

Rainer Schack

**Methodik zur bewertungsorientierten
Skalierung der Digitalen Fabrik**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 207

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2007

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.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 Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2008

ISBN 978-3-8316-0748-8

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · 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 Potenziale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

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

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

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

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	XI
Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme	XIII
Verzeichnis der Formelzeichen.....	XV
Formelverzeichnis	XVII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Thematischer Fokus der Arbeit.....	2
1.3 Motivation und Ziel der Arbeit	6
1.4 Vorgehensweise	7
2 Digitale Fabrik – Stand der Technik und Forschung.....	9
2.1 Allgemeines.....	9
2.2 Definition	9
2.2.1 Bestandsaufnahme.....	9
2.2.2 Synthese der Sichtweisen	11
2.3 Charakteristika	13
2.3.1 Allgemeines.....	13
2.3.2 Anwendungsgebiete	13

2.3.3	Ziele.....	17
2.3.4	Aufgaben	22
2.3.5	Methoden und Werkzeuge	23
2.4	Evolution.....	29
2.4.1	Allgemeines.....	29
2.4.2	Ursprung.....	30
2.4.3	Gegenwart	33
2.4.4	Herausforderungen und Trends.....	37
2.4.5	Ausgewählte Ansätze zur Weiterentwicklung	43
2.5	Zwischenfazit	55
2.5.1	Zusammenfassung und Wertung.....	55
2.5.2	Handlungsbedarf	59
3	Anforderungen an die Methodik.....	61
3.1	Allgemeines	61
3.2	Anwendung	61
3.3	Inhalte.....	63
4	Methodik zur Skalierung der Digitalen Fabrik.....	67
4.1	Allgemeines	67
4.2	Modell der Digitalen Fabrik.....	68
4.2.1	Referenzmodellauswahl und Modellbeschreibung	68
4.2.2	Aufgabenreferenzsicht	74
4.2.3	Funktionsreferenzsicht	81
4.2.4	Informationsreferenzsicht	86
4.2.5	Zusammenfassender Modellüberblick	92

4.3	Bewertungsmodell.....	94
4.3.1	Charakteristika des Bewertens	94
4.3.2	Methodenauswahl.....	99
4.3.3	Prozessorientierte monetäre Nutzenbewertung	105
4.3.4	Investitionsorientierte monetäre Wirtschaftlichkeits- bewertung	113
4.3.5	Nutzwertorientierte quantitative nicht-monetäre Bewertung....	119
4.3.6	Szenarioorientierte Bewertung von langfristigen Effekten	124
4.3.7	Zielnutzenmanagement.....	131
4.3.8	Zusammenfassende Beschreibung des Bewertungsmodells	138
4.4	Integriertes Entscheidungsmodell zur Skalierung.....	141
4.4.1	Ausgewählte Möglichkeiten zur Bewertungsintegration	141
4.4.2	Integrationsvorschlag und -deutung	143
5	Anwendung der Methodik.....	149
5.1	Allgemeines.....	149
5.2	Anwendungsablauf.....	149
5.3	Anwendungsfallbeispiele	151
5.3.1	Fallbeispiel eins: Umfassende Produktionsprozessplanung.....	151
5.3.2	Fallbeispiel zwei: Montageplanung.....	157
5.4	Wirtschaftlichkeitsbewertung.....	159
5.5	Fazit.....	164
6	Schlussbetrachtung.....	165
6.1	Zusammenfassung	165
6.2	Ausblick.....	167

Literaturverzeichnis..... 169

Anhang 195

 Teilmodelle der Digitalen Fabrik..... 195

 Einflussfaktoren auf Skalierungen der Digitalen Fabrik 212

 Genannte Firmen 221

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Beispielhafter Regelkreis des unternehmerischen Handelns (in Anlehnung an REFA 1991a, S. 45; ULRICH & FLURI 1995, S. 146).....	1
Abbildung 1.2: Ausgangssituation und thematischer Fokus der Arbeit (vgl. auch ANDERL & TRIPPNER 2000, S. 10; SCHÖTTNER 1999, S. 7 und 57; SPATH 2006, S. 543)	4
Abbildung 1.3: Vorgehensweise in der Arbeit	8
Abbildung 2.1: Verständnis der Digitalen Fabrik (in Anlehnung an ZÄH et al. 2005a, S. 4).....	12
Abbildung 2.2: Deduktive Charakterisierung der Digitalen Fabrik anhand ihrer Anwendungsgebiete, Ziele, Aufgaben, Methoden und Werkzeuge.....	13
Abbildung 2.3: Anwendungsgebiete der Digitalen Fabrik als zweidimen- sionales Raster (in Anlehnung an GRUNDIG 2006, S. 40 f.; SCHRAFT & BIERSCHEK 2005, S. 15 f.; WESTKÄMPER 2004, S. 5-3)	15
Abbildung 2.4: Anwendungsgebiete der Digitalen Fabrik als Würfelmodell (MÜLLER et al. 2003, S. 1-7; ZÄH & MÜLLER 2004, S. 53).....	16
Abbildung 2.5: Ziele der Digitalen Fabrik in der Automobilindustrie (KEIJZER et al. 2006a, S. 17)	19
Abbildung 2.6: Empirisch festgestellte Nutzeneffekte durch die Digitale Fabrik (CIMDATA 2003, S. 7 ff.)	20
Abbildung 2.7: Aufgaben der Digitalen Fabrik (in Anlehnung an KETTNER et al. 1984; LINNER 2002, S. 4-7; MERTINS & NEUBAUER 1994, S. 164; PAHL et al. 2005; REFA 1991a, S. 29; VDI-RICHT- LINIE 2221 1993, S. 9; WIENDAHL 1989, S. 148).....	23
Abbildung 2.8: Werkzeuge der Produktentwicklung und Produktions- planung (in Anlehnung an DOMBROWSKI & TIEDE- MANN 2005, S. 137).....	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.9: Techniken der Digitalen Fabrik (in Anlehnung an ZÄH & SCHACK 2006, S. 12; ZÄH et al. 2005a, S. 6).....	25
Abbildung 2.10: Evolution der Digitalen Fabrik (in Anlehnung an BÄR 2004, S. 3; FABER 2005, S. 4; SPUR & KRAUSE 1997, S. 44; WESTKÄMPER 2006a, S. 16; WILDEMANN 2005, S. 22; ZÄH et al. 2005a, S. 21).....	29
Abbildung 2.11: Systembezogene Datenhaltung und -integration (in Anlehnung an SCHÖTTNER 1999, S. 28).....	31
Abbildung 2.12: Grad der Softwareintegration in der Produktentstehung (in Anlehnung an DÖRRHEIDE & HUBRIG 2006, S. 10; KLAUKE 2006, S. 13; LINNEN 2002, S. 4-5 und 4-7; KURBEL 1993, S. 17; SCHRAFT 2003, S. 269; WESTKÄMPER et al. 2003a, S. 23)	34
Abbildung 2.13: Abgrenzung von Produktlebenszyklus, Produktentstehungs- und Auftragsabwicklungsprozess (in Anlehnung an ANDERL & TRIPPNER 2000, S. 10; ARNOLD et al. 2005, S. 14; BERLAK 2003, S. 8 f.; SCHÖTTNER 1999, S. 6 f.; SPATH 2006, S. 543).....	36
Abbildung 2.14: Gewichtete Einflussgrößen auf das unternehmensspezifische Konzept der Digitalen Fabrik (SELKE & VON ESSEN 2004, S. 6-6).....	48
Abbildung 2.15: Beispielhafte objektive und subjektive Bewertung der Digitalen Fabrik (in Anlehnung an ZÄH et al. 2005a, S. 12) ...	50
Abbildung 2.16: Entscheidungsmatrix zur Empfehlung der Anwendung von Softwaresystemen in der Produktionsplanung (DOMBROWSKI & TIEDEMANN 2005, S. 139)	52
Abbildung 3.1: Überblick über die Anforderungen an die Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik.....	61
Abbildung 4.1: Die Referenzsichten des Aachener PPS-Modells (in Anlehnung an SCHUH & GIERTH 2006, S. 18).....	71
Abbildung 4.2: Beispielhafte Teilmodelldarstellung für die Digitale Fabrik ...	74

