellung von Referenzmodellen. Demnach kann der Modellersteller eine Forschungsinstitution oder eine ökonomischen Prinzipien unterworfenen Unternehmung sein. Die Ziele können dann das Erkennen der Realität und deren Gestaltung sein (Forschungsinstitution) oder über die Akquisition von Beratungsaufträgen einen Beitrag zur allgemeinen Maxime der Gewinnmaximierung leisten.

#### **Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung**

Für die Gestaltung von Referenzmodellen für Geschäftsprozesse ist die Partizipation von Mitarbeitern aus Fachabteilungen und damit die Anschaulichkeit der Modelle von erheblicher Bedeutung. Nach PRIEMER (1995) sind „die Freiheitsgrade bei der Modellierung von Prozessen so hoch, dass es nicht wahrscheinlich ist, dass zwei Modellierer denselben Ablauf durch identische Prozessketten darstellen.“ Um eine bedarfsgerechte Prozessmodellierung zu ermöglichen und damit auch die Anschaulichkeit und Klarheit der Modelle für die Mitarbeiter in Fachabteilungen zu erhöhen, wurden die Grundsätze der ordnungsgemäßen Modellierung (GoM) entwickelt. Der durch die GoM zur Verfügung gestellte Ordnungsrahmen mit seinen Gestaltungsempfehlungen hat das Ziel, das subjektive Element im Modellentstehungsprozess und die damit induzierte Komplexität zu reduzieren [ROSEMANN 1996, SCHÜTTE 1998A, HARS 1994]. Der Name und das Ziel der GoM ist nach SCHÜTTE (1998) in Anlehnung an die Grundsätze ordnungsgemäßer Buchführung gewählt worden. Die GoM setzen sich aus Zielen und Modellierungskonventionen

zusammen. Die Konventionen sollen Kriterien bereitstellen, anhand derer die Konstruktion von Modellen bewertet werden kann (SCHÜTTE 1998). Innerhalb der GoM werden die folgenden sechs Grundsätze unterschieden:

- Grundsatz der Richtigkeit
- Grundsatz der Relevanz
- Grundsatz der Wirtschaftlichkeit
- Grundsatz der Klarheit
- Grundsatz der Vergleichbarkeit
- Grundsatz des systematischen Aufbaus

Für eine ausführliche Herleitung der Grundsätze sei hier auf ROSEMANN (1998), (1998A) sowie auf SCHÜTTE (1998) verwiesen, der die Grundsätze in Bezug auf die besonderen Anforderungen für die Referenzmodellierung weiterentwickelt.

### 3.3.4 Flexibilität von Prozessmodellen

Der im Vorigen beschriebene Stand der Forschung im Bereich der Prozessmodellierung gründet sich im Wesentlichen auf Arbeiten aus dem Bereich der Wirtschaftswissenschaften bzw. der Wirtschaftsinformatik. Im Vergleich zu den klassischen, im Bereich der betriebswirtschaftlichen Auftragsabwicklung betrachteten Geschäftsprozesse, zeichnen sich produktionstechnische Planungsprozesse durch eine höhere Dynamik, Unsicherheit und Komplexität aus [BRANDER 2000, GAITANAIDES U.A. 1994]. Eine wesentliche Forderung für die Entwicklung von Prozessmodellen zur Unterstützung produktionstechnischer Planungsprozesse ist daher die Flexibilität der Prozessmodelle. Sowohl Entwicklungs- als auch Planungsprozesse sind in ihrer Gesamtheit nur auf einer sehr abstrakten Ebene der Phasenmodelle planbar [GRUNWALD 2002, PAHL&BEITZ 1997]. Aus diesem Grunde existieren in der Forschung verschiedene Ansätze für eine adaptive Konfiguration von Entwicklungs- und Planungsprozessen, die im Wesentlichen innerhalb des Sonderforschungsbereiches 336 der TU München erarbeitet wurden [LINDEMANN U.A. 1999; LINDEMANN 2000]. Ausgehend von diesen Ansätzen entwickeln MURR (1999), BICHLMAIER (2000) und GRUNWALD (2002) Methoden für die flexible Konfiguration integrierter Produktentwicklungs- und Montageprozesse auf Basis von Prozessbausteinen. Grundlage der gewünschten Flexibilisierung der Entwicklungs- und Planungsprozesse ist die Prozessmodularisierung. Die Vorteile der Prozessmodularisierung sind in Tabelle 3-1 dargestellt [GRUNWALD 2002].

Effekte	Vorteile
Abgrenzbarkeit	Relativ autonome Bearbeitung von Teilprozessen
Standardisierbarkeit	Schaffung wieder verwendbarer generischer Standardprozesse
Wiederverwendbarkeit	Rückgriff auf vorhandene Prozesse und Erfahrungen
Kombinierbarkeit	Schnelle flexible Konfiguration von Gesamtprozessen
Erweiterbarkeit	Situative bedarfspezifische Erweiterung der Prozesse
Kontrollierbarkeit	Einfache Erfolgskontrolle durch zurechenbare Leistung
Hierarchisierbarkeit	Ausgliederung oder Detaillierung kritischer Teilprozesse
Prozessstabilität	Veränderungen bleiben auf einzelne Teilprozesse beschränkt

**Tabelle 3-1: Vorteile einer Prozessmodularisierung [Grunwald 2002]**

Unterstützt mit einer Methode zur Implementierung und Rekonfiguration der Prozessbaukästen für unterschiedliche Unternehmen und wechselnde Rand-



bedingungen, lassen sich aus diesen Prozessbausteinen flexible Prozessnetze zur Beschreibung des integrierten Planungsprozesses konfigurieren. Die Methode ist auf die Konfiguration und Beschreibung integrierter Entwicklungs- und Planungsprozesse fokussiert, eine Ausführung bzw. Ablaufsteuerung der beschriebenen Planungsprozesse ist nicht vorgesehen.

### **3.4 Computergestützte Zusammenarbeit**

Eine Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist die Verbindung der Prozessbeschreibung mit der Prozessausführung durch eine prozessorientierte Implementierung der Virtuellen Produktion. Als Basis für die Entwicklung der Systemunterstützung für die Prozessausführung werden im Folgenden bestehende Werkzeuge und Technologien im Bereich der Computergestützten Zusammenarbeit (nachfolgend CSCW für Computer Supported Cooperative Work genannt) vorgestellt. BANNON&SCHMIDT (1989) geben folgende Definition für CSCW:

„CSCW should be conceived as an endeavour to understand the nature and characteristics of cooperative work with the objective of designing adequate computer-based technologies.“

CSCW kann durch eine Vielzahl unterschiedlicher, bereits zur Verfügung stehender Technologien unterstützt werden. Eine Übersicht und Klassifizierung dieser Technologien wird zum Beispiel von THIES (2003) diskutiert. Im Sinne der im Rahmen dieser Arbeit gegebenen Zielsetzung einer weitgehenden Automatisierung des Planungsprozesses, wird im Folgenden aufgrund ihres Charakters der expliziten Koordination der Fokus auf Workflow-Management-Systeme (WMS) gelegt.

#### **3.4.1 Grundlagen**

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung von Geschäftsprozessmodellen ist nach REICHERT (2000), dass sie durch prozessorientierte Anwendungssysteme intelligent und flexibel unterstützt werden. Diese sollen den Anwender ablaufbezogen unterstützen, in dem sie die richtigen Informationen der richtigen Person zum richtigen Zeitpunkt und verknüpft mit der richtigen Anwendungsfunktion aktiv so anbieten, dass die anstehenden Teilaufgaben möglichst effizient durchgeführt werden können [REICHERT 2000, DADAM 2000]. Workflow-Management-Systeme sind nach REICHERT (2000) „eine viel versprechende Technologie zur Realisierung prozessorientierter Anwendungssysteme“.

Für die Definition und Entwicklung von einheitlichen Begriffen und Standards im Bereich des Workflow-Managements wurde die Workflow-Management-Coalition (WFMC) ins Leben gerufen. Aufgabe der WFMC ist es, durch die Identifizierung gemeinsamer Charakteristika von bestehenden Workflow-Lösungen und der darauf aufbauenden Spezifikation von Standards, eine Interoperabilität verschiedener Workflow-Management-Systeme (WMS) zu ermöglichen [WFMC 1999]. Workflow-Management ist laut der Definition der WFMC „die komplette oder teilweise Automatisierung von Prozessen, bei der Dokumente, Informationen und Aufgaben von einem Anwender zum anderen gemäß prozessorientierter Regeln weitergeleitet werden“ [WFMC 1999, S.8]. Für die Entwicklung und Diskussion von WMS wurde das Workflow-Management-Reference-Model entwickelt (Abbildung 3-12).

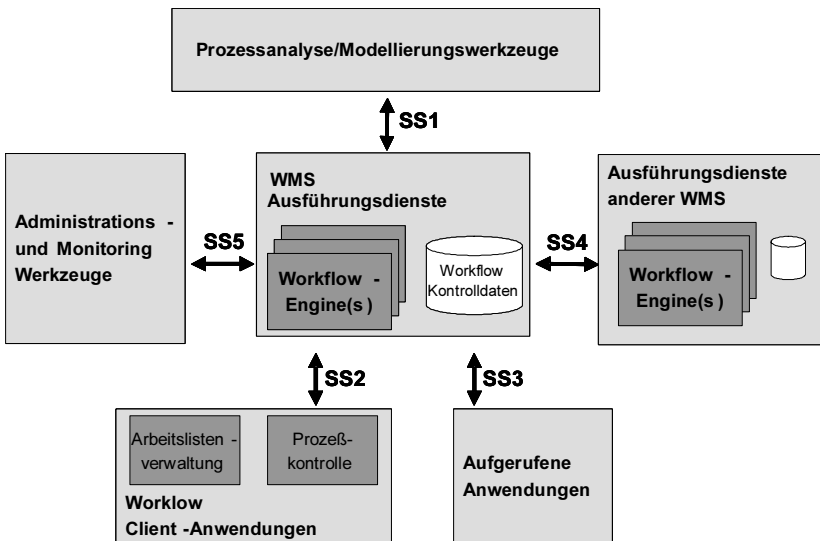


Abbildung 3-12: Das Workflow Reference Model [WFMC 1999]

Den Kern des Referenzmodells bildet der Workflow-Engine, der den Prozessablauf steuert. Dazu kommen Schnittstellen zu den fünf Funktionsbereichen:

- Import und Export von Prozessdefinitionen (SS1),
- Interaktion mit Workflow-Client Applikationen (SS2),
- Einbindung und Ausführung von Anwendungsprogrammen (SS3),

- Anbindung an andere WMS (SS4) und
- Werkzeuge für die Administration und das Monitoring der Workflows (SS5).

Die Ziele und Erwartungen an den Einsatz eines Workflow-Management-Systems unterteilt STEIN (1999) in die Verbesserung der Prozesseigenschaften, der Prozessausführung, des Prozessergebnisses und der Prozessverwaltung. Tabelle 3-2 zeigt eine Detaillierung dieser genannten Oberziele.

<b>Ziele und Erwartungen bezüglich</b>			
<b>Prozesseigenschaften</b>	<b>Prozessausführung</b>	<b>Prozessergebnis</b>	<b>Prozessverwaltung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserte Prozessübersicht</li> <li>• Erhöhte Kontrollierbarkeit</li> <li>• Effizienzsteigerung</li> <li>• Verbesserte Nachweisbarkeit</li> <li>• Erhöhte Auskunftsfähigkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Führung durch den Prozess</li> <li>• Verbesserte Übersicht</li> <li>• Konsistente und vollständige Bearbeitung</li> <li>• Vermeidung von Verzögerungen</li> <li>• Verbesserte Integration der Infrastruktur</li> <li>• Automatisches Anbieten von Applikationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualitätssicherung und -steigerung</li> <li>• Einhaltung von Normen und Gesetzen</li> <li>• Dienstleistungssteigerung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umfassendes Verständnis</li> <li>• Unterstützung bei der Planung</li> <li>• Verbesserte Kommunikation</li> <li>• Erleichterung der Weiterentwicklung</li> <li>• Ausführungsprotokolle</li> </ul>

**Tabelle 3-2: Ziele und Erwartungen für den Einsatz von WMS [Stein 1999]**

Die von STEIN (1999) beschriebenen Ziele und Erwartungen für den Einsatz von Workflow-Management-Systemen decken sich weitestgehend mit den Anforderungen, die derzeit an die Prozessplanung in der Betriebsphase gestellt werden.

### 3.4.2 Einführung von Workflow-Management-Systemen

Da die Einführung eines Workflow-Management-Systems grundsätzlich den Aufgabenbereich mehrerer Personen betrifft und die Integration verschiedener Anwendungssysteme erfordert, ist sie in der Praxis heute meist mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Der Automatisierung der Unternehmensprozesse geht grundsätzlich deren Re-Engineering voraus, das unter Einbeziehung von Beteiligten aus allen betroffenen Unternehmensbereichen und meist mit der Unterstützung externer Berater stattfindet [REIZENSTEIN 1998, LEYMANNS&ROLLER 2000]. Die Idealvorstellung für die Einführung eines automatisierten Workflow-Managements wäre eine einfache Übertragung des im Rahmen des Re-Engineerings entstandenen Prozessmodells „per Knopfdruck“ in ein Anwendungssystem. In der Praxis gestaltet sich die Einführung heute allerdings deutlich aufwändiger, da aus dem in einem BPR-Tool beschriebenen Prozessmodell „per Hand“ das Workflow-Schema in der Workflow-Engine-spezifischen Sprache erzeugt werden muss. Um die Beschreibung der Workflows zu vereinfachen, bieten viele WMS bereits eigene Werkzeuge für die Prozessmodellierung (vgl. Prozessanalyse / Modellierungswerkzeuge Abbildung 3-12).

Die semantischen Anforderungen an ein Geschäftsprozessmodell sind jedoch sehr unterschiedlich im Vergleich zwischen den Anwendern, die den Prozess klar verständlich überblicken müssen und den Automaten (IT-Systemen), durch die sie ausgeführt werden sollen. Die Anwendungsprozesse müssen in einer für das WMS verständlichen Form dargestellt werden [STEIN 1999]. Dazu kommen die unterschiedlichen Sichten des IT-Experten, der den Workflow im System implementiert und der Fachleute, die den Workflow beschreiben und verstehen müssen. Bevor es zur Umsetzung eines Workflows in einer Workflow-Sprache kommt, sind nach STEIN (1999) vorher die folgenden Schritte notwendig, die nicht durch den implementierenden IT-Experten, sondern durch die späteren Anwender durchgeführt werden müssen:

- Erfassung des Ist-Zustandes
- Erstellung einer detaillierten Gesamtbeschreibung
- Optimierung des Ist-Zustandes
- Feststellung der Eignung für das Workflow-Management

Die ersten drei Punkte können durch die in Kapitel 3.3 beschriebenen Methoden und Werkzeuge für die Prozessmodellierung unterstützt werden. Um die generelle

Eignung der Geschäftsprozesse für eine Unterstützung durch ein WMS zu prüfen, bedarf es weiterer Kriterien und Hilfestellungen, die im Folgenden vorgestellt werden. Im Rahmen der in dieser Arbeit zu entwickelnden Methodik soll dieser Frage schon bei der Modellierung und der Abstraktion des Referenzmodells nachgegangen werden. Das wesentliche Kriterium, ob sich ein Geschäftsprozess für die Unterstützung durch Workflow-Management eignet, ist in erster Linie der Vergleich zwischen dem Aufwand zur Erstellung des Workflow-Schemas und dem Nutzen, der durch eine Automatisierung der Teilprozesse generiert werden kann.

Entscheidend für eine erfolgreiche Einführung von Workflow-Management ist die Wahl des richtigen Systems. Aufbauend auf der Vielzahl der existierenden Arten von Workflows und Systemen, mit denen diese automatisiert werden können, unterscheidet REICHERT (2000) vier Kategorien für Workflow-basierte Anwendungen (Abbildung 3-13).

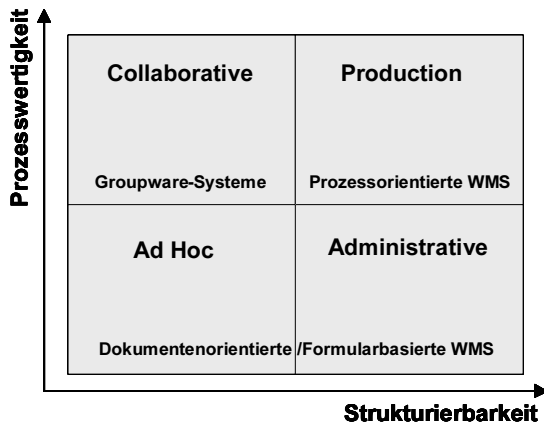


Abbildung 3-13: Kategorien Workflow-basierter Anwendungen [Reichert 2000]

Kriterien für die Unterscheidung der Kategorien sind zum einen die Wertigkeit der Prozesse, also deren Relevanz für die Unternehmensziele und zum anderen die Strukturierbarkeit der Prozesse. LEYMANN&ROLLER (2000) schlagen eine nahezu identische Klassifizierung vor, mit dem Unterschied, dass sie nicht nach der Strukturierbarkeit differenzieren, sondern nach der Wiederholhäufigkeit der Geschäftsprozesse in derselben Struktur [vgl. auch RUMP 1999]. Eine etwas gröbere Klassifizierung ist nachzulesen bei VAN DER AALST&VAN HEE (2002). Sie unterscheiden zwischen unstrukturierten, informationsorientierten Ansätzen im Gegensatz zu strukturierten, prozessorientierten Ansätzen. Wegen des etwas höheren Detaillierungsgrades wird im Rahmen dieser Arbeit die Klassifizierung nach

REICHERT (2000) und LEYMANN&ROLLER (2000) vorgestellt und als Grundlage für die Beschreibung geeigneter Workflow-Kategorien verwendet.

Danach sind **Administrative Workflows** Prozesse, die eine einfache und starre Struktur und eine hohe Verständlichkeit für alle am Prozess Beteiligten aufweisen. Weiterhin spielen sie für den Unternehmenserfolg keine große Rolle. Als ein Beispiel für einen solchen Prozess wird die Reisekostenabrechnung in einem Unternehmen genannt [LEYMANN&ROLLER 2000].

Der Ablauf von **Ad-Hoc-Workflows** ist nicht bekannt und wird erst kurzfristig bei der Durchführung des Prozesses festgelegt. Somit ist jede Instanz eines Ad-Hoc-Workflows verschieden und wird unterschiedlich gehandhabt. Damit lassen sich Ad-Hoc-Workflows auch am schwierigsten automatisieren.

**Collaborative Workflows** haben eine hohe Wertigkeit für das Unternehmen bei gleichzeitig geringer Strukturierbarkeit und geringer Wiederholhäufigkeit. Es ist in der Regel eine große Personenzahl beteiligt, die zusammen einen Vorgang bearbeitet. Collaborative Workflows weisen in der Regel keine starren Strukturen auf, ein Beispiel für einen kollaborativen Workflow könnte die Planung eines Projektes durch mehrere Mitarbeiter sein.

**Produktions-Workflows** sind durch eine starke Strukturiertheit und einen hohen Geschäftswert für das Unternehmen geprägt. Eine hohe Performanz eines zu implementierenden WMS ist daher von besonderer Bedeutung. Die erzielbaren Nutzenpotenziale sind bei Produktions-Workflows besonders hoch.

Abhängig von den genannten Workflow-Kategorien existieren verschiedene WMS, die zu deren Implementierung geeignet sind (Abbildung 3-13). Unterscheidungsmerkmal für diese ist die Art und Weise, in der Workflow-Aktivitäten durch das WMS koordiniert werden [REICHERT 2000, REINWALD 1993, SCHWAB 1996, SCHULZE&BÖHM 1996].

- **Prozessorientierte (Vorgangorientierte) Koordinationsmodelle und WMS**

Bei den prozessorientierten WMS orientiert sich die Modellbildung am Gesamtprozess und dessen Teilschritten. Für die WF-Modellierung werden graphische Beschreibungssprachen und Editoren verwendet, bei denen WF-Modelle durch gerichtete Graphen dargestellt werden, in denen die Aktivitäten mit den dazugehörigen Daten- und Kontrollflüssen dargestellt sind. Aktivitäten werden entweder direkt einem Anwendungsprogramm zugeordnet oder sie werden wei-

ter verfeinert. Für die Modellierung eignet sich daher eine Top-Down-Vorgehensweise.

- **Dokumenten- / Formularbasierte WMS**

**Objektmigrationsmodelle:** Bei Objektmigrationsmodellen steht die Steuerung des Dokumentenflusses im Vordergrund. Die Vorgänge werden aus Sicht eines Dokumentes oder einer Menge von Dokumenten modelliert, die in Form einer Umlaufmappe von einem Bearbeiter zum nächsten wandern. Da hierbei jeweils nur ein Dokument koordiniert werden kann, ist die Komplexität der beschreibbaren Abläufe von vornherein stark begrenzt.

**Koordinationsmodelle und formularbasierte WMS:** Die Koordination der Vorgangsbearbeitung erfolgt durch die Anzeige von Bearbeitungsstati innerhalb eines von mehreren Anwendern gemeinsam genutzten Datenbereichs. Dabei wird zum Beispiel das Abschließen einer Teilaufgabe durch den Bearbeiter gemeldet und gleichzeitig festgelegt, wer die nachfolgende Teilaufgabe durchführen soll. Eine Möglichkeit für den gemeinsam genutzten Datenbereich kann eine Dokumentendatenbank sein.

- **Groupware-Systeme**

Unter Groupware kann allgemein Software zur Unterstützung von Aspekten der CSCW verstanden werden, wobei keine einheitliche Definition des Begriffes Groupware existiert [vgl. THIES 2003, BORNSCHEIN-GRASS 1995]. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff im Sinne der von OBERQUELLE (1991) gegebenen Definition verwendet. Demnach ist Groupware „Mehrbenutzer-Software, die zur Unterstützung von kooperativer Arbeit entworfen und genutzt wird und die es erlaubt, Informationen und (sonstige) Materialien auf elektronischem Wege zwischen den Mitgliedern einer Gruppe koordiniert auszutauschen oder gemeinsam Materialien in gemeinsamen Speichern zu koordinieren“ [OBERQUELLE 1991, S. 34]. Im Gegensatz zu WMS erfolgt die Koordination der Geschäftsprozesse nicht automatisiert durch einen Workflow-Engine, sondern e-Mail-basiert.

Als weiteres Entscheidungskriterium für die Auswahl eines WMS plädiert SCHWAB (1996) für eine Unterscheidung nach der Softwarearchitektur der verschiedenen WMS. Andere Autoren nennen die Entstehungsgeschichte und die Enge der Integration mit den jeweiligen Applikationen als Kriterien zur Differenzierung der WMS [SCHULZE&BÖHM 1996, VAN DER AALST&VAN HEE 1995].

Bezüglich der Softwarearchitektur liegen die hauptsächlichsten Unterschiede der eingesetzten Systeme in der Realisierung der Kommunikationsmechanismen. Es kann im Wesentlichen zwischen e-Mail- und datenbankbasierten Systemen unterschieden werden [SCHWAB 1996, ABBOTT&SARIN 1994]. Systeme, die auf e-Mail als Transportmedium aufsetzen, sind technisch einfacher realisierbar und universaler z.B. standortübergreifend einsetzbar. Die technischen Grenzen dieser Systeme ergeben sich bei der Fehler- und Ausnahmebehandlung und in Bezug auf das Controlling des Ablauffortschrittes. E-Mail basierte Systeme eignen sich daher auch eher für schwach formalisierte Workflows mit vorgangs- oder konversationsstrukturierten Koordinationsmodellen. Datenbankbasierte Systeme bieten im Gegensatz dazu deutlich mehr Funktionalitäten bei der Vorgangsabwicklung und der Verfahrenssicherheit. Für die Kommunikation nutzen sie einen oder mehrere Datenbereiche und sind in der Regel in einer Client/Server-Architektur oder auf verteilten Datenbank Management Systemen (DBMS) realisiert.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die drei entscheidenden Kriterien für die Auswahl eines Workflow-Management-Systems die Strukturiertheit, die Wiederholhäufigkeit und die Wertigkeit der Prozesse gemessen an den Unternehmenszielen sind. Je höher die Strukturierbarkeit und Wiederholhäufigkeit einzelner Prozesse sind, desto höher ist auch das Automatisierungspotenzial. Um produktionstechnische Planungsprozesse für eine Automatisierung durch ein WMS zu qualifizieren, ist zum einen durch Modularisierung die Strukturierbarkeit und in Bezug auf einzelne Prozessmodule die Wiederholhäufigkeit zu erhöhen und zum anderen der Implementierungsaufwand für die Prozessmodelle durch deren automatische Überführung in ein Workflow-Schema zu vereinfachen.

#### **3.4.3 Kombination Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management**

Um den Aufwand zur Generierung des Workflow-Schemas zu vereinfachen, wird die Kombination von Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management von einer Reihe Autoren diskutiert und als sinnvoll erachtet [vgl. AMBERG 1995, GALLER&SCHEER 1995, JABLONSKI U.A. 1997, RUMP 1999, GADATSCH 1999]. RUMP (1999) bezeichnet die Kombination der beiden Ansätze als Geschäftsprozessmanagement, welches die Modellierung, Analyse und Ausführung von Geschäftsprozessen umfasst. Dabei wird von einer direkten Umsetzung der modellierten Geschäftsprozesse in prozessorientierte Anwendungssysteme ausgegangen. Ist eine automatisierte Umsetzung eines Geschäftsprozesses in ein Workflow-Schema möglich, verschiebt sich das Nutzen-Aufwand-Verhältnis zur Einführung



eines WMS, da der hohe Aufwand zur Generierung des WF-Schemas vermieden werden kann. Nach RUMP (1999) stellt das Problem des Geschäftsprozessmanagements weniger die Beschreibung des Geschäftsprozesses auf beiden Ebenen, sondern eher den Übergang zwischen diesen Ebenen dar (Abbildung 3-14).

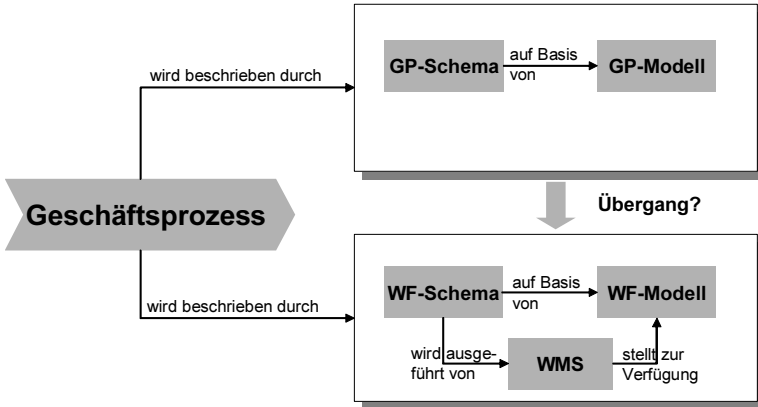


Abbildung 3-14: Geschäftsprozess- und Workflow-Ebene [Rump 1999]

Eine Lösung, um diesen Übergang zu ermöglichen, wäre das Geschäftsprozess-Schema (GP-Schema) direkt auf Basis des Workflow-Modells (WF-Modell) im Process Definition Tool des Reference Models (vgl. Abbildung 3-12) der WFMC zu erstellen. Gegen diese Lösung spricht, dass die Semantik eines Workflow-Modells auf Grund der notwendigen Ausführbarkeit der beschriebenen Geschäftsprozesse meist wenig intuitiv und damit für die Modellierung und das Re-Engineering der Geschäftsprozesse ungeeignet ist. Um die modellierten Soll-Prozesse trotzdem mit wenig Modellierungsaufwand in ausführbare Workflows übertragen zu können, sind daher strukturierte Vorgehensweisen notwendig, wie sie zum Beispiel aus dem Software-Engineering bekannt sind [STEIN 1999]. DEHNERT (2002) betont die Notwendigkeit, Geschäftsprozesse nicht nur abbilden, sondern auch analysieren, optimieren und automatisch ausführen zu können. Dazu wird ein 5-Stufen-Modell vorgestellt, mit dem in fünf Schritten Ereignisgesteuerte Prozessketten in Petri-Netze und schließlich in das Steuerungsmodell des Workflow-Engine transformiert werden. RUMP (1999) stellt zwei verschiedene Ansätze für ein durchgängiges Geschäftsprozessmanagement vor:

- Der **sequentielle Ansatz** sieht die Modellierung auf der Geschäftsprozess-ebene vor. Aufbauend auf diesen Modellen findet anschließend die Workflow-Modellierung statt, wobei die Geschäftsprozessmodelle um

Workflow-spezifische Informationen erweitert werden. Der Nachteil dieses Ansatzes liegt in der Redundanz der Geschäftsprozesse als GP-Schema und als WF-Schema. Änderungen am Workflow-Schema werden nicht automatisch im Geschäftsprozess-Schema übernommen, wodurch Inkonsistenzen entstehen können. Eine Anforderung zur Realisierung eines durchgängigen Geschäftsprozessmanagements mit Hilfe des sequentiellen Ansatzes ist daher auch eine automatische Transformation des Geschäftsprozess-Schemas in ein Workflow-Schema [RUMP 1999].

- Beim **integrierten Ansatz** wird das Geschäftsprozess-Schema direkt um Informationen, die für die Ausführung benötigt werden, angereichert. Auf beiden Ebenen wird also das gleiche Schema genutzt und sämtliche Schemata in einer gemeinsamen Bibliothek verwaltet. Bei einem integrierten Ansatz können dadurch Schwierigkeiten bei der Geschäftsprozessmodellierung entstehen, da die zu verwendenden Schemata für Nicht-IT-Experten zu komplex erscheinen könnten.

Als Beispiel für ein Geschäftsprozessmanagement nach dem sequentiellen Ansatz sei hier auf AMBERG (1995), DERSZTELER (1995, 1996) und DEHNERT (2002) verwiesen. Beispiele für einen integrierten Ansatz des Geschäftsprozessmanagements sind bei DESEL&OBERWEIS (1996) und RUMP (1999) zu finden. Darüber hinaus sei hier auf die Arbeiten von NÜTTGENS&ZIMMERMANN (1998) sowie PODOLSKY (2000) verwiesen. Für bestimmte ERP-Systeme existieren Schnittstellen für eine Online-Kopplung der unternehmens- und softwarespezifischen Referenzmodelle in der Prozessmodellierungsumgebung und dem Anwendungssystem. Dabei besteht auch die Möglichkeit der Anbindung externer WMS [SCHERUHN 1998].

### 3.5 Zusammenfassung und Fazit

In Kapitel 2.4 wurden drei verschiedene Handlungsfelder definiert:

- Vorgehensmodell für eine betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage,
- Unterstützung der Prozessplanung durch die Virtuelle Produktion und
- Automatisierung des Planungsprozesses.

Ausgehend von diesen Handlungsfeldern wurden in Kapitel 3 die in Tabelle 3-3 aufgeführten Forschungsinhalte identifiziert und deren Erfüllung durch vorliegende Arbeiten bewertet.

	Vorgehen für die Montageplanung	Vorgehen für die betriebsbegleitende Prozessplanung	Systemunterstützung für die Prozessplanung	Virtuelle Produktion für die Prozessplanung	Modellierung produktions-technischer Planungsprozesse	Flexible Konfiguration von Planungsprozessen	Automatisierung von Planungsprozessen	Integration von Prozessbeschreibung und Prozessführung
Bullinger 1986	●	◐	◐	○	○	○	○	○
Krüger 2004	●	●	○	○	○	○	○	○
Feldmann 1997	●	○	◐	◐	○	◐	○	○
Cuiper 2000	●	○	◐	◐	○	○	○	○
Murr 2000	●	○	○	○	●	◐	○	○
Grunwald 2002	●	○	○	○	●	●	○	○
Bichlmaier 2000	●	○	○	○	●	◐	○	○
Walter 2003	●	○	◐	◐	○	○	○	○
Amman 1994	○	○	◐	○	○	○	○	○
Roßgoderer 2002	◐	○	◐	◐	○	○	○	○
Loferer 2002	◐	○	◐	○	○	○	○	○
Jonas 2000	◐	○	◐	○	○	○	○	○
Franke 2003	◐	○	◐	◐	○	○	○	○
Goldstein 1999	○	○	◐	○	●	○	○	○
Rump 1999	○	○	○	○	◐	○	◐	●
Rosemann 1996	○	○	○	○	◐	○	◐	○
Schütte 1998	○	○	○	○	◐	○	◐	○
Reichert 2000	○	○	○	○	◐	○	◐	●
Stein 1999	○	○	○	○	◐	○	◐	○
Dehnert 2002	○	○	○	○	◐	○	◐	●
Anberg 1996	○	○	○	○	◐	○	◐	●
Derszteller 1996	○	○	○	○	◐	○	◐	●

Legende: ○ = kein Beitrag   ◐ = bedingt erfüllt   ● = weitgehend erfüllt

Tabelle 3-3: Stand der Forschung für die Entwicklung der Methodik

In der Literatur sind verschiedene Arbeiten vorhanden, die sich mit den Aufgaben und dem Vorgehen für die Montageplanung befassen. BULLINGER U.A. (1986) betrachten in ihrer Systematik zwar auch die betriebsbegleitende Prozessplanung, entwickeln hierfür jedoch keine eigene Vorgehensweise. Es werden von verschiedenen Autoren einzelne Werkzeuge beschrieben, die sich für die Systemunterstützung in der Prozessplanung eignen, es fehlt jedoch eine durchgängige Beschreibung und Zuordnung dieser Werkzeuge zu den einzelnen Schritten des im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Planungsprozesses. Die in Kapitel 3.1.3 genannten Vorarbeiten für die Planung flexibler Montagesysteme können später als Ergänzung für die zu entwickelnde Methodik gesehen werden. Wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, setzt das von KRÜGER 2004 für die Betriebsphase beschriebene Vorgehen jedoch voraus, dass die bestehende Montagelinie bereits entsprechend der Methodik geplant wurde, wovon bei den in dieser Arbeit betrachteten Szenario nicht auszugehen ist. Langfristig kann das von KRÜGER 2004 beschriebene Vorgehen jedoch in das in dieser Arbeit zu entwickelnde Referenzmodell für die betriebsbegleitende Prozessplanung integriert werden.

Gleiches gilt für die Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion, die in einzelnen Arbeiten beschrieben, jedoch nicht einem Vorgehen für die Prozessplanung zugeordnet werden. Für die Modellierung produktionstechnischer Planungsprozesse kann auf eine Reihe von Vorarbeiten aus dem Bereich der Geschäftsprozessmodellierung zurückgegriffen werden. Die modulare und rekonfigurierbare Beschreibung des Vorgehensmodells wird auf den bestehenden Arbeiten für die flexible Konfiguration von Planungsprozessen aufbauen. Vorarbeiten für die Automatisierung des Planungsprozesses existieren im Bereich des Workflow-Managements bzw. des Geschäftsprozessmanagements. Ein Einsatz der dort erarbeiteten Methoden und Werkzeuge im Bereich produktionstechnischer Planungsprozesse ist bisher nicht bekannt. Für die Integration der Prozessbeschreibung mit der Prozessausführung wird auf die in Kapitel 3.4.3 genannten Arbeiten aufgebaut.

Zusammenfassend lässt sich für die Unterstützung der Prozessplanung durch die Virtuelle Produktion feststellen, dass bisher keine einheitlichen Werkzeuge und Vorgehensweisen für die betriebsbegleitende Bewertung laufender Produktionssysteme existieren. An die Virtuelle Produktion ist die Erwartung geknüpft, produktionstechnische Planungsprozesse zu unterstützen und zu beschleunigen. Diese Erwartung wird derzeit für die betriebsbegleitenden Planungsprozesse in der Serienphase nicht erfüllt, da die im Produktionslebenszyklus erzeugten Planungsdaten nicht durchgängig digitalisiert und weitergenutzt werden. Voraussetzung dafür

ist eine detaillierte Ablaufbeschreibung der innerhalb der Prozessplanung notwendigen Planungsschritte und -tätigkeiten. Die existierenden Modelle der Geschäftsprozessmodellierung bieten eine bewährte Grundlage, Planungsprozesse zu beschreiben und eine geeignete IT-Unterstützung zuzuordnen. Um die durch eine höhere Dynamik gekennzeichneten produktionstechnischen Planungsprozesse mit aus der betriebswirtschaftlichen Auftragsabwicklung stammenden Geschäftsprozessmodellen abbilden und unterstützen zu können, müssen Möglichkeiten für eine flexible, rekonfigurierbare Modellierung der Planungsprozesse geschaffen werden.



---

## 4 Anforderungen an die Methodikentwicklung

Ausgehend von dem im Vorigen beschriebenen Handlungsbedarf und dem Stand der Forschung werden im Folgenden die Anforderungen an die Methodik definiert. Diese beziehen sich zum einen auf den Einsatz und zum anderen auf die Einführung der Methodik.

### 1. Vorgehen für die betriebsbegleitende Prozessplanung

Aufbauend auf den bestehenden Ansätzen aus der Montageplanung muss eine Vorgehensweise für die betriebsbegleitende Bewertung alternativer Produktionszenarien für bestehende Montagelinien entwickelt werden.

### 2. Zuordnung der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion

Den einzelnen Schritten des Vorgehensmodells sind die jeweils geeigneten Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion zuzuordnen.

### 3. Methode zur Definition des Vorgehensmodells

Die wichtigste Herausforderung für den Einsatz der Methodik ist die Beherrschung der Komplexität des Planungsprozesses. Das zu entwickelnde Referenzmodell des Planungsprozesses muss daher durch die Darstellung verschiedener Hierarchieebenen und Sichten die notwendige Transparenz aufweisen, um in der Realität anwendbar zu bleiben. Da die zu beschreibenden Planungsprozesse in der Realität nicht jedes Mal identisch ablaufen, muss das Vorgehensmodell flexibel für unterschiedliche Anwendungsfälle innerhalb der Prozessplanung rekonfigurierbar sein. Für die Modellierung ergibt sich daraus die Anforderung nach einer Modellierungsmethode, welche einerseits mächtig und umfangreich genug ist, alle notwendigen Details für die systemtechnische Umsetzung des Vorgehensmodells zu beschreiben und andererseits durch eine intuitive Modellierungstechnik die Einbeziehung der Fachexperten in den Modellierungsprozess zu ermöglichen. Die Wirkzusammenhänge zwischen den einzelnen Planungsschritten, den dafür verantwortlichen Bearbeitern, sowie den dafür benötigten Daten und Informationssystemen müssen durch die Modellierung deutlich gemacht werden können. Die geforderte Flexibilität bezieht sich in erster Linie auf die Automatisierung des Planungsprozesses. Bei deren Umsetzung muss das Optimum zwischen einer weitgehenden Automatisierung auf der einen Seite und der flexiblen Anwendbarkeit für verschiedene Planungsprozesse auf der anderen Seite erreicht werden.

### 4. Systemunterstützung für den Planungsprozess

Dem Vorgehensmodell ist eine geeignete Systemunterstützung zur Seite zu stellen. Die Systemunterstützung dient zum einen der Automatisierung des Planungsprozesses und zum anderen gewährleistet sie die Einhaltung der definierten Vorgehensweise für die Prozessplanung.

### 5. Integration von Prozessbeschreibung und Prozessausführung

Ein Ziel für den Einsatz der Methodik ist es, zukünftige Planungsprozesse so definiert durchzuführen, dass Informationen nur innerhalb des vorgegebenen Prozessmodells generiert und gespeichert werden und damit jederzeit wieder verwendbar sind. Dazu muss die zu entwickelnde Methodik Mechanismen bereitstellen, welche die Anwendung und Umsetzung des vorgegebenen Planungsprozesses garantieren, ohne die für die Prozessplanung erforderliche Kreativität und Flexibilität einzuschränken. Es muss also eine Verbindung zwischen der Prozessbeschreibung und der Prozessausführung geschaffen werden. Neben der Einhaltung des Prozessmodells geht es bei der Automatisierung des Planungsprozesses zusätzlich um die Entlastung des Planers von Routinetätigkeiten. Diese Routinetätigkeiten, bei denen es in der Regel um die Beschaffung und Aufbereitung von Daten geht, können in einem automatisierten Planungsprozess automatisch ausgelöst (initiiert) und durchgeführt werden. Voraussetzung für die Automatisierung ist, dass sich die Planungsschritte durch allgemein gültige Regeln abbilden lassen, die es ermöglichen, die zugrunde liegende Logik in einem Programm abzubilden.

### 6. Skalierbare Einführung

Um mit überschaubarem Aufwand einen Nutzen generieren zu können, ist für die Einführung der Methodik die Möglichkeit einer skalierbaren Einführung vorzusehen. In Abhängigkeit von der vorhandenen Systemlandschaft und der Komplexität der Planungsprozesse muss es möglich sein, die Methodik schrittweise für einzelne Bereiche eines Unternehmens einzuführen, ohne die bestehende Systemlandschaft komplett ablösen zu müssen.

