

Henning Rudolf

**Wissensbasierte Montageplanung  
in der Digitalen Fabrik  
am Beispiel der Automobilindustrie**



Herbert Utz Verlag · München

## **Forschungsberichte IWB**

Band 204

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2006

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.  
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die  
der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von  
Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem  
oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Daten-  
verarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugs-  
weiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2007

ISBN 978-3-8316-0697-9

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
089-277791-00 · [www.utz.de](http://www.utz.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.



---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VI</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>XII</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Zielsetzung und Fokus der Arbeit .....	7
1.3 Vorgehensweise.....	9
<b>2 Begriffsdefinitionen und Grundlagen .....</b>	<b>11</b>
2.1 Allgemeines .....	11
2.2 Die Produktentstehung in der Automobilindustrie.....	11
2.3 Variantenmanagement.....	12
2.4 Montageplanung als Teilbereich der Prozessplanung .....	16
2.4.1 Allgemeines .....	16
2.4.2 Planungsmethoden.....	17
2.4.3 Stückliste und Arbeitsplan als zentrale Dokumente.....	20
2.4.3.1 Allgemeines.....	20
2.4.3.2 Stückliste.....	20
2.4.3.3 Arbeitsplan .....	23
2.5 Informationstechnische Systeme im Produktentstehungsprozess .....	26
2.5.1 Allgemeines .....	26

2.5.2	Product Lifecycle Management.....	27
2.5.3	Virtuelle Produktion und Digitale Fabrik.....	30
2.5.4	Computer Aided Process Planning.....	33
2.6	Wissensbasierte Systeme.....	37
2.6.1	Allgemeines.....	37
2.6.2	Repräsentationsformen zur Abbildung von Wissen.....	40
2.6.2.1	Allgemeines.....	40
2.6.2.2	Regelbasierte Wissensrepräsentation.....	40
2.6.2.3	Objektorientierte Wissensrepräsentation.....	43
2.6.2.4	Constraintbasierte Wissensrepräsentation.....	45
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung und Technik.....</b>	<b>47</b>
3.1	Allgemeines.....	47
3.2	Einsatz wissensbasierter Methoden in Systemen der Produkt- und Prozessplanung.....	48
3.2.1	Allgemeines.....	48
3.2.2	PLM-Systeme.....	51
3.2.3	CAPP-Systeme.....	53
3.3	Die Digitale Fabrik in der Montageplanung.....	54
3.3.1	Allgemeines.....	54
3.3.2	Grundlegende Methode und universitäre Prototypen.....	55
3.3.3	Umsetzung in kommerziellen Systemen.....	57
3.3.3.1	Allgemeines.....	57
3.3.3.2	Datenmodell der Basisklassen.....	60

---

3.3.3.3	Überblick über das gesamte Klassenkonzept.....	65
3.3.3.4	Automatisierung der Planung.....	68
3.3.3.5	Schnittstellen.....	70
3.3.4	Erweiterungen kommerzieller Systeme.....	71
3.3.4.1	Allgemeines.....	71
3.3.4.2	Features.....	72
3.3.4.3	Einbindung von Planungssystemen.....	75
3.3.4.4	Varianten.....	77
3.4	Ableitung von Handlungsfeldern.....	79
<b>4</b>	<b>Anforderungen an die wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik.....</b>	<b>85</b>
4.1	Allgemeines.....	85
4.2	Wissensrepräsentation in der Montageplanung.....	87
4.3	Systemtechnische Umsetzbarkeit der Methode.....	90
<b>5</b>	<b>Grobkonzept für die wissensbasierte Montageplanung.....</b>	<b>91</b>
5.1	Allgemeines.....	91
5.2	Wissensrepräsentation in kommerziellen Systemen der Digitalen Fabrik.....	93
5.3	Wissensbasierte Montageplanung.....	100
5.3.1	Allgemeines.....	100
5.3.2	Erzeugung von Strukturbeziehungen und Reihenfolgen.....	101
5.3.3	Sicherstellung der objektübergreifenden Konsistenz.....	103
5.4	Werkzeugauswahl.....	105
5.5	Allgemeines Integrationskonzept.....	108

5.6	Fazit .....	109
<b>6</b>	<b>Feinkonzept und dessen Umsetzung .....</b>	<b>111</b>
6.1	Allgemeines .....	111
6.2	Auswahl des Werkzeuges .....	111
6.3	Integrationskonzept .....	115
6.3.1	Auswahl des Konzeptes .....	115
6.3.2	Vorbereitung der Integration .....	118
6.3.2.1	Allgemeines .....	118
6.3.2.2	Analyse der XML-Strukturen des Systems eM-Planner <sup>®</sup> .....	119
6.3.2.3	Analyse der XML-Strukturen des Systems camos.Develop <sup>®</sup> .....	123
6.3.3	Durchführung der Integration .....	127
6.3.3.1	Allgemeines .....	127
6.3.3.2	Erzeugung der erforderlichen Schemata im Editor .	127
6.3.3.3	Zuordnung der Informationen im Mapper .....	128
6.4	Wissensverarbeitung .....	130
6.4.1	Allgemeines .....	130
6.4.2	Verarbeitung des Planungswissens .....	136
6.4.2.1	Allgemeines .....	136
6.4.2.2	Import der Klassenstruktur und der Merkmals- ausprägungen aus den beiden Zielschemata .....	136
6.4.2.3	Erzeugung der variantenspezifischen Produkt-, Prozess- und Ressourcenstruktur .....	138



---

6.4.3	Erstellung der Benutzeroberfläche .....	139
6.5	Realisierung des Systems GenPlanner .....	139
6.6	Fallstudie .....	141
6.6.1	Allgemeines .....	141
6.6.2	Realisierung der Standardplanungsfunktionen mit dem wissensbasierten System.....	142
6.6.3	Realisierung erweiterter Funktionalitäten .....	143
6.7	Nutzenbewertung.....	147
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>151</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>155</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>177</b>
9.1	Genannte Firmen .....	177
9.2	Unified Modeling Language (UML).....	181
9.3	Entity Relationship Diagram (ERD) .....	182
9.4	Extensible Markup Language (XML) .....	183
9.5	Genutzte Softwareprodukte .....	184



# 1 Einleitung und Zielsetzung

## 1.1 Ausgangssituation

„Indem wir Basiskomponenten im Sinne eines Baukastens in verschiedenen Fahrzeugen einsetzen, erschließen wir Synergieeffekte und verbessern so die Entwicklungsgeschwindigkeit, den Kostenaufwand und die Qualität neuer Fahrzeugprojekte“ (GÖSCHEL 2006, S. 139, Vorstand der BMW Group für Einkauf und Entwicklung). Ähnlich definiert EDER (2005) die Ansprüche an komplexe Premiumprodukte: Modernität, hohe Qualität, gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis und Individualität. Besonders in den letzten Jahren hat die Individualität als Erfolgsfaktor erheblich an Bedeutung gewonnen (EDER 2005, ALDERS 2006), was sich auch in der Modellpalette der führenden Automobilhersteller widerspiegelt (siehe Abbildung 1). Viele Serienfertiger streben nach einer immer größeren Produktindividualisierung, um so einen zusätzlichen Kundennutzen zu erzielen, der sie von ihren Wettbewerbern differenziert (ZUBER et al. 2001, BURR et al. 2003, ZÄH et al. 2006). Durch diesen Zusatznutzen ist es möglich, einen strategischen Marktvorteil zu erzielen, der zu einer höheren Zahlungsbereitschaft beim Kunden oder zu einer Erhöhung des Marktanteils durch Verdrängung der Wettbewerber führt (PORTER 1980).

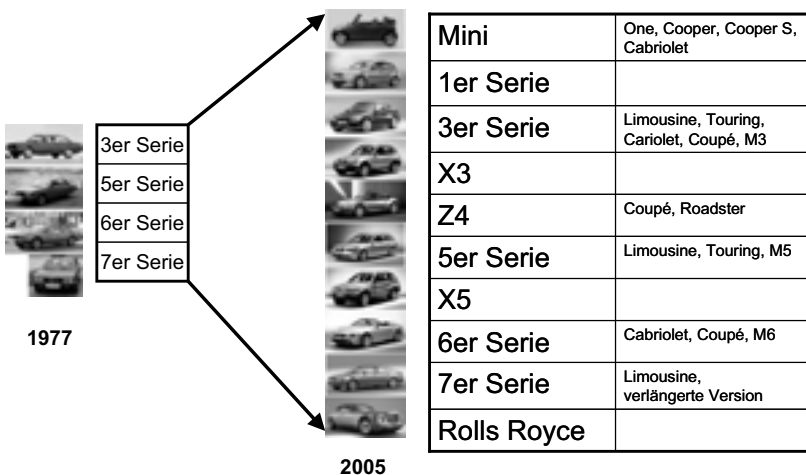


Abbildung 1: Produktmodelle der BMW Group (nach EDER 2005)

Das Ziel des höheren Individualisierungsgrades und der damit einhergehenden größeren Produktdifferenzierung steigert allerdings auch erheblich die Produktkomplexität. Die klassischen Erfolgsfaktoren Zeit, Kosten und Qualität sind demnach um die Beherrschung von Varianten zu erweitern (siehe Abbildung 2). Varianten bezeichnen nach DIN 199 (2002, S. 15) „Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktionen mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“. Aufbauend hierauf definiert WIENDAHL (2004, S. 7) die Variantenvielfalt wie folgt: „Variantenvielfalt ist gekennzeichnet durch die Anzahl unterschiedlicher Ausführungsformen eines Teils, einer Baugruppe oder eines Produktes.“ Zusätzlich zu den Produktvarianten müssen die Herausforderungen gemeistert werden, die sich aus unterschiedlichen Prozessen und Betriebsmitteln, z.B. durch eine Produktion an verschiedenen Standorten mit einer jeweils spezifischen Montagestruktur, ergeben (WAGNER et al. 2003). Unterschiede zwischen global verteilten Fabriken entstehen z.B. durch verschiedene Lohnniveaus sowie daraus resultierende Montagekonzepte und Automatisierungsgrade (BLEY et al. 2005).