Abbildung 4.3: Die Produktionsplanung als Fokus der Aufgabenreferenzsicht	75
Abbildung 4.4: Aufgabenreferenzsicht für das Modell der Digitalen Fabrik (in Anlehnung an REFA 1991a, S. 29; SPUR & KRAUSE 1997, S. 486; SPUR et al. 1994, S. 104; WIENDAHL 1989, S. 148)	78
Abbildung 4.5: Qualitative Darstellung von Eigenschaften der Planungs- informationen während der Produktentstehung	87
Abbildung 4.6: Objektklassen für Informationen in der Produktionsplanung (in Anlehnung an SPUR & KRAUSE 1997, S. 488).....	88
Abbildung 4.7: Zusammenfassender Überblick über das Modell der Digitalen Fabrik.....	93
Abbildung 4.8: Bewertung zur Skalierung der Digitalen Fabrik	95
Abbildung 4.9: Bedeutung der Bewertungsform (in Anlehnung an WETEKAM 1996, S. 49)	97
Abbildung 4.10: Theoretischer Lösungsraum für die Auswahl von Bewer- tungsmethoden zur Skalierung der Digitale Fabrik.....	101
Abbildung 4.11: Elemente der Ressourcenorientierten Prozesskosten- rechnung (SCHUH & SCHWENK 2001, S. 151).....	107
Abbildung 4.12: Aufgabenbezogene monetäre Nutzenbewertung mit der Ressourcenorientierten Prozesskostenrechnung	110
Abbildung 4.13: Schritte der nutzwertorientierten Bewertung von Skalier- ungen der Digitalen Fabrik.....	121
Abbildung 4.14: Kriterien zur Nutzenbewertung von Skalierungen der Digitalen Fabrik (in Anlehnung an PIETSCH 1999, S. 74; PROSTEP IVIP VEREIN 2006, S. 11; ZÄH et al. 2005a, S. 10; ZÄH et al. 2005b, S. 16; ZÄH et al. 2005d, S. 178; vgl. WALTER 2002, S. 44 ff.).....	122
Abbildung 4.15: Der Szenariotrichter (vgl. z. B. CARL & KIESEL 1996, S. 78).....	125
Abbildung 4.16: Skalierungsbilanzen zur Szenariovorbereitung	127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4.17: Analogie zwischen Zielkosten- und Zielnutzenmanagement (in Anlehnung an EHRENSPIEL et al. 2003, S. 59)	132
Abbildung 4.18: Konservativ definierter Zielnutzen im Vergleich zu in Studien und Benchmarks genannten Nutzeneffekten (Prinzipbeispiel)	135
Abbildung 4.19: Integration der Bewertungsergebnisse für die untere und die mittlere Anspruchsebene (in Anlehnung an REINHART et al. 2006, S. 132; ZÄH et al. 2005a, S. 11; ZÄH et al. 2005b, S. 17)	144
Abbildung 4.20: Integriertes Entscheidungsmodell (beispielhaft und fiktiv)...	146
Abbildung 4.21: Einfluss der Gewichtung auf das Bewertungsergebnis (Beispiel)	148
Abbildung 5.1: Anwendungsablauf der Methodik	150
Abbildung 5.2: Integriertes Bewertungsergebnis des ersten Fallbeispiels.....	154
Abbildung 5.3: Beispielhafte Ermittlung der Szenariowirtschaftlichkeit	156
Abbildung 5.4: Integriertes Bewertungsergebnis des zweiten Fallbeispiels...	158

Anhang

Abbildung A.1: Legende für die Teilmodelle der Digitalen Fabrik.....	195
Abbildung A.2: Teilmodell für die Erzeugnisprojektierung.....	197
Abbildung A.3: Teilmodell für die Kosten-, die Investitions- und die Finanzplanung	197
Abbildung A.4: Teilmodell für die Konstruktionsberatung.....	198
Abbildung A.5: Teilmodell für die Stücklistenverarbeitung.....	198
Abbildung A.6: Teilmodell für die Arbeitsvorgangsplanung	199
Abbildung A.7: Teilmodell für die Methodenplanung	199
Abbildung A.8: Teilmodell für die Maschinen- und Anlagenplanung	200

Abbildung A.9: Teilmodell für die Werkzeug-, die Vorrichtungs- und die Lehrenplanung.....	200
Abbildung A.10: Teilmodell für die Planung der Sonderbetriebsmittel	201
Abbildung A.11: Teilmodell für die Planung der Ablaufabschnitte	201
Abbildung A.12: Teilmodell für die Planung menschenbezogener Vorgabezeiten.....	202
Abbildung A.13: Teilmodell für die Planung betriebsmittelbezogener Vorgabezeiten.....	202
Abbildung A.14: Teilmodell für die Werks- und Fabrikplanung.....	203
Abbildung A.15: Teilmodell für die Werkstätten- und Bereichsplanung	203
Abbildung A.16: Teilmodell für die Arbeitsplatzgestaltung.....	204
Abbildung A.17: Teilmodell für die Arbeitskräftebedarfsermittlung	204
Abbildung A.18: Teilmodell für die Arbeitsmittelbedarfsermittlung	205
Abbildung A.19: Teilmodell für die Materialbedarfsermittlung.....	205
Abbildung A.20: Teilmodell für die Fristenermittlung	206
Abbildung A.21: Teilmodell für die Durchlaufstatistikerhebung	206
Abbildung A.22: Teilmodell für die Simulation von Durchlaufmodellen	207
Abbildung A.23: Teilmodell für die Lohnkostenermittlung	207
Abbildung A.24: Teilmodell für die Arbeitsmittelkostenermittlung.....	208
Abbildung A.25: Teilmodell für die Materialkostenermittlung	208
Abbildung A.26: Teilmodell für die NC-Maschinensteuerung.....	209
Abbildung A.27: Teilmodell für die Handhabungs- und Transportsteuerung ...	209
Abbildung A.28: Teilmodell für die Mess- und Prüfsteuerung.....	210
Abbildung A.29: Teilmodell für die Aufstellung und die Montage.....	210
Abbildung A.30: Teilmodell für den Test und die Abnahme.....	211
Abbildung A.31: Teilmodell für die Schulung.....	211

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Herausforderungen für die Digitale Fabrik in der Automobilbranche	38
Tabelle 2.2:	Bewertung der betrachteten relevanten Forschungsansätze.....	57
Tabelle 4.1:	Planungsfälle (in Anlehnung an EVERSHEIM et al. 1996, S. 7-76)	76
Tabelle 4.2:	Zuweisung von Zuständigkeiten in der Aufgabenreferenzsicht	80
Tabelle 4.3:	Zuordnung von Techniken der Digitalen Fabrik zu Funktionen.....	84
Tabelle 4.4:	Zuweisung der Funktionen zu den Produktionsplanungsaufgaben	85
Tabelle 4.5:	Zuweisung der Planungsinformationen zu den Produktionsplanungsaufgaben.....	91
Tabelle 4.6:	Anforderungserfüllung und Relevanz der Bewertungsmethoden	105
Tabelle 4.7:	Charakteristika der Investitionsrechnungsverfahren (GÖTZE 2006, S. 49 ff.; HOFFMEISTER 2000; HORVÁTH 2003, S. 522; WEBER 1999, S. 101)	114
Tabelle 4.8:	Beispielhafte, fiktive Zahlungsreihe für die Kapitalbarwertmethode	118
Tabelle 4.9:	Entscheidungsmatrix für die Nutzwertanalyse (in Anlehnung an GABLER 1998; HAHN 1996, S. 66; ZANGEMEISTER 2000)	120
Tabelle 4.10:	Paarweiser Vergleich zur objektivierten Gewichtung von Zielgrößen	122
Tabelle 4.11:	Beschreibung von Extremszenarios anhand der Schlüsselfaktoren.....	130
Tabelle 4.12:	Vorschlag zur Quantifizierung von Eintrittswahrscheinlichkeiten	130

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1:	Szenario für ein Projekt zur Skalierung der Digitalen Fabrik ohne Anwendung der Methodik.....	161
Tabelle 5.2:	Szenario für ein Projekt zur Skalierung der Digitalen Fabrik mit Anwendung der Methodik	162

Anhang

Tabelle A.1:	Nummerierung der Techniken der Digitalen Fabrik.....	195
Tabelle A.2:	Nummerierung der Planungsinformationen.....	196

Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

2-/3D	Zwei-/dreidimensional
AR	Augmented Reality (erweiterte Realität)
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BDE	Betriebsdatenerfassung
BEMI	Betriebsmittel
CA	Computer Aided (rechnerunterstützt)
CAD	Computer Aided Design (rechnerunterstützte Konstruktion)
CAE	Computer Aided Engineering (rechnerunterstützte Ingenieurverfahren)
CAM	Computer Aided Manufacturing (rechnerunterstützte Fertigung)
CAO	Computer Aided Office (rechnerunterstützte Bürodienste)
CAP	Computer Aided Planning (rechnerunterstützte Arbeitsplanung)
CAQ	Computer Aided Quality Assurance (rechnerunterstützte Qualitätssicherung)
CE	Concurrent Engineering (parallelisierte Produktentstehung)
CIM	Computer Integrated Manufacturing (rechnerintegrierte Produktion)
CNC	Computer Numeric Control (rechnerunterstützte numerische Steuerung)
DMU	Digital Mock-up (digitaler Prototyp)
EDL	Entwicklungsdienstleister
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERP	Enterprise Resource Planning (unternehmensweite Produktionsplanung und -steuerung)
FEM	Finite-Elemente-Methode

Verzeichnis der Abkürzungen und Akronyme

GPM	Geschäftsprozessmanagement
IT	Informationstechnologie
KMU	Kleine und mittelgroße Unternehmen
MES	Manufacturing-Execution-System (Produktionsmanagementsystem)
MKS	Mehrkörpersimulation
NC	Numeric Control (numerische Steuerung)
OEM	Original Equipment Manufacturer (Originalhersteller)
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management (Produktlebenszyklusmanagement)
PLZ	Produktlebenszyklus
PPR	Produkt, Prozess, Ressourcen (-Planung)
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
QFD	Quality Function Deployment (Qualitätsfunktionenaufstellung)
REFA	Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e. V.
RFID	Radio Frequency Identification (Funkidentifikation)
RPK	Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung
SDM	Simulationsdatenmanagement
SE	Simultaneous Engineering (parallelierte Produktentstehung)
SOP	Start of Production (Produktionsstart)
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data (Standardisiertes Format zum Austausch von Produktdaten)
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VIBN	Virtuelle Inbetriebnahme
VR	Virtual Reality (virtuelle Realität)