### 7. Erweiterbarkeit

Gemäß der in Kapitel 2.3 beschriebenen Realisierung der Virtuellen Produktion als Gesamtheit einzelner Referenzmodelle muss die Methodik für weitere Anwendungsfälle erweiterbar sein. Sowohl für die Modellierung des Referenzmodells als auch für die Entwicklung des Systementwurfs muss daher soweit möglich auf bestehenden Standards und Softwarewerkzeugen aufgesetzt werden, um eine spätere breite Einsetzbarkeit der Methodik zu gewährleisten.



## 5 Methodik für eine betriebsbegleitende Prozessplanung

Aufbauend auf dem Stand der Forschung und Technik und den im Vorigen dargestellten Anforderungen wird in diesem Kapitel die Methodik für eine betriebsbegleitende Prozessplanung mit Hilfe der Virtuellen Produktion entwickelt.

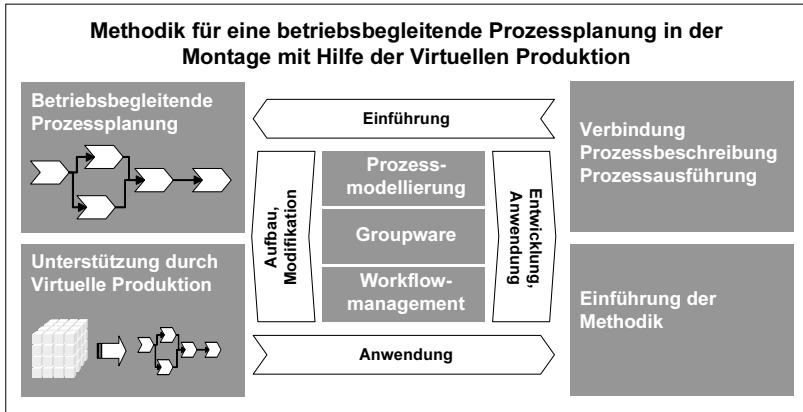


Abbildung 5-1: Überblick der Methodik

Abbildung 5-1 ist aus der in Kapitel 2.1 vorgestellten Definition des Begriffs Methodik abgeleitet und zeigt die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnden Bestandteile.

Aufbauend auf den in Kapitel 3.3 beschriebenen Ansätzen des Geschäftsprozessmanagements wird eine Methode zur Verbindung der Prozessbeschreibung mit der Prozessausführung entwickelt. Dazu wird in Kapitel 5.1 das Vorgehen zur Prozessmodellierung definiert. Bezogen auf die geplante Verbindung der Prozessbeschreibung mit der Prozessausführung werden die im Rahmen der Methodik bestehenden Anforderungen an die Prozessmodellierung analysiert. Auf Basis der Anforderungen wird als Geschäftsprozessmodell die Ereignisorientierte Prozesskette (EPK) von SCHEER (1991) ausgewählt und das existierende Metamodell der EPK bezogen auf die Anforderungen der Methodik eingegrenzt.

Die als Bestandteile der Methodik zu entwickelnden Modelle sind zum einen ein Referenzmodell für die betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage und zum anderen die Zuordnung der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produkti-

on. Die Entwicklung des Referenzmodells geschieht in Kapitel 5.2 untergliedert nach der Funktions-, Organisations-, Daten- und Steuerungssicht.

Neben den genannten Modellen und Methoden werden als weitere Bestandteile der Methodik geeignete Hilfsmittel und Werkzeuge in Form eines Systementwurfs beschrieben (5.3). Dazu wird zunächst die bestehende Organisation in der Prozessplanung diskutiert, um daraus die Möglichkeiten für eine skalierbare Einführung der Methodik abzuleiten. In Abhängigkeit von der bestehenden Organisation werden zwei verschiedene Systementwürfe entwickelt, die entweder eine Groupware-basierte oder eine Workflow-basierte Implementierung vorsehen.

In Kapitel 5.4 wird als weitere Methode die Einführungsstrategie für die Methodik entwickelt.

### **5.1 Vorgehen zur Prozessmodellierung**

#### **5.1.1 Anforderungen an die Prozessmodellierung**

Die wesentliche Motivation für die Entwicklung eines Referenzmodells im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist die Schaffung eines generischen Ablaufschemas für den Planungsprozess, das für verschiedene Unternehmen angewendet werden kann und auf dessen Basis mit wenig Aufwand unternehmensspezifische Prozessmodelle abgeleitet werden können. Neben den inhaltlichen Anforderungen in Bezug auf Richtigkeit und Vollständigkeit ergeben sich dadurch vor allem auch sehr hohe Anforderungen an die Auswahl der Beschreibungssprache und -methode. Das Referenzmodell muss nachvollziehbar sein für Anwender, die an dessen Erstellung nicht beteiligt gewesen sind und die auf Grund ihrer unternehmensspezifischen Sicht auch zum Teil unterschiedliche Begrifflichkeiten verwenden.

Ein weiteres Ziel der im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnden Methodik ist die Ausführungsunterstützung des beschriebenen Planungsprozesses. Das zu entwickelnde Referenzmodell muss also nicht nur für unterschiedlich qualifizierte Anwender nachvollziehbar sein, sondern sich auch mit geringem Aufwand hinsichtlich einer automatisierten Ausführung formalisieren lassen.

Die beschriebenen Randbedingungen stellen hohe Anforderungen sowohl an die Auswahl eines geeigneten Geschäftsprozessmodells als auch an das Vorgehen zur Modellierung. Die in Kapitel 3.3.3 genannten Grundsätze der ordnungsgemäßen

Modellierung (GoM) werden im Folgenden in Bezug auf die zu entwickelnde Methodik für eine betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage konkretisiert:

### **Grundsatz der Richtigkeit**

Der Grundsatz der Richtigkeit lässt sich in die semantische und die syntaktische Richtigkeit unterteilen. Syntaktisch richtig ist ein Modell, wenn es vollständig und konsistent gegenüber seinem Metamodell ist. Syntaktisch vollständig, wenn in dem Modell keine methodischen Konstrukte fehlen. Semantisch richtig ist es, wenn die enthaltenen Konstrukte korrekt verwendet werden.

Um die syntaktische Richtigkeit gewährleisten zu können, muss die Modellierungstechnik die Möglichkeit bieten, alle für das Referenzmodell benötigten Konstrukte zu beschreiben. Sie ist nicht von der Auswahl der Modellierungsmethode abhängig sondern nur von deren Anwendung. Innerhalb des Referenzmodells dürfen im Sinne der syntaktischen Richtigkeit nur Objekte verwendet werden, die auch innerhalb des Metamodells der Modellierungsmethode enthalten sind. Die syntaktische Richtigkeit fordert auch, dass alle durch das Metamodell bereitgestellten Objekte für das Modell verwendet werden. Die syntaktische Richtigkeit kann durch ein Modellierungstool unterstützt werden, indem bei der Modellierung nur vordefinierte, im Metamodell enthaltene Objekte verwendet werden können. Die semantische Richtigkeit kann nur bedingt durch das Modellierungswerkzeug gewährleistet werden. In erster Linie ist der Anwender gefragt, der über das nötige Wissen zur semantisch korrekten Anwendung der vorhandenen Konstrukte verfügen muss.

### **Grundsatz der Relevanz**

Der Grundsatz der Relevanz zielt ausschließlich auf die Auswahl der zu modellierenden Geschäftsprozesse ab und hat überschaubare Prozessmodelle und einen vertretbaren Modellierungsaufwand zum Ziel. Die Einhaltung des Grundsatzes der Relevanz hängt nicht von der auszuwählenden Modellierungssprache oder -methode ab, sondern von der Definition des Betrachtungsgegenstandes, der innerhalb eines Referenzmodells dargestellt werden kann. In Bezug auf die zu entwickelnde Methodik erfordert der Grundsatz der Relevanz eine genaue Untersuchung, welche Planungsschritte und Tätigkeiten für die betriebsbegleitende Prozessplanung relevant sind und welche nicht.

### **Grundsatz der Wirtschaftlichkeit**

Der Grundsatz der Wirtschaftlichkeit steht in Wechselwirkungen mit den anderen fünf Grundsätzen, deren Erfüllung in Abhängigkeit von der Wirtschaftlichkeit erfolgen muss. Darüber hinaus fordert der Grundsatz der Wirtschaftlichkeit soweit möglich die Verwendung von Referenzmodellen, die Wiederverwendung von Mo-

dellbausteinen und die Nutzung eines effizienten Modellierungstools. Als wesentliche Anforderung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit kann die Rekonfigurierbarkeit des zu entwickelnden Referenzmodells abgeleitet werden.

### **Grundsatz der Klarheit**

Der Grundsatz der Klarheit kann auch als eine Erhöhung der Kundenorientierung der Informationsmodellierung interpretiert werden. Es wird allerdings betont, dass der Nutzen, der aus der Aufdeckung eines möglichen Missverständnisses resultieren würde, größer sein muss, als die Aufwendungen, um die hierfür notwendige Klarheit herbeizuführen. Aus diesem Grundsatz ergibt sich in erster Linie die Anforderung an die Modellierungsmethode, die transparent und nachvollziehbar sein muss und trotzdem eindeutig.

### **Grundsatz der Vergleichbarkeit**

Der Grundsatz der Vergleichbarkeit fordert das Vorhandensein von geeigneten Konventionen für die Modellierung, die eine gleichzeitige Erstellung des Prozessmodells von mehreren Anwendern und das spätere Zusammenfahren dieser Teilmodelle ermöglichen. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass an der Prozessmodellierung in der Regel mehrere Personen beteiligt sind und die getrennt voneinander entwickelten Modelle sich einfach konsolidieren lassen müssen. Der Grundsatz der Vergleichbarkeit sollte durch die Entwicklung eines Referenzmodells erfüllt sein, sofern dies mit Hilfe einer bekannten Modellierungsmethode erstellt worden ist. Eine wesentliche Anforderung, um die Vergleichbarkeit des Prozessmodells zu gewährleisten, ist der Einsatz einer weit verbreiteten und damit etablierten Modellierungsmethode, um nach Möglichkeit auf bereits bestehenden Prozessmodellen aufbauen zu können.

### **Grundsatz des systematischen Aufbaus**

Der Grundsatz des systematischen Aufbaus fordert ein sichtenübergreifendes Metamodell, das zum einen die getrennte Betrachtung des Prozessmodells aus verschiedenen Sichten ermöglicht und zum anderen Objektklassen bereitstellt, welche die Integration der verschiedenen Sichten ermöglichen. Der Grundsatz des systematischen Aufbaus beschränkt sich allerdings nicht nur auf die durch das Metamodell unterschiedenen Sichten. Darüber hinaus ergibt sich gerade bei umfangreichen Prozessmodellen die Anforderung, diese in Teilmodelle zu abstrahieren, um eine Übersichtlichkeit des Gesamtprozesses gewährleisten zu können.

Tabelle 5-1 fasst die wesentlichen Anforderungen an die Prozessmodellierung zur Entwicklung des Referenzmodells aus Sicht der GoM zusammen.

<b>Grundsatz</b>	<b>Anforderung an die Modellierungs-Methode</b>
Der Richtigkeit	Existenz eines Metamodells; Mechanismen zur Prüfung der semantischen und syntaktischen Richtigkeit (Plausibilitätsprüfung); Unterstützung durch Modellierungstool
Der Relevanz	Keine Anforderung
der Wirtschaftlichkeit	Effizienz; Möglichkeit zur Definition von Referenzmodellen / Modellbausteinen
Der Klarheit	Darstellbarkeit von Hierarchien und Sichten
der Vergleichbarkeit	Existenz geeigneter Konventionen; Verbreitung der Modellierungsmethode
des systematischen Aufbaus	Sichtenübergreifendes Metamodell

**Tabelle 5-1: Anforderungen an die Modellierungs-Methode**

Zusätzlich zu den aus den GoM abgeleiteten Anforderungen liegt eine wesentliche Anforderung in der Automatisierung des Prozessmodells. Das Geschäftsprozessmodell muss also eine geeignete Grundlage für eine weitere Formalisierung in Richtung eines Workflow-Schemas bilden.

### **5.1.2 Auswahl eines Geschäftsprozessmodells**

Ausgehend von den beschriebenen Anforderungen an die Prozessmodellierung, wurden die in Kapitel 3.3.2 genannten Geschäftsprozessmodelle auf deren Eignung für die zu entwickelnde Methodik untersucht. Für die Bewertung der einzelnen Modellierungstechniken an Hand der definierten Anforderungen wurde auf in der Literatur vorhandene Diskussionen der verschiedenen Modellierungstechniken zurückgegriffen [AMBERG 1995; BECKER&VOSSEN 1996; DEHNERT 2002; KELLER U.A. 1992; KLINGER & WENZEL 2000; KLOCKHAUS&SCHERUHN 1997; NÜTTGENS & ZIMMERMANN 1998; RUMP 1999; SCHERUHN 1998; STEIN 1999; v. UTHMANN 1998, GADATSCH 1999].

	Existenz eines Metamodells	Unterstützung durch Modellierungswerkzeug	Methoden zur Plausibilitätsprüfung	Möglichkeit zum Anlegen von Referenzmodellen	Darstellbarkeit von Hierarchien und Sichtweisen	Verbreitung der Methode	Existenz geeigneter Konventionen	Sichtenübergreifendes Metamodell	intuitives, leicht verständliches Prozessmodell	Übertragbarkeit in ein Workflow-Schema
Aufgabenketendiagramm (PROMET)	●	◐	○	●	●	◐	◐	●	◐	●
Vorgangs-Ereignis Schema (SOM)	●	◐	○	●	●	◐	◐	●	◐	○
Ereignisgesteuerte Prozessketten (ARIS)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Petri-Netze	●	●	●	●	●	●	◐	○	○	●
Kommunikations-Struktur-Analyse	●	◐	○	●	◐	◐	◐	◐	◐	○
IDEF-Diagramme	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

Legende: ○ = kein Beitrag   ◐ = bedingt erfüllt   ● = weitgehend erfüllt

**Tabelle 5-2: Bewertung der Anforderungen an die Prozessmodellierung**

Tabelle 5-2 zeigt die Bewertungsmatrix für die im Stand der Technik genannten Modellierungstechniken. Neben den Ereignisorientierten Prozessketten und den IDEF Diagrammen, werden durch die Petri-Netze die meisten Anforderungen erfüllt. Die wesentliche Schwäche der Petri-Netze liegt in der mangelnden Akzeptanz bei den Anwendern, die sie als zu komplex und schwer verständlich ansehen [VGL. GADATSCH 1999, S. 126; ROLLER 1996, S.356]. EPK und IDEF sind in Bezug auf die gestellten Anforderungen zwar vergleichbar, auf Grund der weiteren Verbreitung und Akzeptanz in der nationalen Forschungslandschaft und der Verbreitung in der Industrie wurde sich jedoch für den Einsatz der EPK mit der Unterstützung durch ein geeignetes BPR-Tool (ARIS-ToolSet™) entschieden. Das BPR-Tool stellt dabei in erster Linie die Modellierungsumgebung zur Erstellung der Prozessmodelle zur Verfügung. Darüber hinaus existieren meist noch Funktionalitäten zur Bewertung und Optimierung der erstellten Prozessmodelle. Dabei können die modellierten Geschäftsprozesse zum Beispiel hinsichtlich der Durchlaufzeit simuliert werden oder auf Basis der Erstellten Modelle eine Prozesskostenrechnung durchgeführt werden.

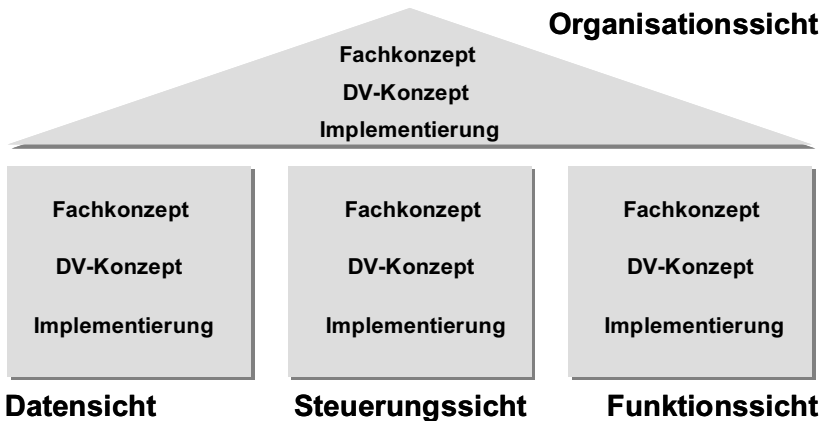


Abbildung 5-2: Sichten des ARIS-Systemhaus (vgl. Scheer 1991)

Abbildung 5-2 zeigt das von SCHEER (1991) entwickelte ARIS-Systemhaus. In ARIS wird zwischen der Organisationssicht, der Datensicht und der Funktionssicht unterschieden, die über die Steuerungssicht miteinander verbunden sind. Dies ermöglicht eine Modellierung des Prozessmodells aus verschiedenen Sichten, wobei die Sichten unter einander verknüpft sind und in einer Sicht durchgeführte Änderungen automatisch in den anderen Sichten mitgepflegt werden. Als weiteres Strukturierungsmittel für die Prozessmodelle wird zwischen dem Fachkonzept, dem Datenverarbeitungskonzept und der Implementierung unterschieden. Diese drei Ebenen unterscheiden sich in Bezug auf den Detaillierungsgrad und die direkte Implementierbarkeit in einem IT-System. Die Steuerungssicht dient der Integration der in den anderen Sichtweisen modellierten Teilmodelle. Im Zentrum der ARIS-Architektur steht daher auch die für die Modellierung der Steuerungssicht verwendete Ereignisorientierte Prozesskette (EPK).

Das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Referenzmodell befindet sich auf der Fach- und Datenverarbeitungskonzept-Ebene. Die Implementierung entspricht der Auswahl einer konkreten Systemunterstützung und der anschließenden Detaillierung des Datenmodells. Das Fachkonzept entspricht der Modellierungsebene, in der die Geschäftsprozesse definiert werden. Für die Modellierung des Fachkonzeptes findet in erster Linie die EPK Verwendung. Das Datenverarbeitungskonzept entspricht eher der Sicht eines IT-Experten, in der zur Vorbereitung einer Implementierung das Datenmodell zur Umsetzung einer IT-Unterstützung für die modellierten Prozesse beschrieben wird. Die Implementierungsebene stellt geeignete

te Formalismen bereit, mit deren Hilfe die Geschäftsprozesse direkt in computerlesbaren Programmcode übertragen werden können.

Die Organisationssicht beinhaltet alle für den Prozess relevanten Abteilungen, Stellen und einzelne Mitarbeiter, die über ein Organigramm miteinander verbunden sind. In der Datensicht sind bereits vorhandene Anwendungssysteme sowie alle für den zu beschreibenden Prozess benötigten Informationen und Daten enthalten. Innerhalb der Datensicht können verschiedene Modelle der vorhandenen Datenstrukturen eines Unternehmens oder einer Organisationseinheit dargestellt werden.

In der Funktionssicht sind die einzelnen Tätigkeiten und Aufgaben des modellierten Geschäftsprozesses enthalten. Der Zusammenhang zwischen den einzelnen Funktionen kann zum Beispiel in einem Funktionsbaum dargestellt werden.

### **Überprüfung der Anforderungen**

Im Folgenden wird die Ereignisorientierte Prozesskette zusammen mit der Systemunterstützung durch das BPR-tool an Hand der in Tabelle 5-1 genannten Anforderungen überprüft.

- Existenz eines Metamodells und Mechanismen zur Prüfung der semantischen Richtigkeit

ARIS verfügt mit den EPK und diversen weiteren bereitgestellten Metamodellen die Fähigkeit zur Darstellung verschiedenartigster Geschäftsprozesse in unterschiedlichen Sichten [IDS 2002]. Gängige BPR-Tools, wie z.B. das ARIS-ToolSet enthalten die Funktionalitäten, um die semantische Richtigkeit der erstellten Modelle zu überprüfen. In dem System sind dazu Regeln hinterlegt, die nur eine bestimmte Kombination der zur Verfügung stehenden Modellierungskonstrukte erlauben. Die Einhaltung dieser Regeln wird entweder bereits bei der Modellierung, oder nachträglich bei der Validierung der Modelle überprüft. Neben den Verbindungen zwischen Objekten werden auch die Verbindungen zwischen den Modellen untersucht, ob beispielsweise Zirkelbezüge modelliert wurden. Die Anforderungen, die sich aus dem Grundsatz der Richtigkeit ergeben, werden also erfüllt.

- Effizienz; Möglichkeit zur Definition von Referenzmodellen / Modellbausteinen



Auf Grund der weiten Verbreitung und der Tatsache, dass die EPK zumindest in Deutschland einen Quasistandard für die Modellierung von Geschäftsprozessen darstellt, kann davon ausgegangen werden, dass die Forderung nach Effizienz hinreichend erfüllt ist. Die Möglichkeit zur Definition von Referenzmodellen wird im ERP-Bereich (Enterprise Resource Planning) bereits in großem Umfang eingesetzt [vgl. SCHERUHN 1998]. Die Möglichkeit zur Bildung von Modellbausteinen wird als gegeben betrachtet, da dies in erster Linie eine Frage der Strukturierung der Modelle ist.

- Darstellbarkeit von Hierarchien und Sichten

Wie beschrieben sieht ARIS die Darstellung in verschiedenen Hierarchien und Sichten vor. Innerhalb der durch das Metamodell vorgegebenen Sichten ist es möglich, Modelle für verschiedene „Untersichten“, die auf dieselben Objekte verweisen, anzulegen. Die Darstellbarkeit verschiedener Sichten ist also vollständig gegeben, die Anforderung bzgl. der Darstellung verschiedener Hierarchien ist hinreichend erfüllt. Die aus Gründen der Komplexität geforderte Modularisierbarkeit innerhalb der Modellierungsmethode ist technisch durch das Metamodell gegeben und hängt einzig von der sinnvollen Strukturierung durch den Anwender ab. Dazu ist es allerdings notwendig, Kriterien bereitzustellen, an Hand derer die einzelnen Module zu definieren sind.

- Vorhandensein von Modellierungskonventionen

Grundsätzlich existieren für das Modellieren von Geschäftsprozessen durch eine EPK Konventionen und Regeln auf welche Art und Weise die einzelnen Konstrukte des Metamodells kombiniert werden dürfen [SCHEER 1991]. Die Einhaltung der Konventionen kann durch in dem BPR-tool integrierte Methoden überprüft und damit eine Validierung des Prozessmodells durchgeführt werden. Durch die Bereitstellung von Methodenfiltern und die Definition zusätzlicher Regeln kann darüber hinaus das für die Modellierung zur Verfügung stehende Metamodell begrenzt oder erweitert sowie zusätzliche Modellierungskonventionen definiert werden [IDS 2002]. Die Anforderung bzgl. der Modellierungskonventionen wird durch die EPK und die verfügbaren BPR-tools also vollständig erfüllt. Eine Detaillierung der vorgegebenen Konventionen in Bezug auf die speziellen Anforderungen für die Einführung der Virtuellen Produktion wird erforderlich sein.

- Sichtenübergreifendes Metamodell

Ein sichtenübergreifendes Metamodell ist durch das ARIS-Systemhaus gegeben, die Fülle der standardmäßig vorhandenen Modellierungskonstrukte muss durch die Definition entsprechender Konventionen eingeschränkt werden.

Eine weitere Anforderung an die Modellierungsmethode war das Vorhandensein von Schnittstellen, um die modellierten Geschäftsprozesse in ein WMS implementieren zu können. Wie in 3.4.3 beschrieben, existieren verschiedene Forschungsarbeiten im Bereich des Geschäftsprozessmanagements. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein sequentieller Ansatz für das Geschäftsprozessmanagement angestrebt. Für die Entwicklung der Planungs- und Workflow-Methodik kann nicht von der von RUMP (1999) (vgl. 3.4.3) geforderten Durchgängigkeit gesprochen werden, da in Bezug auf das Workflow-Management keine Festlegung auf ein bestimmtes System erfolgen soll. Dies wäre notwendig, um das von dem System geforderte WF-Schema auf Basis des entsprechenden WF-Modells (vgl. Abbildung 3-14) nutzen zu können.

Abschließend ist festzustellen, dass die Modellierung auf Basis der Ereignisgesteuerten Prozesskette (EPK) innerhalb des ARIS Systemhaus alle in dieser Arbeit aufgestellten Anforderungen erfüllt und aus diesem Grunde für die Modellierung der Planungs- und Workflow-Methodik verwendet werden soll. Als Werkzeug für die Modellierung wird das ARIS-ToolSet verwendet. In Bezug auf die Übertragung des Prozessmodells in ein Workflow-Schema existieren ebenfalls eine Reihe von Forschungsansätzen sowie erste kommerzielle Anwendungen, welche die Übertragung von EPK in ein Workflow-Schema unterstützen. Petri-Netze lassen sich zwar direkt in ein Workflow-Schema übertragen, sie erfüllen jedoch nicht die Anforderungen in Bezug auf die leichte Verständlichkeit und damit die Anwendbarkeit für eine Prozessmodellierung durch nicht IT-Experten.

### 5.1.3 Eingrenzung des Metamodells

Das ARIS-Systemhaus stellt ausgehend von der EPK eine umfassende Auswahl von Objekten zur Verfügung, die zur Geschäftsprozessmodellierung herangezogen werden können. Im Gegensatz zu dem dazugehörigen BPR-Tool, handelt es sich bei dem ARIS-Systemhaus um eine Sammlung von Modellierungstechniken, die über eine gemeinsame Architektur miteinander verbunden sind. Der Grundsatz der Richtigkeit innerhalb der GoM fordert, dass das Metamodell der Modellierungsmethode der gegebenen Fragestellung angepasst ist, damit die syntaktische und semantische Richtigkeit des Modells erfüllt werden kann. Auf Grund der Vielzahl von Modellie-

rungstechniken und Objekttypen, die der Architektur theoretisch zu zuordnen wären, ist es an dieser Stelle notwendig, diese auf ein für die gegebene Aufgabenstellung ausgerichtetes Metamodell einzugrenzen.

Unterschieden wird in ARIS generell zwischen Modellen und Objekten. Die Modelle dienen in den unterschiedlichen Sichten dazu, die Objekte zusammenzufassen und in Kontext zueinander zu bringen. Als Auswahlkriterien für die einzusetzenden Modelle und Objekte nennt SCHEER (1991) die folgenden Punkte:

- die Einfachheit und Verständlichkeit der Darstellungsmittel,
- die Eignung für die speziell auszudrückenden Inhalte,
- die Möglichkeit, für alle darzustellenden Anwendungen die gleichen Objekte und Modelle einsetzen zu können,
- der vorhandene oder zu erwartende Bekanntheitsgrad der Modelle und Objekte sowie
- die weitgehende Unabhängigkeit von der Entwicklung der Informationstechnik.

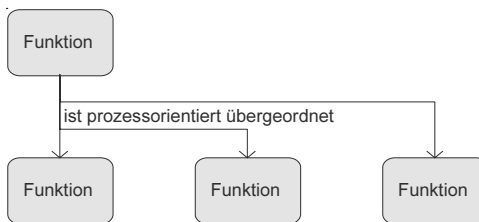
Neben den verschiedenen Sichten, die die Bestandteile des ARIS-Systemhauses darstellen, unterscheidet SCHEER (1991) zusätzlich zwischen dem Fachkonzept, dem DV-Konzept und der Implementierung. Die für die Erstellung des Referenzmodells verwendeten Objekte und Modelle stammen sowohl von der Fachkonzept-, als auch der DV-Konzept-Ebene. Die Tatsache, dass sich in dem Referenzmodell die verschiedenen Sichten in allgemeingültiger Form nur in unterschiedlichen Detaillierungsgraden darstellen lassen, macht dies unvermeidlich. Die Trennung der Implementierungsebene besteht nach wie vor, da diese erst für den Fall einer unternehmensspezifischen Instanziierung des Referenzmodells benötigt wird.

### **Funktionsicht**

SCHEER (1991) definiert eine Funktion als „eine fachliche Aufgabe bzw. Tätigkeit an einem Objekt zur Unterstützung eines oder mehrerer Unternehmensziele“. In der Funktionsicht werden also die notwendigen Planungstätigkeiten zur Bewertung der Produktionsszenarien modelliert.

Zur Strukturierung der einzelnen Funktionen an Hand verschiedener Kriterien oder zur Darstellung von Hierarchien werden diese zu Funktionsbäumen zusammengefasst. Kriterien für die Strukturierung können die Bearbeitung des gleichen Objekts

(objektorientiert), die Zerlegung nach der Prozesszugehörigkeit (prozessorientiert) oder die Zusammenfassung von Funktionen nach gleichen Verrichtungen (verrichtungsorientiert) sein [IDS 2002 nach BROMBACHER&BUNGERT 1992]. Um die Komplexität des Gesamtmodells in Grenzen zu halten, wird im Rahmen dieser Arbeit gemäß der Zielsetzung ausschließlich eine prozessorientierte Strukturierung der Funktionen stattfinden. Die innerhalb eines Funktionsbaums dargestellten Kanten (=Verbindungen zwischen zwei Objekten) bedeuten demnach „ist prozessorientiert übergeordnet“. Die Prozessfolge ist im Funktionsbaum nicht dargestellt und lässt sich in der Reihenfolge der Funktionen in einer Hierarchieebene darstellen (vgl. Abbildung 5-3).



**Abbildung 5-3: Beispiel Funktionsbaum**

Neben den einzelnen Planungstätigkeiten werden innerhalb der Funktionssicht auch die Anwendungssysteme zu deren Unterstützung modelliert. Als Modelle werden dafür Anwendungssystemtypdiagramme verwendet. Als Objekte stehen Anwendungssystemklassen, -typen sowie die eigentlichen Anwendungssysteme zur Verfügung. Innerhalb eines Anwendungssystemtypdiagramms können einzelne Funktionen den Anwendungssystemtypen zugeordnet werden, durch die die Ausführung der Funktion unterstützt werden kann. Abbildung 5-4 zeigt ein Beispiel für ein Anwendungssystemtypdiagramm mit den zugelassenen Objekten und Kanten.

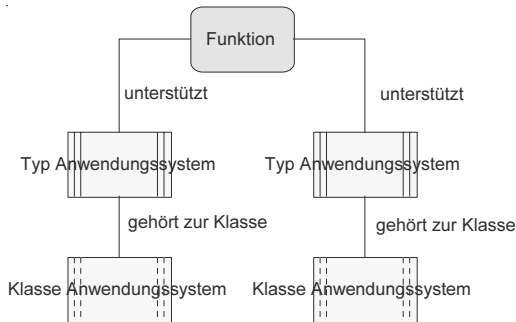


Abbildung 5-4: Beispiel Anwendungssystemtypdiagramm

### Organisationssicht

Generell wird in Unternehmen zwischen der Aufbauorganisation und der Ablauforganisation unterschieden [WIENDAHL 1983, S. 13]. Die Ablauforganisation beschreibt die Zuordnung von einzelnen Organisationseinheiten bis zu einzelnen Personen zu konkreten Aufgaben. Beschrieben wird die Ablauforganisation bei ARIS innerhalb der Steuerungssicht durch die EPK [IDS 2002, S. 145]. Die aufbauorganisatorische Gestaltung ist Gegenstand der Organisationssicht. Als Modellart steht innerhalb der Organisationssicht ausschließlich das Organigramm für die Darstellung der Aufbauorganisation zur Verfügung. Es dient dazu, die einzelnen Organisationseinheiten eines Unternehmens in einer Hierarchie einordnen zu können. Das Organigramm wird aus Organisationseinheiten gebildet. Nach IDS (2002) sind Organisationseinheiten Träger der zur Erreichung der Unternehmensziele durchzuführenden Aufgaben.

Zur Verbindung der Organisationseinheiten werden durch die ARIS-Gesamtmethode insgesamt drei Kantentypen bereitgestellt, wobei das Metamodell für die Modellierung des Referenzmodells die Kanten „ist übergeordnet“ und „ist vertreten von“ enthalten soll. Unterhalb der Organisationseinheit werden für die Modellierung noch das Objekt Stelle und das Objekt Person zugelassen, wobei einzelne Personen erst im Rahmen der Instanziierung des Referenzmodells für einen konkreten Anwendungsfall definiert werden können.

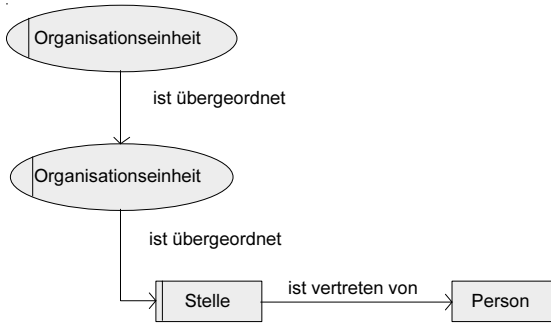


Abbildung 5-5: Beispielorganigramm der Organisationsicht

Abbildung 5-5 zeigt ein Beispielorganigramm mit den für das Referenzmodell verwendeten Objekten und Kanten. Kanten stellen die Verbindungen zwischen den Objekten dar. Von der durch die Gesamtmethode bereitgestellten großen Anzahl an Kanten werden für das Referenzmodell nur die gezeigten Kanten „wird gebildet durch“ und „ist vertreten von“ verwendet.

### Datensicht

Das Fachkonzept der Datensicht ist in der Regel das umfangreichste der verschiedenen Sichten. Die Datensicht schon im Rahmen des Referenzmodells vollständig zu modellieren, würde die unternehmensspezifische Instanziierung des Referenzmodells erschweren. Die bestehende Systemlandschaft eines Unternehmens könnte nicht übernommen werden und müsste entsprechend der definierten Datensicht komplett umgestellt werden. Die Modellierung der Datensicht im Fachkonzept stützt sich generell auf Entity-Relationship-Modelle (ERM) [CHEN 1976]. Im Rahmen der Modellierung des Referenzmodells wird die Datensicht nur in Form von Fachbegriffen repräsentiert, die einzelnen im Planungsprozess benötigten Informationen entsprechen. Die Strukturierung der Fachbegriffe findet innerhalb der Steuerungssicht statt.

### Steuerungssicht

Die Steuerungssicht dient der Integration der übrigen Sichten und beinhaltet das eigentliche Prozessmodell. Als Modell werden EPKs und Funktionszuordnungsdiagramme (FZD) verwendet. In der EPK sind ausschließlich Funktionen und Ereignisse enthalten, während in den FZD die Zuordnung der Organisations- und Datenobjekte zu den einzelnen Funktionen stattfindet.

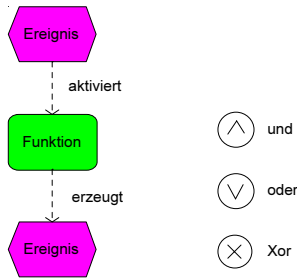


Abbildung 5-6: Beispiel EPK

Abbildung 5-6 und Abbildung 5-7 zeigen Beispiele für eine EPK und ein FZD. Als Kanten werden in der EPK die Kante „aktiviert“ und „erzeugt“ verwendet. Innerhalb der EPK gibt es darüber hinaus verschiedene Operatoren um einzelne Prozessketten mit einander zu verbinden. Für die Zuordnung der Fachbegriffe werden im Funktionszuordnungsdiagramm zwischen „hat Output“ oder „ist Input“ unterschieden. Dazu gibt es noch die Kante „führt aus“ für die Zuordnung einer Organisationseinheit und die Kante „unterstützt“ für die Zuordnung eines Anwendungssystems.

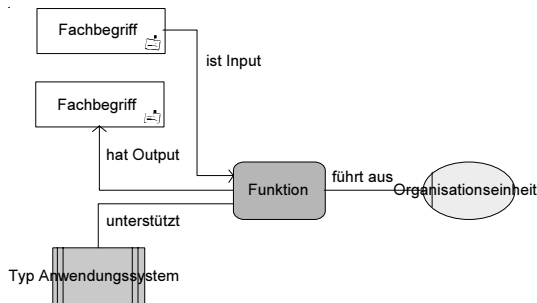


Abbildung 5-7: Beispiel FZD

## 5.2 Entwicklung des Referenzmodells

In diesem Kapitel wird das Referenzmodell für die betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage modelliert. Die im Stand der Forschung beschriebenen Quellen im Bereich der Fabrik- und Montageplanung dienen als Grundlage zur Ermittlung der elementaren Planungstätigkeiten. Die Modellierung des

Referenzmodells für die betriebsbegleitende Prozessplanung basiert darauf aufbauend auf Experteninterviews im Bereich der Automobilindustrie sowie gesammeltem Erfahrungswissen bei der Durchführung von Forschungsprojekten in Zusammenarbeit mit der Automobilindustrie.

### 5.2.1 Systemunterstützung für die Prozessplanung

Ein wesentliches Ziel bei der Entwicklung der Methodik ist es, die durch die Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion gegebenen Möglichkeiten für eine Optimierung der betriebsbegleitenden Prozessplanung zur Bewertung alternativer Produktionsszenarien zu nutzen. Als Klassifizierung der einzelnen Planungstätigkeiten zeigt Abbildung 5-8 eine Gegenüberstellung der Aufgaben der Prozessplanung und der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion.

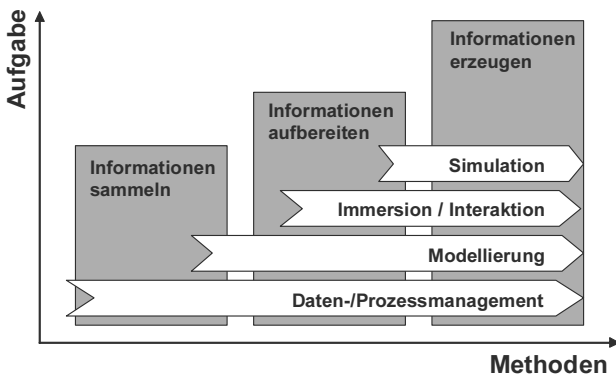


Abbildung 5-8: Aufgaben und Methoden der Virtuellen Produktion

Das Unterscheidungsmerkmal ist die Art der Informationsbearbeitung. Danach kann in der Prozessplanung zwischen den drei Kategorien Informationen sammeln, Informationen aufbereiten und Informationen erzeugen unterschieden werden.

Das Sammeln von Informationen wird in erster Linie durch das **Daten- und Prozessmanagement** unterstützt, das Daten aus verschiedenen Systemen mit einander verknüpft und verschiedenen Anwendern zur Verfügung stellt, sowie den Ablauf der erforderlichen Kommunikationsprozesse koordiniert.

Mit **Modellierungsmethoden** werden Informationen nicht nur gesammelt, sondern durch Aggregation von Teilinformationen zu Teilmodellen des Montageprozesses aufbereitet. Zu den Modellierungsmethoden sind sowohl 2D/3D-CAD Systeme als



auch die integrierte Darstellung von Produkten, Prozessen und Ressourcen einer Montagelinie in einem Prozessplanungswerkzeug zu zählen.

Der Einsatz von **Simulation**smethoden kann noch zur Aufbereitung von Informationen genutzt werden, indem vorhandene Daten über Verfügbarkeiten von Maschinen oder Daten bzgl. Durchlaufzeiten durch eine Simulation abgesichert oder aktualisiert werden. In der Regel werden durch den Einsatz von Simulation allerdings Informationen erzeugt, die vorher nicht vorlagen oder auf andere Art und Weise ermittelt werden mussten (z.B. durch Messungen am realen Produktionssystem). Erst durch den Simulationseinsatz werden zusätzliche Erkenntnisse gewonnen und abgesichert, die vorher nur auf Grund von Erfahrungswissen angenommen, allerdings nicht rechnerisch nachgewiesen werden konnten.

**Immersion und Interaktion** dienen in erster Linie der Unterstützung des Menschen bei der Anwendung der übrigen Methoden und Werkzeuge. Auf Grund des aktuellen Standes der Technik spielen sie eine untergeordnete Rolle, da an die Einführung immersiver Benutzerschnittstellen erst im Anschluss an oder in Verbindung mit einer Einführung und Optimierung der übrigen Methoden und Werkzeuge zu denken ist.

Im Rahmen des Referenzmodells werden daher auch nur die drei zu erst genannten Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion als Anwendungssystemklassen beschrieben. Diesen Klassen sind wiederum Anwendungssystemtypen zugeordnet, die im Prozessmodell einzelnen Funktionen zugeordnet werden können. Im Rahmen der Implementierung (vgl. Kapitel 5.4) werden den Anwendungssystemtypen dann die konkreten im jeweiligen Unternehmen vorhandenen Anwendungssysteme (=Softwarewerkzeuge) zugeordnet.