Neben der Planung für ein immer größeres Variantenspektrum muss zugleich die Dauer des Produktentstehungsprozesses, der sich in die drei Phasen Produktplanung, Produktions- bzw. Prozessplanung und Produktion untergliedert, verkürzt werden (WESTKÄMPER & WINKLER 2002, NYHUIS et al. 2004). Ein wichtiger Stellhebel hierfür ist die Parallelisierung von Produkt- und Produktionsplanung (GAUSEMEIER et al. 2000, ROBGODERER 2002, PATRON 2004).

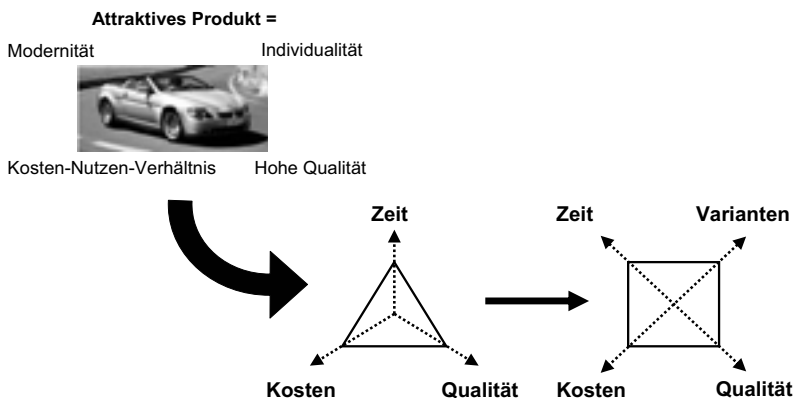


Abbildung 2: Erfolgsfaktoren für die Produkt- und Prozessentwicklung (nach EDER 2005)

Die folgende Abbildung 3 zeigt am Beispiel der Automobilindustrie, dass in einem Zeitraum von fünf Jahren eine Zeiteinsparung von bis zu 40 % von der Konzeptdatenfreigabe bis zum Produktionsstart realisiert werden konnte. Hierdurch wurde von den meisten Herstellern für diesen Abschnitt der aktuelle Zielwert von 18 Monaten erreicht (DROBIR 2005). Ermöglicht wurde diese Entwicklung unter anderem durch organisatorische Veränderungen, wie z.B. die Einführung der prozessorientierten Organisation und das teilweise Outsourcing von Entwicklung und Produktion. Weiterhin dienen Informations- und Kommunikationstechnologien zur Unterstützung der einzelnen Teilaufgaben und stellen somit eine wichtige Voraussetzung für Umstrukturierungen dar (DEUSE et al. 2006).

Erhebliche Unterschiede bezüglich des Einsatzes und der Integration von unterstützender Software bestehen zwischen Produktplanung, Prozessplanung und Produktion.

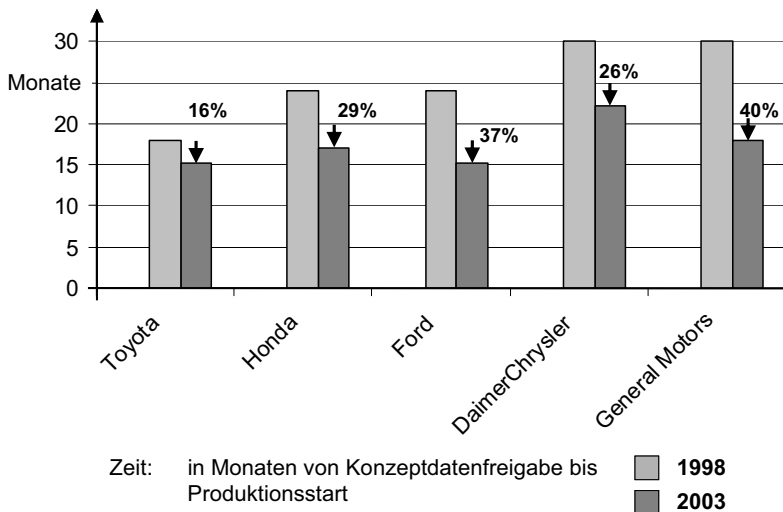


Abbildung 3: Verkürzung der Entwicklungszeit (nach DROBIR 2005)

Während die informationstechnische Durchdringung in der Produktplanung und der Produktion nach einer Studie von KLAUKE (2002), wie in Abbildung 4 skizziert, Werte von 60 bis 85 % erreicht, liegt in der Prozessplanung lediglich ein Integrationsgrad von 15 % vor.

Nach KLAUKE (2002) wird ein Integrationsgrad von 100 % erreicht, wenn Planungsingenieure von der Aufgabe der Informationsbeschaffung entlastet werden und sich so voll ihrer kreativen Arbeit widmen können. Der bisher sehr geringe Wert des Integrationsgrades in der Prozessplanung ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass bei der Durchführung der einzelnen Teilaufgaben, wie beispielsweise der Layoutplanung, eine Vielzahl nicht miteinander verknüpfter Insellösungen zum Einsatz kommt (BLEY & BOSSMANN 2005).

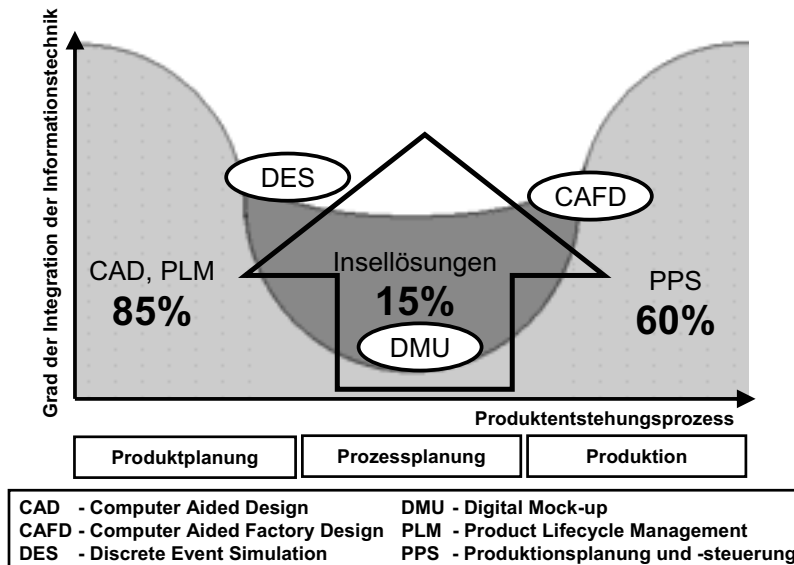


Abbildung 4: Informations- und Kommunikationstechnik im Produktentstehungsprozess (nach KLAUKE 2002)







## **2 Begriffsdefinitionen und Grundlagen**

### **2.1 Allgemeines**

Für das Verständnis der vorliegenden Arbeit ist die Kenntnis einiger zentraler Begriffe notwendig. In Abschnitt 2.2 wird das Einsatzszenario der wissensbasierten Montageplanung im Produktentstehungsprozess am Beispiel der Automobilindustrie aufgezeigt. Spezielle Aspekte stellen hierbei das Variantenmanagement, die Montageplanung mit ihren jeweiligen Methoden sowie die zentralen Dokumente dar, die in den Abschnitten 2.3 und 2.4 definiert und erläutert werden. Softwarewerkzeuge decken bereits heute eine Vielzahl an Anforderungen in diesem Umfeld ab. Oftmals handelt es sich hierbei allerdings noch um Insellösungen. Ausgewählte Systeme werden in Abschnitt 2.5 am Beispiel des Produktentstehungsprozesses in der Automobilindustrie erläutert. Wissensbasierte Systeme, wie sie in Abschnitt 2.6 vorgestellt werden, spielen in vielen Bereichen, weniger allerdings in der Digitalen Fabrik, bereits eine zentrale Rolle.

### **2.2 Die Produktentstehung in der Automobilindustrie**

Der Produktentstehungsprozess beinhaltet neben der Produktentwicklung auch die Prozessplanung und die Produktion selbst (FUSCH 2005). Er gliedert sich in die drei Bereiche Initial-, Konzept- und Serienphase (WALTER 2002).

In der Initialphase liegt der Hauptfokus auf der Positionierung des Fahrzeugprojektes im Wettbewerbsumfeld. Hier gilt es außerdem, Produktionsstandorte und Produktkonzepte überwiegend anhand von Kennzahlen miteinander zu vergleichen und somit die optimale Kombination auszuwählen. Während der Konzeptphase wird das Fahrzeug bis zur Zielvereinbarung ausgearbeitet, so dass letztlich alle seine Eigenschaften beschrieben sind. In der Serienentwicklung wird das aus der Konzeptphase übernommene Fahrzeug weiter ausdetailliert und für die Serienproduktion abgesichert. Diese Phase wird mit dem so genannten Start of Production (SOP) abgeschlossen.

Die detaillierte Planung der Produktionskonzepte in der Großserienfertigung hat einen hohen Stellenwert, da bereits kleine Optimierungen und daraus realisierte Einsparungen durch die großen Stückzahlen entscheidend für die spätere Wirtschaftlichkeit sind. Ein weiterer Aspekt für die Bedeutung einer genauen Planung

sind die hohen Investitionskosten für serienspezifische Produktionsanlagen (HILDEBRAND et al. 2004). Im Gegensatz zu im Nachhinein kostengünstig anpassbaren Ressourcen, wie sie in Form von modularen Baukastensystemen z.B. in der manuellen Montage häufig vorzufinden sind, können automatisierte Anlagen oftmals nur mit erheblichem Aufwand angepasst werden.

Die Erfolge überlappend stattfindender Aktivitäten verkürzen die Produktentstehungszeiten erheblich (FUSCH 2005). Deshalb gilt das Simultaneous Engineering als wichtiges Erfolgsmerkmal der Produktentstehung. Es führt allerdings zu Mehraufwand in den Bereichen Produktentwicklung und Prozessplanung, da durch die engere Verzahnung eine erhöhte Abstimmung und mehr Iterationszyklen notwendig sind (EHRLENSPIEL 2006). Die hohen Anforderungen werden nach JONAS (2000) durch eine Vielzahl von Varianten und Alternativen noch weiter verstärkt. Auf die Montageplanung als Teilbereich der Prozessplanung wird vertiefend in Abschnitt 2.4 eingegangen.