Verzeichnis der Formelzeichen

AF_i	Ausschlussfaktor der Skalierung i
i	Skalierungsalternative; $i = 1, 2, \dots, n$
IB_i	Integriertes Bewertungsergebnis der Skalierung i
$(\overline{IW}_i) IW_i$	(Normierte) Investitionswirtschaftlichkeit der Skalierung i
n	Periodenzahl
$(\overline{NW}_i) NW_i$	(Normierter) Nutzwert der Skalierung i
p	Diskontierungszinssatz pro Periode
$(\overline{SW}_i) SW_i$	(Normierte) Szenariowirtschaftlichkeit der Skalierung i
x	Summe der objektiven Gewichtungsfaktoren
x_1	Gewichtungsfaktor der Investitionswirtschaftlichkeit
x_2	Gewichtungsfaktor der Szenariowirtschaftlichkeit
y	Gewichtungsfaktor des Nutzwerts

Formelverzeichnis

(1) Diskontierungsfaktor für die Kapitalbarwertmethode.....	118
(2) Integriertes Bewertungsergebnis	146
(3) Normierungsfaktor	147

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Das Umfeld der Wirtschaft und damit auch das der produzierenden Unternehmen wandelt sich stetig und konfrontiert diese permanent mit neuen Herausforderungen und Trends. Diese Entwicklungen des Unternehmensumfelds rechtzeitig zu erkennen und darauf mit geeigneten Maßnahmen nachhaltig zu reagieren, ist für die Unternehmen existenziell (MILBERG 2000; ZÄH 2003). Das damit verbundene Handeln entspricht der unternehmerischen Planung, Kontrolle und Steuerung mit dem Charakter eines Regelkreises (ULRICH & FLURI 1995, S. 146). Ein einleitendes Beispiel dazu: Die demographische Entwicklung und die Folgen einer alternden Gesellschaft werden insbesondere in Deutschland nur sukzessive wahrgenommen. Adäquate Antworten darauf werden volkswirtschaftlich nur zögerlich gefunden und umgesetzt (BREUN & SUSANEK 2006, S. 25; MIEGEL 2004; ZÄH 2003, S. 269 f.). Betriebswirtschaftlich allerdings erkennen produzierende Unternehmen die demographische Entwicklung und reagieren bereits. Sie passen ihre bestehenden Produktionsabläufe (Istzustand) an ältere Mitarbeiter aufgrund sozialer Verpflichtungen und der wirtschaftlichen Notwendigkeit an (ZÄH et al. 2004b, S. 604). Das übergeordnete Ziel, das auch in diesem Beispiel verfolgt wird, ist die Verbesserung der produktionsbezogenen Abläufe (Sollzustand). Daran nähert sich ein Unternehmen iterativ über ein Regelkreisverhalten an und orientiert sich dabei allgemein an der Effizienz und der Effektivität der Abläufe. Abbildung 1.1 fasst den Regelkreisgedanken anhand des Beispiels zusammen.

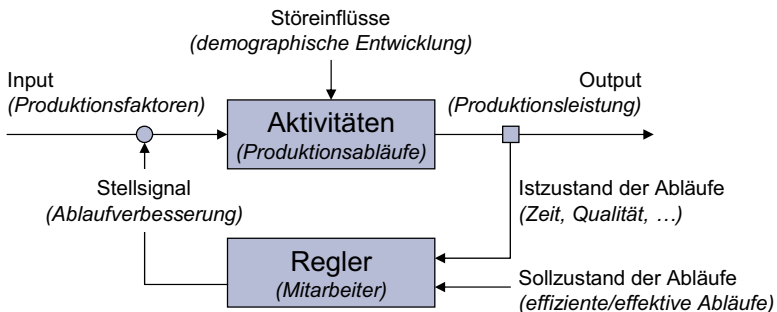


Abbildung 1.1: Beispielhafter Regelkreis des unternehmerischen Handelns (in Anlehnung an REFA 1991a, S. 45; ULRICH & FLURI 1995, S. 146)

1.2 Thematischer Fokus der Arbeit

Zukünftig wird das Wettbewerbsumfeld produzierender Unternehmen in noch größerem Maß durch Störeinflüsse wie Globalisierung, Dynamik, Produktindividualisierung und Komplexität geprägt sein (LINDEMANN et al. 2002, S. 269; REINHART & CISEK 2003, S. 77; REINHART & ZÄH 2006, S. 568). Die Herausforderungen der Unternehmen bestehen in diesem Zusammenhang darin, im Sinne des Regelkreises organisatorische Strukturen sowie technologische Lösungen zu schaffen und anzuwenden, die auf schwer vorhersehbare Ereignisse reaktionsschnell, zuverlässig und möglichst aufwandsarm angepasst werden können. Neben der unternehmensinternen Gestaltung adäquater Strukturen werden unternehmensübergreifend Wertschöpfungsketten und -netzwerke erforderlich sein, die zusätzliche Aktionsspielräume eröffnen. Das Vorhalten von Lösungen, die dies ermöglichen, wird demzufolge die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in der Zukunft entscheidend bestimmen (ZÄH et al. 2005c, S. 286).

1.2 Thematischer Fokus der Arbeit

Allgemein erfordert die beschriebene Ausgangssituation von produzierenden Unternehmen, dass sie die Zeiten für die Ausführung ihrer Wertschöpfungsaktivitäten und die damit verbundenen Kosten senken sowie gleichzeitig die Produkt- und die Planungsprozessqualität erhöhen. Um dies zu erreichen, müssen von ihnen entsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Eine mögliche Maßnahme besteht in diesem Zusammenhang in der nachhaltigen ablauforganisatorischen Optimierung der Geschäftsprozesse. Ein *Geschäftsprozess* ist eine zusammengehörende Abfolge von Unternehmensaufgaben zum Zweck einer Leistungserstellung. Er kann damit als ein Oberbegriff für sämtliche Prozesse innerhalb eines Unternehmens gesehen werden (GADATSCH 2003, S. 29). Hierzu sind auch die Kernprozesse des Produktlebenszyklus zu zählen: die Produktentwicklung, die Produktherstellung und der Produktvertrieb (MERTINS & HEISIG 2003, S. 22 f.). Der *Produktlebenszyklus* bildet insgesamt den Werdegang eines Produkts über die verschiedenen Produktlebensphasen von der Produktplanung bis zur Produktentsorgung ab (ANDERL & TRIPPNER 2000, S. 9 f.). In der Vergangenheit haben produzierende Unternehmen in dieser Hinsicht so genannte *Product Lifecycle Management*-(PLM-)Strategien für sich definiert (MENGES 2005, S. 16). Dabei werden insbesondere *digitale Werkzeuge*, d. h. Rechner- bzw. Computersysteme in Form von Hard- und Software, eingesetzt. Diese unterstützen hauptsächlich bei der Aufgabenausführung in der *Produktentstehung* (ABRAMOVICI 2005, S. 6), die die Produktentwicklung, die Produktionsplanung sowie die Produktion inner-

2 Digitale Fabrik – Stand der Technik und Forschung

2.1 Allgemeines

In Kapitel 2 setzt sich zunächst der Abschnitt 2.2 mit den unterschiedlichen Definitionen der Digitalen Fabrik auseinander. Dazu werden die einzelnen Begriffsbestimmungen aufgenommen und zusammengeführt. Anschließend wird in Abschnitt 2.3 die Digitale Fabrik charakterisiert. Dies erfolgt anhand der Anwendungsgebiete, der Ziele, der Aufgaben sowie der Methoden und Werkzeuge, die mit der Digitalen Fabrik verbunden sind. In Abschnitt 2.4 wird auf die Evolution der Digitalen Fabrik eingegangen. Dabei werden ihr Ursprung, ihr gegenwärtiger Entwicklungsstand sowie ihre zukünftigen Herausforderungen und Trends herausgestellt. In diesem Zusammenhang werden auch ausgewählte Ansätze aufgeführt, die direkt die Digitale Fabrik bisher weiterentwickelt haben. Schließlich wird in Abschnitt 2.5 der Stand der Technik und Forschung der Digitalen Fabrik zusammengefasst und aus diesen Erkenntnissen ein Handlungsbedarf abgeleitet.

2.2 Definition

2.2.1 Bestandsaufnahme

Das Begriffsumfeld der Digitalen Fabrik besteht seit Ende der 1990er Jahre. Seitdem sind grundlegende und teilweise unterschiedliche Definitionen entstanden, in denen im Laufe der Zeit der Begriff der Digitalen Fabrik weiter konkretisiert wurde. Nachfolgend werden von diesen Definitionen die wesentlichen vorgestellt (vgl. ZÄH et al. 2003, S. 75 f.; ZÄH et al. 2005c, S. 286 f.).