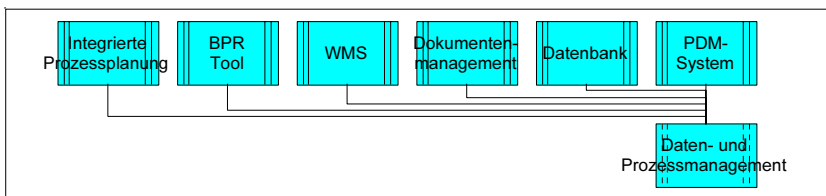


Abbildung 5-9: Anwendungssystemklasse Daten- und Prozessmanagement

Zu der Klasse Daten- und Prozessmanagement gehören WMS, BPR-Tools, Dokumentenmanagementsysteme, PDM-Systeme, Integrierte Prozessplanungswerkzeuge und Datenbanken. In Bezug auf die Datenbankanwendung geht es in erster Linie darum, existierende, auf die unternehmensspezifischen Prozesse angepasste Pla-

nungswerkzeuge in eine Gesamtsystemlandschaft zu integrieren. Die Systemlandschaft im Bereich der betrachteten Planungsprozesse ist unternehmensspezifisch sehr unterschiedlich und meist von Eigenentwicklungen im Gegensatz zu Standardlösungen geprägt. Die Informationen liegen entweder in proprietären Datenbanken vor oder sind zu einem großen Teil nur implizit im Wissen des Planers oder individuell gepflegten Excel-Listen enthalten. Im Rahmen des hier vorgestellten Prozessmodells wird eine Datenstruktur entwickelt, welche die wesentlichen für den Planungsprozess benötigten Informationen enthält. Eine Anforderung an die Methodik ist deren skalierbare Einführung. Dazu gehört eine Einbeziehung bereits bestehender Planungswerkzeuge in den Systementwurf. Es sollen also nur für die Informationen, die bisher nicht in vorhandenen Systemen erfasst sind, zusätzliche Systeme bereitgestellt werden.

Eine Zuordnung der Informationen zu den entsprechenden Anwendungssystemen geschieht daher auch erst im Rahmen der unternehmensspezifischen Einführung (Kapitel 5.4) der Methodik.

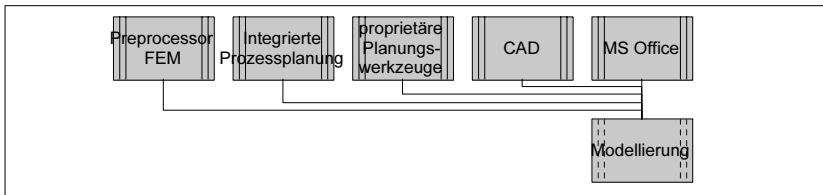
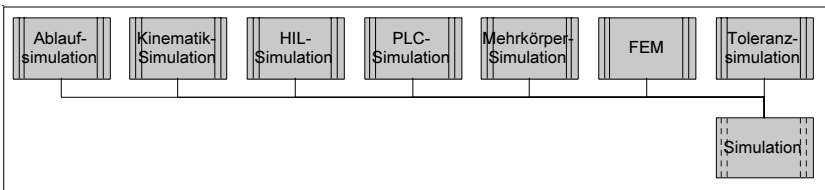


Abbildung 5-10: Anwendungssystemklasse Modellierung

Im Bereich Modellierung geht es in dieser Arbeit um eine vollständige Beschreibung aller von dem Montageprozess betroffenen Ressourcen, Produkte und Operationen. Die Ressourcen sind die verwendeten Betriebsmittel und Anlagen, die Produkte die zu montierenden Bauteile und die Operationen entsprechen den einzelnen Montageschritten. Als Werkzeuge existieren zum einen IPP-Systeme (Integrierte Prozessplanung), die eine Kombination der genannten Sichten in einem System und damit eine weitgehend durchgängige Planung des Montageprozesses ermöglichen. Die Ausrichtung dieser Werkzeuge liegt bisher in den frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses. Sie werden überwiegend in der zentralen Unternehmensplanung eingesetzt und nicht in den einzelnen Werken für die Detailplanung. Sowohl auf Seiten des Produktes als auch des Produktionssystems werden mittlerweile überwiegend 3D-CAD-Systeme für die Modellierung eingesetzt. Zu den in der Praxis eingesetzten Modellierungswerkzeugen werden im Folgenden außerdem die von einzelnen Planern dezentral erstellten MS-Office-

Dokumente oder auch proprietäre Datenbanksysteme gezählt, in denen Informationen über den Montageprozess oder einzelne Montagesysteme modelliert werden. Für die Entwicklung der Montageanlagen können mit Hilfe der Finite Elemente Methode das mechanische und thermomechanische Verhalten modelliert werden.

Abbildung 5-11 zeigt Anwendungssystemtypen der Klasse Simulation. Die Ablaufsimulation findet dabei in der Praxis bereits breite Anwendung, auch über die Planungsphase hinaus während des Betriebs der Anlagen. Die Kinematiksimulation wird auf Seiten der Anlagenhersteller in der Entwicklung eingesetzt. Eine Weiterentwicklung der Modelle für die Durchführung von Machbarkeitsstudien in der Betriebsphase findet in der Praxis noch nicht statt.



**Abbildung 5-11: Anwendungssystemklasse Simulation**

Die Ablaufsimulation wird für die Materialflussplanung z.B. zur Optimierung der Durchlaufzeit und zur Bestandsminimierung eingesetzt. Mit Hilfe der Kinematiksimulation werden die Bewegungsabläufe automatisierter Montageanlagen und Handhabungsgeräte in erster Linie in Bezug auf Kollisionsfreiheit abgesichert. Mit der Mehrkörpersimulation können auf Basis der einzelnen Massen der Anlagenkomponenten die auftretenden Kräfte an den Koppelstellen der Anlagenkomponenten berechnet werden. Diese Kräfte können wiederum als Eingangsgröße für eine Berechnung der mechanischen Verformungen mit Hilfe der Finite Elemente Methode verwendet werden. Als weiterer Schritt in dieser Prozesskette ist in diesem Bereich die Toleranzsimulation zu sehen. Ging es bei ihr bisher um die statistische Abbildung und Addition von Toleranzketten starrer Bauteile für die Montageplanung, werden zukünftig auch flexible Bauteile mit Hilfe der FEM in der Rechnung berücksichtigt werden können. Im Gegensatz zu der Kinematiksimulation ist der Einsatz der Mehrkörpersimulation und FEM für eine betriebsbegleitende Prozessplanung auf Grund des Hohen Modellierungs- und Rechenaufwandes unrealistisch und daher auf einen Einsatz im Bereich der Entwicklung der Anlagen beschränkt.

Unter einer Hardware in the Loop (HIL) Simulation versteht man gekoppelte Simulation von virtuellen und realen Objekten. In Bezug auf die Prozessplanung in der

Montage ist zukünftig eine gekoppelte Simulation des physikalischen Verhaltens einer Montageanlage in Anbindung an eine reale Steuerung geplant. Ziel des Simulationseinsatzes ist dabei die Steigerung der Kapazität einzelner Montageanlagen, indem am Simulationsmodell alternative Prozessabläufe experimentell ermittelt und validiert werden können. Alternativ zu der Anbindung einer realen Steuerung kann diese auch durch eine PLC-Simulation abgebildet werden.

### 5.2.2 Aufbau des Referenzmodells

Abbildung 5-12 zeigt den Aufbau des Referenzmodells für eine betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage. Der Gesamtprozess ist in fünf isoliert ausführbare Prozessmodule untergliedert, wobei eines der Module wiederum aus drei Teilmodulen besteht.

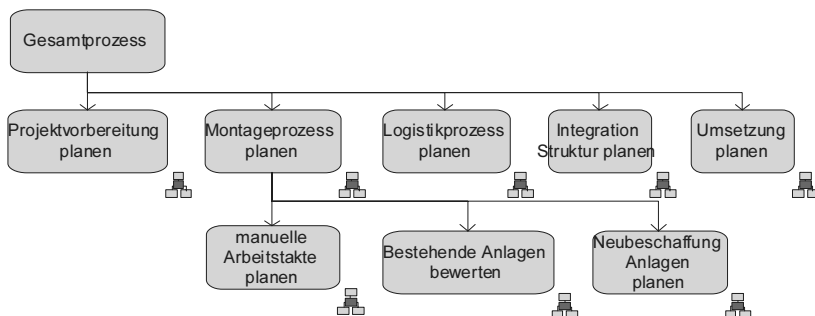


Abbildung 5-12: Funktionsbaum Referenzmodell

Die Aufteilung in die Prozessmodule geschieht zum einen in Bezug auf die fachliche Zuordnung der beteiligten Disziplinen und zum anderen in Bezug auf die Art der Informationsbearbeitung, die erforderlich ist (vgl. Abbildung 5-8). Als wesentliche Bereiche wurden dabei die Projektvorbereitung, die Planung des Montageprozesses, die Planung des Logistikprozesses, die integrative Planung der Struktur sowie die Planung der Umsetzung des Produktionsszenarios identifiziert. Auf Grund der Komplexität wurde die Planung des Montageprozesses in drei weitere Subprozesse untergliedert.

Die für den Planungsprozess relevante Organisationsstruktur wird in Form eines Organigramms mit Organisationseinheiten und Stellen dargestellt. Bei einer unternehmensspezifischen Instanziierung des Referenzmodells müssen die

Bezeichnungen der Organisationseinheiten und Stellen gegebenenfalls angepasst, sowie den Stellen einzelne Personen zugeordnet werden. Die Stellen beschreiben mit der Position innerhalb der Organisationseinheit auch implizit das Wissen und die Expertise, die mit dieser Stelle verbunden ist. Abbildung 5-13 zeigt das generische Organigramm der durch das Referenzmodell beschriebenen Stellen innerhalb eines Unternehmens. Unterschieden wird in Anlehnung an die Struktur der Prozessmodule unterhalb der Montageplanung in die Bereiche Anlagentechnik, Logistikprozess, manuelle Arbeitstakte und Strukturplanung.

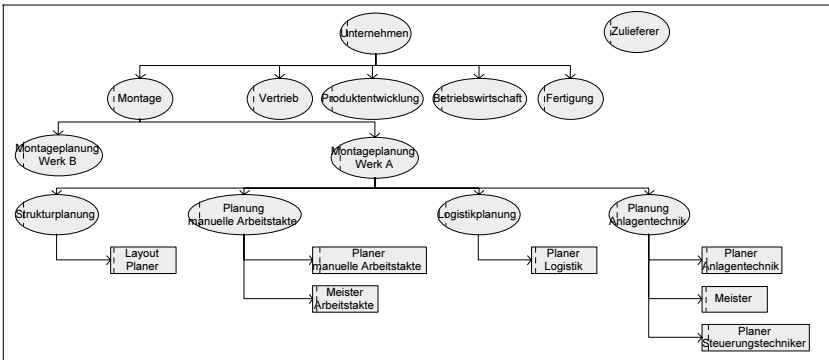
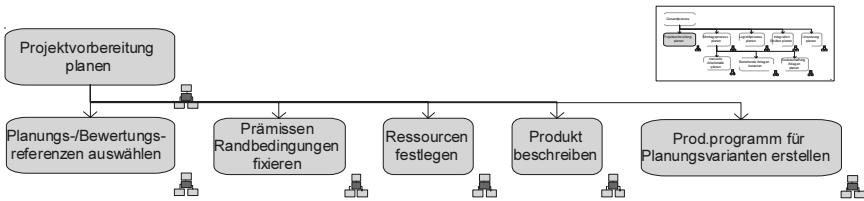


Abbildung 5-13: Generisches Organigramm der Planungs-Methode

Relevant für die Entwicklung des Referenzmodells sind nicht nur die Planungsabteilungen innerhalb eines Werkes, sondern auch die zentralen Montageplanungsabteilungen des Unternehmens, sowie die Abteilungen anderer Werke. Neben den Planern der unterschiedlichen Disziplinen werden außerdem das Wissen und die Expertise der für die unterschiedlichen Bereiche verantwortlichen Meister benötigt.

### 5.2.3 Projektvorbereitung planen

Das erste Modul des Referenzprozesses beschreibt die Projektvorbereitung. Sie entspricht im Wesentlichen der von BULLINGER U.A. (1986) beschriebenen Konzeption innerhalb der systematischen Montageplanung. In der Konzeption werden die Planungsdaten ermittelt, die Planungsziele definiert, Prinziplösungen erarbeitet und eine erste Kostenkalkulation durchgeführt. Für das Referenzmodell wurden aus den von BULLINGER U.A.(1986) und FELDMANN (1997) beschriebenen Tätigkeiten die folgenden generischen Planungsschritte für die Projektvorbereitung abgeleitet:



**Abbildung 5-14: Funktionsbaum Projektvorbereitung**

Im Rahmen der Projektvorbereitung wird das zu bewertende Produktionsszenario genauer spezifiziert. Dabei müssen zunächst die Prämissen und Randbedingungen festgelegt werden. Dazu gehört die Definition einer Kostenobergrenze für die Realisierung des Produktionsszenarios, strategische Vorgaben wie Kerneigenleistungen des Montageprozesses, die nicht an Dritte vergeben werden dürfen, Termine für die Durchführung des Planungsprozesses, sowie weitere strategische Vorgaben bzgl. der Investitionsplanung und der langfristigen Werksentwicklung.

Wichtigste Eingangsgröße für den Planungsprozess ist die Beschreibung des Produktes. In diesem Schritt werden alle wesentlichen Merkmale der zu betrachtenden Modelle und Varianten festgelegt. Die wesentlichen Attribute, an Hand derer während des Planungsprozesses die verschiedenen Abfragen aus den vorhandenen Planungsdaten auszuführen sind, müssen dafür festgelegt werden.

Ausgehend von der Beschreibung des Produktes werden Referenzprojekte ermittelt, die für die Bewertung des Produktionsszenarios von Hilfe sein könnten. Anschließend werden die in Frage kommenden Ressourcen festgelegt. Dabei werden nicht einzelne Anlagen sondern eine ganze Montagelinie betrachtet. Eingangsgrößen sind hierbei die Kapazitäten vorhergehender oder nachfolgender Ressourcen (Lackiererei oder Endabnahme).

Als letzter Schritt der Projektvorbereitung wird ein vollständiges Produktionsprogramm für das zu bewertende Szenario definiert, in dem alle vorher festgelegten Restriktionen und Randbedingungen enthalten sind. Das Prozessmodul zur Projektvorbereitung kann innerhalb eines Planungsprozesses mehrmals durchlaufen werden. Immer dann, wenn in den späteren Planungsschritten festgestellt wird, dass sich das Szenario mit den gegebenen Randbedingungen so nicht realisieren lässt, wird in einer Iteration ein neues Produktionsprogramm erzeugt. Abbildung 5-15 zeigt eine Bewertung des Prozessmoduls „Projektvorbereitung“ bezüglich der Systemunterstützung.

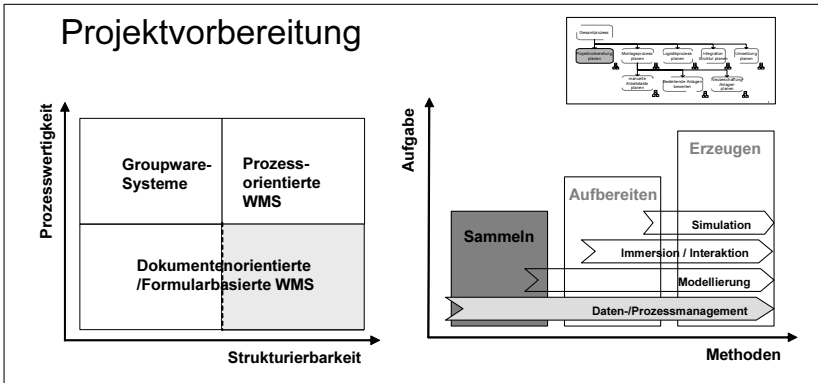


Abbildung 5-15: Bewertung Projektvorbereitung

Dabei wird der zu Grunde liegende Geschäftsprozess in eine Workflow-Kategorie nach Abbildung 3-13 eingeordnet und einer Art der Informationsbearbeitung nach Abbildung 5-8 zugeordnet.

Der Prozess der Projektvorbereitung weist eine hohe Strukturierbarkeit bei einer geringen Prozesswertigkeit auf. Die Prozesswertigkeit ist gering, da keine neuen Informationen erzeugt, sondern lediglich Randbedingungen definiert werden. Im Sinne des Unternehmenserfolges ist die Klärung der Aufgabenstellung zwar als äußerst wichtig anzusehen, für das Referenzmodell wird jedoch davon ausgegangen, dass der Planungsanstoß mit den entsprechenden Prämissen bereits durch die zentralen Planungsabteilungen gegeben wurde und es für die Werksplanung lediglich darum geht, diese Prämissen in das Prozessmodell zu übertragen. Als Systemunterstützung im Sinne eines WMS empfiehlt sich daher ein Dokumenten- oder Formularbasiertes WMS (vgl. Kapitel 3.4), bei dem die relevanten Planungsdaten automatisiert von den jeweiligen Bearbeitern abgefragt werden. Bezüglich der Methoden und Werkzeuge der Virtuellen Produktion beschränkt sich die benötigte Systemunterstützung auf das Daten- und Prozessmanagement, da innerhalb der Projektvorbereitung Informationen in erster Linie gesammelt und festgehalten werden.

#### 5.2.4 Montageprozess planen

Der Schwerpunkt der Prozessplanung im Bereich des zu entwickelnden Referenzmodells liegt natürlich in der Planung des eigentlichen Montageprozesses. Dieser Abschnitt ist in einer weiteren Hierarchieebene in die Module manuelle Arbeitstakte planen, Neubeschaffung Anlagen planen und bestehende Anlagen planen unterteilt (Abbildung 5-17). Ausgehend von der durch BULLINGER U.A.(1986) gegebenen

Systematik sind diesem Bereich „Montageprozess planen“ die Phasen Ablaufplanung und Montagesystementwurf zu zuordnen (Abbildung 5-16).

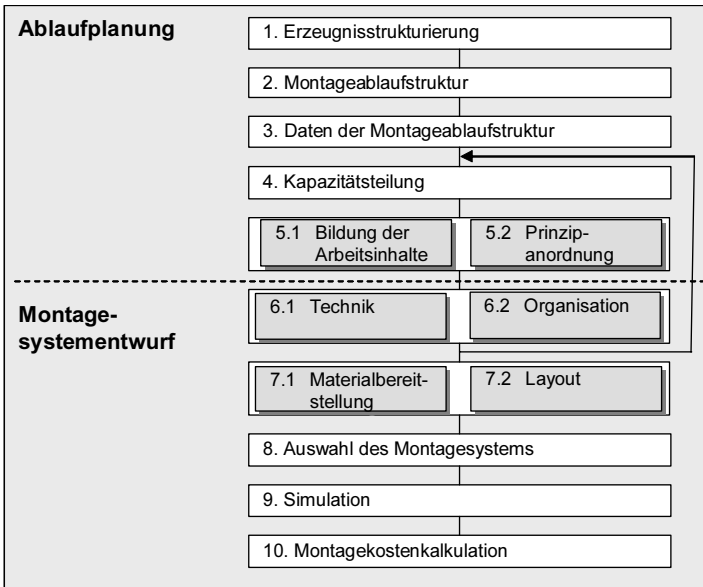


Abbildung 5-16: Ablaufplanung und Montagesystementwurf nach Bullinger u.a. (1986)

Die Erzeugnisstrukturierung (1) ist bereits bei der Produktentwicklung geschehen und nicht mehr Gegenstand des Referenzmodells. Sie kann direkt aus dem vorhandenen PDM-System als Stückliste oder als Strukturbaum ausgelesen werden. Die Planung der Montageablaufstruktur (2) umfasst im Wesentlichen den Montagevorranggraphen. In ihm werden die Teilaufgaben des Montageprozesses mit dem jeweils frühesten und spätesten möglichen Zeitpunkt, zu dem sie montiert werden müssen, eingetragen. Um ein neues Modell in eine bestehende Montagelinie integrieren zu können, ist neben den rein geometrischen Anforderungen zur Integration des Fahrzeugs in die automatisierten Montageanlagen, ein weitgehend kompatibler Vorranggraph erforderlich, um trotz des Modellmixes auf einem Montageband einen weitgehend einheitlichen Montageablauf und Materialfluss realisieren zu können. Die Daten für die Montageablaufstruktur (3) werden in den im Folgenden beschriebenen Modulen des Referenzmodells jeweils auf Basis von Vorgängermodellen und Referenzanlagen beschafft. In der von BULLINGER u.a. (1986) beschriebenen Kapazitätsteilung geschieht die Verteilung der Arbeitsinhalte auf die manuellen und automatisierten Arbeitstakte (Austaktung). Die Arbeitsteilung (5.1) und die Betriebsanordnung (5.2) können im Fall der betriebsbegleitenden Prozess-



planung ebenfalls als gegeben angesehen werden, da für die betrachteten Produktionsszenarien die Struktur der Montagelinie nicht in Frage gestellt werden soll. Bis auf die Materialbereitstellung (7.1) und das Layout (7.2), die innerhalb des Referenzmodells in eigenen Modulen geplant werden (vgl. 5.2.5 und 5.2.6), sind die folgenden Punkte des Montagesystementwurfs Gegenstand des Moduls „Montageprozess planen“.

Die wesentlichen Inhalte des Moduls „Montageprozess planen“ beziehen sich auf die Zuordnung der Arbeitsinhalte zu den bestehenden Anlagen und Arbeitstakten (manuelle Arbeitstakte planen), auf die technisch-kapazitive Bewertung der Montageanlagen sowie gegebenenfalls auf die Planung der Neubeschaffung einzelner Montageanlagen (vgl. Abbildung 5-17).

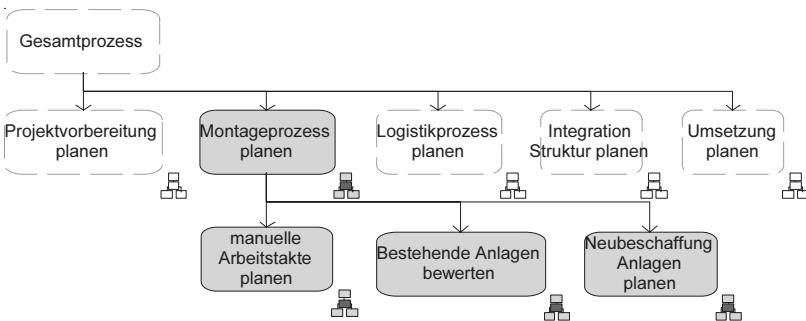


Abbildung 5-17: Montageprozess planen

### Manuelle Arbeitstakte planen

Das erste Modul hat die Planung der manuellen Arbeitstakte zum Ziel (vgl. Abbildung 5-18). Dabei werden zunächst auf Basis der in der Projektvorbereitung festgelegten Beschreibung des Produkts und des Produktionsprogramms über Abfragen aus existierenden Referenzmontageprozessen die manuellen Arbeitsinhalte selektiert. Diese manuellen Arbeitsvorgänge werden in einem nächsten Schritt im Rahmen einer Grobtaktung nach der Verbaureihenfolge geordnet. Diese ergibt sich zum einen aus dem Vorranggraphen, der die technische Machbarkeit aus Sicht des Produktes wiedergibt und zum anderen aus den Anforderungen des Montageprozesses, die sich aus der Austaktung der Montagelinie und der Materialbereitstellung ergeben. Dieser Schritt beruht in erster Linie auf der Erfahrung der jeweiligen Planer in Abstimmung mit dem Erfahrungswissen der Meister an den Montagelinien. Durch die Bereitstellung einer geeigneten Systemunterstützung für die Modellierung der Verbaureihenfolge kann eine Wissensbasis geschaffen werden, in der dieses individuelle Wissen systematisiert werden kann. Darüber hinaus ist die au-

tomatisierte Generierung eines Vorschlags für die Verbaureihenfolge denkbar. Die Entwicklung geeigneter wissensbasierter Werkzeuge ist derzeit jedoch noch Gegenstand der Forschung und kann für eine Implementierung der Methodik in einem Unternehmen nicht vorausgesetzt werden.

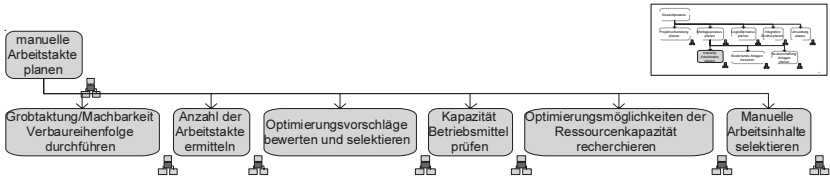


Abbildung 5-18: Manuelle Arbeitstakte planen

Ausgehend von den Arbeitsinhalten wird in einem weiteren Schritt die Anzahl der benötigten Arbeitstakte ermittelt. Dies geschieht auf Basis einer vorgegebenen Werkerdichte, der Grobtaktung und der Anzahl der Mitarbeiter. Dieser Schritt kann automatisiert auf Basis der in vorigen Schritten definierten Ergebnisse erfolgen. Für die ermittelten Arbeitsinhalte an den jeweiligen Arbeitstakten wird schließlich die Kapazität der erforderlichen Betriebsmittel und Handhabungsgeräte überprüft und gegebenenfalls Optimierungspotenzial recherchiert und bewertet. Dies geschieht zum einen datenbankbasiert durch die Suche nach vergleichbaren Problemstellungen und zum anderen durch den Einsatz von Simulationswerkzeugen (Kinematiksimulation).

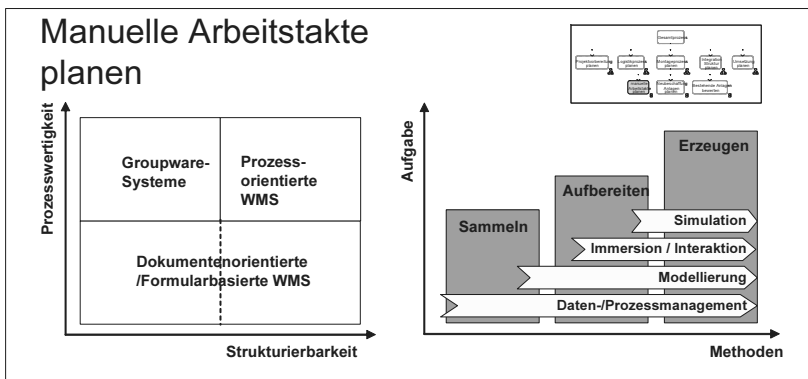


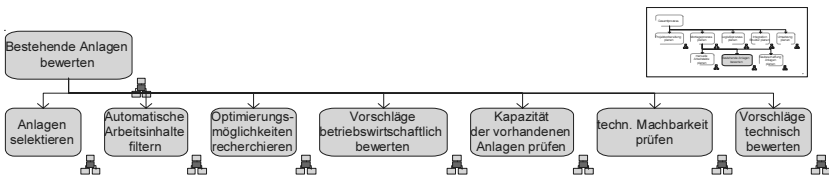
Abbildung 5-19: Bewertung manuelle Arbeitstakte planen

Bezüglich der Systemunterstützung enthält das betrachtete Prozessmodul sehr unterschiedliche Anforderungen. Im Bereich der Ermittlung der manuellen Arbeitsinhalte und der Ableitung der erforderlichen Arbeitstakte weisen die Tätig-

keiten eine hohe Strukturierbarkeit auf, wobei die von der Prozesswertigkeit höher anzusiedelnden Tätigkeiten zur Grobtaktung und Evaluierung von Verbesserungspotenzialen weniger strukturiert ablaufen. Wenn auch in Abbildung 5-19 alle Methoden der Virtuellen Produktion hervorgehoben sind, spielt die Simulation in diesem Bereich immer noch eine untergeordnete Rolle.

### **Bestehende Anlagen bewerten**

Neben der Planung der manuellen Arbeitsinhalte bildet die Bewertung der bestehenden Anlagen (Abbildung 5-20) einen wesentlichen Schwerpunkt innerhalb des zu entwickelnden Referenzmodells.



**Abbildung 5-20: Bestehende Anlagen bewerten**

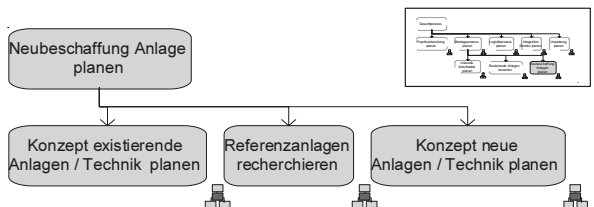
Die Vorgehensweise ist vergleichbar mit der zur Planung der manuellen Arbeitsinhalte. Zunächst werden die automatischen Arbeitsinhalte auf Basis der Produktbeschreibung aus der Projektvorbereitung ermittelt und daraus die erforderlichen Anlagen und Betriebsmittel selektiert. Die Zuordnung der bestehenden Anlagen zu den technischen Arbeitsinhalten geschieht automatisch durch einen Vergleich der Arbeitsvorgänge des betrachteten Produktes mit bestehenden Arbeitsplänen. Um die technische Machbarkeit zu gewährleisten, muss diese Zuordnung anschließend für jeden Arbeitsvorgang überprüft werden. In der Praxis geschieht dies durch das Erfahrungswissen des jeweiligen Planers und des betroffenen Meisters. Durch die Bereitstellung eines Geometriemodells der Anlage und des Produktes kann dieser Schritt zukünftig auch durch 3D-Simulation unterstützt werden, bei der auch immersive Benutzerschnittstellen zum Einsatz kommen können. Neben der technischen Machbarkeit muss anschließend noch bzgl. der Kapazität der vorhandenen Anlagen überprüft werden, ob sie die im Produktionsprogramm vorgegebenen Stückzahlen leisten können. Dieselben Werkzeuge, wie für die Prüfung der technischen Machbarkeit, können gegebenenfalls für die Ermittlung und Bewertung von Optimierungspotenzial verwendet werden. Zusätzlich zu einer reinen 3D-Simulation kann hierbei auch eine HIL-Simulation eingesetzt werden, die neben rein geometrischen Aspekten die tatsächliche physikalische Leistungsfähigkeit der einzelnen Aktoren in Verbindung mit einer realen Steuerung abbildet. Die betriebswirtschaftliche Bewertung der

Optimierungsvorschläge kann lediglich durch die datenbankbasierte Verwaltung von Erfahrungswissen unterstützt werden, indem an Hand definierter Kriterien Referenzprojekte für einen Kostenvergleich ermittelt werden.

Für die Bewertung der Systemunterstützung stellt sich das gleiche Bild dar, wie für die Planung der manuellen Arbeitstakte (Abbildung 5-19). Der Einsatz eines formularbasierten WMS ermöglicht die weitgehende Automatisierung der Tätigkeiten, die im Bereich des Sammelns von Informationen liegen. Für das betrachtete Prozessmodul sind dies die Funktionen „automatische Arbeitsinhalte filtern“, „Anlagen selektieren“ und „Kapazität der vorhandenen Anlagen prüfen“. Die übrigen Schritte bergen erhebliches Optimierungspotenzial im Vergleich zur heutigen Praxis durch den Einsatz von Simulationsmethoden. Die Einbindung dieser Methoden empfiehlt sich auf Basis eines Groupware-basierten Systems, da die einzelnen Planungsschritte und deren Abfolge eine geringe Strukturierbarkeit aufweisen.

**Neubeschaffung Anlagen planen**

Das dritte Prozessmodul innerhalb der Planung des Montageprozesses beschäftigt sich mit der Planung der Neubeschaffung von Anlagen (Abbildung 5-21).



**Abbildung 5-21: Neubeschaffung Anlage planen**

Als erster Schritt werden dazu vorhandene Referenzanlagen in anderen Werken innerhalb des Unternehmens gesucht, um Anhaltspunkte für die Bewertung der Kosten und Zeitaufwände zu bekommen. Werden geeignete Referenzanlagen ermittelt, müssen geeignete Konzepte entwickelt werden, um diese zu beschaffen und in bestehende Montagelinien zu integrieren, bzw. anderenfalls um neue Anlagen zu beschaffen. Bezüglich der Systemunterstützung ist dieses Prozessmodul vergleichbar mit dem Modul „Logistikprozess planen“ (Abbildung 5-23).

### 5.2.5 Logistikprozess planen

Im Anschluss an den Montageprozess wird der Logistikprozess geplant (Abbildung 5-22).

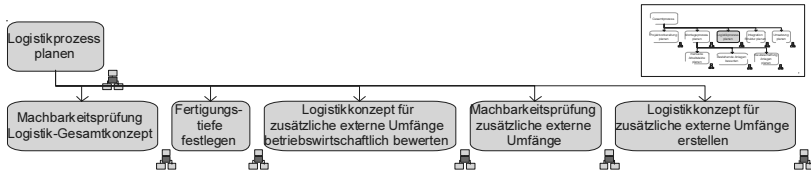


Abbildung 5-22: Logistikprozess planen

Als Vorgabe für die Prozessplanung der Montage werden die externen Schnittstellen zu unternehmensinternen und –externen Partnern definiert. Zu den internen Schnittstellen zählen zum Beispiel der Rohbau, bzw. die Lackiererei, zu externen Schnittstellen zählen die Zulieferer von vorgegebenen Zukaufteilen wie z.B. Reifen und Sitze. Unabhängig von diesen fest vorgegebenen externen Umfängen wird innerhalb der Prozessplanung auch die Fertigungstiefe der übrigen Umfänge festgelegt. Betroffen sind davon in erster Linie Vormontageumfänge, die von Zulieferern komplett an die Montagelinie geliefert werden. Für diese externen Umfänge muss wiederum ein jeweiliges Logistikkonzept erarbeitet werden. Zu diesem gehören die Bereitstellflächen am Band, die Materialflüsse innerhalb und außerhalb der Montagehalle sowie die terminliche Abstimmung, damit die Teile zeitgerecht am jeweiligen Arbeitstakt bereit stehen. Neben der technischen Absicherung des Logistikkonzeptes für diese zusätzlichen externen Umfänge findet noch deren betriebswirtschaftliche Bewertung statt, die schließlich über die Machbarkeit des Konzeptes entscheidet.

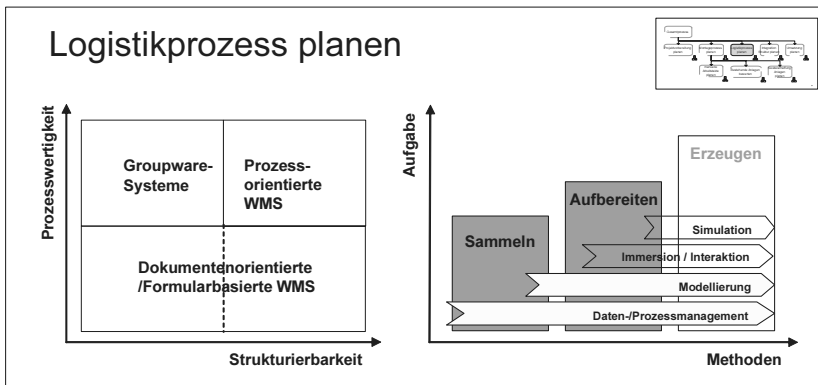
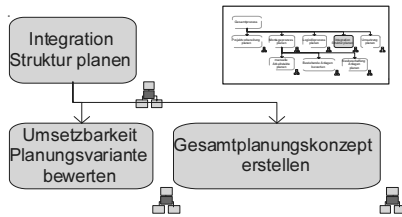


Abbildung 5-23: Bewertung Logistikprozess planen

Im Gegensatz zu 5.2.3 weist der Prozess zur Planung des Logistikprozesses eine deutlich geringere Strukturierbarkeit bei einer gleichzeitig höheren Prozesswertigkeit auf. Zur Unterstützung des Workflows eignet sich daher in erster Linie ein Groupware-basiertes System. Bezüglich der Art der Informationsbearbeitung werden in dem betrachteten Prozessmodell sowohl Informationen gesammelt als auch aufbereitet und als Methoden der Virtuellen Produktion dementsprechend sowohl Daten- und Prozessmanagement als auch Modellierungstechniken und -werkzeuge eingesetzt. Einzige Ausnahme bildet hier wiederum die Ablaufsimulation, die zur Validierung des Materialflusses eingesetzt werden kann und zum Teil auch schon wird. Auf Grund der Abfolge des Planungsprozesses findet dieser Einsatz jedoch erst in dem Modul „Integration Struktur planen“ statt, da erst hier alle notwendigen Informationen zusammenlaufen und durch entsprechende Simulationsexperimente abgesichert werden können. Im Gegensatz zum gegenwärtigen Stand der Technik, wo die Planung und Bewertung der zusätzlichen externen Umfänge unstrukturiert auf Basis von einfachen Tabellen und Notizen geschieht, ist jedoch bereits in diesem Prozessmodul der Einsatz eines an ein integriertes Prozessplanungswerkzeug gekoppelten 2D-CAD Systems als Modellierungswerkzeug möglich.

### 5.2.6 Integration Struktur planen

Sind die Prozessmodule der verschiedenen Fachbereiche ausgeführt, müssen die Ergebnisse in dem Modul „Integration Struktur Planen“ zusammengefahren werden (Abbildung 5-24).



**Abbildung 5-24: Integration Struktur planen**

Die Funktion „Gesamtplanungskonzept erstellen“ beinhaltet dabei den meisten Arbeitsaufwand des Gesamtprozesses und ist Ausgangspunkt für die meisten Iterationsschleifen. Basis des Gesamtkonzeptes ist ein 2D- oder 3D-Layout der Montagehalle, das an ein integriertes Prozessplanungswerkzeug angebunden ist. In das gemeinsame Layout werden die Ergebnisse der verschiedenen Teilprozesse eingepflegt und auf einander abgestimmt. Bei der Ermittlung des Platzbedarfes für die Bereitstellflächen und eventuelle zusätzliche Anlagen und Betriebsmittel werden auch vom Montageprozess unabhängige Faktoren wie zum Beispiel Sozialräume berücksichtigt. Um die Umsetzbarkeit der betrachteten Planungsvariante zu bewerten, werden die in der Projektvorbereitung definierten Randbedingungen bzgl. Zeit und Kosten mit den auf Grund des Gesamtkonzeptes zu erwartenden Werten verglichen. Die in den einzelnen Prozessmodulen ermittelten zeitlichen und monetären Aufwände werden dabei zusammengefahren.

Für die Systemunterstützung dieses Prozessmoduls ist die Modellierung des Montageprozesses und des Hallenlayouts von entscheidender Bedeutung. Eine Unterstützung des Geschäftsprozesses im Sinne eines WMS spielt dagegen nur eine untergeordnete Rolle, da der hoch iterative und unstrukturierte Prozess wenig Automatisierungspotenzial aufweist (Abbildung 5-25).

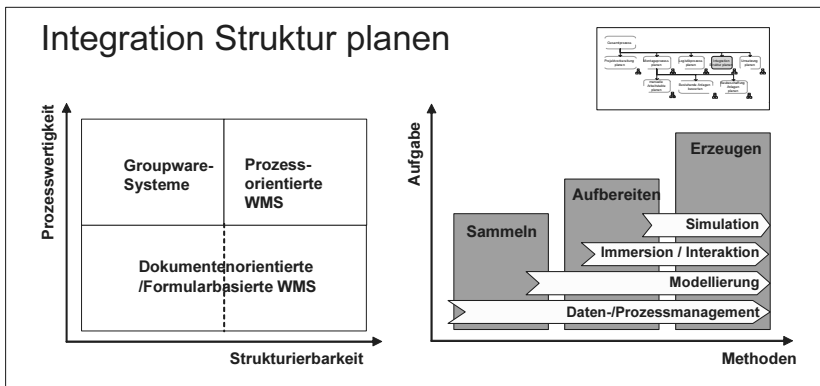


Abbildung 5-25: Bewertung Integration Struktur planen

### 5.2.7 Umsetzung planen

Neben den in den drei Fachprozessen beschriebenen Planungstätigkeiten existieren einige Tätigkeiten, die nicht direkt einem Fachprozess zuzuordnen sind. Dazu gehören Tätigkeiten wie die Raumbedarfsermittlung für Sozialräume, die Planung von Sonderabläufen sowie die übergeordneten Tätigkeiten eines Prozessverantwortlichen zur Berechnung des Aufwands und der Wirtschaftlichkeit der Umsetzung eines bestimmten Produktionsszenarios.

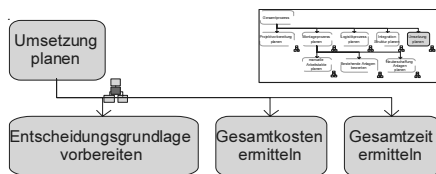


Abbildung 5-26: Umsetzung planen

Die in Abbildung 5-26 aufgeführten Funktionen zur Ermittlung der Zeit und Kosten entsprechen einer einfachen Datenbankabfrage, sofern die Informationen in den vorhergehenden Teilprozessen entsprechend dem Referenzmodell erzeugt worden sind. Zur Vorbereitung der Entscheidungsgrundlage werden verschiedene Planungsvarianten, die im Laufe der Prozessplanung erstellt wurden, miteinander verglichen. Aufbauend auf den Ergebnissen der bereits in der vorhergehenden Prozessmodulen durchgeführten Bewertungen werden in diesem letzten Modul des Referenzmodells die Gesamtkosten und –zeit ermittelt und in eine Entscheidungsgrundlage aufgenommen. Vergleichbar ist das Modul „Umsetzung planen“ mit der



Ausarbeitung innerhalb der Systematischen Montageplanung nach BULLINGER U.A. (1986) (Abbildung 5-27).