### 2.3 Variantenmanagement

Das Variantenmanagement umfasst die Bereiche Entwicklung, Gestaltung und Strukturierung von Produkten und Dienstleistungen. Nach SCHUH & SCHWENK (2001, S. 5) wird dadurch *„[...] angestrebt, die vom Produkt ausgehende Komplexität (Anzahl der Teile und Varianten) wie auch die auf das Produkt einwirkende Komplexität (Marktdiversifikation und Produktionsabläufe) mittels geeigneter Instrumente zu bewältigen“*.

Um den Begriff Variantenmanagement näher zu erläutern, ist es notwendig, die Begriffe Variante, Alternative und Version zu definieren und gegeneinander abzugrenzen. Wie bereits erwähnt, ist eine Variante nach DIN 199 (2002, S.15) ein *„Gegenstand ähnlicher Form oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“*.

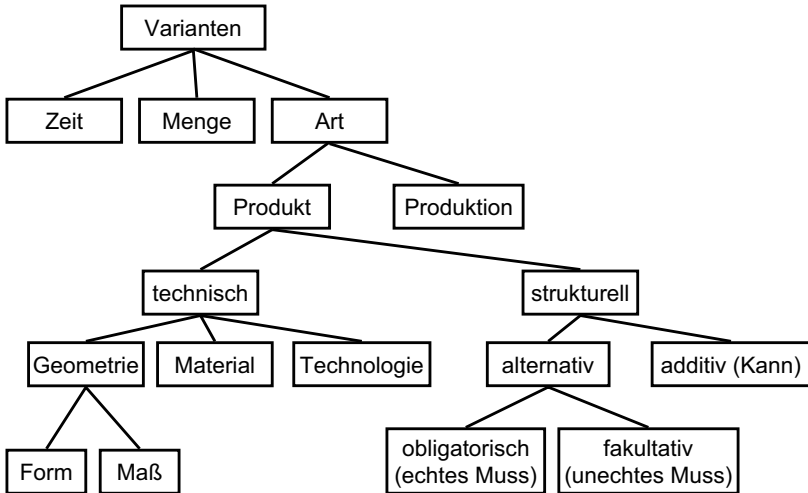


Abbildung 7: Klassifizierung der Varianten (nach LINGNAU 1994)

### Varianten

Nach LINGNAU (1994) sind Varianten Gegenstände mit einem hohen Anteil identischer Komponenten, die Ähnlichkeiten hinsichtlich mindestens eines der Merkmale Geometrie, Material oder Technologie aufweisen (siehe Abbildung 7). Diese Definition verdeutlicht, dass verschiedene Arten von Varianten sowohl für das Produkt als auch für die Produktion existieren. Varianten können außerdem nach strukturellen und technischen Gesichtspunkten gegliedert werden, wobei strukturelle Varianten nach dem Baukastenprinzip individuell zusammengestellt werden können. Die technische Varianz hingegen gliedert sich z.B. in geometrische Formvarianz, materielle Varianz oder Technologievarianz. Die Technologievarianz entsteht durch die Nutzung verschiedenartiger Fertigungsverfahren. Als Beispiel hierfür kann die Veränderung von Prozessketten, wie z.B. die Nutzung des Rührreißschweißens anstelle des Nietens im Flugzeugbau, genannt werden. In vielen Betrachtungen liegt der Fokus auf der strukturellen Varianz (BENDER 2005), bei der vertriebliche Aspekte im Vordergrund stehen. Varianten entstehen durch Diversifikation, d.h. durch die Anpassung einer Lösung an verschiedene Randbedingungen.

### **Alternativen**

Alternativen entstehen während der Lösungsfindung und dienen dazu, durch den Vergleich einer Vielzahl von Möglichkeiten die jeweils optimale Lösung zu ermitteln. Ebenso wie die Varianten bestehen auch sie zeitlich nebeneinander, sind jedoch im Gegensatz zu diesen insofern zeitlich begrenzt (JONAS 2000), als mit der Auswahl der bestmöglichen Lösung alle anderen verworfen werden. Aus Kostengründen werden sie meist nur in der frühen Phase der Entwicklung verfolgt. Varianten hingegen sind parallel existierende, vergleichbare Ausprägungen ein und desselben Erzeugnisses bzw. Ergebnisses und damit potentiell gegeneinander austauschbar.

### **Versionen**

Versionen entstehen durch die Weiterentwicklung einer Alternative bzw. einer Variante. Sie dokumentieren die zeitliche Entstehung und geben deren chronologischen Verlauf wieder. Es handelt sich somit um zeitlich nacheinander entstehende, vergleichbare Arbeitsergebnisse bzw. Entwicklungsstufen einer Aufgabe oder eines Erzeugnisses. Eine neuere Version ersetzt meistens eine ältere Version, wobei sie durch Veränderung oder Weiterentwicklung aus dieser hervorgeht und in der Regel eine Verbesserung darstellt (JONAS 2000).

### **Variantenvielfalt**

Die Variantenvielfalt hat ihren Ursprung in verschiedenen möglichen Merkmalsausprägungen eines Produktes (ALDERS 2006). Sie bezeichnet somit die Anzahl der Produkte mit unterschiedlichen Merkmalsausprägungen. Eine Zunahme kann sowohl auf interne als auch externe Ursachen zurückgeführt werden. Interne Ursachen sind vom Unternehmen selbst hervorgerufen, während externe als Reaktion auf eine sich verändernde Umwelt zu sehen sind. Beispiele für interne Ursachen sind die folgenden (KESTEL 1995):

- Durch zusätzliche Funktionen oder einzigartige Eigenschaften wird eine Produktdifferenzierung angestrebt.
- Es existieren Schnittstellenprobleme zwischen Organisationseinheiten sowie zu externen Partnern (Lieferanten und Vertriebspartner).
- Es bestehen sowohl Informationsdefizite im Controlling als auch mangelhafte Umsetzungsmaßnahmen beim Variantenmanagement.
- Ein umsatzorientiertes Anreizsystem des Vertriebs führt dazu, dass teure Varianten, die häufig aus Kundensonderwünschen hervorgehen, bevorzugt





## 3 Stand der Forschung und Technik

### 3.1 Allgemeines

In Abhängigkeit von der Fertigungsart sind heute in den Unternehmen unterschiedliche Ansätze zur Montageplanung vorzufinden. In der Einzel- und Kleinserienfertigung herrscht überwiegend eine werkstatorientierte Fertigung vor, die durch universelle Maschinen und Anlagen geprägt ist. Die Montageplanung wird hier in der Regel durch einen kundenspezifischen Auftrag, wie er beispielsweise im Sondermaschinenbau üblich ist, gestartet. In diesem Fall wird nicht die Layoutanordnung der Fertigungsstätte oder die Beschaffung neuer Betriebsmittel geplant, sondern meist mit einer gegebenen Ressourcenstruktur eine optimale Reihenfolge und Maschinenzuordnung mit entsprechenden Zeitvorgaben erstellt. Aus diesem Grund beschränkt sich bei einer derartigen Produktion die Planung auf den Montageablauf (ESCH 1985, HAMELMANN 1995). Im Gegensatz dazu sind bei Serienfertigern, wie z.B. auch die Automobilindustrie, die zumeist Produkte, Montageabläufe und Montagesysteme überlappend planen, eine Vielzahl von Zusammenhängen und Abhängigkeiten zwischen Produkten, Prozessen und Ressourcen zu beachten (THALER 1993, FELDMANN 1997, CUIPER 2000, GERKEN 2000, JONAS 2000). Hier zeigt sich die Notwendigkeit, neben dem Montageablauf auch das Montagesystem in den Planungsprozess zu integrieren.

Arbeiten, die den Schwerpunkt auf die reine Ablaufplanung legen, stammen überwiegend aus den frühen neunziger Jahren. Aufgrund der damaligen hohen Erwartungshaltung an wissensbasierte Methoden wurden diese auch in einer Vielzahl arbeitsplanerischer Aufgabengebiete eingesetzt. Aktuelle Entwicklungen im Umfeld der Digitalen Fabrik haben bisher diese Ansätze noch nicht aufgegriffen, obwohl insbesondere in der Variantenplanung ein Schwachpunkt bestehender Lösungen liegt (BLEY et al. 2005) und gerade dort die Stärken wissensbasierter Methoden zum Tragen kommen (KOHLHOFF 2005).

Heute sind Methoden wissensbasierter Systeme ein fester Bestandteil in vielen IT-Systemen sowohl im Produktentwicklungsprozess als auch im Vertrieb. Die Ausführung der Funktionalität dieser Systeme erfolgt allerdings oftmals im Hintergrund und wird deshalb nicht explizit wahrgenommen. Anwendungsunabhängig werden diese Methoden in den meisten Fällen genutzt, um Komplexität, die durch Variantenvielfalt entsteht, beherrschbar zu machen. In den folgenden

Abschnitten werden wissensbasierte Systeme mit ihren Anwendungsfällen in Konfiguration und Planung vorgestellt. Hierbei liegt der Schwerpunkt allgemein auf dem Einsatz wissensbasierter Methoden und nicht speziell auf deren Anwendung in der Automobilindustrie. Im Anschluss daran wird der Stand der Technik im Bereich der Digitalen Fabrik aufgezeigt, die speziell für die Anforderungen der Automobilindustrie ausgelegt wurde, um darauf aufbauend notwendige Handlungsfelder abzuleiten.

## 3.2 Einsatz wissensbasierter Methoden in Systemen der Produkt- und Prozessplanung

### 3.2.1 Allgemeines

Wissensbasierte Systeme können sowohl für analytische als auch für synthetische Aufgabentypen verwendet werden. Abhängig von der jeweiligen Problemstellung ergeben sich, wie Abbildung 26 zeigt, unterschiedliche Grade möglicher Systemunterstützung.