KRAUSE (2001, S. 84) bezeichnet die Digitale Fabrik als informationstechnische Umsetzung aller betrieblichen Vorgänge. Diese Umsetzung wird von Personen betrieben und ist durch programmunterstützte, nicht zwingend automatische Abläufe der Gestaltung und des Ausführens von Fabrikfunktionen gekennzeichnet. Damit ist auch verbunden, dass die betrieblichen Vorgänge innerhalb einer Fabrik transparent ablaufen und die Digitale Fabrik damit eine verstehbare Fabrik darstellt. BLEY & FRANKE (2001, S. 214) sehen im Rahmen der Digitalen Fabrik unterschiedliche Simulationstechnologien in der Produktionsplanung über die verschiedenen Unternehmensebenen hinweg miteinander verknüpft. Eine gemeinsame Datennutzung soll dabei zu Synergieeffekten zwischen den einzelnen

2.2 Definition

Anwendungsbereichen führen. DOMBROWSKI et al. (2001, S. 97) definieren die Digitale Fabrik in der Form, dass in ihr alle Gestaltungsmerkmale und Prozesse der realen Fabrik rechnerunterstützt abgebildet werden. Die Digitale Fabrik ist somit ein virtuell zu betreibendes Modell unter der Verwendung realer Daten oder von Planungsdaten. WIENDAHL (2002, S. 121) versteht die Digitale Fabrik als ein Rechnermodell, in dem sämtliche Elemente und Prozesse einer Fabrik abgebildet werden, um sie für den Menschen einfach begreifbar zu machen. SCHUH et al. (2002, S. 48) sehen in der Digitalen Fabrik alle Prozesse, Produkte und Ressourcen einer Fabrik in einem digitalen Modell abgebildet. Ähnlich dazu verstehen auch WESTKÄMPER et al. (2003a, S. 22) und SCHRAFT (2003, S. 269) die Digitale Fabrik als ein Abbild der realen Fabrik in einem digitalen Modell. Dieses visualisiert und simuliert sowohl die Strukturen als auch die Fertigungsprozesse einer Fabrik, die dadurch vom Menschen erlebt werden können.

Neben dem Begriff der Digitalen Fabrik wird häufig auch die *virtuelle Produktion* genannt. REINHART et al. (1999, S. 26) verstehen darunter die durchgängige, experimentierfähige Planung, Evaluierung und Steuerung von Produktionsprozessen sowie -anlagen unter der Verwendung digitaler Modelle. Die Digitale Fabrik ist darin das Bindeglied zwischen der realen und der virtuellen Produktion. Sie beinhaltet die Gesamtheit der Mitarbeiter, Softwarewerkzeuge und Prozesse, die zur Erstellung der zunächst virtuellen und der erst anschließend realen Produktion notwendig sind (MÜLLER et al. 2003, S. 1-6; ZÄH & MÜLLER 2004, S. 53). Die Digitale Fabrik ist demnach ein Teil der virtuellen Produktion.

Zur eindeutigen Abgrenzung von der virtuellen Produktion ist auch der Begriff *virtuelle Fabrik* zu nennen. Dieser wird zum einen verwendet, um den Zusammenschluss von Unternehmen in Wertschöpfungsnetzwerken zu beschreiben. Dadurch wird ein Betrachtungsumfeld fokussiert, das für diese Arbeit nicht relevant ist (vgl. SCHUH et al. 1998). Zum anderen sehen ALDINGER et al. (2006, S. 61) in der virtuellen Fabrik eine zukünftige Fabrik bzw. eine zukünftige Produktion. Diese ergibt sich aus der Prognose des statischen digitalen Abbilds ihres Ist-Zustands mittels Simulation. Den digital abgebildeten Ist-Zustand bezeichnen sie als Digitale Fabrik. KLAUKE (2002, S. 24) verwendet den Begriff *Offene Virtuelle Fabrik* und charakterisiert dadurch die Abbildung eines existierenden Produktionssystems in einer Softwareumgebung. Dieses System soll zunächst durch Rechnerunterstützung optimiert werden, bevor diese Optimierungen real umgesetzt werden. Dabei werden einzelne Softwaresysteme eingesetzt, die an eine konkrete Softwaresystemumgebung angepasst und darin integriert werden können. Hierfür sind allgemeine Programmierschnittstellen erforderlich.

GAUSEMEIER & STOLLT (2006, S. 28) differenzieren schließlich begrifflich nicht nach Digitaler Fabrik oder virtueller Produktion. Sie verstehen beide Begriffe dahingehend gleichbedeutend, dass sie Computermodelle von automatisierten Produktionssystemen beschreiben, die analysiert werden können.

Synonym zum Begriff der Digitalen Fabrik werden auch die Worte *Digital Manufacturing* und *Virtual Manufacturing* genutzt. WALTER (2002, S. 20) sowie ZUBER et al. (2001, S. 309) verstehen darunter ein realistisches und integriertes Computermodell eines Produktionsstandorts. In diesem Modell sind sämtliche rechnerunterstützte Funktionen zur Planung, Simulation, Entwicklung, Produktion, Steuerung und Wartung von der Prozess- bis zur Fabrikebene notwendig.

2.2.2 Synthese der Sichtweisen

Im Wesentlichen verstehen die einzelnen Definitionen der Digitalen Fabrik diese entweder als das fertige virtuelle Modell einer (zukünftigen) realen Fabrik oder als das Werkzeug, mit dem dieses Modell erzeugt wird. Das Modell deckt mehr oder weniger große Umfänge der realen Fabrik ab (ZÄH et al. 2003, S. 75 f.). Insbesondere bilden Simulationswerkzeuge einen Schwerpunkt in der Digitalen Fabrik. Die *Simulation* dient nach der VDI-RICHTLINIE 3633 (1993, S. 3) dazu, ein System mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen *Modell* nachzubilden. Das Modell ist hierbei ein vereinfachtes Abbild eines geplanten oder real existierenden Originalsystems. Dabei sollen Erkenntnisse erlangt werden, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Die Modellbildung ist demnach eine Voraussetzung für die Simulation (REINHART 1999, S. 14 f.).

FRANKE (2003, S. 9 f.) fasst die Definitionen der Digitalen Fabrik zusammen und definiert diese darauf aufbauend als ein computerbasiertes Modell oder einen Verbund solcher Modelle. Diese dienen dazu, Produktionsprozesse und -systeme vom elementaren Einzelprozess bis zur Unternehmensebene zu planen, zu validieren und zu steuern.

Um die divergierenden Definitionen der Digitalen Fabrik zu vereinheitlichen, wurde in einem VDI-Fachausschuss, der aus Vertretern der Wirtschaft, der Beratung und der Wissenschaft bestand und im Jahr 2002 gegründet wurde (BRACHT et al. 2005, S. 9), eine integrierende Definition erarbeitet. In der daraus entstandenen VDI-RICHTLINIE 4499 (2006, S. 2) wird die Digitale Fabrik als ein Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation sowie der dreidimensionalen Visualisierung – definiert, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Die

2.2 Definition

damit verbundenen Ziele der Digitalen Fabrik sind die ganzheitliche Planung, die Evaluierung und die laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt. Diese Definition wird mittlerweile in der Wissenschaft und in der industriellen Praxis verwendet (vgl. z. B. BLEY et al. 2006, S. 19 f.; BRACHT et al. 2005, S. 8; DEUSE et al. 2006, S. 66; FEDROWITZ 2004, S. 4; SCHRAFT & BIERSCHENK 2005, S. 15).

Wird die Definition des VDI näher betrachtet, so fällt auf, dass in ihr die Digitale Fabrik als ein Modell charakterisiert ist, das im Verbund mit der Verwendung von rechnerunterstützten Werkzeugen zu sehen ist. Letztere dienen dazu, das Modell im Rechner abbilden, berechnen und bildlich darstellen zu können. Das Modell stellt dabei die reale Fabrik mit ihren Strukturen, Prozessen und Ressourcen in Verbindung mit dem Produkt dar. Eine *Fabrik* kann in diesem Zusammenhang als ein industrieller Betrieb verstanden werden, der erwerbs- oder gemeinwirtschaftliche Zwecke verfolgt und bei dem insbesondere die produktionstechnische und die produktionsorganisatorische Sichtweise im Vordergrund stehen (SCHMIGALLA 1995, S. 34). Die Fabrik als Industriebetrieb ist heute allerdings nicht unbedingt mehr als die standortbezogene physische Produktionsstätte, sondern häufig als die unternehmensweite und unternehmensübergreifend vernetzte Produktion zu verstehen. Die Digitale Fabrik muss sich daher auch auf die damit verbundenen Abläufe und Aufgaben beziehen und diese unterstützen (REINHART et al. 2006, S. 128; WESTKÄMPER 2004, S. 5-3). In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff der Digitalen Fabrik synonym zu den zuvor diskutierten Begriffen der virtuellen Fabrik, der virtuellen Produktion, des Digital Manufacturing und des Virtual Manufacturing verwendet. In Anlehnung an ZÄH et al. (2005a, S. 4) und die aufgeführten Definitionen wird die Digitale Fabrik vereinfacht als die notwendige Bedingung für die Realisierung eines effizienten realen Systems und dessen virtuellen Modells gesehen (Abbildung 2.1). Die Digitale Fabrik wird im folgenden Abschnitt nun näher charakterisiert.

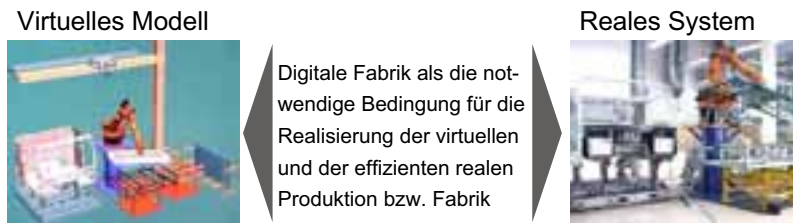


Abbildung 2.1: *Verständnis der Digitalen Fabrik (in Anlehnung an ZÄH et al. 2005a, S. 4)*

3 Anforderungen an die Methodik

3.1 Allgemeines

In Kapitel 3 werden die Anforderungen definiert, die an die Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik gestellt werden. Sie werden in zwei Schwerpunkte aufgeteilt. Zum einen werden Anforderungen festgelegt, die sich auf die *Anwendung* der Methodik beziehen. Zum anderen erfolgt eine Definition der *Inhalte*, die in der Methodik enthalten sein sollen. Die Konzeptionierung der Methodik im anschließenden Kapitel 4 muss sich an diesen zwei Schwerpunkten orientieren. Bevor die Anforderungen in der genannten Zweiteilung ausgeführt werden, wird ihre Zusammensetzung in der nachfolgenden Abbildung 3.1 einleitend im Überblick vorgestellt.