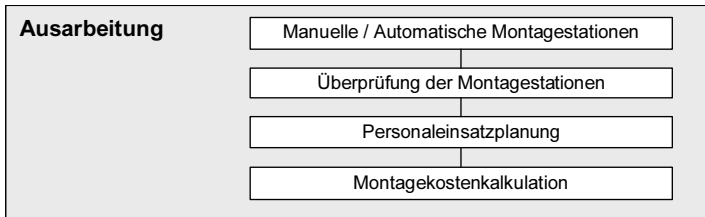


Abbildung 5-27: Ausarbeitung innerhalb der Systematischen Montageplanung [Bullinger u.a. 1986]

Im Gegensatz zu dieser klassischen Vorgehensweise, werden die Entscheidungen bzgl. der manuellen und automatisierten Montagestationen und deren Überprüfung schon zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführt. Die Personaleinsatzplanung findet für die betrachteten Anwendungsfälle nicht innerhalb des durch das Referenzmodell betrachteten Planungsprozesses statt, sondern außerhalb.

### 5.3 Systementwurf

Im Folgenden wird ein Systementwurf für die Ausführung des im Vorigen entwickelten Referenzmodells erarbeitet. LEYMAN (1996) beschreibt ein Workflow-Management-System als „ein Werkzeug, welches die Erstellung großer, verteilter Anwendungen aus unabhängig entwickelten Teilsystemen unterstützt“. Mit der Entwicklung einer Methodik für die betriebsbegleitende Prozessplanung wird das Zusammenspiel der Vielzahl unabhängig voneinander entwickelter Teilsysteme der Virtuellen Produktion gesteuert. Ein Workflow-Management-System ermöglicht also nicht nur die Automatisierung und damit Implementierung des Referenzmodells, sondern gleichzeitig auch die Integration der verschiedenen Werkzeuge der Virtuellen Produktion. Die Integration der verschiedenen Einzelwerkzeuge über ein WMS entspricht einer prozessorientierten Implementierung der Virtuellen Produktion. Im Gegensatz zu der in Kapitel 3.2.4 beschriebenen funktionsorientierten Systemunterstützung der Prozessplanung soll die Virtuelle Produktion als prozessorientiertes Anwendungssystem implementiert werden.

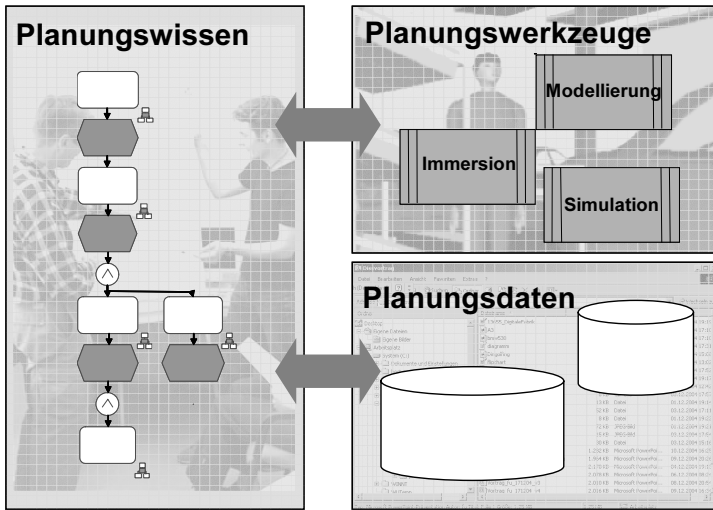


Abbildung 5-28: Prozessorientiertes Anwendungssystem

Abbildung 5-28 beschreibt das Konzept eines prozessorientierten Anwendungssystems. Der Anwender bewegt sich nur innerhalb der Oberfläche des Prozessmodells und wird durch das in dem Referenzmodell abgebildete Planungswissen durch die Bearbeitung der Planungsaufgaben geführt. Die verschiedenen Planungswerkzeuge und Planungsdaten werden individuell zur Bearbeitung einzelner Aufgaben herangezogen. Die Daten können dabei entweder direkt über das Prozessmodell aus einer zentralen Datenbasis aufgerufen werden oder dezentral innerhalb durch die jeweiligen Anwendungssysteme verwaltet werden.

Ein aus dem Referenzmodell instanziiertes Geschäftsprozess für die Prozessplanung in der Montage soll in Form des in Kapitel 3.4.3 vorgestellten Geschäftsprozessmanagements automatisiert werden. Die Möglichkeiten zur Automatisierung der Planungsprozesse hängen zu einem großen Teil von der Strukturierbarkeit und Wiederholhäufigkeit der abzubildenden Planungsprozesse ab. Die bei der Entwicklung des Referenzmodells angewendete Modularisierung dient der Optimierung des Planungsprozesses hinsichtlich der beiden genannten Merkmale. Ob sich die im Referenzmodell vorgegebene Modularisierung in der Praxis umsetzen lässt, hängt im Wesentlichen von der Organisation der Prozessplanung ab. Dem Systementwurf geht daher eine Betrachtung der Organisation in der Prozessplanung voraus, um anschließend geeignete Systementwürfe für die Unterstützung der Organisationsformen zu entwickeln. Gemäß der Klassifizierung der einzelnen Prozessmodule des Referenzmodells in Bezug auf die Workflow-Kategorien werden zwei unterschied-

liche Konzepte, die Groupware- und die Workflow-basierte Implementierung untersucht. Gemeinsam haben beide, dass sie auf bestehenden Systemen aufsetzen, die gegebenenfalls bezüglich der Benutzeroberflächen oder zu implementierender Schnittstellen angepasst werden. Der Systementwurf beschreibt, welche Systeme zur Ausführung bestimmter Funktionen eingesetzt werden und welche Anpassungen an diesen Systemen durchzuführen sind. Im Anschluss an den Systementwurf wird eine Einführungsstrategie für die unternehmensspezifische Implementierung des Prozessmodells entwickelt.

### 5.3.1 Organisation der Prozessplanung

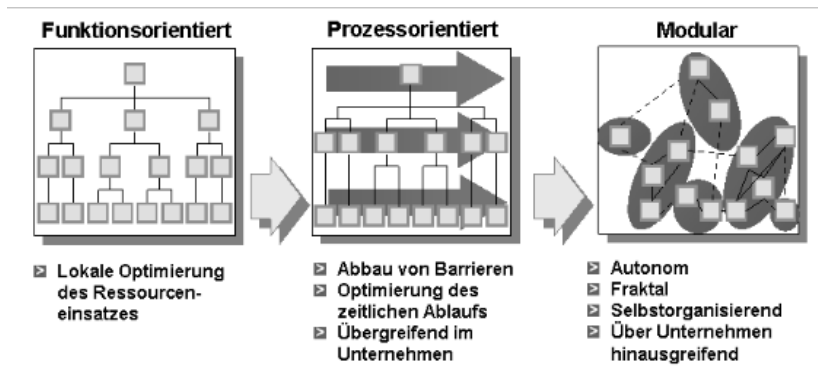


Abbildung 5-29: Organisationsformen in der Prozessplanung

Abbildung 5-29 gibt einen Überblick über mögliche Organisationsformen in der Prozessplanung. In der Praxis ist die Prozessplanung überwiegend funktionsorientiert organisiert. Die Implementierung der Virtuellen Produktion basiert auf Insellösungen zur Unterstützung einzelner Funktionen. Durch das entwickelte Referenzmodell wird ein Schritt von der Funktionsorientierung hin zur Prozessorientierung unternommen. Die Vorteile liegen in der zeitlichen Optimierung des abteilungsübergreifenden Planungsprozesses. Die in Kapitel 3.4.2 beschriebenen Anforderungen an die Einführung eines Workflow-Management-Systems beziehen sich in erster Linie auf die Wiederholhäufigkeit und die Strukturierbarkeit der Prozesse. Die Strukturierbarkeit der Prozessplanung ist durch das entwickelte Referenzmodell zwar gegeben, die Wiederholhäufigkeit für das gesamte Referenzmodell ist für dessen starre Automatisierung durch ein Workflow-Management jedoch zu gering. Um den dafür notwendigen Aufwand zu rechtfertigen muss die Organisation von der Prozessorientierung zu einer modularen Organisation weiterentwickelt werden. Ziel ist, dass die einzelnen Module eine aus-

reichende Wiederholhäufigkeit aufweisen, um durch ein Workflow-Management automatisierbar zu sein. Um eine skalierbare Implementierung des entwickelten Referenzmodells zu ermöglichen wird in Kapitel 5.3.2 ein Groupware-basierter Systementwurf beschrieben. Unter der Voraussetzung, dass die beschriebene modulare Organisation der Prozessplanung in Zukunft gelingt, wird anschließend in Kapitel 5.3.3 ein Workflow-basierter Systementwurf beschrieben, zusammen mit den Anforderungen an die Organisation der Prozessplanung, die eine solche Implementierung ermöglichen.

### **5.3.2 Groupware-basierter Systementwurf**

Die wesentlichen Aufgaben der Systemunterstützung lassen sich in zwei Teilbereiche aufteilen. Auf der einen Seite steht die Projektsteuerung, welche die Einhaltung und Durchführung des definierten Prozessmodells überwacht und steuert. Auf der anderen Seite stehen das Datenmanagement und die Dokumentation. Aufgabe des Datenmanagements ist die Gewährleistung des Zugriffs auf im Unternehmen vorhandene oder neu zu implementierende Datenquellen. Aufgabe der Dokumentation ist zum einen das Monitoring des laufenden Prozessfortschrittes und zum anderen die Schaffung einer Wissensbasis bzgl. abgeschlossener Planungsprozesse, auf die für „Best Practice“-Lösungen zurückgegriffen werden kann. Dazu muss der laufende Prozessfortschritt aufgezeichnet und in einer Datenbank gespeichert werden.

#### **Projektsteuerung**

Die primären Aufgaben der Projektsteuerung sind die Aufgaben-, Termin-, Kosten- und Zielverfolgung. Kern der Projektsteuerung ist eine Instanz, die jede einzelne Planungsaufgabe einem Bearbeiter zuordnet und überwacht. Im Rahmen des Groupware-basierten Systementwurfs geschieht die Projektsteuerung manuell durch den Projektleiter bzw. den jeweiligen Verantwortlichen für den Prozess.

Für die manuelle Projektsteuerung wird aufbauend auf einer bestehenden Groupware eine Benutzerschnittstelle geschaffen, in der der Benutzer eine Auswahl der zur Verfügung stehenden Prozessmodelle erhält. Zur Implementierung der Benutzerschnittstelle werden die als EPK modellierten Geschäftsprozesse als HTML-Seiten exportiert und im Intranet des Unternehmens dargestellt. Ausgehend von diesem statischen Prozessmodell kann der Prozessverantwortliche überblicken, welche einzelnen Schritte in welcher Reihenfolge zu erledigen sind und welche von den Bearbeitern als fertig gemeldet worden sind. Die Benutzeroberfläche bietet dem Bearbeiter die Möglichkeit, bereits vordefinierte Prozesse auszuwählen, aus bestehenden Bausteinen (Funktionen) neue Prozesse zu definieren oder nur einzelne

Planungsaufgaben anhand der jeweiligen Funktion individuell auszulösen. Planungsschritte, die der Projektleiter nicht selbst durchführt, werden als Aufgabe an einzelne Mitarbeiter delegiert. Die Benachrichtigung erfolgt e-Mail-basiert, wobei neben der Aufgabe auch die relevanten Daten bereitgestellt oder abgefragt werden.

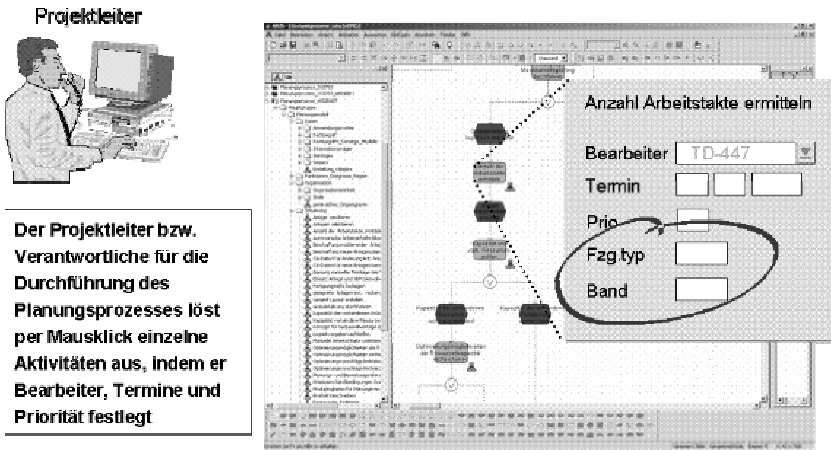


Abbildung 5-30: Muster GUI zur Projektsteuerung

Abbildung 5-30 zeigt ein Muster für die Benutzeroberfläche zur Steuerung des Planungsprozesses. Der Projektleiter (oder Prozessverantwortliche) arbeitet mit der Oberfläche des Prozessmodellierungstools, in der er über eine Ordnerstruktur auf die verschiedenen Objekttypen zur Definition neuer Prozessmodelle oder auf vordefinierte Prozessmodelle zugreifen kann. Das Referenzmodell steht als Prozessmodell zur Verfügung, die einzelnen Objekte des Referenzmodells sind über die Ordnerstruktur so abgelegt, dass aus ihnen auch neue Prozesse instanziiert werden können. Die im Prozessmodell enthaltenen Funktionen entsprechen den einzelnen Planungsaufgaben, die verschiedenen Mitarbeitern zugeordnet werden müssen. Dazu sind die Funktionen auf Objektebene mit vordefinierten Aufgabentemplates auf Basis der Groupware verknüpft. Der Zugriff auf die Planungsdaten geschieht über vordefinierte Formulare der Groupware, in denen entsprechende Datenbankabfragen implementiert sind. Abbildung 5-31 zeigt eine Musteroberfläche für eine Planungsaufgabe auf Basis von MS-Outlook. Durch die Integration vordefinierter Aufgabenformulare des Groupware-Systems wird der Funktionsumfang von der reinen Prozessbeschreibung um die Prozessausführung ergänzt. Die Grundfunktionalitäten zum Projektmanagement können hierbei übernommen werden. Ergänzt werden muss die Funktionalität zur Abfrage der Planungsdaten an Hand bestimmter Eingangsgrößen aus den Produktivsystemen. Die entsprechenden

Schnittstellen müssen also innerhalb der Groupware auf Basis der einzelnen Aufgaben implementiert werden. Der Zugriff auf die Planungsdaten geschieht über die vordefinierten Formulare der Groupware, in denen entsprechende Datenbankabfragen implementiert sind.

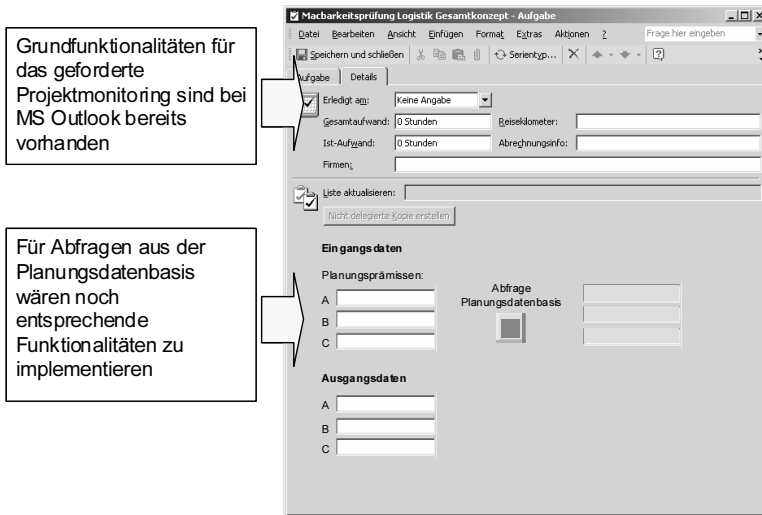


Abbildung 5-31: Muster GUI für die Beschreibung der Planungsaufgaben

**Projektmonitoring**

Neben der Funktionalität zur Steuerung muss über die Systemunterstützung auch das Monitoring des Prozessfortschrittes erfolgen. Hierbei geht es in erster Linie um die Stati der einzelnen Bearbeitungsschritte, die anhand des Prozessmodells sichtbar gemacht werden sollen. Grundsätzlich bieten Groupware-Systeme die notwendigen Basisfunktionalitäten, um den Status einer einzelnen Aufgabe verfolgen zu können. Der vorliegende Systementwurf verwendet die Standard Outlook-Oberfläche, um die Stati der einzelnen Planungsaufgaben zu überwachen. Die Statusmeldungen müssen die jeweiligen Bearbeiter allerdings manuell einpflegen, in dem sie den Erfüllungsgrad der ihnen zugewiesenen Aufgaben in der Outlook-Oberfläche angeben, nachdem sie diese bearbeitet haben.

**Datenhaltung**

Eine der Prämissen bei der Entwicklung der Systemunterstützung ist die Möglichkeit zur Nutzung bestehender Produktivsysteme des betrachteten Unternehmens für die Verwaltung der Planungsdaten. Dies soll zum einen den Aufwand zur Einführung der Systemunterstützung verringern und zum anderen ist sichergestellt, dass

mit dem Referenzmodell nicht berücksichtigte Aufgaben weiterhin erfüllt werden können. Neben diesen existierenden Planungsdaten ist es allerdings notwendig, zusätzliche Informationen systemtechnisch zu erfassen und zentral verfügbar zu machen. Bereits bei der Entwicklung des Referenzmodells wurden die für die verschiedenen Planungsschritte benötigten Informationen dokumentiert. Für die unternehmensspezifische Implementierung des Referenzmodells müssen diese Informationen anschließend existierenden Systemen im jeweiligen Unternehmen zugeordnet werden oder, falls dies nicht möglich ist, als Anforderung bzgl. zusätzlich zu implementierender Systeme erfasst werden. Das diesbezügliche Vorgehen ist im Rahmen der Einführungsstrategie in Kapitel 5.4 beschrieben. Gemäß dem Referenzmodell ist zwischen dem System Planungsdatenbasis und einem Dokumentenmanagementsystem zu unterscheiden.

- Aufgabe des Systems „**Planungsdatenbasis**“ ist es, die wesentlichen Planungsdaten in einer Datenbank verfügbar zu machen. Dies ist die Voraussetzung, um durch entsprechende Verknüpfungen innerhalb des Datenschemas eine teilautomatisierte Auswertung der Planungsdaten zu ermöglichen und den Planer damit zu entlasten.
- Das **Dokumentenmanagementsystem** dient der Verwaltung der dateibasierten Planungsdaten, die innerhalb des Referenzmodells definiert wurden. An ein kommerzielles System zur Implementierung des Dokumentenmanagements besteht bzgl. des Konzeptes für die Systemunterstützung die Anforderung, dass es über ein geeignetes API (Application Programming Interface = Programmierschnittstelle) verfügt, das einen Zugriff auf die verwalteten Dokumente über die zu implementierende Groupware zulässt. Die einfachste Lösung ist in diesem Fall die Implementierung des Dokumentenmanagements als Teil der Groupware. Damit können die relevanten Dokumente direkt aus der Benutzeroberfläche der Projektsteuerung aufgerufen werden, ohne diese verlassen zu müssen. Des Weiteren ist diese Schnittstelle erforderlich, damit die entsprechende Abfrage-logik hinterlegt werden kann, um in Abhängigkeit definierter Planungsdaten die richtigen Dokumente abrufen zu können. Die Funktionalität, diese Abfrage-logik in dem System hinterlegen zu können, ist eine Anforderung an das auszuwählende System und muss gegebenenfalls implementiert werden. Die Funktionalität des Dokumentenmanagementsystems und dessen Einbindung in den Systementwurf wird im Rahmen dieser Arbeit als Anforderung definiert und nur für den Workflow-basierten Systementwurf realisiert.

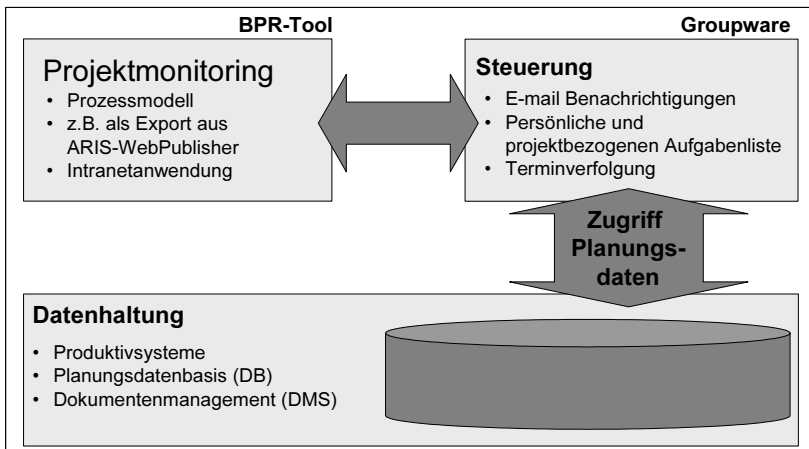


Abbildung 5-32: Systemarchitektur Groupware-basierter Systementwurf

Abbildung 5-32 zeigt die Systemarchitektur für den Groupware-basierten Systementwurf. Das Datenschema für die zu implementierenden Systeme ist im Referenzmodell enthalten.

### 5.3.3 Workflow-basierter Systementwurf

Neben dem im Vorigen beschriebenen Groupware-basierten Systementwurf, der eine manuelle Steuerung des Planungsprozesses vorsieht, wird im Folgenden der Workflow-basierte Systementwurf beschrieben.

#### Projektsteuerung

Der Workflow-basierte Systementwurf unterscheidet sich vom Vorigen im Wesentlichen durch das Auslösen der einzelnen Planungsschritte für die Projektsteuerung. Während bei dem Groupware-basierten Systementwurf jede Planungsaufgabe manuell zu den jeweiligen Bearbeitern geschickt wird, geschieht dies nun automatisiert durch einen Workflow-Engine. Durch den Projektleiter bzw. den Planungsverantwortlichen werden nicht einzelne Funktionen initialisiert, indem sie einem Bearbeiter zugeordnet werden, sondern es werden komplette Teilprozesse, die im Workflow-Schema vordefiniert sind, instanziiert.



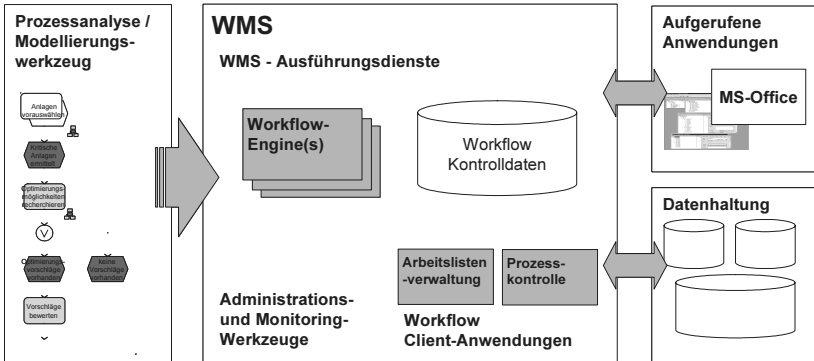


Abbildung 5-33: Systemarchitektur Workflow-basierter Systementwurf

Abbildung 5-33 zeigt die Systemarchitektur für den Workflow-basierten Systementwurf. Kern der Architektur ist ein Workflow-Management-System, das die WMS-Ausführungsdienste, Administrations- und Monitoring-Werkzeuge sowie die Workflow Client-Anwendungen beinhaltet. Neben dem WMS existiert innerhalb des Systementwurfs ein Prozessanalyse- und Modellierungswerkzeug zur Verwaltung und Konfiguration der unternehmensspezifischen Referenzmodelle. Die Schnittstelle zwischen der Prozessmodellierung und dem WMS ist für alle derzeit verfügbaren Systeme, soweit überhaupt eine Schnittstelle existiert, unidirektional. Es werden also keine Informationen, wie zum Beispiel Statusinformationen bzgl. des Prozessfortschrittes, aus dem Workflow-Engine zurück an das Prozessmodell gespielt.

Existiert keine Schnittstelle zwischen dem Prozessmodellierungstool und der Workflow-Umgebung werden die Prozesse manuell auf Basis des unternehmensspezifischen Referenzmodells in einer in das WMS integrierten Applikation nachmodelliert. Dadurch entstehen zwei redundante Prozessmodelle, einmal in dem BPR-Werkzeug, in dem das Referenzmodell beschrieben wurde und einmal auf Basis des Workflow-Schemas innerhalb des WMS. Da zwischen beiden Modellen keine Verbindung besteht, ist die Pflege beider Modelle sehr aufwändig. Die Workflowbasierte Implementierung ohne durchgängiges Geschäftsprozessmanagement eignet sich daher nur für Prozessmodule mit einer hohen Wiederholhäufigkeit. Die Planungswerkzeuge (vgl. aufgerufene Anwendungen Abbildung 5-33) werden durch das WMS aufgabenspezifisch aufgerufen.

**Projektmonitoring**

Das Projektmonitoring geschieht ebenfalls innerhalb des WMS. Im Prozessmodell werden dazu Aktivitäten modelliert, die das Erledigen eines bestimmten Planungsschrittes an eine bestimmte Person oder Rolle melden. Darüber hinaus dienen die im WMS integrierten Administrations- und Monitoring-Werkzeuge der Visualisierung des Prozessfortschrittes. Der Status der einzelnen Aktivitäten wird farblich und durch entsprechende Symbole gekennzeichnet.

**Datenhaltung**

Neben der Übertragung des Referenzmodells in das Workflow-Schema kann bei dem Workflow-basierten Systementwurf auch zwischen verschiedenen Arten der Datenhaltung unterschieden werden. Diese kann alternativ verteilt auf Basis der bisher im Unternehmen bestehenden Systeme geschehen (Abbildung 5-33) oder als integrierte Datenhaltung auf Basis der Datenbank des WMS (Abbildung 5-34).

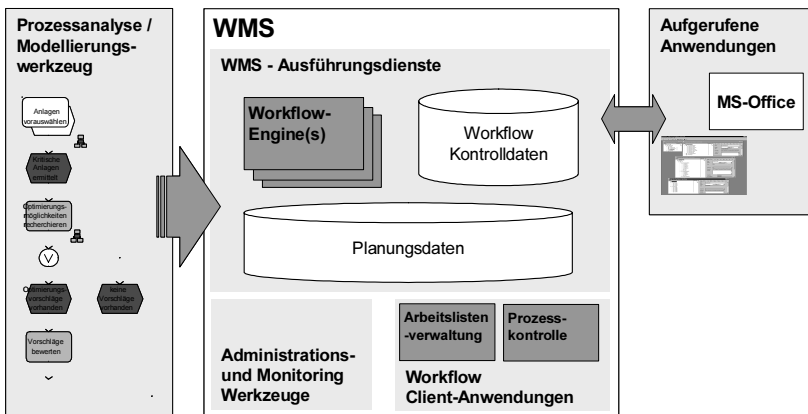


Abbildung 5-34: Workflow-basierter Systementwurf mit integrierter Datenhaltung

Auf Grund dieser beiden Alternativen ergeben sich wesentliche Unterschiede bezüglich der Einführung der Methodik. Handelt es sich um eine integrierte Datenhaltung innerhalb des WMS, ist die Integration der Planungsdaten mit den Planungsaufgaben wesentlich leichter. Im Falle eines durchgängigen Geschäftsprozessmanagements ist es in diesem Fall machbar, die Zuordnung der Planungsdaten zu den einzelnen Planungsschritten schon innerhalb des BPR-Tools zu definieren und durch die Übertragung ins Workflow-Schema zu implementieren. Dadurch bleibt die Verknüpfung auch bei der Rekonfiguration neuer Prozessmodelle aus den bestehenden Funktionen erhalten und die neu konfigurierten Prozessmodelle können direkt durch das WMS ausgeführt werden.

Handelt es sich dagegen um eine verteilte Datenhaltung, müssen analog zur Groupware-basierten Implementierung die Schnittstellen zu den Produktivsystemen realisiert werden. Die Implementierung erfolgt auf Basis der einzelnen Aktivitäten im Workflow-Schema. Da für den Workflow-basierten Systementwurf keine bidirektionale Verbindung zwischen dem GP-Schema und dem Workflow-Schema besteht, müssen die Schnittstellen für jedes rekonfigurierte Prozessmodell neu implementiert werden.

In der Praxis eingesetzte Workflow-Management-Anwendungen werden als Komponente eines umfangreichen PDM/PLM-Systems oder ERP-Systems zur Steuerung der Abläufe mit Informationen aus den jeweiligen Systemen, also im Sinne der hier beschriebenen integrierten Datenhaltung, genutzt [vgl. SCHERUHN 1998]. Die Verwaltung zusätzlicher, externer Daten ist zwar technisch möglich, der notwendige Aufwand zur manuellen Implementierung der zusätzlichen Schnittstellen ist jedoch nur für einzelne Prozesse mit einer hohen Wiederholhäufigkeit und Prozesswertigkeit gerechtfertigt.

## 5.4 Einführungsstrategie

Das in Kapitel 5 entwickelte Referenzmodell entspricht in seinem Detaillierungsgrad dem Fachkonzept im ARIS Systemhaus (vgl. SCHEER 1991). Das Datenschema beschreibt, welche Informationen grundsätzlich zur Durchführung welcher Aufgaben benötigt werden. Um von dem entwickelten generischen Referenzmodell zu einem unternehmensspezifischen Systemkonzept zu kommen, wird im Folgenden die Einführungsstrategie der Methodik entwickelt. Abbildung 5-35 gibt einen Überblick über die Einführungsstrategie für die Methodik.

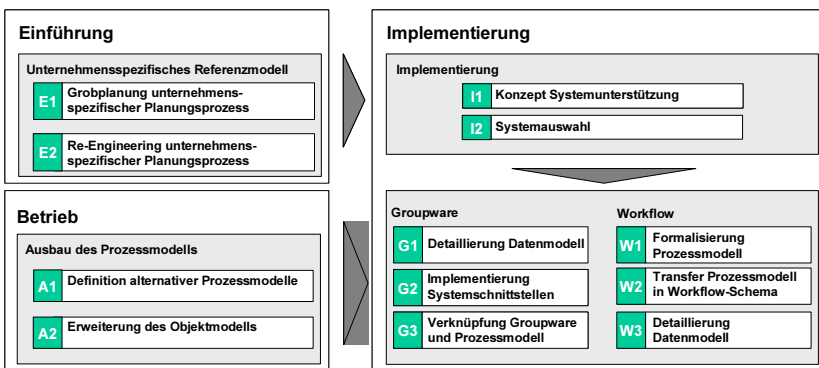


Abbildung 5-35: Einführungsstrategie

Zunächst wird aufbauend auf dem Referenzmodell ein unternehmensspezifisches DV-Konzept entwickelt. Dabei ist zwischen der Grobplanung (E1) und der Feinplanung (E2) zu unterscheiden. In der Grobplanung werden im Fachkonzept der Steuerungssicht die Planungsschritte und der Planungsablauf auf das jeweilige Unternehmen angepasst. In der Feinplanung wird das unternehmensspezifische Organigramm und die IT-Landschaft in dem Prozessmodell hinterlegt.

Für die Implementierung der Methodik muss anschließend ein Konzept für die Systemunterstützung (I1) ausgewählt werden. Neben der Entscheidung zwischen der Groupware- oder Workflow-basierten Implementierung für die unterschiedlichen Prozessmodule ist hierbei die Entscheidung zu treffen, welchen Umfang die prozessorientierte Umsetzung generell haben soll.

Nachdem eine Entscheidung für das grundsätzliche Konzept getroffen ist, findet anschließend eine Systemauswahl für die Prozessausführung statt (I2).

Erst nach der Systemauswahl findet die Detaillierung des Datenmodells für den Groupware-basierten Systementwurf (G1) oder alternativ die Formalisierung des Prozessmodells für den Workflow-basierten Systementwurf statt (W1). Auf der einen Seite werden daraufhin die Aufgabentemplates mit den Schnittstellen zu den Produktivsystemen implementiert (G2) und anschließend auf Objektebene mit den Funktionen des Prozessmodells verknüpft (G3). Für die Workflow-basierte Implementierung wird das in W1 detaillierte und formalisierte Prozessmodell in ein Workflow-Schema übertragen (W2). In Abhängigkeit der getroffenen Systemauswahl geschieht die Formalisierung und Detaillierung des Prozessmodells innerhalb der BPR Umgebung (für eine automatische Überführung ins Workflow-Schema) oder manuell auf Basis des Workflow-Schemas.

Ein wesentlicher Bestandteil der Methodik ist der kontinuierliche Ausbau des Prozessmodells. Dieser geschieht indem sowohl alternative Planungsprozesse aus den bestehenden Objekten definiert (A1), als auch neue Objekte hinzugefügt (A2) werden. Die Änderungen im Prozessmodell müssen anschließend entweder manuell in der Groupware entsprechend nachvollzogen (G1, G2) oder möglichst automatisiert in das Workflow-Schema (W1, W2) des WMS übernommen werden.

Die einzelnen Schritte der Einführungsstrategie werden im Folgenden detailliert beschrieben. Abschließend werden in Kapitel 5.4.4 generelle Prinzipien und Strategien zur Einführung neuer Methoden in einem Unternehmen erläutert.

### 5.4.1 Einführung

#### **E1 Grobplanung unternehmensspezifischer Planungsprozess**

Die unternehmensspezifische Detaillierung des Referenzmodells findet immer noch auf der Ebene des Fachkonzeptes statt. Durch das entwickelte Referenzmodell ist ein großer Teil der Arbeit zur Implementierung eines Prozessmanagements getan, es muss also nur noch das bestehende Modell auf die unternehmensspezifischen Randbedingungen angepasst werden. Dazu werden im Folgenden drei Schritte zur Grobplanung des unternehmensspezifischen Planungsprozesses beschrieben.

- 1. Einführung in die Methodik:** Zu Beginn der Planung des unternehmensspezifischen Planungsprozesses müssen die beteiligten Mitarbeiter mit der Methodik vertraut gemacht werden. Dazu ist zum einen das generelle Problemverständnis als Motivation für die Einführung der Methodik zu schaffen. Anschließend müssen die an der Planung beteiligten Mitarbeiter in der Modellierungstechnik geschult werden. Das in Kapitel 5.1.3 eingegrenzte Metamodell erleichtert es den Mitarbeitern, die für die Modellierung zur Verfügung stehenden Konstrukte zu verinnerlichen.
- 2. Definition der Systemgrenzen:** In Hinblick auf die schrittweise Einführung der Methodik, sind die Systemgrenzen zu definieren, innerhalb deren Rahmen eine Einführung stattfinden soll. Richtlinien für die Definition der Systemgrenzen sind z.B. die Schnittstellen zu anderen Organisationseinheiten und damit Verantwortlichkeiten oder auch das vorhandene Budget und die Zeit zur Einführung der Methodik.
- 3. Überprüfung und Anpassung:** Die vorhandenen Bausteine werden bezüglich ihrer Arbeitsinhalte entsprechend der Unternehmensterminologie und -methoden näher spezifiziert. Bei der Entwicklung des Referenzmodells ist davon ausgegangen worden, dass sich die Unterteilung in die verschiedenen Bereiche sowie die Struktur des vorhandenen Organigramms in der Form in jedem Unternehmen wiederfinden. Daher müssen zur Vorbereitung der Implementierung nur die bestehenden Organisationseinheiten und Stellen sowie die verschiedenen Prozessmodule entsprechend der Unternehmensterminologie umbenannt werden. In einem Workshop mit erfahrenen Mitarbeitern aus den vier verschiedenen Fachbereichen (Anlagentechnik, Manuelle Arbeitsakte, Logistikprozess und Integration Strukturplanung) werden anschließend in der Steuerungssicht die Bezeichnungen der Fachbegriffe diskutiert und die im Modell vorhandenen Anwendungssystemtypen durch konkrete Anwen-

dungssysteme ersetzt. Dies geschieht in mehreren Expertenrunden in den verschiedenen Bereichen. Die Datenquellen werden den Fachbegriffen als Attribut zugeordnet und können damit über entsprechende Abfragen aus dem Prozessmodell leicht abgefragt werden.

- 4. Potenzial- und Prozessergänzung:** Anwendungssystemtypen, denen kein vorhandenes Anwendungssystem zugeordnet werden kann, stellen direktes Verbesserungspotenzial im Sinne einer Virtuellen Produktion dar. Es ist ebenfalls möglich, dass ein Anwendungssystem gleich mehreren Anwendungssystemtypen entspricht. Dies ist der Fall, wenn in dem Unternehmen bereits integrierte Planungswerkzeuge existieren, die mehrere Funktionen innerhalb der Prozessplanung unterstützen. Existieren in dem Unternehmen eigene Prozessstandards für bestimmte Änderungs- oder Freigabeprozesse, kann es notwendig sein, weitere Funktionen in dem Prozessmodell zu integrieren oder sogar neue Anwendungssystemtypen zu definieren, falls diese auch für die zukünftige Prozessausführung Verwendung finden sollen.

## **E2 Re-Engineering unternehmensspezifischer Planungsprozess**

- 1. Validierung des Prozessmodells:** Nachdem das Referenzmodell unternehmensspezifisch instanziiert wurde, kann es auf Basis der im BPR-Tool definierten Konventionen validiert werden. Dabei wird in erster Linie die formale Korrektheit des entstandenen Prozessmodells überprüft. Über Exportfunktionen werden die Beziehungen und Verwendungen der Fachbegriffe und Funktionen innerhalb des Prozessmodells extrahiert und untersucht. Gegenstand dieser Untersuchung ist die Häufigkeit der Verwendung der verschiedenen Fachbegriffe.
- 2. Re-Engineering des Prozessmodells:** Das Referenzmodell stellt eine Wissensbasis bzgl. der grundsätzlichen Vorgehensweise und des Methodeneinsatzes dar. Auf Grund der ständigen Weiterentwicklung, insbesondere im Bereich der Werkzeuge der Virtuellen Produktion, reicht es nicht aus, der bisherigen Organisation der Prozessplanung das Referenzmodell aufzustülpen. Es kann genauso notwendig sein, einzelne Schritte des Referenzmodells auf Grund besonderer Anforderungen des Unternehmens anzupassen. Um das Re-Engineering des Prozessmodells zu unterstützen, werden die Prozesskostenrechnung und Simulationen der Durchlaufzeit für alternative Planungsprozesse eingesetzt.

## 5.4.2 Implementierung

### I1 Konzept Systemunterstützung

Als erster Schritt für die Implementierung der Methodik ist eine Entscheidung bzgl. der Groupware- oder Workflow-basierten Implementierung zu treffen. Neben der bereits bei der Entwicklung des Referenzmodells durchgeführten Klassifizierung sind dabei noch weitere Punkte zu beachten, die im Folgenden beschrieben werden.

1. **Organisation der Prozessplanung:** Gemäß Kapitel 5.3.1 ist zunächst die bestehende Organisation der Prozessplanung zu analysieren. Voraussetzung für die Entscheidung für die Workflow-basierte Implementierung ist, dass es in den Phasen E1 und E2 gelungen ist, aus dem Referenzmodell Prozessmodule abzuleiten, die den Anforderungen in Bezug auf Strukturierbarkeit und Wiederholhäufigkeit gerecht werden. Der Grund hierfür liegt in dem Aufwand, der für die Überführung des Prozessmodells in das Workflow-Schema benötigt wird. Besteht keine Kopplung zwischen Geschäftsprozess- und Workflow-Schema, muss das unternehmensspezifische Referenzmodell komplett in der Workflow-Umgebung nachmodelliert werden.
2. **IT-Infrastruktur:** Ein weiteres entscheidendes Kriterium ist die vorhandene IT-Infrastruktur bzw. die Bereitschaft diese mit einem durchgängigen System zu ersetzen. Soll weitestgehend auf bestehenden Systemen aufgesetzt werden, empfiehlt sich eher die Groupware-basierte Implementierung, während deren Ablösung die Einführung einer durchgängigen Workflow-Management basierten Lösung möglich macht.

### I2 Systemauswahl

Ist eine Entscheidung bezüglich des Konzeptes für die Systemunterstützung getroffen, findet der Auswahlprozess bezüglich der verfügbaren IT-Systeme statt, auf deren Basis das Konzept umgesetzt werden soll. Entscheidender Punkt bei der Systemauswahl ist die Einbindung in die IT-Strategie des Unternehmens. Solange sie den im Systementwurf gestellten Anforderungen gerecht werden, ist nach Möglichkeit auf im Unternehmen vorhandene Groupware oder Workflow-Management-Systemen aufzusetzen, um Synergieeffekte nutzen zu können. Die Anforderungen an die Systeme können den Kapiteln 5.3.2 und 5.3.3 entnommen werden.

### G1 Detaillierung Datenmodell

Die innerhalb des DV-Konzeptes des Referenzmodells modellierten Funktionszuordnungsdiagramme repräsentieren das Datenschema für den Systementwurf. Ausgehend von diesem Datenschema wird in G1 ein detailliertes Datenmodell ent-

wickelt. Für die Modellierung empfiehlt sich in diesem Fall das Entity-Relationship-Modell (ERM). An der Detaillierung des Datenschemas sind ausschließlich die IT-Experten des Unternehmens sowie die Dienstleister zur Implementierung der Systemunterstützung beteiligt. Als Input werden die Datenmodelle der vorhandenen Produktivsysteme benötigt, um die notwendige Abfrage-logik zur Implementierung der Schnittstellen beschreiben zu können. Da die im Unternehmen vorhandenen Systeme häufig ebenfalls von Dienstleistern individuell entwickelt wurden, kann es notwendig sein, entsprechende Experten dieser Dienstleister hinzuzuziehen. Die im ERM enthaltene Abfrage-logik bildet die Grundlage zur Implementierung der Aufgabentemplates in G2.