Der Aufgabentyp hat eine starke Auswirkung auf die Art des geeigneten Schlussfolgerungsmechanismus, bei dem zwischen Vorwärts- und Rückwärtsverkettung unterschieden wird (PUPPE 1991). Bei der Vorwärtsverkettung wird auf der Grundlage gegebener Fakten eine Schlussfolgerung gezogen. Typische Anwendungsfälle sind Konfigurationssysteme, bei denen auf der Basis definierter Kundenwünsche Schlüsse auf ein entsprechendes Produkt gezogen werden. Bei einer Rückwärtsverkettung ist der Ausgangspunkt die Frage, wie es zu einem bestimmten Zustand kommen konnte. Als Beispiel hierfür können die im medizinischen Bereich eingesetzten Diagnosesysteme angeführt werden (MERTENS 1990, PUPPE 1991). Die in Abschnitt 2.4 beschriebene Aufgabe der Montageplanung entspricht am ehesten den Aufgabentypen der Konfiguration und Planung, bei denen abhängig von den gegebenen Anforderungen und Randbedingungen eine geeignete Lösung ermittelt wird. Es handelt sich also hierbei um eine Vorwärtsverkettung. Die Begriffe *Konfiguration* und *Planung* stehen in einem engen Zusammenhang und sollen zum besseren Verständnis im Rahmen dieser Arbeit gegeneinander abgegrenzt werden.



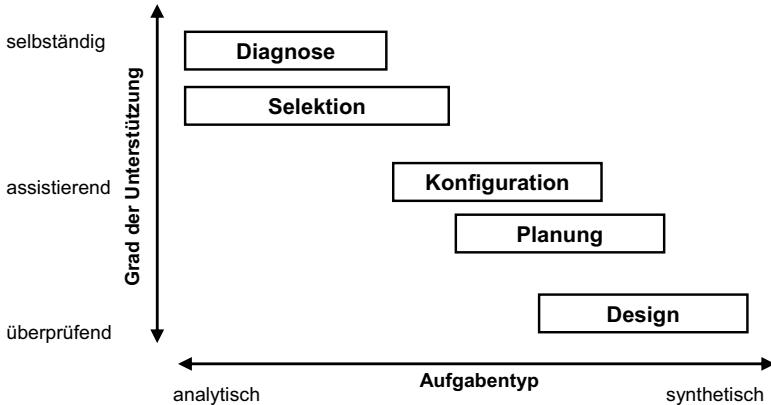


Abbildung 26: Aufgabentypen und Unterstützung durch wissensbasierte Systeme  
(nach HINKELMANN 1995)

Die *Konfiguration* bezeichnet einen Syntheseprozess, bei dem die Aufgabenstellung im Wesentlichen durch Kombinieren und Anordnen bekannter Elemente gelöst wird. Diese Elemente, aus denen die Lösung zusammengesetzt wird, sind selbst fertige technische Produkte oder Systeme, so dass die Konfiguration weitestgehend aus der Kombination, der Auswahl und der Anpassung geeigneter Elemente besteht (VDI-EKV 1992). Die Abbildung des Beziehungswissens zwischen den verschiedenen Objekten wird mit Technologien und Systemen aus dem Umfeld wissensbasierter Systeme unterstützt.

Auch der Begriff *Planung* bezeichnet eine Synthesetätigkeit, die mit dem Konfigurieren eng verwandt ist. Über eine bloße Konfiguration aus bestehenden Elementen hinausgehend, beinhaltet die Planung allerdings kreative Elemente der Lösungssuche, die überwiegend vom Menschen zu leisten ist. Aus diesem Grund ändert sich der Charakter der Systemunterstützung in Richtung einer Überprüfung der vom Menschen erstellten Lösung (HINKELMANN 1995).

<b>Konfiguration</b>	
<b>Definition des zur Konfiguration notwendigen Wissens</b>	• Beschreibung von Objekten und deren Eigenschaften
	• Relationen/Restriktionen zwischen den Objekten
	• Wissen über die Vorgehensweise (Kontrollwissen)
<b>Konfigurationsvorgang</b>	• Aufgabenspezifikation

Abbildung 27: Definition des Konfigurierens (nach GÜNTER et al. 1999)

Aufgrund der Ähnlichkeit der Aufgabentypen *Planung* und *Konfiguration* kann nach Abbildung 27 auf Voraussetzungen geschlossen werden, die für eine erfolgreiche Systemanwendung bei Planungsaufgaben notwendig sind (GÜNTER & KÜHN 1999):

- Es muss eine Spezifikation der Aufgabe (Konfigurations- und Planungsziele) mit Angaben über deren Anforderungen erarbeitet werden.
- Hierfür müssen eine Menge von Objekten der Anwendungsdomäne (Domänenobjekte) und deren Eigenschaften (Parameter) beschrieben werden.
- Es gilt weiterhin, die Menge von Relationen und Restriktionen zwischen den Objekten, abzubilden.
- Zusätzlich muss Wissen (Kontrollwissen) über die Vorgehensweise bei der Konfiguration (Lösungssteuerung) hinterlegt werden.

Im Folgenden wird der Einsatz wissensbasierter Methoden zur Bearbeitung von Planungsaufgaben des Produktentstehungsprozesses detailliert anhand ausgewählter Informationssysteme vorgestellt.

Wissensbasierte Methoden kommen in einer Vielzahl von Systemen im Produktentstehungs- und im Vertriebsprozess zum Einsatz. Sie sind auf ein bekanntes Arbeitsgebiet eingeschränkt und ermöglichen durch diese Komplexitätsreduktion einen erfolgreichen Einsatz (TROPSCHUH 1989). Für eine umfassende Darstellung der Beherrschung der Variantenvielfalt im Vertriebsprozess sei auf LI (2003) und PULS (2003) verwiesen. Ebenfalls von großer Bedeutung sind wissensbasierte Methoden in modernen CAD-Systemen, wie sie von JANITZA (2004) umfassend dargestellt werden. Als Grundlage für diese Arbeit werden wissensba-

sierte Anwendungen in PLM- und CAPP-Systemen aufgezeigt, da diese Systemwelten der Prozessplanung der Digitalen Fabrik, dem Fokus dieser Arbeit, unmittelbar vor- beziehungsweise nachgelagert sind. Ähnlich wie die Digitale Fabrik unterstützen sie einen Entwicklungsprozess, der über eine reine Konfiguration bekannter Elemente hinausgeht.

### 3.2.2 PLM-Systeme

Das PLM als Erweiterung des PDM entstand, wie bereits in Abschnitt 2.5.2 dargestellt, durch die Anforderung, die steigende Anzahl digitaler CAD-Zeichnungen zu verwalten. Mit einer zunehmenden Leistungsfähigkeit der Systeme wurden sie um die Funktion des Teilemanagements für Norm- und Standardteile erweitert. Nach dem Aufbau einer standardisierten Bibliothek auf der Teile- und Baugruppenebene können PLM-Systeme zur Unterstützung der Variantenkongfiguration genutzt werden. Hierfür müssen sie zu einem Produktbaukasten ausgebaut werden, der die Produktpalette durch Produktstrukturen repräsentiert (SCHÖTTNER 1999). In diesem werden alle sinnvollen und notwendigen Kombinationsmöglichkeiten erfasst und in einer geeigneten Form abgebildet. Voraussetzung hierfür ist eine hierarchische Strukturierung, die um Alternativ- und Optionalkomponenten zu ergänzen ist (siehe Abbildung 28). Alternativbausteine erfordern für ihre Einbindung so genannte Pflegeobjekte, über die sie später selektiert werden. Eine Zuordnung von Alternativbaugruppen über eine Entscheidungstabelle ist beispielhaft in Abbildung 28 anhand des Objektes R1 veranschaulicht.

Ähnlich kann dies für Optionalkomponenten durchgeführt werden. Die Logik dieser Regelobjekte wird entweder manuell oder systemgesteuert realisiert (SCHÖTTNER 1999, EIGNER & STELZER 2001). Selbst bei einer manuellen Auswahl kommen wissensbasierte Ansätze zum Einsatz. Hier liegt der Schwerpunkt auf der Überprüfung, ob die Zusammenstellung technisch korrekt ist. Das hierfür notwendige Beziehungswissen kann mit Methoden wissensbasierter Systeme direkt in PLM-Systemen abgebildet werden. Wie in Abschnitt 2.6.2 erläutert wurde, existiert für die Wissensabbildung eine Vielzahl möglicher Methoden. In komplexen Systemen ist es notwendig, diese unterschiedlich in Abhängigkeit der spezifischen Anforderungen einzusetzen.

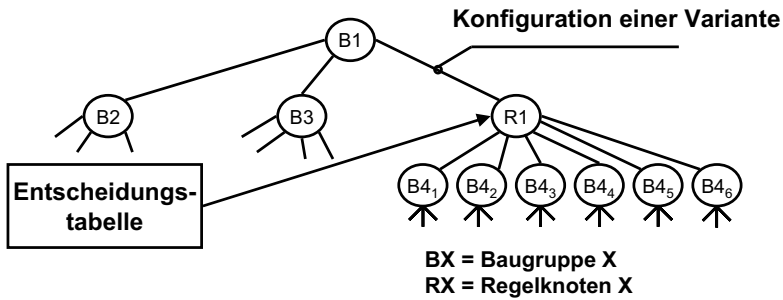


Tabelle R1	R01	R02	R03	R04	R05	R06	
B01	Medium	Gas	Gas	Flüssigkeit	Flüssigkeit	Flüssigkeit	
B02	Durchsatz	<= 1	<= 2	<= 5	<= 0,5	<= 1	<= 2
A01	Baugruppe	B4 <sub>1</sub>	B4 <sub>2</sub>	B4 <sub>3</sub>	B4 <sub>4</sub>	B4 <sub>5</sub>	B4 <sub>6</sub>

**B0X = Bedingung X**  
**A0X = Aktion X**  
**R0X = Regel X**

Abbildung 28: Anwendung von Entscheidungstabellen in PLM-Systemen (eigene Darstellung in Anlehnung an SCHÖTTNER 1999)

So finden sich zum Beispiel im ERP-System der Firma SAP Deutschland AG & Co. KG (SAP R/3<sup>®</sup>) drei verschiedene Beziehungswissensarten (KOHLEHOFF 2005):

- Vorbedingungen
- Auswahlbedingungen
- Constraints

Die *Vorbedingungen* sind der regelbasierten Wissensrepräsentation zuzuordnen. Sie dienen dazu, unzulässige Merkmale oder Merkmalswerte auszublenden, um so sicherzustellen, dass nur konsistente Konfigurationen möglich sind. Des Weiteren schränken sie Auswahlmöglichkeiten ein, ohne jedoch explizit Werte zu setzen.