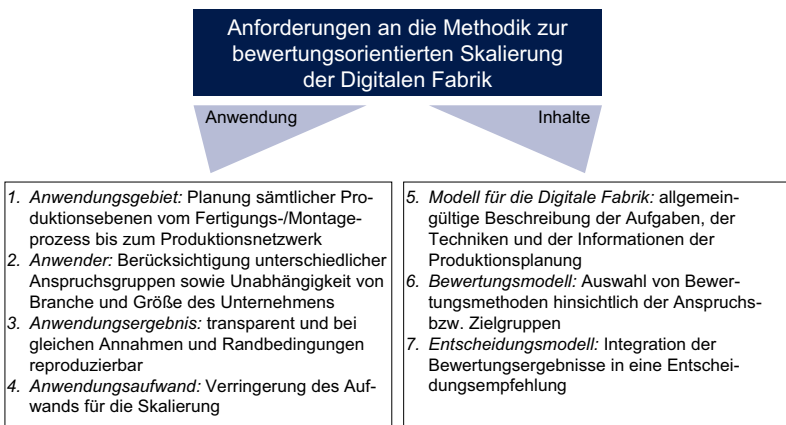


Abbildung 3.1: Überblick über die Anforderungen an die Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik

3.2 Anwendung

Bezogen auf die Anwendung der Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik werden vier Aspekte als Zielorientierung genauer bestimmt: das *Anwendungsgebiet*, die *Anwender* (anwendende Personen), das *Anwendungsergebnis* sowie der *Anwendungsaufwand*.

3.2 Anwendung

Das *Anwendungsgebiet* der Methodik stimmt im weiteren Sinne mit dem überein, das im Abschnitt 2.3.2 für die Digitale Fabrik allgemein beschrieben wurde (vgl. Abbildung 2.3, S. 15; KÜHN 2006, S. 10 ff.). Für einen Anwendungsfall der Methodik bedeutet dies, dass sie zum einen auf die *Aufbauorganisation* bezogen die sinnvollen Techniken der Digitalen Fabrik ableitet. Diese unterstützen in diesem Zusammenhang die Planung und die Absicherung vom elementaren Fertigungs- und Montageprozess bis zum Produktionsnetzwerk. Hinsichtlich der *Ablauforganisation* wird mit der Methodik zum anderen abgegrenzt, welche Techniken der Digitalen Fabrik innerhalb der Produktentstehung im Anwendungsfall zweckmäßiger Weise eingesetzt werden sollten. Hierbei soll sich die Methodik im engeren Sinne ihres Anwendungsgebiets auf die Produktionsplanung als Phase des Produktentstehungsprozesses beschränken, da hierin das Hauptanwendungsgebiet der Digitalen Fabrik zu sehen ist (vgl. KÜHN 2006, S. 12; SCHRAFT & BIERSCHEK 2005, S. 16). Das grundsätzliche Vorgehen der Methodik muss jedoch auf die Phasen der Produktentwicklung und der Produktion übertragen werden können.

Dass die Skalierung der Digitalen Fabrik den Charakter eines Projekts besitzt, das in regelmäßigen Abständen aufgrund der Weiterentwicklung ihrer Techniken wiederholt durchgeführt werden sollte, wurde in dieser Arbeit bereits einleitend betont. Da ein solches Projekt auf i. d. R. unternehmensorganisatorisch verschiedenen *Hierarchieebenen* verantwortet wird und die Personen auf diesen Ebenen unterschiedliche Ansprüche an die Auswahl der sinnvollen Techniken der Digitalen Fabrik stellen, muss die Methodik bei ihrem Einsatz unterschiedliche *Anwender* unterstützen (vgl. REINHART et al. 2006, S. 132). Das heißt, dass die Methodik jeweils den Bedürfnissen eines planenden Mitarbeiters (nutzende Person der Techniken), eines Planungs- und eines Bereichsleiters sowie eines Geschäftsführers entsprechend gerecht werden muss. Damit ist auch die Tragweite der zu bestimmenden Skalierung der Digitalen Fabrik verbunden: Wird eine Skalierung für die Arbeitsplatzebene definiert, kann eine Verantwortung dafür auf der Ebene des Anwenders und des Planungsleiters angenommen werden. Soll dagegen für einen Fachbereich eine Skalierung bestimmt werden, wird ein entsprechendes Projekt von einem Planungs- bzw. von einem Bereichsleiter verantwortet werden. Schließlich ist davon auszugehen, dass die Geschäftsführung ein Projekt zur Skalierung der Digitalen Fabrik leitet, wenn diese für einen Standort oder das Unternehmen ganzheitlich erarbeitet werden soll. Darüber hinaus soll die Methodik unabhängig von der *Unternehmensbranche und -größe* angewendet werden können.

Weiter müssen die *Ergebnisse* der Methodikanwendung nachvollzogen und reproduziert werden können. Das bedeutet, dass zum einen der Weg, wie eine Skalierungsempfehlung erreicht wurde, für den Anwender in allen durchlaufenen Schritten *transparent* sein muss. Zum anderen muss sich die gleiche Skalierungsempfehlung bei erneuter Methodikanwendung ergeben, wenn die gleichen *Annahmen* und *Randbedingungen* getroffen bzw. festgelegt werden.

Schließlich besteht der Anspruch, den *Anwendungsaufwand* für die Skalierung und die Umsetzung der Digitalen Fabrik durch den Einsatz der Methodik insgesamt *geringer* zu halten, als dies mit umfangreicher unternehmensexterner Unterstützung durch Experten der Digitalen Fabrik der Fall wäre. Durch den Einsatz der Methodik sollen die Anwender bereits selbst eine erste verlässliche Aussage darüber treffen können, ob eine auf ihren Anwendungsfall bezogene Skalierung sinnvoll ist und wie diese dann umgesetzt werden kann. Dazu sind allerdings Basiskennnisse der Anwender im Umfeld der Digitalen Fabrik notwendig. Hierzu zählen Kenntnisse über die Charakteristika der Digitalen Fabrik (vgl. Abschnitt 2.3) sowie speziell erste Anwendungserfahrungen mit Techniken der Digitalen Fabrik (vgl. Abbildung 2.9, S. 25) durch ein Pilotprojekt. Diese Erfahrungen werden für die Anwendung der Methodik vorausgesetzt und sind insbesondere die notwendige Basis dafür, dass die Aufwände und in der Folge auch der Nutzen für eine Skalierung belastbar bewertet werden können. Die Ergebnisse der Methodikanwendung sollten erst im Anschluss daran ggf. mit der Unterstützung externer Experten der Digitalen Fabrik vertieft werden. Allerdings ist der dafür notwendige Aufwand dann deutlich geringer einzuschätzen, als dies ohne die vorherige Anwendung der Methodik der Fall wäre. Die inhaltlichen Anforderungen, die sich insgesamt aus den Anforderungen an die Methodikanwendung ergeben, werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

3.3 Inhalte

Inhaltlich ist für die Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik die Abdeckung folgender Aspekte zu fordern: die *Beschreibung* der Elemente der Digitalen Fabrik, die durch ihre Techniken beeinflusst werden, sowie die *Auswahl, Anpassung und Integration von Bewertungsmethoden*, durch die eine endgültige Skalierung der Digitalen Fabrik erst erfolgt. Diese inhaltlichen Anforderungen werden nachfolgend ausgeführt.

Für die *Beschreibung* der Digitalen Fabrik ist eine Referenzstruktur zu entwickeln. Diese berücksichtigt neben den grundsätzlichen *Aufgaben*, die aus den

Aufgabenkomplexen der Anwendungsgebiete (vgl. Abschnitt 2.3.2) abgeleitet werden, die Zuordnung der sie unterstützenden *Techniken* der Digitalen Fabrik sowie die *Informationen*, die zur Aufgabenausführung notwendig sind. Da die Produktionsplanung das Hauptanwendungsgebiet der Digitalen Fabrik darstellt, soll bei der Beschreibung eine Beschränkung auf diesen Teilbereich der Produktentstehung erfolgen. Dieses *Modell für die Digitale Fabrik* soll dem Anwender der Methodik einen Orientierungsrahmen vorgeben, der ihm die Beschreibung der Digitalen Fabrik in seinem Anwendungsfall erleichtert. Das bedeutet, dass die Aufgaben in dem Modell soweit detailliert werden müssen, wie es allgemeingültig möglich ist. Eine tiefer gehende Detaillierung der Aufgaben muss der Anwender bei Bedarf selbst durchführen, da diese für den Einzelfall in dieser Arbeit nicht vorgedacht werden kann. Ebenso soll die Zuordnung der in dem Modell zu berücksichtigenden Techniken der Digitalen Fabrik ohne namentlichen Bezug zu möglichen Lösungsanbietern bzw. -entwicklern erfolgen. Dies trifft insbesondere auf Softwaresysteme zu. Für die Informationen, die zur Ausführung der Aufgaben notwendig sind, gilt hinsichtlich ihres Detaillierungslevels der gleiche Anspruch wie bei den Aufgaben selbst. Das heißt, dass auch für die Beschreibung der Informationen eine allgemeingültig sinnvolle Detaillierung gefunden werden muss. Das Modell der Digitalen Fabrik stellt somit inhaltlich die maximal mögliche Skalierung der Digitalen Fabrik dar, die nach derzeitigem Kenntnisstand denkbar ist. Darunter sind entsprechend sämtliche Aufgaben, Techniken und Informationen zu verstehen, die in dieser Arbeit für eine Digitale Fabrik betrachtet werden. Für die Methodikanwendung müssen aus dieser maximalen Skalierung die Aufgaben, die Techniken und die Informationen ausgeblendet werden, die in einem Anwendungsfall nicht relevant sind. Beispielsweise wird in dem Modell die Aufgabe der Arbeitsstättenplanung mit ihren zugeordneten Techniken und Informationen ausgenommen, wenn die Arbeitsstättenplanung nicht zu den regelmäßig wiederkehrenden Planungsaufgaben des Unternehmens gehört, in dem die Methodik angewendet wird.