### **G2 Implementierung Systemschnittstellen**

Die Systemschnittstellen zur Abfrage der Planungsdaten werden auf Basis der Aufgabentemplates des Groupware-Systems implementiert. Das in G1 entwickelte Datenmodell ist Kern eines entsprechenden Lastenheftes zur Vergabe des Auftrages an einen Dienstleister. Die wichtigste Herausforderung bei der Implementierung der Schnittstellen ist die Vergabe und Nutzung von Zugriffsrechten. In der Regel haben die existierenden proprietären IT-Werkzeuge alle individuelle Zugriffsrechte, die mit einer direkten Schnittstelle umgangen werden. Diese Sicherheitslücke muss durch entsprechende Vorkehrungen durch eingeschränkte Zugriffsrechte auf Basis der Groupware kompensiert werden. Die vordefinierten Aufgabentemplates werden dazu nur bestimmten Benutzergruppen zugänglich gemacht.

### **G3 Verknüpfung Groupware und Prozessmodell auf Objektebene**

Die Verknüpfung der Aufgabentemplates mit dem Prozessmodell geschieht auf Objektebene. Dafür werden innerhalb der BPR-Umgebung den einzelnen Funktionen des Objektmodells die entsprechenden Aufgabentemplates hinterlegt. Technisch lässt sich die Verknüpfung als Attribut innerhalb der BPR-Umgebung recht einfach realisieren und mit Hilfe eines beliebigen Symbols im Prozessmodell visualisieren. Die Stati der einzelnen Funktionen werden dann entweder innerhalb der Groupware-Umgebung auf Basis der vorhandenen Funktionalitäten, oder durch eine zusätzliche Verknüpfung mit dem Prozessmodell visualisiert.

### **W1 Formalisierung Prozessmodell**

Für die Workflow-basierte Implementierung der Methodik bestehen höhere Anforderungen an die Detaillierung des Prozessmodells als für das alternative Systemkonzept. Während die Groupware-basierte Implementierung manuell durch entsprechende IT-Dienstleister oder unternehmensinterne IT-Experten geschieht, besteht für die Workflow-basierte Implementierung die Möglichkeit eines durch-



gängigen Geschäftsprozessmanagements, bei dem das Workflow-Schema direkt aus dem Prozessmodell abgeleitet wird (vgl. Kapitel 3.4.3). Hat man sich im Rahmen der Systemauswahl für eine solche Lösung entschieden, muss das Prozessmodell weiter detailliert und für eine automatische Ausführung formalisiert werden. Die genauen Anforderungen und Vorgehensweisen sind abhängig von der Systemauswahl und für die in Kapitel 3.4.3 genannten Konzepte in den angegebenen Quellen beschrieben. Ist die Wahl auf ein Workflow-Management-System gefallen, dass über keine direkte Schnittstelle zwischen dem Prozessmodell als EPK und dem Workflow-Schema verfügt, wird der Schritt W1 übersprungen und direkt mit einem manuellen Transfer des Prozessmodells in das Workflow-Schema begonnen.

### **W2 Transfer Prozessmodell in Workflow-Schema**

Wie in Kapitel 3.4.3 beschrieben existieren für den Transfer des Prozessmodell in das Workflow-Schema zwei verschiedene Ansätze. Für den integrierten Ansatz findet der Transfer automatisiert statt und der Schritt W2 kann übersprungen werden. Für den sequentiellen Ansatz müssen gegebenenfalls Erweiterungen am Prozessmodell vorgenommen werden, die von dem zu erstellenden Workflow-Schema abhängig sind.

### **W3 Detaillierung Datenschema**

Auch für den Fall, dass ein System mit einem durchgängigen Geschäftsprozessmanagement gewählt wurde, müssen die Schnittstellen zu den Produktivsystemen nachträglich manuell erstellt werden. Analog zu G1 und G2 finden also in diesem Schritt eine detaillierte Beschreibung des Datenmodells und anschließend die Implementierung der Systemschnittstellen auf Basis der einzelnen Workflow-Aktivitäten statt.

## **5.4.3 Ausbau des Prozessmodells**

### **A1 Definition alternativer Prozessmodelle**

In Abhängigkeit von der vorhandenen Systemlandschaft, die für eine unternehmensspezifische Implementierung übernommen werden soll, ist der Aufwand für die Realisierung der Schnittstellen zu den Produktivsystemen auf Basis der einzelnen Aufgabentemplates sehr hoch. Dieser Aufwand muss durch eine hohe Nutzung dieser Schnittstellen gerechtfertigt werden. Das Ziel der Einführungsstrategie ist es daher, auf Basis der im BPR-Tool enthaltenen Objekte neue Prozessmodelle zu definieren, um nach und nach einen immer größeren Teil der Planungstätigkeiten innerhalb des Unternehmens zu beschreiben. Solange für die Groupware-basierte Implementierung auf vorhandene Funktionen zurückgegriffen wird, entsteht kein

zusätzlicher Aufwand und die Schritte G1-G3 müssen nicht noch einmal durchlaufen werden. Da die Schnittstellen zu der Planungsdatenbasis auf Objektebene definiert wurden, bleiben sie auch bei der Definition neuer Prozessmodelle bestehen. Dies gilt nur bedingt für die Workflow-basierte Implementierung. Werden für die Definition neuer Prozesse ausschließlich im Workflow-Schema vorhandene Aktivitäten verwendet, entsteht ebenfalls kein zusätzlicher Mehraufwand für die Implementierung des neuen Prozessmodells. Dies setzt allerdings voraus, dass die an der Definition der neuen Prozesse beteiligten Experten mit der Notation des Workflow-Schemas vertraut sind. Darüber hinaus werden die im Workflow-Schema vorgenommenen Änderungen im Prozessmodell erwartungsgemäß nicht nachgepflegt und sind damit nicht sauber dokumentiert. Eine Änderungsflexibilität ist daher nur auf der Ebenen der Prozessmodule gegeben, darunter sind die in das Workflow-Schema transferierten Planungsschritte starr verkettet.

### A2 Erweiterung des Objektmodells

Im Zuge der Definition neuer Prozessmodelle werden neben den bestehenden Funktionen und Ereignissen auch neue Objekte erforderlich. Für diese neu definierten Objekte müssen anschließend die Implementierungsschritte G1 bis G3 bzw. W1 bis W3 erneut durchlaufen werden.

### 5.4.4 Prinzipien und Erfolgsfaktoren

Nach GRUNWALD (2002) sind bei der Einführung einer neuen Methode eine Reihe von Prinzipien und Erfolgsfaktoren zu berücksichtigen, die im Folgenden kurz zusammengefasst werden sollen. Die von VIERTLBÖCK (2000) entwickelten und von GRUNWALD (2002) in Bezug auf die *Einführung der Prozessbausteinmethodik* diskutierten wichtigsten Erfolgsfaktoren werden für den vorliegenden Anwendungsfall weiter detailliert:

- **Analyse und Aufbau eines Problembewusstseins sowie die Sensibilisierung der Mitarbeiter:** Grundvoraussetzung für eine Erfolg versprechende Einführung der Methode ist die Schaffung eines Problembewusstseins sowohl bei den Mitarbeitern, als auch in der Unternehmensführung. Für die unternehmensspezifische Initialisierung des Referenzmodells ist das Know how der Mitarbeiter von großer Bedeutung. Um das essentielle Wissen von erfahrenen Mitarbeitern in das Prozessmodell mit einfließen lassen zu können, muss evtl. mit der Preisgabe von Wissen verbundener Skepsis vorgebeugt werden.

- **Einbindung der Mitarbeiter und Methodikverständnis:** Hierbei ist zwischen der Modellierungstechnik auf der einen Seite und der Systemunterstützung zur Ausführung der Planungsprozesse auf der anderen Seite zu unterscheiden. Bevor das vorhandene Referenzmodell unternehmensspezifisch detailliert werden kann, muss das ausgewählte Metamodell sowie der Umgang mit dem Modellierungstool den mit der Einführung betrauten Mitarbeitern verdeutlicht werden. Um die durch das Prozessmodell repräsentierte Wissensbasis weiter ausbauen zu können, ist es wichtig, dass die Methode von den Mitarbeitern akzeptiert und genutzt wird.
- **Nutzung externer Moderatoren und Berater:** Für eine erstmalige Anwendung der Methode in einem Unternehmen wird die Unterstützung eines externen Beraters empfohlen. Für die unternehmensspezifische Detaillierung des Prozessmodells führt er Schulungen zur Modellierungstechnik durch, konfiguriert exemplarisch reale Planungsprozesse zusammen mit den Prozessverantwortlichen und unterstützt diese bei der Anwendung und Pflege des Datenmodells.
- **Nutzung IT-Dienstleister:** Für die vorgeschlagenen Alternativen zur Systemunterstützung sollten aufbauend auf der IT-Strategie des Unternehmens und der vorhandenen Infrastruktur die Alternativen diskutiert und bewertet werden. Für die Integration des Prozessmodells mit der Prozesssteuerung sind entsprechende Entwicklungsaufträge zu vergeben.
- **Von kleinen Veränderungsschritten zu einer Gesamtoptimierung:** Das entwickelte Referenzmodell bezieht sich auf einen konkreten Aufgabenbereich innerhalb der Prozessplanung in der Montage. Durch das Hinzufügen neuer Funktionen zu dem Objektmodell und eine neue Kombination der vorhandenen Objekte kann das Aufgabengebiet der Methodik weiter ausgebaut werden. Generell gilt, je höher die Wiederholhäufigkeit vergleichbarer Aufgabenstellungen ist, desto höher der Nutzen der Methodik.
- **Schrittweise Einführung in Pilotprojekten:** Die Methode sollte in einem Pilotprojekt schrittweise eingeführt werden. In einem ersten Projekt kann dazu ein realer Planungsprozess auf Basis des Referenzmodells beschrieben und analysiert werden. Ideal ist es, die Methodik im Rahmen eines konkreten Projektes anzuwenden und damit den Beteiligten sofort den Nutzen aufzuzeigen. Dabei sollten diese Mitarbeiter - sofern möglich - von anderen Tätigkeiten entlastet werden.

### 5.5 Technisch-wirtschaftliche Bewertung

Kapitel 5.4 hat deutlich gemacht, dass für eine Einführung der Methodik innerhalb eines Unternehmens ein hoher Aufwand für die Reorganisation der Planungsprozesse und die Implementierung der Systemunterstützung notwendig ist. Als Entscheidungsunterstützung für einen möglichen Anwender wird im Folgenden daher ein Vorgehen, verbunden mit einem einfachen Kostenmodell für die technisch-wirtschaftliche Bewertung, entwickelt. Auf Basis dieser Vorgehensweise werden die in Kapitel 6 beschriebene Umsetzung der Methodik abschließend bewertet.

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Anwendungssystemen sowie Maßnahmen zur Umorganisationen, wie sie zur Anwendung der entwickelten Methodik notwendig sind, erläutert NOWAK (2000) in Anlehnung an KOREIMANN (1995) und SCHUCHOW (1997) die dabei auftretenden Probleme und entsprechenden Lösungsansätze (Abbildung 5-36).

Problem	Beschreibung	Lösung
<b>Zurechnungsproblem</b>	Leistungs- und Kostenrechnung treten zeitlich verzögert auf. In der Regel ist eine Vor-Investition erforderlich, d.h. die Kosten treten unmittelbar, die Leistungen zeitlich verzögert auf.	Periodenrechnung und/oder kalkulatorische Verzinsung der Kosten und Leistungen
<b>Innovationsproblem</b>	Die Einführung eines Projekts kann zu zusätzlichen Möglichkeiten der Gestaltung und des Vollzugs der Geschäftslogik führen, so dass der neu entwickelte Anwendungsbereich nicht mehr vergleichbar ist mit der ursprünglichen Situation	Berücksichtigung sog. Sekundärleistungen, die als institutionelle Erträge in eine qualitative Wirtschaftlichkeit eingehen
<b>Maßgrößenproblem</b>	Nicht alle Komponenten der Leistung lassen sich eindeutig in Geld bewerten. So sind beispielsweise die Anlaufschwierigkeiten, die bei der Einführung eines neuen Systems entstehen, kosten- und leistungsmäßig schwerer zu bewerten wie umgekehrt die Vorteile einer verbesserten Arbeitsdurchführung wertmäßig schwer erfasst werden können.	Erfassung der qualitativen Veränderungen durch eine Systemwert- oder Nutzenrechnung

Abbildung 5-36 Probleme und Lösungsansätze zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung [vgl. Koreimann 1995 und Schuchow 1997]

Die Schwierigkeiten lassen sich grundsätzlich in drei verschiedene Arten unterscheiden, das Problem der Zurechnung von Kosten und Nutzen, das Innovationsproblem und das Problem der Maßgrößen. Für die Ermittlung der Projektkosten entwickelt KOREIMANN (1995) eine drei stufige Vorgehensweise. In einem ersten Schritt wird durch die Erstellung eines Personalplans, eines Organisationsmittelpfandes und eines Investitionsplans das Mengengerüst eines Projektes zur Implementierung eines neuen Anwendungssystems ermittelt. Dieses Mengengerüst wird anschließend über die Kosten und geeignete Verrechnungspreise in ein Wertgerüst überführt. Aus den sich daraus ergebenden Einzelaufwänden kann

anschließend der gesamte Projektaufwand ermittelt werden. Aus dem Personalplan ergeben sich dabei nach KOREIMANN (1995) die Kosten für Personalaufwand und Schulungsmaßnahmen, aus dem Organisationsmittelpplan die Kosten für Material- und Dienstleistungsaufwendungen und aus dem Investitionsplan der anteilige Investitionsaufwand für Hard- und Software.

Für den zur Berechnung der Projektwirtschaftlichkeit erforderlichen Projektertrag unterscheidet KOREIMANN (1995) zwischen quantitativen Erfolgsfaktoren, qualitativen Erfolgsfaktoren und dem institutionellen Ertrag.

### 5.5.1 Projektkosten

Betrachtet werden zunächst die zu erwartenden Projektkosten. Ausgehend von der in Kapitel 5.4 vorgestellten Einführungsstrategie kann ein qualitativer Projektplan aufgestellt werden, dessen einzelne Phasen der Verlauf der genannten Aufwandsarten gegenüber gestellt werden.

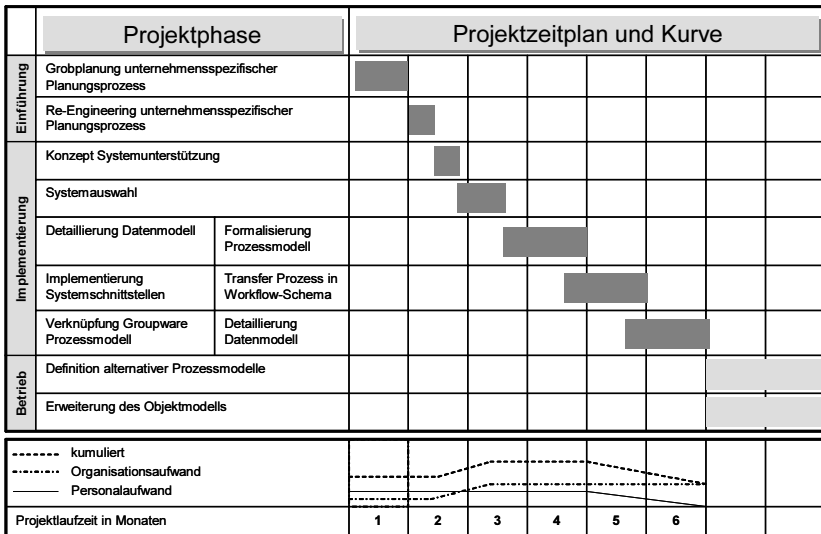


Abbildung 5-37: Projektplan mit qualitativen Kostenarten

Ebenso wie die Kostenverläufe sind auch die für die einzelne Projektphasen angegebenen Zeiträume qualitativ anzusehen und hängen von der Größe des betrachteten Werks und den beteiligten Mitarbeitern ab. Der Personalaufwand ist über die Dauer des Projektes konstant und nimmt mit Beginn der Implementierungsphase kontinuierlich ab.

Der Organisationsaufwand ist in erster Linie durch externe Dienstleister bestimmt. Davon ausgehend, dass die Systemauswahl im Wesentlichen durch externe Berater unterstützt wird, beginnen die Kosten für externe Dienstleister den internen Personalaufwand zu übersteigen. Anschließend bleibt der Organisationsaufwand über die Projektlaufzeit relativ konstant, bei wechselnden Arbeitsinhalten der externen Dienstleister. Der Verlauf der Investitionskosten ist nicht dargestellt, da diese erst mit Beginn der Implementierung auftreten und für die verschiedenen Alternativen der Systemunterstützung sehr unterschiedlich sind. Im Folgenden werden die einzelnen zu erwartenden Kostenarten erläutert.

### **Personalkostenplan**

Für die Durchführung der Workshops zur Einführung des unternehmensspezifischen Referenzmodells ist natürlich die Mitarbeiterkapazität der Fachexperten aus den betroffenen Bereichen erforderlich. Dazu kommt die einmalige Schulung für die Mitarbeiter, die aktiv an der Modellierung des unternehmensspezifischen Prozessmodells beteiligt sein sollen. Die Personalkosten ergeben sich also aus der Tätigkeitsdauer der Implementierung, der Dauer der Schulung und dem Mitarbeiterstundensatz:

$$PK \text{ [€]} = n_M \text{ [MA]} \cdot (TD_I \text{ [Mh]} + TD_S \text{ [Mh]}) \cdot MSS \text{ [€ / h]}$$

mit:

$$TD_I \text{ [Mh]} = D_E \text{ [Monate]} \cdot 160 \text{ [h / Monat]} \cdot w_I \text{ [%]}$$

<i>PK</i>	<i>Personalkosten [€]</i>
<i>n<sub>M</sub></i>	<i>Anzahl Mitarbeiter [MA]</i>
<i>TD<sub>I</sub></i>	<i>Tätigkeitsdauer Implementierung [Mh]</i>
<i>TD<sub>S</sub></i>	<i>Tätigkeitsdauer Schulung [Mh]</i>
<i>MSS</i>	<i>Mitarbeiterstundensatz: Kosten pro Stunde und Mitarbeiter [€/h]</i>
<i>D<sub>E</sub></i>	<i>Gesamtdauer zur Einführung der Methodik [Monate]</i>
<i>w<sub>I</sub></i>	<i>Tätigkeitsanteil Mitarbeiter an der Implementierung in Bezug auf Gesamttätigkeit [%]</i>

**Organisationsmittelplan**

Für die Leitung der Workshops zur Einführung des unternehmensspezifischen Referenzmodells ist die Unterstützung durch einen internen oder externen Berater empfehlenswert. Die Teilnahme dieses „neutralen“ Beobachters garantiert, dass bestehende Abläufe nicht blind übernommen, sondern im Sinne eines Re-Engineering auch kritisch hinterfragt werden. Die Auswahl eines Konzeptes zur Systemunterstützung und die eigentliche Systemauswahl erfordert wiederum die Unterstützung eines internen oder externen Experten, der die gegebenen Anforderungen des Unternehmens in Bezug auf die Methodik bewertet. Für die einzelnen Implementierungsschritte der verschiedenen Konzepte für die Systemunterstützung kommen die Beratungsleistung für das Customizing hinzu, wobei der Arbeitsumfang für externe Dienstleister ansteigt (vgl. Abbildung 5-37). Die Höhe der zu erwartenden Aufwände ist von der Wahl der Systemgrenzen und der Art der Systemunterstützung abhängig. Die Organisationskosten berechnen sich wie folgt:

$$OK [\text{€}] = TD_E [Mh] \cdot BSS_E [\text{€} / h]$$

mit:

$$TD_E [Mh] = D_E [\text{Monate}] \cdot \frac{A_{BE} + 2A_{BI}}{3} \cdot 160 [h / Mm]$$

$OK$  Organisationskosten [€]

$TD_E$  Tätigkeitsdauer Externe Berater [Mh]

$BSS_E$  Beraterstundensatz Extern: Kosten pro Stunde und Mitarbeiter [€/h]

$D_E$  Gesamtdauer zur Einführung der Methodik [Monate]

$A_{BE}$  Anzahl Berater Einführungsphase

$A_{BI}$  Anzahl Berater Implementierungsphase

**Investitionsplan**

Im Investitionsplan stehen in erster Linie die Kosten für neu zu beschaffende Softwarelizenzen sowie die eventuell zusätzlich benötigte Rechnerhardware.

$$IK [\text{€}] = N_L \cdot LK [\text{€} / n] + HK [\text{€}]$$

mit:

$IK$  Investitionskosten [€]

$N_L$	Anzahl Lizenzen
$LK$	Lizenzkosten [€/Lizenz]
$HK$	Hardwarekosten [€]

Da die Hardwarekosten nur einen geringen Teil der Investitionskosten ausmachen, werden sie innerhalb des hier entwickelten Kostenmodells ohne Abschreibung komplett in die Implementierungsphase eingerechnet. Als Betriebskosten für die Methodik werden darüber hinaus nur Lizenzkosten angesetzt.

### 5.5.2 Projekterträge

Die wesentlichen Herausforderungen bzw. Probleme bei der Ermittlung des wirtschaftlichen Nutzens wurden bereits in Abbildung 5-36 genannt:

- Zurechnungsproblem,
- Innovationsproblem und
- Maßgrößenproblem.

Als Lösungsansatz für das Zurechnungsproblem schlagen KOREIMANN (1995) und SCHUCHOW (1997) die Periodenrechnung oder eine kalkulatorische Verzinsung vor, um die entstehenden Kosten auch den erreichten Leistungen gegenüberstellen zu können. Ergebnis dieser Gegenüberstellung kann dann entweder der eingetretene Nutzen nach einem bestimmten Zeitraum sein oder der Zeitraum, nachdem sich eine Investition amortisiert hat.

Eine weitere Herausforderung für die Ertragsrechnung ist das Innovationsproblem. Durch die Einführung der Methodik können sich die Geschäftsabläufe und deren Ergebnisse des betroffenen Unternehmensbereiches so grundlegend ändern, dass sie für einen Vergleich auf der Ebene der Prozesskosten vorher/nachher nicht mehr eignen. Zur Lösung dieser Problematik muss ein Weg gefunden werden, diese als „institutionelle Erträge“ bezeichneten Leistungen in qualitative Leistungen zu überführen. Auf Grund der Schwierigkeit diese zu beziffern, sollen die institutionellen Erträge für die monetäre Nutzenbetrachtung zunächst außen vor gelassen werden, mit dem Ziel, den Nutzen bzw. die Wirtschaftlichkeit der Methodik bereits auf Basis einer rein quantitativen Betrachtung nachweisen zu können.

Das Maßgrößenproblem beschreibt die grundsätzliche Problematik bei Investitionen in Softwareanwendungen, dass es an klaren Maßzahlen fehlt, an Hand derer sich der



finanzielle Nutzen der Investitionen berechnen lässt. KOREIMANN (1995) empfiehlt als Lösungsansatz die Durchführung einer Systemwert- bzw. Nutzwertanalyse. Als Ergebnis dieser Analysen lassen sich Effizienz- und Kostenfaktoren definieren, an Hand derer qualitative Nutzaussagen in quantitative umgerechnet werden können.

Das Ziel der hier beschriebenen technisch-wirtschaftlichen Bewertung ist die Unterstützung der Investitionsentscheidung zur Einführung der Methodik. Um hierfür eine Entscheidungsgrundlage zu schaffen, müssen quantifizierbare Messgrößen definiert werden, an Hand derer der zu erwartende Ertrag ermittelt werden kann.

### **Quantitativer Ertrag**

Der zu erwartende quantitative Ertrag ergibt sich durch eine bessere Ressourcennutzung bzw. einer gesteigerten Effizienz bei der Durchführung der Planungstätigkeiten. Für die mit dem Referenzmodell beschriebenen Planungsprozesse werden nach Einführung der Methode weniger Mitarbeiterressourcen gebunden als vorher.

Die wesentlichen Faktoren für den quantifizierbaren Erfolg sind:

- eine gesteigerte Automatisierung der Tätigkeit,
- eine gesteigerte Integration der involvierten Unternehmensbereiche,
- eine verbesserte Kommunikation zwischen den Beteiligten und/oder
- eine erhöhte Transparenz bezüglich der verfügbaren Informationen sowie Daten.

Um diese Effizienzsteigerung bewertbar zu machen, wird ein Effizienzfaktor für die Einführung der Methodik definiert. Dieser ist zum einen abhängig von der Art der gewählten Systemunterstützung innerhalb der Methodik und zum anderen vom Potenzial der zu unterstützenden Tätigkeiten.

Der Ertrag berechnet sich wie folgt:

$$E [\text{€}] = MSS[\text{€} / h] \cdot TD_G \cdot w_{PM} \cdot EF_S \sum_1^n (EF_{PM} \cdot w_{Pn})$$

mit

$$TD_G = n_M \cdot T_B[\text{Monate}] \cdot 160[h / Mm]$$

und den Parametern:

$$E \quad \text{Ertrag} [\text{€}]$$

$EF_S$	Effizienzfaktor der Systemunterstützung
$EF_{PM}$	Effizienzfaktor eines Prozessmoduls
$TD_G$	Gesamt tätigkeitsdauer der beteiligten Mitarbeiter [Mh]
$T_B$	Betrachtungszeitraum [Monate]
$n_M$	Anzahl Mitarbeiter
$w_{PM}$	Zeitanteil der durch die Methodik beschriebenen Tätigkeiten bezogen auf die Gesamttätigkeit
$w_{Pn}$	Zeitanteil des Prozessmoduls bezogen auf die Methodik
$MSS$	Mitarbeiterstundensatz [€/h]

wobei gilt:

$$\sum_1^n w_{Pn} = 1.$$

Der Effizienzfaktor der Systemunterstützung trägt dem skalierbaren Konzept zur Einführung der Systemunterstützung der Methodik Rechnung. Dabei bedeuten:

- 0 bis 20% Groupwarebasierte Implementierung ohne Integration der Planungsdaten
- 80% Groupwarebasierte Implementierung mit Integration der Planungsdaten
- 100 % Workflowbasierte Implementierung mit integrierter Datenbasis

Der Effizienzfaktor eines betrachteten Prozessmoduls beschreibt die zu erwartende Steigerung in Bezug auf die konkret in dem Modul beschriebenen Tätigkeiten. Folgende Werte sind für die  $EF_{PM}$  möglich:

- 0%: Keine Reduzierung gegenüber dem aktuellen Tätigkeitsaufwand
- bis 10%: Reduzierung des Tätigkeitsaufwands
- 80 bis 100%: Tätigkeitsautomatisierung mittels der Systemunterstützung
- kleiner 0%: Sonderfall: Erhöhung des Tätigkeitsaufwands

Im Wesentlichen wird zwischen einer Reduzierung des Aufwands bis max. 10 % und einer kompletten Automatisierung der Tätigkeit um 80-100% unterschieden.

Voraussetzung für die gewählte Form der Nutzenbetrachtung ist, dass sich die geschätzte Steigerung der Effizienz auch durch anderweitige Nutzung der freigewordenen Kapazitäten nutzen lässt. Abgesehen von den beschriebenen quantifizierbaren Nutzeneffekten sind einer Einführung der Methodik allerdings noch weitere qualitative und institutionelle Erträge zu zuordnen, die unabhängig von der

monetären Bewertung in eine Investitionsentscheidung mit einbezogen werden können.

### **Qualitativer Ertrag**

Die durch die Methodik unterstützte Verkürzung der Planungszeit stellt nicht nur einen Nutzen dar, sondern ist geradezu ein Muss für Unternehmen, um den steigenden Anforderungen des Marktes bzgl. der Reaktionsfähigkeit und Flexibilität gerecht zu werden. Sie stellt damit also nicht nur einen direkt quantifizierbaren monetären Nutzen, sondern auch einen erheblichen strategischen und damit qualitativen Nutzen dar.

Die Einführung des Referenzmodells mit der einhergehenden Dokumentation der Planungsprozesse ermöglicht es, den Aufwand für die Planungsprozesse mittels Prozesskostenrechnung zu bewerten sowie die Abläufe an sich weiter zu optimieren. Dadurch wird die Kapazitätsplanung der Mitarbeiter verbessert und der Ressourceneinsatz optimiert.

Nicht zuletzt erleichtert die Dokumentation des Planungsvorgehens durch das Referenzmodell die Schulung und Einarbeitung neuer Mitarbeiter. Eine wesentliche Grundlage hierfür ist ebenfalls die Verwendung eines standardisierten Geschäftsprozessmodells, das auch für ungeschulte Mitarbeiter leicht nachvollziehbar ist. Die Modelle lassen sich zu Schulungszwecken über Intranetseiten visualisieren und damit einem breiten Zielpublikum verfügbar machen.

Ein wesentliches Nutzenpotenzial für die Einführung der Methodik ist die Steigerung der Planungsqualität für die betroffenen Planungsprozesse. Das geschaffene Vorgehensmodell gewährleistet einen definierten, nachvollziehbaren Planungsprozess und schafft eine Transparenz bzgl. der dem Planungsprozess zu Grunde liegenden Annahmen und Zahlen. Die Planungsergebnisse bezüglich der zu erwartenden Kosten und Zeitaufwände für die Umsetzung verschiedener Produktionsszenarien lassen sich auf Basis des dokumentierten Planungsprozesses nachrechnen und nachvollziehen. Die systemtechnische Unterstützung des Planungsprozesses wird durch die Einführung der Methodik erweitert, in dem sämtliche für den Planungsprozess relevanten Informationen systemtechnisch verfügbar gemacht und an Hand des Prozessmodells dokumentiert werden. Auf Basis der durchlaufenen und dokumentierten Planungsprozesse wird eine Wissensbasis geschaffen, die das Know-how des Unternehmens bzgl. der in den Montagestrukturen vorhandenen Flexibilitätspotenziale und der Vorgehensweise zu deren Bewertung kontinuierlich ausbaut.

**Institutioneller Ertrag**

Ein institutioneller Ertrag für eine Einführung der Methodik ist die grundsätzlich neue Vorgehensweise für die Bewertung der Produktionsszenarien. Auch wenn an vielen Stellen des Prozessmodells nach wie vor das Wissen der Mitarbeiter eine entscheidende Rolle spielt, so wird es zumindest prozessorientiert dokumentiert und die Ergebnisse der Bewertung eines Produktionsszenarios nachvollziehbar.

## 6 Umsetzung und Bewertung der Methodik

Im Folgenden wird die Umsetzung der entwickelten Methodik beschrieben. Die Umsetzung geschieht in Form einer Fallstudie in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen der Automobilindustrie sowie in Form von zwei Prototypen (Abbildung 6-1). Die Einführungsstrategie sowie das entwickelte Referenzmodell

	Fallstudie	Prototyp 1	Prototyp 2
● = betrachtet			
<b>Methodikelement</b>			
Einführungsstrategie	●	●	●
Referenzmodell	●		
Groupware-basierter Systementwurf	●	●	
Workflow-basierter Systementwurf			●

Abbildung 6-1: Umsetzung der Methodik Elemente

werden innerhalb des Fallbeispiels angewendet und evaluiert. Das im Fallbeispiel entwickelte unternehmensspezifische Prozessmodell wird anschließend einmal gemäß des Groupware-basierten und einmal auf Basis des Workflow-basierten Systementwurfs implementiert. Abschließend findet auf Basis der in Kapitel 5.5 beschriebenen Vorgehensweise eine Nutzenbetrachtung statt.

### 6.1 Fallstudie

Bei einem Industriepartner aus der Automobilindustrie werden in zwei Montagehallen drei verschiedene Baureihen gefertigt. In einer der beiden Hallen wird nur eine Baureihe in sehr großen Stückzahlen in einer hochautomatisierten Fertigung produziert. In der anderen Halle werden alle drei Baureihen im Produktmix auf einer gemeinsamen Montagelinie gefertigt. Beide Montageanlagen zeichnen sich durch einen hohen Grad an Komplexität aus. Planungsaufgaben wie die Steigerung der Kapazität, die Integration neuer Modelle oder die Integration neuer Anlagenkomponenten erfordern das Zusammenspiel mehrerer Abteilungen und einen hohen Koordinationssaufwand.

In der Prozessplanung existiert eine Vielzahl von Anwendungssystemen für die Unterstützung spezieller Funktionen, wie zum Beispiel die Austaktung der manuellen Arbeitstakte oder Systeme zur Kapazitätsplanung in Bezug auf die Anlagentechnik. Diese Funktionen werden durch die Bereitstellung der Daten im jeweiligen Anwendungskontext von den eigens für diese Funktionen implementierten Systemen unterstützt. Die logische Verknüpfung der Daten, d.h. der zugrunde liegende Workflow, existiert dagegen nur in den Köpfen der beteiligten Mitarbeiter oder in Form von Handlungsanweisungen. Eine durchgängige rechnerbasierte Prozessun-

terstützung gibt es innerhalb der Prozessplanung dagegen nicht, so dass keine direkte Zugriffsmöglichkeit auf alle relevanten Informationen zu laufenden Planungsprozessen bestehen. Für die Bewertung von verschiedenen Produktionsszenarien muss der Anwender umständliches und zeitaufwändiges Navigieren durch verschiedene Systeme mit unterschiedlichen Menüs in Kauf nehmen, vorausgesetzt er weiß überhaupt, über welches System er zu seinen Informationen kommt. Mit zunehmender Komplexität und dem ständig wachsenden Zeitdruck für die Durchführung der Planungsprozesse führt diese passive Form der Informationsbereitstellung dazu, dass zu erledigende Aufgaben übersehen oder zu berücksichtigende Abhängigkeiten zwischen ihnen nicht beachtet werden. Die Qualität der Planungsergebnisse sowie die benötigte Zeit zur Durchführung der Planungsprozesse werden dadurch verschlechtert.

Mit dem Ziel der Einführung einer systemtechnischen Unterstützung für die beschriebenen Planungsprozesse wurde aus dem entwickelten generischen Referenzmodell ein unternehmensspezifisches Referenzmodell abgeleitet. Die Einführung geschah in Form der in Abbildung 5-35 beschriebenen Einführungsstrategie. Die einzelnen Phasen werden im Folgenden beschrieben.

### **E1 Grobplanung unternehmensspezifisches Referenzmodell**

Für die Grobplanung des unternehmensspezifischen Referenzmodells wurden die drei in Kapitel 5.4.1 beschriebenen Schritte durchlaufen.

- 1. Einführung in die Methode:** Das Problemverständnis war in dem beschriebenen Fallbeispiel bereits vorhanden und sowohl von den an der Modellierung beteiligten Mitarbeitern, als auch von den Verantwortlichen aus dem Management war eine Veränderung in der Durchführung der Planungsprozesse gewünscht. Die Einführung in die Modellierungsmethodik geschah zum einen auf Basis der im ARIS-Handbuch [IDS 2002] beschriebenen Modellierungskonventionen und zum anderen durch mehrere Treffen mit einem Ansprechpartner der IDS-Scheer AG. Das in Kapitel 5.1.3 beschriebene Metamodell stand zu Beginn des Projektes noch nicht zur Verfügung, weshalb die Modellierung auf Basis bestehender, für andere Zwecke erstellter Konventionen und Methodenfilter erfolgte.
- 2. Definition der Systemgrenzen:** Als Systemgrenzen zur Festlegung des Betrachtungsgegenstandes wurde die komplette Montagehalle inkl. der Bereitstellflächen und Aufrüstbänder definiert. Das unternehmensspezifische Referenzmodell für die Prozessplanung sollte also alle Planungsschritte bein-

beinhalten, welche die Auswirkung der verschiedenen Produktionsszenarien innerhalb dieser Halle betreffen.

- 3. Überprüfung und Anpassung:** Die vorhandenen Bausteine wurden bezüglich ihrer Arbeitsinhalte entsprechend der Unternehmensterminologie und -methoden näher spezifiziert. Als zu bewertendes Produktionsszenario diente die Steigerung der Kapazität einer bestimmten Montagelinie. An Hand des Referenzmodells wurden durch die Mitarbeiter des Industriepartners die einzelnen Planungsschritte zur Bewertung eines bestimmten Produktionsszenarios nachvollzogen und gemäß der in 5.4 beschriebenen Einführungsstrategie detailliert. Das in 5.1.3 beschriebene Metamodell wurde dazu in einem ARIS-Filter implementiert, der die theoretisch vorhandene Methodenvielfalt auf die für das Referenzmodell definierten Objekttypen einschränkt.

### **E2 Re-Engineering unternehmensspezifischer Planungsprozesse**

- 1. Validierung des Prozessmodells:** Im Anschluss an die Grobplanung des unternehmensspezifischen Referenzmodells wurde es in Bezug auf die Einhaltung der Modellierungskonventionen validiert. Um die Vollständigkeit des Prozessmodells zu prüfen, wurde durch die Mitarbeiter des Unternehmens ein realer Planungsprozess auf Basis des unternehmensspezifischen Referenzmodells nachvollzogen.
- 2. Re-Engineering des Prozessmodells:** Das Re-Engineering des Prozessmodells gestaltete sich im Rahmen des Anwendungsbeispiels nicht als sequenzieller Prozess im Anschluss an die Grobplanung, sondern als iterativer Prozess parallel zur Grobplanung des unternehmensspezifischen Referenzmodells.

## **6.2 Implementierung der Prototypen zur Systemunterstützung**

Die Art und Weise der Systemunterstützung stand zu Anfang des Projektes noch nicht fest und war Gegenstand der Untersuchung. Eine Anforderung von Seiten des Unternehmens war die weitgehende Verwendung bestehender Softwaresysteme sowie die Einhaltung unternehmensspezifischer IT-Standards. Im Folgenden wird daher die Implementierung eines Prototypen für den Groupware-basierten Systementwurf und die eines Prototypen für den Workflow-basierten Systementwurfs beschrieben.

## 6.2.1 Groupware-basierter Systementwurf

### **I1 Konzept Systemunterstützung**

Um ein Konzept für die Systemunterstützung zu entwickeln, wurden die in Kapitel 5.4.2 beschriebenen Kriterien untersucht. Die Organisation der Prozessplanung war bis zur Einführung der Methodik funktional. Die im generischen Referenzmodell vorgesehene Modularisierung konnte bei der unternehmensspezifischen Instanziierung nicht durchgehalten werden. Das unternehmensspezifische Referenzmodell besteht also aus einem durchgängigen Strang. Die höchste Abstraktionsebene in Bezug auf die Modularisierung bildeten die einzelnen Funktionen innerhalb des Prozessmodells. Daher und auf Grund der Anforderung auf Seiten des Managements, weitgehend auf den bestehenden Systemen aufzusetzen, wurde sich für den Groupware-basierten Systementwurf entschieden (vgl. Kapitel 5.3.2).

### **I2 Systemauswahl**

Für die Entwicklung einer geeigneten Systemunterstützung wurde ein Lastenheft für eine Groupware-basierte Implementierung entwickelt und mit den firmenspezifischen Anforderungen abgestimmt. Als dem System zu Grunde liegende Groupware wurden zwei alternative Systeme vorgeschlagen, die den gegebenen Anforderungen genügen. Beide Systeme waren im Unternehmen vorhanden oder waren kurz vor der Einführung.

### **G1 Detaillierung Datenmodell**

Die Detaillierung des Datenmodells geschah vollständig auf Fachbegriffsebene, wobei jedem Fachbegriff das dazugehörige Anwendungssystem zugeordnet wurde. Eine weitere Detaillierung in Form eines Entity-Relationship-Modells wurde für die prototypisch implementierten Systemschnittstellen erstellt.

### **G2 Implementierung Systemschnittstellen**

Um die technische Machbarkeit des beschriebenen Lastenheftes nachzuweisen und zu evaluieren, wurden durch an dem Projekt beteiligte Mitarbeiter des Unternehmens prototypische Schnittstellen zu vorhandenen Produktivsystemen implementiert. Diese wurden auf Basis von in MS-Access implementierten SQL-Abfragen realisiert. Die in den beteiligten Systemen vorhandenen Datenmengen machen mittelfristig den Einsatz höher performanter Schnittstellen erforderlich, um annehmbare Zugriffszeiten zu realisieren. Geplant wurde hierzu gemäß der unternehmensinternen IT-Richtlinien der Einsatz von JDBC-Schnittstellen (Java Database Control).



### **G3 Verknüpfung Groupware und Prozessmodell**

Die Verbindung der Projektsteuerung durch ein EPK-Prozessmodell und dem Groupware-System wurde prototypisch umgesetzt. Die Aufgabentemplates der Groupware (MS-Outlook) wurden als .oft-Dateien (Outlook-Elementvorlage) gespeichert und als Attribut einer Funktion hinterlegt. Damit ist die Aufgabe auch physisch innerhalb des Prozessmodells gespeichert.