*Auswahlbedingungen* werden verwendet, um zu gewährleisten, dass alle für eine Variante relevanten Objekte ausgewählt werden. Sie legen somit fest, zwischen welchen verschiedenen Komponenten aus der Variantenstückliste ausgewählt werden kann bzw. aus welchen mindestens eine gewählt werden muss. Wie aus Abbildung 28 hervorgeht, sind Auswahlbedingungen in Form von Entscheidungstabellen (siehe R1) direkt den Stücklistenpositionen zugeordnet. Eine





## **4 Anforderungen an die wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik**

### **4.1 Allgemeines**

In Abschnitt 3.4 wurde als notwendiges Handlungsfeld die Umsetzung einer wissensbasierten Montageplanung abgeleitet. In diesem Kapitel sollen nun notwendige Anforderungen an eine wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik ermittelt werden. Diese bilden die Grundlage für das in Kapitel 5 bzw. Kapitel 6 zu entwickelnde Grob- bzw. Feinkonzept.

In der Produktentwicklung kann das Verständnis von funktionalen Anforderungen und deren Realisierung mit entsprechenden Konstruktionsprinzipien als Wissen bezeichnet werden. Die Modelle und Zeichnungen eines Produktes sind hierbei Teil der Produktdefinition. Sie geben allerdings nicht wieder, wie oder warum ein Produkt in einer spezifischen Weise ausgelegt wurde. Um wieder verwendbar zu sein, muss Wissen jedoch formal abgebildet werden, damit sichergestellt ist, dass später darauf zurückgegriffen werden kann (MACKRELL 2005A). Dies gilt analog zur Konstruktion ebenso für die Montageplanung. Die reine Übernahme alter Daten aus früheren Planungsprojekten oder die Verwendung von Elementen aus Standardbibliotheken, wie sie in Abschnitt 3.3.3 vorgestellt wurden, bilden nicht das komplexe Wissen ab, das in die vorherigen Planungen eingeflossen ist. Stattdessen dokumentieren sie lediglich das Planungsergebnis. In Analogie zur Arbeitsablaufplanung, wie sie im Abschnitt 2.4.2 für die Erstellung von Arbeitsplänen erläutert wurde, lässt sich dies in der folgenden Abbildung 41 für die Digitale Fabrik zusammenfassen.

Eine mögliche Planungsmethode in Form der Wiederholplanung ist die Wiederverwendung standardisierter Elemente aus einem Bibliothekskonzept. Hierbei ist der Planer allerdings auf die Verwendung von Elementen beschränkt und kann kein Beziehungswissen zwischen den Basisklassen früherer Planungsprojekte nutzen (ZAEH & RUDOLF 2005). Weiterhin ist es in einer Anpassungsplanung möglich, neue Projekte auf der Grundlage von ähnlichen Vorgängerprojekten zu planen. Hierbei wird die gesamte Struktur mit allen Beziehungen kopiert und den Anforderungen des neuen Projektes entsprechend adaptiert.

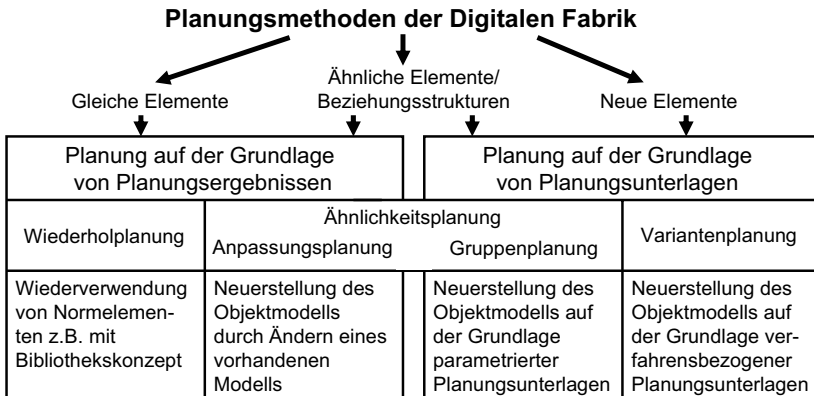


Abbildung 41: Planungsmethoden der Digitalen Fabrik

JONAS (2000) weist allerdings darauf hin, dass mit dieser Methode zwar schnell eine Objektstruktur erstellt werden kann, aber die abgebildeten Strukturen zeit- und aufwendig auf ihre Gültigkeit für das neue Projekt überprüft werden müssen.

Wie aus Abbildung 41 hervorgeht, liegt der Planung mit Planungsunterlagen ein gänzlich unterschiedliches Vorgehen zu Grunde. Es wird nicht auf die Ergebnisse vorheriger Planungen zurückgegriffen, sondern stattdessen auf Planungsunterlagen, die angeben, wie eine Projektstruktur zu erstellen ist. Diese Art der Planung ist analog zu der Erstellung von Stücklisten zu sehen, bei der auch verschiedene Methoden in Abhängigkeit von der Ähnlichkeit der Planungsobjekte zum Einsatz kommen. Die in Abbildung 41 skizzierte Gruppenplanung entspricht einer Plus-Minus-Stückliste, während die Variantenplanung einer Variantenstückliste ähnelt. Gruppenplanung bedeutet, dass es sich um ähnliche Planungsobjekte handelt, bei denen der Unterschied zum Standard leicht beschrieben werden kann. In Bezug auf die Montageplanung fallen hierunter Montageobjekte, die strukturell einander entsprechen und sich nur in speziellen Attributen, wie z.B. der Montagezeit, unterscheiden.

Über eine Gruppenplanung hinausgehend ist es mit der Variantenplanung möglich, unterschiedliche Beziehungsstrukturen abzubilden. Ähnlich wie bei einer Baugruppenstückliste werden nur Verknüpfungen zu direkt nachfolgenden, möglichen Objekten definiert. Welche dieser Elemente ausgewählt werden müssen oder dürfen, kann mit Hilfe von wissensbasierten Methoden visualisiert werden. In einer variantenreichen Produktion müssen flexible Planungsstrukturen für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungsfälle abgebildet werden können. Daher



kommt hierfür nur eine Variantenplanung in Betracht, bei der große Planungsumfänge durch Auswertungen erzeugt werden. Diese Notwendigkeit wird in der folgenden Anforderung festgehalten:

**Anforderung 1: Die wissensbasierte Montageplanung muss auf einer erzeugenden Variantenplanung basieren.**

In Abschnitt 3.2 wurde bereits vorgestellt, welche Grundtechniken sich für eine Variantenplanung anbieten. Dieses Thema wird nun in Hinblick auf die Montageplanung weiter vertieft.

## 4.2 Wissensrepräsentation in der Montageplanung

PUPPE (1991) nimmt gemäß Abbildung 42 eine Zuordnung der Problemlösungstypen Diagnostik, Konstruktion und Simulation zu Grundtechniken der Wissensrepräsentation und -verarbeitung vor. Die Konstruktion als Zusammenbau einzelner kleiner Bausteine stellt hierbei einen Syntheseprozess dar, bei dem Kundenanforderungen, Funktionen und Produktparameter miteinander in Beziehung zu setzen sind, um zum Ziel zu gelangen (HARUTUNIAN et al. 1996). Die Montageplanung ist insofern mit der Konstruktion vergleichbar, als sie sich mit der Verknüpfung der Bereiche Produkte, Prozesse und Ressourcen beschäftigt.

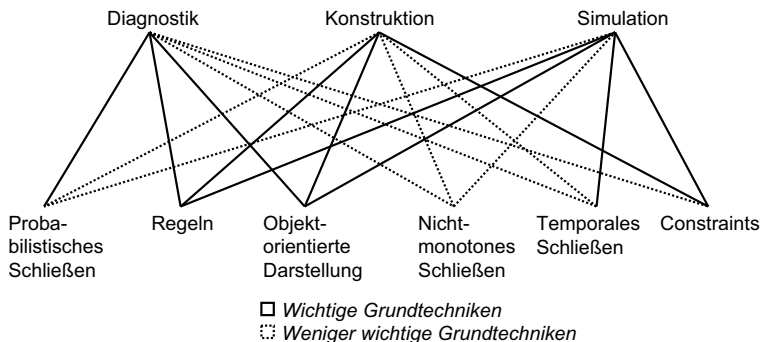


Abbildung 42: Zuordnung von Problemlösungstypen zu Grundtechniken der Wissensrepräsentation und -verarbeitung (nach PUPPE 1991)

Aufgrund der Ähnlichkeit hinsichtlich des methodischen Vorgehens bei der Produktentwicklung und der Prozessplanung sollten grundlegende Techniken übertragbar sein. Diese Überlegung wird auch durch eine Vielzahl von Arbeiten Anfang der neunziger Jahre unterstrichen, die sich mit der Anwendung wissensbasierter Systeme für die Konstruktion und die Arbeitsplanung beschäftigt haben (BULLINGER et al. 1989, MERTENS 1990, BLUMBERG 1991). Die Darstellung von PUPPE (1991) stimmt in großen Teilen mit den Funktionen der im Stand der Technik vorgestellten Systeme zum Product Lifecycle Management überein (vgl. Abschnitt 2.5.2), da bei diesen sowohl objektorientierte als auch regel- und constraintbasierte Ansätze Anwendung finden. Die gleichen Techniken werden, wie im Stand der Technik dargestellt, für CAPP-Systeme eingesetzt (vgl. Abschnitt 2.5.4).