Die eigentliche Skalierung der Digitalen Fabrik erfolgt nach der Definition der Aufgaben, die im Anwendungsfall zu betrachten sind, mit einem umfassenden *Bewertungsmodell*. Darin sind die *Bewertungsmethoden* enthalten, die auf der Basis des Modells für die Digitale Fabrik dem Anwender erlauben, eine Entscheidung für oder gegen eine betrachtete Skalierung herzuleiten. Wie bereits im vorherigen Abschnitt angesprochen wurde, gibt es bei einem Projekt zur Digitalen Fabrik unterschiedliche Anspruchsgruppen. Da diese Personen jeweils verschiedene Ambitionen hinsichtlich des Einsatzes und insbesondere des Nutzens einer Skalierung der Digitalen Fabrik haben, muss die Methodik Bewertungsme-

thoden zur Verfügung stellen, die genau den Ansprüchen der einzelnen Zielgruppen bei der Skalierung genügen. Den Anwender von Techniken der Digitalen Fabrik interessieren beispielsweise die Zeit- und die Kosteneinsparung sowie die allgemein effizientere Ausführung seiner Planungstätigkeiten, die er durch den Einsatz von Techniken der Digitalen Fabrik erwarten kann. Darüber hinaus werden ein Planungs- und ein Bereichsleiter zusätzlich ihren Blick auf die mit den Techniken verbundenen Investitionen richten. Für die Geschäftsführung wird zu den zuvor genannten Effekten auch noch von Interesse sein, wie die Digitale Fabrik die Erreichung strategischer Unternehmensziele unterstützt, z. B. den Ausbau von Wettbewerbsvorteilen (vgl. REINHART et al. 2006, S. 132). Da diese Fragestellungen nicht ausschließlich durch monetär, sondern auch durch nicht-monetär messbare Kriterien beschrieben werden, muss die Methodik solche Bewertungsmethoden zur Verfügung stellen, die genau diese Heterogenität der Ziel- bzw. Entscheidungsgrößen berücksichtigen.

Die *Bewertungsergebnisse*, die sich aus der Anwendung der einzelnen Bewertungsmethoden ergeben, müssen schließlich in ein *Entscheidungsmodell* integriert werden. Diese Integration muss die Methodik graphisch und rechnerisch nachvollziehbar in einer geeigneten Form darstellen. Dadurch ist letztendlich zu jeder Skalierung, die bewertet wird, eine Aussage über deren Vorteilhaftigkeit gegeben, die auf den Bewertungsergebnissen basiert. Werden die Aussagen zu den Skalierungen schließlich miteinander verglichen, kann eine *Entscheidungsempfehlung* für die beste Skalierung gegeben werden, sofern diese den Erwartungen der Anspruchsgruppen entspricht.

Die Anforderungen, die soweit beschrieben wurden, dienen im nun folgenden Kapitel als Orientierung für die Konzeptionierung der Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik.

4 Methodik zur Skalierung der Digitalen Fabrik

4.1 Allgemeines

Das Ziel dieser Arbeit ist eine Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden im vorangegangenen Kapitel die Anforderungen definiert, die bei der Erarbeitung der Methodik hinsichtlich ihrer Anwendung und ihrer Inhalte zu berücksichtigen sind. Die Anforderungen stellen gleichzeitig die Orientierung bei der Konzeptionierung der Methodik zur Verfügung. Ihre Inhalte sollen einleitend kurz umrissen werden. Zunächst wird in Abschnitt 4.2 ein *Modell der Digitalen Fabrik* erarbeitet. Es stellt die für die Methodik notwendige Referenzstruktur der Digitalen Fabrik dar. Die Struktur berücksichtigt folgende Aspekte: die *Aufgaben* der Produktentstehung mit dem Fokus auf der Produktionsplanung, die *Techniken* der Digitalen Fabrik, die den Aufgaben zuzuordnen sind und diese unterstützen, sowie die zur Ausführung der Aufgaben erforderlichen *Informationen*. Das Modell richtet sich an der Einführung von PPS- bzw. ERP-Systemen mit dem Aachener PPS-Modell (vgl. SCHOTTEN 1999; SCHUH & GIERTH 2006) als Referenzmodell aus, da damit die Einführung und die Umsetzung der Digitalen Fabrik ganzheitlich betrachtet werden kann. Abschnitt 4.3 widmet sich dem *Bewertungsmodell*, welches die Bewertungsmethoden definiert, anhand derer die Skalierung des Modells der Digitalen Fabrik erfolgt. Dazu werden die relevanten Methoden mit Bezug auf die Bewertung der Digitalen Fabrik detailliert vorgestellt. In diesem Zusammenhang wird auch eine Vorgehensweise erarbeitet, die es ermöglicht, die bei einer Bewertung getroffenen Annahmen und formulierten Erwartungen innerhalb eines Umsetzungszeitraums zu erfüllen. Dies geschieht über entsprechende Maßnahmen, die für die Vorgehensweise erarbeitet werden. In Abschnitt 4.4 werden für die *integrierte Skalierung* der Digitalen Fabrik die Bewertungsergebnisse ihren Charakteristika entsprechend zusammengeführt. Dazu wird die Integration der einzelnen Bewertungsmethoden in ein Gesamtergebnis als Teilziel in der Art verfolgt, dass eine Entscheidungsempfehlung für die Skalierung mit dem besten Bewertungsergebnis gegeben wird. Die Erfüllung der Erwartungen an die empfohlene Skalierung seitens der Anspruchsgruppen wird dabei vorausgesetzt.

In Teilabschnitt 2.4.5 wurde erwähnt, dass erst in diesem Kapitel bestimmte bekannte Erkenntnisse angeführt und beschrieben werden, die nicht direkt mit der Digitalen Fabrik oder der Produktentstehung zusammenhängen, darauf aber übertragen werden können. Sie werden an den entsprechenden Stellen angepasst.

4.2 Modell der Digitalen Fabrik

4.2.1 Referenzmodellauswahl und Modellbeschreibung

Generell wird in einem *Modell* ein geplantes oder ein real existierendes Originalsystem mit seinen Prozessen vereinfacht nachgebildet (SCHMIGALLA 1995, S. 350; VDI-RICHTLINIE 3633 1993, S. 3), um die Komplexität des Originalsystems zu reduzieren (DEUSE et al. 2006, S. 67). FUSCH (2005, S. 39 f.) diskutiert ausführlich das allgemeine Begriffsverständnis des Referenzmodells. Danach zeichnet sich ein *Referenzmodell* durch seine bis zu einem gewissen Grad bestehende Allgemeingültigkeit aus. Ein Referenzmodell kann unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen, die für dieses Modell gelten, auf spezielle Anwendungsfälle, wie z. B. die rechnerintegrierte Produktion, übertragen werden (MERTINS et al. 1994, S. 10; SCHUH & GIERTH 2006, S. 14 f.). Nach derzeitigem Kenntnisstand existiert kein Modell, das die Digitale Fabrik mit den für diese Arbeit definierten Anwendungsgebieten in der Produktentstehung systematisiert. Daher erfolgt bei der Modellkonzeptionierung eine Orientierung an bestehenden Referenzmodellen, die einen anderen Fokus als die Produktentstehung haben. Hierzu kann eine Ausrichtung an der Auftragsabwicklung geschehen, da der Auftragsabwicklungsprozess (vgl. Abbildung 2.13, S. 36) von seiner Komplexität her mit dem Produktentstehungsprozess vergleichbar ist. Zudem verdeutlicht der Überblick über die Techniken der Digitalen Fabrik (vgl. Abbildung 2.9, S. 25), dass bei diesen der Schwerpunkt auf den Softwarewerkzeugen liegt. Insgesamt bieten sich daher für die Konzeption eines Modells der Digitalen Fabrik Referenzmodelle an, die sich auf die Auswahl und die Einführung zum einen von Softwaresystemen allgemein und zum anderen speziell von Auftragsabwicklungssystemen beziehen – zumal die auftragsabwicklungsunterstützenden PPS- bzw. ERP-Systeme im weiteren Sinne zu den Techniken der Digitalen Fabrik gezählt werden können (vgl. Abschnitt 2.3.5). BERLAK (2003, S. 47 ff.) und NEUBAUER (1998, S. 30 ff.) ordnen für die Auswahl und Einführung von Softwaresystemen relevante Referenzmodelle. Diese haben sowohl einen allgemeinen Anwendungsbezug als auch einen speziellen Bezug auf die Unterstützung des Auftragsabwicklungsprozesses. Nach dieser Ordnung können folgende Referenzmodelle unterschieden werden (zur detaillierten Beschreibung dieser Referenzmodelle vgl. insbesondere BERLAK 2003):

- *Allgemeine Referenzmodelle* beschreiben im Wesentlichen die einzelnen Schritte, die aus der Sicht des Projektmanagements bei der Auswahl und der Einführung von Softwaresystemen durchlaufen werden müssen.