Voraussetzung für das spätere Aufrufen der Aufgabe aus dem Prozessmodell ist die Installation eines Clients für das Groupware-System und für das Prozessmodellierungstool für jeden möglichen Anwender. Aus diesem Grund ist es auch sinnvoll, hierfür auf bestehende Unternehmensstandards aufzusetzen, soweit schon Groupware-Systeme im Einsatz sind. Für das Prozessmodellierungstool reicht gemäß des Systementwurfs ein Web-Client für das BPR-Tool (z.B.: ARIS-Web-Designer).

### **6.2.2 Workflow-basierter Systementwurf**

Nachdem im Rahmen des Anwendungsbeispiels beim Industriepartner der Groupware-basierte Systementwurf Gegenstand der Untersuchung war, wurde der Workflow-basierte Systementwurf in Form einer prototypischen Implementierung evaluiert.

### **I2 Systemauswahl**

Für die prototypische Implementierung des Referenzmodells in einem WMS wurde das System Windchill der Firma PTC ausgewählt. Das System verfügt über ein graphisches Modellierungstool, in dem die Workflow-Prozesse modelliert werden können. Kern des Systems Windchill ist ein verteiltes, web-basiertes Produktdaten- und Dokumentenmanagement. Der integrierte Workflow-Engine dient in erster Linie einem automatisierten Änderungsmanagement in verteilten Entwicklungsprozessen. Das System verfügt über eine Programmierschnittstelle, mit der sich das Klassenmodell beliebig erweitern lässt. Gemäß der in Kapitel 5.3.3 beschriebenen Systemarchitektur für die Workflow-basierte Implementierung ist durch das System bereits die Projektsteuerung, das Projektmonitoring sowie das System Dokumentenmanagement abgedeckt.

### **W1 Formalisierung Prozessmodell**

Auf Grund des manuellen Transfers der Prozessmodelle in das Workflow-Schema, war eine weitere Formalisierung des Referenzmodells auf Geschäftsprozessebene nicht notwendig.

**W2 Transfer Prozessmodell in Workflow-Schema**

Das in den Schritten E1 und E2 entwickelte unternehmensspezifische Referenzmodell wurde auf Basis des durch Windchill gegebenen Workflow-Schemas nachmodelliert. Abbildung 6-2 zeigt einen Screen-Shot des GUI zur Modellierung des Workflow-Templates. Ausgehend von vordefinierten Objekten des Workflow-Schemas wird das Prozessmodell per „Drag&Drop“ nachmodelliert. Für jede Funktion des Referenzmodells wird dafür zunächst eine entsprechende Aktivität im Workflow-Schema angelegt. Parallel dazu wird in einer anderen Benutzeroberfläche das Organigramm des Referenzmodells in die Workflow-Umgebung übertragen.

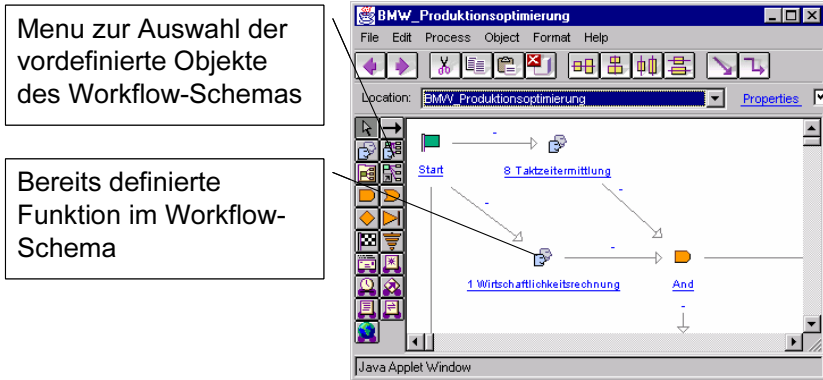


Abbildung 6-2: GUI zur Definition der Prozesstemplates

Innerhalb des Workflow-Schemas wird zwischen Gruppen, Benutzern und Rollen unterschieden. Den einzelnen Aktivitäten müssen dadurch nicht feste Benutzer zugeordnet werden sondern nur Rollen, die einer Stelle des Organigramms im Referenzmodell entsprechen. Auf diese Art und Weise kann das gleiche Workflow-Template für unterschiedliche Planungsprozesse verwendet werden, bei dem jeweils unterschiedliche Bearbeiter die gleichen Rollen im Prozess ausführen. Diese Funktionalitäten konnten von dem vorhandenen System direkt übernommen werden.

**W3 Detaillierung Datenschema**

Die an Hand der Fachbegriffe modellierten Planungsdaten des Referenzmodells wurden als Variablen innerhalb des Workflow-Prozesses nachmodelliert. Diesen Variablen können bei der Initialisierung des Prozesses beliebige Datenobjekte zugeordnet werden. Der Anwender bekommt dadurch automatisch nur die innerhalb des Prozessmodells vordefinierten Informationen zur Verfügung gestellt und kann die im Rahmen des Planungsprozesses erzeugten Informationen auch nur innerhalb

des Prozessmodells und den vordefinierten Datenfeldern ablegen. Bei dem realisierten Prototypen handelt es sich um den Systementwurf mit integrierter Datenhaltung, bei dem die verwendeten Planungsdaten und Dokumente in der zentralen Oracle-basierten Datenbank des Systems gespeichert werden. Für die Zuordnung der Planungsdaten zu den Aktivitäten musste die bestehende Funktionalität erweitert werden. Da das verwendete WMS gewöhnlich nur für das Änderungsmanagement gedacht ist, war ursprünglich nur das Management eines einzelnen Dokumentes geplant, das beim Durchlaufen verschiedener Bearbeitungsstadien von einem Anwender zum anderen weitergeleitet wird. Um einer Aktivität mehrere Planungsdaten zuzuordnen zu können, mussten daher zusätzliche Variablen definiert werden, denen bei der Initialisierung eines Prozess-templates die tatsächlichen Informationen zugeordnet werden können.

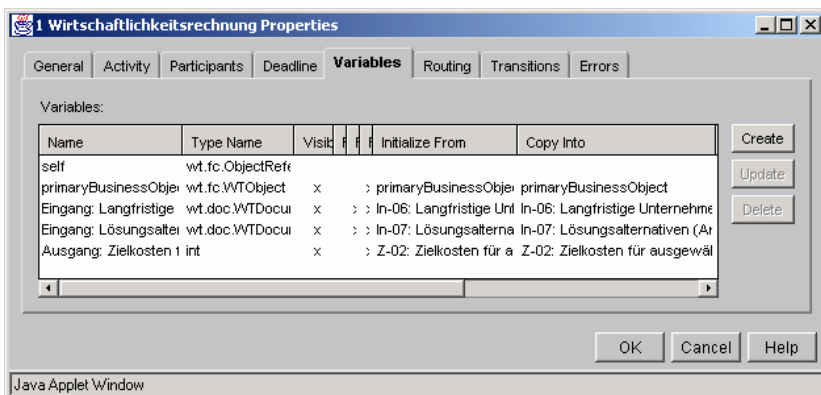


Abbildung 6-3: Zuordnung der Variablen im Workflow-Schema

Abbildung 6-3 zeigt die GUI zur Beschreibung der Aktivitäten im Workflow-Schema. Unter „General“ und „Activity“ kann eine allgemeine Beschreibung der Aktivität, sowie konkrete Handlungsanweisungen eingegeben werden. Neben weiteren Funktionen wie max. Bearbeitungszeiten (Deadline) oder Fehlerbehandlung (Errors) können der Aktivität hier weitere Variablen zugeordnet werden. Über die Wahl des Objekttyps können sowohl zusätzlich Dokumente als auch CAD-Parts oder einfache Zahlenwerte (Integer) eingegeben werden. Alle Daten, also die Fachbegriffe aus dem Referenzmodell, die hier den einzelnen Aktivitäten zugeordnet werden, müssen parallel dazu als Objekte in der Datenbank des Systems angelegt werden. Für die Initialisierung des Workflow-Templates müssen diese Objekte dann noch manuell den definierten Variablen zugeordnet werden. Dies geschieht, in dem der Anwender nach der Initialisierung eines Templates der Reihe nach von dem

System nach der Zuordnung eines existierenden Objektes aus der Datenbank zu einer Variablen des Workflow-templates gefragt wird.

Die Anbindung externer Datenquellen ist zwar technisch möglich, erfordert aber hinsichtlich der Benutzerverwaltung und des Versions- und Variantenmanagements erheblichen Implementierungsaufwand, der für eine prototypische Implementierung des Prozessmodells nicht gerechtfertigt ist. Um auf die systemtechnisch erfassten Planungsdaten zugreifen zu können, sowie zur Implementierung des Systems „Planungsdatenbasis“ bedarf es einer Erweiterung des standardmäßig vorhandenen Prozessmodells. Dazu verfügt das System über eine offene API, über die das Klassenmodell des Java-basierten Systems erweitert werden kann [PTC 1999].

### Ergebnis

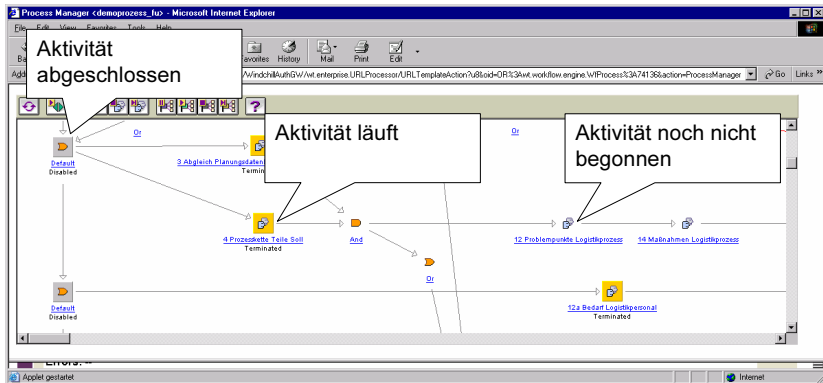


Abbildung 6-4: Im WMS implementiertes Referenzmodell

Das Ergebnis der Implementierung ist ein funktionsfähiger Prototyp, in dem eine vollständige Instanz des Referenzmodells abgebildet wurde. Abbildung 6-4 zeigt die Benutzerschnittstelle zum Monitoring des Gesamtprozesses. Durch unterschiedliche farbliche Hinterlegung, bzw. keine Hinterlegung, können die abgeschlossenen Aktivitäten (=Planungsschritte) von den gerade laufenden und den noch nicht begonnenen unterschieden werden. Für die abgeschlossenen Prozesse kann sich der Projektverantwortliche außerdem anzeigen lassen, wer die jeweilige Aufgabe bearbeitet hat, zusammen mit den bearbeiteten Daten und dem Zeitpunkt, wann die Arbeit abgeschlossen wurde.

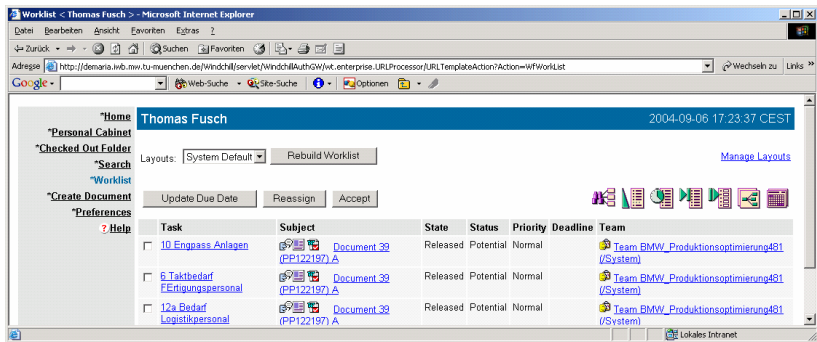


Abbildung 6-5: Aufgabenliste des Bearbeiters

Der Bearbeiter bekommt gemäß der ihm in der Organisation zugeordneten Rollen in seiner Aufgabenliste (Abbildung 6-5) die anstehenden Aufgaben dargestellt, aus denen er die als nächstes zu bearbeitende Aufgabe auswählen kann. In einem weiteren GUI bekommt er dann schließlich die für die Bearbeitung der Aufgabe benötigten Anweisungen und Daten zur Verfügung gestellt (Abbildung 6-6).

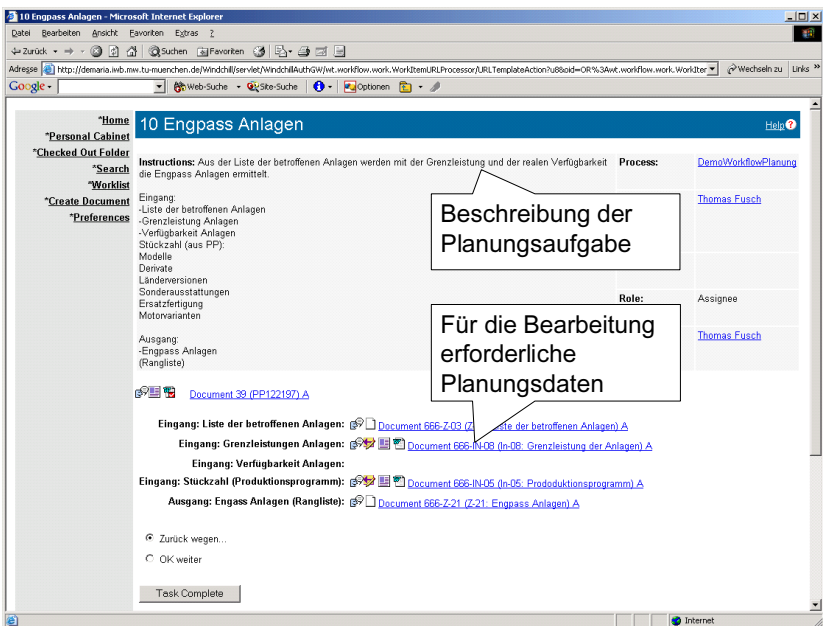


Abbildung 6-6: GUI zur Bearbeitung der Planungsaufgaben

Der beschriebene Lösungsweg zur Übertragung des Referenzmodells in das Workflow-Schema ist in der beschriebenen Vorgehensweise sicherlich nicht praxistauglich und unterstreicht die Notwendigkeit einer automatisierten Lösung im Sinne des Geschäftsprozessmanagements (vgl. 3.4.3). Ziel des beschriebenen Prototyps ist es lediglich, die technische Machbarkeit zu demonstrieren.

### **6.3 Technische Bewertung**

#### **Implementierung unternehmensspezifisches Referenzmodell**

Das entwickelte Referenzmodell hat sich als geeignete Basis zur Beschreibung der unternehmensinternen Planungsprozesse erwiesen. Als ein entscheidender Faktor für eine erfolgreiche Implementierung des Referenzmodells stellte sich die Systemunterstützung für die Prozessmodellierung sowie die Verwendung eines einfachen, eindeutigen Metamodells dar. Die im generischen Prozessmodell enthaltenen Hierarchien mit der Modularisierung in die verschiedenen Bereiche bereitete den beteiligten Fachexperten Schwierigkeiten, da für sie der Gesamtkontext der einzelnen Planungsschritte im Gesamtprozess nicht deutlich wurde. Das unternehmensspezifische Referenzmodell wurde daher auf einer Hierarchieebene als eine durchgängige Prozesskette modelliert. Der direkte Schritt von der zuvor funktionalen Organisation der Prozessplanung zu einer modularen Organisation ist also nicht gelungen. Die Notwendigkeit des in 5.1.3 beschriebenen Metamodells wurde im Fallbeispiel dadurch besonders bestätigt, dass die anfängliche Missachtung der vorgegebenen Konventionen zu Missverständnissen und Schwierigkeiten bei einer verteilten Modellierung des Prozessmodells durch mehrere Prozessbeteiligte führte.

#### **Verfügbarkeit der Planungsdaten**

Durch die Entwicklung des unternehmensspezifischen Referenzmodells ist eine wichtige Wissensbasis bezüglich der in den Produktivsystemen vorhandenen, für die Prozessplanung relevanten Informationen geschaffen worden. Aus dem Prozessmodell konnte eine Anforderungsliste bzgl. systemtechnisch noch nicht erfasster Planungsdaten abgeleitet werden, die als Grundlage für die Einführung neuer oder die Erweiterung bestehender Systeme beim Industriepartner verwendet wurde. Das in dieser Arbeit beschriebene Vorgehen zur Entwicklung des Referenzmodells wurde bereits auf weitere Bereiche innerhalb des Unternehmens angewandt.

### **Systemunterstützung für die Methodik**

Ziel der Systemunterstützung für das Prozessmodell war dessen Automatisierung im Sinne eines Workflow-Managements. Die in Kapitel 3.4.2 beschriebenen Kriterien für die Einführung eines Workflow-Management-Systems wurden durch das entstandene unternehmensspezifische Referenzmodell nicht erfüllt. Durch die starre Verkettung der einzelnen Schritte zu einem Gesamtmodell ist die Wiederholhäufigkeit der einzelnen Funktionen zu gering, als dass sich der hohe Aufwand für deren starre Automatisierung lohnen würde. Um die in der Zielsetzung angestrebte flexible Automatisierung des Planungsprozesses zu ermöglichen und damit die Wiederholhäufigkeit der einzelnen Schritte zu erhöhen, ist es erforderlich, die Organisation der Prozessplanung von der existierenden funktionalen Organisation hin zu einer modularen Organisation zu verändern. Die Groupware-basierte Systemunterstützung bietet eine gute Grundlage, um diese Modularisierung der Prozessplanung voranzutreiben. Die Kopplung zwischen der Prozessmodellierung auf der einen Seite und der Prozessausführung durch die Groupware auf der anderen Seite ermöglicht die schrittweise Einführung der Methodik für einen wachsenden Geltungsbereich. Entscheidender Vorteil des Groupware-basierten Systementwurfs ist die Systemunterstützung bei der Prozessmodellierung und die Verwendung eines intuitiven und vor allem weit verbreiteten Geschäftsprozessmodells, worin eine Voraussetzung für die Akzeptanz der Methodik bei den Mitarbeitern liegt. Die Workflowbasierte Implementierung ist daher zunächst nur für die im Referenzmodell entsprechend gekennzeichneten Module zielführend. Eine weitere Automatisierung des Planungsprozesses ist nur durch eine weitere Modularisierung und einer damit erreichbaren Wiederholhäufigkeit identischer Subprozesse erreichbar.

## **6.4 Wirtschaftliche Bewertung**

Auf Basis der in Kapitel 5.5 entwickelten Vorgehensweise soll der monetäre Nutzen bei einer Einführung der Methodik abgeschätzt werden. Um in einem ersten Schritt den erforderlichen Aufwand für eine Projekteinführung zu ermitteln, wird für die drei unterschiedlichen Kostenarten das Mengengerüst aufgestellt und daraus über entsprechende Kostensätze der Projektaufwand zur Einführung der Methodik berechnet.

Dauer Implementierungsphase	6 [Monate]
<b>Personalkostenplan</b>	
Beteiligte Mitarbeiter	10 [MA]
Zeitanteil Mitarbeiter Implementierung	0,25 [%]
Tätigkeitsdauer Implementierung	2400 [h]
Tätigkeitsdauer Schulung	6 [h/MA]
Mitarbeiterstundensatz	60 [€/h]
<b>Personalkosten</b>	<b>144.360,00 [€]</b>

Abbildung 6-7: Berechnung der Personalkosten

Abbildung 6-7 zeigt das aus dem Fallbeispiel entnommene Mengengerüst für den Personalaufwand sowie die aus dem Projektplan (Abbildung 5-37) entnommene geschätzte Dauer der Implementierungsphase. Demnach sind 10 Mitarbeiter aus der Planungsabteilung an der Implementierung des unternehmensspezifischen Referenzmodells beteiligt. Es wird angenommen, dass sie etwa ein Viertel ihrer Arbeitszeit für die Laufzeit des Projektes investieren müssen und jeder 6 Stunden Schulung benötigt, um in die Modellierungstechnik und das Konzept der Methodik eingeführt zu werden. Mit einem angenommenen Mitarbeiterstundensatz von 60,- €/h ergeben sich als Personalkosten für die Einführung der Methodik 144.360,- €.

<b>Organisationsmittelplan</b>	
Anzahl Berater Einführungsphase	2 [MA]
Anzahl Berater Implementierungsphase	3 [MA]
Tätigkeitsdauer externe Berater	2560 [h]
Beraterstundensatz	120 [€/h]
<b>Organisationskosten</b>	<b>307.200,00 [€]</b>

Abbildung 6-8: Berechnung der Organisationskosten

Für die Berechnung der Organisationskosten (Abbildung 6-8) wird von einer Unterstützung durch 2 externe Berater während der Einführungsphase und 3 externen Beratern für die Implementierungsphase ausgegangen. Für die angenommene Projektdauer von 6 Monaten und einem angenommenen Beraterstundensatz von 120,- [€/h] ergeben sich damit Organisationskosten in Höhe von 307.200,- €.



<b>Investitionsplan</b>	
Anzahl Lizenzen	40 [n]
Kosten Einzellizenz	2500 [€/n]
Lizenzkosten	100.000,00 [€]
Hardwarekosten	10.000,00 [€]
<b>Investitionskosten</b>	<b>110.000,00 [€]</b>

Abbildung 6-9: Berechnung der Investitionskosten

Die Investitionskosten ergeben sich aus einer Anzahl von 40 Einzelplatzlizenzen für die neu zu implementierende Systemunterstützung, sowie geschätzten 10.000,- € für die Anschaffung erforderlicher Hardware für zusätzlich zu der bestehenden Infrastruktur zu beschaffenden Server. Für die Clientanwendungen der zu implementierenden Groupware kann davon ausgegangen werden, dass die bereits vorhanden Office-PC ausreichen. Bei einer Zahl von 40 betroffenen Mitarbeitern in der Planungsabteilung und geschätzten Kosten für eine Einzellizenz von 2.500,- €/Jahr ergeben sich als Investitionskosten von 110.000,- €, von denen 100.000,- € für die Lizenzen jährlich anfallen (Abbildung 6-9).

Betrachtungszeitraum	12 [Monate]
Mitarbeiterstundensatz	60 [€]
Anzahl betroffene Mitarbeiter	40 [MA]
Tätigkeitsdauer Prozessplanung	76800 [h]
<b>Ertrag (Quantitativ)</b>	
Effizienzfaktor Systemunterstützung	<b>0,8</b>
Anteil Prozessplanung an Gesamttätigkeit	<b>0,2</b>
Anteil Prozessmodul 1 an Prozessplanung	<b>0,2</b>
Anteil Prozessmodul 2 an Prozessplanung	<b>0,2</b>
Anteil Prozessmodul 3 an Prozessplanung	<b>0,2</b>
Anteil Prozessmodul 4 an Prozessplanung	<b>0,2</b>
Anteil Prozessmodul 5 an Prozessplanung	<b>0,2</b>

Abbildung 6-10: Annahmen zur Berechnung des Ertrags

Abbildung 6-10 zeigt die für die Berechnung des Ertrags getroffenen Annahmen. Der Betrachtungszeitraum beträgt 12 Monate. Der Mitarbeiterstundensatz und die Anzahl der betroffenen Mitarbeiter (=Anzahl Lizenzen) sind von der Berechnung der Kosten übernommen. Um den Anteil der durch das Referenzmodell beschriebenen Tätigkeiten zu ermitteln, muss zunächst deren Anteil an der Gesamttätigkeit der betroffenen Planer abgeschätzt und schließlich die Verteilung der Zeitanteile der

einzelnen Prozessmodule durchgeführt werden. Eine Befragung der beteiligten Mitarbeiter des Fallbeispiels hat ergeben, dass die im Referenzmodell enthaltenen Planungsschritte im Jahresdurchschnitt nur etwa 20% der gesamten Planungstätigkeiten ausmachen. Der Effizienzfaktor für die Systemunterstützung wird entsprechend einer Implementierung des Groupware-basierten Systementwurfs mit integrierter Datenhaltung (vgl. Kapitel 5.5.2) mit 0,8 angenommen. Die Effizienzfaktoren für die jeweiligen Prozessmodule werden einzeln definiert und für das betrachtete Szenario wie folgt festgelegt (Abbildung 6-11):

Effizienzfaktoren Prozessmodule	
1. Projektvorbereitung	0,8 [%]
2. Montageprozess planen	0,33 [%]
3. Logistikprozess planen	0,8 [%]
4. Integration Struktur planen	0,1 [%]
5. Umsetzung planen	0,8 [%]

Abbildung 6-11: Effizienzfaktoren der Prozessmodule

Der Effizienzfaktor für das Modul „Montageprozess planen“ berechnet sich dabei aus dem Durchschnitt der drei untergeordneten Module „manuelle Arbeitsinhalte planen“, „automatisierte Arbeitsinhalte planen“ und „Neubeschaffung Anlagen planen.“

Auf Basis der berechneten Kosten und Erträge lässt sich eine grobe Abschätzung der Wirtschaftlichkeit für die Einführung der Methodik durchführen. Dazu werden die im ersten Jahr anfallenden Kosten für die Einführung der Methodik sowie die jährlich anfallenden Lizenzgebühren, den jährlichen Erträgen gegenübergestellt.

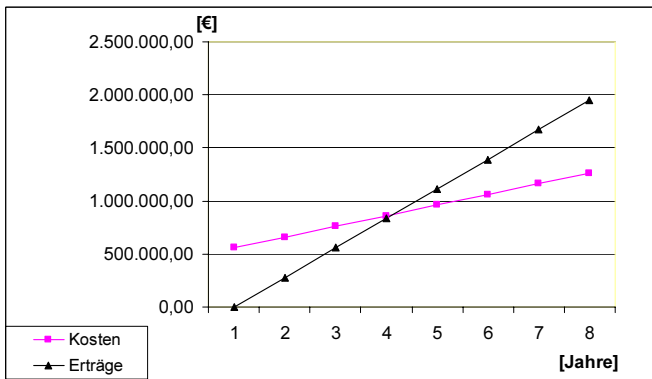


Abbildung 6-12: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Abbildung 6-12 zeigt den Verlauf der Aufwands- und Ertragskurve unter den genannten Randbedingungen. Demnach würde sich die Einführung der Methodik für das gegebene Fallbeispiel und einer Realisierung der angenommenen Effizienzsteigerung im 4. Jahr nach Einführung der Methodik rechnen.

Betrachtet man die Ertragsfunktion, so ist neben den angenommenen Effizienzfaktoren der Anteil der durch die Methodik beschriebenen Tätigkeiten an der Gesamttätigkeit ein wesentlicher Faktor, der den erzielbaren Ertrag beeinflusst. Da die betriebsbegleitende Prozessplanung nur etwa 20% der Gesamttätigkeit in der betrachteten Planungsabteilung ausmacht, ist der erzielbare Rationalisierungseffekt folglich auch geringer. Würde durch eine entsprechende Erweiterung des Prozessmodells der Anteil an der Gesamttätigkeit gesteigert, würden sich die Kosten- und die Ertragskurve deutlich früher schneiden.

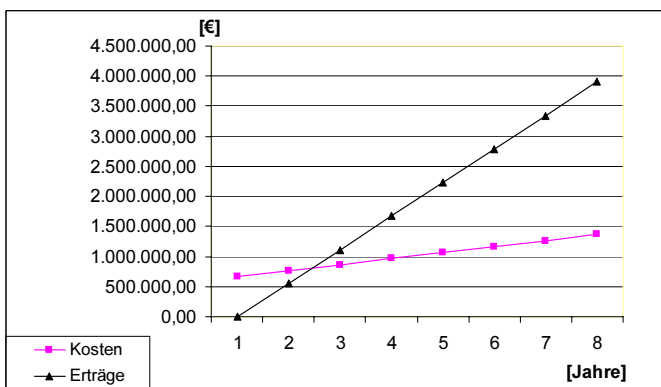


Abbildung 6-13: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für alternatives Szenario

Abbildung 6-13 zeigt die Verläufe der beiden Kurven unter der Annahme eines um weitere Anwendungsszenarien erweiterten Referenzmodells. Der Zeitanteil für die Einführungsphase der beteiligten Mitarbeiter wurde auf 0,3 erhöht, ebenso wie die Anzahl der Berater für die Implementierung von 3 auf 4 gesteigert wurde. Demgegenüber wurde auf der Ertragsseite eine Steigerung des Anteils der durch das Referenzmodell beschriebenen Tätigkeiten an den Gesamttätigkeiten von 20 auf 40% angenommen. Der signifikante Einfluss eben dieses Anteils an dem Gesamtertrag macht deutlich, dass die Einführung der Methodik umso mehr Nutzen mit sich bringt, je größer der Anteil der täglichen Arbeit der Planungsabteilung ist, der unterstützt wird. Der am Ende der Einführungsstrategie beschriebene Ausbau des Prozessmodells ist also von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der Methodik.

### 6.5 Fazit

Unterstützt durch zwei unterschiedliche Systementwürfe ist eine praxistaugliche Methodik entwickelt worden, die sich nicht nur zur Optimierung einzelner Planungsprozesse eignet, sondern auch die Möglichkeit zu einem kontinuierlichen Wissensaufbau bzgl. der Tätigkeiten in der Prozessplanung bietet. Die Integration von der Prozessbeschreibung auf der einen Seite und der Prozessausführung unterstützt durch ein Groupware System oder WMS auf der anderen Seite garantiert, dass das Wissen nicht nur gesammelt und gespeichert, sondern auch direkt in den Planungsprozessen umgesetzt wird.

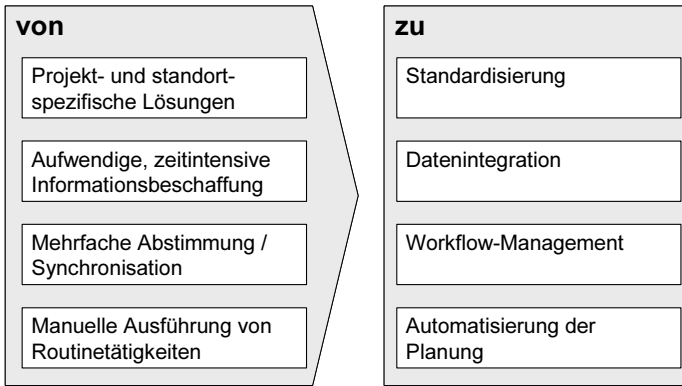


Abbildung 6-14: Stoßrichtungen der Virtuellen Produktion [Haller&Schiller 2002]

Abbildung 6-14 beschreibt die Stoßrichtung der Virtuellen Produktion nach HALLER&SCHILLER (2002). Die entwickelte Methodik für eine prozessorientierte Implementierung der Virtuellen Produktion trägt zu der Erreichung von drei der genannten Zielsetzungen bei. Das entwickelte Referenzmodell dient der Standardisierung der Planungsprozesse zur Bewertung von Flexibilitätspotenzialen in bestehenden Fabrikstrukturen. Das Vorgehen wird auf Basis eines „Quasi-Standards“ zur Geschäftsprozessmodellierung, der ereignisorientierten Prozesskette, beschrieben und ist damit für Dritte jederzeit ohne weitere Erklärung nicht nur nachvollziehbar, sondern auch ausführbar. Der entwickelte Groupware-basierte Systementwurf dient der Automatisierung der Planung und der Entlastung des Mitarbeiters von Routinetätigkeiten. Die Möglichkeiten für eine Unterstützung des entwickelten Prozessmodells durch ein Workflow-Management wurden durch den entwickelten Systementwurf beschrieben und an Hand einer prototypischen Implementierung nachgewiesen.

Im Rahmen der wirtschaftlichen Bewertung wurde auf Basis eines groben Kostenmodells mittelfristig ein monetäres Nutzenpotenzial nachgewiesen. Das Problem bildet dabei der relativ hohe Aufwand zur Einführung der Methodik im Verhältnis zu dem durch das bestehende Referenzmodell beschriebenen Anteil an der Gesamttätigkeit der Planungsabteilung. Dies kann zum einem wie beschrieben „bottom up“ durch die Erweiterung des Prozessmodells geschehen, oder „top down“, in dem das entwickelte Referenzmodell und die Vorgehensweise zu dessen Implementierung in eine gesamthafte PLM-Strategie eines Unternehmens, inklusive der Einführung einer entsprechend durchgängigen Systemunterstützung, integriert wird. Dieser ganzheitliche Ansatz würde durch eine flächendeckende Beschreibung der Unternehmensprozesse einen deutlich höheren Nutzen bei einem im Verhältnis geringer gestiegenen (Implementierungs-) Aufwand ermöglichen.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Virtuelle Produktion ist die Vision einer durchgängigen Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsanlagen und -prozessen auf Basis digitaler Modelle. Im Rahmen der Virtuellen Produktion dient die Digitale Fabrik als Werkzeug, das auf den Abstraktionsebenen Prozess, Anlage, Fabrik und Unternehmensnetzwerk über den gesamten Produktionslebenszyklus eingesetzt wird. In der Praxis werden die Werkzeuge der Virtuellen Produktion überwiegend als Insellösung zur Unterstützung einzelner Funktionen insbesondere in frühen Planungsphasen eingesetzt. Von einzelnen Softwareanbietern existierende, übergreifende Planungswerkzeuge, inklusive der Anbindung an einzelne Simulationssysteme, sind in ihrem Funktionsumfang auf bestimmte Anwendungsfälle ausgerichtet und werden den Anforderungen eines durchgängigen Einsatzes über die Planungsphase hinaus nicht gerecht. Um der Komplexität der vorhandenen Aufgabenstellungen und den verfügbaren Planungswerkzeugen der Virtuellen Produktion gerecht zu werden, wird eine Methodik für eine betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion entwickelt.

Die wesentliche Herausforderung für eine möglichst automatisierte Bewertung alternativer Produktionsszenarien ist die Identifikation und Bearbeitung der relevanten Planungsdaten. Eine Anforderung für die Methodenentwicklung ist die Einbeziehung der Fachexperten für die verschiedenen Planungsprozesse, die mittels der Methodik unterstützt werden sollen. Aus diesem Grund wird auf Basis von Ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) ein Metamodell zur Beschreibung des Referenzmodells definiert. Für die Umsetzung des Referenzmodells in einem prozessorientierten Anwendungssystem werden zwei alternative Systementwürfe beschrieben. Der Groupware-basierte Systementwurf trägt der Komplexität produktionstechnischer Planungsprozesse Rechnung und ermöglicht eine skalierbare Einführung der Methodik. Der Workflow-basierte Systementwurf ermöglicht zukünftig eine automatisierte Ausführung des Planungsprozesses und damit die kurzfristige, aber präzise Bewertung alternativer Produktionsszenarien mit Hilfe der Virtuellen Produktion. Dazu wurde eine Einführungsstrategie zur skalierbaren Implementierung der Methodik innerhalb eines Unternehmens entwickelt. Im Rahmen eines Fallbeispiels in Zusammenarbeit mit einem Automobilhersteller werden das Referenzmodell und die Möglichkeiten zur Implementierung der beiden unterschiedlichen Systementwürfe evaluiert.

Die Definition weiterer Referenzmodelle auf Basis der in dieser Arbeit beschriebenen Vorgehensweise hat langfristig die standardisierte Beschreibung der

---

Gesamtheit der Virtuellen Produktion zum Ziel. Die Methodik dient damit nicht nur dem Wissensmanagement bzgl. Best-Practice-Lösungen von produktionstechnischen Planungsprozessen, sondern auch der Umsetzung der beschriebenen Prozesse in Form eines prozessorientierten Anwendungssystems. Langfristiges Ziel für eine Verbindung der Prozessbeschreibung und der Prozessausführung muss deren bidirektionale Integration im Sinne eines durchgängigen Geschäftsprozessmanagements sein. Um dies zu ermöglichen, muss die Modularisierung der Planungsabläufe weiter vorangetrieben werden. Die technische Machbarkeit einer automatisierten Prozessplanung wurde im Rahmen dieser Arbeit nachgewiesen. Die notwendigen Veränderungen in der Organisation und im Denken der betroffenen Mitarbeiter kann zukünftig durch eine schrittweise Implementierung der Methodik auf Basis des Groupware-basierten Systementwurfs unterstützt werden.

Gegenstand künftiger Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet ist das Management des in Form der Referenzmodelle beschriebenen Wissens. HALLER&SCHILLER (2002, S.4) sehen als eine Vision für die Virtuelle Produktion, dass es möglich ist, „Standards parametrisiert zu beschreiben und über Datenbanken zu verwalten.“ Durch eine geeignete Beschreibung und Klassifizierung der modular aufgebauten Referenzmodelle, könnten diese aufgrund bestimmter Eingangsparameter automatisch rekonfiguriert werden. Damit würde nicht nur die Prozessausführung unterstützt, sondern gleichzeitig auch die Initialisierung des Planungsprozesses.





---

## Literatur

VAN DER AALST&VAN HEE 1995

van der Aalst, W.,M.,P.,; van Hee, K.M.: Framework for business process redesign. In: Callahan (Hrsg.), Proceedings of the Fourth Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE 95), Berkley Springs: IEEE Computer Society Press, 1995, S. 36-45.

ABBOTT&SARIN 1994

Abbott, K.R.; Sarin, S.K.: Experiences with Workflow Management: Issues for the Next Generation. In: Proc. ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (1994), ACM Press: New York, 1994, S. 113-120.

AGGTELEKY 1987

Aggteleky, B.: Fabrikplanung – Werkentwicklung und Betriebsplanung. München: Carl Hanser Verlag, 1987.

AMBERG 1995

Amberg, B.: Ableitung von Spezifikationen für Workflow-Management-Systeme aus Geschäftsprozessmodellen. Informationssystem-Architekturen, 2(2) 1995, S. 76-78.

AMANN 1994

Amann, W.: Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen. Berlin: Springer, 1994.

BANNON&SCHMIDT 1989

Bannon, L.; Schmidt, K.: CSCW: Four Characters in Search of a Context. In: EC-CSCW '89. Proceedings of the First European Conference on Computer Supported Cooperative Work. Gatwick, London, 1989.

BAUSE 2002

Bause, J.; Fenzl, W.; Knau, J.: Langfristig nachhaltige Montagestrukturen. In: Tagungsband 17. Deutscher Montagekongress, 9./10. Oktober 2002. München: mi-Verlag 2002.

BECKER&VOSSEN 1996

Becker, J.; Vossen, G.: Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. In: Vossen, Becker (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Publishing 1996.

BICHLMAIER 2000

Bichlmaier, C.: Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen. München: Hanser 2000.

BLEY&FRANKE 2001

Bley, H.; Franke, C.: Integration von Produkt und Produktionsmodell mit Hilfe der Digitalen Fabrik: wt Werkstattstechnik Springer 2001, S.214-220.

## Literatur

---

BLEY 2003

Bley, H.: Wege zur Modellierung der virtuellen Fabrik. In: Marktchance Individualisierung. Reinhart, Zäh (Hrsg.), Berlin: Springer 2003, S. 153-160.

BORNSCHEIN-GRASS 1995

Bornschein-Grass, C.: Groupware und computergestützte Zusammenarbeit. Markt- und Unternehmensentwicklung. Wiesbaden: Dt. Univ. Verlag, 1994.

BRACHT 2002

Bracht, U.: Ansätze und Methoden der Digitalen Fabrik. In: Tagungsband "Simulation und Visualisierung 2002", Magdeburg, 2002.

BRANDNER 2000

Brandner, S.: Integriertes Produktdaten- und Prozessmanagement in virtuellen Fabriken. München: Utz 2000.

BROCKHAUS 1998

Brockhaus: Brockhaus – Die Enzyklopädie: in 24 Bänden. Leipzig: Brockhaus 1998.

BROCKHAUS & FUHRMEISTER 1998

Brockhaus, R.; Fuhrmeister, K.: EDM/PDM-integrierter Datenaustausch in der Automobilzulieferindustrie. EDM-Report (1998) 4, S. 34-39.

BROMBACHER&BUNGERT 1992

Brombacher, R.; Bungert, W.: Praxis der Unternehmensmodellierung. Seminar IDS Scheer AG, Bad Soden Taunus, 12./13. November 1992.

BULLINGER U.A. 1986

Bullinger, H. J. (Hrsg.); Ammer, D.; Dungs, K.; Seidel, U. A.; Weller, B.: Systematische Montageplanung. In: Handbuch für die Praxis/ REFA. München: Carl Hanser 1986.

BURNET 1987

Burnet, D. A.: Finite Element Analysis. Reading: Addison-Wesley 1987.

CHEN 1976

Chen, P.P.: The Entity Relationship Model: Towards an unified view of data. ACM Transactions on Database-Systems1 (1976) 1, S. 9-36.

CHILD & FAULKNER 1998

Child, J.; Faulkner, D.: Strategies of Cooperations. New York: Oxford University 1998

CHRISTOPH U.A. 2002

Christoph, F.; Collisi, T.; Kohlbauer, R.; Völk, R.; Effert, C.; Oertli, T.; Siggenauer, T.: Durchgängiger Einsatz der Simulationstechnik. In: VDI-Z Integrierte Produktion 144 (2002) 3, S. 30-33.

## COCHRAN&amp;HORNG 1998

Cochran, J.K.; Horng, H.-C.: Simulation Constructs for Computer Integrated Just-in-Time Production Systems: An Object Oriented Approach, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 11, No.2, 1998. S. 130-141.