Hieraus folgt, dass auch Prozessplanungssysteme die Techniken der objektorientierten Darstellung und zusätzlich Regeln beherrschen müssen, um insbesondere die Planung hochvariantenreicher Produktspektren zu unterstützen. Die weite Verbreitung von objektorientierten Ansätzen in der Prozessplanung spiegelt sich sowohl in einer Vielzahl wissenschaftlicher Ansätze (ELMARAGHY 1993, USHER 1999, ZHANG & ZHANG 1999, BEG & SHUNMUGAM 2002, BERNARD & PERRY 2003) als auch in kommerziellen Systemen wider (BLEY & BOSSMANN 2005, WAGNER 2006a). Bei den kommerziellen Systemen beschränkt sich allerdings die Umsetzung der Objektorientierung auf die in Abschnitt 2.6.2.3 vorgestellte Partonomie. Eine Taxonomie, die eine strukturierte Vererbung von Merkmalen und Beziehungswissen ermöglicht, wie sie insbesondere für die Beherrschung einer hohen Variantenvielfalt notwendig ist, wurde in diesen Ansätzen allerdings bisher nicht realisiert. Insbesondere die sich aus der Taxonomie ergebende Möglichkeit der Vererbung ist ein notwendiges Hilfsmittel, um Wissen strukturiert abbilden zu können und damit eine spätere Wartbarkeit von Systemen sichzustellen. Hieraus leitet sich direkt die nächste Anforderung ab:

**Anforderung 2: Es müssen die Grundtechniken der Objektorientierung unterstützt werden.**

Eine wissensbasierte Planung beruht auf dem Generierungsprinzip, bei dem auf der Basis von Einflussparametern ein Ergebnis mit Hilfe des hinterlegten Wissens erzeugt wird. Die Praxistauglichkeit dieser Ansätze konnte schon für das Variantenmanagement in PLM-Systemen sowie für die Arbeitsplangenerierung

mit CAPP-Systemen nachgewiesen werden. Wissensbasierte Systeme, die z.B. Regeln verwenden, haben zwar eine lange Tradition in der wissenschaftlichen Erforschung von Prozessplanungssystemen (KÖHLER 1989, MERTENS 1990, ELMARAGHY 1993, LEE & KWON 1995, JIANG & YAN 2003, ZAEH & RUDOLF 2003), wurden aber bisher nicht umfassend in kommerzielle Systeme der Digitalen Fabrik mit einer zentralen Datenhaltung überführt.

Verknüpfungen von Objekten, wie sie bei bestehenden Systemen der Digitalen Fabrik statisch in Form von Hierarchie- oder Vorrangverknüpfungen sowie Beziehungen zwischen Basisentitäten modelliert werden, sollen in der wissensbasierten Montageplanung dynamisch in Abhängigkeit von der Auswertung bestimmter Bedingungen ermittelt werden. Dieser Ansatz ist mit der Parametrik zu vergleichen, deren Einsatz sich bisher in der Digitalen Fabrik auf die CAD-Geometrien der Ressourcen bzw. des Produktes beschränkt. Als Grund hierfür wird von ZAEH & RUDOLF (2005) gesehen, dass sich die Verwendung wissensbasierter Methoden im Umfeld der CAD-Anwendungen deutlich stärker etablieren konnte als in der Arbeitsplanung. Im Umfeld von Prozessen ist heute noch keine Parametrik verfügbar, obwohl sie eine entscheidende Rolle bei der Beherrschung von Varianten spielen kann. So besteht die Möglichkeit, den Planer bei der Verbindung von Produkt- und Prozessdaten erheblich zu entlasten, da der Austausch von Daten zwischen CAD- und Prozessplanungssystemen einen großen Nutzen verspricht. Auf diese Weise könnte zum Beispiel der Auswahlprozess bei der Wahl von Werkzeuggeometrien unterstützen werden.

Wie in Abschnitt 2.6.2 erläutert, liegt die Ursache der bisher geringen Nutzung wissensbasierter Ansätze in der mangelnden Mächtigkeit von Regeln bezüglich der Abbildung von Wissen begründet. Daher muss die im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Methode eine Vielzahl der in Abschnitt 2.6.2 vorgestellten Repräsentationsformen unterstützen. Dies wird in der folgenden Anforderung festgehalten:

**Anforderung 3: Es müssen unterschiedliche Formen der Wissensrepräsentation unterstützt werden, die in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung verwendet werden.**

### 4.3 Systemtechnische Umsetzbarkeit der Methode

Obwohl in der Forschung eine Vielzahl an wissenschaftlichen Prototypen für die Prozessplanung entwickelt wurde (ZHANG & ALTING 1994), konnte sich bis heute kein einheitlicher Standard etablieren. Ein Grund hierfür ist unter anderem, dass die Prozessplanung eine sehr fallspezifische Aufgabe ist, was letztlich auch in der Notwendigkeit einer umfangreichen Anpassung kommerzieller Systeme an die Belange des sie nutzenden Unternehmens zum Ausdruck kommt. Die zu entwickelnde Methode wird bisher von kommerziellen Systemen der Digitalen Fabrik nicht unterstützt. Dennoch sollte bei ihrer Entwicklung darauf geachtet werden, dass sie mit heute am Markt verfügbaren Systemen, wie z.B. PLM- oder CAPP-Systemen, realisiert werden kann. Die Gründe hierfür sind die folgenden (ZAEH & RUDOLF 2005):

- Es dauert oftmals Jahre, um ein Prozessplanungssystem für eine einzelne Fertigungstechnologie (wie z.B. das Fräsen oder das Biegen) zu entwickeln. Durch die notwendige Erweiterung um eine Vielzahl von unterschiedlichen Technologien wird diese Problematik noch weiter verschärft.
- Jeder zukünftige Nutzer eines Prozessplanungssystems hat seine eigenen speziellen Anforderungen.
- Es findet eine ständige Weiterentwicklung sowohl in der Fertigungstechnik als auch der Informatik statt, die dazu führt, dass die Prozessplanungssysteme bereits nach kurzer Zeit veraltet sind.
- Prozessplanungssysteme sind nicht isoliert zu betrachten, sondern immer in entsprechende PLM- und ERP-Systeme zu integrieren.

Aus diesen Punkten leitet sich die zentrale Forderung nach der Nutzung von Standards und kommerziell verfügbaren Systemen ab, wie sie bereits in Abschnitt 2.6 vorgestellt wurden:

**Anforderung 4: Bei der Entwicklung der Methode muss bereits deren Umsetzbarkeit mit heute am Markt verfügbaren Systemen berücksichtigt werden.**

Auf der Grundlage dieser Anforderungen wird in den folgenden Kapiteln 5 und 6 ein Konzept erarbeitet und dessen prototypische Umsetzung beschrieben.

## **5 Grobkonzept für die wissensbasierte Montageplanung**

### **5.1 Allgemeines**

Ein Ziel dieser Arbeit liegt in der Validierung der Hypothese, dass komplexe Planungen von Produkten, Prozessen und Ressourcen in der Digitalen Fabrik mit Hilfe von wissensbasierten Systemen abgebildet werden können und über bestehende Funktionen hinausgehend ein Zusatznutzen für den Planungsmitarbeiter generiert werden kann. Um dies zu belegen, ist es zunächst notwendig, ein Konzept zur Umsetzung der wissensbasierten Montageplanung zu erarbeiten. Dieses soll, wie in Abschnitt 4.2 gefordert, die Planung auf der Basis von Planungsunterlagen ermöglichen und sich damit von heute bestehenden Ansätzen der Digitalen Fabrik abgrenzen, die lediglich eine Planung auf der Grundlage von Planungsergebnissen aus der Vergangenheit unterstützen. Das Hauptanwendungsgebiet liegt in der Planung von variantenreichen Produkten, Prozessen und Ressourcen, da hier die Vorteile, die sich aus der gezielten Weitergabe von Erfahrungen mit wissensbasierten Systemen ergeben, besonders deutlich werden.

Im vorhergehenden Kapitel 4 wurden vier zentrale Anforderungen an die wissensbasierte Montageplanung definiert:

1. Die wissensbasierte Montageplanung muss auf einer erzeugenden Variantenplanung basieren.
2. Es müssen die Grundtechniken der Objektorientierung unterstützt werden.
3. Es müssen unterschiedliche Formen der Wissensrepräsentation unterstützt werden, die in Abhängigkeit von der konkreten Aufgabenstellung verwendet werden.
4. Bei der Entwicklung der Methode muss bereits deren Umsetzbarkeit mit heute am Markt verfügbaren Systemen berücksichtigt werden.

Die Anforderung 1 bis 3 werden von den in Abschnitt 3.3.3 vorgestellten kommerziellen Systemen nicht erfüllt. Dennoch muss für die Umsetzung der wissensbasierten Montageplanung ermittelt werden, welche Grunddaten aus diesen Systemen im Rahmen einer erzeugenden Planung genutzt werden können. Anforderung 4 legt fest, dass die wissensbasierte Montageplanung mit bereits ver-

fürbaren Systemen durchgeführt werden kann, um eine Umsetzbarkeit prototypisch validieren zu können, ohne eine komplette Systemneuentwicklung durchführen zu müssen. Diese Forderung lässt sich dahingehend noch erweitern, dass gewährleistet sein soll, dass die Grunddaten bestehender Planungen übernommen werden und als Planungsbasis dienen können. Hierdurch soll gezeigt werden, dass bestehende Planungssysteme mit ihren Grunddaten bei gleicher Funktionalität ohne das Hinterlegen von zusätzlichen Informationen durch wissensbasierte Methoden und Systeme ersetzt werden können. Des Weiteren soll belegt werden, dass derartige wissensbasierte Systeme erhebliche Vorteile durch die Nutzung von Planungsunterlagen anstelle von Planungsergebnissen bieten. Das hierfür notwendige Gesamtkonzept ist in Abbildung 43 grafisch skizziert.