- *Checklistenbasierte Referenzmodelle* bieten dem Projektteam einen Leitfaden zur Auswahl von Softwarewerkzeugen anhand von Kriterien, die in Pflichtenheften und Checklisten definiert sind.
- *Marktspiegelbasierte Referenzmodelle* geben anhand von Marktstudien bzw. Marktvergleichen einen Überblick über das Angebot von Softwarewerkzeugen.
- *Nutzwertanalysebasierte Referenzmodelle* lehnen sich an dem Prinzip der Nutzwertanalyse an, mit der als Verfahren der Multikriterienbewertung eine Vielzahl von Entscheidungskriterien berücksichtigt werden kann.
- *Betriebstypologische Referenzmodelle* gehen von den Anforderungen an ein Softwarewerkzeug aus, die einem bestimmten Betriebstyp (z. B. Einzel-, Serien- oder Massenfertiger) zugewiesen werden können.
- *Reorganisationsbasierte Referenzmodelle* berücksichtigen zusätzlich zur Auswahl von Softwarewerkzeugen die Reorganisation des Unternehmens bzw. des betrachteten Fachbereichs.

Die zuvor genannten Gruppen von Referenzmodellen zur Auswahl und Einführung von Auftragsabwicklungs- bzw. PPS- und ERP-Systemen stellen eine gute Basis für die Konzeption eines Modells der Digitalen Fabrik dar. Allerdings beschreiben sie Vorgehensweisen für die Auswahl und die Einführung von Softwarewerkzeugen im Sinne eines Projektmanagements und/oder Modelle, die inhaltlich nur teilweise die relevanten Modellelemente der Digitalen Fabrik berücksichtigen. Diese Elemente sind die wesentlichen generischen Attribute, die den Produktionsentstehungsprozess mit dem Schwerpunkt auf der Produktionsplanung inhaltlich beschreiben. Dieser Beschreibungsbezug ergibt sich zum einen daraus, dass das Anwendungsgebiet der Digitalen Fabrik die Produktentstehung ist. Zum anderen werden mit der Planung und der Umsetzung der Digitalen Fabrik die Prozesse, d. h. die Abläufe im Sinne einer Prozessoptimierung analysiert, durch Techniken der Digitalen Fabrik unterstützt und ggf. angepasst (vgl. z. B. GRABMAIER 2003, S. 37; KEIL 2003, S. 5-7; KEIL et al. 2006, S. 26 f.; REINHART et al. 1999, S. 27). Zu den in dieser Arbeit relevanten prozessbeschreibenden Elementen der Produktentstehung zählen die folgenden Attribute:

- die Prozessschrittdefinition (Aufgabenbeschreibung),
- die ausführende Organisationseinheit (Verantwortung),
- die unterstützende Methode bzw. die IT-Systemfunktion sowie

4.2 Modell der Digitalen Fabrik

- die für die Ausführung des Prozessschritts notwendigen Eingangsinformationen und die von ihm erzeugten Ergebnisinformationen.

Diese Prozessattribute ergeben sich aus den gängigen Techniken zur Spezifikation von Geschäftsprozessen, zu denen auch die Produktentstehung zählt, und beschreiben so genannte Prozesssichten (vgl. GADATSCH 2003, S. 54; GAUSEMEIER et al. 2000, S. 44 ff.; MERTINS et al. 1994, S. 16 f., S. 104 ff.).

Um diese Anforderungen in einem Modell für die Digitale Fabrik vollständig zu berücksichtigen, eignen sich aus den oben genannten Referenzmodellgruppen nur die reorganisationsbasierten Ansätze als Grundlage. Aus den bekannten reorganisationsbasierten und prozessorientierten Referenzmodellen für die Auswahl und die Einführung von Softwarewerkzeugen (vgl. BERLAK 2003, S. 59; NEUBAUER 1998, S. 43 ff.) erscheint das Aachener PPS-Modell (vgl. z. B. SCHOTTEN 1999; SCHUH & GIERTH 2006) als am besten für die Modellbeschreibung der Digitalen Fabrik geeignet, da sein Aufbau und seine Inhalte der hier zu bearbeitenden Aufgabenstellung nahe kommen. Um dies zu verdeutlichen, wird das Aachener PPS-Modell nachfolgend genauer beschrieben. Es dient anschließend als Orientierung bei der Konzeptionierung des Modells der Digitalen Fabrik.

Das Aachener PPS-Modell (SCHOTTEN 1999; SCHUH & GIERTH 2006) unterstützt die Durchführung von Projekten zur Reorganisation der PPS, zur Entwicklung von PPS-Konzepten und -Systemen sowie zur Auswahl und Einführung von PPS-Systemen. Die Aufgaben des Aachener PPS-Modells sind dabei die Beschreibung von verschiedenen Teilaspekten der PPS, die Unterstützung der Ermittlung von Zielausprägungen der PPS und die Unterstützung bei der Anwendung von Gestaltungs- bzw. Optimierungsmethoden. Innerhalb eines Projektes werden vielfach Teilmodelle angewendet, um die Komplexität des Gesamtprojektes zu reduzieren. Diese Teilmodelle können zueinander in Beziehung stehen, indem sie den gleichen Teil der PPS beschreiben oder dem gleichen Zweck dienen. Jene Teilmodelle, die dem gleichen Zweck dienen, werden als eine Sicht auf die PPS bezeichnet. Die Referenzsichten des Aachener PPS-Modells (SCHUH & GIERTH 2006) werden in Abbildung 4.1 verdeutlicht.

Die *Aufgabenreferenzsicht* dient der Spezifikation und der Detaillierung der PPS-Aufgaben. Um dabei die Allgemeingültigkeit sicherzustellen, müssen die Aufgaben unabhängig von der Aufbauorganisation eines Unternehmens sein. Zudem muss die Sicht jede betriebspezifische Aufgabe einer Organisationseinheit eindeutig zuordnen, einfach und transparent aufgebaut sein und sowohl inner- als auch überbetriebliche Planungs- und Steuerungsaufgaben abbilden.

5 Anwendung der Methodik

5.1 Allgemeines

In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels wird die Anwendung der entwickelten Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik anhand von Arbeitsergebnissen aus Industriekooperationsprojekten beschrieben, die vom Verfasser bearbeitet wurden. Im Anschluss an diesen einleitenden Abschnitt wird zunächst in Abschnitt 5.2 ein allgemeiner Ablaufplan für die Anwendung der Methodik vorgestellt. Danach werden in Abschnitt 5.3 Erfahrungen mit der Anwendung der Methodik berichtet. Dies erfolgt anhand der Beschreibung der Rahmenbedingungen, der Inhalte und der Ergebnisse von zwei Fallbeispielen. Schließlich wird auf der Basis dieser Erfahrungsberichte die Anwendung der Methodik in Abschnitt 5.4 hinsichtlich ihres Nutzens und ihres Aufwands bewertet. In Abschnitt 5.5 wird ein Fazit zur Anwendung der Methodik gezogen.

5.2 Anwendungsablauf

Für die Anwendung der Methodik (vgl. Abbildung 5.1) wird vorausgesetzt, dass durch die Entscheidungsträger in einer *Vorgabedefinition* für das Projekt die Zielwerte und die Rahmenbedingungen zum Einsatz von Techniken der Digitalen Fabrik definiert worden sind. Dazu zählen die angestrebten Nutzen- und Aufwandseffekte sowie die Fachbereiche, die durch die Techniken unterstützt werden sollen. Die Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik wird dann wie folgt angewendet: Zunächst wird die Aufgabenreferenzsicht im *Modell der Digitalen Fabrik* an den Anwendungsfall *angepasst*, so dass in Verbindung mit der Funktions- und der Informationsreferenzsicht die betriebs-typologisch sinnvollen Skalierungen der Digitalen Fabrik resultieren. Diese Basis ist im Anwendungsfall ggf. zu detaillieren bzw. anzupassen. Die unterschiedlichen Skalierungen, die im Folgenden zu bewerten sind, ergeben sich durch die Variation der Techniken, die für den Anwendungsfall tatsächlich zu betrachten sind. Das Modell der Digitalen Fabrik gibt hierfür anhand der Funktionsreferenzsicht mit den ihr zugeordneten Techniken einen ersten Vorschlag. Dieser wird anschließend in einer *Pilot-* bzw. einer *Testanwendung* praktisch erprobt. Danach werden die *Prozesskostenrechnung*, die *Investitionsrechnung* sowie die *Nutzwertanalyse* durchgeführt. Der weitere Ablauf der Methodik richtet sich danach, für welche hierarchische Anspruchsebene die Skalierungen bewertet werden.