## CUIPER 2000

Cuiper, R.: Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen. München: Utz, 2000.

## DADAM U.A. 2000

Dadam, P.; Reichert, M.; Kuhn, K.: Clinical Workflows – The Killer Application for Process-oriented Information Systems? 4<sup>th</sup> International Conference on Business Information Systems (BIS'2000), April 2000, S. 36-59.

## DAVENPORT 1993

Davenport, T.: Process Innovation – Reengineering Work through Information Technology. Boston: Harvard Business School Press, 1993.

## DAVENPORT &amp; PRUSAK 1998

Davenport, T., H.; Prusak, L.: Wenn Ihr Unternehmen wüsste, was es alles weiß.: Das Praxisbuch zum Wissensmanagement. Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 1998

## DEBUS 1994

Debus, F.: Ansatz eines rechnergestützten Planungsmanagements für die Planung in verteilten Strukturen. Karlsruhe: Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb, 1994.

## DEHNERT&amp;RITTGEN 2001

Dehnert, J.; Rittgen, P.: Relaxed Soundness of Business Processes. In: Advanced Information System Engineering CAISE 2001, volume 2068, Dittrich, Geppert, Norrie (Hrsg.). Berlin : Springer, 2001, S 157-170.

## DEHNERT 2002

Dehnert, J.: Making EPCs fit for Workflow Management. In: Geschäftsprozessmanagement mit Ereignisgesteuerten Prozessketten, Nüttgens, Rump (Hrsg.). Bonn: Gesellschaft für Informatik, 2002, S. 68-85.

## DERSZTELER 1995

Derszteler, G.: Workflow Dictionary – Ein Ansatz zur Integration von Organisationsmodellen und Workflow Management. Informationssystem-Architekturen, 2(2), 1995, S. 46-49.

## DERSZTELER 1996

Derszteler, G.: Workflow Management Cycle – Ein Ansatz zur Integration von Modellierung, Ausführung und Bewertung Workflow-gestützter Geschäftsprozesse. Wirtschaftsinformatik, 38(6), 1996, S. 591-600.

## Literatur

---

DESEL&OBERWEIS 1996

Desel, J.; Oberweis, A.: Petri-Netze in der angewandten Informatik: Einführung, Grundlagen und Perspektiven. Wirtschaftsinformatik, 38(4), 1996, S. 359-366.

DEUTSCHLÄNDER 1989

Deutschländer, A.: Integrierte rechnergestützte Montageplanung. München: Carl Hanser, 1989.

DOMBROWSKI 2001

Dombrowski, U.; Bothe, T.; Tiedemann, H.: Auf dem Weg zur Digitalen Fabrik. In: Forschungsmagazin der TU Braunschweig, 2001

DOWIDAT 2002

Dowidat, A.: Delmia und Opel verwirklichen die Digitale Fabrik. Wt Werkstattstechnik, 92 (2002) 4, S. 171-172.

DIN 19226 1994

DIN 19226, Teil 1: Regelungstechnik und Steuerungstechnik: Allgemeine Grundbegriffe. Berlin: Beuth, 1994.

DROWSDOWSKI 1989

Drowsdowski, G.: Duden. Deutsches Universalwörterbuch. Mannheim: Duden, 1989.

EIGNER 1996

Eigner, M.: Technische Informationssysteme – Stand der Technik am Beispiel eines PDM/EDM-Systems. ZWF 91 (1996) 9, S. 24-28.

EIGNER & HAASNER 1999

Eigner, M.; Haasner, D.: Extended PDM Functions for Engineering and Lifecycle Improvement. In: Proceedings of the CME/GEN '99 Conference: 2<sup>nd</sup> International Symposium on Concurrent Multidisciplinary Engineering together with the 3<sup>rd</sup> International Conference on Global Engineering Networking, 14-15 Sept. Bremen 1999.

EISERT U.A. 2000

Eisert, U.; Geiger, K.; Hartmann, G.; Ruf, H.; Schindwolf, S.; Schmidt, U.: mySAP Product Lifecycle Management.. Walldorf: SAP Press, 2000.

ELMASRI&NAVATHE 1989

Elmasri, R.; Navathe, S.: Fundamentals of Database Systems. Redwood City: The Benjamin/Cummings, 1989.

ENDLE&MEYER 1996

Endl, R.; Meyer, M.: Potential of Business Process Modelling with Regards to Available Workflow Management Systems. In: Vossen, Becker (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Publishing, 1996.

- 
- FELDMANN & SCHMIDT 1988  
Feldmann, K.; Schmidt, B.: Simulation in der Fertigungstechnik. Berlin: Springer 1988.
- FELDMANN 1997  
Feldmann, C.: Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung. Berlin: Springer, 1997.
- FERSTL&SINZ 1993  
Ferstl, O.K.; Sinz, E.J.: Geschäftsprozessmodellierung. Wirtschaftsinformatik 35 (1993), S. 589-592.
- FERSTL&SINZ 1995  
Ferstl, O.K.; Sinz, E.J.: Der Ansatz des semantischen Objektmodells (SOM) zur Modellierung von Geschäftsprozessen. Wirtschaftsinformatik, 37(3), Juli 1995, S. 209-220.
- FERSTL&SINZ 1996  
Ferstl, O.K.; Sinz, E.J.: Geschäftsprozessmodellierung im Rahmen des Semantischen Objektmodells. In: Vossen, Becker (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Publishing, 1996.
- FRANKE 2003  
Franke, C.: Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationenwerkzeugen in die Digitale Fabrik. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, 2003.
- GADATSCH 1999  
Gadatsch, A.: Entwicklung eines Konzeptes zur Modellierung und Evaluation von Workflows. Frankfurt: Peter Lang, 1999.
- GAITANAIDES U.A. 1996  
Gaitanides, M.; Scholz, R.; Vrohling, A.; Raster, M.: Prozessmanagement. München: Hanser, 1994.
- GALLASCH 2000  
Gallasch, A.: Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion. München: Utz, 2000.
- GALLER&SCHEER 1995  
Galler, J.; Scheer, A.-W.: Workflow-Projekte: Vom Geschäftsprozessmodell zur unternehmensspezifischen Workflow-Anwendung. IM- Informationsmanagement, (10), 1995, S. 20-28.
- GAUSEMEIER&FAHRWINKEL 1994  
Gausemeier, J.; Fahrwinkel, U.: Strategiekonforme Geschäftsprozesse und CIM-Maßnahmen. CIM-Management, 10 (2) 1994, S.56-61.

## Literatur

---

GAUSEMEIER U.A. 2000

Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H.-P: Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe (Band 79) 2000.

GAUSEMEIER&GRAFE. 2000A

Gausemeier, J.; Grafe, M.: Nutzenpotenziale von Virtual Reality in der Fabrik- und Anlagenplanung, wt Werkstatttechnik 90 (2000) H. 7/8, S. 282-286.

GERHARDT 2001

Gerhardt, A.; Lanza, M.: Die Überwindung der Arbeitsteilung durch die Digitale Fabrik. Vortrag anlässlich der Mitgliederversammlung des VDMA am 19.10.2001, Berlin.

GEYER 1997

Geyer, M.: Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung. Berlin: Springer, 1997.

GIAGLIS&PAUL 1996

Giaglis, G.M.; Paul, R.J.: It's time to engineer re-engineering: Investigating the potential of simulation modelling for business process redesign. In: Scholz-Reiter, Stickle (Hrsg.), Business Process Modelling. Springer: Berlin, 1996, S. 313-332.

GOLDSTEIN 1999

Goldstein, B.: Modellgestützte Geschäftsprozessgestaltung in der Produktentwicklung. München: Utz, 1999.

GRÄBLER 1999

Gräßler, R.: Planungs- und Workflow-Methodik für eine integrierte Konstruktion und Arbeitsplanung. Aachen: Shaker, 1999.

GRUNWALD 2002

Grunwald, S.: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung. München: Utz, 2002.

GUZIELSKI 1996

Guzielski, G.: Geschäftsprozess-Analysen mit Softwareunterstützung, Top-Down Ansatz als Erfolgsmethode. In: BITspezial, Heft 10, 1996, S. 37-39.

HALLER&SCHILLER 2002

Haller, E.; Schiller, E. F.: Digitale Fabrik bei DaimlerChrysler – Herausforderungen und Chancen. In: Automobil Forum 2002 – Der Strategie-Check für OEM und Zulieferer (Tagung), Ludwigsburg. Landsberg: Verlag moderne Industrie 2002, S. 2/1 – 2/9

HAMMER 1997

Hammer, M.: Das prozesszentrierte Unternehmen. Campus: New York, 1997

HAMMER&CHAMPY 1993

Hammer, M.; Champy, J.: Reengineering the Cooperation. A Manifesto for Business Revolution. New York: Harper Business, 1993.

- HARS 1994  
Hars, A.: Referenzdatenmodelle. Grundlagen effizienter Datenmodellierung. Wiesbaden: Gabler, 1994.
- HEITMANN 1999  
Heitmann, K.: Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle. München: Utz 1999.
- HESS U.A. 1995  
Hess, T.; Brecht, L.; Österle, H.: Geschäftsstrategie – Prozess – Informationssystem. In: König (Hrsg.), Wirtschaftsinformatik '95: Wettbewerbsfähigkeit, Innovation, Wirtschaftlichkeit. Physica: Heidelberg, 1995.
- HEYN 1998  
Heyn, M.: Methodik zur schnittstellengesteuerten Gestaltung von Entwicklungskooperationen. Aachen: Shaker, 1998.
- HIEBER 2003  
Hieber, M.: Product Lifecycle Management: Lebensdauerverlängerung durch Up-cycling. Vortrag IQPC (Hrsg.), PLM 2003 8.-10.12.2003, Frankfurt, 2003.
- HOFFMANN 2003  
Hoffmann, H.: Visionen ins Visier genommen – Die Hochschule als Bindeglied zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. In: Zäh, Reinhart, Hoffmann, Milberg (Hrsg.), Münchner Kolloquium, Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art. München: Utz, 2003, S. 53 – 78.
- IDS 2002  
IDS Scheer AG: ARIS Methode. Online Methodenhilfe ARIS 6 Collaborative Suite. Saarbrücken: IDS, 2002.
- JABLONSKI U.A. 1997  
Jablonski, S.; Böhm, M.; Schulze, W.: Workflow Management – Entwicklung von Anwendungen und Systemen – Facetten einer neuen Technologie. Heidelberg: dpunkt.verlag, 1997.
- JAKOB 2003  
Jakob, W.: Umformtechnik im Wandel – Innovative Lösungen für den Markt von morgen. In: Zäh, Reinhart, Hoffmann, Milberg (Hrsg.), Münchner Kolloquium, Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art. Utz: München 2003, S. 237 – 248.
- JAESCHKE 1996  
Jaeschke, P.: Geschäftsprozessmodellierung mit INCOME. In: Vossen, Becker (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Publishing, 1996.
- JONAS 2000  
Jonas, C.: Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen. München: Utz, 2000.

## Literatur

---

KETTNER 1984

Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H. R.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. Wien: Karl Hanser Verlag, 1984.

KELLER U.A. 1992

Keller, G.; Nüttgens, M.; Scheer, A.-W.: Semantische Prozessmodellierung auf der Grundlage „Ereignisgesteuerter Prozessketten (EPK)“. Technischer Bericht, Institut für Wirtschaftsinformatik, Saarbrücken: Universität des Saarlandes, Januar 1992.

KELLER&TEUFEL 1997

Keller, G.; Teufel, T.: SAP R/3 prozessorientiert anwenden. Edition SAP. München: Addison-Wesely, 1997.

KLEINER 2001

Kleiner, M.: Informationstechnologien für die virtuelle Produktion. In: wt Werkstattstechnik 91 (2001) H.9. Berlin: Springer 2001, S.599.

KLINGER & WENZEL 2000

Klinger, A.; Wenzel, S.: Referenzmodelle – Begriffsbestimmung und Klassifikation. In: Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik, Delft: SCS, 2000, S.13-29.

KLOCKHAUS&SCHERUHN 1997

Klockhaus, E.; Scheruhn, H.-J.: Modellbasierte Einführung betrieblicher Anwendungssysteme. In: Harzer wirtschaftswissenschaftliche Schriften. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 1997.

KOCH 2001

Koch, M.: Integration von Karosserieentwicklung und Rohbauplanung mittels Simulation und VR. In: Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen. München: Utz, 2001. S. 1-18.

KOREIMANN 1995

Koreimann, D. S.: Grundlagen der Software-Entwicklung. 2. Aufl.. München, Wien: Oldenbourg, 1995.

KÖTH 2003

Köth, K.-P.: Die Branche vor der nächsten Revolution. In: Automobil Industrie 7-8/2003. Würzburg: Vogel Auto Medien, 2003, S 39-41.

KRALLMANN 1990

Krallmann, H.: Die Kommunikationsstrukturanalyse als Werkzeug zur Gestaltung der Informationslogistik. Schoenberg: Haessler, 1990.

KRÜGER 2004

Krüger, A.: Planung und Kapazitätsanpassung stückzahlflexibler Montagesysteme. Zugelassene Dissertation der Fakultät für Maschinenwesen, TU München, erscheint 2005.



- KUBA 1997  
Kuba, R.: Information- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion. Berlin: Springer, 1997.
- KUENG 1996  
Kueng, P.: Entwurf von Geschäftsprozessen mittels Petri-Netzen. Informatik, Informatique, 3 (5): 1996, S. 24-31.
- KUGELMANN 1999  
Kugelmann, D.: Aufgabenorientierte Offline Programmierung von Industrierobotern. München: Utz, 1999.
- LEBER 1998  
Leber, M.: PDM-Systeme und Datenaustausch – Ein aktueller Statusbericht. Produktdaten Journal (1998) 2, S. 42-44.
- LENZ 2002  
Lenz, B.: Finite-Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung. München: Utz, 2002.
- LEYMANN&ROLLER 2000  
Leymann, F.; Roller, D.: Production Workflow – Concepts and Techniques. Prentice Hall: Upper Saddle River, 2000.
- LINDEMANN & KLEIN 1998  
Lindemann, M.; Klein, S.: Die Nutzung von Internet-Diensten im Rahmen des elektronischen Datenaustauschs. Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St. Gallen, 1998.
- LINDEMANN U.A. 1999  
Lindemann, U.; Reinhart, G.; Bichlmaier, C.; Grunwald, S.: PMM – Process module Methodology for Integrated Design and Assembly Planning. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> Design for Manufacturing Conference, Las Vegas: Asme International, S. 12-16, 1999.
- LINDEMANN 2000  
Lindemann, U.: SFB 336. Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung. Arbeits- und Ergebnisbericht 1998-1999-2000 München: TU, 2000.
- LINDEMANN 2004  
Lindemann, U.: Transferbereich 29, Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung. Arbeits- und Ergebnisbericht 2001/2-2002-2003, München: TU, 2004.
- LINNER 1999  
Linner, S.; Geyer, M.; Wunsch, A.: Optimierte Prozesse durch Digital Factory Tools. VDI Bericht 1489, Düsseldorf: VDI Verlag, 1999, S.187-198.

## Literatur

---

LOFERER 2002

Loferer, M.: Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen. München: Utz, 2002.

LULAY 1999

Lulay, W.: Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen. München: Utz, 1999.

LUGER 1991

Luger, A.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 3. Auflage. München: Hanser, 1991.

MARTIN 1998

Martin, C.: Produktionsregelung – ein modularer, modellbasierter Ansatz. Berlin: Springer, 1998.

MÄRZ&LANGSDORF 2001

März, L.; von Langsdorf, P.: Flexibilität und Marktorientierung in der Montage. In: Montageplanung – effizient und marktgerecht. Westkämper, Bullinger, Horváth (Hrsg.). Berlin: Springer, 2001. S. 3 - 11.

MEINHARDT 1995

Meinhardt, S.: Geschäftsprozessorientierte Einführung von Standard-Software am Beispiel des SAP-Systems R/3. Wirtschaftsinformatik, 37(5), Oktober 1997, S. 487-499.

MURR 1999

Murr, O.: Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen. München: Utz, 1999.

NATIONAL INSTITUTE 1993

National Institute of Standards and Technology: Integration Definition for Function Modelling (IDEF0), Gaithersburg, Federal Information Processing Standards Publications (FIPS PUBS), National Institute of Standards and Technology, Processing Publication 183, Dec. 21., 1993.

NOWAK 2000

Nowak, G.: Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen. München: Utz, 2000.

NÜTTGENS&ZIMMERMANN 1998

Nüttgens, M.; Zimmermann, V.: Geschäftsprozessmodellierung mit der Ereignisgesteuerten Prozesskette. In: Informationsmodellierung, Maicher, Scheruhn (Hrsg.), Gabler: Wiesbaden, 1998.

OBERWEIS 1996

Oberweis, A.: Modellierung und Ausführung von Workflows mit Petri-Netzen. Stuttgart, Leipzig: Teubner, 1996.

ÖSTERLE 1995

Österle, H.: Business Engineering: Prozess und Systementwicklung. Berlin: Springer, 1995.

## ÖSTERREICH 1999

Österreich, B.: Objektorientierte Softwareentwicklung: Analyse und Design. 2. Auflage, München: Oldenburg, 1999.

## PAHL&amp;BEITZ 1997

Pahl, G.; Beitz, W.: Konstruktionslehre. Methoden und Anwendungen. 4. Auflage. Berlin: Springer, 1997.

## PETRI 1962

Petri, C.A.: Kommunikation mit Automaten. Dissertation, Rhein.-Westfäl. Institut für Inst. Mathematik, Universität Bonn, 1962.

## PODOLSKY 2000

Podolsky, M.: Ein durchgängiger, integrierter Ansatz für den Entwurf objektorientierter, Workflow-basierter Systeme. München: Utz, 2000.

## VON PRAUN 2002

von Praun, S.: Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess. München: Utz, 2002.

## PREHL 2004

Prehl, S.: Mittelstand sorgt für Nachfrage nach PLM. In. Computerwoche Online <http://www.computerwoche.de> 02.09.2004.

## PRIEMER 1995

Priemer, J.: Entscheidungen über die Einsetzbarkeit von Software anhand formaler Modelle. Sinzheim: Pro Universitate, 1995.

## PTC 1999

PTC: Windchill Application Developer's Guide. Release 4. Waltham: PTC 1999.

## REFA 1990

REFA: Methodenlehre der Betriebsorganisation. München: Hanser, 1990.

## REICHERT 2000

Reichert, M.: Dynamische Ablaufänderungen in Workflow-Management-Systemen. Zugel. Dissertation Universität Ulm, 2000

## REINHART 1999

Reinhart, G.; Grunwald, S.; Rick, F.: Virtuelle Produktion - Virtuelle Produkte im Rechner produzieren. VDI-Z 141 (1999) 12, S. 26-29.

## REINHART 2000

Reinhart, G.: Virtuelle Produkt- und Prozessentwicklung. Wt Werkstatttechnik 90 (2000) H.7/8 S. 273

## REINHART U.A. 2001

Reinhart, G.; Fusch, T.; Patron, C.: Web-basierte Lösungen für die durchgängige Virtualisierung des Produktionsprozesses. VDI-Z 143 2001 S. 47-50.

## Literatur

---

REINHART U.A. 2001A

Reinhart, G.; Auer, F.; Lenz, B.: Virtual Production: The Simulation of Laser Beam Welding – more than a single solution in the process chain. In: Proc. of 1<sup>st</sup> intern. WLT Conference on Lasers in Manufacturing, Munich, June 2001. Stuttgart: AT Fachverlag 2001, S. 178-187.

REINHART U.A. 2001B

Reinhart, G.; Baudisch, T.; Patron, C.: Mit Simulation die Komplexität beherrschen. Aufgezeigt am Beispiel der dynamischen Simulation mechatronischer Systeme und des Einsatzes von Virtual Reality. *Industriemanagement* 17 (2001), S. 34-37.

REINHART U.A. 2002

Reinhart, G.; Baudisch, T.; Lanza, M.; Fusch, T.: Rechnergestützte Prozess- und Anlagenentwicklung. In: Konferenzband Virtual Product Creation 2002, Berlin 2002.

REINHART U.A. 2002A

Reinhart, G.; Cisek, R.; Schilling-Pratzel, M.: ProMotion –Steigerung der Wandlungsfähigkeit durch mobile Produktionssysteme. In: Bley, I. (Hrsg.): *Karlsruher Arbeitsgespräche 2002 – Forschung für die Produktion von morgen*, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH 2002, S. 336-345.

REINHART U.A. 2003

Reinhart, G.; Haag, M.; Wagner, W.; Fusch, T.: Mit der Digitalen Fabrik auf dem Weg zur Virtuellen Produktion. In: Zäh, Reinhart, Hoffmann, Milberg (Hrsg.), *Münchener Kolloquium, Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art*. München: Utz, 2003, S. 137-159.

REINHART U.A. 2003A

Reinhart, G.; Prasch, M.; Krüger, A.: Stückzahl- und Variantenflexible Montage – eine ganzheitliche Aufgabe. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.), *Die wandlungsfähige Fabrik*. Hannover IFA, 2003, S.183-215.

REINWALD 1993

Reinwald, B.: *Workflow-Management in verteilten Systemen*, Teubner-Texte zur Informatik, Band 7. Stuttgart: Teubner, 1993.

REITHOFER 2003

Reithofer, N.: *Faszination Produktion – Produktionsstrategie eines Premiumanbieters, Globalisierung / Agilität / Effizienz*. In: Zäh, Reinhart, Hoffmann, Milberg (Hrsg.), *Münchener Kolloquium, Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art*. München: Utz, 2003, S. 81-94.

REIZENSTEIN 1998

Reizenstein, N.: *Durchgängige Prozessmodellierung als Hilfsmittel für eine erfolgreiche Softwareimplementierung*. In: Maicher, Scheruhn (Hrsg.): *Informationsmodellierung*. Wiesbaden: Gabler, 1998. S. 383-394.

- ROLLER 1996  
Roller, D.: Verifikation von Workflows in IBM FlowMark. In: Vossen, Becker (Hrsg.), Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn: Thompson, 1996, S. 353-367.
- ROSEMANN 1996  
Rosemann, M.: Komplexitätsmanagement in Prozessmodellen: methodenspezifische Gestaltungsempfehlung für die Informationsmodellierung. Gabler: Wiesbaden, 1996.
- ROEGODERER 2002  
Roßgoderer, U.: System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen. München: Utz, 2002.
- ROY U. A. 1997  
Roy, U.; Bharadwaj, B.; Kodkani, S.; Cargian, M.: Product development in a collaborative design environment, Concurrent engineering : Research and Application, 5(3), pp. 233 - 252, 1997
- RUMBAUGH 1991  
Rumbaugh, J.: Object Oriented Modelling and Design. Englewood Cliffs: Prentice-Hall International 1991.
- RUMP 1999  
Rump, F. J.: Geschäftsprozessmanagement auf Basis ereignisgesteuerter Prozessketten. Stuttgart, Leipzig: Teubner, 1999.
- SABBAH 2000  
Sabbah, K.-A.: Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen. München: Utz, 2000.
- SCHANZ 2003  
Schanz, R.: Konfigurierbare modulare Montagesysteme. In: Tagungsband Fertigungstechnisches Kolloquium Stuttgart, 13. bis 15. Oktober 2003, S. 77-88.
- SCHER 1991  
Scher, A.-W.: Architektur integrierter Informationssysteme: Grundlagen der Unternehmensmodellierung. Berlin: Springer, 1991.
- SCHERER&JOST 1996  
Scherer, A.-W.; Jost, W.: Geschäftsprozessmodellierung innerhalb einer Unternehmensarchitektur. In: Vossen, Becker (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Publishing, 1996.
- SCHERUHN 1998  
Scheruhn, H.-J.: Integration von Referenzmodellen bei der Einführung betrieblicher Anwendungssysteme. In: Maicher, Scheruhn (Hrsg.): Informationsmodellierung. Wiesbaden: Gabler, 1998. S. 147-168.

## Literatur

---

SCHILLER 2001

Schiller, E.: Digital Planen – vernetzt arbeiten. In: Towards the Digital Car Factory. Technik und Kommunikation: Berlin: tuk-Verlag 2001.

SCHILLER 2002

Schiller, E.: Die Digitale Fabrik – die dritte Revolution in der Automobilindustrie? In Automobil Forum 2002, Ludwigsburg. Landsberg: moderne industrie 2002, S. 5/1 – 5/9

SCHLÖGL 2000

Schlögl, W.: Integriertes Simulationsdaten-Management für die Maschinenentwicklung und Anlagenplanung. Bamberg: Meisenbach, 2000.

SCHNEIDER 1998

Schneider, C.: Das Referenzmodell für Versicherungen. In. Maicher, Scheruhn (Hrsg.), Informationsmodellierung, Referenzmodelle und Werkzeuge. Wiesbaden: Gabler, 1998.

SCHÖTTNER 2000

Schöttner, J.: Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie – Prinzip, Konzepte, Strategien. München, Wien: Hanser, 2000.

SCHOLZ-REITER&STICKEL 1996

Scholz-Reiter, B.; Stickel, E.: Business Process Modelling. Berlin: Springer, 1996.

SCHRÖDER U.A. 2002

Schröder, K.; Müller-Rogait, J.: Objektorientierte Fertigungstechnik, differenzierte Automatisierung und virtuelle Fabrik – Ein Beitrag zur Kursbestimmung. ZWF 97 (2002) 4, S.187-193.

SCHÜTTE 1998

Schütte, R.: Grundsätze ordnungsgemäßer Referenzmodellierung. Wiesbaden: Gabler, 1998.

SCHÜTTE 1998A

Schütte, R.: Referenzmodellierung: Anforderungen der Praxis und methodische Konzepte. In. Maicher, Scheruhn (Hrsg.), Informationsmodellierung, Referenzmodelle und Werkzeuge. Gabler: Wiesbaden, 1998.

SCHULZE&BÖHM 1996

Schulze, W.; Böhm, M.: Klassifikation von Vorgangsverwaltungssystemen. In: Vossen, Becker (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Publishing, 1996.

SCHWAB 1996

Schwab, K.: Koordinationsmodelle und Softwarearchitekturen als Basis für die Auswahl und Spezialisierung von Workflow-Management-Systemen. In: Vossen, Becker (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Publishing, 1996.

- SCHWUCHOW 1997  
Schwuchow, W.: Informationsökonomie. In: Buder, M; Rehfeld, W.; Seeger, Th.; Strauch, D. (Hrsg.): Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation: Ein Handbuch zur Einführung in die fachliche Informationsarbeit. München: Sauer, 1997.
- SELKE 1999  
Selke, C.: Effiziente Modellerstellung. In: Milberg, J.; Reinhart, G.: Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation, München. München: Utz 1999. S. 95- 108.
- SPUR 2000  
Spur, G.: Virtuelle Produktionstechnik – E-Manufacturing. Konferenzband WGP-Workshop Virtuelle Produktionstechnik – E-Manufacturing, Berlin 18. Oktober 2000.
- STACKPOLE 2004  
Stackpole, B.: Demystifying PLM. In: Managing Information Online. <<http://www.managingautomation.com>>(02.09.2004).
- STEIN 1999  
Stein, K.: Integration von Anwendungsprozessmodellierung und Workflow-Management. Erlangen: Universität Erlangen-Nürnberg, 1999.
- STOBER 2002  
Stober, T.: Softwaresystem zur Prozesslenkung auf Basis dynamischen Erfahrungswissens. Heimsheim: Jost Jetter 2002
- THIES 2003  
Thies, P.: Eine Methode zur deklarativen Modellierung von Koordinationsanforderungen in kooperativen Arbeitsprozessen. Heimsheim: Jost Jetter, 2003.
- TUROWSKI 1996  
Turowski, K.: Prozessorientierung in der Produktionsplanung und –steuerung. In: Vossen, Becker (Hrsg.): Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Publishing, 1996.
- V. UTHMANN 1998  
v. Uthmann, C.: Machen Ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) Petrinetze für die Geschäftsprozessmodellierung obsolet? EMISA FORUM, (1), 1998, S. 100-107.
- VDI 3633 1993  
VDI (Hrsg.): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.
- VIERTLBÖCK 2000  
Viertlböck, M: Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung. München, 2000. (Zugl. Diss. TU München)
- VOLLMER 2002  
Vollmer, L.: Virtualisierung und Digitalisierung bei der Fabrikplanung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 1-2, S. 24-27.

## Literatur

---

WALTER 2002

Walter, T. J.: Einsatz von Methoden der Digitalen Fabrik bei der Planung von Produktionssystemen für die Automobilindustrie. Aachen: Shaker, 2002.

WAHRING 1986

Wahring, G.: Deutsches Wörterbuch. Gütersloh, 1986.

WEBER 2003

Weber, T.: Produkt- und Prozessinnovationen – Erfolgsfaktoren in globalen Märkten. In: Stuttgarter Impulse. Zukunft gestalten – Zeichen setzen. Heisel, Pritschow, Spath, Westkämper (Hrsg.), Stuttgart, 2003, S.23 - 60.

WEIDIG 1997

Weidig, A.: Architektur und Entwicklung integrierter Produktmodellierer aus der Sicht der Konstruktionstechnik. Rostock, Univ. Diss., 1997.

WEINER U.A. 2001

Weiner, S.A.; Chesney, D.; Walacavage, J.: Framework for a Ford Virtual Manufacturing Strategy. In: Towards the Digital Car Factory. Berlin: Technik und Kommunikation, 2001.

WENDEROTH 2002

Wenderoth, A.: Herausforderung globale Massenproduktion. In: 17. Deutscher Montagekongress. Landsberg: moderne Industrie 2002.

WESTKÄMPER 2001

Westkämper, E.; von Briel, R.: Continuous improvement and participative factory planning by computer systems. In: Annals of the CIRP Volume 50/1/2001, S. 347-356.

WESTKÄMPER U.A. 2001A

Westkämper, E.; Bischoff, R.; von Briel, R.; Dürr, M.: Fabrikdigitalisierung. In: wt Werkstatttechnik 91 (2001) H. 6, S 304-307.

WESTKÄMPER U.A. 2003

Westkämper, E.; Bierschenk, S.; Kuhlmann, T.: Digitale Fabrik – nur was für die Großen? In: wt Werkstatttechnik 93 (2003) H.1/2, S. 22-26.

WESTKÄMPER 2003

Westkämper, E.: Qualitätsmanagement wandlungsfähiger Unternehmen. In Tagungsband FQS-Forschungstagung 2003, Band 80-03, S. 120-139.

WFMC 1999

Workflow Management Coalition: Terminology & Glossary. WFMC-TC-1011, Version 3.0, Februar 1999.

WHEELWRIGHT U. A. 1999

Wheelwright, S., C.; Kim, B.; Clark: Revolutionising Product Development - Quantum Leaps in Speed, Efficiency and Quality, 1999.



- WIENDAHL 1983  
Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. München: Hanser, 1983.
- WIENDAHL 2002  
Wiendahl, H.-P.: Simulation von Produktionsprozessen – Was kann sie leisten? In: Technology Monitoring – Virtuelle Produktion. Paderborn, WGP – Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik, 2002.
- WIENDAHL 2002A  
Wiendahl, H.-P.; Harms, T.; Heger, C.: Kontextsensitiver Einsatz von Virtual Reality im Rahmen der Digitalen Fabrik. In: Tagungsband zum 1. Paderborner Workshop Augmented Reality und Virtual Reality in der Produktentstehung. Gausemeier, J. (Hrsg.), Grafe, M. (Hrsg.). Paderborn: HNI, 2002.
- WIESMÜLLER 2000  
Wiesmüller, J.: Digital Manufacturing (DMF) – Verschmelzung von Entwicklung und Produktion; Vortrag VDI-Arbeitskreise Produktionstechnik und Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb; Stuttgart, 2000.
- WIESMÜLLER 2000A  
Wiesmüller, J.: Von der Idee bis zur Serie – Virtuelle Produkte und Virtuelle Produktion. In: Reinhart (Hrsg.), Seminarberichte (2000) 54: Virtuelle Produktion - Integrierte Prozess-/Produktsimulation. München: Utz, 2000.
- WIESMÜLLER 2002  
Wiesmüller, J.: Digital Manufacturing – Verschmelzung von Entwicklung und Produktion. Vortrag VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB), 12. März 2002, Ulm.
- WILHELM 2003  
Wilhelm, B.: Flexibel, vernetzt, verantwortungsvoll – Anforderungen an eine Automobilproduktion von morgen. In: Zäh, Reinhart, Hoffmann, Milberg (Hrsg.), Münchner Kolloquium, Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art. Utz: München 2003, S. 189-210.
- WOENCKHAUS 1994  
Woenckhaus, C.: Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layout-optimierung. Berlin: Springer, 1994.
- WRBA 1990  
Wrba, P.: Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik. Berlin: Springer, 1990.
- WUTTKE 2000  
Wuttke, C.C.: Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, 2000.
- ZÄH&AUER 2002  
Zäh, M, F.; Auer, F.: An Approach to consider the Results of previous Forming Processes in the Simulation of laser beam welding. In: Proc. Of the 21<sup>st</sup> intern. Congress of Laser & Electro-Optics (ICALEO'02), Scottsdale / AZ 2002.

## Literatur

---

ZÄH&WAGNER 2002

Zäh, M.F.; Wagner, W.: Digital Factory in Europe - Trends in Research and Development. In: MPM Manufacturing Process Management Forum 2002. Tokio, 2002.

ZÄH U.A. 2003

Zäh, M.,F.; Patron, C.; Fusch, T.: Die Digitale Fabrik – Definition und Handlungsfelder. ZWF (2003) 98/3, 2003 S. 75-77.

ZÄH U.A. 2003A

Zäh, M.,F.; Müller, S.; Carnevale, M.: Roadmap zur Virtuellen Produktion. In: Seminarberichte 68: Virtuelle Produktion – Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik. München: Utz 2003, S. 1-1 – 1-20.

ZÄH U.A. 2003B

Zäh, M. F.; Feldmann, K.; Effert, C.; Zhou, Y.: Integration der Simulation in Produktentwicklung und Fabrikplanung. In: Simulationsbasierte Werkzeuge für die Produktionstechnik, Abschlussbericht FORSIM II, Erlangen: Gruner, 2003. S. 71-96.

ZÄH 2004

Zäh, M., F.; Wunsch, G.; Munzert, U.: Virtual Assembly Systems Using Hardware-in-the-Loop-Simulation. In: Schulze, Schlechtweg, Hinz (Hrsg.), Simulation und Virtualisierung 2004. Erlangen: European Publishing House, 2004. S. 65-73.

ZETLMAYER 1994

Zetlmayer, H.: Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinserienproduktion. Berlin: Springer, 1994.

ZUSE 1980

Zuse, K.: Petri-Netze aus Sicht des Ingenieurs. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg; 1980.

## Anhang

### 1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Vorgehensweise zur Entwicklung der Methodik.....	1
Abbildung 2-1: Aufbau Kapitel 2.....	1
Abbildung 2-2: Methodik, Methoden und Hilfsmittel [HEYN 1998].....	1
Abbildung 3-1: Aufbau Kapitel 3.....	1
Abbildung 3-2: Fabrikplanungsphasen nach Kettner (1984).....	1
Abbildung 3-3: Fabrikplanungsvorgehen nach Aggteleky (1987) und Vollmer (2002).....	1
Abbildung 3-4: Prozessmodell für die Montageplanung [vgl. Walter 2002].....	1
Abbildung 3-5: Kommunikationspartner der Montageplanung [Feldmann 1997] ....	1
Abbildung 3-6: Handlungsfelder der Virtuellen Produktion [vgl. Zäh u.a. 2003a]...	1
Abbildung 3-7: Abgrenzung Daten- und Prozessmanagement [Brandner 2000] .....	1
Abbildung 3-8: PLM im Überblick [Hieber 2003] .....	1
Abbildung 3-9: Einsatz der Virtuellen Produktion im Produktionslebenszyklus .....	1
Abbildung 3-10: Systemlandschaft Digital Manufacturing [Wiesmüller 2000].....	1
Abbildung 3-11: Vorhandene Lücken in der virtuellen Planung.....	1
Abbildung 3-12: Das Workflow Reference Model [WFMC 1999].....	1
Abbildung 3-13: Kategorien Workflow-basierter Anwendungen [Reichert 2000] ...	1
Abbildung 3-14: Geschäftsprozess- und Workflow-Ebene [Rump 1999].....	1
Abbildung 5-1: Überblick der Methodik.....	1
Abbildung 5-2: Sichten des ARIS-Systemhaus (vgl. Scheer 1991).....	1
Abbildung 5-3: Beispiel Funktionsbaum .....	1

Abbildung 5-4: Beispiel Anwendungssystemtypdiagramm .....	1
Abbildung 5-5: Beispielorganigramm der Organisationssicht .....	1
Abbildung 5-6: Beispiel EPK .....	1
Abbildung 5-7: Beispiel FZD .....	1
Abbildung 5-8: Aufgaben und Methoden der Virtuellen Produktion.....	1
Abbildung 5-9: Anwendungssystemklasse Daten- und Prozessmanagement .....	1
Abbildung 5-10: Anwendungssystemklasse Modellierung .....	1
Abbildung 5-11: Anwendungssystemklasse Simulation .....	1
Abbildung 5-12: Funktionsbaum Referenzmodell .....	1
Abbildung 5-13: Generisches Organigramm der Planungs-Methode .....	1
Abbildung 5-14: Funktionsbaum Projektvorbereitung .....	1
Abbildung 5-15: Bewertung Projektvorbereitung .....	1
Abbildung 5-16: Ablaufplanung und Montagesystementwurf nach Bullinger u.a. (1986).....	1
Abbildung 5-17: Montageprozess planen .....	1
Abbildung 5-18: Manuelle Arbeitstakte planen.....	1
Abbildung 5-19: Bewertung manuelle Arbeitstakte planen .....	1
Abbildung 5-20: Bestehende Anlagen bewerten .....	1
Abbildung 5-21: Neubeschaffung Anlage planen .....	1
Abbildung 5-22: Logistikprozess planen .....	1
Abbildung 5-23: Bewertung Logistikprozess planen .....	1
Abbildung 5-24: Integration Struktur planen.....	1
Abbildung 5-25: Bewertung Integration Struktur planen.....	1
Abbildung 5-26: Umsetzung planen .....	1

---

Abbildung 5-27: Ausarbeitung innerhalb der Systematischen Montageplanung [Bullinger u.a. 1986].....	1
Abbildung 5-28: Prozessorientiertes Anwendungssystem .....	1
Abbildung 5-29: Organisationsformen in der Prozessplanung .....	1
Abbildung 5-30: Muster GUI zur Projektsteuerung.....	1
Abbildung 5-31: Muster GUI für die Beschreibung der Planungsaufgaben.....	1
Abbildung 5-32: Systemarchitektur Groupware-basierter Systementwurf.....	1
Abbildung 5-33: Systemarchitektur Workflow-basierter Systementwurf .....	1
Abbildung 5-34: Workflow-basierter Systementwurf mit integrierter Datenhaltung 1	
Abbildung 5-35: Einführungsstrategie .....	1
Abbildung 5-36 Probleme und Lösungsansätze zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung [vgl. Koreimann 1995 und Schuchow 1997].....	1
Abbildung 5-37: Projektplan mit qualitativen Kostenarten .....	1
Abbildung 6-1: Umsetzung der Methodikelemente .....	1
Abbildung 6-2: GUI zur Definition der Prozesstemplates .....	1
Abbildung 6-3: Zuordnung der Variablen im Workflow-Schema .....	1
Abbildung 6-4: Im WMS implementiertes Referenzmodell .....	1
Abbildung 6-5: Aufgabenliste des Bearbeiters .....	1
Abbildung 6-6: GUI zur Bearbeitung der Planungsaufgaben .....	1
Abbildung 6-7: Berechnung der Personalkosten.....	1
Abbildung 6-8: Berechnung der Organisationskosten .....	1
Abbildung 6-9: Berechnung der Investitionskosten.....	1
Abbildung 6-10: Annahmen zur Berechnung des Ertrags.....	1
Abbildung 6-11: Effizienzfaktoren der Prozessmodule .....	1

Abbildung 6-12: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	1
Abbildung 6-13: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für alternatives Szenario .....	1
Abbildung 6-14: Stoßrichtungen der Virtuellen Produktion [Haller&Schiller 2002] 1	
Abbildung 0-1: Konzept Neubeschaffung Anlagen entwickeln .....	1
Abbildung 0-2: Integration Strukturplanung durchführen.....	1
Abbildung 0-3: Logistikprozess planen .....	1
Abbildung 0-4: Projektvorbereitung .....	1
Abbildung 0-5: Bestehende Anlagen bewerten .....	1
Abbildung 0-6: manuelle Arbeitstakte planen .....	1
Abbildung 0-7: Optimierungsvorschläge bewerten und selektieren .....	1
Abbildung 0-8: Grobtaktung/Machbarkeit Verbraureihenfolge durchführen.....	1
Abbildung 0-9: Anlagen selektieren .....	1
Abbildung 0-10: Anzahl der Arbeitstakte ermitteln .....	1
Abbildung 0-11: Automatische Arbeitsinhalte filtern .....	1
Abbildung 0-12: Beschaffung existierender Anlagen planen.....	1
Abbildung 0-13: Beschaffung neuer Anlagen planen.....	1
Abbildung 0-14: Eignung manueller Montage des Vorgangs prüfen.....	1
Abbildung 0-15: geeignete Anlagen recherchieren .....	1
Abbildung 0-16: Gesamt Layout erstellen.....	1
Abbildung 0-17: Gesamt Layout erstellen.....	1
Abbildung 0-18: Grobaktung durchführen .....	1
Abbildung 0-19: Kapazität der vorhandenen Anlagen prüfen.....	1
Abbildung 0-20: Konzept für Verbraureihenfolge definieren .....	1