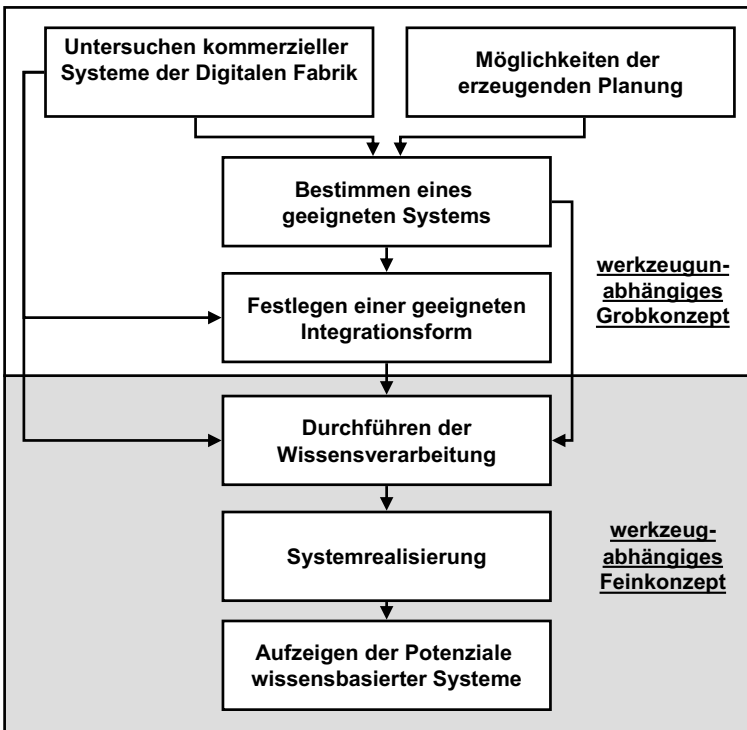


Abbildung 43: Gesamtkonzept zur Umsetzung einer wissensbasierten Montageplanung

Das Gesamtkonzept gliedert sich in ein werkzeugunabhängiges Grob- und ein werkzeugabhängiges Feinkonzept. Das Gesamtkonzept ist somit bis zur Wissensverarbeitung allgemeingültig angelegt. Ab da ist es stark werkzeugspezifisch abhängig vom ausgewählten Softwaresystem zu adaptieren. Dieser zweite Teil wird daher erst in Kapitel 6 allgemein und in seiner Umsetzung vorgestellt. In Abschnitt 5.2 wird untersucht, wie kommerzielle Systeme der Digitalen Fabrik Variantenplanungen auf der Basis von verwaltenden Funktionen unterstützen. Weiterhin wird in Abschnitt 5.3 erörtert, wie eine wissensbasierte Montageplanung ein erzeugendes Verfahren unterstützen kann. Mit Hilfe dieser beiden Vorarbeiten gilt es, einen Anforderungskatalog an ein geeignetes Werkzeugkonzept für die wissensbasierte Montageplanung zu entwickeln. Auf der Basis dieses Konzeptes sowie den Erkenntnissen aus der Untersuchung der kommerziellen Systeme der Digitalen Fabrik wird erarbeitet, wie diese Daten in das ausgewählte Werkzeugkonzept zu überführen sind.

Die Umsetzung der Wissensverarbeitung hängt maßgeblich von dem gewählten Softwarewerkzeug ab. Daher erfolgt die Umsetzung der Wissensverarbeitung, die Systemrealisierung und das Aufzeigen zusätzlicher Potenziale in Kapitel 6. Hierbei wird ein prototypisches System umgesetzt, das die bestehenden Funktionalitäten kommerzieller Systeme mit Hilfe wissensbasierter Methoden abbilden kann. Außerdem werden zusätzliche Potenziale aufgezeigt, die durch eine wissensbasierte Montageplanung mit einem generierenden Vorgehen eröffnet werden.

### **5.2 Wissensrepräsentation in kommerziellen Systemen der Digitalen Fabrik**

Es wird zunächst die aktuelle Umsetzung einer Variantenplanung am Beispiel eines einfachen Schulungsmodells im kommerziellen System eM-Planner<sup>®</sup> vorgestellt. Wie bereits in Abschnitt 3.3.3.4 erläutert wurde, wird eine Planung in den meisten Fällen mit einer verwaltenden Bibliotheksstruktur unterstützt. In dieser werden einzelne Ordner für Elemente der Produkt-, Prozess- sowie Ressourcenbibliotheken angelegt. In der Produktbibliothek ist für jedes im Planungsprojekt verwendete Bauteil ein zentraler Prototyp hinterlegt. Falls ein Bauteiltyp mehrmals im Projekt verwendet wird, muss er auf diese Weise nur einmal in der Bibliothek erstellt werden. Die Prozessbibliothek enthält somit vorgegebene Pro-

zessschritte, die unter verschiedenen übergeordneten Kriterien zusammengefasst werden können.

Die Ressourcenbibliothek kann ebenfalls über eine Baumstruktur aufgebaut werden, indem die vorhandenen Ressourcen beispielsweise in Maschinen, Vorrichtungen oder Arbeitskräfte untergliedert werden. Wie bereits erläutert, werden durch die Selektion eines Elements in einem zusätzlichen Fenster die jeweiligen Eigenschaften angezeigt. Dort lassen sich auch beispielsweise Werte für Prozesszeiten und Kostensätze sowie Materialdaten hinterlegen.

Bestehende kommerzielle Systeme beschränken sich auf die rein hierarchische Beziehung der Partonomie, wie sie in Abschnitt 2.6.2 vorgestellt wurde. Der jeweilige Objekttyp wird aus einer vorher definierten Reihe von Basiselementen, wie z.B. Linie oder Arbeitsstation, ausgewählt und zu einer Gesamtstruktur zusammengesetzt (siehe Abbildung 44).

Auch sehr ähnliche Elemente der drei Klassen PRODUKT, PROZESS und RESSOURCE, die sich nur durch einen Wert eines spezifischen Parameters, wie z.B. die spezifische Länge eines Bauteils, unterscheiden, müssen als zwei unterschiedliche Varianten abgebildet werden. Die Übernahme bestehender Parametrik aus dem Konstruktionsprozess ist hier nicht vorgesehen. Ausgehend von diesen Bibliotheken erfolgt die Definition der Produkt-, Prozess- und Ressourcenstrukturen. Die für den Montageprozess erforderlichen Elemente werden hierbei per Drag & Drop, also mit einfachem Mausclicks und Oberflächenfunktionen, aus den jeweiligen Bibliotheken in den entsprechenden Strukturbaum gezogen.

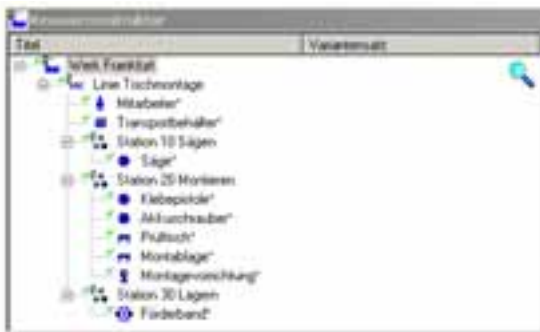


Abbildung 44: Partonomie in der Digitalen Fabrik am Beispiel des eM-Planner®







## 6 Feinkonzept und dessen Umsetzung

### 6.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird das in Kapitel 5 entwickelte Grobkonzept für die Auswahl eines geeigneten Werkzeuges und die Entwicklung eines werkzeugspezifischen Feinkonzeptes herangezogen. Hierbei werden die allgemeinen Erkenntnisse aus Kapitel 5 genutzt, um ein spezifisches Werkzeug auszuwählen und für dieses unter den Randbedingungen der vorliegenden Arbeit ein Integrationskonzept zu definieren. Ein weiterer wichtiger Aspekt in diesem Kapitel ist die Wissensverarbeitung, die stark werkzeugspezifisch erfolgen muss und daher erst im Rahmen des Feinkonzeptes untersucht wird. Auf der Basis der drei Bereiche *Werkzeugkonzept*, *Integrationskonzept* und *Wissensverarbeitung* wird das selbstentwickelte System GenPlanner vorgestellt und dessen Nutzenpotenzial anhand eines Fallbeispiels aus der Automobilindustrie aufgezeigt.

Das vorliegende Kapitel ist in sieben Abschnitte unterteilt: Nach diesem einleitenden Abschnitt werden in Abschnitt 6.2 zunächst verschiedene universelle Entwicklungsumgebungen mit Hilfe der in Abschnitt 5.4 erstellten Auswahlmatrix verglichen und ein Werkzeug für das weitere Vorgehen bestimmt. Mit Hilfe dieses Werkzeugs wird in Abschnitt 6.3 ein Integrationskonzept auf der Basis der Erkenntnisse aus Abschnitt 5.5 erarbeitet und umgesetzt. Weiterhin wird in Abschnitt 6.4 dargestellt, wie die übertragenen Daten im Zielsystem mit wissensbasierten Methoden verarbeitet werden können. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Abschnitt 6.5 für die Realisierung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Systems GenPlanner genutzt. In Abschnitt 6.6 wird anhand eines einfachen Beispiels aus dem Automobilbereich für drei Planungsfälle aufgezeigt, welche Vorteile sich durch ein wissensbasiertes Montageplanungssystem im Unterschied zu einem konventionellen erzielen lassen. Der hierdurch realisierbare Nutzen wird qualitativ in Abschnitt 6.7 bewertet.

### 6.2 Auswahl des Werkzeuges

In Abschnitt 5.4 wurde als Grobrichtlinie für die Umsetzung der wissensbasierten Montageplanung die Nutzung von universellen Entwicklungsumgebungen empfohlen, für deren Auswahl eine Matrix entwickelt wurde. In diesem Abschnitt

werden nun mögliche Systeme vorgestellt, von denen eines für die Entwicklung des weiteren Feinkonzeptes genutzt wird.

GÜNTER et al. (1999) geben einen Überblick über die am Markt für diese Aufgabenstellung verfügbaren Systeme. Speziell für den beschriebenen Anwendungsfall der wissensbasierten Montageplanung kommen drei Systeme in die engere Wahl, die kurz vorgestellt und anhand der aufgabenspezifischen Anforderungen aus Abschnitt 5.1 miteinander verglichen werden.

Das System CAMELEON EPOS<sup>®</sup> (vormals ET-EPOS<sup>®</sup>) der Firma Access Commerce GmbH beruht auf dem Prinzip der Entscheidungsbäume, die in einer speziellen Art von Tabellen realisiert werden (GÜNTER et al. 1999). In den Tabellen werden die Abhängigkeiten der Konfiguration eingetragen und in einer vorgegebenen Reihenfolge abgearbeitet. In vielen planerischen Bereichen ist die Anwendung von Tabellenkalkulationsprogrammen, z.B. von Microsoft Excel<sup>®</sup>, weit verbreitet. Daher ist das Grundprinzip von CAMELEON EPOS<sup>®</sup> in den meisten Fällen leicht verständlich und ermöglicht auch die Wissensakquisition durch den Nichtfachmann. Bei komplexen Anwendungen, in denen die Abläufe nicht fest vorgegeben werden können, sondern komplexe Relationen notwendig sind, zeigt das System allerdings Schwächen. Da es die meisten einfachen Anforderungen abdecken kann, wurde dennoch eine hohe Marktpräsenz erreicht.