5.2 Anwendungsablauf

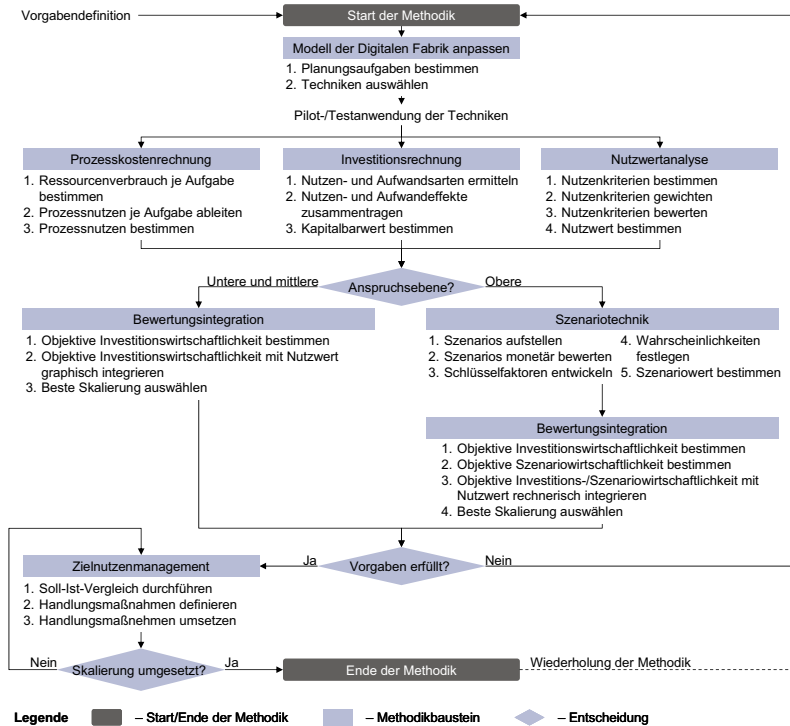


Abbildung 5.1: Anwendungsablauf der Methodik

Sind die *untere und die mittlere Anspruchsebene* die Entscheidungsträger, erfolgt in der *Bewertungsintegration* die Zusammenführung der zuvor ermittelten Bewertungsergebnisse. Dazu wird für jede zu vergleichende Skalierung die objektive Investitionswirtschaftlichkeit bestimmt und mit dem subjektivem Nutzwert graphisch integriert. Danach kann die beste Handlungsalternative ausgewählt werden (vgl. Abbildung 4.19, S. 144).

Ist dagegen die *obere Anspruchsebene* die Zielgruppe für die Bewertung, wird im Anschluss an die Prozesskostenrechnung, die Investitionsrechnung und die Nutzwertanalyse die *Szenariotechnik* angewendet. Die dadurch zu bestimmende objektive Szenariowirtschaftlichkeit wird danach mit der objektiven Investitionswirtschaftlichkeit und dem subjektiven Nutzen in der *Bewertungsintegration* rechnerisch verbunden. Nach der Berechnung kann die beste Skalierungsalternative ausgewählt werden (vgl. Abbildung 4.20, S. 146). Nachfolgend stellt sich die Frage, ob die *Vorgaben*, die durch die Entscheidungsträger festgelegt wurden,

mit der ausgewählten Skalierung *erfüllt* werden können. Ist dies nicht der Fall, muss über das Modell der Digitalen Fabrik eine neue Skalierung gefunden werden, für die der Bewertungsablauf erneut durchlaufen wird. Sind die Vorgaben erfüllt, schließt sich ein *Zielnutzenmanagement* an. Dadurch wird die ausgewählte *Skalierung* über geeignete Maßnahmen iterativ *umgesetzt*. Grundsätzlich ist die Anwendung der Methodik an dieser Stelle beendet. Wird aber die Notwendigkeit beachtet, dass eine umgesetzte Skalierung aufgrund der Weiterentwicklung der Techniken in regelmäßigen zeitlichen Abständen überprüft werden muss, schließt sich eine *Wiederholung der Methodik* an. Damit wird berücksichtigt, dass die Digitale Fabrik den Charakter eines fortlaufenden Projekts besitzt. Zur Unterstützung der Methodikanwendung wurde im Rahmen dieser Arbeit eine einfache Rechnerunterstützung auf Basis einer Tabellenkalkulation entwickelt.

5.3 Anwendungsfallbeispiele

5.3.1 Fallbeispiel eins: Umfassende Produktionsprozessplanung

Das nachfolgend beschriebene Fallbeispiel eins wurde in Zusammenarbeit mit einem deutschen Hersteller hochwertiger Flugzeugteile und -komponenten durchgeführt. Die Tätigkeitsfelder dieses Unternehmens liegen u. a. in der Fertigung von Einzelteilen, in der Montage und der Ausrüstung von Baugruppen, in der mechanischen, hydraulischen und elektrischen Funktionsprüfung vollständiger Baugruppen sowie in der Konstruktion und dem Bau von dazugehörigen Betriebsmitteln. Das Unternehmen sah sich einer steigenden Variantenzahl zu produzierender Komponenten und einem zunehmenden Kostendruck ausgesetzt. Daneben verstärkte die lange Laufzeit der Produkte die Notwendigkeit, die Konstruktions- und die Produktionsplanungsphase zu optimieren. Dadurch sollten insbesondere der Mehraufwand durch Änderungsvorgänge minimiert und die Kostensituation besser kontrolliert werden können. Um das Unternehmen für diese zukünftigen Herausforderungen vorzubereiten, wurde u. a. die Unterstützung der Produktionsplanung durch Techniken der Digitalen Fabrik angestrebt.

Zunächst wurde in diesem Projekt der Ist-Zustand der zu untersuchenden Fachbereiche der Produktionsplanung aufgenommen. Dazu wurden die dort auszuführenden Planungsaufgaben, über Funktionsbeschreibungen die bereits eingesetzten Techniken der Digitalen Fabrik sowie die zur Aufgabenausführung erforderlichen Planungsinformationen festgehalten. Damit stand folgende Ausgangsbeschreibung durch das *Modell der Digitalen Fabrik* zur Verfügung:

5.3 Anwendungsfallbeispiele

- aus der *Aufgabenreferenzsicht* (vgl. Abbildung 4.4, S. 78) die Erzeugnisplanung, die Prozessplanung, die BEMI-Planung, die Arbeitsstättenplanung, die Arbeitskostenplanung und die Steuerdatenplanung;
- als *Techniken der Digitalen Fabrik* (vgl. Abbildung 2.9, S. 25) ein PDM-System, CAO-Systeme, ein PPS-/ERP-System, CAD-Systeme für die Produktkonstruktion und die Fabriklayoutgestaltung sowie CAM/NC-Systeme;
- als *Planungsinformationen* (vgl. Tabelle 4.5, S. 91) Fabrikstrukturinformationen, Betriebsmittelinformationen, produktbezogene Informationen, produktionsprozessbezogene Informationen, auftragsbezogene Informationen sowie Kosteninformationen.

Dieser Ist-Zustand sollte um Techniken der Digitalen Fabrik, die sich noch nicht im Einsatz befanden, erweitert werden. Dazu zählten aus dem Modell der Digitalen Fabrik die 3D-Kinematiksimulation zur Unterstützung der Montageplanung und zur ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung sowie die PPR-orientierte Prozessplanung mit einem dazugehörigen Datenmanagementsystem. Zusätzlich wurde der Ersatz des bisher eingesetzten Softwaresystems zur Layoutplanung durch ein System angestrebt, das noch nicht im Einsatz und funktional umfangreicher war.

Der Auftraggeber dieses Projekts zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik war die Produktionsleitung, die als eine Bereichsleitung zu sehen war. Sie hatte als generelle Zielgröße für die Digitale Fabrik eine deutliche Investitionswirtschaftlichkeit gefordert. Für die Anwendung der Bewertungsmethodik konnte auf erste Erfahrungen aus einem Pilotprojekt zurückgegriffen werden, in dem die neu einzusetzenden und zu bewertenden Techniken der Digitalen Fabrik in einem Fachbereich an gezielt ausgesuchten Arbeitsplätzen bereits getestet worden waren.

In der Bewertungsphase wurden für die einzelnen Planungsaufgaben zuerst die *Prozesskosten* bestimmt, indem der Verbrauch der Planungszeit als Ressource für das Ist-Modell der Digitalen Fabrik ermittelt wurde. Die wesentliche Maßgröße, die den Ressourcenverbrauch bei der Ausführung der Planungsaufgaben beschrieb, war die Häufigkeit der Überarbeitung der Planungsstände. Hierbei wurde ein linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Planungsüberarbeitungen und der insgesamt dafür durchschnittlich notwendigen Planungszeit angenommen (Mengenbeschreibung bei der RPK). Die so ermittelten Planungszeiten wurden anschließend mit den jeweiligen Mischkostensätzen für die entsprechen-

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 *Streffinger, 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 Karosseriepreßteilen 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.*
Prozßuntersuchungen 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 *Wissbacher, 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 Simulationswerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
Simulation des Schwingungsverhaltens spanender Werkzeugmaschinen
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layoutoptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummetsteiner, G.*
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
Rechnergestütztes Projektinformations- und Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinserienproduktion
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *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 *Pischeltsrieder, 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 · Strukturndynamik 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 Kapselfel zur 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
- 84 **Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?**
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 **3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau**
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 **Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung**
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 **Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand**
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 **Mechatronik · Vorsprung durch Simulation**
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 **RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten**
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1

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 Partnerverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
 2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
 2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
 2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
 2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
 2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprengel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
 2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
 2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
 2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 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 Fähner
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 telepräsenster 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 · 192 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
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
 2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebsch
Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
 2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer
Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
 2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack
Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff
Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2