---

Abbildung 0-21: Manuelle Arbeitsinhalte selektieren .....	1
Abbildung 0-22: Optimierungsmöglichkeiten recherchieren .....	1
Abbildung 0-23: techn. Machbarkeit prüfen .....	1
Abbildung 0-24: Umsetzbarkeit Planungsvariante bewerten .....	1
Abbildung 0-25: Vorschläge betriebswirtschaftlich bewerten .....	1
Abbildung 0-26: Vorschläge technisch bewerten .....	1
Abbildung 0-27: Planungs-/Bewertungsreferenzen auswählen .....	1
Abbildung 0-28: Prod.programm für Planungsvariante erstellen .....	1
Abbildung 0-29: Produkt beschreiben .....	1
Abbildung 0-30: Prämissen Randbedingungen fixieren .....	1
Abbildung 0-31: Ressourcen festlegen .....	1

## **2. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 3-1: Vorteile einer Prozessmodularisierung [Grunwald 2002].....	1
Tabelle 3-2: Ziele und Erwartungen für den Einsatz von WMS [Stein 1999] .....	1
Tabelle 3-3: Stand der Forschung für die Entwicklung der Methodik.....	1
Tabelle 5-1: Anforderungen an die Modellierungs-Methode.....	1
Tabelle 5-2: Bewertung der Anforderungen an die Prozessmodellierung.....	1
Tabelle 0-1: EPK des Referenzmodells .....	1
Tabelle 0-2: FZD des Referenzmodell.....	1

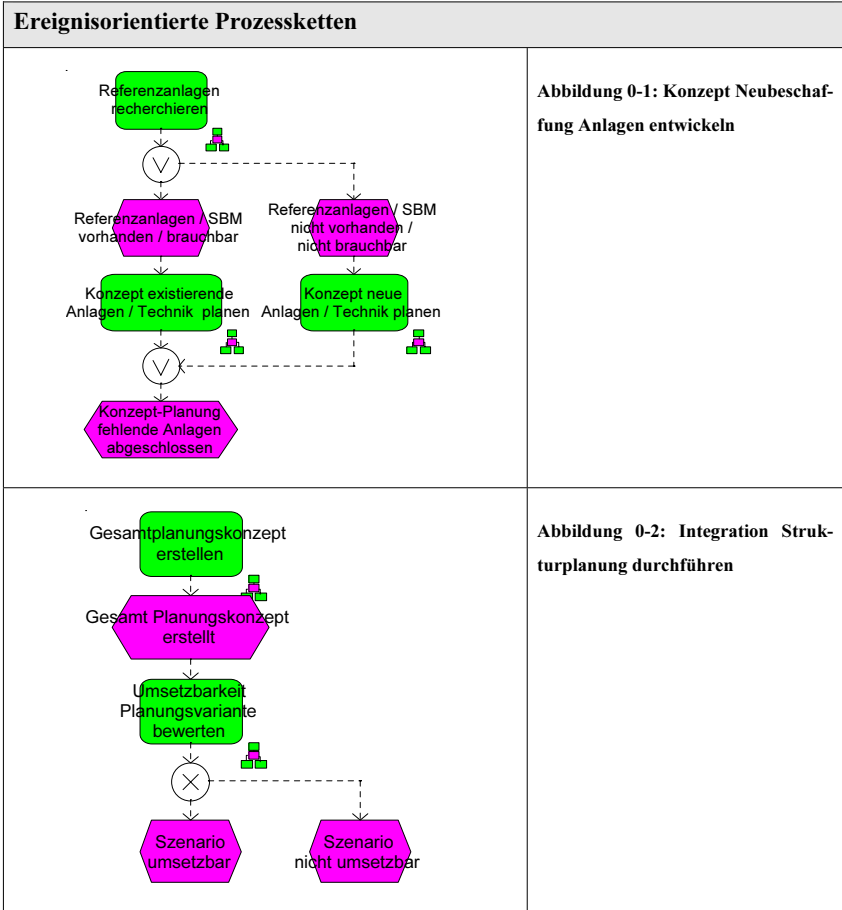


### 3. Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

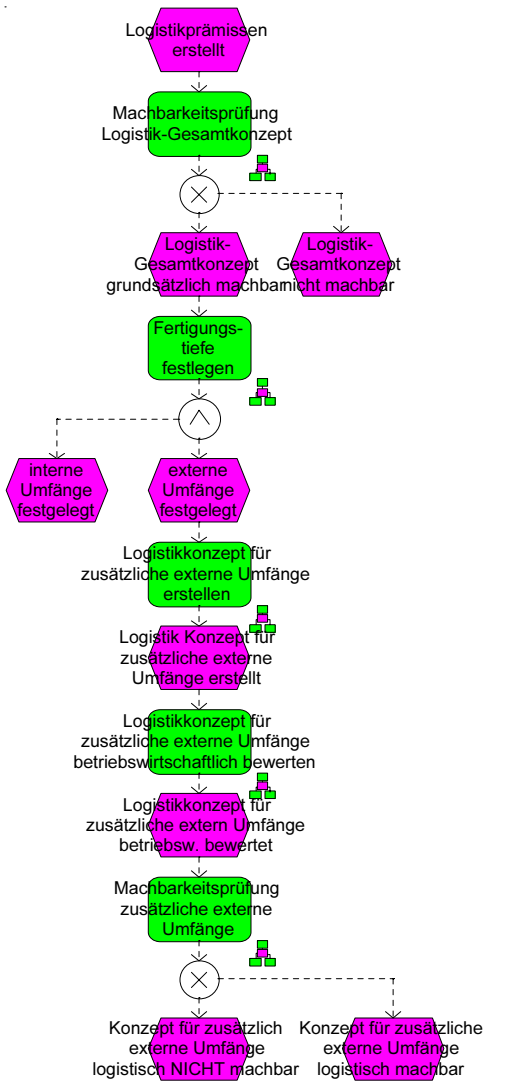
Abk.	Bedeutung
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
API	Application Programming Interface (=Programmierschnittstelle)
BDE	Betriebsdatenerfassung
BPR	Business Process Reengineering
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAO	Computer Aided Office
CAP	Computer Aided Planning
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CASE	Computer Aided Software Engineering
DBMS	Datenbank Management System
DV	Datenverarbeitung
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERM	Enterprise Ressource Management
ERP	Enterprise Ressource Planning
FEM	Finite Elemente Methode
FZD	Funktionszuordnungsdiagramm
GoM	Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung
GP	Geschäftsprozess
HIL	Hardware in the Loop
IT	Informationstechnologie
IPP	Integrierte Prozessplanung
JDBC	Java Database Control
kmU	Kleine und mittlere Unternehmen
KSA	Kommunikations Struktur Analyse

<b>Abk.</b>	<b>Bedeutung</b>
MKS	Mehrkörpersimulation
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Ressource Planning
NC	Numeric Controlled
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
WF	Workflow
WFMC	Workflow Management Coalition
WKD	Wertschöpfungskettendiagramm
WMS	Workflow-Management-System

## 4. Referenzmodell



**Ereignisorientierte Prozessketten**



**Abbildung 0-3: Logistikprozess planen**

### Ereignisorientierte Prozessketten

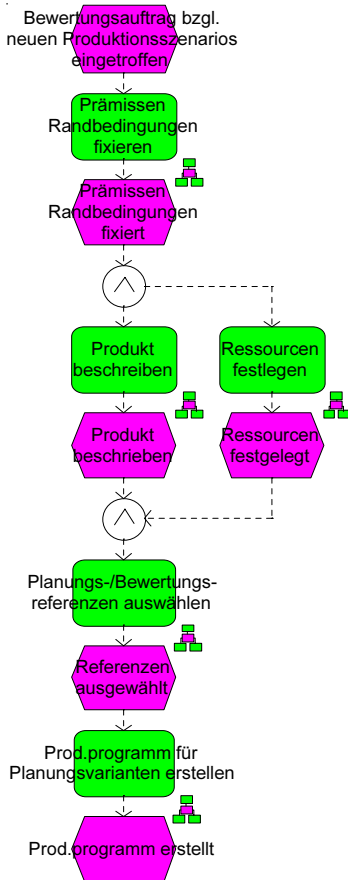
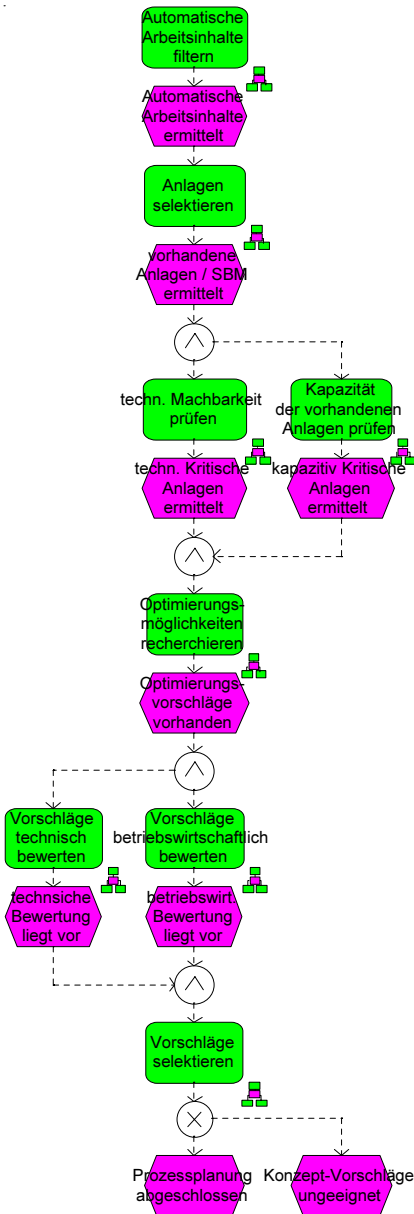


Abbildung 0-4: Projektvorbereitung

**Ereignisorientierte Prozessketten**



**Abbildung 0-5: Bestehende Anlagen bewerten**

**Ereignisorientierte Prozessketten**

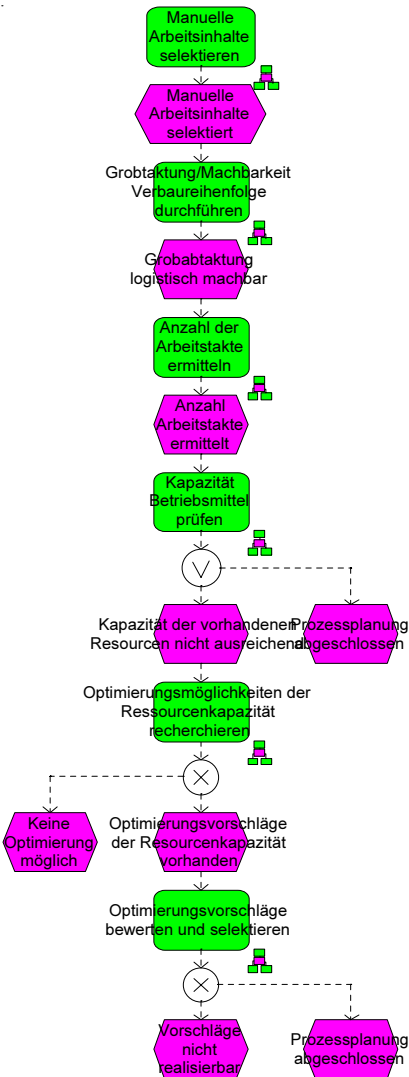


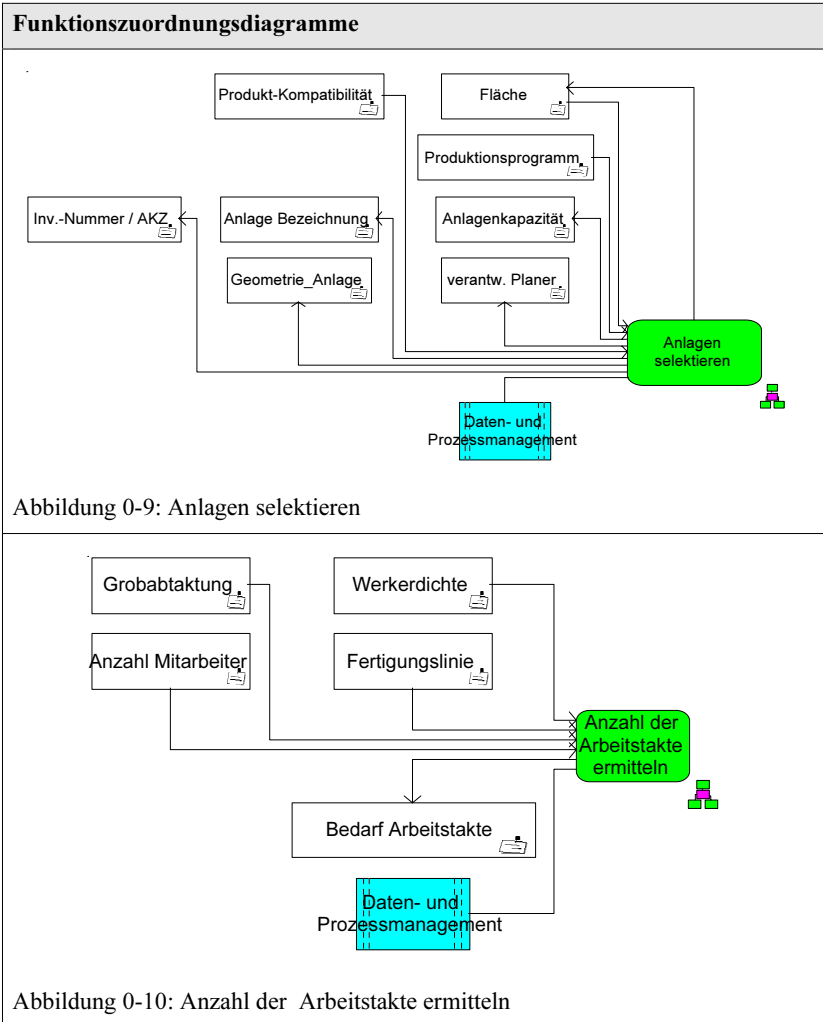
Abbildung 0-6: manuelle Arbeitstakte planen

**Ereignisorientierte Prozessketten**

	<p><b>Abbildung 0-7: Optimierungsvorschläge bewerten und selektieren</b></p>
	<p><b>Abbildung 0-8: Grobachtung/Machbarkeit Verbaureihenfolge durchführen</b></p>

**Tabelle 0-1: EPK des Referenzmodells**





**Funktionszuordnungsdiagramme**

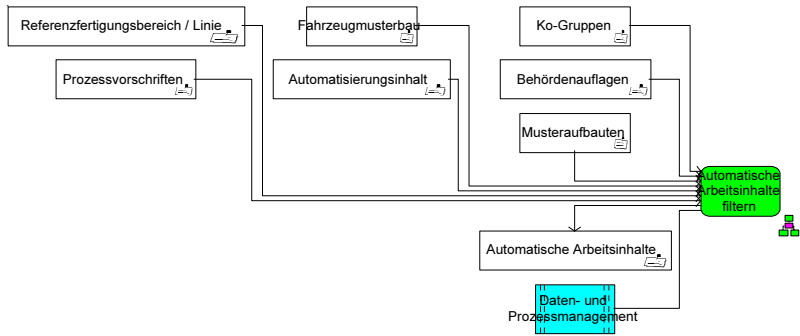


Abbildung 0-11: Automatische Arbeitsinhalte filtern

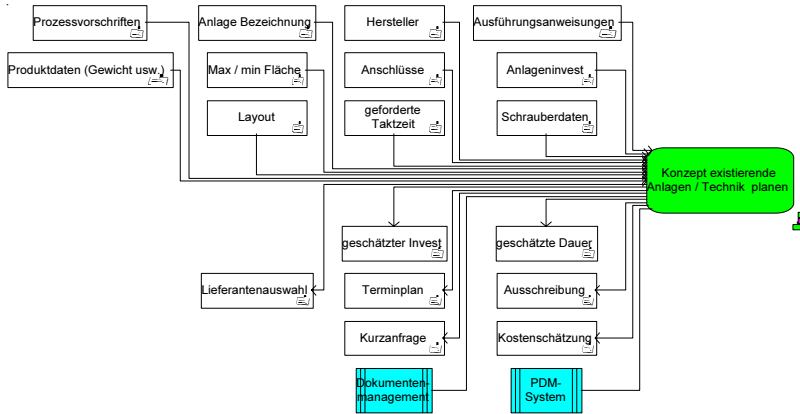
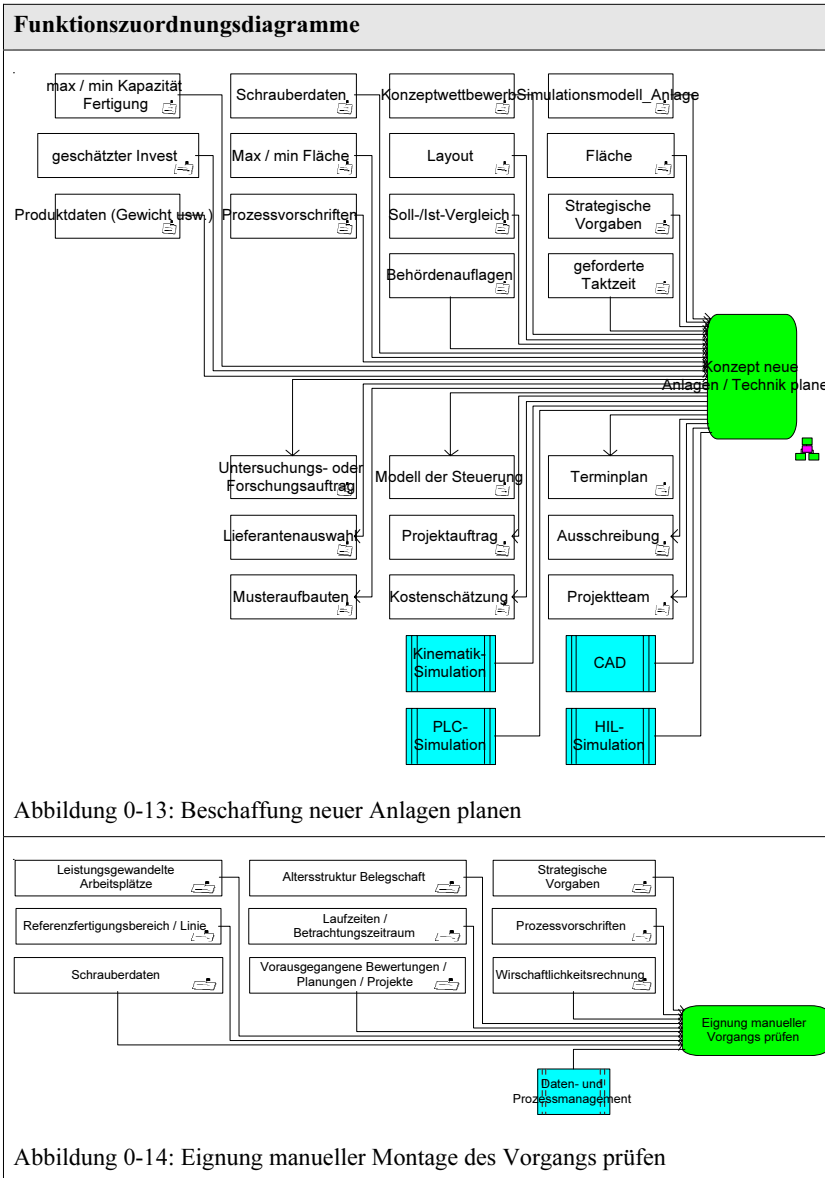


Abbildung 0-12: Beschaffung existierender Anlagen planen



**Funktionszuordnungsdiagramme**

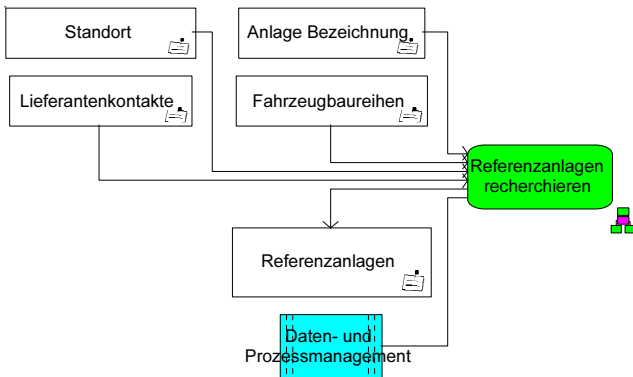


Abbildung 0-15: geeignete Anlagen recherchieren

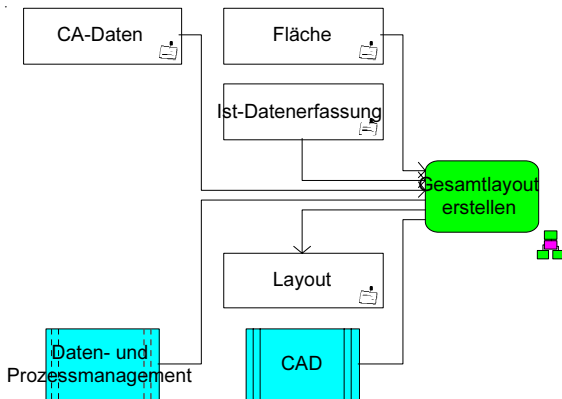


Abbildung 0-16: Gesamtlayout erstellen

### Funktionszuordnungsdiagramme

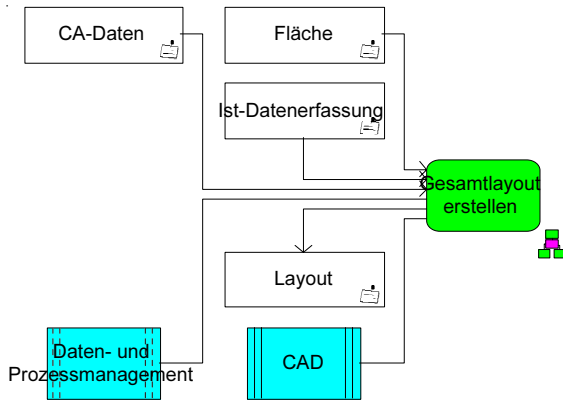


Abbildung 0-17: Gesamt Layout erstellen

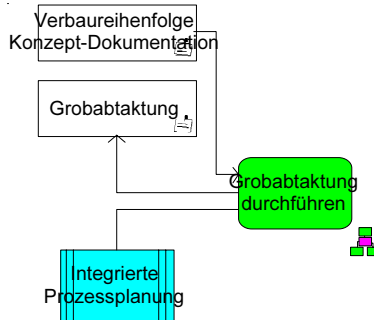


Abbildung 0-18: Grobabtaktung durchführen

**Funktionszuordnungsdiagramme**

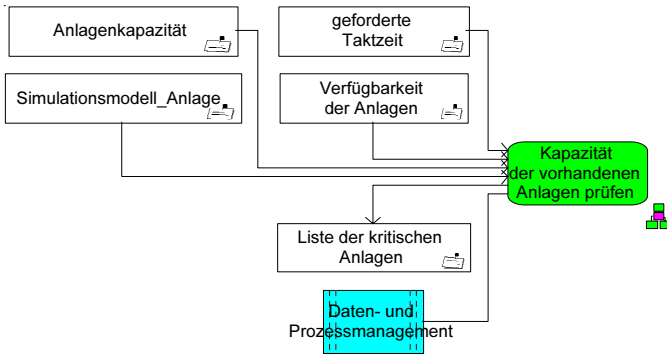


Abbildung 0-19: Kapazität der vorhandenen Anlagen prüfen

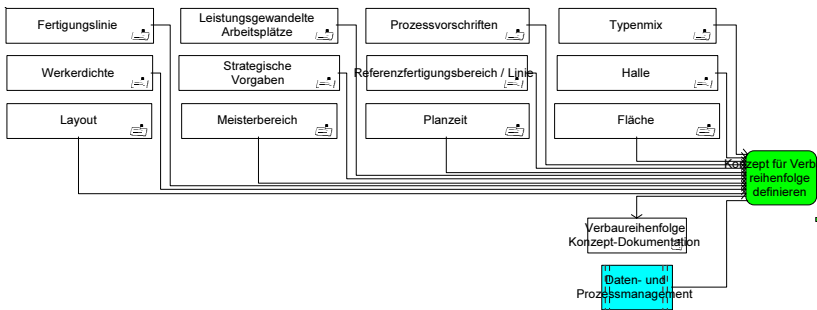


Abbildung 0-20: Konzept für Verbrauchsreihenfolge definieren

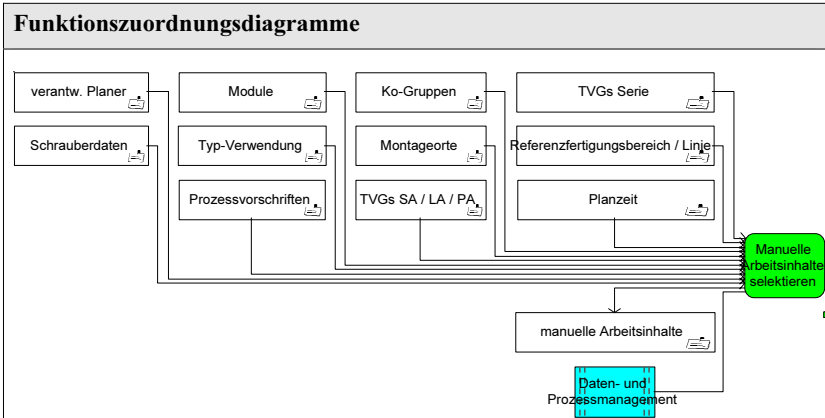


Abbildung 0-21: Manuelle Arbeitsinhalte selektieren

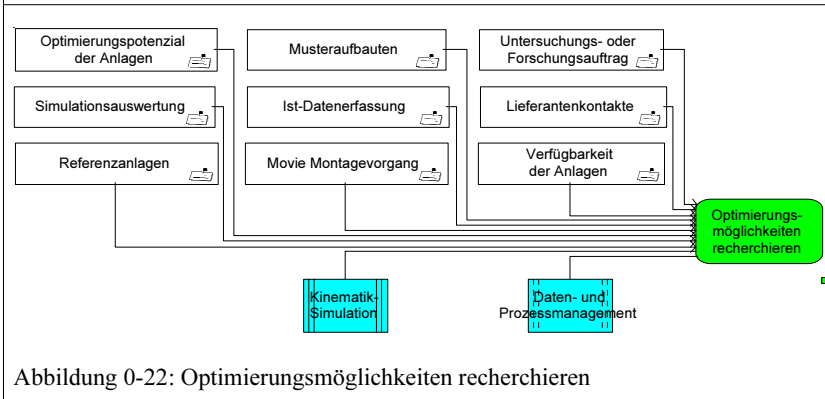


Abbildung 0-22: Optimierungsmöglichkeiten recherchieren

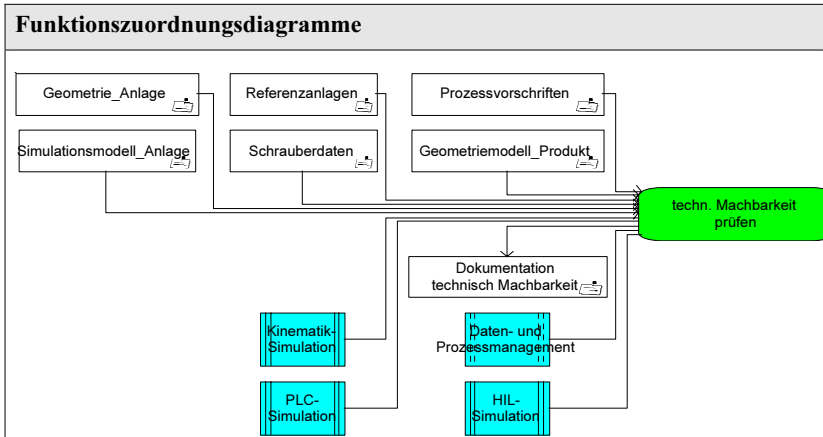


Abbildung 0-23: techn. Machbarkeit prüfen

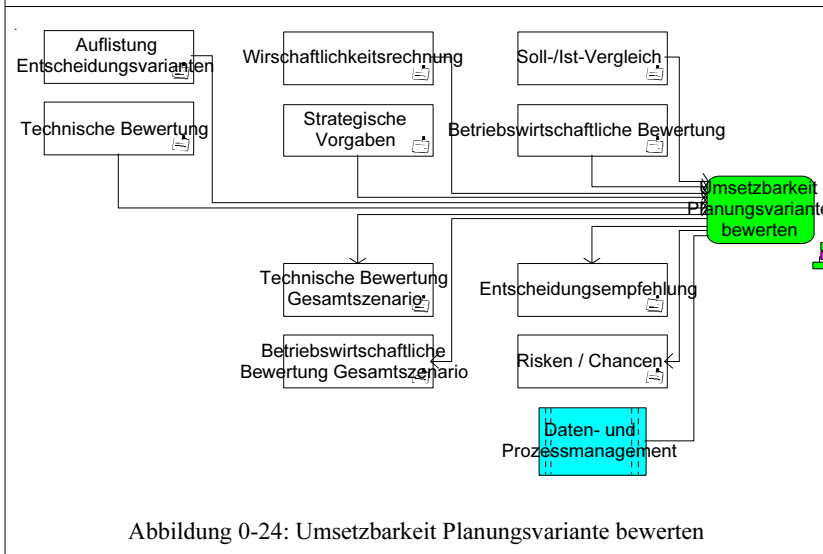


Abbildung 0-24: Umsetzbarkeit Planungsvariante bewerten



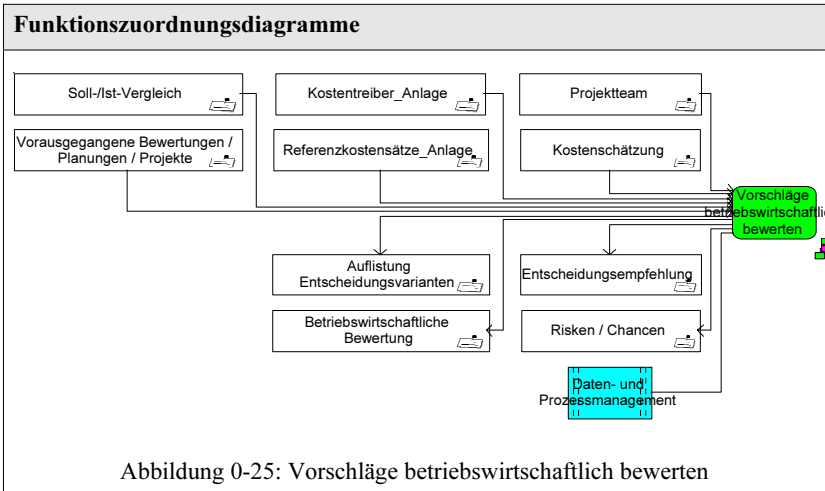


Abbildung 0-25: Vorschläge betriebswirtschaftlich bewerten

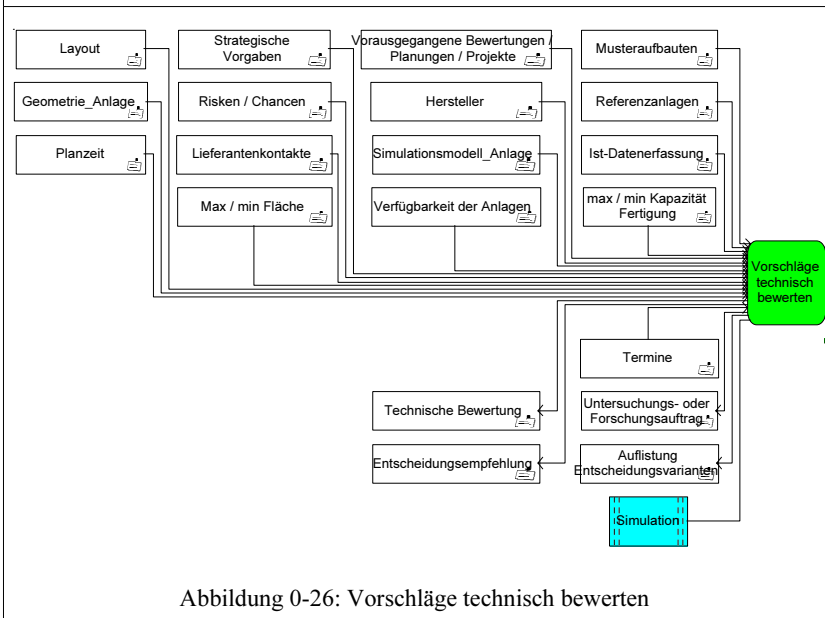


Abbildung 0-26: Vorschläge technisch bewerten

**Funktionszuordnungsdiagramme**

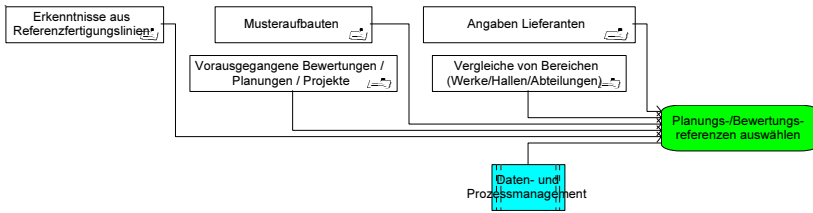


Abbildung 0-27: Planungs-/Bewertungsreferenzen auswählen

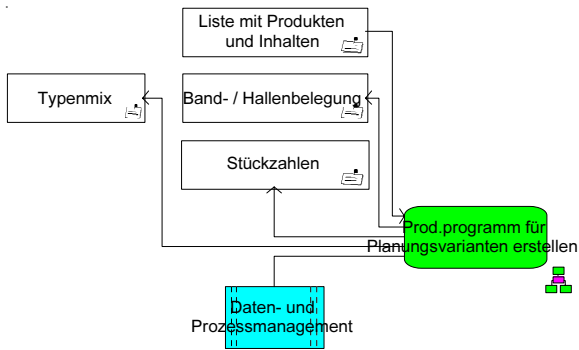


Abbildung 0-28: Prod.programm für Planungsvariante erstellen

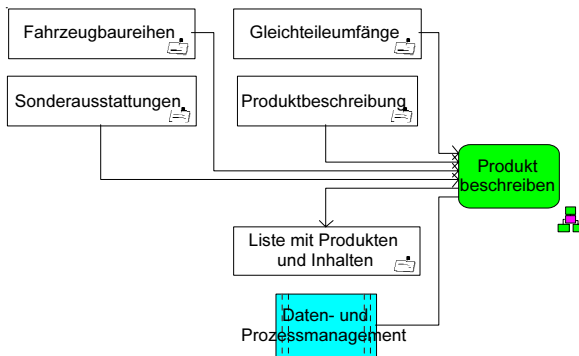


Abbildung 0-29: Produkt beschreiben

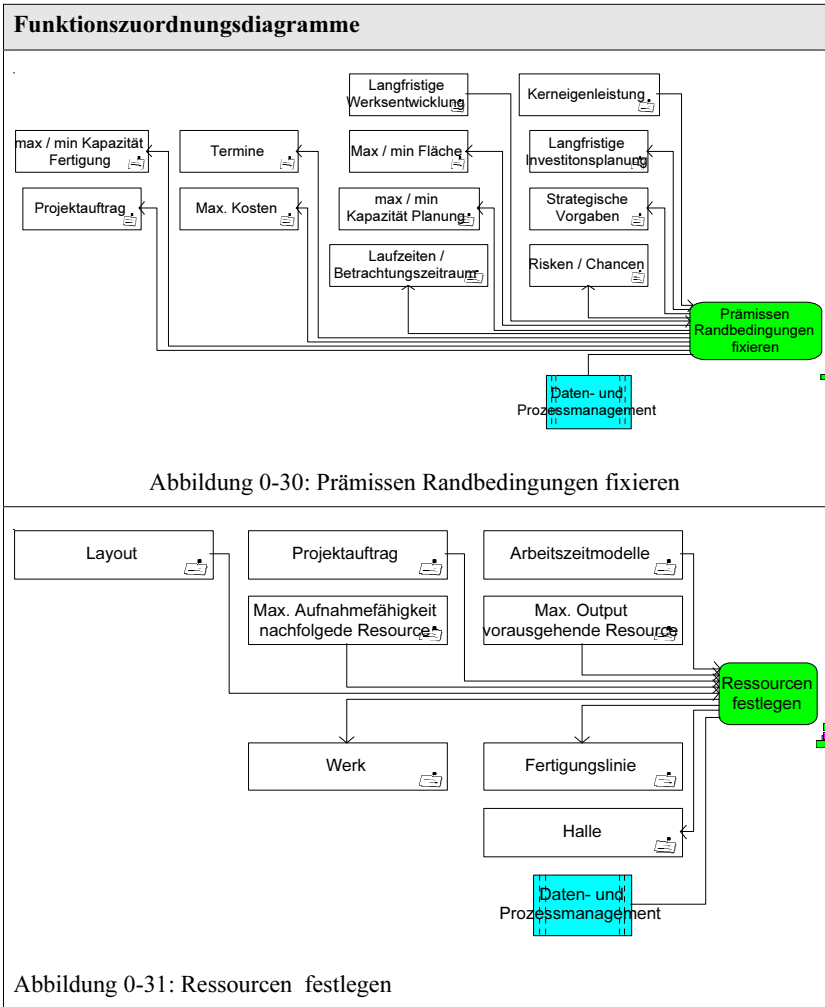


Tabelle 0-2: FZD des Referenzmodell

# 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, J.*  
**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**  
1990 · 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 *Schugmann, R.*  
**Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage**  
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Witba, P.*  
**Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik**  
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelshäuser, 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 *Pfrang, 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 Karosseriepreßteilen auf Risse und Einschränkungen 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 3-540-54076-8
- 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 Programmabaukastens 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 *Schräfer, 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 *Helm, 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 *Dindorfer, 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 *Kummelsteiner, 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-  
Laserbearbeitung 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 *Zäh, 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 *Limmer, 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 *Moctezuma 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 *Krämer, 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 *Lindermeier, R.*  
**Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen**  
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, 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 *Pfob, E.*  
**Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen**  
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*  
**Erfahrungsgleitete 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 3-931327-76-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**  
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
- 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
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 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
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**  
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 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 - Flexibel 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 Mikroteilen**  
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 **Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**  
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**  
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**  
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**  
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**  
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**  
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**  
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**  
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**  
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**  
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**  
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**  
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**  
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturdynamik von Werkzeugmaschinen**  
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebstechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**  
ISBN 3-89675-071-2 · erscheint 12/04
- 72 **Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen**  
ISBN 3-89675-072-0 · erscheint 12/04
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen**  
ISBN 3-89675-073-9 · erscheint 12/04
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**  
ISBN 3-89675-074-7 · erscheint 12/04
- 75 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle**  
ISBN 3-89675-076-3 · erscheint 12/04
- 77 **ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen**  
ISBN 3-89675-077-7 · erscheint 03/05
- 78 **Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**  
ISBN 3-89675-078-X · erscheint 04/05

# 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.de

- 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 Sprenzell, 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
- 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
- 145 Jonas, Christian  
**Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen**  
2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich  
**Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen**  
2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof  
**Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss**  
2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank  
**Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen**  
2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael  
**Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme**  
2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn  
**Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung**  
2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert  
**Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben**  
2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt  
**Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion**  
2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich  
**Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung**  
2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer  
**Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke**  
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier  
**Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe**  
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak  
**Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen**  
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner  
**Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen**  
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz  
**Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung**  
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald  
**Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung**  
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner  
**Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen**  
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller  
**Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen**  
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer  
**Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen**  
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fährer  
**Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses**  
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner  
**Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler**  
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte  
**Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik**  
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger  
**Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess**  
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob  
**Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik**  
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer  
**System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen**  
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel  
**Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen**  
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross  
**Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung**  
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun  
**Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess**  
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen  
**Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen**  
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer  
**Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe**  
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen  
**Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme**  
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton  
**Ein Beitrag zur Entwicklung telepräseneter Montagesysteme**  
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser  
**Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke**  
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breiting  
**Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen**  
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling  
**Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling**  
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch  
**Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine**  
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein  
**Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems**  
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak  
**Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen**  
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr  
**Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung**  
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber  
**Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken**  
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt  
**Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern**  
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer  
**Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten**  
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger  
**Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme**  
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl  
**Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing**  
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch  
**Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie**  
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl  
**Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme**  
2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron  
**Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung**  
2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek  
**Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen**  
2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer  
**Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen**  
2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 192 Carsten Selke  
**Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung**  
2005 · 145 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9