Das System camos.Develop<sup>®</sup> (als Nachfolger des Systems SECON<sup>®</sup>) wird von der Firma camos Software und Beratung GmbH angeboten. Die Komponenten der zu konfigurierenden Objekte werden in diesem System in einem Klassenbaum dargestellt. Es besteht die Möglichkeit, sowohl Aggregations- als auch Spezialisierungsbeziehungen abzubilden. Die Eigenschaften übergeordneter Klassen werden während des Konfigurierungslaufs mit Hilfe von Vererbungsmechanismen an die abgeleiteten Klassen übertragen. Die Pflege des Systems ist hier über eine separate Komponente möglich und kann vom Anwender selbst vorgenommen werden. Während der Konfigurierung kann der Benutzer jederzeit erkennen, ob Inkonsistenzen in Form von Konflikten auftreten. Diese müssen manuell durch die Auswahl anderer, geeigneter Komponenten behoben werden. Das System verfügt über mehrere Arten von Regeln. Zum einen lassen sich Konstrukte mittels der vorgegebenen Bausteine KANN, MUSS, DARF NICHT und ZUWEISEN erstellen, zum anderen besteht die Möglichkeit, funktionale Zusammenhänge in Form von Prozeduren oder Triggern zu formulieren. In Triggern wird der Prozedurcode hinterlegt. Dieser wird bei ERLAUBT-Triggern unter einer bestimmten Bedingung abgearbeitet oder im Fall von VERBOTEN-

Triggern entsprechend nicht ausgeführt. Trigger werden im Rahmen der Regelarbeitung geprüft und durch Wertänderungen einzelner Elemente gestartet. Die beschriebenen Elemente können grafisch erstellt werden, wobei die Formulierung der Prozeduren vom System unterstützt wird. Constraints werden in *camos.Develop*<sup>®</sup> bidirektional ausgewertet, sind aber nur passiv, d.h. sie beeinflussen die Steuerung des Konfigurierungsverlaufs nicht, sondern schränken lediglich den Lösungsraum ein. Der Konfigurierungsvorgang erfolgt manuell, wird allerdings durch die fortlaufende Konsistenzüberprüfung anhand der Constraints unterstützt.

Auch das System *ENGCON*<sup>®</sup> der *encoway GmbH* verwendet IST-EIN- und HAT-TEIL-Beziehungen. Im Unterschied zu *camos.Develop*<sup>®</sup> bietet es allerdings die Möglichkeit, die Konfiguration über Constraints aktiv zu steuern. Hierzu wird ein Constraint-Solver eingesetzt, der durch die Einbindung eines Fremdsystems realisiert wurde (RUNTE 2006). Der Anwendungsbereich dieses Systems liegt in erster Linie in einer strukturbasierten Konfiguration mit dem Schwerpunkt auf objektorientierten Mechanismen, die um ein umfassendes Constraint-System erweitert wurden.

```
(def-do
  :name PC
  :oberkonzept domaenenobjekt
  :parameter ((Preis [0.0 inf])
              (Icon "pc" (non-config true)))
  :relationen ((hat-komponente {{{(ein PC_Komponente) 7 16]} :=
    [(ein Gehäuse) 1 1]
    [(ein Mainboard) 1 1]
    [(ein Prozessor) 1 1]
    [(ein Speicher) 1 3]
    [(ein Netzwerkkarte) 0 2]
    [(ein VGA_Karte) 1 2]
    [(ein TV_Karte) 0 1]
    [(ein Soundkarte) 0 1]
    [(ein Festplatte) 1 2]
    [(ein CD_Rom) 1 2]])
              (hat-peripherie {{{(ein Peripherie_Komponente) 3 8]} :=
    [(ein Monitor) 1 2]
    [(ein Maus) 1 1]
    [(ein Tastatur) 1 1]
    [(ein Drucker) 0 1]
    [(ein Scanner) 0 1]
    [(ein Joystick) 0 1]
    [(ein Boxen_Set) 0 1]]))
  :dokumentation "Ein Standard-PC")
```

Abbildung 53: Wurzelkonzept für eine PC-Konfiguration am Beispiel von *ENGCON*<sup>®</sup> (nach RUNTE 2006)

Das System ENGCON<sup>®</sup> bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Wissensrepräsentation, die Modellierung erfordert allerdings umfangreiche Programmierkenntnisse (siehe Abbildung 53). Für die Entwicklung der weiteren Feinkonzeptes ist es erforderlich, die Auswahl eines Entwicklungssystems zu treffen, um sicherzustellen, dass das entwickelte Konzept auch mit bereits am Markt verfügbaren Systemen umgesetzt werden kann. Hierzu wird die in Abschnitt 5.5 aufgestellte Auswahlmatrix auf die drei Systeme CAMELON EPOS<sup>®</sup>, camos.Develop<sup>®</sup> und ENGCON<sup>®</sup> in Tabelle 3 angewendet. Es zeigt sich in der Gegenüberstellung, dass CAMELON EPOS<sup>®</sup> zwar eine einfache Modellierung mit Hilfe von Entscheidungstabellen ermöglicht, diese aber nicht ausreicht, um insbesondere Strukturbeziehungen, zeitliche Abhängigkeiten oder auch komplexe Wissensbeziehungen abzubilden. Das System ENGCON<sup>®</sup> bietet zwar die dazu notwendige Flexibilität, erreicht dies aber durch eine komplizierte programmernahe Modellierung. Die bisher noch geringe Marktdurchdringung dieses Systems rührt unter anderem aus der noch jungen Firmengeschichte des Unternehmens her (ENCOWAY 2005).

Wie Tabelle 3 zeigt, verfügt das System camos.Develop<sup>®</sup> über die leistungsfähigste Benutzeroberfläche, einen umfassenden Zugriff auf verschiedene Datenbanktypen und vielfältige Objekt- und Regelkonstrukte. Diese Funktionalitäten in Verbindung mit einer guten Leistungsfähigkeit zur Wissensverarbeitung bei gleichzeitig beherrschbarer Intuitivität der Wissensabbildung sind die wesentlichen Gründe für die Auswahl dieses Systems zur weiteren Entwicklung der Methode.







# iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*  
**Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel**  
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*  
**Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen**  
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*  
**Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern**  
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*  
**Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen**  
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*  
**Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen**  
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*  
**Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung**  
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*  
**Schneiderodierte Oberflächen**  
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*  
**Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen**  
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*  
**Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung**  
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*  
**Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen**  
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*  
**Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse**  
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*  
**Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze**  
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bärstner, H.*  
**Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion**  
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Groha, 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 *Wiba, 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 Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung**  
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*  
**Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten**  
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*  
**3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen**  
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 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 Programmbaukastens 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.*  
**Prüfuntersuchungen 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 *Wiesbacher, J.*  
**Methoden zur rationalen 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 *Helmi, 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 Simulationstools zur  
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes**  
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*  
**Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage**  
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*  
**Simulation des Schwingungsverhaltens spanender  
Werkzeugmaschinen**  
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*  
**Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-  
Layoutoptimierung**  
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummetsteiner, G.*  
**3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur  
Planung manueller Montagesysteme**  
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*  
**Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen  
Automatisierung von Produktionssystemen**  
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*  
**Simulationstestgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-  
Laserverarbeitung mit integrierter Sensorik**  
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*  
**Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen**  
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*  
**Automatische Inbetriebnahme  
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler**  
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*  
**Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von  
Produktionssystemen**  
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*  
**Rechnergestütztes Projektinformations- und  
Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld**  
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*  
**Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur  
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge**  
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*  
**Verfahren zur simulationstestgestützten  
Produktionsregelung in der Einzel- und  
Kleinserienproduktion**  
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindt, 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 Produktionssystemen**  
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*  
**Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung  
und logistisches Störungsmanagement**  
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*  
**Systematische Planung anwendungsspezifischer  
Materialflußsteuerungen**  
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*  
**Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in  
Montageanlagen**  
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Linner, St.*  
**Konzept einer integrierten Produktentwicklung**  
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*  
**Integrierte Planung von Informationssystemen für  
rechnergestützte Produktionssysteme**  
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*  
**Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in  
mittelständischen Unternehmen**  
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*  
**Recyclingintegrierte Produktentwicklung**  
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*  
**Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte**  
1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*  
**Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen**  
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*  
**Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren**  
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*  
**Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme**  
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*  
**Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen**  
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*  
**Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme**  
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*  
**Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung**  
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *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 *Geyer, 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 *Pischeltstrieder, K.*  
**Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion**  
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Kähler, 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 *Krönert, 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 an 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.*  
**Präzeorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung**  
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*  
**Leitfäden 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.*  
**Erfahrungsgleiteite Planung von Laseranlagen**  
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

# Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
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, info@utz.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**  
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**  
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**  
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**  
86 Seiten · ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**  
120 Seiten · ISBN 3-931327-09-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**  
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**  
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 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 Dichtungs montage 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 - Produktivitätssteigerung 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 Mikrobautteilen**  
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 · Strukturtypen von Werkzeugmaschinen  
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten  
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen  
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen  
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik  
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 Nicht erschienen – wird nicht erscheinen
- 76 Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapselfür aseptischen Ampulle  
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen  
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen  
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 Produktionsmanagement  
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche  
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
- 81 Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder  
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
- 82 Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement  
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
- 83 Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen  
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6

# Forschungsberichte iw b

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

Forschungsberichte iw b ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.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 Partnernverbänden**  
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut  
**Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle**  
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan  
**Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen**  
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can  
**Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik**  
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan  
**Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken**  
2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.  
**Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung**  
2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra  
**Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen**  
2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander  
**Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen**  
2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.  
**Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken**  
2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas  
**Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung**  
2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas  
**Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion**  
2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf  
**Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen**  
2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 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  
**Ganzheitliche 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 Roßgorderer  
**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 Schraubverbindungen 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 telepräsender 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 Breitingner  
**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
- 193 Carsten Selke  
**Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung**  
 2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried  
**Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern**  
 2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner  
**Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion**  
 2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich  
**Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen**  
 2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl  
**Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern**  
 2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann  
**Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge**  
 2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp  
**Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage**  
 2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz  
**Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme**  
 2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner  
**Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding**  
 2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein  
**Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation**  
 2007 · 202 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren  
**Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse**  
 2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1

